

Irini Reljin, Ana Gavrovska

# TELE MEDI CINA





Irini Reljin, Ana Gavrovska

# **TELEMEDICINA**

Akademska misao  
Beograd 2013. godine

Irini Reljin  
Ana Gavrovska

**TELEMEDICINA**  
elektronsko izdanje

*Recenzenti*  
Prof. dr Dejan Raković  
Prof. dr Miomir Mijić

*Izdavač*  
AKADEMSKA MISAO  
Beograd

*Dizajn korice*  
Zorica Marković, akademski slikar

ISBN 978-86-7466-458-2

---

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige u celini ili u delovima - nije dozvoljeno bez saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

## *Predgovor*

Knjiga *Telemedicina* je pisana kao udžbenik za univerzitetski kurs pod nazivom "Telemedicina", koji se drži na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na četvrtoj godini redovnih studija, kao i na master studijama na smeru *Biomedicinski i ekološki inženjer*. Knjiga, svakako, može poslužiti i studentima drugih visokoškolskih ustanova koji proučavaju ovu ili neku srodnu oblast, a može biti veoma korisna lekarima i medicinskom osoblju, koje je sve više upućeno na saradnju sa stručnjacima u oblasti obrade i prenosa signala. Sa druge strane, sve češća istraživanja u timovima koje čine i eksperti iz različitih oblasti elektrotehnike i medicine, pokazuju da ovaj tekst može biti zanimljiv i drugim čitaocima kao uvod u neku od njima bliskih oblasti, odnosno subspecijalnosti.

Naziv *Telemedicina* ukazuje na složenost materije koja pripada knjizi o kojoj je reč. Podsetimo se da *Telemedicina* podrazumeva upotrebu ICT tehnologija kako bi se obezbedile zdravstvene usluge udaljenim pacijentima i olakšala razmena informacija između primarne usluge lekara ili medicinskog osoblja i specijaliste, odnosno eksperta u nekoj subspecijalnosti. Međusobna udaljenost je motiv razvoja ove oblasti, nastao iz potrebe da se olakša lečenje pacijenata u ruralnim oblastima, odnosno da se pruži adekvatna prva pomoć u hitnim slučajevima. Multidisciplinarnost zasnovana na primeni telekomunikacija i informacionih tehnologija u medicini, kao i eksplozivan razvoj ovih veoma širokih oblasti za rezultat daje brojna rešenja.

Sa stanovišta signala koji su predmet obrade, prenosa, arhiviranja i pretraživanja podataka u telemedicini, ovde je reč o multimedijalnoj aplikaciji sa vrlo visokim zahtevima vezanim za kvalitet, protok, pouzdanost i zaštitu. Uspešnost metoda analize i obrade različitih medicinskih signala, kao i njihova implementacija,

dovode do sve značajnijeg razvoja i primene telemedicine. Treba imati u vidu da je trenutno jedan od primarnih ciljeva u razvoju elektronskih komunikacija, na svetskom nivou, razvoj širokopojasnih mreža. One treba svim stanovnicima da omoguće pristup servisima koji poboljšavaju uslove života i obezbeđuju jednostavno informisanje, obrazovanje na daljinu, e-*health* i druge e-servise.

Ova knjiga sadrži jedanaest poglavlja. Prva dva su posvećena objašnjenju osnovnih pojmove u telemedicini, kao i istorijatu nastanka ove oblasti.

Treće poglavlje knjige je posvećeno telemedicinskim signalima. Specifičnosti akvizicije signala koje su jedinstvene za medicinske aplikacije, nisu ovde detaljno objašnjavane. Sa druge strane, bilo je potrebno navesti osnovne karakteristike slika, videa i audio signala. Posebno su interesantne tehnike kompresije slika koje se inače koriste u telemedicini (JPEG i MJPEG) i one su, s obzirom na njihovu direktnu primenu u telepatologiji, teledermatologiji i telehirurgiji, ovde detaljnije opisane.

Četvrto poglavlje opisuje DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) standard, definisan u okviru dokumentacije koja je postala neizostavno sredstvo za omogućavanje i optimizovanje uređaja i razmene podataka, a u okviru zdravstvenih ustanova. Ovde su opisani interoperabilnost sistema za akviziciju, skladištenje, prikaz, procesiranje, slanje, preuzimanje, pretraživanje, štampanje medicinskih slika, nezavisno od hardverskih rešenja.

U petom poglavlju knjige je opisan PACS (*Picture Archiving and Communication System*) sistem koji se sastoji od tri osnovne celine: akvizicijskih uređaja, memoriske jedinice i radne stanice za prikaz snimaka. Ove celine međusobno komuniciraju korišćenjem raznovrsnih digitalnih mrežnih uređaja i sistema. Zadatak PACS-a je da obezbedi blagovremen i efikasan pristup digitalnim snimcima dobijenim sa raznovrsnih modaliteta, kao i interpretaciju, obradu, arhiviranje i prikaz snimaka.

Naredna četiri poglavlja su posvećena specifičnim granama telemedicine: telekardiologiji, teleradiologiji, telepatologiji, teledermatologiji, telehirurgiji. Od ovih oblasti najviše je razvijana telekardiologija, a posebno sa ciljem monitorisanja vitalnih parametara pacijenta.

Deseto poglavlje knjige opisuje važne karakteristike i način rada mreža elektronskih komunikacija. Objašnjen je slojeviti OSI model i navedeni servisi koje pojedini slojevi podržavaju. S obzirom na značaj koji senzorske mreže imaju u telemedicini, opisane su i najvažnije karakteristike bežičnih mreža, polazeći od onih koje se nose na telu (*Body Area Network*), pa do javnih mobilnih mreža.

U poslednjoj glavi knjige je opisana arhitektura Android platforme kao podrške novim i sve brojnijim servisima, između ostalih i telemedicine.

Autori ovog teksta duguju zahvalnost prof. dr Branimiru Reljinu, kao najzaslužnijem za uvođenje i razvoj oblasti telemedicine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, a koji je pružio nesebičnu pomoć u koncipiranju ovog teksta.

Na kraju, treba istaći da su konačnom kvalitetu udžbenika doprineli komentari recenzenta, prof. dr Dejana Rakovića i prof. dr Miomira Mijića, koji su, uloživši veliki napor u pregledanje teksta, ukazali u kom smislu treba obaviti njegove ispravke, što je i učinjeno. Autori su im na tome najiskrenije zahvalni.

U Beogradu, aprila 2013. godine

Autori

# SADRŽAJ

	Strana
Predgovor	i
Sadržaj	iv
Spisak skraćenica	vii
1. Uvod	1
1.1. Definicija telemedicine	3
1.2. Koncept telemedicine	4
Literatura	9
2. Razvoj telemedicine	11
2.1. Istorija telemedicine	12
2.1.1. Obnova istraživanja u oblasti telemedicine	15
2.2. Pregled telemedicine	15
Literatura	20
3. Medicinski signali	23
3.1. Jednodimenzionalni signali u telemedicini	25
3.2. Dvodimenzionalni signali u telemedicini	27
3.2.1. Formiranje slike	28
3.2.2. Kompresija slike	31
3.2.2.1. JPEG DCT kompresija	38
3.2.2.2. JPEG 2000 kompresija	43
3.3. Video u telemedicini	49
3.4. Prenos audio sadržaja u telemedicinskim servisima	54
3.4.1. Karakteristika ljudskog auditornog sistema	55
Literatura	58
4. Standard za digitalnu sliku i komunikacije u medicini –DICOM	61
4.1. Razvoj standarda	63

4.2. Organizacija DICOM standarda	66
4.3. DICOM terminologija	72
4.4. Dokument o usaglašenosti	75
4.5. Informacioni objekti	76
4.6. Klase servisa	82
4.7. DICOM poruka i DICOM komunikacija	85
4.8. Hosting aplikacija	88
4.9. HL7 i ostali telemedicinski standardi	90
4.10. Realizacija namenskih DICOM aplikacija	91
Literatura	95
 5. Sistem za arhiviranje i razmenu slika u medicini - PACS	99
5.1. Istorijat razvoja PACS-a	100
5.2. Osnovni elementi sistema PACS	101
5.2.1. Akvizicija slike	101
5.2.2. Arhiviranje slike	106
5.2.3. Pretraživanje i prikazivanje slika i razmena podataka	108
5.3. Moguća realizacija sistema PACS	110
Literatura	115
 6. Telekardiologija	117
6.1. Procesi kardiološkog sistema	119
6.2. Nastanak telekardiologije	124
6.3. Organizaciona struktura telekardiološkog sistema	127
6.4. Kardiološki podaci	132
6.5. Kontrolni i dijagnostički sistemi u telekardiologiji	142
Literatura	145
 7. Teleradiologija	151
7.1. Nedostaci konvencionalne radiologije	151
7.2. Potpuno elektronska radiologija	152
7.3. Tehnološki zahtevi u teleradiologiji	154
Literatura	157
 8. Telepatologija i teledermatologija	159
8.1. Telepatologija	159
8.1.1. Statički telepatološki sistem	160
8.1.2. Snimanje celog slajda	164
8.2. Teledermatologija	166
Literatura	168

9. Telehirurgija	171
Literatura	177
10. Telekomunikacije u telemedicini	179
10.1. Planiranje i razvoj mreže - OSI model	182
10.1.1. Internet slojevi	185
10.2. Mreže elektronskih komunikacija u telemedicini	187
10.2.1. Različiti tipovi bežičnih mreža	190
10.3. Mreže na ljudskom telu (BAN)	194
Literatura	197
11. Android platforma	199
11.1. Uvod u Android platformu	200
11.2. Arhitektura i verzije Androida	202
11.3. Odabir Androida sa aspekta telemedicine	205
11.4. Razvoj aplikacija na Androidu	208
11.5. Telemedicinske aplikacije na Androidu	213
Literatura	217
Indeks	219

## SPISAK SKRAĆENICA

Skraćenica	Naziv
AAL	<i>Ambient Assisted Living</i>
ACR	<i>American College of Radiology</i>
ACSE	<i>Association Control Service Element</i>
AD	<i>Analog-to-Digital</i>
ADM	Automatizovan digitalizovan mikroskop
ADT	<i>Android Developer Tools</i>
AE	<i>Application Entity</i>
AET	<i>Application Entity Title</i>
AIT	<i>Advanced intelligent tape</i>
AL	<i>Application Layer</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BAN	<i>Body Area Network</i>
bpp	<i>Bit per pixel</i>
BW	<i>Baseline wandering</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CAD	<i>Computer-aided diagnosis</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CCITT	<i>International Telegraph and Telephone Consultative Committee</i>
CD	<i>Compact Disc</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CD-ROM	<i>Compact Disc Read-Only Memory</i>
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
CIF	<i>Common Intermediate Format</i>
CIRM	<i>Centro internazionale di radiocomunicazioni mediche</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Multiple Access</i>
CSS	<i>Chirp spread spectrum</i>
CT	<i>Computed Tomography</i>
CQoS	<i>Constant Quality of Service</i>

CWT	<i>Continuous Wavelet Transform</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DAT	<i>Digital Audio Tape</i>
DCT	<i>Discrete cosine transform</i>
DDD	<i>Design - Develop - Distribute</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
DIMSE	<i>DICOM Message Service Element</i>
DLT	<i>Digital Linear Tape</i>
DSG	<i>DIMSE Service Group</i>
DULP	<i>DICOM Upper Layer Protocol</i>
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
DWT	<i>Discrete Wavelet Transform</i>
EC	<i>Ejection click</i>
ECG, EKG	<i>Electrocardiogram, Elektrokardiogram</i>
EEG	<i>Elektroencefalogram</i>
EHRs	<i>Electronic Health Records</i>
EKP	<i>Elektronski karton pacijenta</i>
EMG	<i>Electromyogram</i>
EOB	<i>End of Block</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FTP	<i>File transfer protocol</i>
GOP	<i>Group of pictures</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HDTV	<i>High-definition television</i>
HF	<i>Heart failure</i>
HIS	<i>Hospital Information System</i>
HL7	<i>Health Level Seven International</i>
HRV	<i>Heart rate variability</i>
HSM	<i>Hierarchical storage management</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
HVS	<i>Human Visual System</i>
IBC	<i>Intrabody communication</i>
ICT	<i>Information and Communication Technologies</i>
IDE	<i>Integrated development environment</i>
IE	<i>Information Entity</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institution of Electrical and Electronic Engineers</i>
IHE	<i>Integrating the Healthcare Enterprise</i>
IOD	<i>Information Object Definition</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPC	<i>Inter-process communication</i>
IPTV	<i>Internet Protocol television</i>
IR	<i>Infrared</i>

ISCL	<i>Integrated Secure Communication Layer</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JPEG	<i>Joint Picture Experts Group</i>
JPIP	<i>JPEG 2000 Interactive Protocol</i>
JTF	<i>Joint time-frequency</i>
JTS	<i>Joint time-scale</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LDAP	<i>Lightweight Directory Access Protocol</i>
LDPC	<i>Low Density Parity Check</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LLC	<i>Locality-constrained Linear Coding</i>
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution Service</i>
LTE	<i>Long-Term Evolution</i>
LTO	<i>Linear Tape-Open</i>
MAC	<i>Media access control</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MEMS	<i>Microelectromechanical systems</i>
MJPEG	<i>Motion JPEG</i>
ML	<i>Mediolateralni</i>
MOD	<i>Magneto-optički disk</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NF	<i>Niskofrekventni</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OHA	<i>Open Handset Alliance</i>
OpenGL   ES	<i>Open Graphics Library   for Embedded Systems</i>
OS	<i>Opening snap</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PC	<i>Personal computer</i>
PCG	<i>Phonocardiogram</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PET	<i>Positron emission tomography</i>
PHP	<i>Hypertext PreProcessor</i>
QCIF	<i>Quarter CIF</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAID	<i>Redundant array of inexpensive discs</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RIS	<i>Radiology Information System</i>
RL	<i>Run Length</i>
RLC	<i>Run Length coding</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
SC	<i>Secondary Capture</i>

SCP	<i>Service Class Provider</i>
SCS	<i>Service Class Specifications</i>
SCU	<i>Service Class User</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SDTV	<i>Standard-definition television</i>
SDU	<i>Service Data Unit</i>
SGL	<i>Scene Graph Library</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SMPTE	<i>Society of Motion Picture and Television Engineers</i>
SNR	<i>Signal-Noise Ratio</i>
SOP	<i>Service-Object Pair</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SR	<i>Structured Reporting</i>
SRAD	<i>Speckle Reduction Anisotropic Diffusion</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
STFT	<i>Short Time Fourier Transform</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TDMA	<i>Time-division multiple access</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
TV	<i>Television</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UHDTV	<i>Ultra high definition television</i>
UHF	<i>Ultra-high frequency</i>
UID	<i>Unique Identifier</i>
UL	<i>Unsigned Long</i>
URL/URI	<i>Uniform Resource Locator/ Uniform Resource Identifier</i>
US	<i>Ultrasound</i>
UWB	<i>Ultra-wideband</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VCEG	<i>Video Coding Expert Group</i>
VF	<i>Visokofrekventni</i>
VLC	<i>Variable Length Coding</i>
VMA	<i>Vojnomedicinska akademija</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
VQoS	<i>Variable Quality of Service</i>
VR	<i>Value Representation</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
WADO	<i>Web Access to DICOM Persistent Objects</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSI	<i>Whole slide imaging</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>



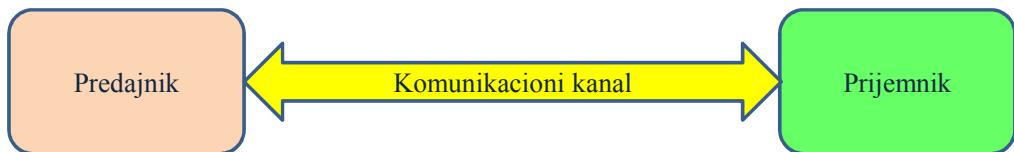
1. Uvod

Savremena dostignuća u domenu telekomunikacija i računarstva, koje su konvergirale ka zajedničkoj oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT, *Information and Communication Technologies*) pružaju širok dijapazon rešenja koja se vrlo uspešno mogu primenjivati u različitim, nekada životno važnim situacijama. S obzirom na nastajanje jedinstvene oblasti ICT, u literaturi se sve više govori o oblasti elektronskih komunikacija, kao infrastrukturnoj podršci za primenu informacionih tehnologija.

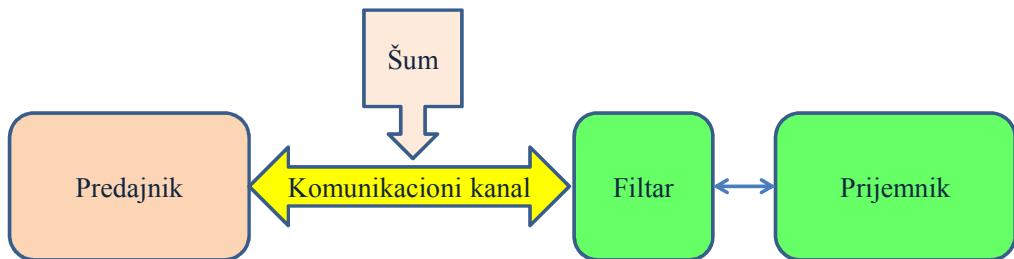
Eksplozivni razvoj ovih tehnologija u mnogome je pomogao uvođenju i stalnom unapređivanju servisa koji se zasnivaju na jednovremenom prenosu podataka, video i audio informacija, poznatim kao multimedijalne aplikacije. U multimedijalne sisteme se mogu svrstati prenosi videa, audija, aplikacija namenjenih zabavi, edukaciji na daljinu kao i mnogi servisi koji obogaćuju naš život pojednostavljenim pristupom informacijama. Tako se razvio niz aplikacija sa prefiksom "e-" (elektronski), kao što je e-uprava, e-obrazovanje, e-bankarstvo, e-zdravstvo, itd. Očigledno je da smo svedoci korišćenja više različitih termina koji se koriste za opisivanje sličnih procesa, te je neophodno precizirati na šta se pojedini od ovih izraza odnose.

Već od samih početaka razvoja telekomunikacija, jednostavna sprava kao što je telefon se koristila i za poseban oblik telekonsultacija. Generalno gledano,

telemedicina se može shvatiti kao način isporuke medicinskih usluga/informacija između para predajnika i prijemnika, slika 1.1 [NOR02]. Ne želeći da se zadržavamo na detaljnijim objašnjenjima vezanim za tehniku prenosa, bitno je da istaknemo što je to što čini medicinsku informaciju. Primena informacionih tehnologija u medicini uključuje razne postupke, od vrlo jednostavnih kao što je prepisivanje recepata, preko kontrole pandemiskog širenja, monitoringa pacijenata, medicinske baze, do vrlo složenih kao što su teleoperacije.



Slika 1.1. Jednostavni model telekomunikacionog sistema.



Slika 1.2. Telekomunikacioni sistem u prisustvu šuma.

U realnim uslovima, pored korisnog signala deluje i šum koga najjednostavnije i najčešće predstavljamo kao aditivnu smetnju u komunikacionom kanalu. Na ulazu u prijemnik, koristi se filter koji se ograničava delovanje smetnje u selepcionom opsegu telekomunikacionog sistema. Time se smanjuje ukupna energija šuma na ulazu u prijemnik. Šta je sada prednost koju usavršena primena informacionih tehnologija unosi u bilo koji telemedicinski servis? To je povećanje efikasnosti, preciznosti, omogućavanje pretraživanja velikih mediateka sa medicinskim signalima, odnosno podacima o pacijentima, bolja realizabilnost servisa [DAR00], [FON11]. Kao posledica toga dolazi se do mnogo efikasnije i dostupnije medicinske nege.

Potrebno je istaći korist koju razvoj telemedicine donosi posebno starijoj populaciji, koja je inače, globalno, sve brojnija [MAH01]. Efikasnim rešenjima medicinskih servisa na daljinu, dovodi se do smanjenja ukupnih troškova lečenja, odnosno nege.

## 1.1. DEFINICIJA TELEMEDICINE

Telemedicina se, kao pojam, često poistovećuje sa telezdravstvom (*telehealth*, odnosno *e-health* u širem smislu koji se danas koristi) [DAR00]. Da bismo na početku napravili razliku između ovih pojmljiva, koristićemo nekoliko uobičajenih definicija telemedicine.

Def. 1.

Telemedicina uključuje korišćenje modernih informacionih tehnologija, posebno dvosmerne interaktivne audio/video komunikacije, računara i telemetrije kako bi obezbedila zdravstvene usluge udaljenim pacijentima i olakšala razmenu informacija između primarne usluge lekara i specijaliste koji su međusobno udaljeni.

Def. 2.

Telemedicina predstavlja zdravstvenu zaštitu koja se pruža na daljinu.

Def. 3.

Telemedicina predstavlja korišćenje vrlo složenih tehnologija kako bi obezbedila razmenu informacija o zdravlju i obezbedila zdravstvene usluge tamo gde postoje geografska, vremenska, socijalna ili kulturno-geografska ograničenja.

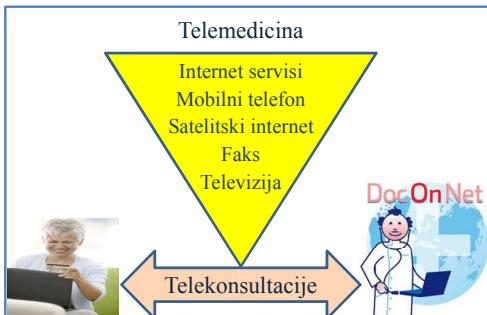
Def. 4.

Svetska zdravstvena organizacija pravi razliku između telemedicine i telezdravstva: Ako se telezdravstvo shvati kao sredstvo integracije telekomunikacionog sistema u praksi zaštite i promovisanja zdravlja, a telemedicina kao inkorporacija ovih sistema u kurativnu medicinu, onda se mora priznati da telezdravstvo više odgovara međunarodnim aktivnostima Svetske organizacije u domenu javnog zdravstva. Telezdravstvo pokriva obrazovanje u oblasti javnog i lokalnog zdravlja, razvoj zdravstvenog sistema i kontrolu epidemioloških procesa, dok je telemedicina više okrenuta ka kliničkim aspektima.

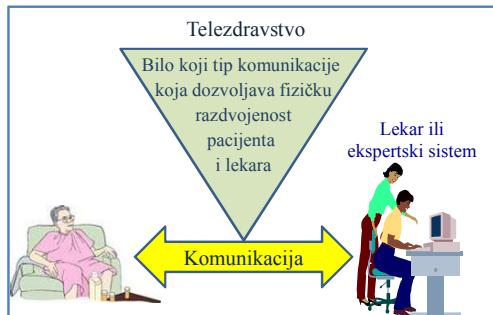
Razmatrajući navedene definicije telemedicine ipak nalazimo da im je zajednički imenilac da vrše prenos medicinskih informacija radi kliničkih i obrazovnih potreba, slika 1.3.

Telezdravstvo bi predstavljalo korišćenje informaciono komunikacionih tehnologija (ICT, *Information and Communication Technologies*) za prenos informacija o zdravstvenoj zaštiti za kliničke, administrativne i edukacione potrebe, slika 1.4.

Pored ovoga, može se izdvojiti još jedna važna oblast primene ICT u medicini, a to je *telenega*. Ona se bavi isporukom kliničkih usluga udaljenim pacijentima.



Slika 1.3. Telemedicina.



Slika 1.4. Telezdravstvo.

Premda definicije telemedicine i telezdravstva impliciraju razlike koje su prevashodno vezane za administrativne aspekte u zdravstvu, realno je očekivati da će vremenom nestajati granica između ova dva pojma. Što je veće učešće ICT industrije u zdravstvu, to će doći i do značajnije integracije svih aspekata lečenja i nege, na svim područjima u kojima pojedina administracija deluje. Stoga je realno očekivati da se u bliskoj budućnosti koristi naziv e-zdravstvo, s obzirom da predstavlja širi pojam i da će obuhvatiti sve aspekte telemedicine i telenega.

## 1.2. KONCEPT TELEMEDICINE

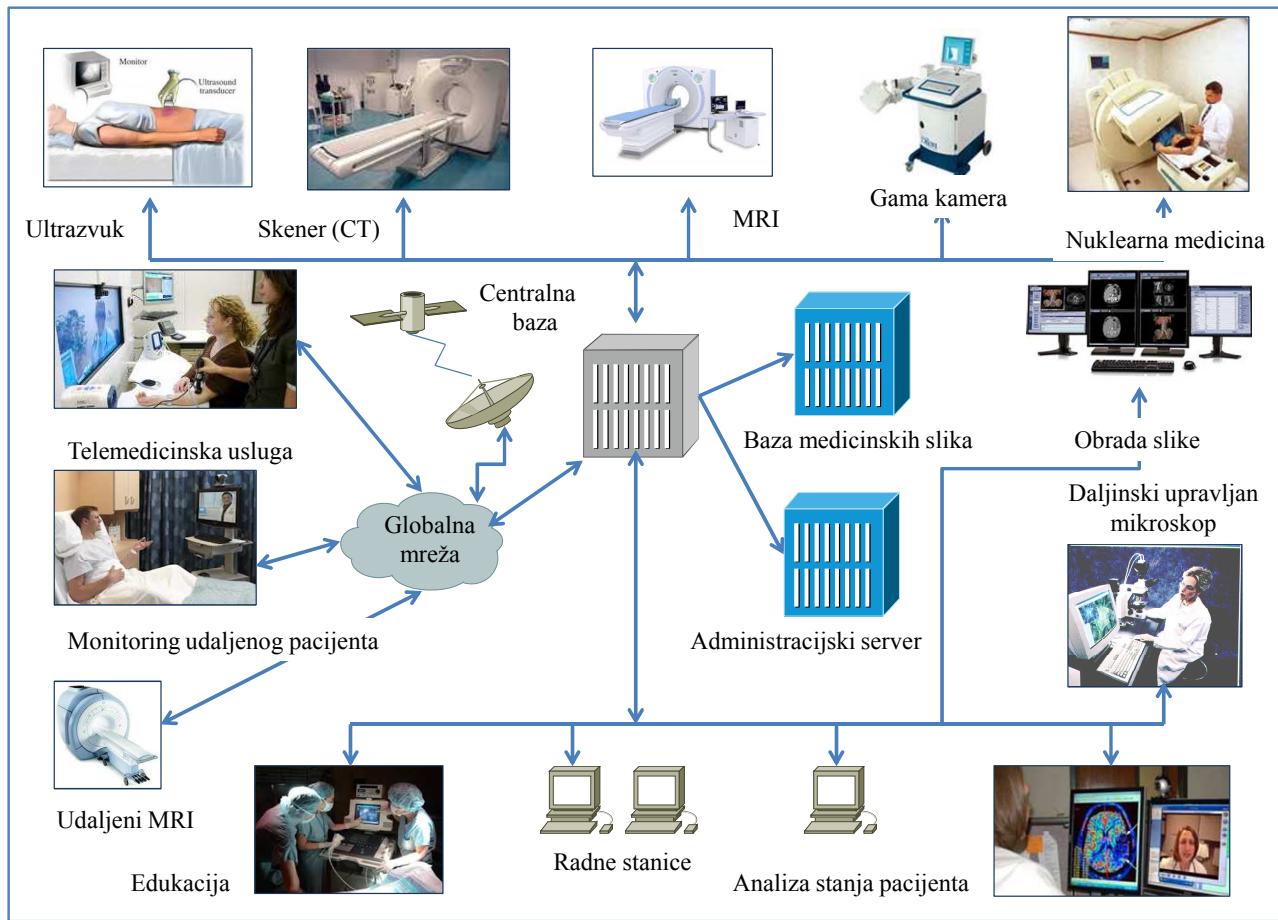
Princip uvođenja telemedicine je veoma jednostavan: prihvataju se podaci sa različitih senzora vezanih za ljudski organizam i prenose ka drugim, najčešće udaljenim, centrima na obradu i dijagnozu. Realizacija je, međutim, veoma složena s obzirom na veoma komplikovane i obimne tehničke zahteve. Tu se, pre svega, javlja potreba za obradom, prenosom, arhiviranjem i pretraživanjem veoma velikog broja izuzetno velikih fajlova, kao što su medicinske slike, video ili neki drugi manje zahtevni signali i podaci. Treba naglasiti da su razvijene raznovrsne metode za obradu i prenos slika, kao i za njihovo arhiviranje, a koje su posebno namenjene medicinskim aplikacijama. Među različitim multimedijalnim servisima telemedicine ima, možda, najstrožije zahteve [REL01].

Velika pažnja je posvećena radiologiji i patologiji, a danas se nalazi primena i u drugim oblastima medicine kao što su kardiologija, dermatologija, oftalmologija, neurologija, ortopedija i hirurgija [KUM08]. Eksplozivan razvoj tehnologije, uopšte, pružio je neslućene mogućnosti oblasti telemedicine. Osnovna prednost telemedicine

je u tome što isključuje (ili umanjuje) potrebu za fizičkim kretanjem pacijenata ili medicinskog osoblja do odgovarajuće medicinske ustanove, i dopušta da se osnovni pregled vrši na licu mesta: u seoskoj bolnici, ambulanti, bolničkom vozilu ili na terenu, dok se dijagnostika vrši u udaljenom centru koji ima vrhunsko medicinsko osoblje i kompletну dijagnostičku opremu. Time se uklanjaju razlike između jakih medicinskih centara i metropola (čak između razvijenih zemalja, sa jedne strane, i nerazvijenih područja iste ili različitih zemalja), i omogućava se vrhunska medicinska usluga na celoj planeti. Telemedicinske informacije, zavisno od specijalnosti, mogu se razmenjivati u vidu jedne od sledećih kategorija: analogni video, tekst (istorija bolesti i slično, koja se unosi sa tastature ili skenira sa papirnog dokumenta), digitalne slike dobijene sa radioloških skenera, ili drugih uređaja za akviziciju medicinskih slika, interaktivna videokonferencija. Za kliničke aplikacije koriste se kako slike/video, tako i podaci. Dosadašnja iskustva pokazuju da, izuzev u hitnim slučajevima ili npr. u telepsihiatriji, kao i u dogovorenom plenarnom videokonferencijskom radu, interaktivan rad u realnom vremenu nije neophodan. Većina primena (npr. u teleradiologiji, telepatologiji i slično) radi izuzetno dobro u tzv. *store-and-forward* aplikacijama koje su, najčešće, klijent-server tipa.

Medicinski materijal dobijen sa različitih akvizicijskih uređaja i praćen svom potrebnom dokumentacijom se prikupi i grupiše na jednoj strani (klijent), zatim se formira telemedicinski dokument koji integriše podatke, glas, zvuk, sliku i video, i u standardizovanoj formi, koja je određena postojećom telekomunikacionom opremom i standardom, šalje ka serveru na drugoj strani gde se vrši prijem dokumenata. Na strani servera se, zatim, može vršiti raspakivanje dokumenata i njihov pregled, analiza i dijagnoza, što se, kasnije, vraća klijentu i/ili se dokumenti prosleđuju odgovarajućoj ustanovi (to može biti i kućni računar lekara-specijaliste) gde se vrše dalje analize i eventualno donosi dijagnoza. Koncepcija telemedicinskog sistema prikazana je na slici 5. Na strani medicinskog centra se vrši akvizicija pomoću ultrazvučnog uređaja, skenera, magnetne rezonanse (*MRI-Magnetic Resonance Imaging*), nuklearnih medicinskih uređaja (kao što je gama kamera). Signali različitog tipa se mogu dobiti preko globalne mreže iz udaljenih centara, odnosno sa udaljenih, čak i ruralnih lokacija.

Na drugoj strani mreže može postojati identična oprema ako se i tamo vrši akvizicija podataka, a dovoljna je samo centralna jedinica (radna stanica ili PC računar) sa odgovarajućom multimedijalnom i telekomunikacionom opremom, ako je reč o čisto korisničkoj stanici namenjenoj konsultaciji ili video konferenciji. Baza medicinskih informacija, koja sadrži ogroman broj podataka i karakterističnih slučajeva koji mogu pomoći dijagozi, danas je, uglavnom, raspodeljena (nalazi se u raznim centrima), zaštićena je, pri čemu je omogućen brz i siguran pristup svim korisnicima koji imaju odgovarajuću dozvolu.

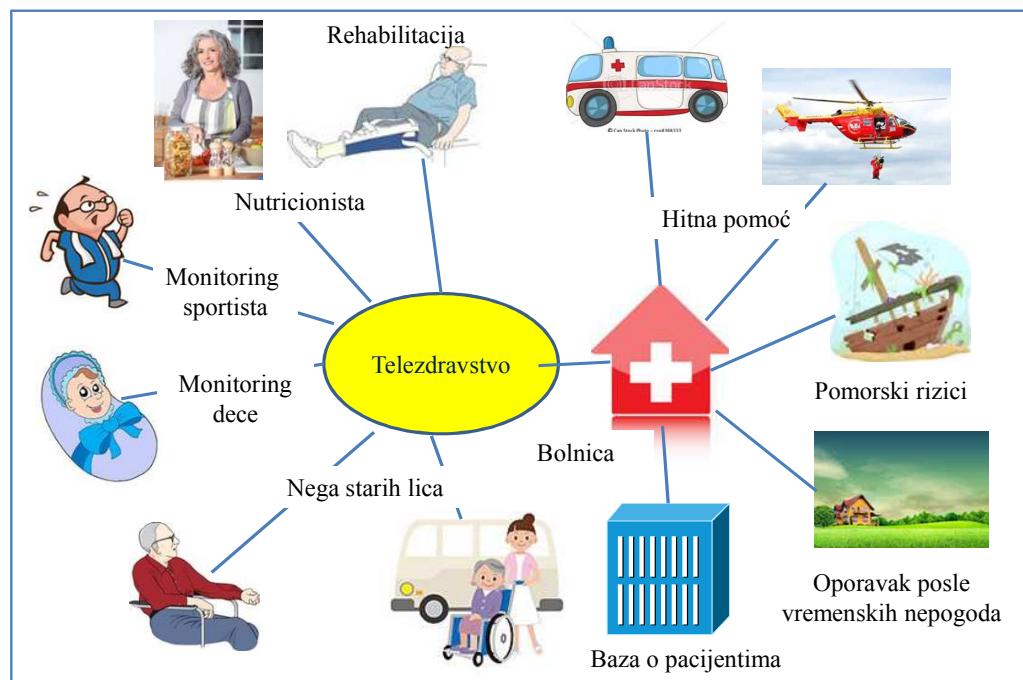


Slika 1.5. Koncept telemedicine.

Na daljinu je moguće vršiti i monitoring pacijenata, slika 1.5. Pri tome se jednostavne procedure vezane za negu ili akviziciju podataka vezanih za stanje pacijenta mogu dobiti i bez prisustva visokoobrazovanog stručnog osoblja. Na slici je prikazan i daljinski upravljan mikroskop koji se koristi u telekonsultacijama eksperata, na primer patologa. Kliničar koji se nalazi na udaljenoj lokaciji može sam da upravlja pokretnim podnožjem mikroskopa i tako detaljnije pregleda preparate od interesa.

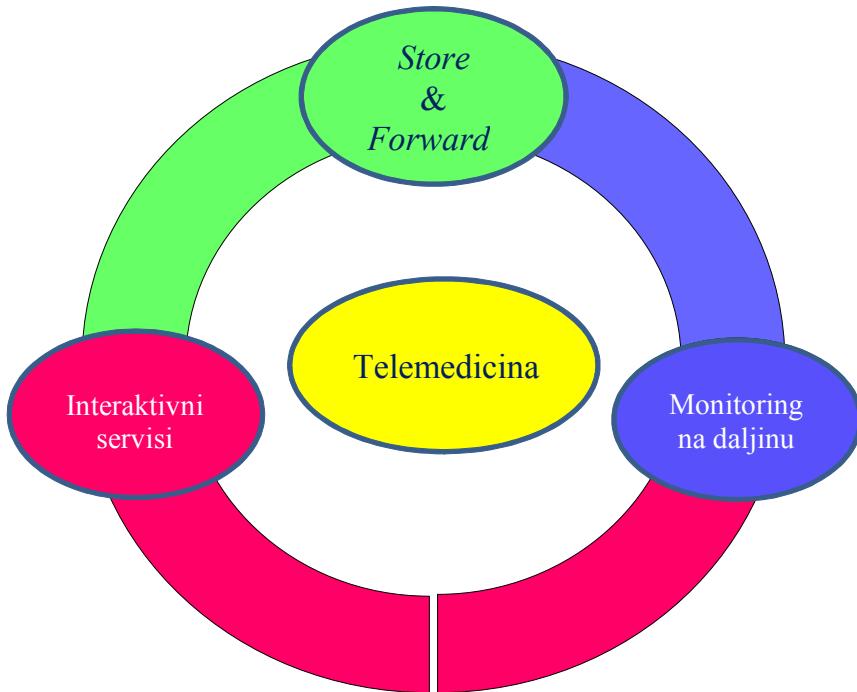
Dakle, analiza stanja pacijenata se može raditi i sa udaljenih lokacija, odnosno koristeći radne stanice na kojima se medicinskom osoblju dozvoljava pristup nekom delu baza podataka sa obrađenim-neobrađenim sadržajem kartona pacijenata.

Važan aspekt telemedicine čini i edukacija medicinskog osoblja koju je moguće obaviti na daljinu.



Slika 1.6. Koncept telezdravstva.

Koncept telezdravstva je zasnovan na formiraju velikih baza podataka koje imaju za cilj kontrolu i upravljanje dugoročnim procesima, vezanim za široku populaciju pacijenata (nega starih lica, monitoring sportista, promovisanje nutricionističkih znanja, rehabilitacija pacijanata posle različitih trauma, itd.). Uz sve to, koncept mora da se bavi sistemom hitne pomoći, kao i pomoći u različitim elementarnim nepogodama i drugim vanrednim situacijama, slika 1.6. Telezdravstvo se oslanja na usluge koju pružaju medicinski centri.



Slika 1.7. Podela telemedicinskih servisa.

Telemedicinski servisi se, prema načinu na koji se odvijaju, mogu svrstati u tri kategorije:

- Interaktivne - u koje spadaju telekonsultacije, konsultacije pacijenata i medicinskog osoblja, tehirurgija i slično,
- Monitoring na daljinu - koji zahteva kontinuiranu ili povremenu kontrolu stanja pacijenta, i
- *Store&Forward* servise - koji se najčešće i koriste, a podrazumevaju prenošenje različitih informacija u oba smera.

Može se zaključiti da telemedicina ima naročito veliki značaj u ruralnim sredinama u kojima nije moguće dobiti nekada ni osnovne medicinske usluge. S druge strane, ova oblast pruža široke mogućnosti za edukaciju medicinskog osoblja, kao i za konsultacije među njima. Važan aspekt čine i obrade različitih medicinskih signala. Rezultat tih obrada treba lekaru da pojednostavi donošenje dijagnoza bilo da se radi o slici ili nekom jednodimenzionom signalu.

Finansijska ulaganja u telemedicinu se mogu isplatiti u dužem vremenskom periodu. Pored toga, u situaciji u kojoj postoji nedostatak medicinskog osoblja pojedinih profila, telekonsultacije nude nemerljivo korisne usluge.

Najzad, za razmenu informacija u telemedicini, neophodno je obezbediti zaštitu od neovlašćenog korišćenja podataka o pacijentima. Takođe, medicinsko osoblje mora imati zaštitu od zloupotreba dokumenata koje proizvode i šalju mrežom. Stoga se velika pažnja mora posvetiti zaštiti i označavanju dokumenata (vodenim žigom), kao i zaštiti od neovlašćenog pristupa tim istim dokumentima.

## LITERATURA

- [BLO08] Bernd Blobel, Peter Pharow, Michael Nerlich, eds., *eHealth: Combining Health Telematics, Telemedicine, Biomedical Engineering and Bioinformatics to the Edge*, IOS Press, 2008, ISBN 978-1-58603-835-9.
- [BUR03] G. Burg, *Telemedicine and Teledermatology*, S. Karger AG, 2003, ISBN 3-8055-7463-0.
- [CHR11] Anargyros Chryssanthou, Ioannis Apostolakis, Iraklis Varlamis, *Certification and Security in Health-Related Web Applications: Concepts and Solutions*, Medical Information Science Reference, 2011, ISBN 978-1-61692-895-7.
- [CRU10] Maria Manuela Cruz-Cunha, Antonio J. Tavares, Ricardo Simoes, *Handbook of Research on Developments in E-Health and Telemedicine: Technological and Social Perspectives*, Medical Information Science Reference, 2010, ISBN 978-1-61520-670-4.
- [DAR00] Adam William Darkins, Margaret Ann Cary, *Telemedicine and Telehealth - Principles, Policies, Performance, and Pitfalls*, Springer Publishing Company, 2000. ISBN 0-8261-1302-8.
- [DYR04] Joseph F Dyro, *Clinical Engineering Handbook*, Elsevier Inc. 2004, ISBN: 0-12-226570-X
- [EPS08] Charles L. Epstein, *Introduction to the Mathematics of Medical Imaging*, SIAM, 2008, ISBN 978-0-89871-642-9
- [FON11] Bernard Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine technologies: information technologies in medicine and telehealth*, John Wiley & Sons, 2011, ISBN 978-0-470-74569-4.

- [KUM08] Sajeesh Kumar, Jacques Marescaux (Eds.), *Telesurgery*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 2008, ISBN 978-3-540-72998-3.
- [MAH01] Marlene Maheu, Pamela Whitten, Ace Allen, *E-health, telehealth, and telemedicine: A guide to start-up and success*, 2001, Jossey-Bass, Wiley e-book, ISBN 0-7879-4420-3.
- [NOR02] A. C. Norris, *Essentials of Telemedicine and Telecare*, John Wiley & Sons., 2002, ISBN 0-471-53151-0
- [REL00b] B. Reljin, I. Reljin, “Telemedicine in multimedia environment”, pp. 22-107 in Spasic P, Milosavljevic I, Jancic Zguncas M, Eds. (2000), text book “Telemedicine”, Belgrade, Academy of Medical Sciences of Serbian Medical Association”
- [REL01] I. Reljin, B. Reljin, “Telecommunication requirements in telemedicine”, *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 53-62, 2001.
- [ROD99] James A. Rodger, Parag C. Pendharkar, *Telemedicine and Business Process Redesign at the Department of Defense*, Idea Group Publishing, 1999.
- [SIL05] Barry G. Silverman, Ashlesha Jain, Ajita Ichalkaranje, Lakhmi C. Jain (Eds.), *Intelligent Paradigms for Healthcare Enterprises - Systems Thinking*, Springer, 2005, ISBN-10 3-540-22903-5
- [TAN99] Hüseyin Tanriverdi, C. Suzanne Iacono, *Toy or Useful Technology? The Challenge of Diffusing Telemedicine in Three Boston Hospitals*, Idea Group Publishing, 1999.
- [VAR09] Upkar Varshney, *Pervasive Healthcare Computing: EMR/EHR, Wireless and Health Monitoring*, 2009, ISBN: 978-1-4419-02 -146.
- [WOO05] Richard Wootton, Jennifer Batch, *Telepediatrics: Telemedicine and Child Health*, Royal Society of Medicine Press, 2005, ISBN 1-85315-645-0.
- [XIA08] Yang Xiao, Hui Chen, eds, *Mobile Telemedicine - A Computing and Networking Perspective*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008, ISBN-13: 978-1-4200-6046-1.



## 2. Razvoj telemedicine

Generalno gledano, oslanjajući se na definicije telemedicine, možemo naći veliki broj primera telemedicinskih usluga, čak i u dalekoj istoriji. Mnogi autori navode da naziv telemedicine datira od 70-ih godina prošlog veka kada se taj izraz prvi put pojavio u literaturi [MAH01], a svakako mnogo pre pojave interneta. Telemedicine se ipak vezuje za interaktivni odnos lekara i pacijenta. Telezdravstvo, međutim, možemo grubo opisati kao uvodenje telekomunikacionih tehnika u medicinsku praksu sa ciljem zaštite i promovisanja zdravstva.

Telezdravstvo (*e-health*) podrazumeva da se zdravstvena nega pruža preko interneta i obuhvata razne usluge od informativnih, edukacionih, komercijalnih pa do servisa koje pruža kako profesionalno, tako i neprofesionalno osoblje, biznismeni, pa čak i sami korisnici.

Često se navodi da telezdravstvo u sebi sadrži "6 C-ova":

- sadržaj (*content*),
- konektivnost (*connectivity*),
- trgovinu (*commerce*),
- zajednicu (*community*),
- kliničke usluge (*clinical care*) i

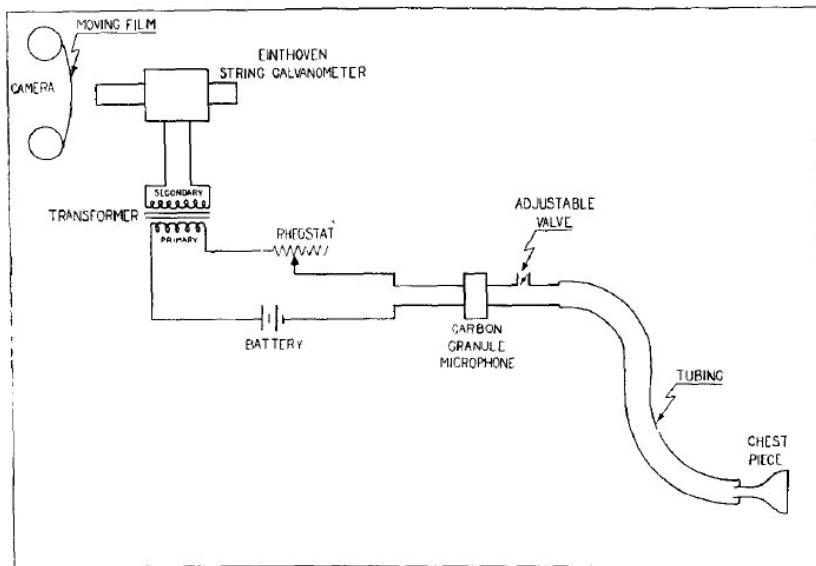
- računarske aplikacije (*computer applications*).

Telezdravstvo je zasnovano na korišćenju interneta kao moćne podrške uslugama koje karakterišu i opisuju telemedicinu i telezdravstvo. Praktično gledano, internet je taj čijim širenjem je omogućen nagli razvoj ove oblasti. Potrebno je istaći da telemedicina ne treba da bude dominantno zasnovana na komercijalnom efektu, za razliku od telezdravstva (kojim se često bave i neprofesionalci).

## 2.1. ISTORIJA TELEMEDICINE

Smatra se da je telemedicina nastala u pretelevizijskoj eri. Tada su telemedicinske usluge pružane u radiokomunikacijama [MAH01] i navodi se kao primer veza sa Antarktikom iz 1900. godine.

Prvi električni stetoskop je demonstriran u Engleskoj 1910. godine. U literaturi se može naći primer prvog komercijalnog stetoskopa proizvedenog u *Einthoven-u* u Holandiji 1924. godine.



Slika 2.1. Prvi električni stetoskop (*Einthoven*).

Zvuk se od tela pacijenta usmerava pomoću cevi ka ugljenom mikrofonu. Ugljeni mikrofon se sastoji od velikog broja ugljenih zrnaca koja se, pod uticajem promenljivog zvučnog pritiska na membrani, spajaju i razdvajaju formirajući time promenljive ekvivalentne otpornosti. Struja u kolu u koje je mikrofon povezan je

promenljiva sa intenzitetom srazmernim promenama zvučnog pritiska. Ideja za prenos stetoskopskog signala je zasnovana na prenosu signala telefonskom linijom. Premda je opisano rešenje revolucionarno za vreme kada se pojavilo, nudeći pogodnost "pregleda na daljinu", lekarima je predstavljalo problem zbog prisutnih šumova i murmura. Stoga je bila potrebna dodatna obuka medicinskog osoblja. Jedna od pogodnosti opisanog *telestetoskopa* je bila i ta što je omogućavao da više lekara, odnosno studenata, mogu jednovremeno da učestvuju u pregledu.

Napomenimo da se televizija u svom prvobitnom monohromatskom obliku pojavila tek 1927. godine, te je predviđanje pregleda na daljinu, objavljenom u novinama iz 1924. godine, slika 2.2, bilo prilično vizionarsko. Pisani trag o prenosu medicinskih slika na daljinu vezan je za slučaj radiološke slike iz 1950. godine, prenete između *West Chester-a* i *Philadelphia-e* u Pensilvaniji.



Slika 2.2. Predikcija telemedicine - *Radio News* 1924.

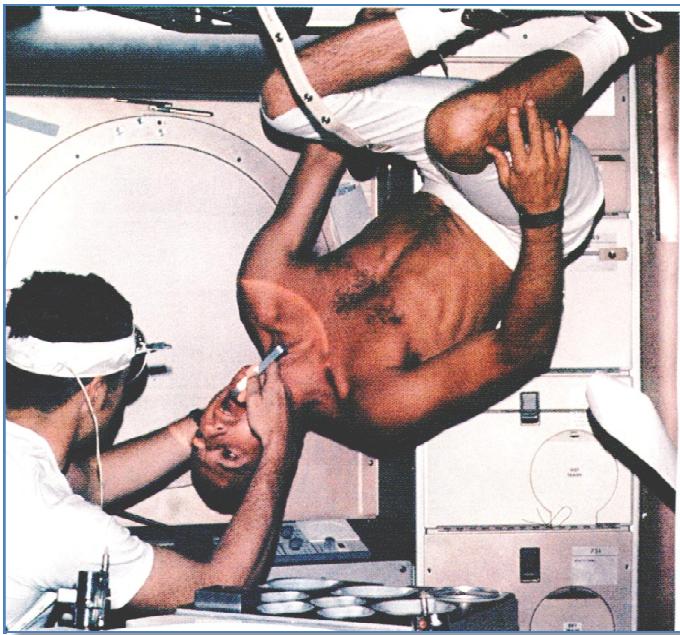


Slika 2.3. Telefluorskopija u Kanadi 1960. godine.

Interaktivne telemedicinske veze ostvarene su prvi put 1950. godine između dveju psihijatrijskih ustanova udaljenih više od 120 milja, a za potrebe telekonsultacija.

Kanadski lekari su počeli sa masovnjim prenosom radioloških slika, sa ciljem donošenja kvalitetnije dijagnoze, oko 1960. godine, slika 2.3. Pored radiologije i dermatologija je relativno rano bila zastupljena u telemedicini. U primenama

sredinom prošlog veka, korišćeni su monohromatski monitori za prikaz slika, a interaktivni audio-video sistemi su omogućavali telekonsultacije među lekarima.



Slika 2.4. Telemedicinska pomoć na svemirskom brodu.

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, američka služba za aeronautiku i svemirska ispitivanja) je u samim počecima telemedicine takođe bila vrlo aktivna organizacija. U razvoju svemirskih istraživanja je postalo jasno da astronauți moraju biti dovoljno obučeni za vanredne situacije na svemirskim letilicama, slika 2.4, te su razvijane aplikacije koje je bilo moguće proveriti i koristiti i u vreme nepogoda i raznih katastrofa na Zemlji. U vreme katastrofalnih zemljotresa kakve su pretrpeli Meksiko i Jermenija, u kojima uobičajeno dolazi do prekida svih komunikacija, usluge su pružane satelitskim vezama.

Premda je pokazano da telemedicina pruža nesumnjiva poboljšanja medicinskih usluga u ruralnim oblastima, u vanrednim situacijama ili u nedostatku bliskog medicinskog osoblja, brojni projekti koji su razvijani praktično na svim kontinentima su se pokazali finansijski neodrživim. Državna administracija je ta koja bi mogla da prenosti problem, a u vreme ekonomске krize nije realno računati na takvu mogućnost. Projekti su, međutim, za rezultat dali nova znanja i pokazali klinički efekat i zadovoljstvo zbog mogućnosti dobijanja daljinskih konsultacija, obrazovanja i uvežbavanja za rad u savremenim telemedicinskim uslovima.

### 2.1.1. Obnova istraživanja u oblasti telemedicine

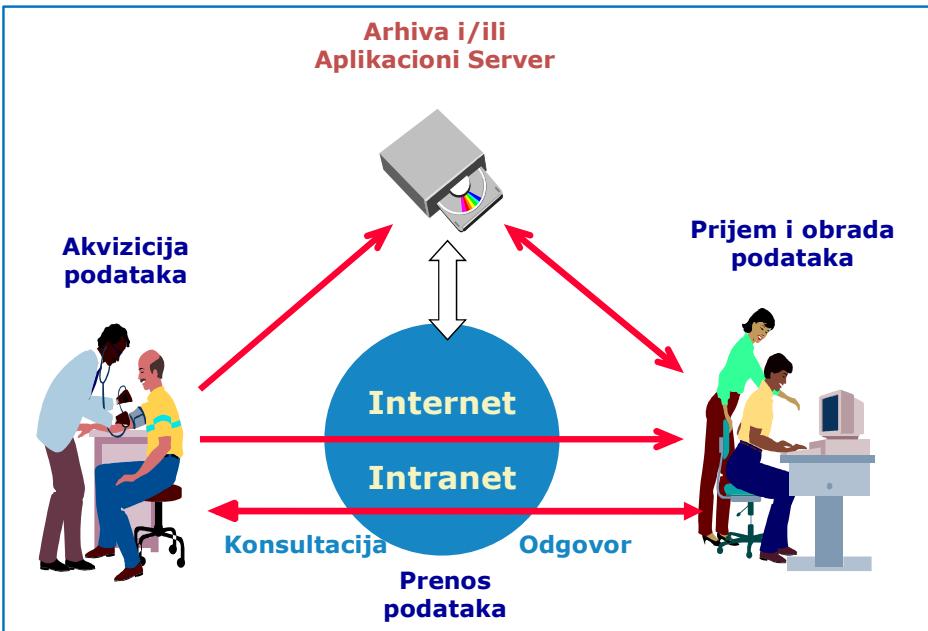
Početak poslednje dekade prošlog veka se smatra veoma važnim za razvoj telemedicine. Mnogi su razlozi za to, pre svega veliki napredak u digitalizaciji i kompresiji slika i videa koji su omogućili videokonferencijske veze pri malim protocima. Ovim je izbegnuto da satelitski kanal, inače veoma skup kao rešenje, bude neophodan u svim sredinama. Smanjeni protoci za sliku i video, obezbeđuju da se mnoge telemedicinske usluge mogu realizovati ne samo u fiksnim mrežama sa optičkim vlaknima, već i u mobilnim sistemima. Napomenimo da postoji veliki broj telemedicinskih aplikacija koje, same po sebi, ne zahtevaju velike protoke.

Imajući u vidu tehnološki napredak u elektronskim komunikacijama oko 1995. godine, telemedicine počinje sistemski da se uvodi u razvijenim zemljama. Mnoge države uviđaju neophodnost korišćenja širokopojasnog pristupa i od, do tada, nedovoljno razvijenih u telekomunikacijama, postaju vodeće sile u toj oblasti (na primer Južna Koreja, Japan, Norveška).

## 2.2. PREGLED TELEMEDICINE

Telemedicine predstavlja multidisciplinarnu oblast koja se razvija oslanjajući se na telekomunikacije kao podršku medicinskim servisima. Na osnovu ovog jasno je da je neophodna standardizacija u skladu sa elektronskim komunikacijama. S druge strane, mora se obezbediti da medicinski zapisi budu unificirani i potpuno iskoristljivi na svim geografskim područjima. Stoga je ITU (međunarodna unija za telekomunikacije) uočila važnost obezbeđivanja interoperabilnosti sistema za telemedicine i telezdravstvo. Jedna od radnih grupa ITU je zadužena da, u okvirima multimedijalnih sistema, razvije standarde iz ove oblasti.

Cilj standardizacije je da se telemedicinski servisi mogu očitavati, po potrebi i obrađivati na različitim platformama, odnosno da se mogu prenositi bilo kojom mrežom, da ne trpe posledice od umrežavanja, promena protokola i sličnih procesa u samoj mreži. Takođe je važno uočiti promene navika korisnika ovih informacija. U početku razvoja telemedicine smo očekivali da signal bude prenet, a sada signal postaje slika, serija slika, serija audiovizuelnih sekvencija.

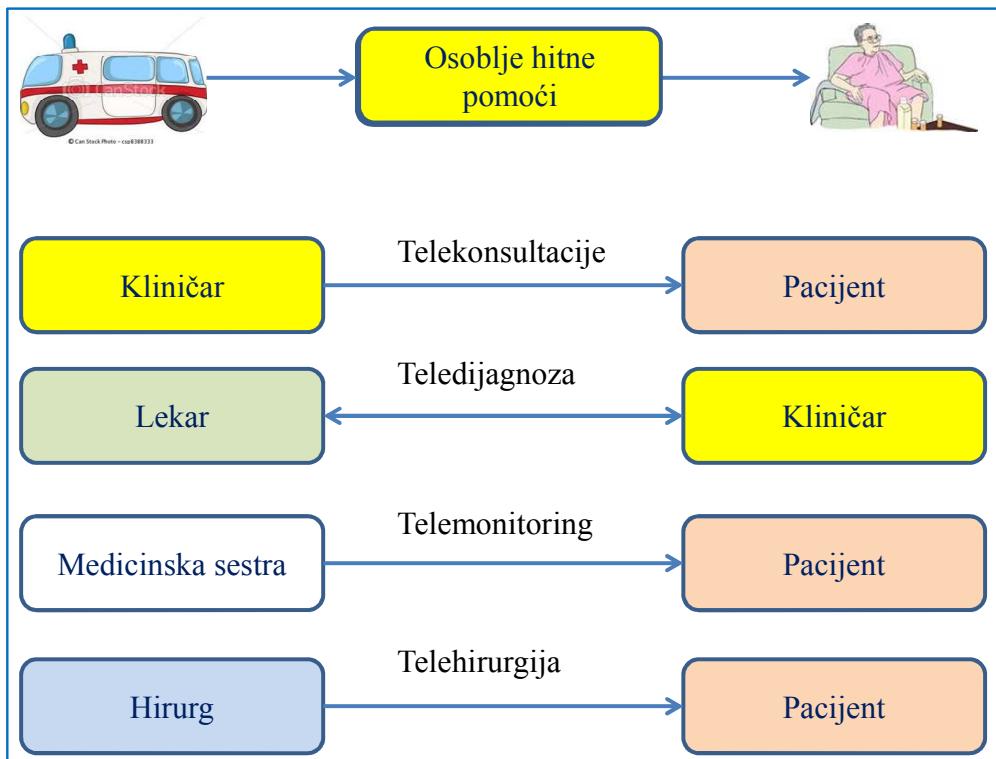


Slika 2.5. Pojednostavljeni koncept telemedicine.

Na slici 2.5. je prikazan najjednostavniji model telemedicinskog servisa u kome se akvizicija medicinskih podataka vrši na strani pacijenta, i dalje prenosi, sa jedne strane od udaljenog medicinskog osoblja koje vrši obradu i pregled dobijenog materijala radi davanja dijagnoze, a, u isto vreme, šalje u arhiv i tako dopunjuje medicinski karton dotičnog pacijenta. Veza pacijenta i udaljenog medicinskog osoblja treba da omogući interaktivnu komunikaciju. Dvosmerna veza medicinskog osoblja i arhive obezbeđuje da se u pregledanju materijala koristi informacija koja je ranije smeštena u arhivu i koja daje uvid u razvoj bolesti, odnosno stanja pacijenta.

Dakle, telemedicinski servis može biti vrlo jednostavan kao što je konsultacija dva lekara. Nekada je, međutim, to prenos informacija sofisticiranom medicinskom mrežom koja podržava sve zahteve složenog hirurškog zahvata.

Na slici 2.6. je grubo prikazan skup servisa koji se mogu javiti u telemedicinskom sistemu. Skup se može proširiti, ali ono što se sa slike jasno vidi kao zajedničko je prenošenje medicinske informacije od jednog do drugog učesnika. Svaka aplikacija za sobom povlači drugačije tipove informacija. Na primer, telekonsultacija podrazumeva davanje saveta pacijentu. Sa druge strane, teledijagnoza zahteva komunikacioni link i vezu eksperata kojima je najčešće potrebno da i sami mogu da izvrše dodatne analize snimaka, slika 2.7.

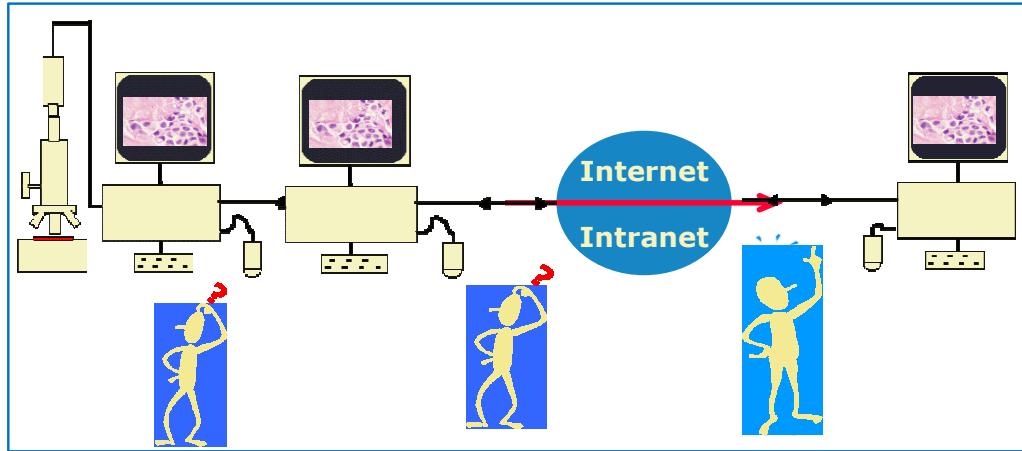


Slika 2.6. Podskup telemedicinske aplikacije koja povezuje različite entitete.

Pri analizi medicinskih slika i drugih informacija, medicinsko osoblje može imati i videokonferencijsku vezu, koja im omogućava da pregledaju i jednovremeno obrađuju materijal, na primer histopatološke preparate. Slika sa digitalnog mikroskopa dostupna je svima.

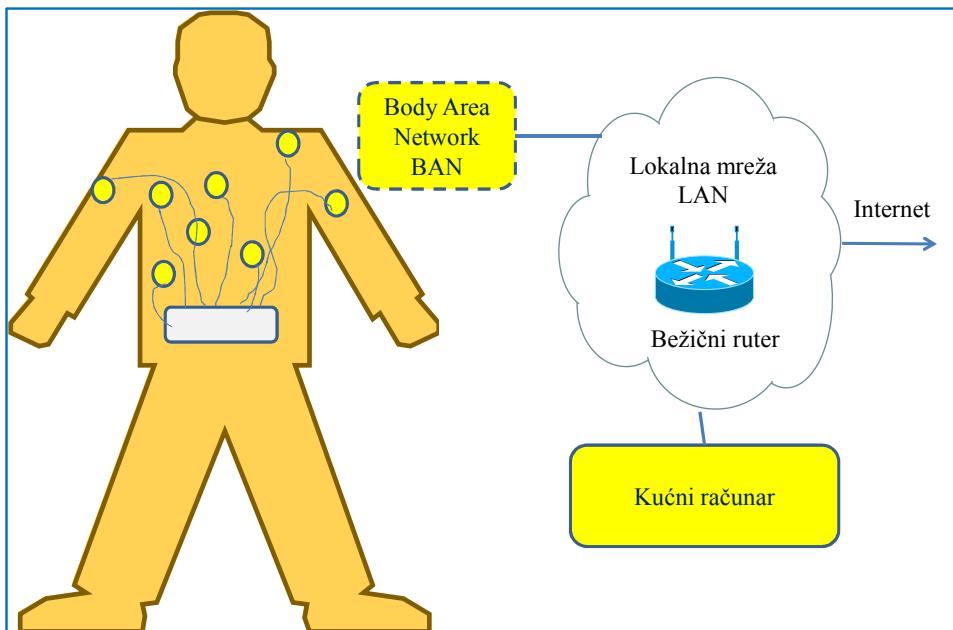
Telemedicinski servisi mogu biti mnogo složeniji od navedenih kada je zbog nesrećnih ili hitnih slučajeva neophodno preneti sliku/video u punoj rezoluciji, bez oštećenja i kašnjenja, do bolnice. Pored videokonferencijskog sistema, tada bi se moralo obezbediti pretraživanje i prevlačenje informacija iz pacijentovog kartona u realnom vremenu, što zahteva postojanje složenog medicinskog informacionog sistema obogaćenog pouzdanim softverom koji upravlja njime.

U slučaju da su pacijentu ugrožene vitalne funkcije, informacija vezana za njegov medicinski karton, bila bi neophodna i osoblju koje još u bolničkim kolima ukazuje prvu pomoć. To zahteva specifičnu opremu telekomunikacionog tipa.



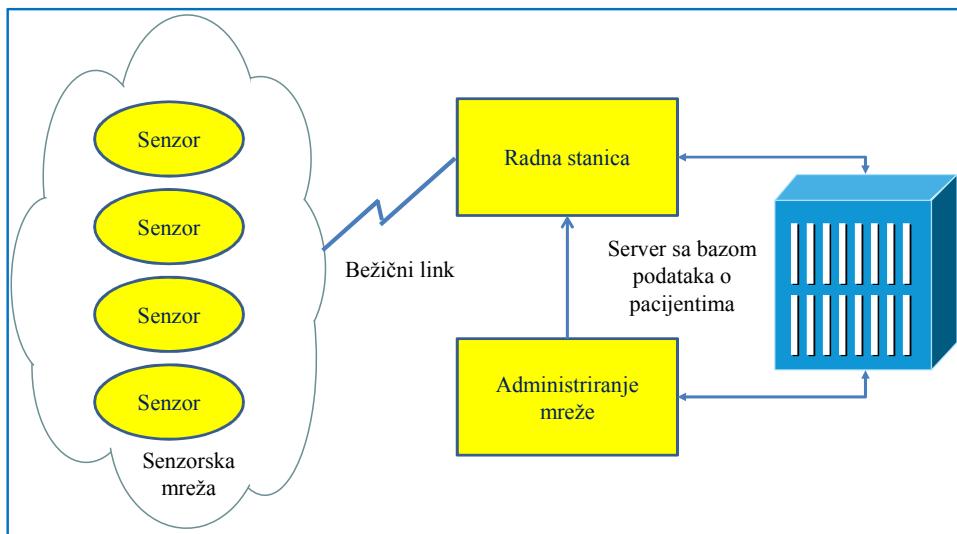
Slika 2.7. Teledijagnoza se može vršiti daljinski koristeći iskustva većeg broja eksperata.

Telemonitoring pacijenata u savremenim mrežama, slika 2.8, uključuje korišćenje malih bežičnih biosenzora koji formiraju mrežu na ljudskom telu (BAN, *Body Area Network*). Signali sa pojedinačnih senzora se prikupljaju na konzoli sa koje se bežičnim vezama svi zajedno šalju na procesiranje u udaljenu medicinsku ustanovu.



Slika 2.8. BAN – Mreža senzora na ljudskom telu.

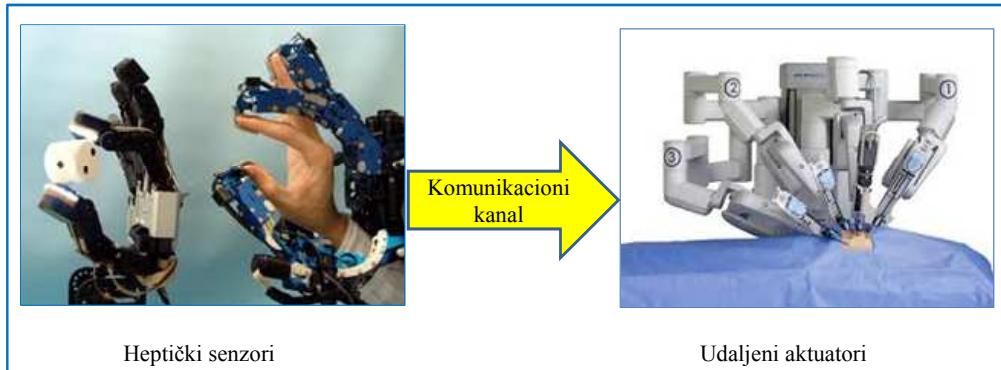
Na slici 2.8. se mogu uočiti razgraničenja tri vrste međusobno povezanih mreža. Prvu čini niz senzora na telu pacijenta (BAN). Za mnoge primene, vrlo je bitno obezbediti prikupljanje podataka o stanju pacijenta u njegovom normalnom, aktivnom životu, što nam senzori omogućavaju. Podaci koji se prikupe u BAN mreži, šalju se ka lokalnoj mreži (LAN, *Local Area Network*). U LAN-u se prikupljaju i procesiraju podaci, slika 2.9. Najčešće je to lokalna mreža u stanu pacijenta. LAN služi kao most između BAN i mreže širih razmara, MAN (*Metropolitan Area Network*). Mreža medicinskog centra, kao i lokalna mreža u stanu pacijenta, umrežene su preko MAN mreže.



Slika 2.9. MAN – Mreža.

Telehirurgija predstavlja najsloženiji servis naveden na slici 2.6. Zbog preciznosti koja se zahteva u ovom servisu, potrebno je dobro usaglasiti performanse opreme koja se nalazi na dve udaljene lokacije. Hirurg koristi heptičke senzore pomoću kojih se vrlo precizno i u svim pravcima registruje pokret, slika 2.10. Pokret se prenosi na daljinu gde se operacija vrši na pacijentu pomoću aktuatora koji repliciraju trodimenzionalne pokrete. Hirurg, kao najodgovorniji, mora imati verodostojnu sliku procesa koji se pod njegovim rukovodstvom odvija u udaljenoj tački. Stoga pokretna slika mora biti jasna, oštra i dobijena bez velikih kašnjenja, odnosno varijacija kašnjenja. Komunikaciona mreža, stoga, mora biti pouzdana i brza u oba smera. Treba naglasiti da stepen kompresije i izbor kompresionog standarda za video signal koji se ovom prilikom prenosi mora biti značajno manji nego u slučaju videa koji se koristi u industriji zabave. Komprimovani sadržaji se pre slanja zaštićuju

složenim zaštitnim kodovima čime prenošeni signal postaje robusan i manje osetljiv na smetnje u prenosu. Dakle, u slučaju telehirurgije, primenjuju se visoki stepeni zaštite signala.



Slika 2.10. Važne komponente telehirurgijskog sistema.

U razvoju telemedicinskih aplikacija je potrebno primeniti visok stepen zaštite same mreže, odnosno medicinskih sadržaja.

## LITERATURA

- [BLO08] Bernd Blobel, Peter Pharow, Michael Nerlich, eds., *eHealth: Combining Health Telematics, Telemedicine, Biomedical Engineering and Bioinformatics to the Edge*, IOS Press, 2008, ISBN 978-1-58603-835-9.
- [BUR03] G. Burg, *Telemedicine and Teledermatology*, S. Karger AG, 2003, ISBN 3-8055-7463-0.
- [CHR11] Anargyros Chryssanthou, Ioannis Apostolakis, Iraklis Varlamis, *Certification and Security in Health-Related Web Applications: Concepts and Solutions*, Medical Information Science Reference, 2011, ISBN 978-1-61692-895-7.

- [CRU10] Maria Manuela Cruz-Cunha, Antonio J. Tavares, Ricardo Simoes, *Handbook of Research on Developments in E-Health and Telemedicine: Technological and Social Perspectives*, Medical Information Science Reference, 2010, ISBN 978-1-61520-670-4.
- [DAR00] Adam William Darkins, Margaret Ann Cary, *Telemedicine and Telehealth - Principles, Policies, Performance, and Pitfalls*, Springer Publishing Company, 2000. ISBN 0-8261-1302-8.
- [DJA00] N. Djaja, B. Reljin, P. Kostić, I. Reljin, “Telemonitoring in cardiology – ECG transmission by mobile phone”, *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 63-66, 2000
- [DYR04] Joseph F Dyro, *Clinical Engineering Handbook*, Elsevier Inc. 2004, ISBN: 0-12-226570-X
- [FON11] Bernard Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine technologies : information technologies in medicine and telehealth*, John Wiley & Sons, 2011, ISBN 978-0-470-74569-4.
- [KLD11] Ekaterina (Eka) Kldiashvili, *Grid Technologies for E-Health: Applications for Telemedicine Services and Delivery*, Medical Information Science Reference, 2011, ISBN 978-1-61692-010-4.
- [KUM08] Sajeesh Kumar, Jacques Marescaux (Eds.), *Telesurgery*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 2008, ISBN 978-3-540-72998-3.
- [MAH01] Marlene Maheu, Pamela Whitten, Ace Allen, *E-health, telehealth, and telemedicine: A guide to start-up and success*, 2001, Jossey-Bass, Wiley e-book, ISBN 0-7879-4420-3.
- [MOU11] Anastasius Moumtzoglou, Anastasia Kastania, *E-Health Systems Quality and Reliability: Models and Standards*, Medical Information Science Reference, 2011, ISBN 978-1-61692-843-8.
- [NOR02] A. C. Norris, *Essentials of Telemedicine and Telecare*, John Wiley & Sons., 2002, ISBN 0-471-53151-0
- [OGI08] Marek R. Ogiela, Ryszard Tadeusiewicz, *Modern Computational Intelligence Methods for the Interpretation of Medical Images*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, ISBN 978-3-540-75399-5
- [REL00] B. Reljin, I. Reljin, “Telemedicine in multimedia environment”, pp. 22-107 in Spasic P, Milosavljevic I, Jancic Zguncas M, Eds. (2000), text book “Telemedicine”, Belgrade, Academy of Medical Sciences of Serbian Medical Association”

- [REL01] I. Reljin, B. Reljin, “Telecommunication requirements in telemedicine”, *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 53-62, 2001.
- [ROD99] James A. Rodger, Parag C. Pendharkar, *Telemedicine and Business Process Redesign at the Department of Defense*, Idea Group Publishing, 1999.
- [SEM04] John L. Semmlow, Biosignal and Biomedical Image Processing - Matlab-Based Application, Marcel Dekker, 2004, ISBN: 0-8247-4803-4
- [SEM05] John L. Semmlow, *Circuits, Systems, and Signals for Bioengineers: A Matlab-Based Introduction*, Elsevier, 2005, ISBN: 0-12-08-8493-3
- [SIL05] Barry G. Silverman, Ashlesha Jain, Ajita Ichalkaranje, Lakhmi C. Jain (Eds.), *Intelligent Paradigms for Healthcare Enterprises - Systems Thinking*, Springer, 2005, ISBN-10 3-540-22903-5
- [SOY12] Hans Peter Soyer, Michael Binder, Anthony C. Smith, Elisabeth M. T. Wurm, eds, *Telemedicine in Dermatology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012, ISBN 978-3-642-20800-3
- [TAN99] Hüseyin Tanriverdi, C. Suzanne Iacono, *Toy or Useful Technology? The Challenge of Diffusing Telemedicine in Three Boston Hospitals*, Idea Group Publishing, 1999.
- [WOO05] Richard Woottton, Jennifer Batch, *Telepediatrics: Telemedicine and Child Health*, Royal Society of Medicine Press, 2005, ISBN 1-85315-645-0.
- [XIA08] Yang Xiao, Hui Chen, eds, *Mobile Telemedicine - A Computing and Networking Perspective*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008, ISBN-13: 978-1-4200-6046-1.

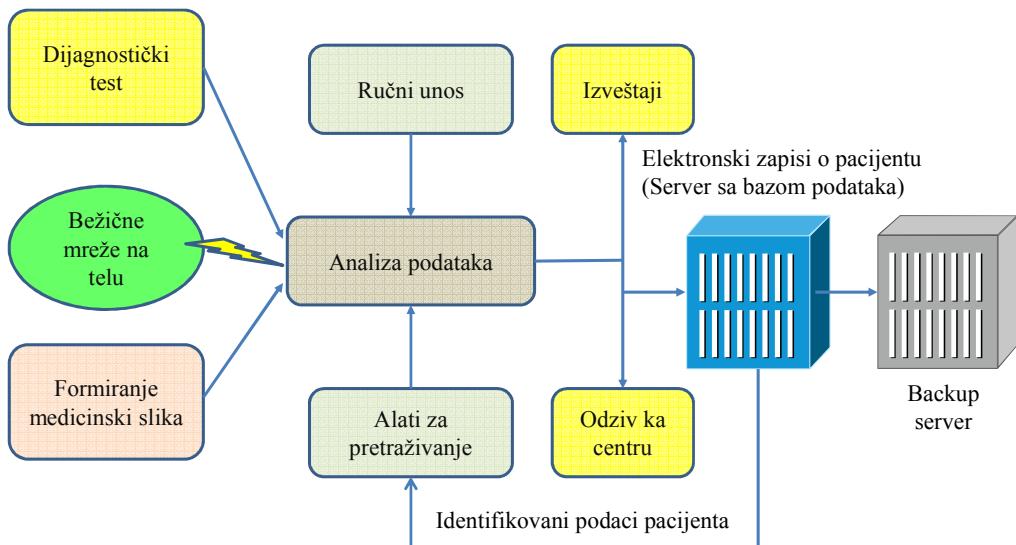


### *3. Medicinski signali*

Među različitim multimedijalnim servisima telemedicina ima, možda, najstrožije zahteve [FON11]. Mada je princip telemedicine veoma jednostavan: prihvataju se podaci sa različitih senzora i prenose drugim centrima na obradu i dijagnozu, realizacija je veoma složena s obzirom na veoma složene tehničke zahteve. Tu se, pre svega, javlja potreba za obradom, prenosom, arhiviranjem i pretraživanjem veoma velikog broja izuzetno velikih fajlova, kao što su medicinske slike.

Na samom početku razvoja telemedicine velika pažnja je bila posvećena radiologiji i patologiji, a danas se nalaze primene i u drugim oblastima medicine kao što su: kardiologija, dermatologija, oftalmologija, neurologija, ortopedija i hirurgija. Eksplozivan razvoj tehnologije je pružio neslućene mogućnosti ovom razvoju. Osnovna prednost je u tome što isključuje (ili umanjuje) potrebu za fizičkim kretanjem pacijenata ili medicinskog osoblja do odgovarajuće medicinske ustanove. Takođe, osnovni pregled se često vrši na licu mesta: u seoskoj bolnici, ambulantni, bolničkom vozilu ili na terenu, dok se dijagnostika vrši u udaljenom centru koji ima vrhunsko medicinsko osoblje i kompletну dijagnostičku opremu. Time se uklanjuju razlike između jakih medicinskih centara i metropola (čak između razvijenih zemalja, sa jedne strane, i nerazvijenih područja iste ili različitih zemalja), i omogućava se

vrhunska medicinska usluga na širokom internacionalnom nivou. Telemedicinske informacije, zavisno od specijalnosti, mogu da se razmenjuju u vidu jedne od sledećih kategorija: analogni video, tekst (istorija bolesti i slično, što se unosi sa tastature ili se skenira sa papirnog dokumenta), digitalne slike dobijene sa radioloških skenera ili drugih uređaja za akviziciju medicinskih slika, interaktivna videokonferencija. Za kliničke aplikacije koriste se kako slike/video, tako i podaci.



Slika 3.1. Blok šema medicinskog informacionog sistema.

Medicinski materijal je dobijen sa različitih akvizicijskih uređaja. Od njega se zatim formira telemedicinski dokument koji integriše podatke, glas, zvuk, sliku i video, i u formi koja je određena postojećom telekomunikacionom opremom i standardom, šalje ka drugoj strani (ka serveru) gde se vrši prijem dokumenata. Medicinski informacioni sistem, slika 3.1, predviđa da se za sve prikupljene informacije vrši dijagnostički test, a zatim analiza podataka [FON11]. U takvoj analizi je najčešće potrebno pregledati prethodno arhivirani materijal iz kartona pacijenta ili materijal vezan za dijagnozu o kojoj je reč. Tada se vrše poređenja za koja je neophodno obezbediti slike ili neke druge sadržaje sa sličnim simptomima. Stoga, se u medicinski informacioni sistem uključuje i neki od raspoloživih alata za pretraživanje.

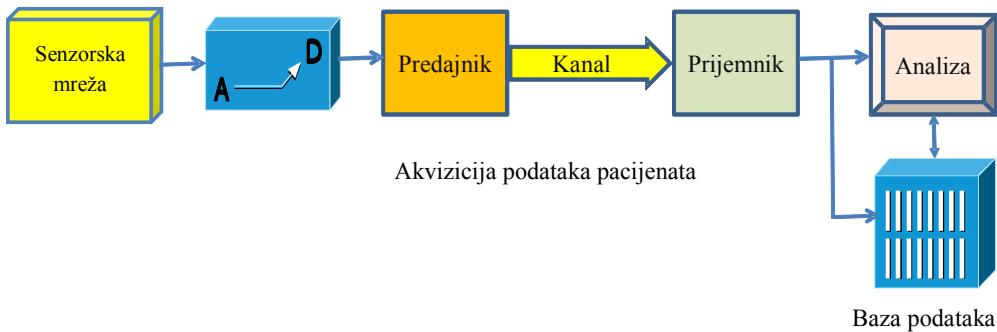
Treba naglasiti da su razvijene raznovrsne metode za obradu i prenos slika, kao i za njihovo arhiviranje, a koje su posebno namenjene medicinskim aplikacijama. I pored toga, postoji veliki broj slika, pokretnih i nepokretnih, koje se u telemedicini generišu na klasičan način, uobičajen za druge aplikacije. U takvim slučajevima, kao i

u situaciji u kojoj se koristi audio signal, obrada sadržaja prethodi kompresiji i arhiviranju, poznatim u oblasti multimedije.

Imajući u vidu gore navedeno, kao i čitaoce kojima je ovo izdanje namenjeno, ovde će biti u osnovnim crtama objašnjene kompresije koje su autori standarda predložili za upotrebu, pa čak i eksplisitno definisali kao osnovu telemedicinskih servisa.

### 3.1. JEDNODIMENZIONALNI SIGNALI U TELEMEDICINI

Veliki broj medicinskih signala (EKG, EEG) je jednodimenzionalnog tipa. Pored toga, u vreme monitoringa pacijenata, prikuplja se mnogo jednostavnih aritmetičkih podataka (o krvnom pritisku, temperaturi tela, disanju, itd.). S obzirom da se monitoring vrši kontinuirano u vreme intervencija, intenzivne nege ili samo iz predostrožnosti, kada o potrebi za merenjem vitalnih parametara postoje jasne indikacije, formiraju se često dugi nizovi podataka u obliku vremenskih serija. U zavisnosti od frekvencije kojom se podaci prikupljaju ili odmeravaju, kao i od rezolucije iskazane, između ostalog, brojem bita po jednom odmerku, dobijaju se manje ili više zahtevne sekvene koje treba prenositi do medicinskog centra, odnosno koje treba arhivirati.



Slika 3.2. Sistem za akviziciju, analizu i arhiviranje podataka o pacijentima.

Senzorska mreža sistema za akviziciju, slika 3.2., često se postavlja na telo pacijenta. Ukoliko je neophodno voditi računa o raspoloživim resursima, a u situaciji da to ne ugrožava stanje pacijenta, odmeravanje signala se vrši grubo, tabela 3.1. U bolničkim uslovima, odnosno u hitnim intervencijama u bilo kakvoj vanrednoj situaciji, dobro opremljena bolnička kola slaće bežičnim putem veliku količinu podataka na obradu u medicinski centar. Takode, iz centra se mogu prenositi podaci o

pacijentu, nekada čak i medicinske slike. Stoga je neophodno obezbediti mrežu koja podržava velike protoke.

Tabela 3.1. Monitoring vitalnih funkcija ljudskog organizma korišćenjem senzorske mreže postavljene na ljudsko telo [VAR09].

Talasni oblik	Vitalne funkcije	Frekvencija odmeravanja	Kvantizacija	Ukupni protok
	Broj udisaja u vremenu	1 odm/s	4 bit/odm	4bps
	EKG signal	240 odm/s	12-36 bit/s	2.9-8.7 kbps
	Krvni pritisak	1 odm/min	64 bit/odm	1 bps
	Zasićenost kiseonikom	1 odm/s	16 bit/odm	16 bps
	Unutrašnja temperatura tela	1 odm/min	16 bit/odm	0.3 bps

Dakle, u realnim situacijama u telemedicinskoj mreži se mogu javiti, po potrebnim kapacitetima, vrlo različiti zahtevi. Istaknimo još jednom da se podaci u tabeli 3.1, odnose na BAN (senzorske mreže na telu čoveka), pa se u nekim

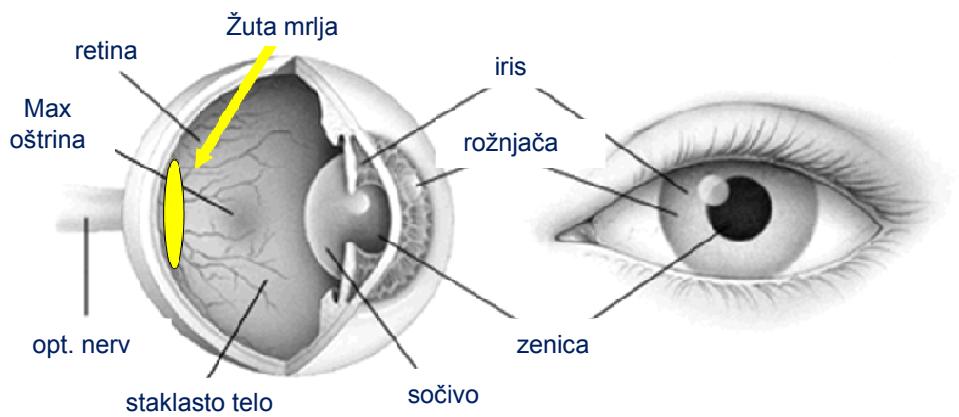
slučajevima, kao što je snimanje EKG signala, broj mernih tačaka (korišćenih elektroda) prilagođava takvim uslovima [DJA00]. U slučaju korišćenja mobilne mreže elektronskih komunikacija, umesto takozvanog 12 elektrodnog sistema, koji se koristi pri merenjima u bolničkim uslovima, snimanje signala srčanog ritma vrši se samo sa tri elektrode. Na ovaj način se uobičajeno prenosi informacija o statusu pacijenta sa ciljem uočavanja rizičnih promena. Precizni detalji, neophodni u studioznoj analizi srčanog ritma, na primer pri dijagnostikovanju složenih oboljenja, odnosno u pripremi hirurških intervencija, zahtevaju punu rezoluciju i poređenja sa drugim podacima iz pacijentovog kartona.

U nekim slučajevima u intenzivnoj nezi, ili za vreme hirurških intervencija na srcu, vrši se monitoring krvnog pritiska. Neki od vitalnih parametara se snimaju u toku čitavog dana, često i jednovremeno, a dobijene serije podataka se dalje koriste za detaljnije analize ili edukaciju. Merenje zasićenosti kiseonikom, takođe, može biti indikator ozbiljnih oboljenja, tako da i taj parametar predstavlja predmet monitoringa.

Jednodimenzionalni signali, u poređenju sa slikom, a posebno videom, proizvode značajno manju količinu podataka pri digitalizaciji. I pored toga, u prenosu ovih signala je potrebno koristiti sistem za kompresiju.

### 3.2. DVODIMENZIONALNI SIGNALI U TELEMEDICINI

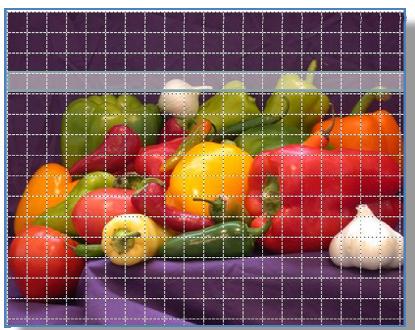
Dvodimenzionalni signali, koji su značajni za telemedicinu se prikupljaju na različitim senzorima koji zavise od oblasti medicine kojoj su namenjeni. Senzori sistema za akviziciju, s obzirom da su specifični i da sami po sebi ne zadiru u suštinu telemedicinskih servisa, nisu predmet ove knjige.



Slika 3.3. Građa oka.

### 3.2.1. Formiranje slike

U nekim medicinskim slikama, u oblasti patologije, dermatologije ili kada je potrebno izvršiti digitalizaciju već postojeće, klasične medicinske slike, senzori su ili identični, ili veoma slični onima koji se koriste u uobičajenim foto aparatima, odnosno video kamerama. Ono što ih razlikuje može biti izrazito velika rezolucija, odnosno specifične obrade signala koje slede. Sa ciljem da se istaknu problemi sa kojima se svakodnevno susrećemo u telemedicini, kao što su obrada i arhiviranje, odnosno prenos slike, ovde će ukratko biti objašnjen način njenog formiranja.



(a)



(b)

Slika 3.4. Slika "Paprike": (a) Originalna;  
(b) Nivo sivog u liniji naznačenoj na slici (a).

Kao što je poznato, u percepciji vizuelnih informacija, veoma važan element je žuta mrlja (slika 3.3.) koja se nalazi u očnom dnu. Ona sadrži fotoreceptore tzv. čepiće koji registruju boju. Van žute mrlje pretežna je koncentracija fotoreceptora štapićastog oblika, osjetljivih na osvetljaj (monohromatska predstava našeg vizuelnog događaja). Broj štapića je mnogo veći i pokazuje se da je ljudsko oko znatno osjetljivije na promene osvetljaja nego na boju.

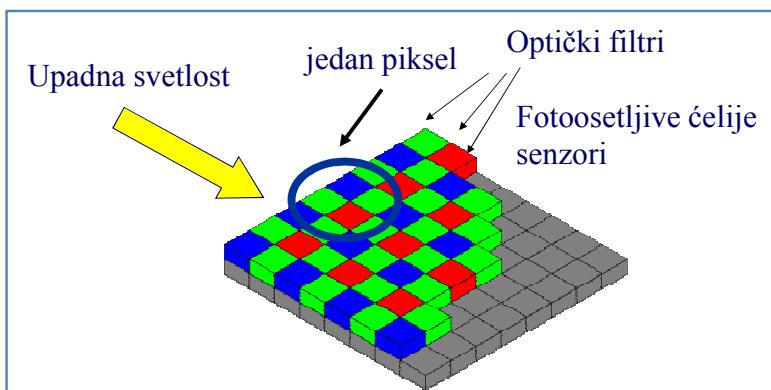
Pokazalo se da čepiće čine tri grupe ćelija. Svaka od ovih grupa osjetljiva je na opseg talasnih dužina. Jedna od njih, zvaćemo je grupom fotoreceptora "osjetljivih na crvenu boju", maksimalnu osjetljivost ima u opsegu 680-700 [nm]. Sledеće dve grupe su "osetljive" na zelenu (oko 570[nm]), odnosno plavu (oko 420[nm]) boju.

U prethodnom veku su vršena iscrpna proučavanja osobina ljudskog vizuelnog sistema (HVS, *Human Visual System*) kako bi se što vernije, ekonomičnije i jednostavnije, formirala, arhivirala ili predstavila slika. U fotografiji se prvo pojavila monohromatska, *grey scale* slika (slika na skali sivog), kao najjednostavnija. Akvizicija te slike se vrši srazmerno količini svetlosti iz čitavog vidljivog dela spektra koja pada na fotoosetljivi sloj kamere. Električni signal na izlazu kamere je srazmeran sjajnosti u slici, slika 3.4. Na slici se uočavaju najmanji elementi slike pikseli (*picture element - pixel*). U postupku akvizicije je neophodno naznačiti da je rezolucija slike određena brojem piksela u slici kao i brojem amplitudskih nivoa kojim se prikazuje vrednost signala koja odgovara pojedinim pikselima. Naglasimo da formati slike, određeni brojem piksela po liniji i linija po slici, mogu biti veoma različiti u zavisnosti od aplikacije, generacije uređaja za akviziciju i prikaz i mnogih drugih razloga.

Sa željom da se u film i televiziju uvede slika u boji, bilo je potrebno odrediti neke od zakonitosti vezane za doprinose pojedinih boja monohromatskoj predstavi slike. Vršena su empirijska ispitivanja i pokazalo se da je ukupna sjajnost (luminanse), koju ljudsko oko registruje određena sledećom relacijom:

$$Y = 0.29 R + 0.59 G + 0.11 B \quad (3.1)$$

gde su R, G i B maksimalni doprinosi pojedinih boja (crvene, zelene i plave, respektivno) u upadnoj svetlosti [NAI08]. Veličinu Y ćemo zvati luminentna komponenta slike. Dakle, prikaz monohromatske slike koji u potpunosti odgovara karakteristikama ljudskog vizuelnog sistema, crvena boja doprinosi sa skoro 29%, zelena sa 59%, a plava samo sa 11%.



Slika 3.5. Senzor video signala.

Za sliku u boji, potrebno je obezbiti informaciju koja odgovara karakteristici ljudskog vizuelnog sistema. Način na koji je slika u boji formirana u

televiziji iniciran je građom oka, tako da su uvedena tri primara R,G,B (čije su talasne dužine standardizovane) kao referentne vrednosti za boje. U kameri se, ispred senzora, koriste optički filtri koji izdvajaju opsege talasnih dužina koje odgovaraju uvedenim primarima, slika 3.5. Iza senzora se dobijaju električni signali srazmerni udelu spektralnih komponenata lociranih oko maksimuma osetljivosti pojedinih filtera (tj. R,G,B doprinosa). Prikaz slike na ekranu vrši se upravo koristeći RGB informaciju.



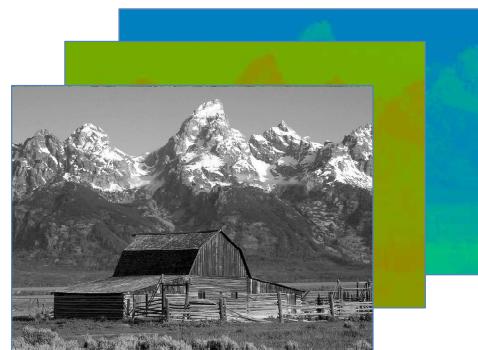
(a)



(b)

Slika 3.6. Slika "Ambar":

- (a) Originalna slika,
- (b) RGB slike,
- (c) YCrCb slike.



(c)

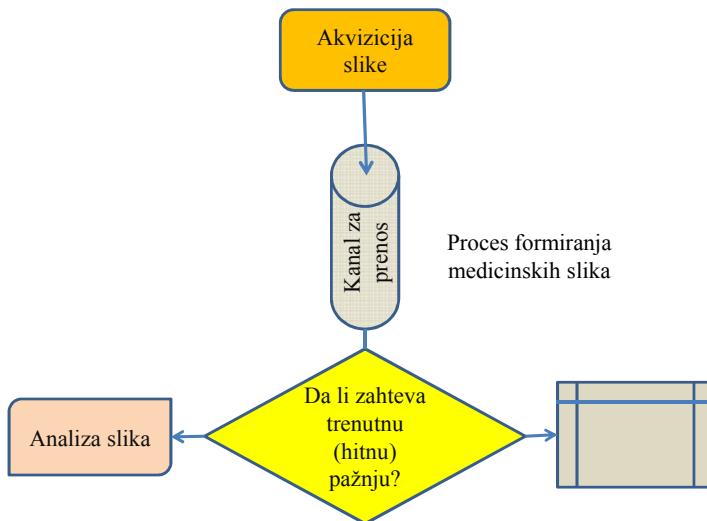
Pored ovog grubog objašnjenja nastajanja slike u boji, potrebno je upoznati i način na koji se ona prenosi, arhivira, odnosno obrađuje. Svakako da bi prirodan zaključak bio da je neophodno preneti informaciju o veličini tri signala R,G,B. Potrebno je, međutim, podsetiti se da je ljudsko oko najosetljivije na podatak o sjajnosti, tj. luminentnoj komponenti slike Y (najbrojniji fotoreceptori su štapići koji doprinose toj osetljivosti). Takođe je pokazano da oko sitne detalje u slici (koji odgovaraju visokim prostornim frekvencijama) ne vidi u boji. Ova pojava je iskorišćena tako da se umesto prenosa R, G i B signala, prenosi luminentna

komponenta Y u punoj rezoluciji, kao i dve hrominentne: Cr (srazmerna sa R-Y) i Cb (srazmerna sa B-Y) uobičajeno u smanjenoj rezoluciji. Napomenimo da ovakav izbor komponenata datira još iz analogne televizije, ali se pokazao kao veoma efikasan i u digitalnoj slici i digitalnom videu, tj. generalno u multimediji.

Iz svega zaključujemo da pri arhiviranju ili prenosu, danas podrazumevamo tri slike Y, Cr i Cb. Na osnovu njihovih sadržaja i izraza 3.1. rekonstruiše se slika na prijemnoj strani. Obradu slike je, međutim, moguće vršiti i na RGB nivou. Važno je uočiti da kolor slike, na primer "Barn" ("Ambar") prikazanu na slici 3.6.a, u svakom slučaju čine tri komponente, RGB (slika 3.6.b), odnosno YCrCb (slika 3.6.c).

### 3.2.2. Kompresija slike

U telemedicini se slike najčešće prvo prenose do medicinskog centra gde se vrši ili trenutna obrada ili arhiviranje vezano za karton pacijenta [FON11], slika 3.7. U svakom slučaju, radi se o velikoj količini informacija koju je potrebno redukovati najčešće i pre prenosa. Stoga je veoma važno istaći potrebu za kompresijom slika, bez obzira na koji su način one formirane.

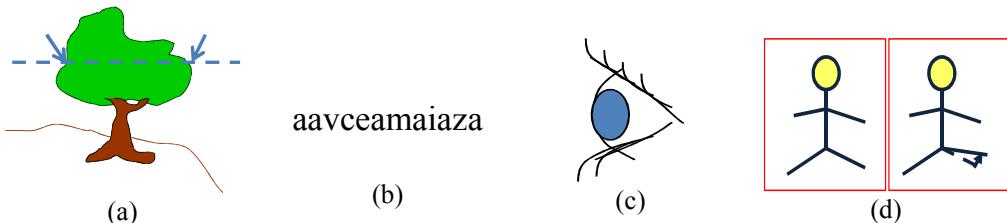


Slika 3.7. Akvizicija, obrada i arhiviranje medicinskih slika.

Uspešna redukcija količine podataka odstraniće prvo redundansu u osnovnom signalu i tako obezbediti zadovoljavajuću rekonstrukciju. Dakle, smanjenu količinu podataka imaćemo u prenosu i arhiviranju. Uobičajeno, na mestu prikaza slike (ili

videa) želimo da imamo što veću količinu informacija (sa izuzetkom prikaza na malim ili lošim monitorima, odnosno u nekim posebnim slučajevima).

Imajući u vidu objašnjenje iz prethodnog poglavlja, kao i sliku 3.6, napomenimo da će sva objašnjenja biti data za luminentnu sliku Y, podrazumevajući da važe i za dve hromenintne Cr i Cb. Takođe, s obzirom da je luminentna slika u višoj, a u najgorem slučaju u istoj rezoluciji u odnosu na hrominentne, uobičajeno je da se iz nje izdvajaju informacije važne za kompresiju i rekonstrukciju.



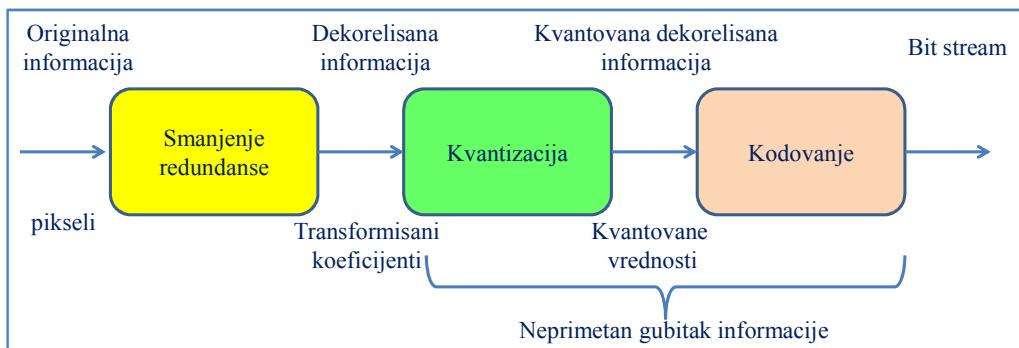
Slika 3.8. Tipovi suvišnosti u video signalu: (a) prostorna; (b) statistička; (c) psihovizuelna (HVS); (d) vremenska.

Da bi se kompresija bilo kog signala izvršila, potrebno je poznavati prirodu tog signala, odnosno uočiti šta čini suvišnost u njemu. Na slici 3.8. su simbolički prikazane vrste redundanse koje postoje u video signalu. Svaka od njih unosi specifičnosti:

- Prostorna redundansa* - postoji u delovima slike sa homogenom strukturom, slika 3.8.a. Uočava se da je, na prikazanoj slici krošnja drveta, stablo, pa čak i pozadina, homogena (u realnim slikama tu bi se mogle uočiti neke teksture). S obzirom da je velika verovatnoća da se sadržaji susednih piksela malo razlikuju, pokazalo se kao pogodno prenositi razliku njihove razlike a ne stvarne vrednosti. Time se, pored malih brojeva, dobija i veliki broj susednih nula. Dugi niz nula bi se dobio u slučaju kodovanja naznačene linije na krošnji drveta. Umesto kodovanja, na primer 100 susednih nula, u ovom slučaju bi se moglo upotrebiti RLC (*Run Length and Level Coding*) kodovanje, čime se konstatuje da treba preskočiti 100 pozicija (*100 Runs*), a da se na sledećoj poziciji nalazi nenulti element specificirane vrednosti. Dekoder automatski dodaje 100 pozicija sa istim sadržajem, onim koji je izračunat.
- Statistička redundansa* - omogućava da se za strukture koje se često ponavljaju odaberu kratke kodne reči, a za one sa malom verovatnoćom pojavljivanja dugačke. To znači da će dužina kodne reči biti srazmerna verovatnoći pojavljivanja strukture (vrednosti piksela, koeficijenata u

transformacionom domenu) koju opisuje. Ovo je inače karakteristika kodovanja sa promenljivom kodnom reči (VLC, *Variable Length Coding*). Koder i dekoder sadrže takozvane "look-up" tabele iz kojih očitava kodne reči. *Look-up* tabele su prethodno, po izračunavanju verovatnoća pojavljivanja pojedinih reči, a na velikom broju uzoraka, oformljene i deo su standarda.

3. *Psihovizuelna redundansa* - je posledica prirode ljudskog vizuelnog sistema, HVS. Jedna od karakteristika je vezana za nemogućnost oka da detalje u daljinji vidi u boji. HVS se uobičajeno uvodi kao matrica koeficijenata kojima se umanjuju vrednosti komponenata koje opisuju delove slike u transformacionom domenu. Uobičajeno se primenom transformacije klasteruju podaci u grupe sa velikom i malom energijom, čime se olakšava odbacivanje niskoenergetskih koeficijenata. Kada se tome doda još i deljenje empirijski dobijenim HVS koeficijentima, jasno je da se može postići značajna kompresija.
4. *Vremenska redundansa* - je prisutna samo kod pokretnih slika, dakle u videu. S obzirom da je za piksele koji se nalaze na istim prostornim koordinatama, a u susednim slikama u video signalu, verovatnoća da imaju isti sadržaj velika, suvišnost u videu bi se mogla umanjiti izračunavanjem razlike susednih slika. Slika 3.8.d. prikazuje dve susedne slike (*frame-a*) jednostavne strukture (sa ljudskom figurom). Jedina novina u novoj slici je pomeraj leve noge figure. Stoga se ušteda može postići definisanjem grupe piksela koji su pomereni u odnosu na prethodnu sliku, a da su pri tome zadržali isti izgled. Za te piksele se odredi vektor pomeraja i njegove koordinate se koduju i unose u opis videa. Potrebno je naglasiti da se razlikom slika dobija sadržaj koji u prethodnoj slici nije postojao, te se on mora kodovati na klasičan način, uzimajući u obzir sve prethodno navedene suvišnosti.



Slika 3.9. Ukipanje suvišnosti - dekorelisana informacija.

Prema načinu kodovanja mogu se razlikovati dva tipa slika:

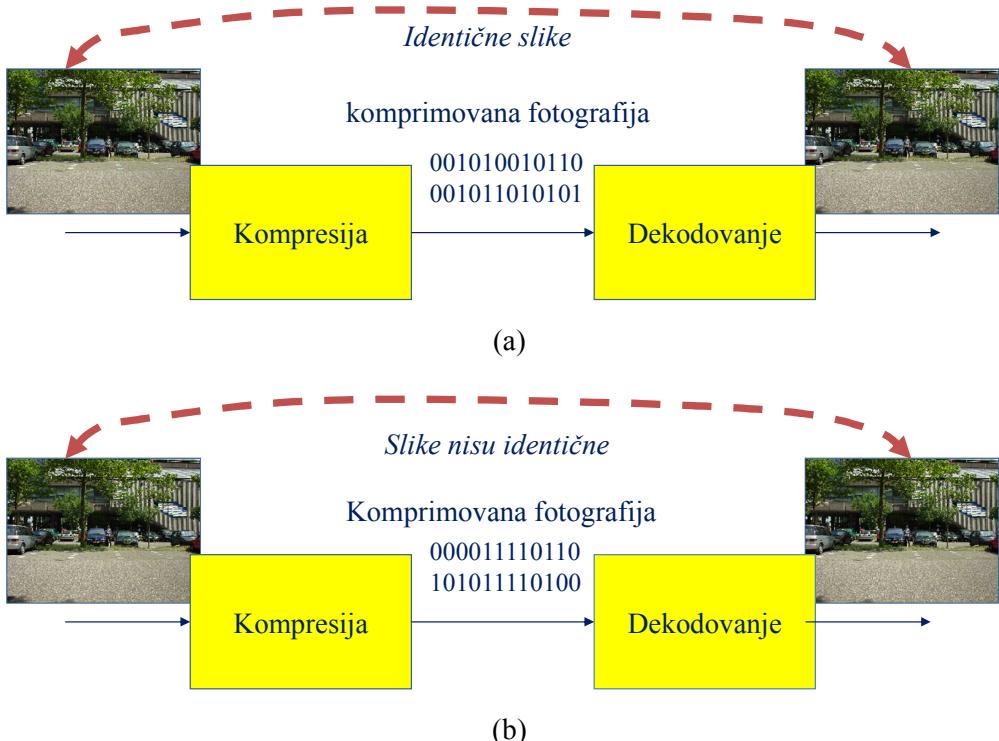
- *Intrakodovana* - odgovara kodovanju unutar jedne slike ili mirnoj slici. U ovom slučaju, umanjuju se prve tri vrste redundanse.
- *Interkodovana* - ova vrsta kodovanja moguća je samo kada se uračunava i vremenska redundansa. U postupku kodovanja se prvo smanjuje vremenska, a zatim i ostale vrste suvišnosti, s obzirom da se u interkodovanju mogu pojaviti i novi sadržaji.

Uklanjanje suvišnosti u slici proizvodi dekorelisanu informaciju, slika 3.9. Sada nam preostaje kvantovanje, tj. zaokruživanje vrednosti piksela ili transformacionih koeficijenata na konačan skup amplitudskih nivoa. Broj amplitudskih nivoa definiše amplitudsku rezoluciju [NAI08]. Ona može biti promenljiva, kontrolisana od korisnika koji bira visok ili neki niži kvalitet kodovanja.

U slučaju video sadržaja razlikujemo:

- a) Varijantu u kojoj se kvalitet može unapred podesiti na neki nivo, definisanjem zahtevanog protoka (na primer  $x[\text{Mbps}]$ ), kada se povećava i smanjuje rezolucija kodovanog signala u skladu sa sadržajem originalnog video materijala. Ako se koduje neka veoma dinamična scena, kodovani materijal zahteva veliki protok, te da bi se ispoštovalo unapred zadato ograničenje, vrši se grubo kvantovanje. Ovo se efektivno svodi na povećanje HVS koeficijenata. U slučaju statičnih scena, zadati protok je dovoljno veliki da omogućava povećanje rezolucije kodovanog materijala (efekat je isti kao da se smanjuju HVS koeficijenti). Ovakav način kodovanja grubo spada u klasu CBR (*Constant Bit Rate*, kodovanje sa konstantnim protokom). Naglasimo da se, zbog promena rezolucije a sa ciljem obezbeđivanja CBR prenosa, kvalitet videa stalno menja (*VQoS, Variable Quality of Service*).
- b) Drugu varijantu video kodovanja koja se odvija bez ograničenja protoka. To je VBR (*Variable Bit Rate*, kodovanje sa promenljivim protokom). U ovom slučaju se podesi kvalitet kodovanja slika i tokom rada se ne menja uticaj HVS koeficijenata. Rezultat je promenljiv protok, a konstantan kvalitet servisa (*CQoS, Constant Quality of Service*).
- c) Varijantu kodovanja unutar statističkog multipleksera, kada se više ulaznih video sekvenci zajedno koduju. Koder sa statističkim multiplekserom izračunava složenost video sadržaja pojedinih sekvenci i shodno izračunatim vrednostima, određuje koji procenat ukupnog protoka treba dodeliti svakoj od sekvenci. Ovo je dinamička dodata resursa; izračunavanje se stalno vrši i protoci se, shodno tome, menjaju. Ovakav način kodovanja se preporučuje za televizijske programe slične složenosti video sadržaja. Uočimo da dinamičke sekvence, na primer sportskih programi, dobijaju najveći deo protoka.

U telemedicinskim aplikacijama treba biti obazriv sa izborom varijante video kodera. Ukoliko je aplikacija najvišeg prioriteta, tada se ne savetuje statistički multiplekser. U takvim primenama se najčešće koristi prenos samo intrakodovanih slika. Time u slučaju naglih promena u signalu, na primer za vreme operacije ili slično, a zbog eventualno grubo odbačene vremenske redundantne, neće doći do neprihvatljivog oštećenja slike.

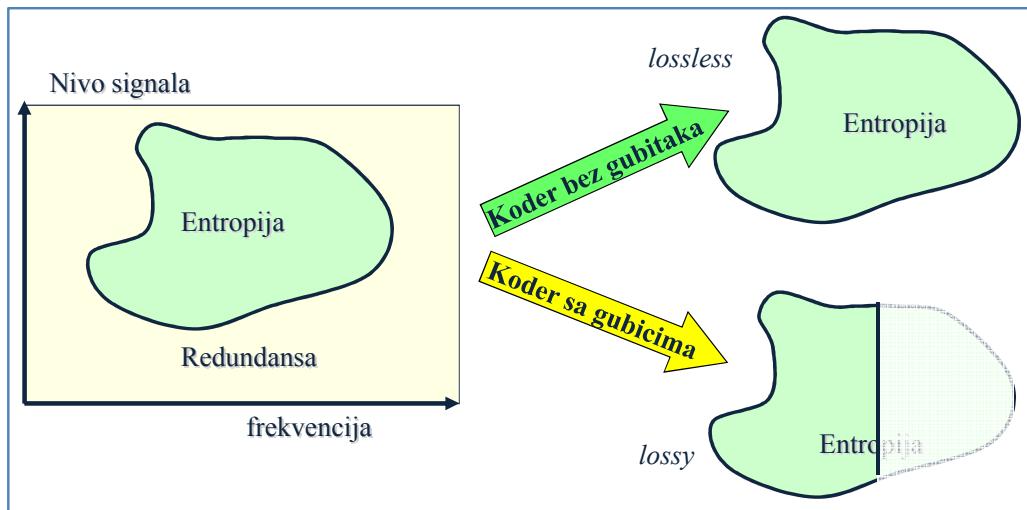


Slika 3.10. Primer kompresije slike: (a) bez gubitaka; (b) sa gubicima.

U zavisnosti od vrste suvišnosti koja će se odstraniti kompresijom, razlikovaće se kompresija sa i bez gubitaka. Pri rekonstrukciji, kompresija koja je obavljena bez gubitaka, daje sliku koja je istog sadržaja i kvaliteta kao originalna, slika 3.10.a. U slučaju primene algoritama koji unose gubitke, rekonstruiše se slika koja je, najčešće prihvatljivog kvaliteta, ali koja nije ista kao original, slika 3.10.b.

Simbolička predstava kompresije bez i sa gubicima prikazana je na slici 3.11. Već je napomenuto da se definije prostorna i amplitudska rezolucija u slici. Prostorna

rezolucija implicitno iskazuje i prostorne frekvencije. Dakle, ako se posmatra količina informacija koja je sadržana u originalnom signalu, konstatuje se da je čini entropija i suvišnost (bilo kog tipa). Entropija predstavlja minimalni iznos informacije po jednom bitu, koji je neophodno zadržati kako bi se sprečila neodređenost u rekonstruisanom signalu.



Slika 3.11. Simbolička predstava kompresije bez i sa gubicima.

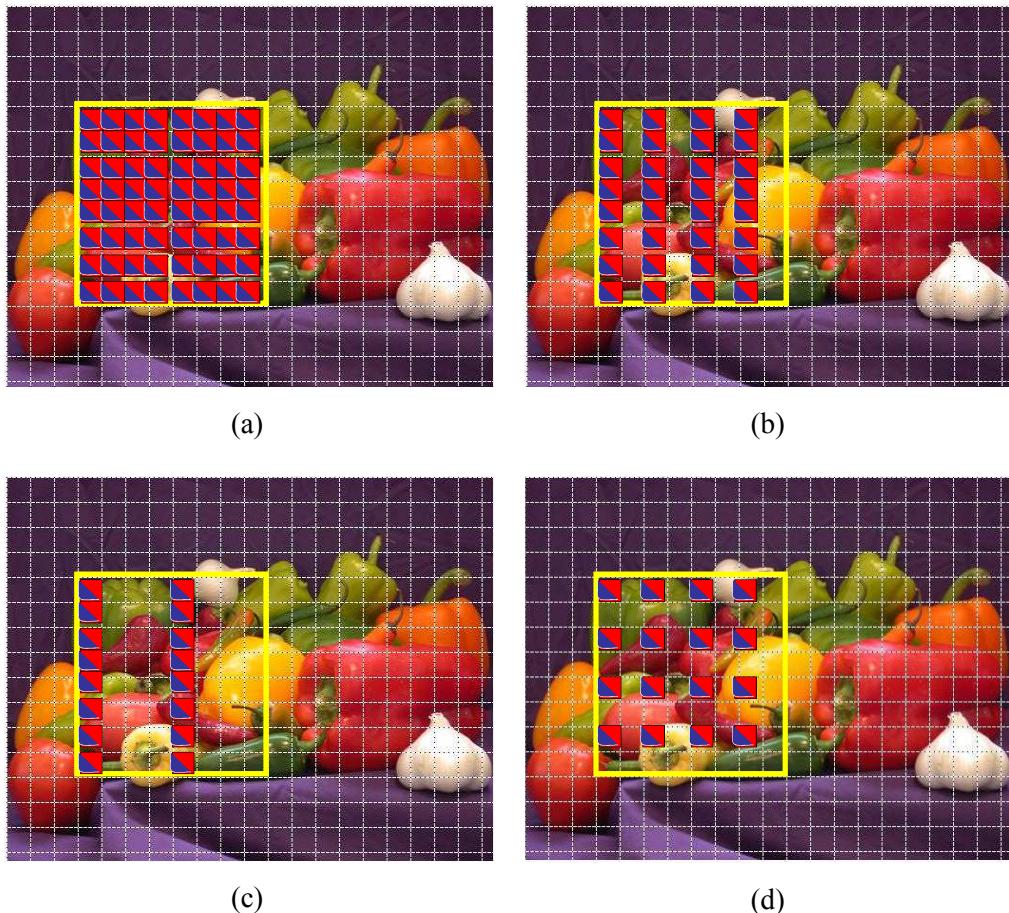
Ako bi se odstranila i kompletna redundansa, ostala bi dekorelisana informacija i pod ovim uslovom, a sa stanovišta količine informacija, imali bismo sve neophodno za jednoznačnu rekonstrukciju originalnog signala. Ovakva kompresija je bez gubitaka.

Ako se, međutim, u kompresiji odstrani količina informacija koja je veća od one koja pokriva redundansu, govorimo o kodovanju sa gubicima.

Pored opisanih načina kojima se uklanja redundansa, neophodno je imati u vidu i mogućnost smanjenja rezolucije za hrominentne slike (luminentna se odmerava uvek u punoj rezoluciji). To se postiže korišćenjem različitih formata odmeravanja hrominentnih komponenata. Kao što je objašnjeno, kolor slika se u prenosu ili arhiviranju predstavlja pomoću jedne luminentne Y i dve hrominentne komponente Cr i Cb. Iza senzora se dobijaju RGB komponente. Formiranje YCrCb slika se obavlja iza blokova sa osnovnim obradama slike. Pri tome je moguće za dve hrominentne slike zadržati istu rezoluciju kao i za luminentnu komponentu, slika 3.12.a. Tada kažemo da je upotrebljen format odmeravanja 4:4:4, jer na 4 luminentna odmerka koristimo 4 Cr i 4 Cb odmerka. Na slici se uočava poklapanje pozicija

hrominentnih piksela (crveni i plavi trougao) sa pozicijama luminentnih piksela koji inače prekrivaju sve piksele slike. Ovako visoka rezolucija hrominentnih slika se koristi samo u studijskim uslovima namenjenim HDTV prenosu, ili u nekim drugim, specijalnim aplikacijama. Količina podataka koja se pri tom dobija je velika.

Pokazalo se da je za standardnu televizijsku sliku i u studijskim uslovima moguće smanjiti rezoluciju dveju hrominentnih komponenata. Stoga se hrominentne komponente Cr i Cb odmeravaju dvostruko nižom frekvencijom po horizontali, dakle sa dvostruko smanjenom rezolucijom u horizontalnom pravcu, slika 3.12.b. Rezultat se svodi na to da se u ovim slikama preskače svaki drugi piksel, odnosno kao da se izostavlja po jedna kolona piksela. Ovaj format odmeravanja se zove 4:2:2.



Slika 3.12. Format odmeravanja kolor slika: (a) 4:4:4; (b) 4:2:2; (c) 4:1:1; (d) 4:2:0.

Razvijajući ideju uštede na hrominentnim komponentama, istraživači su predložili uvođenje formata 4:1:1, u kome se preskaču po tri kolone piksela u hrominentnim komponentama, slika 3.12.c. Dobijena je rezolucija Cr i Cb komponenata koja je po horizontali četiri puta lošija nego za luminentnu sliku. Vertikalna rezolucija je i dalje nepromenjena. Količina podataka je značajno smanjena. Ovaj se format koristio samo u nekim jednostavnim aplikacijama na web-u.

Pokazalo se, međutim, da je bolje uvesti novi format odmeravanja kojim se smanjenje rezolucije hrominentnih komponenata vrši ravnopravno u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Tako je uveden format 4:2:0 koji generiše istu količinu podataka kao i 4:1:1, a pri tome daje mnogo bolji subjektivni kvalitet slike. Ovaj format je bio predviđen za multimedijalne aplikacije. Kako se kvalitet novih generacija kodera značajno popravio uvođenjem inovativnih tehničkih rešenja, tako je i format 4:2:0 uveden u kodere namenjene krajnjem korisniku.

Napomenimo da se ovde, u svim formatima odmeravanja koji smanjuju rezoluciju hrominentnih komponenata, radi o pododmeravanju hrominentnih komponenata. Ono je ipak dozvoljeno i to stoga što: sa jedne strane HVS to dozvoljava, a sa druge strane se filtriranjem sprečava pojava presavijenog opsega.

### 3.2.2.1. JPEG DCT kompresija

JPEG kompresija je usvojena 1993. godine, na osnovu iscrpnih istraživanja predvođenih JPEG Forumom (*Joint Picture Experts Group Forum*) u kojem su pored istraživača i zainteresovanih proizvođača opreme učestvovale i najpoznatije fotografске kuće. Standard je usvojen pod nazivom JPEG, ali mu se sada, kada postoji još jedna varijanta, JPEG 2000, uobičajeno dodaje oznaka DCT koja potiče od skraćenice za diskretnu kosinusnu transformaciju.

Inače kosinusnu transformaciju u kontinualnom obliku je, još 1822. godine, predložio *Jean Baptiste Joseph Fourier*. Njena praktična implementacija u diskretnom obliku je počela krajem prošlog veka. Ova transformacija je realna, što znači da se izračunava u jednom izrazu (umesto u dva, u slučaju Fourier-ove), te je proračun jednostavniji i kraći.

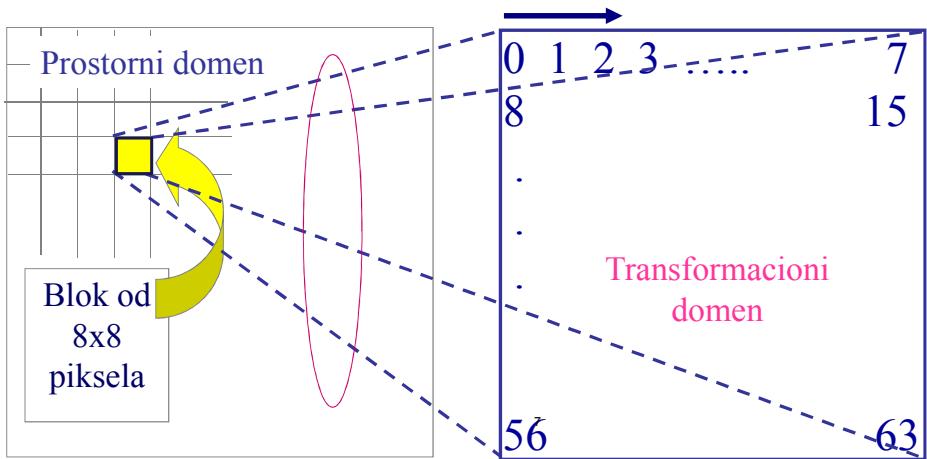
Imajući u vidu da obradu slike čine vrlo zahtevne operacije i da je količina podataka na koju se te operacije odnose veoma velika, predloženo je da se diskretna kosinusna transformacija izračunava na blokovima od 8x8 piksela. U vreme kada je standard koncipiran bilo je nemoguće izvesti izračunavanje na celoj slici, a da se pri tome ne blokira računar. Veličinom bloka su određeni i pojedini parametri u izrazu (3.2) u kojem se izračunava DCT:

$$X_{DCT}(k,l) = \frac{C(k)C(l)}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 X(i,j) \cos\left(\frac{\pi k(2i+1)}{16}\right) \cos\left(\frac{\pi l(2j+1)}{16}\right) \quad (3.2)$$

$X(i,j)$  i  $X_{DCT}(k,l)$ , odgovaraju vrednostima piksela i DCT koeficijenata, respektivno.

$C(k)$ ,  $C(l)$  predstavljaju normalizacione koeficijente.

Dakle, s obzirom da se radi o blokovskoj transformaciji, sliku je potrebno prvo izdeliti na blokove, a zatim na svaki od njih primeniti DCT, slika 3.13. Po prelasku u DCT domen se dobija blok od 64 koeficijenta. Svaki od njih je okarakterisan parom prostornih frekvencija i odgovarajućom amplitudom.

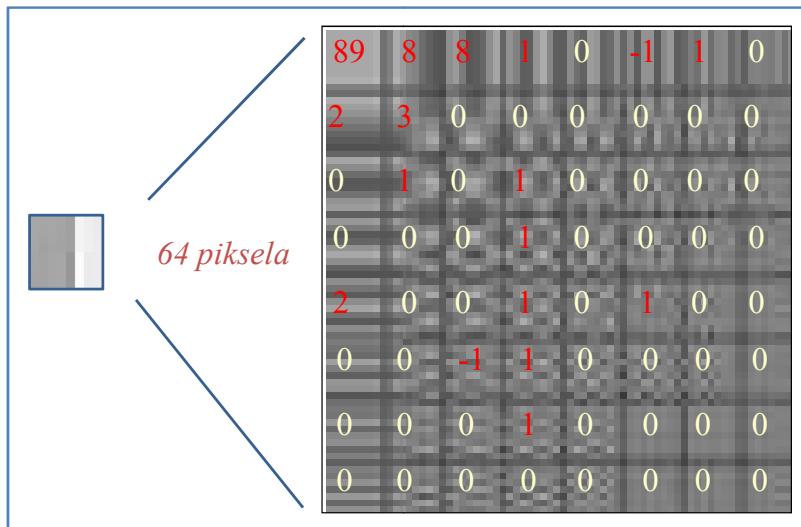


Slika 3.13. Blokovska transformacija u kompresiji slike.

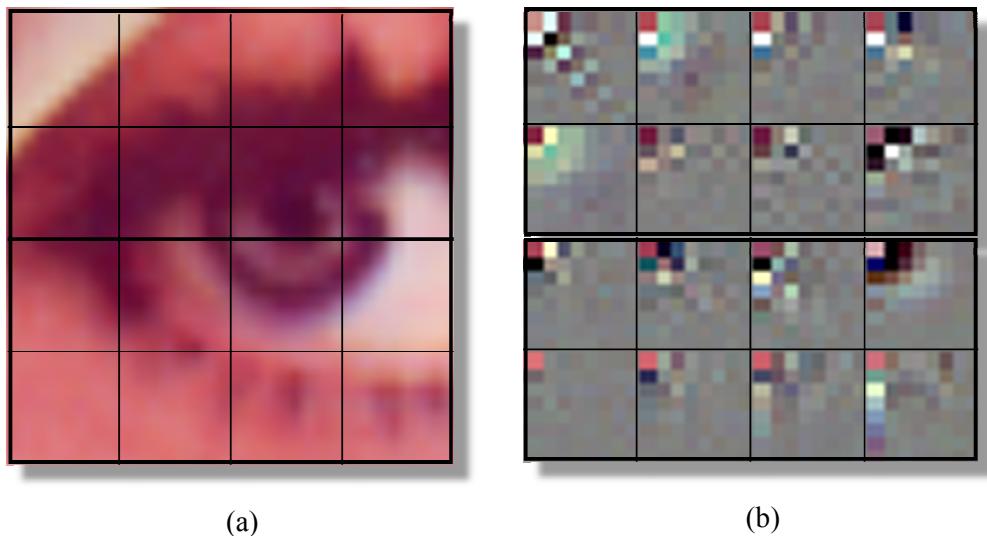
Uočimo da se u transformacionom domenu DCT koeficijenti nalaze raspoređeni prema slici 3.13. U gornjem levom uglu nalazi se koeficijent kome su obe prostorne frekvencije jednake nuli, što odgovara jednosmernoj komponenti. Ako govorimo o luminentnoj slici, onda je na poziciji (0,0) srednja vrednost sjajnosti odgovarajućeg bloka od 8x8 piksela. Kako se udaljavamo od ove komponente, u oba pravca frekvencija raste, tako da se u donjem desnom uglu (na poziciji označenoj brojem 63) nalazi komponenta kojoj odgovara najviša frekvencija. Visokim prostornim frekvencijama u slici odgovaraju sitni detalji u slici.

Kao i u slučaju drugih realnih signala, amplitudski spektar opada sa porastom frekvencije, pa se sa velikom verovatnoćom može očekivati da DCT komponente u levom gornjem levom uglu odgovaraju maksimalnim energijama u odgovarajućem bloku, odnosno da komponente u donjem desnom uglu nose najmanju energiju. Tako gledano, DCT transformacijom su formirana dva klastera, visoko i nisko energetskih

komponenata. Sama transformacija ne unosi kompresiju, pa ni gubitke, ali obezbeđuje uslove za jednostavno odbacivanje manje značajnih komponenata, slika 3.14. U DCT bloku se uočava veliki broj nula, što je pogodno radi primene RLC kodovanja.



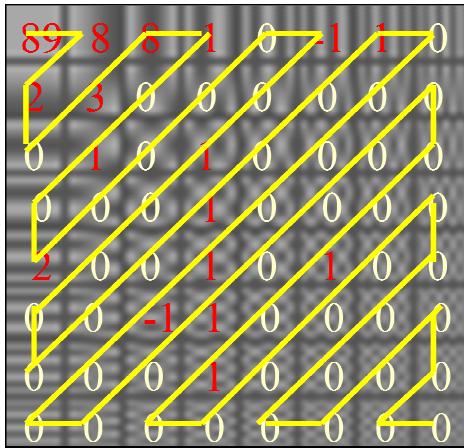
Slika 3.14. Primena diskretne kosinusne transformacije na blok od 8x8 piksela.



Slika 3.15. Deo slike "Lena" sa istaknutim blokovima od 8x8 piksela:

(a) Prostorni domen; (b) Frekvencijski domen.

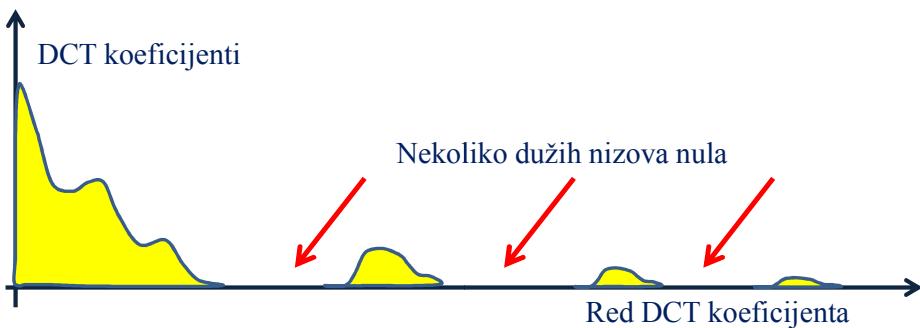
Posmatrajmo realnu sliku 3.15.a, na kojoj je deo slike "Lena" izdeljen u prostornom domenu na blokove od 8x8 piksela. Blokovi u DCT domenu, slika 3.15.b, pokazuju da se značajne komponente nalaze u većini slučajeva u gornjem levom uglu, pružajući osnovu za odbacivanje velikog broja visokofrekvencijskih komponenata.



(a)

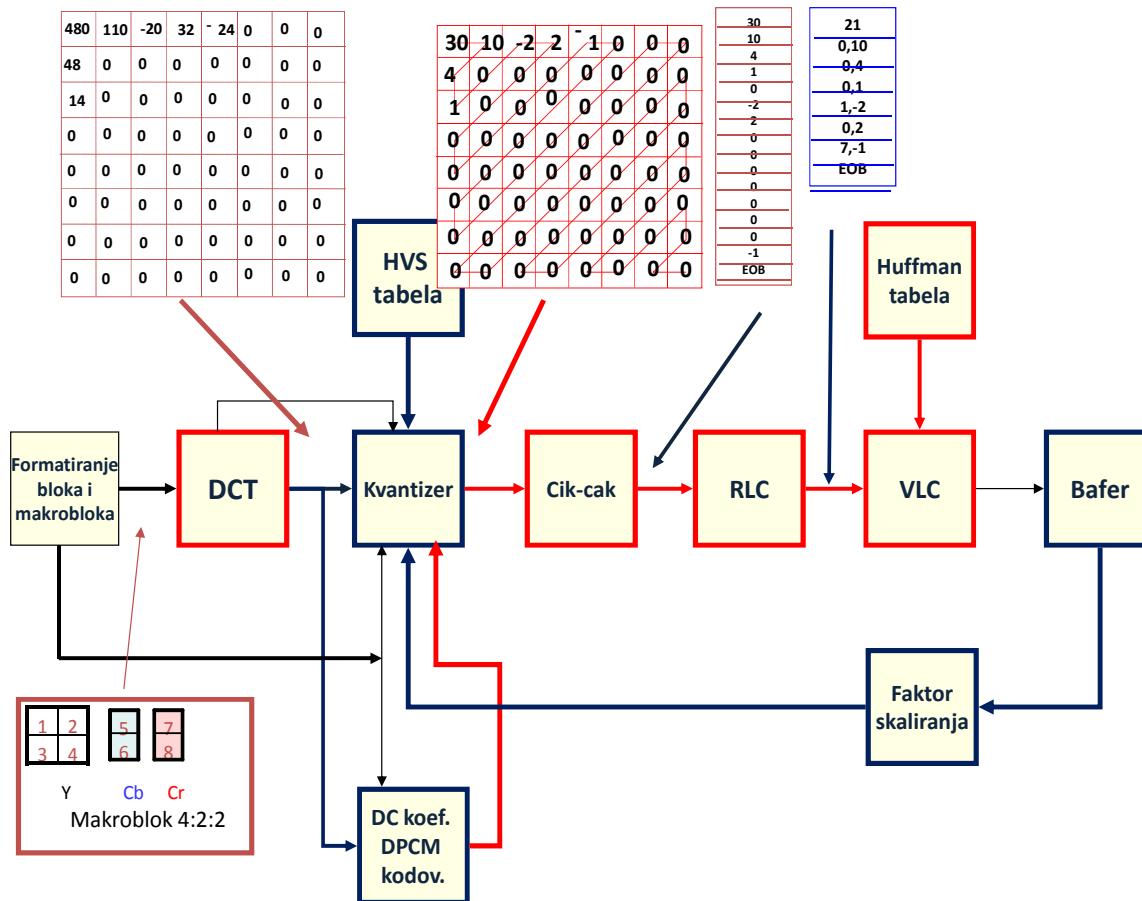
Slika 3.16. Skeniranje DCT bloka:

- (a) Cik-cak skeniranje DCT koeficijenata
- (b) Raspored cik-cak skeniranih DCT koeficijenata i njihove amplitudske vrednosti.



(b)

Da bi se komprimovana slika arhivirala ili prenela, potrebno je dvodimenzionalne DCT blokove pretvoriti u seriju binarnih simbola. Stoga se primenjuje skeniranje. Pokazalo se da je, imajući u vidu da se visokoenergetske komponente nalaze u levom gornjem uglu i da se energija smanjuje idući duž glavne dijagonale bloka, najefikasnije primeniti cik-cak skeniranje, slika 3.16. Na slici 3.16.b. je prikazana uobičajena struktura serije cik-cak skeniranih DCT koeficijenata. Dobija se nekoliko dužih nizova nula, pogodnih za RLC kodovanje. Iza poslednjeg nenultog koeficijenta u nizu, se šalje kodna reč koja označava kraj bloka (*EOB, End of Block*). To je znak na koji dekoder dopunjava nulama niz sve do 63. pozicije.



Slika 3.17. Prikaz JPEG DCT kodera.

Na slici 3.17. je prikazana slika JPEG DCT kodera. Svi blokovi su već objašnjeni, a interesantno je pratiti promene koje svaki od njih izaziva u postupku kompresije.

Napomenimo da je JPEG DCT bila namenjena fotografijama i da se pokazala neefikasnom na slikama sa velikim homogenim strukturama. Takođe, razvijen je veliki broj algoritama što samo usložnjava primenu ove kompresije.

Varijanta ove kompresije koja ne unosi gubitke JPEG LS, se koristi u telemedicini. Takođe je potrebno naglasiti da se MJPEG (*Motion JPEG*), kao niz intrakodovanih slika koristio kao prvi standard za prenos videa. Koristeći znanja na kojima se zasnivala kompresija JPEG DCT, a uvodeći interkodovane slike, razvili su se i standardi za kompresiju video sekvenci. Govoreći o telemedicini, treba naglasiti da je varijanta MJPEG mnogo prihvatljivija od MPEG (*Motion Picture Expert Group*, standard donet od grupe eksperata za pokretnu sliku) varijanti, jer može obezbediti bolji kvalitet i očuvanje detalja neophodnih u telemedicinskim aplikacijama.

#### 3.2.2.2. JPEG 2000 kompresija

JPEG forum je radio na novom standardu, imajući u vidu uočene nedostatke JPEG zasnovane na DCT transformaciji. Nabrojimo neke od njih:

- Pri malim protocima ispod 0.25 bpp, za grey-scale slike sa mnogo detalja distorzija JPEG DCT postaje neprihvatljiva;
- JPEG DCT ne omogućava obe vrste kompresije (sa i bez gubitaka) u jednom stream-u;
- JPEG ne može da komprimuje 64x64K bez podele slike (*tile*);
- Koristi se više tipova arhitekture dekodera. JPEG ima 44 oblika, od kojih su mnogi specifični za aplikaciju i većina dekodera ih ne poznaće;
- Prenos u prisustvu šuma: u JPEG-u kvalitet se drastično pogoršava kada se dese greške (blok artefakta);
- Kompjuterska grafika: JPEG DCT je optimiziran za prirodne slike i ima loše performanse na kompjuterski generisanim;
- JPEG nije dobar na binarnim slikama (kao što je tekst).

U vreme kada je standard usvojen (2000. godina), bile su poznate dobre strane *wavelet* transformacija, posebno u analizi nelinearnih signala. Standardi za kompresiju slike često koriste neku od poznatih transformacija kako bi pojednostavili redukciju količine podataka u transformacionom domenu (kada se najčešće odbacuju komponente visokih frekvencija, kao one kojima odgovara mala energija) [PRE07].

*Wavelet* transformacija, međutim, iz osnovne funkcije  $\psi(t)$ , majke wavelet, formira funkcije  $\psi_{a,b}(t)$  primenom operacija skaliranja i translacije:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.3)$$

U izrazu (3.3),  $a$  i  $b$  definišu operacije skaliranja i translacije, respektivno. Sa porastom veličine  $a$  ostvaruje se kontrakcija, a pri smanjenju  $a$ , dolazi do širenja osnovnog talasnog signala. U zavisnosti od veličine  $b$  osnovni *wavelet* se translira levo (ili desno) duž vremenske ose.

Kontinualna *wavelet* transformacija funkcije  $f(t)$  može biti izražena na sledeći način:

$$F_w(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * \psi_{a,b}(t) dt \quad (3.4)$$

Inverzna *wavelet* transformacija

$$f(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{|a|^2} F_w(a, b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) da db \quad (3.5)$$

$$C = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega \quad (3.6)$$

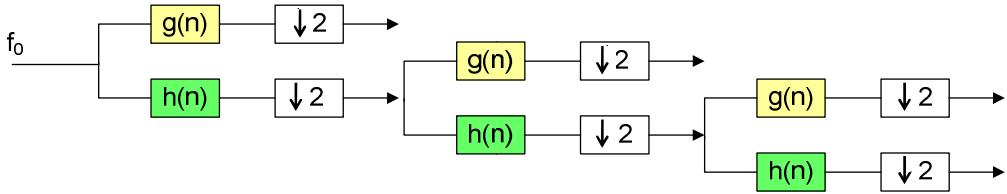
gde je  $\Psi(\omega)$  Fourier-ova transformacija funkcije  $\psi_{1,0}(t)$ .

Diskretna *wavelet* transformacija, DWT, se definiše pomoću:

$$c_{mn}(f) = a^{-\frac{m}{2}} \int f(t) \psi(2^{-m}t - n) dt \quad (3.7)$$

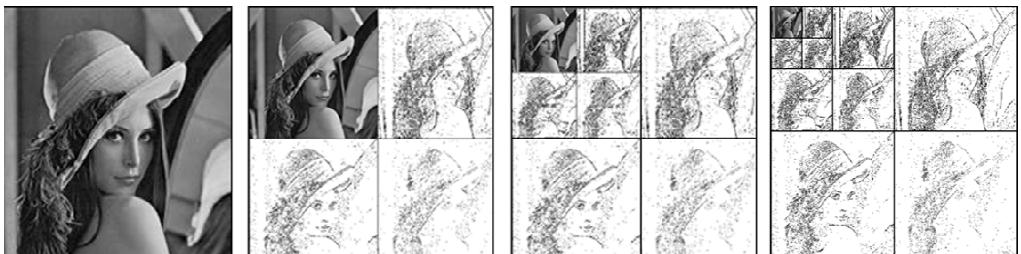
Za razliku od Fourier-ove transformacije, wavelet je lokalizovana i u vremenskom i u frekvencijskom domenu. Time se može analizirati originalni signal u više frekvencijskih podopsegova. DWT se koristi za multirezolucionu analizu signala. U tu svrhu se koriste nisko-frekvencijski (*low-pass*) i visoko-frekvencijski (*high-pass*) filtri. Izračunavanje *wavelet* transformacije se može shvatiti kao konvolucija odgovarajućeg signala sa impulsnim odzivom filtra. Skalirajuća funkcija predstavlja NF filter, a *wavelet* transformacija VF filter. Ukoliko se posmatrani signal propusti kroz NF filter granične frekvencije koja je dvostruko manja od maksimalne frekvencije u spektru originalnog signala, to se svodi na slučaj u kojem se signal posmatra sa dva puta manjom rezolucijom. Slična se postiže VF filtrom sa propusnim opsegom koji je dvostruko uži od spektra signala.

S obzirom da je sada spektar signala dvostruko uži, dovoljno je da se u njemu zadrži svaki drugi odmerak, tj. da se izvrši podomeravanje (*subsampling*) za faktor 2, slika 3.18.



Slika 3.18. Pododmeravanje originalnog signala.  
Pomoću  $g(n)$  se obavlja VF, a pomoću  $h(n)$  NF filtriranje.

Slika 3.18. prikazuje postupak kompresije koji se zasniva na wavelet transformaciji. Posle svakog filtriranja (koje inače ograničava opseg na polovinu prethodnog opsega), primenjuje se pododmeravanje za faktor dva. Na NF filtriran signal (NF u horizontalnom i NF u vertikalnom pravcu), dalje se može primeniti isti postupak i tako u više nivoa postići kompresija.



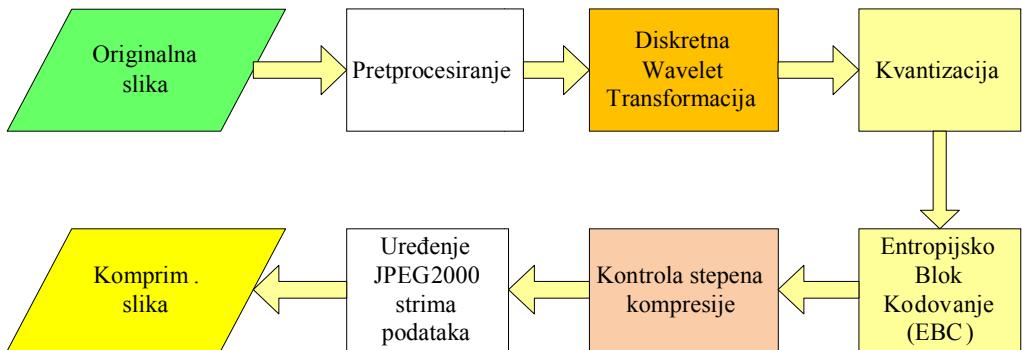
Slika 3.19. Kompresija luminentne komponente slike Lena postignuta u tri nivoa.

Zadržimo se na prvom nivou kompresije, slika 3.19. Ukoliko se pri arhiviranju ili u prenosu zadrži samo slika iz NF-NF dela spektra (slika u gornjem levom uglu), slika je komprimovana i ne može se izvršiti rekonstrukcija koja bi bila jednaka originalu.

Ako se, međutim, prenesu sve četiri slike u prvom nivou kompresije, slika se rekonstruiše tako da u potpunosti odgovara originalu. Prenete slike proizvode nešto manju količinu podataka nego originalna nekomprimovana slika. To znači da se, u ovom slučaju, radi o kompresiji bez gubitaka.

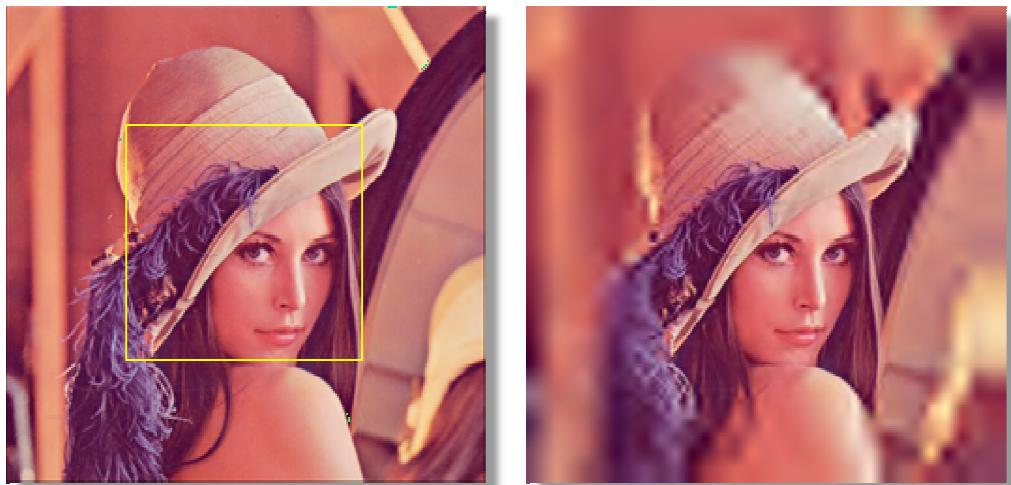
Primenjujući isti postupak u više nivoa, postižu se veći indeksi kompresije, a slika je, svakako, grublje kodovana.

Ono što je u JPEG 2000 kompresiji dobro, jeste što slika deluje prirodnije i nema blok artefakta.



Slika 3.20. JPEG 2000 kompresija.

Na slici 3.20 je prikazana blok šema JPEG 2000 kodera. Originalna slika se prvo preprocesira, kada se popravljaju njene karakteristike i ograničava spektar. Primjenjuje se diskretna *wavelet* transformacija, a po obavljenoj kompresiji vrši kvantizacija dobijenih *wavelet* koeficijenata. Kao i u ostalim kompresijama primjenjuje se entropijsko (statističko) kodovanje. Po kontroli stepena kompresije, formira se *stream* kojim je konačno opisana komprimovana slika.



Slika 3.21. Slika "Lena": (a) sa označenim regionom od interesa; (b) sa različitim rezolucijama za celu sliku i za region od interesa.

U JPEG 2000 kompresiji, jedan od nesumnjivo korisnih rezultata predstavlja postojanje regiona od interesa (ROI, *Region of Interest*). Naime, korisnik može označiti region od intresa, slika 3.21, u kojem želi da se postigne značajno bolja rezolucija nego u ostatku slike. Za telemedicinske aplikacije, to predstavlja veoma pogodnu performansu jer lekar može definisati delove slike koji su važni za postavljanje dijagnoze, ili naznačiti deo koji želi da prati u toku lečenja pacijenta, i slično.

Treba istaći da telemedicinskim aplikacijama više odgovara JPEG 2000, nego JPEG DCT kompresija jer je slika prirodnija, postiže veću kompresiju uz subjektivno bolji kvalitet. Stoga mnogi standardi sadrže odrednicu vezanu za JPEG 2000.

Ako se govori o pokretnoj slici, telemedicinske aplikacije su takođe zahtevne i koriste MJPEG 2000 (*Motion JPEG 2000*) varijantu. I ovde se, kao i u svakoj motion JPEG varijanti, primenjuje samo intrakodovanje. Vremenska redundansa se, pri tome, ne razmatra. Premda postoji veliki broj algoritama za kompresiju video sadržaja, istaknimo da se u telemedicini, tamo gde je potrebno garantovati kvalitet, koriste upravo intrakodovani zapisi (varijante MJPEG).

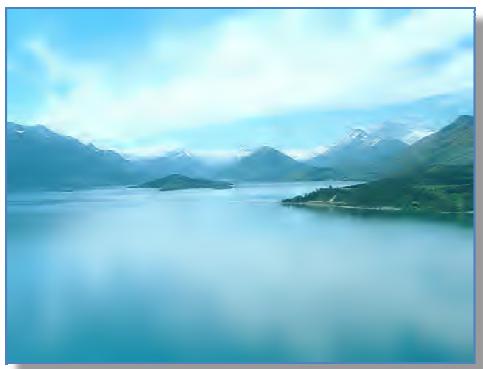
Navedimo neke važne karakteristike JPEG 2000:

- Izvorna slika se dekomponuje u veliki broj komponenata (do 256).
- Komponente slike (lumY,Cb,Cr) se (opciono) dekomponuju u pravougaone ploče (*tile*). Ploča je osnovna jedinica originalne i rekonstruisane slike.
- Na svaku “ploču” se primenjuje *wavelet* transformacija. Ploča se dekomponuje u različite rezolucione nivoe.
- Dekompozicioni nivoi se sastoje od podopsegova koeficijenata koji opisuju frekvenčijske karakteristike lokalne površine ploče, a ne cele slike. Podopsezni koeficijenti se kvantuju i unose u stream koji opisuje komprimovanu sliku.
- Bit ravnii koeficijenata (biti jednake važnosti od MSB do LSB nivoa) se entropijski koduju unutar bloka.
- Kodovanje se može izvršiti tako da unutar regiona od interesa (*Region of Interest*, ROI) bude višeg kvaliteta nego u pozadini.
- Dodaju se markeri bit stream-u da omogućili otpornost na greške (*error resilience*).
- Kodovani stream ima *main header* (zaglavlj slike koje nosi najvažnije informacije o strukturi slike) na početku i opisuje originalnu sliku, različite dekompozicije i stlove kodovanja, sa ciljem lociranja, izdvajanja, dekodovanja i rekonstrukcije slike sa željenom rezolucijom.

Najzad, imajući u vidu značaj JPEG standarda za telemedicinske primene, dobro je vršiti poređenje DCT i wavelet zasnovane kompresije, slika 3.22.



(a)



(b)

Slika 3.22. Poređenje JPEG kompresija.

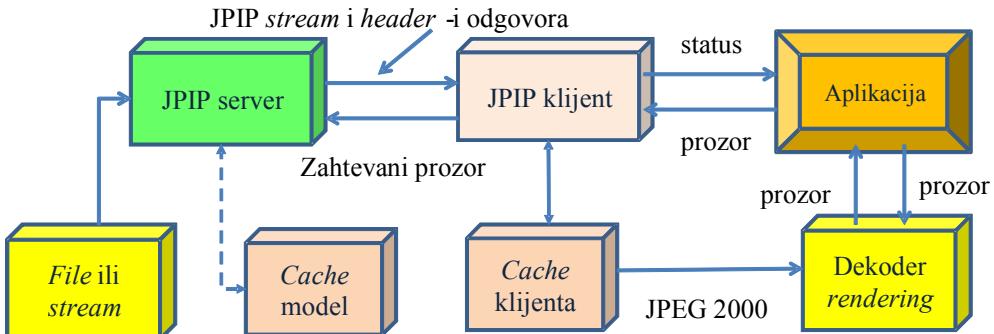
- a. Originalna slika veličine 979 kB;
- b. JPEG 2000 kodovana slika veličine 1.83 kB;
- c. JPEG DCT kodovana slika veličine 6.21 kB;



(c)

Na slici 3.22. su, radi poređenja, prikazane JPEG DCT i JPEG 2000 kodovane slike. Uočava se prednost kompresije JPEG 2000 (zasnovane na *wavelet* transformaciji) čak i pri znatno manjoj količini podataka, proizvedenoj u kompresiji.

Najzad, napomenimo da postoji varijanta JPEG 2000, koja je namenjena interaktivnom radu medicinskog osoblja JPIP (JPEG 2000 *Interactive Protocol*). Ona omogućava da se interaktivno označavaju regioni od interesa, i da se šalju, odnosno arhiviraju, samo delovi slike koje lekar proceni kao bitne. Da bi se ovo realizovalo, neophodno je obezbediti specijalnu arhitekturu kodera. Treba imati u vidu da renderovanje materijala (povezivanje više snimaka) može takođe da dugo traje. JPIP standard upravo uprošćava sve ove postupke smanjujući količinu informacija koja se prenosi, obrađuje ili arhivira. JPIP je i deo DICOM standarda.



Slika 3.23. JPIP arhitektura.

JPIP je klijent/server streaming protokol koji obezbeđuje interaktivnu poruku JPEG 2000 komprimovanih sadržaja. Ovim se omogućava i pretraživanje veoma velikih slika (od 1Gpixel-a i više). Ovo je moguće jer se samo mali delovi slika stream-uju i šalju klijentu sa servera.

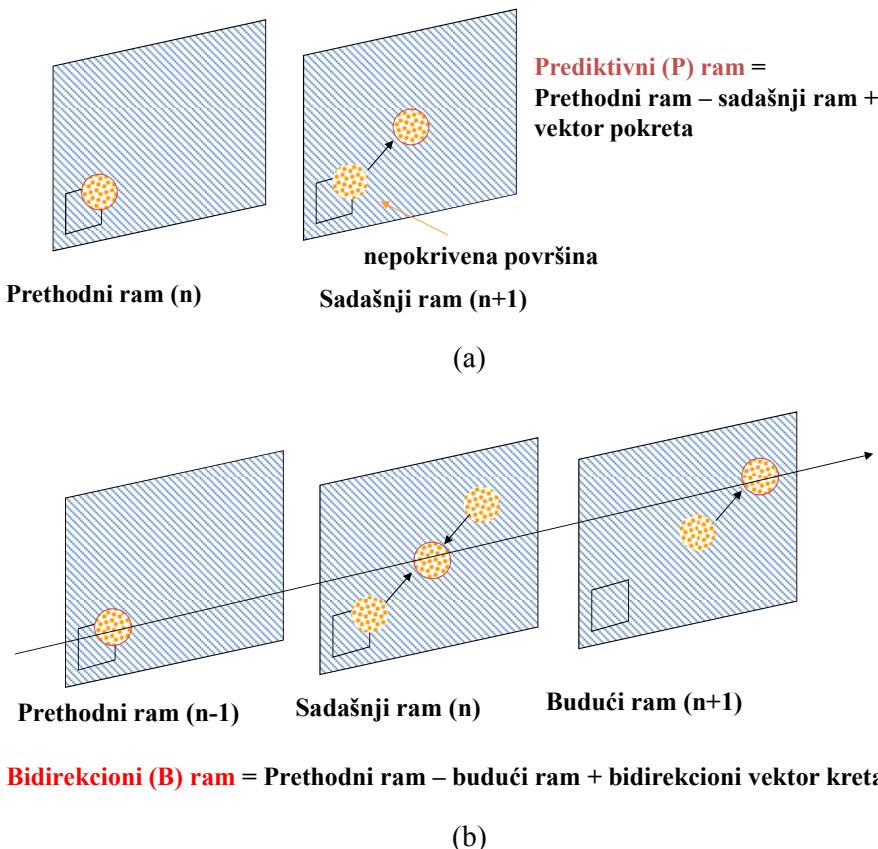
### 3.3. VIDEO U TELEMEDICINI

U poglavlju 3.2.2. su objašnjeni principi na kojima se zasniva kompresija slika. Napomenimo da, u slučaju pokretnih slika, postoje sve četiri vrste redundanse. Dakle, pored prostorne, statističke i psihovizuelne, postoji i vremenska. Stoga se u ovom slučaju primenjuje:

1. *Intraframe* kodovanje kojim se komprimuje sadržaj referentne slike, nazovimo je "*I*" *frame*. Ova slika se koristi u svim daljim izračunavanjima. Količina podataka unutar intraframe kodovane slike je značajno veća nego kod slika dobijenih predikcijom.
2. *Interframe* kodovanje se može vršiti
  - direktnom predikcijom, kada dobijamo prediktivne slike "*P*", i
  - bidirekcionom predikcijom, kada se formira slika "*B*".

Prediktivne slike "*P*" i "*B*", zasnivaju se na ideji da su pikseli sa istom koordinatom u dva susedna frame-a sa velikom verovatnoćom jednakci.

Kao što se vidi slika "*P*" se, pored slike "*I*", može koristiti kao referentna, odnosno na osnovu nje se mogu vršiti izračunavanja i narednih slika "*P*" tipa i narednih, kao i onih ispred *B* tipa.



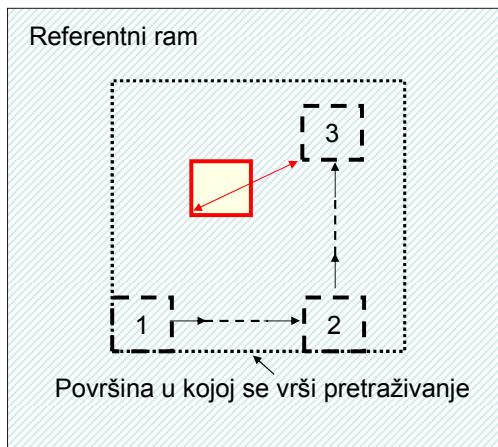
Slika 3.24. (a) Formiranje slike sa predikcijom unapred; (b) Formiranje bidirekciono prediktovane slike.

Na slici 3.24. je prikazan način formiranja prediktivnih i bidirekciono prediktivnih slika. Osnovno je da se izračunava vektor pokreta za one delove slike koji su u narednom frame-u doživeli pomeraj. Naglasimo da su pomereni objekti u videu, u novim frame-ovima ostavili nekomprimovan sadržaj, jer ih je u prethodnoj slici sakrивao objekat. Na slici 3.24.b, vidimo da se u bidirekcionoj slici vektor pokreta izračunava na osnovu dve, prethodne i naredne, slike.

Da bi se uočio pomeraj, neohodno je izvršiti pretraživanje sadržaja slika, a unutar oblasti pretraživanja koja je definisana primjenjenim standardom. Veličina oblasti pretraživanja ne treba da bude mala, jer bi time bili isključeni svi veći pomeraji, odnosno to nije dobro za brze pokrete. Sa druge strane, velika oblast pretraživanja bi usporavala kodovanje i nepotrebno zauzima računarske resurse.

Algoritmi po kojima se vrši pretraživanje su, u prvim standardima za kompresiju, mogli slobodno, od strane proizvođača opreme, da se uvode. U najnovijim standardima, kao što su H.264 i H.265 (koji je koncipiran i čije se usvajanje očekuje), vektori pokreta se određuju po pravcima koji se definišu odgovarajućim standardom.

Napomenimo da se vektori pokreta izračunavaju uvek iz luminentne komponente, jer je ona odmeravana u punoj rezoluciji.



Slika 3.25. Pretraživanje slika i određivanje identičnih sadržaja.

1. Početna pozicija bloka u pretraživanju
2. Blok koji najviše odgovara duž x-ose
3. Blok koji najviše odgovara duž z-ose
4. Pozicija bloka u ciljnog ramu sa vektorom kretanja

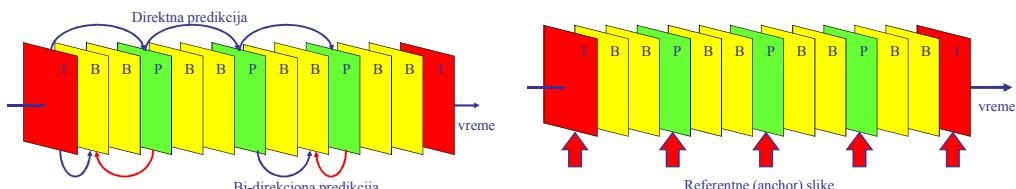
Da bi se istaklo zašto standardi za kompresiju videa koji uračunavaju i vremensku redundansu nisu pogodni za telemedicinu, koristićemo primer artefakta nastalog pri pogrešnom određivanju vektora pokreta, slika 3.26.



Slika 3.26. Artefakti MPEG kompresije pri pogrešno izračunatim vektorima pokreta (MV - motion vector).

U telemedicinskim aplikacijama u kojima se prenosi važna informacija vezana za hitne intervencije i stanje pacijenta, odnosno informacija koja ukazuje na prirodu bolesti pacijenta, očigledno nije pogodno koristiti *interframe* kodovanje, jer bi se mogao izgubiti neki važan detalj. U klasičnim aplikacijama, na primer u monitoringu pokretnih pacijenata, u kojima nije potrebno preneti tako fine i precizne detalje, standardne televizijske kompresije su dobro došle.

Tri tipa slika (I, P i B) se najčešće organizuju u grupe (GOP, *Group of Pictures*) koje mogu biti različitog sastava i rasporeda, slika 3.27. Nizovi grupa slika formiraju video sekvene. Svaka od struktura MPEG formata: blok, makroblok, *slice*, slika (*frame*), GOP ima sopstveno zaglavje (header) u kojem se definišu parametri važni za opis te strukture. Podaci iz zaglavja, kao i podaci koji opisuju komprimovani sadržaj, smeštaju se u *stream* (kontinuirani prenos podataka unutar paketa) i u tom obliku prenose, odnosno arhiviraju.



Slika 3.27. Grupa slika: (a) Slike sa direktnom i bidirekpcionom predikcijom;  
(b) Referentne slike u GOP-u.

Ako razmotrimo standarde za kompresiju video signala, Tabela 3.2, uočavamo da se veliki deo njih nalazi u kategoriji vrlo skromnih po kvalitetu, dakle ne bi se mogli ubrojati u one koji zadovoljavaju stroge telemedicinske zakone. Televizijski standardi H.262 (MPEG-2), H.264 (MPEG-4 p.10) i H.265 (koji je već koncipiran i samo se čeka njegovo usvajanje), mogu da obezbede vrlo visok kvalitet komprimovanog sadržaja.

I pored toga, za aplikacije u telemedicini u kojima je pouzdanost prenosa veoma važan element, i dalje se preporučuje kompresija Motion JPEG 2000. Razlozi su brojni:

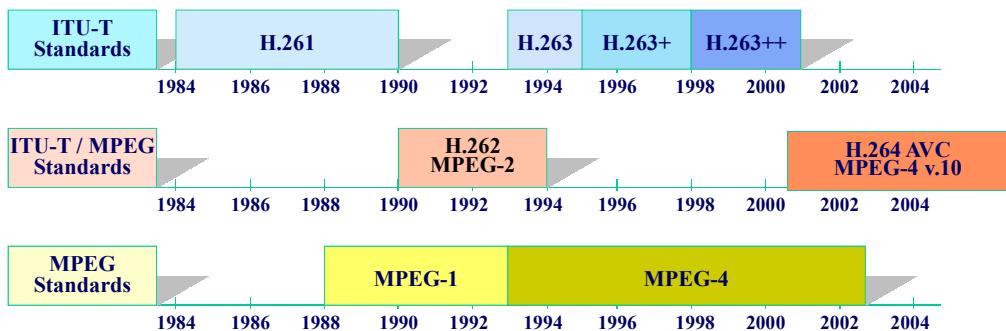
- Ne koristi se estimacija pokreta (u kojoj bi se moglo desiti da se neki deo slike zamagli),
- Nema blok efekta (kompresija je *wavelet* tipa),
- Samo MJPEG 2000 podržava interaktivan rad lekara, što je možda i najvažnija prednost u ovom trenutku.

### 3. Medicinski signali

Tabela 3.2. Poređenje video standarda.

Standard	Cilj	Protok	Video format	Performanse
H.261	<ul style="list-style-type: none"> <li>Videokonferencija,</li> <li>Prenos po ISDN vezama,</li> <li>Nizak kvalitet videa</li> </ul>	P x 64 [kbps]	<ul style="list-style-type: none"> <li>CIF (352x288 piksela)</li> <li>QCIF (176x144 piksela)</li> <li>"head and shoulders" sekvence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>DCT transformacija</li> </ul>
H.262 = MPEG-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kompresija za SDTV, HDTV i DVD,</li> <li>Visok kvalitet video signala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SDTV 2-4 [Mbps],</li> <li>HDTV od 1.5 do 10 [Mbps].</li> </ul>	Formati do 16384x16384 piksela, 30/25 slika u sekundi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>DCT transformacija</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>H.263</li> <li>H.263+</li> <li>H.263++</li> </ul>	Prenos videa 3G sistemima	Ispod 64 [kbps]	<ul style="list-style-type: none"> <li>CIF (352x288 piksela)</li> <li>QCIF (176x144 piksela)</li> <li>"head and shoulders" sekvence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>DCT</li> </ul>
MPEG-4 p.2	Multimedijalni standard	Niski protoci	Nema ograničenja	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>DCT</li> </ul>
H.264 = MPEG-4 p.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Televizijski standard</li> <li>Visok kvalitet videa</li> </ul>	2-3 puta manji protok za isti perceptualni kvalitet videa kao u MPEG-2	Formati do 16384x16384 piksela, 30/25 slika u sekundi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>aritmetičko kodovanje</li> </ul>
Dirac (BBC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Televizijski standard</li> <li>Visok kvalitet videa</li> </ul>	Protok sličan H.264	Formati do 16384x16384 piksela, 30/25 slika u sekundi.	Wavelet transformacija
H.265* uskoro	<ul style="list-style-type: none"> <li>TV (SDTV, HDTV, UHDTV)</li> <li>Visok kvalitet videa</li> </ul>	2 puta manji protok za isti perceptualni kvalitet videa kao u H.264, 35[Mbps]	16xHDTV, Audio 22.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blokovska kompresija</li> <li>aritmetičko kodovanje</li> </ul>

Najvažnije standarde za kompresiju video signala donose organizacije ITU (Međunarodna unija za telekomunikacije) i ISO (Međunarodna organizacija za standarde), a na predlog MPEG Forum-a. U izuzetnim slučajevima, kada se radi o kompresiji televizijskog signala, kao vrlo važnog i složenog, ITU i ISO formiraju zajedničku radnu grupu VCEG (*Video Coding Expert Group* - Grupa eksperata za video kodovanje) i tada donose zajednički standard. To se desilo dva puta, pri donošenju H.262 (MPEG-2) i H.264 (MPEG-4 p.10).



Slika 3.28. Pregled standarda za kompresiju video signala.

Napomenimo da se paralelno sa gore navedenim komercijalnim standardima, dugi niz godina istražuju metode poboljšanja prikaza i arhiviranja veoma zahtevnih patoloških slika, kao i pouzdanog videa. U isto vreme, neohodno je razviti sofisticirane metode za obeležavanje i pretraživanje medicinskih video sekvenca.

### 3.4. PRENOS AUDIO SADRŽAJA U TELEMEDICINSKIM SERVISIMA

Za razliku od slika i video sadržaja koji su česti signali u telemedicini, audio se javlja vrlo retko i to u nekim specifičnim metodama monitoringa stanja pacijenta. Fonokardiogrami su svakako prvi reprezent audio signala. Njegovom analizom je moguće izdvojiti elemente važne u dijagnosticiranju kardioloških oboljenja.

Treba, međutim, istaći da audio signal, sam za sebe predstavlja važan signal u komunikaciji pacijenata i medicinskog osoblja. S obzirom da se prateći video ili mirna slika komprimuju, potrebno je definisati vrste suvišnosti koje postoje u audio sekvcencama, kako bi se i u njima redukovao sadržaj.

### 3.4.1. Karakteristika ljudskog auditornog sistema

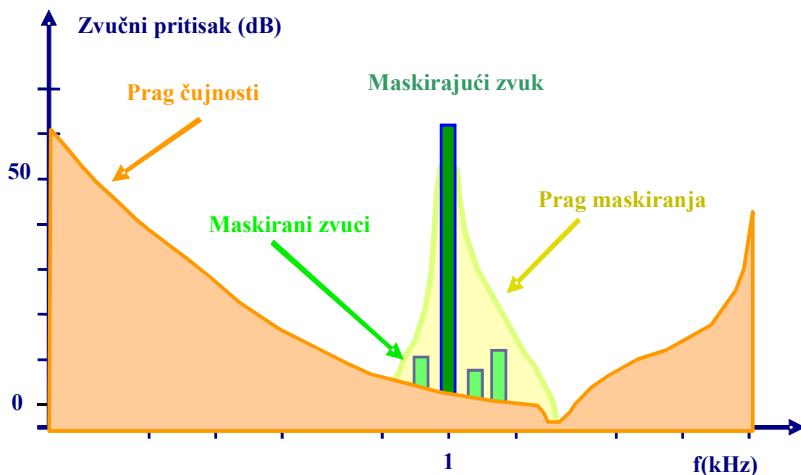
HAS (*Human Auditory System*, ljudski auditorni sistem) je dugi niz godina predmet teorijskih i empirijskih istraživanja mnogih naučnika. Postoji veliki broj već proučenih karakteristika koje opisuju performanse čula sluha i govora. Ovde će biti navedene samo one koje direktno utiču na kompresiju audio signala, kao što su:

- Čujno područje uva na frekvencijskoj skali odgovara opsegu 16Hz do 16kHz.
- Prag čujnosti predstavlja krivu koja označava minimalni nivo zvuka pri kome prosečno ljudsko uvo počinje da čuje. Dakle, svi zvuci čiji se nivo nalazi ispod ove krive, mogu se odbaciti jer će biti maskirani pragom čujnosti, slika 3.29.
- Postoje zvuci čije amplitude mogu biti i izuzetno visoke, a koje uvo neće registrirati. Uvo reaguje na energiju, pa je za osećaj zvuka neophodno da on poseduje "relativno dugo" trajanje. To znači da kratkotrajni zvučni impulsi uobičajeno ne mogu biti registrovani. Objašnjenje za opisanu pojavu leži u karakteristici bazilarne membrane (membrane koja se nalazi unutar pužastog tela u unutrašnjem uvu), a kojoj treba neko veme da uspostavi mehaničke oscilacije [MIJ11].
- U elektroakustikom uređaju ne treba dozvoliti pojavu zvukova velikih amplituda, čak i ako ih uvo ne čuje. Razlog za to je što velike amplitude mogu zaći u nelinearne oblasti uređaja, kada uobičajeno bivaju ograničene po amplitudi. Opisanom procesu odgovara formiranje složenoperiodičnog signala koga prati veliki broj harmonika. Za posledicu, javljaju se zvuci koji u originalnom signalu ne postoje - harmonijska izobličenja.
- Maskiranje predstavlja pojavu pri kojoj uvo u prisustvu složenog zvuka nije u mogućnosti da registruje neki zvučni nadražaj jer se u kratkom vremenskom razmaku (pre ili posle njega) pojavio drugi zvuk. Dakle, jedan zvuk je maskiran pojmom drugog. Pojavu treba posmatrati sa stanovišta građe bazilarne membrane, kao i prostiranja informacija duž neurona do kore velikog mozga.

Razlikuje se:

1. Frekvencijsko maskiranje, kada maskirajući zvuk maskira nadražaje koji su na frekvencijskoj skali u njegovoj, ili u okolini njegovih harmonika, slika 3.29.
2. Vremensko maskiranje, kada je maskirani zvuk:
  - a) neposredno ispred (ne više od 100ms), što odgovara maskiranju unazad, ili
  - b) neposredno iza maskirajućeg zvuka, kada govorimo o maskiranju unapred.

Uobičajeno se pojava slabih i snažnih pobuda u ljudskim čulima objašnjava pojavom rednih i češćih impulsa, respektivno, koji se prostiru kroz ljudske nerve do kore velikog mozga. Često ove impulse poredimo sa "frekvenički modulisanim" signalima. Dakle, pored bazilarne membrane, i prostiranje signala kroz nerve utiče na pojavu maskiranja.



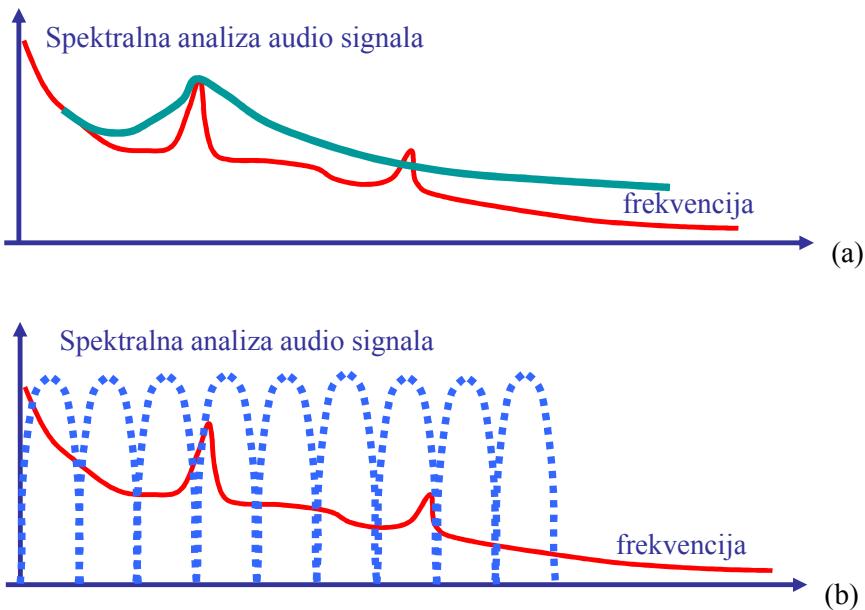
Slika 3.29. Višestruko maskiranje audio signala na frekvencijskoj skali.

U svakom slučaju ljudsko čulo prati pojava višestrukog maskiranja. Maskirani zvuci se svakako ne čuju, što znači da su redundantni i da ih, pri kompresiji, arhiviranju, odnosno prenosu, treba odbaciti.

Napomenimo da su ovde navedene samo najznačajnije pojave koje treba imati u vidu pri kompresiji audio signala.

Imajući u vidu višestruko maskiranje, zaključujemo da je prvo potrebno odbaciti grubu suvišnost pomoću praga čujnosti, a zatim odbacivati one zvuke koji su maskirani na vremenskoj ili frekvencijskoj skali. U tu svrhu se opseg frekvencija iz čujnog opsega uva podeli na podopsege. Zatim se radi spektralna analiza audio signala, slika 3.30.

Uobičajeno se koriste podopsezi čirine 500Hz. Unutar svakog od podopsega radi se analiza zvučnih nadražaja i odbacuju se oni koji će iz bilo kog razloga biti maskirani.



Slika 3.30. (a) Spektralna analiza audio signala; (b) Podopsežno kodovanje audio signala.

U svakom od podopsega se, u zavisnosti od prisutnih nadražaja koji neće biti odbačeni, vrši dinamička dodela broja bita koji će se koristiti za opisivanje komprimovanog sadržaja. Dakle, na osnovu modela ljudskog auditornog sistema, kao i sadržaja zvuka po pojedinim podopsezima, svaki od podopsega dobija izvestan broj bita kojim se koduje neodbačeni audio sadržaj.

Odbacivanjem redundantne, audio se prenosi efikasno i dovoljno kvalitetno tako da se u usavršenim kompresionim algoritmima, perceptualno postiže dobar kvalitet zvuka pri maloj količini bita. Rezultat je mnogo bolji u poređenju sa prvim kompresionim standardima kada je i neophodan protok za prenos audio sadržaja bio začajno veći. Može se zaključiti da je poboljšanje postignuto zahvaljujući uvođenju novih, veoma efikasnih modela ljudskog auditornog sistema.

Još jednom treba istaći da se u telemedicinskim aplikacijama audio signal pretežno javlja kao posledica komunikacije između pacijenta i medicinskog osoblja i da takav audio ne podleže strogim kriterijumima kvaliteta, kao što je to slučaj sa slikom i videom. To je razlog zbog kojeg je kompresija audio signala objašnjena vrlo grubo. Svako uvođenje složenih teorija u ovom slučaju bi bilo nepotrebno i kontraproduktivno.

Signali koji se javljaju u telemedicinskim aplikacijama po prirodi mogu biti veoma složeni. U zavisnosti od njihove namene, održavanje komunikacije (kao u slučaju audio signala) ili prikaza stvarnog stanja pacijenta u nekoj od podoblasti telemedicine, obradi tih signala će se posvetiti manja ili veća pažnja. Neki od telemedicinskih signala se generišu specifičnim akvizacionim uredajima i za njih se zahteva često složena obrada, sa ciljem isticanja delova koji su značajni za donošenje dijagnoze, za monitoring ili praćenje promena bolesti.

## LITERATURA

- [ACT09] Scott T. Acton, Nilanjan Ray, *Biomedical Image Analysis: Segmentation*, Morgan & Claypool, 2009, ISBN: 9781598290202
- [BAN00] Isaac Bankman, ed., *Handbook of Medical Imaging Processing and Analysis*, Academic Press, 2000, ISBN 0-12-077790-8
- [BIC10] U. Bick, F. Diekmann (Eds.), *Digital Mammography*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, ISBN 978-3-540-78449-4.
- [DJA00] N. Đaja, B. Reljin, P. Kostić, I. Reljin, "Telemonitoring in cardiology – ECG transmission by mobile phone", *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 63-66, 2000.
- [EXA09] Themis P. Exarchos, Athanasios Papadopoulos, Dimitrios I. Fotiadis, *Handbook of Research on Advanced Techniques in Diagnostic Imaging and Biomedical Applications*, IGI Global, 2009, ISBN 978-1-60566-314-2
- [FON11] Bernard Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine technologies : information technologies in medicine and telehealth*, John Wiley & Sons, 2011, ISBN 978-0-470-74569-4.
- [LEH03] Thomas M. Lehmann, Mark O. Güld, Christian Thies, Benedikt Fischer, Daniel Keysers, Michael Kohnen, Henning Schubert, Berthold B. Wein, "Content-based image retrieval in medical applications for picture archiving and communication systems", *Proc. SPIE 5033, Medical Imaging 2003: PACS and Integrated Medical Information Systems: Design and Evaluation*, 109 (May 20, 2003); doi:10.1117/12.481942

- [MIJ11] Miomir Mijić, *Audio Sistemi*, Akademska misao, 2011, ISBN 978-86-7466-403-2.
- [MUD03] Karen M. Mudry, Robert Plonsey, Joseph D. Bronzino, eds., *Biomedical Imaging*, CRC Press, 2003, ISBN 0-8493-1810-6
- [NAI08] Amine Naït-Ali, Christine Cavaro-Ménard, *Compression of Biomedical Images and Signals*, John Wiley & Sons, 2008, ISBN: 978-1-84821-028-8
- [OGI08] Marek R. Ogiela, Ryszard Tadeusiewicz, *Modern Computational Intelligence Methods for the Interpretation of Medical Images*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, ISBN 978-3-540-75399-5
- [PRE07] Bernhard Preim, Dirk Bartz, *Visualization in Medicine - Theory, Algorithms, and Applications*, Elsevier, 2007, ISBN: 978-0-12-370596-9
- [RAK00] I.Rakocevic, B. Reljin, I. Reljin, "The image authenticity confirmation by modifying spectral components", *Proc. on Electrotechnical Conference MELECON 2000. 10th Mediterranean* 2, 2000, pp. 494-497.
- [REL06] I.Reljin, A.Samčović, B. Reljin, „H.264/AVC video compressed traces: Multifractal and fractal analysis”, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing – Special Issue on Advanced Video Technologies and Applications for H.264/AVC and Beyond*, Vol. 2006, ID 75217, pp. 1-13, June 2006.
- [SCH09] Gerald Schaefer, Aboul Ella Hassanien, Jianmin Jiang, *Computational Intelligence in Medical Imaging Techniques and Applications*, Taylor & Francis Group, LLC, 2009, ISBN 978-1-4200-6059-1
- [SCO05] Scott T. Acton and Nilanjan Ray, *Biomedical Image Analysis: Tracking*, Morgan & Claypool, 2005, ISBN: 1-598290-18-5
- [SEM04] John L. Semmlow, *Biosignal and Biomedical Image Processing - Matlab-Based Application*, Marcel Dekker, 2004, ISBN: 0-8247-4803-4
- [SEM05] John L. Semmlow, *Circuits, Systems, and Signals for Bioengineers: A Matlab-Based Introduction*, Elsevier, 2005, ISBN: 0-12-08-8493-3
- [SUE09] Paul Suetens, *Fundamentals of Medical Imaging*, Second ed. P. Suetens 2009, ISBN-13 978-0-521-51915-1.

- [TAV09] João Manuel R.S. Tavares, R.M. Natal Jorge, eds, *Advances in Computational Vision and Medical Image Processing*, Springer Science +Business Media B.V., 2009, ISBN: 978-1-4020-9085-1
- [ZAJ07] G. Zajić, N. Kojić, V. Radosavljević, M. Rudinac, S. Rudinac, Nikola Reljin, I. Reljin, B. Reljin, "Accelerating of Image Retrieval in CBIR System with Relevance Feedback", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Volume 2007 (2007), Article ID 62678, 13 p. <http://www.hindawi.com:80/getarticle.aspx?doi=10.1155/2007/62678>
- [ZAJ08] Zajeganovic-Ivancic, M., Reljin, I.S., Reljin, B.D., "Video multicoder with neural network control", *NEUREL 2008 Proceedings, 9th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering*, art. no. 4685609, pp. 187-191, ISBN: 978-142442904-2, doi: 10.1109/NEUREL.2008.4685609.



## *4. Standard za digitalnu sliku i komunikacije u medicini - DICOM*

U okviru globalnog fenomena koji predstavlja informaciono društvo javila se potreba za standardizacijom u komunikaciji koja podržava medicinske informacije. Standardizacija može doneti ogromne prednosti. Njenim promovisanjem i primenom razrešili bi se novonastali izazovi brzog razvoja informacionih sistema u zdravstvenim ustanovama. Domen medicinskih slika i pratećih medicinskih podataka predstavlja značajan deo tog razvoja koji je veoma zahtevan. Implementacija telemedicinskih sistema u cilju konačnog dijagnostikovanja koji podrazumeva domen medicinske slike zahteva integraciju informacija i znanja lekara, eksperata informacionih tehnologija i drugog stručnog osoblja u okviru standarda.

Pokazano je još tokom 70-ih i ranih 80-tih godina da deljenje zajedničke opreme, kao što je zajednička kamera između uređaja koji koriste različite metode skeniranja (CT i MRI skeneri), i aktivna primena računara u dijagnostičke svrhe donosi niz prednosti, što je dovelo do standardizovanog pristupa i razvoja PACS-a. Korišćenjem standardizovanih pristupa moguće je olakšati proces "deljenja" i u domenu medicinske slike. Medicinsku sliku potrebno je analizirati, procesirati, skladištitи i proslediti sa jednog na drugo odredište, što je dovelo do pitanja kompatibilnosti uređaja i/ili odgovarajućih aplikacijskih entiteta i potrebe

za standardom za digitalnu sliku i komunikacije u medicini. Više digitalnih slika/snimaka može da nastane tokom jednog pregleda, što je uobičajeno, pa se time samo ističe neophodnost takvog standarda.

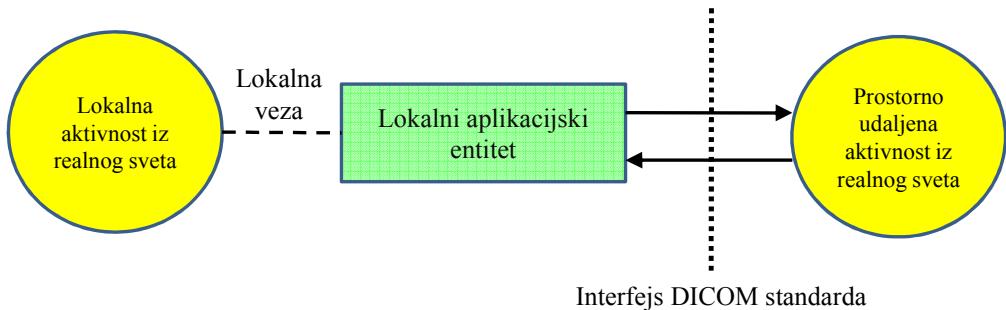
Danas, takav standard postoji i naziva se DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) standard, koji je definisan u okviru dokumentacije koja je postala neizostavno sredstvo za omogućavanje i optimizovanje kompatibilnosti uređaja i razmene podataka u okviru zdravstvenih ustanova. DICOM standard omogućava interoperabilnost sistema za akviziciju, skladištenje, prikaz, procesiranje, slanje, preuzimanje, pretraživanje, štampanje medicinskih slika, nezavisno od hardverskih rešenja, kao i za upravljanje i kontrolu protoka podataka. Ovo poglavlje je neformalnog karaktera sa aspekta opisa DICOM standardizacije i ni u kom slučaju ne zamenjuje originalnu dokumentaciju, koja je javno dostupna [DIC13a, CLU13].

Standard predstavlja rezultat dugogodišnjeg rada i njegov status je i danas podložan izmenama. Naime, članovi DICOM komiteta i dalje rade na korigovanju pojedinih segmenata dokumentacije u cilju efikasnog prilagođenja zahtevima današnjice. Osnovni delovi dokumentacije, ali i njeni dodaci i korekcije predstavljaju deo procesa razvoja standarda. Sve što je opisano i navedeno u ovom poglavlju je u cilju inicijalnog upoznavanja sa osnovnim sadržajem i organizacijom DICOM standarda. Sa te tačke gledišta, korišćeni su termini i izrazi na srpskom jeziku koji se ne mogu smatrati zvaničnom DICOM terminologijom i koji su otvoreni za dalju diskusiju. U cilju bojeg razumevanja osnova DICOM standarda zadržani su termini i izrazi na engleskom jeziku iz originalne dokumentacije.

Uspostavljene su osnovne konvencije u odnosu aktivnosti iz realnog sveta i aplikacijskih entiteta koji se opisuju standardom. Aktivnosti iz realnog sveta se preslikavaju u svet DICOM-a definišući nove DICOM entitete i veze između njih. Veze u komunikaciji mogu biti lokalne, ali i između prostorno udaljenih odredišta (slika 4.1). DICOM standard daje odgovor na prethodno pomenuto pitanje kompatibilnosti, odnosno usaglašenosti u domenu medicinske slike i generalno medicinskih podataka. DICOM informacioni objekti, klase servisa, DICOM poruke i protokoli komunikacije u vidu razmene DICOM poruka predstavljaju osnovne entitete sa kojima DICOM standard operiše i koji će u nastavku teksta biti detaljnije opisani.

Osim standardizacije strukture podataka, komunikacijski model zauzima značajno mesto u DICOM standardu. Aplikacijski nivo u komunikacijskom

hijerarhijskom modelu standarda daje konačan rezultat korisniku koji radi sa medicinskim podacima i on se oslanja na prethodno definisane nivoje modela.



Slika 4.1. Osnovne veze u DICOM standardu.

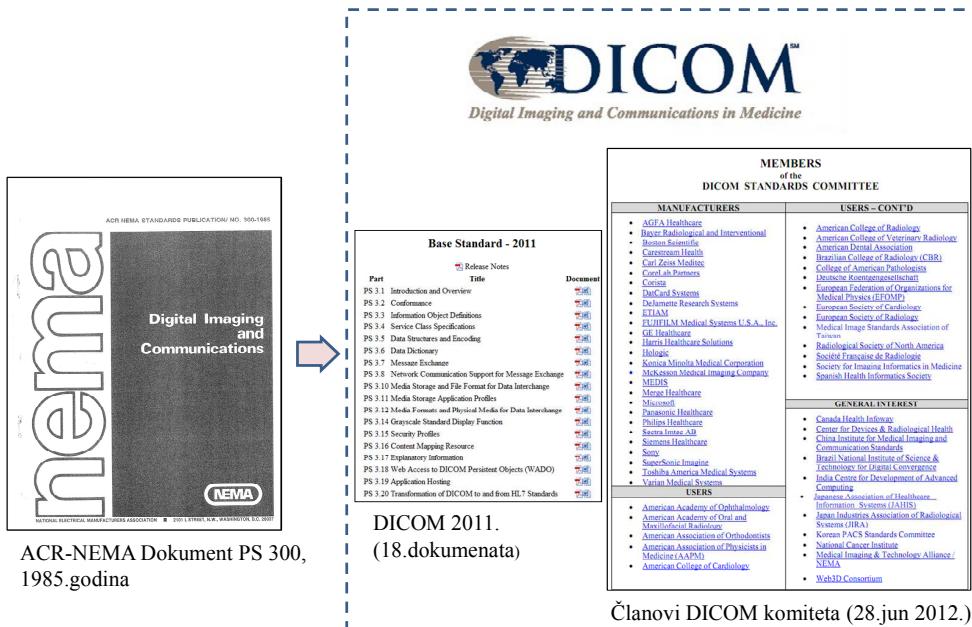
Poseban izazov predstavlja momenat kada proces razmene medicinskih podataka pređe granice u okviru kojih je definisan DICOM standard. Tada je potrebno definisati strategiju koja se tiče njegove veze sa drugim standardima vodeći računa o njihovoj praktičnoj primeni.

#### 4.1. RAZVOJ STANDARDA

Od 70-ih godina 20. veka, razvoj medicinskih sistema koji koriste opremu za dobijanje medicinske slike, doveo je do povećane upotrebe računara u medicini, ali i povećane akvizicije digitalnih snimaka. Američki koledž za radiologiju - ACR (*American College of Radiology*) i udruženje proizvođača - NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) 1983. godine formiraju radnu grupu u cilju razvijanja standarda za razmenu medicinske slike, pre svega u oblasti radiologije [DIC13a, CLU13, DIC13b]. To je podrazumevalo standardizaciju i unapređivanje formata i prenosa medicinske slike bez obzira ko je proizvođač opreme koja se koristi, omogućavanje formiranja dijagnostičkih baza podataka i pojednostavljivanja razvoja PACS sistema i komunikacije sa drugim sistemima. Rezultat zajedničkog rada je ACR-NEMA standard, verzija 1.0, dokument PS 300 (*ACR-NEMA Standards Publication No. 300-1985*), koji je objavljen 1985. godine (slika 4.2).

Originalna verzija ovog dokumenta definiše zajednički okvir za korisnike i proizvođače i precizira interfejs hardvera, rečnik podataka i komande koje se mogu koristiti. Ova verzija standarda je 1986. godine doživela prvu reviziju, a 1988. i drugu. Interfejs podržava samo prenos poruka u komunikaciji od tačke do tačke (*point-to-point*). U prenosu poruka, postoji osnovna rutina korekcije grešaka

koja osigurava tačnost prenosa bajtova. Rečnik podataka daje listu pravila za kodovanje informacija u vezi medicinske slike. Predložen je minimalni skup komandi za potrebe prenosa kroz interfejs (SEND, GET, MOVE, FIND, DIALOG, ECHO, CANCEL) [BID92].



Slika 4.2. Standard 1985. godine i danas.

ACR-NEMA standard iz 1988. godine, verzija 2.0, (ACR-NEMA Standards Publication No. 300-1988), predstavlja rezultat napora zajedničkog komiteta da se terminologija i struktura podataka standardizuju. Semantika definisana verzijom 2.0 opisuje dva segmenta poruke. Poruka se sastoji iz dela za komandu i dela za podatke. Elementarni podaci predstavljaju jedinice informacije. Organizovani su po grupama i čine rečnik podataka. Grupama i elementima se pridružuju identifikatori u vidu heksadecimalnih brojeva, tako da par heksadecimalnih brojeva, recimo par (0010, 0020), određuje na jedinstven način elementarni podatak (tagovanje, obeležavanje upotrebotom identifikatora - *Tag-a*). U toku prenosa, grupe se sortiraju u rastućem poretku, od grupe koja ima najmanji pridružen identifikacioni broj ka grupi koja ima najveći pridruženi identifikacioni broj. Slično važi i za elemente, što znači da će element (0010, 0010), koji označava ime i prezime pacijenta, biti poslat pre njegovog identifikacionog broja (0010, 0020), a datum rođenja pacijenta (0010, 0030) nakon ova dva elementa. Na

#### 4. Standard za digitalnu sliku i komunikacije u medicini - DICOM

osnovu provere parnosti dužine određuje se da li je došlo do greške i da li je potrebno da se prenos ponovi. Grupa (0000) odnosi se na grupu komandi koje su povezane sa tri klase podataka: slikom, tekstrom i grafikom.

ACR-NEMA - 1985	Inicijalni dokument PS 300	Razlike u osnovnom standardu 2006-2007	PS 3.2-8, 3.11-12, 3.15-17
ACR-NEMA - 1988	Inicijalni dokument PS 300	Razlike u osnovnom standardu 2007-2008	PS 3.1-7, 3.10-11, 3.15-17
ACR-NEMA - 1989	Dokument PS 2 (Kompresija podataka)	Razlike u osnovnom standardu 2008-2009	PS 3.2-8, 3.10-12, 3.15-17
ACR-NEMA - 1991	Dokument PS 1 (Magnetna traka)	Razlike u osnovnom standardu 2009-2011	PS 3.1-8, 3.10-12, 3.14-18
Razlike u osnovnom standardu 1998-1999	PS 3.2-3.6, 3.10-3.11, (Terminologija, arhiviranje)		
Razlike u osnovnom standardu 1999-2000	PS 3.2-3.8, 3.11, 3.14, (Umrežavanje, prikaz sive slike)		
Razlike u osnovnom standardu 2000-2001	PS 3.2-3.6, 3.11-3.12, 3.15, (Mehanizmi zaštite)		
Razlike u osnovnom standardu 2001-2003	PS 3.1, 3.3-8, 3.10-12, 3.15-16, (Obrasci i izrazi)		+ Dodatni delovi teksta + Dodatne korekcije
Razlike u osnovnom standardu 2003-2004	PS 3.1-8, PS 3.10-12, PS 3.14-16		
Razlike u osnovnom standardu 2004-2006	PS 3.1-8, PS 3.10-12, PS 3.14-18 (Dodatna objašnjenja, WADO)		

**DICOM standard 2011**  
DOKUMENTI: PS 3.1-3.8, PS 3.10-3.12, PS 3.10-3.20  
(Hosting aplikacija, DICOM - HL7)

Februar 2013

Slika 4.3. Razvoj DICOM standarda u periodu od 1985. do 2011.godine.

Sledeća zvanična verzija je ACR-NEMA standard, verzija 3.0, koja je 1993. godine sa sobom donela nove izmene. Objektno-orientisani podaci u informacionom modelu i upotreba ISO standarda u komunikacijskom modelu, doneli su joj popularnost. Ona predstavlja verziju standarda koja se i danas koristi uz mnogobrojne korekcije koje su u međuvremenu implementirane. ACR-NEMA standard verzija 3.0 (1993.) je po prvi put dobila naziv DICOM standard. Brojne nekompatibilnosti, koje su korisnici do tada primetili, su razrešene rigoroznim tretiranjem pitanja o usaglašenosti (*Conformance*). Uvode se nivoi usaglašenosti i struktura izveštaja o usaglašenosti. Strukturu izveštaja o usaglašenosti treba da obezbedi proizvodač opreme. Proizvođač nije ograničen izborom funkcija koje će implementirati softverski, ali u slučaju da tvrdi da je oprema kompatibilna sa DICOM standardom, potrebno je da navede koje servise podržava. Verzija 3 je donela sa sobom mogućnost umrežavanja, koja prevazilazi komunikaciju od tačke do tačke (*point-to-point*). Gornji DICOM nivo podržava TCP/IP (*Transmission*

*Control Protocol/Internet Protocol)* orijentisan softver. Upotrebom TCP/IP protokola i upotrebom OSI (*Open Systems Interconnection*) protokola moguće je realizovati različite konfiguracije telemedicinskih sistema. Standard definiše upotrebu različitih formata podataka, enkapsulaciju DICOM objekata i primenu tehnika kompresije (JPEG, JPEG2000, itd.). Danas, ti podaci prevazilaze okvire medicinske slike koja i dalje zauzima najvažnije mesto u standardu.

Neke od razlika u osnovnom standardu u periodu od 1985. do 2013. godine prikazane su na slici 4.3. DICOM je kao standard za digitalnu sliku i komunikaciju u medicini prihvaćen formalno 1995. godine na nivou Evrope (Medicom, ENV 12052). Pored toga što je DICOM poznat kao NEMA PS3 standard, poznat je i kao ISO standard 12052 *Health informatics - Digital imaging and communication in medicine (DICOM) including workflow and data management*. Danas je komitet DICOM standarda sastavljen od vodećih proizvođača medicinske i računarske opreme, akademija, asocijacija i društava, kao i velikog broja zainteresovanih strana. Svaku verziju standarda od 1985. godine do danas, pratio je niz dodataka i izmena osnovnog standarda, odnosno odgovarajućih dokumenata, koje su obično donošene na godišnjem nivou. Najnovija verzija standarda do trenutka pisanja ove knjige (*Base Standard*) označena je kao DICOM 2011. Osim osnovnog standarda, javno su dostupni dodaci (*Final Text Supplements additional to 2011 Base Standard*) i korekcije (*Final Text Correction Items additional to 2011 Base Standard*) koje prate aktuelan standard [DIC13a, CLU13].

DICOM standardizacija predstavlja važan proces za telemedicinske sisteme koji su orijentisani ka radu sa medicinskom slikom. Osim poznавања dokumentacije, za prilagođavanje takvih sistema DICOM standardu potrebno je obezbediti: savetovanja i obučavanja za potrebe implementacije, demonstracije servisa, ali i razvoj i upotrebu pratećeg softvera [DIC13b, EVI13, BID92, PIA12, MAR04, VAR12]. To važi i za druge standarde i prateća dokumenta, među kojima su i poznati HL7 (*Health Level Seven International*) i IHE (*Integrating the Healthcare Enterprise*) standardi [HEA13, IHE13].

## 4.2. ORGANIZACIJA DICOM STANDARDA

Organizacija DICOM standarda zasniva se na verziji 3.0 koja je prihvaćena još 1993. godine. Standard definiše koje informacije je potrebno dokumentovati u okviru izveštaja o usaglašenosti aplikacije sa DICOM standardom i koje protokole treba koristiti za komunikaciju. On definiše komande koje se pri tome mogu koristiti, i podatke koji se razmenjuju i/ili skladište na

odgovarajuće medijume. Danas je standard prevazišao svoju osnovnu namenu i osim razmene medicinske slike i podataka koji su usko povezani sa njom, omogućava razmenu podataka o pacijentima, zdravstvenoj ustanovi, pregledima, rezultatima pregleda i sličnim relevantnim podacima. Pored radiologije koja je predstavljala osnovnu medicinsku oblast u okviru standarda, danas DICOM sadrži veliki broj informacija koje se odnose na različite grane medicine, među kojima su: patologija, kardiologija, gastroenterologija, oftalmologija, dermatologija, stomatologija, itd.

DICOM dokumentacija daje osnovne informacije o komunikaciji uređaja koji su sastavni deo PACS sistema. Te informacije su potrebne za implementaciju podsistema koji čine PACS, kao što su: podsistem za akviziciju medicinske slike, podsistem za njen pregled i obradu, skladištenje, itd. U skladu sa prethodno rečenim, DICOM standard je opravdano doživeo ogromnu popularnost i to, pre svega, zahvaljujući razvoju računarskih mreža i upotrebi mrežnih protokola kao što je TCP/IP. To je dalje omogućilo Internet-orientisani rad uz smanjenje cena komercijalnih proizvoda. Princip otvorenog pristupa (OSI) je, dalje, podstakao da u implementaciji standarda učestvuje veliki broj proizvodača i dozvolio masovnu upotrebu. Na kraju, može se reći da je popularizaciji doprinela u velikoj meri i standardizacija u formatiranju podataka i specifikaciji zaglavlja slike (*header*) za proizvoljne modalitete. To je stvorilo uslove da se uspostavi interoperabilnost uređaja i odgovarajućih aplikacija.

DICOM standard je organizovan u 18 dokumenata. Oni su međusobno povezani i nose oznake PS 3.x (od PS 3.1 do PS 3.20, pri čemu su PS 3.9 i PS 3.13 dokumenti povučeni iz upotrebe). Originalni nazivi ovih dokumenata na engleskom jeziku su prikazani u Tabeli 4.1.

Dокумент PS 3.1 predstavlja uvod u standard. Sadrži kratak opis istorije standarda i njegovih ciljeva. Posvećen je sažetom pregledu čitavog standarda, odnosno njegovih delova, koji će kasnije biti detaljnije opisani.

U PS 3.2, definisana je usaglašenost (*Conformance*) za delove sistema koji zahtevaju implementaciju standarda. Postizanje usaglašenosti se opisuje preko uputstava za verifikaciju i principa programske implementacije u skladu sa standardom. Za potrebe implementacije definiše se javan dokument, tzv. izveštaj (ili izjava) o usaglašenosti (*Conformance Statement*). On opisuje na koji način, odnosno, koji delovi standarda su implementirani. Standard određuje struktuirani postupak kojim proizvođač opreme može da potvrdi mogućnosti usaglašavanja sa postojećom opremom. Struktuirani oblik ovih izveštaja olakšava da se napravi procena od strane tehnički sposobljenog korisnika da li je komunikacija između

uređaja moguća (interoperabilnost) i da se odrede koje karakteristike standarda su podržane za posebnu primenu. Takav dokument ne sadrži procedure za testiranje i proveru tačnosti rada implementiranih delova standarda.

Tabela 4.1: Dokumenti sadržani u DICOM standardu iz 2011. godine.

Dokument	Originalni naziv	Naziv
PS 3.1	<i>Introduction and Overview</i>	Uvod i pregled
PS 3.2	<i>Conformance</i>	Usaglašenost
PS 3.3	<i>Information Object Definitions</i>	Definicije informacionih objekata
PS 3.4	<i>Service Class Specifications</i>	Specifikacije klasa servisa
PS 3.5	<i>Data Structures and Encoding</i>	Struktura podataka i kodovanje
PS 3.6	<i>Data Dictionary</i>	Rečnik podataka
PS 3.7	<i>Message Exchange</i>	Razmena poruka
PS 3.8	<i>Network Communication Support for Message Exchange</i>	Podrška komunikacione mreže za razmenu poruka
PS 3.9	(Retired)	(povučen iz upotrebe)
PS 3.10	<i>Media Storage and File Format for Data Interchange</i>	Skladištenje i definisanje formata za arhiviranje
PS 3.11	<i>Media Storage Application Profiles</i>	Aplikacioni profili arhiviranja
PS 3.12	<i>Media Format and Physical Media for Data Interchange</i>	Podržani formati i fizički medijumi za arhiviranje
PS 3.13	(Retired)	(povučen iz upotrebe)
PS 3.14	<i>Grayscale Standard Display Function</i>	Prikaz sivih ( <i>grayscale</i> ) slika
PS 3.15	<i>Security Profiles</i>	Mehanizmi zaštite podataka
PS 3.16	<i>Content Mapping Resource</i>	Resurs obrazaca i izraza
PS 3.17	<i>Explanatory Information</i>	Dodatni opisi
PS 3.18	<i>Web Access to DICOM Persistent Objects (WADO)</i>	<i>Web</i> pristup DICOM objektima
PS 3.19	<i>Application Hosting</i>	Hosting aplikacija
PS 3.20	<i>Transformation of DICOM to and from HL7 Standards</i>	Prelaz sa DICOM standarda na HL7 standard i obrnuto

DICOM informacioni objekat - IOD (*Information Object Definition*), opisan je u PS 3.3 dokumentu. Definicija informacionog objekta se uvodi u cilju opisivanja entiteta iz realnog sveta, za koje se definiše skup klasa. Apstrakcija entiteta se vrši za potrebe komunikacije i razmene medicinskih slika i informacija koje su vezane za njih. Inače, definicije u ovom poglavlju se ne odnose samo na medicinsku sliku, jer DICOM može da služi i za razmenu drugih informacija kao što su talasni oblici jednodimenzionalnih signala (EKG, EEG, itd.), ali i različitih izveštaja (npr. plan radioterapije). Svaki entitet iz realnog sveta je opisan skupom atributa. Ako je instanca klase sadržana u DICOM poruci, onda su i njeni atributi sadržani u poruci. DICOM standard opisuje klase informacionih objekata. Definisane su dve klase, normalizovana i kompozitna. Osim informacionih objekata, bitno je definisati i servise koji se primenjuju nad tim objektima, kojima je više pažnje posvećeno u narednom delu.

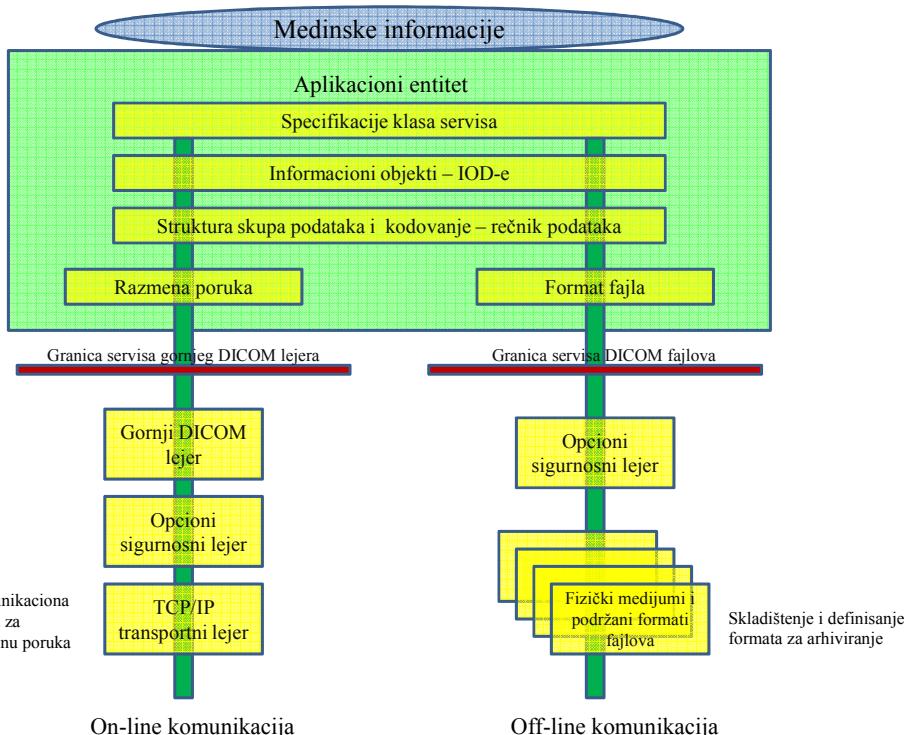
PS 3.4 daje specifikacije klase servisa (*Service Class*). Definiše se DICOM komunikacija na aplikacijskom nivou (*Application Layer - AL*) ISO/OSI modela, tako što se definišu uloge učesnika u komunikaciji i modeluju operacije preko skupa komandi. Klasa servisa povezuje jedan ili više informacionih objekata sa jednom ili više komandi koje treba izvršiti nad njim/a. Ona opisuje šta se može primeniti na informacioni objekat ili skup informacionih objekata. Ovaj dokument definiše karakteristike zajedničke za klase servisa, ali u aneksima daje njihov detaljan opis.

Struktura podataka i kodovanje su opisani u PS 3.5. Objasnjen je način na koji se formira strim - tok podataka (*Data Stream*) koji se koristi u razmeni informacija putem poruka (*Message*). Pravila za upotrebu podataka i semantika generičkih funkcija za informacione objekte nalaze se u ovom dokumentu. Ovaj deo standarda podrazumeva poznavanje PS 3.3 i PS 3.4. i definiše konstrukciju DICOM aplikacije upotrebom IOD-a i klase servisa. Detaljno opisuje standardne sintakse prenosa (*Transfer Syntax*) i upotrebu elemenata podataka. Objasnjava se način dekodovanja podataka i neke od standardnih tehnika kompresije slike (JPEG sa i bez gubitaka, JPEG 2000, RL (*Run Length*) kodovanje). Tako se u prenosu i analizi medicinske slike JPEG kompresija sa gubicima ne prepoučuje, ali se dozvoljava (npr. za *Power Point* prezentacije). DICOM ne definiše nove tehnike i standarde za kompresiju, već koristi postojeće i obezbeđuje mogućnost njihove primene, što je determinisano u okviru sintaksi prenosa.

PS 3.6 predstavlja tzv. rečnik podataka (*Data Dictionary*). To je centralizovani registar svih dostupnih elemenata podataka, što podrazumeva definisanje atributa od strane DICOM-a i njihovo tabelarno prikazivanje.

---

Tabelarni prikaz daje listu jedinstvenih identifikatora koji se pridružuju elementima podataka. DICOM standard dodeljuje ove identifikatore, značenje elementarnih podataka i opisuje način prikazivanja vrednosti - VR (*Value Representation*).



Slika 4.4. Organizacija DICOM standarda iz 2011.godine - komunikacijski model DICOM standarda.

PS 3.7 je posvećen razmeni DICOM poruka. Razmena se oslanja na podršku komunikacionih servisa, koja je detaljno opisana u PS 3.8. Ovaj dokument definiše formate poruka, servise i protokole za razmenu DICOM poruka na aplikacionom nivou. DICOM poruke se sastoje od skupa odgovarajućih komandi i podataka. Ovaj deo standarda opisuje elemente servisa, pravila kodovanja strimova, pravila koja regulišu razmenu zahteva i odgovora na zahteve i uspostavljanje i prekid veza u komunikaciji.

Podrška komunikacione mreže za razmenu poruka je opisana u PS 3.8. Ona određuje komunikacione servise i protokole neophodne za podršku komunikacije između DICOM aplikacija. Komunikacija između aplikacija se na

taj način vodi koordinisano. Sedam slojeva-lejera koji odgovaraju ISO OSI osnovnom modelu služe za definisanje komunikacionih protokola koji se koriste u DICOM standardu. Komunikacijski model DICOM standarda prikazan je na slici 4.4.

U PS 3.10 definiše se opšti model za arhiviranje DICOM podataka na fizičke medijume, gde su DICOM podaci obično medicinska slika i prateći podaci. Ovaj dokument obezbeđuje okvir mogućnosti razmene. Formiran je strukturirani model, gde su uvedeni profili i koncepti primene medijuma za arhiviranje. Profili se odnose na usaglašenost u vezi pisanja, čitanja i ažuriranja sadržaja medijuma. Podaci se enkapsuliraju u DICOM format sve do fizičkog nivoa komunikacijskog modela. Proces je obrnut u slučaju kada se podaci dobiju na prijemnoj strani, kada započne proces otpakivanja, tj. skidanja zaglavljiva nastalih enkapsulacija u višeslojnem modelu.

Aplikacioni profili arhiviranja su opisani u PS 3.11. Definišu se standardni profili programa koji se odnose na arhiviranje i koji su sastavni deo izveštaja o usklađenosti. Odnose se na razmenu podataka na medijumima za arhiviranje za potrebe kliničke primene poštujući okvir definisan u PS 3.10. Aneksi su posvećeni opisivanju kliničkog konteksta, različitih specifikacija i parametara kojima bi se obezbedila pouzdana razmena podataka. Pri tome, razmatra se izbor fizičkih medijuma i formata koje bi trebalo koristiti. Profili primene su tako definisani da se mogu uvek proširiti na nove medijume i informacione objekte.

Podržani formati i fizički medijumi za arhiviranje podataka opisani su detaljnije u PS 3.12. Tu se detaljnije definiše način uređivanja podataka i skup funkcija koje se upotrebljavaju za njihovo skladištenje. Određuju se strukture veze modela medijuma za arhiviranje podataka i određenog fizičkog medijuma i formata, uz opisivanje njihovih karakteristika.

Prikaz sivih (*grayscale*) slika je definisan u PS 3.14 preko standardizovane funkcije za prikaz medicinskih slika na različitim medijumima. Ova funkcija obezbeđuje metode za kalibraciju sistema sa displejima u cilju doslednog prikaza slika. Zasnovana je na čulu vida čoveka (*HVS - Human Visual System*).

Standardni mehanizmi zaštite podataka u DICOM komunikaciji su navedeni u PS 3.15. Dokument ne daje precizno uputstvo za uspostavljanje zaštitnih mera u vidu administracije, već daje na raspolaganje mehanizme u vidu profila zaštite i kontrole. Oni su definisani standardnim modelima i pozivanjem protokola koji se koriste u DICOM komunikaciji, a koji su razvijeni izvan DICOM-a (DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*, LDAP - *Lightweight*

*Directory Access Protocol, TLS - Transport Layer Security, ISCL - Integrated Secure Communcition Layer).*

U PS 3.16 nalazi se resurs obrazaca i izraza. Obrasci za struktuiranje DICOM dokumenata, kodovani izrazi koji se tom prilikom upotrebljavaju, kao i način kodovanja, definišu se u ovom delu. Dat je i leksikon izraza.

Dodatni opisi pojmova u standardu i dodaci standarda dati su dokumentu PS 3.17. Dodaci koji su u njemu sadržani nisu našli svoje mesto u ostaku dokumentacije. Aneksi su sastavni deo i ovog dokumenta i dele se na normativne i, brojnije, informativne.

Web pristup DICOM objektima (WADO - *Web Access to DICOM Persistent Objects*) je opisan u dokumentu PS 3.18. Na raspolaganju su sredstva za pristup DICOM objektima putem HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) URL/URI (*Uniform Resource Locator / Identifier*) zahteva.

Delovi standarda PS 3.19 i PS 3.20. su novi. Hosting aplikacija je opisana u PS 3.19 i definiše vezu između aplikacija i hosting sistema. PS 3.20 se odnosi na vezu DICOM standarda i HL7 standarda i prelaz sa DICOM standarda na HL7 i obrnuto.

Dokumenti PS 3.9 (*Point-To-Pont Communication Support for Message Exchange*) i PS 3.13 (*Print Management Point-To-Point Communication Support*) su povučeni iz upotrebe s obzirom da se oslanjaju na staru verziju ACR-NEMA standarda (verzija 2.0). U njima su bili definisani protokoli komunikacije od tačke do tačke (*point-to-point*). Opisane su funkcije i protokoli za direktnu razmenu poruka između dva uređaja, kao i protokol za štampanje u PS 3.9 i PS 3.13, respektivno.

#### 4.3. DICOM TERMINOLOGIJA

Pri upoznavanju sa DICOM standardom, neophodno je savladati osnovnu terminologiju koja je zastupljena u standardu. DICOM je objektno-orientisan, gde se pod DICOM objektima podrazumevaju tzv. informacioni objekti (*Information Objects*). U standardu, informacioni objekti opisuju objekte iz realnog sveta. Takvi objekti u DICOM-u se formalno nazivaju definicije informacionih objekata - IODs (*Information Object Definitions*).

Informacioni objekti opisuju realne informacione entitete pomoću skupova srodnih atributa (*Attributes*). Atributi imaju oznake i dodeljuju im se konkretne vrednosti podataka kako bi entitet iz realnosti bio opisan nezavisno od načina

kodovanja. Jedinica informacije koja se unosi je definisana kao elementarni podatak (*Data Element*) koji je opisan jednim pristupom u rečnik podataka (*Data Dictionary*). Rečnik podataka je registar svih elementarnih podataka pomoću kojeg im se dodeljuje jedinstvena oznaka, karakteristike i značenje. Skup podataka (*Data Set*) se odnosi na informaciju koja se razmenjuje i koja se opisuje pomoću struktuiranog skupa atributa, gde je vrednost svakog atributa predstavljena kao elementarni podatak. Rezultat DICOM kodovanja skupa podataka uz upotrebu rečnika podataka naziva se strim podataka (*Data Stream*).

Nad informacionim objektima primenjuju se DICOM komande (*Commands*), koje predstavljaju zahteve da se neka operacija izvrši za vreme komunikacije u mreži. Element komande (*Command Element*) predstavlja kodovani parametar komande koji nosi informaciju o vrednosti parametra, dok strim komande (*Command Streams*) nastaje kao rezultat kodovanja skupa komandnih elemenata.

DICOM poruka (*Message*) je jedinica razmene informacije u okviru protokola za razmenu poruka (*Message Exchange Protocol*) između dve DICOM aplikacije. Sastoji se iz strima komande i strima podataka.

Metode koje upotrebljavaju definicije informacionih objekata se definišu kao elementi servisa koji opslužuju DICOM poruke - DIMSE (*DICOM Message Service Elements*). DIMSE elementi predstavljaju skupove komunikacijskih servisa na aplikacijskom nivou rada. Grupa DIMSE servisa - DSG (*DIMSE Service Group*) predstavlja podskup svih DIMSE servisa koji se mogu primeniti na određeni IOD.

Klase informacionog objekta (*Information Object Class*) ili formalnije klasa parova servis-objekat, skraćeno SOP klasa (*Service-Object Pair Class*), predstavlja formalan opis informacionog objekta, njegove namene i atributa koje poseduje bez konkretnih vrednosti podataka. SOP klasa predstavlja osnovnu jedinicu za DICOM funkcionalnost i sastoji se od: IOD-a, DSG-a i ograničenja i proširenja za IOD. Instanca informacionog objekta (*Information Object Instance*) ili formalnije instanca parova servis-objekat, skraćeno SOP instanca (*Service-Object Pair Instance*), opisuje realni entitet koji uključuje vrednosti atributa klase informacionog objekta kome je pridružen konkretni entitet. SOP klasa i instanca SOP klase dobijaju jedinstvene identifikatore, tzv. UID (*Unique ID*, *Unique Identifier*), čime je realni entitet u potpunosti određen. Na taj način medicinska slika je u potpunosti identifikovana u okviru zaglavља (*header*), čak i u slučaju pojave duplikata. Informacioni entiteti (IE - *Information Entity*) koji se opisuju u okviru DICOM-a prevazilaze medicinsku sliku.

Tabela 4.2: Osnovna DICOM terminologija

Skraćenica	Originalni naziv	Naziv
IOD	<i>Information Object Definition</i>	Definicija informacionog objekta, informacioni objekat, DICOM objekat
DIMSE	<i>DICOM Message Service Element</i>	Elementi servisa koji opslužuju DICOM poruke, DICOM metode
DSG	<i>DIMSE Service Group</i>	Grupa DIMSE servisa
SOP	<i>Service-Object-Pair (Class)</i>	Klasa parova servis-objekat, klasa informacionog objekta
UID	<i>Unique ID, Unique Identifier</i>	Jedinstveni identifikator
IE	<i>Information Entity</i>	Informacioni entitet
AE	<i>Application Entity</i>	Aplikacijski entitet
SCU	<i>Service Class User</i>	Korisnik klase servisa
SCP	<i>Service Class Provider</i>	Provajder klase servisa
AET	<i>Application Entity Title</i>	Naziv aplikacijskog entiteta

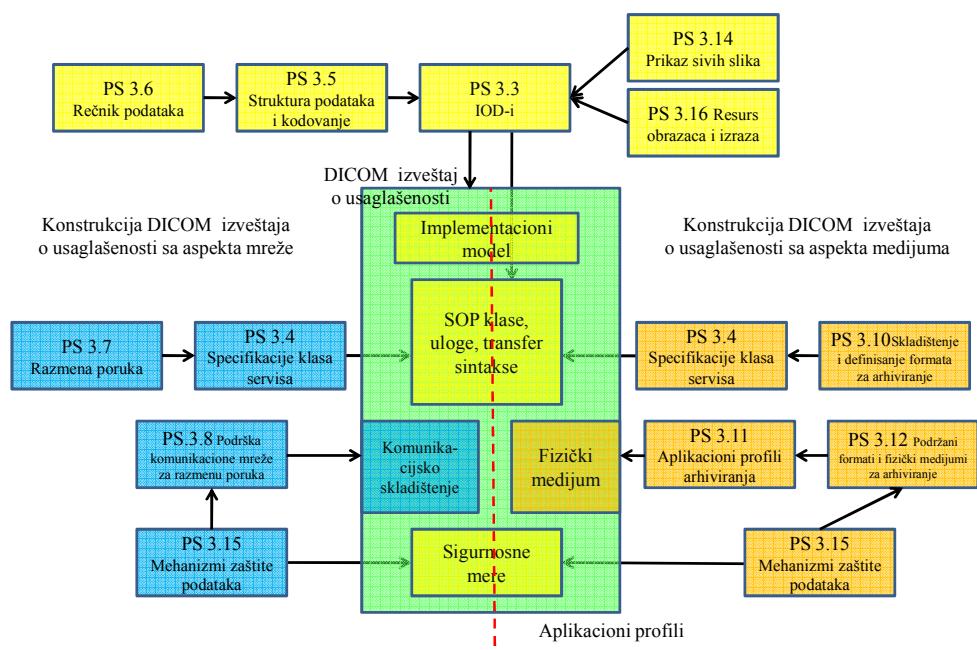
Klasa servisa (*Service Class*) predstavlja skup funkcionalnosti za određenu realnu aktivnost. Ona daje strukturirani opis servisa koji su podržani između dve DICOM aplikacije upotreboom DICOM komandi, koje se primenjuju na konkretnu klasu informacionog objekta. Klasa servisa se sastoji iz skupa SOP klase, uključujući određena pravila i pridruženu semantiku. Kako se komunikacija obavlja između dva aplikacijska entiteta (AE - *Application Entity*), jedan igra ulogu korisnika (SCU - *Service Class User*), a drugi ulogu provajdera-dobavljača klase servisa (SCP - *Service Class Provider*). Identifikacija AE kroz mrežu se realizuje pomoću AET (*Application Entity Title*). Dva aplikacijska entiteta u cilju deljenja jedne ili više SOP klase koje podržavaju, neophodno je da uspostave međusobno udruživanje, odnosno asocijaciju (*Association*). Pod asocijacijom, se podrazumeva međusobno uspostavljanje sintakse prenosa (*Transfer Syntax*) podataka koje su prihvatile obe strane.

Dokument o usaglašenosti (*Conformance Statement*) se definiše kao formalan javni dokument koji opisuje konkretnu implementaciju proizvoda koji koristi DICOM standard. To je implementacioni model koji određuje klase sevisa, informacione objekte i komunikacione protokole, koji su podržani.

Terminologija koja se koristi u DICOM standardu prevazilazi spisak pomenutih termina, koji ovde služe za bolje razumevanje standarda (Tabela 4.2).

#### 4.4. DOKUMENT O USAGLAŠENOSTI

Izveštaji o usaglašenosti (*Conformance Statements*) su kritični za interoperabilnost, koja je osnovna namena DICOM standarda. Oni pružaju važne informacije za potrebe implemenacije i integracije u cilju uspostavljanja interoperabilnosti između aplikacija. U slučaju da se interoperabilnost nije uspostavila, mogu biti od značaja za potencijalno pronalaženje uzroka. Konzistentni obrasci za generisanje ovakvih izveštaja su opisani u PS 3.2. Dodatne karakteristike, klase servisa, informacionih objekata i komunikacionih protokola se mogu pronaći u poglavljima drugih dokumenata koji se tiču usaglašenosti. Konstrukcija izveštaja o usaglašenosti se može posmatrati sa aspekta povezanosti u mrežu i razmene podataka ili sa aspekta arhiviranja na fizičke medijume. Organizacija DICOM standarda šematski je prikazana na slici 4.5. pomoću naziva dokumenata i opisuje pristup realizaciji DICOM izveštaja o usaglašenosti.



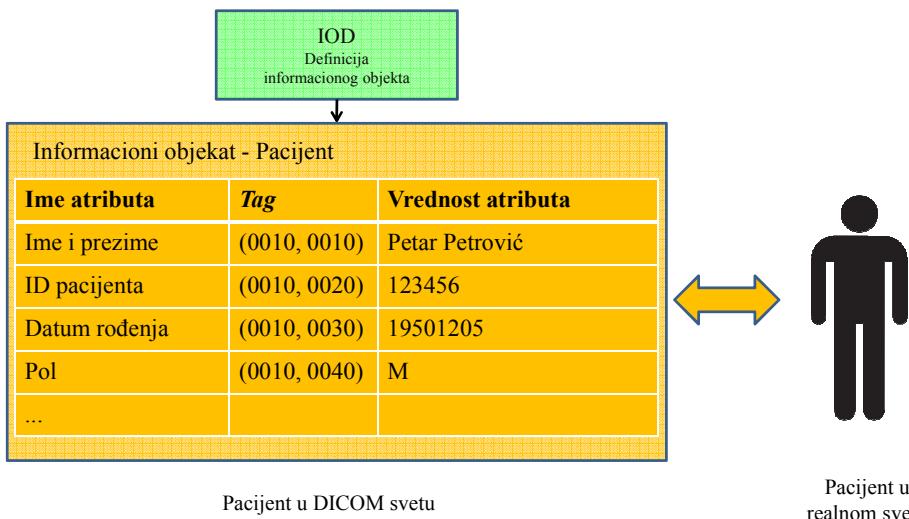
Slika 4.5. Organizacija DICOM standarda iz 2011.godine.

U PS 3.2 definiše se minimum potrebnih zahteva za prilagođenost standardu i načinu realizacije izveštaja. Ovaj dokument ne daje nikakve informacije o testiranju ili validaciji, kao ni o odabiru opcionih karakteristika, klase servisa ili informacionih objekata za konkretni uređaj. Izbor komponenti DICOM standarda koje bi mogle biti korisne u implementaciji zavise od aplikacije i o tome nema reči u standardu. Primer za to je slučaj kada digitajzer ne podržava SOP klase za druge modalitete slika, jer to nije potrebno, ili kada server za arhiviranje podataka mora da podržava SOP klase različitih modaliteta.

Za potrebe izveštaja o usaglašavanju, razlikuje se deo koji se tiče umrežavanja i skladištenja memorije, kao što je prikazano u komunikacijskom modelu DICOM standarda. U skladu sa tim, odgovarajuća poglavija (kao što su PS 3.7-3.8) i njihove međusobne veze važe za konstrukciju DICOM izveštaja o usaglašenosti sa aspekta mreže. Određena poglavija (PS 3.10-3.12) posvećena su konstrukciji DICOM izveštaja o usaglašenosti sa aspekta medijuma. Aneksi koji se nalaze u ovoj glavi (od A-H), posvećeni su normativnom i nizu informativnih obrazaca izveštaja o usaglašavanju.

#### 4.5. INFORMACIONI OBJEKTI

DICOM informacioni objekti ili formalnije definicije informacionih objekata (IODs) služe za opis realnih objekata. Veza realnog i DICOM objekta, odnosno IOD-a biće ilustrovano na primeru pacijenta [PIA12, BOU12].



Slika 4.6. Veza realnog objekta i DICOM objekta (IOD) na primeru pacijenta.

Pacijent (*Patient*) je po definiciji osoba koja prima ili je registrovana da prima usluge zdravstvene nege, ili je predmet jedne odnosno više studija za neku namenu, kao što je kliničko istraživanje. Ako pacijent predstavlja realni objekat koji se želi opisati upotrebom DICOM standarda, onda je potrebno definisati IOD pacijenta, odnosno skup atributa (ID (identifikacioni) broj, ime i prezime, pol, visina, težina, itd.) koji predstavljaju objekat *Pacijent* u DICOM prilagođenom okruženju. Tim atributima se, dalje, dodeljuju konkretnе vrednosti, čime je određen konkretni realni objekat. Svaki atribut ima svoju oznaku (*Tag*), koji ga jedinstveno određuje (slika 4.6).

IOD SC slike - tabela modula		
Informacioni entitet (IE)	Modul	Atributi i njihova upotreba
Pacijent ( <i>Patient</i> )	<i>Patient</i>	
	<i>Clinical Trial Subject</i>	
Studija ( <i>Study</i> )	<i>General Study</i>	
	<i>Patient Study</i>	
	<i>Clinical Trial Study</i>	
Tok ( <i>Series</i> )	<i>General Series</i>	
	<i>Clinical Trial Series</i>	
Oprema ( <i>Equipment</i> )	<i>General Equipment</i>	
	<i>SC Equipment</i>	
Slika ( <i>Image</i> )	<i>General Image</i>	Obavezni (M - <i>mandatory</i> ), uslovni (C - <i>conditional</i> ), opcioni (U - <i>user option</i> ) atributi
	<i>Image Pixel</i>	
	<i>Device</i>	
	<i>Specimen</i>	
	<i>SC Image</i>	
	<i>Overlay Plane</i>	
	<i>Modality LUT</i>	
	<i>VOI LUT</i>	
	<i>ICC Profile</i>	
	<i>SOP Common</i>	

Slika 4.7. Definicija informacionog objekta SC slike - tabela modula.

Informacioni objekti opisuju realne objekte pomoću skupova srodnih atributa. Ti skupovi srodnih atributa nazivaju se moduli (*Modules*) i oni opisuju klasu realnih objekata. Jedan od IOD-a je IOD SC (*Secondary Capture*) slike, koji opisuje slike koje se konvertuju iz formata koji nije DICOM u DICOM format, nezavisno od modaliteta. Primer takve slike je slika dobijena pomoću film digitajzera koji konverte analogni format u digitalni ili skenirani dokument koji uključuje rukopis. IOD SC slike se može opisati pomoću pet informacionih

entiteta (IE): pacijent, studija, tok, oprema i slika. Svaki od informacionih entiteta je opisan pomoću odgovarajućih modula, kojima su pridruženi konkretni atributi. Dodeljeni atributi mogu biti obavezni, uslovni ili opcioni (slika 4.7).

IOD koji generalno služi za predstavljanje jedne klase realnih objekata naziva se normalizovanim IOD-om. Tada se IOD odnosi na jedan entitet u DICOM modelu realnog sveta. Nasuprot normalizovanom, IOD koji uključuje informacije o srodnim objektima realnog sveta naziva se kompozitni IOD. Ovакви IOD-i se sastoje od atributa koji su razdvojivi u okviru samog IOD-a, ali nisu u odnosu na srodne realne objekte. Time daju kontekst razmeni informacija.

Osim komunikacijskog modela, informacioni model DICOM standarda je veoma važan. Na definiciju informacionog objekta primenjuje se grupa servisa (DSG), recimo DIMSE servisi (slika 4.8). Može se reći da je SOP klasa, klasa parova servis-objekat opisana pomoću IOD-a i grupe servisa koji se primenjuju nad IOD-om. SOP klase kao i IOD-i mogu biti kompozitne i normalizovane. Normalizovana SOP klasa je definisana kao unija normalizovanog IOD-a i skupa odgovarajućih DIMSE servisa (DIMSE-N). Analogno tome, kompozitna SOP klasa se definiše kao unija kompozitnog IOD-a i skupa odgovarajućih DIMSE servisa (DIMSE-C).

DICOM koristi različite elemente podataka i načine njihovog kodovanja. Pomoću konkretnih prezentacija, odnosno tipova vrednosti (VR) predstavljaju se elementarni podaci. VR može biti datum, vreme, celobrojni string i drugo. U tabeli 4.3. prikazane su mogućnosti izbora VR. U PS 3.5 se mogu naći informacije o opisu i memoriji koja je rezervisana za svaki VR, kao i potencijalnim karakteristikama (konkrentne vrednosti i formati za zapis tih vrednosti). Detaljnije o njima može se videti u rečniku podataka (PS 3.6). Resurs obrazaca i izraza nalazi se u PS 3.16. Primeri normativnih izraza za različite modalitete prikazani su u tabeli 4.4.

U praksi, rezultat DICOM standarda je slika u DICOM formatu. DICOM slika je zahtevna za manipulaciju i arhiviranje i predstavlja najčešći primer DICOM datoteke. Datoteka koja zadovoljava format definisan standardom (PS 3.10) naziva se datoteka u DICOM formatu ili samo DICOM datoteka i njena ekstenzija je *.dcm*. DICOM format slike se sastoji iz zaglavlja (*header-a*) i podataka o samoj slici. U zaglavljtu se mogu naći brojne informacije koje su relevantne i koje prate sliku. Visok kvalitet medicinske slike je bitan. Takođe je neophodan kvalitet očuvanja zaglavlja u formatu koji je zajednički za sve aplikacije [GUL02]. U tabeli 4.5. prikazane su standardne rezolucije i ukupan broj piksela za DICOM slike različitih modaliteta.

Tabela 4.3: VR - reprezentacija (tip) vrednosti

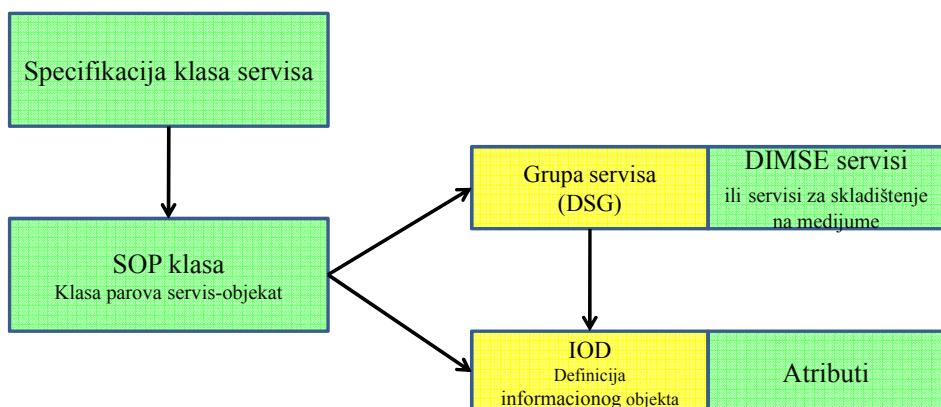
VR - reprezentacija vrednosti, skraćenica	VR naziv
AE	<i>Application Entity</i>
AS	<i>Age String</i>
AT	<i>Attribute Tag</i>
CS	<i>Code String</i>
DA	<i>Date</i>
DS	<i>Decimal Strong</i>
DT	<i>Date/Time</i>
FL	<i>Floating Point Single</i>
FD	<i>Floating Point Double</i>
IS	<i>Integer String</i>
LO	<i>Long String</i>
LT	<i>Long Text</i>
OB	<i>Other Byte</i>
OF	<i>Other Float</i>
OW	<i>Other Word</i>
PN	<i>Person Name</i>
SH	<i>Short String</i>
SL	<i>Signed Long</i>
SQ	<i>Sequence of Items</i>
SS	<i>Signed Short</i>
ST	<i>Short Text</i>
TM	<i>Time</i>
UI	<i>Unique Identifier</i>
UL	<i>Unsigned Long</i>
UN	<i>Unknown</i>
US	<i>Unsigned Short</i>
UT	<i>Unlimited Text</i>

Tabela 4.4: Normativni izrazi za različite modalitete i arhive (SKR - skraćenica)

SKR.	Arhiva	SKR.	Arhiva	SKR.	Arhiva	SKR.	Arhiva
AR	Autorefraction	FP	Female Pseudohemaphrodite	NM	Nuclear Medicine	RTIMAGE	Radiotherapy Image
AU	Audio	GM	General Microscopy	OAM	Ophthalmic Axial Measurements	RTPLAN	Radiotherapy Plan
BDUS	Ultrasound Bone Densitometry	H	Hemaphrodite	OCT	Optical Coherence Tomography	RTRE-CORD	Radiotherapy Treatment Record
BI	Biomagnetic imaging	HC	Hard Copy	OFFLINE	Offline	RTSTR-UCT	Radiotherapy Structure Set
BMD	Bone Mineral Densitometry	HD	Hemodynamic Waveform	ONLINE	Online	SEG	Segmentation
CAD	Computer Assisted Detection/ Diagnosis	IO	Intra-oral Radiography	OP	Ophthalmic photography	SM	Slide Microscopy
CAPTU- RE	Image Capture	IVUS	Intravascular Ultrasound	OPM	Ophthalmic Mapping	SMR	Stereometric Relationship
COMP	Computation Server	KER	Keratometry	OPR	Ophthalmic Refraction	SR	Structured Report Document
CR	Computed Radiography	KO	Key Object Selection	OPT	Ophthalmic Tomography	SRF	Subjective Refraction
CT	Computed Tomography	LEN	Lensometry	OPV	Ophthalmic Visual Field	TG	Thermography
DG	Diaphanography	LOG	Procedure Logging	OT	Other Modality	U	Unknown Sex
DOCD	Document Digitizer Equipment	LS	Laser surface scan	PR	Presentation State	UNAVA- ILABLE	Unavailable
DSS	Department System Scheduler	M	Male	PRINT	Hard Copy Print Server	US	Ultrasound
DX	Digital Radiography	MC	Male changed to Female	PT	Positron emission tomography	VA	Visual Acuity
ECG	Electrocardiography	MCD	Media Creation Device	PX	Panoramic X-Ray	VIDD	Video Tape Digitizer Equipment
EPS	Cardiac Electrophysiology	MEDIM	Portable Media Importer Equipment	REG	Registration	WSD	Workstation
ES	Endoscopy	MG	Mammography	RF	Radiofluoroscopy	XA	X-Ray Angiography
F	Female	MP	Male Pseudohemaphrodite	RG	Radiographic imaging	XC	External-camera Photography
FC	Female changed to Male	MR	Magnetic Resonance	RT	Radiation Therapy Device	-	-
FILMD	Film Digitizer	NEAR-LINE	Nearline	RTDOSE	Radiotherapy Dose	-	-

Tabela 4.5: Standardne karakteristike DICOM slika različitih modaliteta.

Modalitet	SKR.	Matrica piksela (rezolucija)	Ukupan broj piksela
Slika nuklearne medicine	NM	128x128	16384
Slika magnetne rezonancije	MRI	256x256	65536
Slika ultrasonografije	USG	512x512	262144
Slika digitalne subtraktivske angiografije	DSA	512x512	262144
Slika kompjuterizovane tomografije	CT	512x512	262144
Slika kompjuterizovane/digitalne radiografije	CR/DR	2048x2048	4194304
Slika digitalne mamografije	MG	4000x5000	20000000
Slika digitalne kamere	-	Opciono	Opciono



Slika 4.8. Informacioni model DICOM standarda.

DICOM datoteke se obično ne mogu "direktno" videti na displeju, već je potrebna programska podrška u vidu DICOM pregledača (*viewers*). Medijum kao što je CD ili DVD sa DICOM slikama obično sadrži: program za automatsko

pokretanje aplikacije (zavisi od proizvoda i proizvođača), DICOM pregledač za pregledanje slika, direktorijum sa DICOM slikama i DICOM direktorijum (DICOMDIR) sastavljen od indeksa i svih relevantnih informacija o DICOM slikama koje se nalaze u direktorijumu. Kada DICOM pregledač nije na raspolaganju potrebno je preuzeti dodatne softverske pakete [VAR12].

#### 4.6. KLASE SERVISA

U okviru informacionog modela DICOM standarda potrebno je obaviti specifikaciju klase servisa. Klase servisa su podržane od strane DICOM aplikacija i doprinoсе semantici DICOM standarda. Klasa servisa opisuje koji servisi se mogu primeniti na IOD-e u komunikaciji između dve DICOM aplikacije. Klase servisa se implementiraju preko SOP klasa.

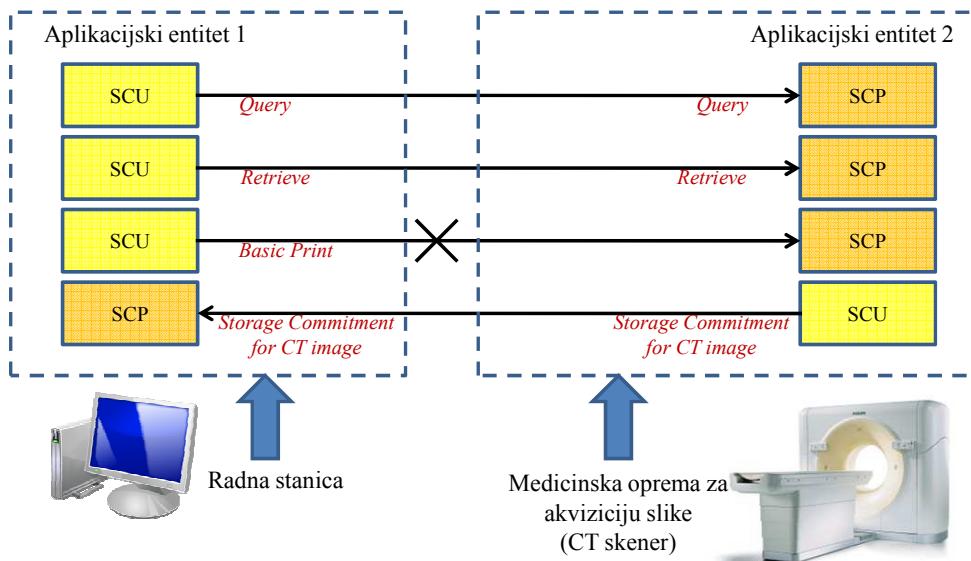
Osnovna dva učesnika u DICOM komunikaciji između aplikacija su korisnik (SCU - *Service Class User*) i provajder (SCP- *Service Class Provider*) klase servisa. SCU inicira servis, dok ga SCP prihvata. Za određivanje klase servisa potrebno je znati da li se funkcionalnost DICOM servisa posmatra sa aspekta mreže ili sa aspekta medijuma, kao što je opisano u osnovnom komunikacijskom modelu DICOM standarda. To zavisi od toga da li se specifikacija klase servisa odnosi na razmenu poruka (PS 3.7) ili skladištenje podataka na fizički medijum (PS 3.10).

Veza između SCU i SCP određuje konkretnu klasu servisa. Pomenućemo samo neke klase servisa: *Query/Retrieve, Verification, Media Storage, Storage Commitment, Patient (Study, Results, Information) Management, Basic Worklist Management, Performed Procedure Steps, Basic Print*.

Ako medicinski uređaj za akviziciju slike (npr. CT skener) inicira servis *Storage Commitment* ("obavezivanje" u smislu arhiviranja) za sliku određenog modaliteta (u ovom slučaju CT sliku), da bi veza SCU-SCP bila uspostavljena potrebno je da taj servis bude "prihvaćen" od strane odgovarajućeg uređaja [BID97]. U slučaju radne stanice (*workstation*) po definiciji DICOM standarda to je moguće. Radna stanica garantuje da će podaci biti skladišteni u okviru baze podataka i/ili na neki fizički medijum (npr. CD, DVD). Moguće SCU-SCP veze između DICOM aplikacija koje odgovaraju radnoj stanici i CT skeneru prikazane su na slici 4.9. Očigledno je da veza između SCU i SCP neće biti uspostavljena u slučaju klase servisa za osnovno štampanje (*Basic Print*).

Lista klasa servisa koje se mogu realizovati za određenu opremu koja podržava DICOM standard predstavlja sastavni deo izveštaja o usaglašenosti

(*Conformance Statement*). Lista prezentuje slučajeve u kojima DICOM aplikacijski entitet može igrati ulogu SCU ili SCP. Ovde ponovo ističemo činjenicu da bi, na osnovu upoređivanja izveštaja o usaglašenosti dveju implementacija, korisnik trebalo da je u mogućnosti da pogleda da li je interoperabilnost dva dela sistema moguća ili ne.



Slika 4.9. Uloge SCU i SCP kod dva aplikaciona entiteta.

Medicinska slika se može razmeniti između dve DICOM aplikacije upotrebom klase servisa za arhiviranje (*Storage Service Class*). Za ovakvu klasu servisa definiše se veliki broj SOP klase, koje odgovaraju različitim modalitetima slike. U tom slučaju, CT slika predstavlja kompozitni IOD. SOP klasa koja se definiše, osim IOD-a, uključuje i DIMSE-C servise. Klase servisa koje su kompozitne su najčešće: *Verification, Storage, Query/Retrieve* i njima srođene klase, dok su primjeri normalizovanih klasa servisa: *Patient Management, Study Management, Results Management, Basic Print Management*, itd.

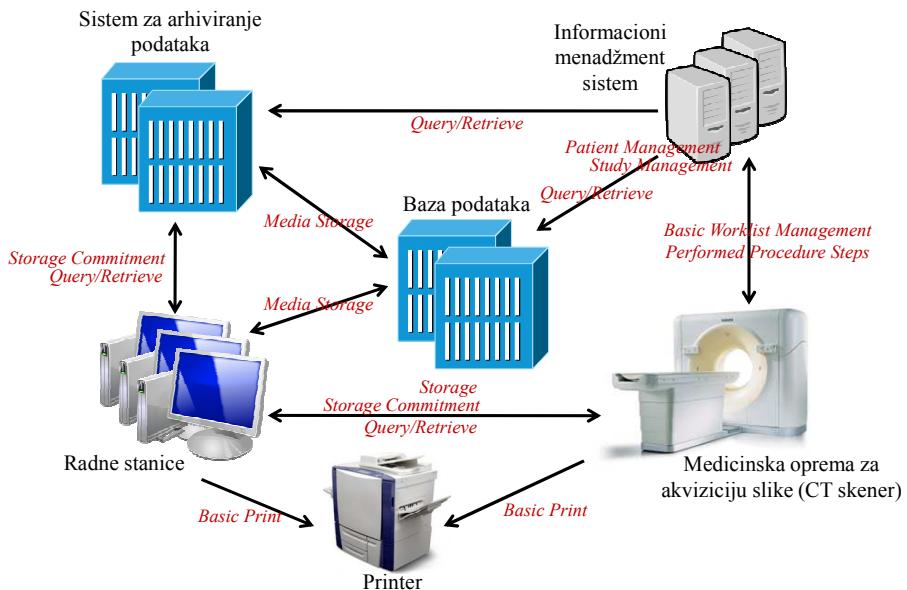
DICOM komunikacija se realizuje pomoću DIMSE servisnih elemenata, koji mogu biti normalizovani i kompozitni, DIMSE-N i DIMSE-C, respektivno. DIMSE-N operacije su:

- N-EVENT-REPORT - operacija za signaliziranje događaja vezanog za određenu instancu normalizovane SOP klase,
- N-GET - operacija za preuzimanje atributa određene instance normalizovane SOP klase,

- N-SET - zahtev da se podesi vrednost nekog atributa instance normalizovane SOP klase,
- N-ACTION - zahtev da se izvrši određena akcija nad instancom normalizovane SOP klase,
- N-CREATE - zahtev da se kreira nova instance normalizovane SOP klase,
- N-DELETE - zahtev da se obriše instance normalizovane SOP klase.

Kompozitni elementi servisa DIMSE-C definišu operacije, kao što su:

- C-STORE - operacija za memorisanje instance kompozitne SOP klase,
- C-FIND - operacija za pronalaženje atributa instanci kompozitne SOP klase,
- C-GET - operacija za pronalaženje i memorisanje instance kompozitne SOP klase na osnovu postavljenog kriterijuma pretrage,
- C-MOVE - operacija za pronalaženje i izmeštanje instance kompozitne SOP klase,
- C-ECHO - za verifikaciju postojanja drugog aplikacijskog entiteta sa kojim se uspostavlja veza.



Slika 4.10. Klase servisa u toku rada telemedicinskog sistema.

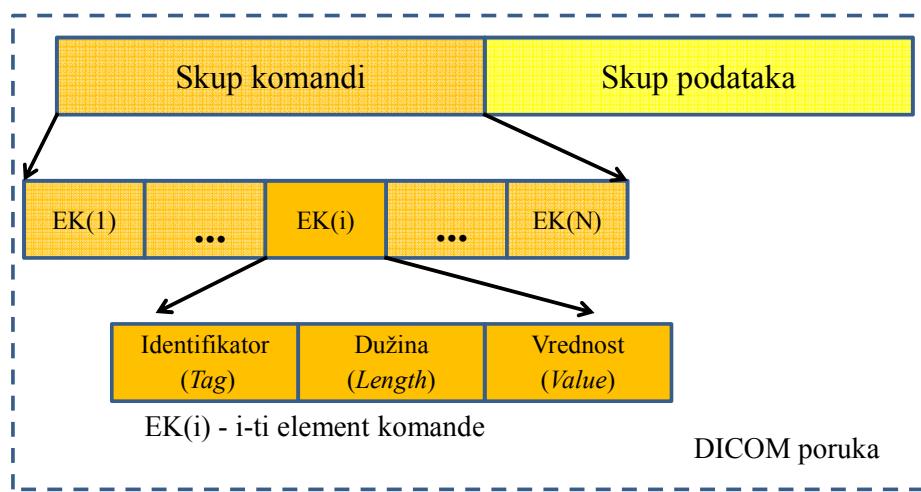
Kada informacioni sistem bolnice (HIS - *Hospital Information System*) ili radiološki informacioni sistem (RIS - *Radiology Information System*), koji ne

ulaze u okvir DICOM standarda, pošalju zahtev za upotrebu neke opreme za akviziciju medicinske slike (npr. CT skener), postavlja se pitanje standardizacije razmene podataka. Za tu priliku, kada razmena dva sistema prelazi okvire standarda, pitanje komunikacije i dalje spada pod okrilje DICOM-a i definiše se pomoću odgovarajućih klasa servisa. Upotrebom klase servisa *Basic Worklist Management*, aplikacijski entitet koji odgovara CT skeneru upućuje zahtev (*Query*) za redosledom pacijenata koji bi trebalo u skorije vreme da koriste taj skener za potrebe akvizicije slike. Kada se akvizicija obavi, izveštaj se šalje informacionom sistemu upotrebom klase *Performed Procedure Steps*.

Komunikacija radne stanice i CT skenera je česta. Nakon akvizicije slike, najčešći postupak je analiza dobijene slike, postobrada, upoređivanje snimaka sa prethodno arhiviranim materijalom, pisanje izveštaja o rezultatima koji su dobijeni, itd. Rezultati analize se dalje skladište na neki fizički medijum (npr. *Media Storage*) ili se jednostavno odštampaju (*Basic Print*). Klase servisa koje se najčešće koriste u komunikaciji delova jednog telemedicinskog sistema bolnice prikazane su na slici 4.10., i čine sastavni deo toka rada (*workflow*) u jednoj zdravstvenoj ustanovi.

#### 4.7. DICOM PORUKA I DICOM KOMUNIKACIJA

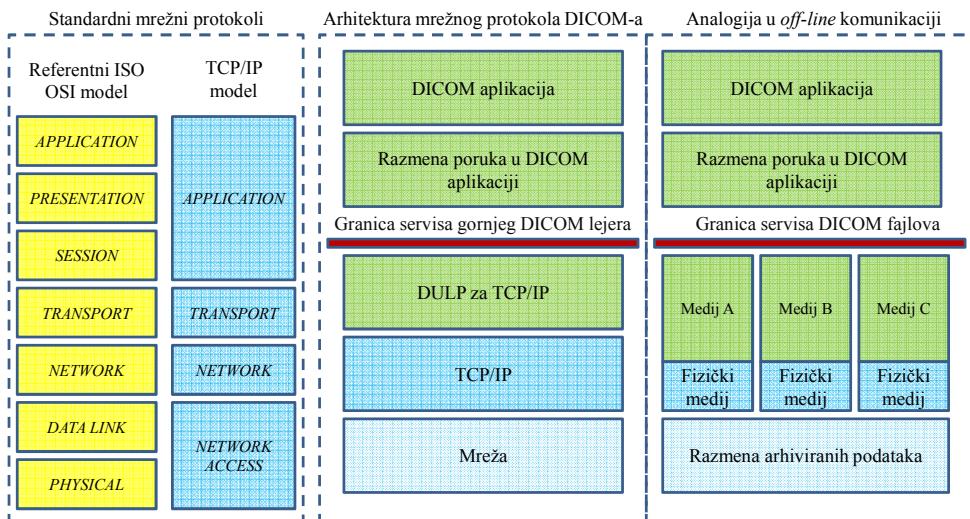
Informacije koje se razmenjuju između dve DICOM aplikacije su kodirane kao DICOM poruke (slika 4.11). DICOM poruka se sastoji iz skupa komandi ( $\{EK(i)\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ ), nakon čega sledi skup podataka nad kojima se obavljaju operacije koje definiše skup komandi.



Slika 4.11. Struktura DICOM poruke.

Skup podataka je predstavljen pomoću atributa koji je određen sintaksom standarda, dok se skup komandi sastoji iz delova za identifikaciju operacija, potrebnih parametara i dodatnih informacija. Elementi komandi  $EK(i)$  ( $i=1,\dots,N$ ), imaju tri polja: polje za identifikator (*Tag*), dužinu (*Length*) i vrednost (*Value*) komande. Identificuje se skup komandi i konkretna komanda iz tog skupa.

Osnovu DICOM komunikacije čine komunikacijski protokoli. Komunikacija zahteva zajednički semantički kontekst. Mrežni protokol DICOM standarda zasnovan je na slojevitom modelu, koji se opisuje pomoću referentnog ISO OSI modela. On se sastoji iz sedam slojeva (*layers*) prikazanih na slici 4.12: fizički sloj (*Physical*), sloj veze (*Data Link*), mrežni sloj (*Network*), transportni sloj (*Transport*), sloj sesije (*Session*), sloj prezentacije (*Presentation*) i aplikacijski sloj (*Application*).



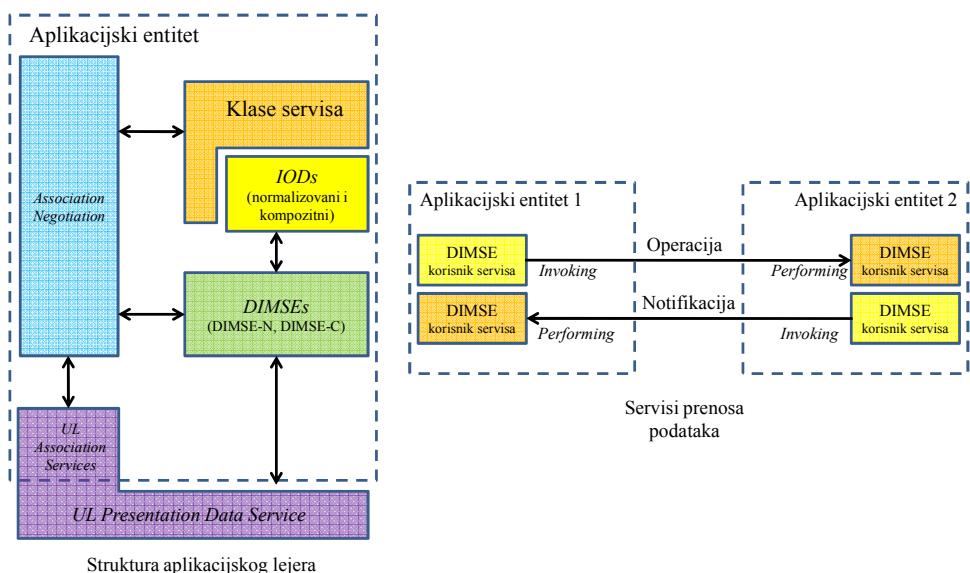
Slika 4.12. Arhitektura mrežnog protokola DICOM standarda.

Dокумент PS 3.8 je posvećen podršci komunikacionoj mreži za razmenu podataka gde se definišu mrežni komunikacijski servisi koji omogućavaju komunikaciju dva DICOM aplikacijska entiteta. Mrežni komunikacijski servisi, koji se definišu, odgovaraju tzv. gornjem sloju (UL - *Upper Layer*) DICOM-a. Oni se zasnivaju na OSI protokolima (od prvog - fizičkog sloja (*PHYSICAL*) do šestog sloja - sloja prezentacije (*PRESNTATION*)) ISO OSI referentnog modela i OSI servisnog elementa za kontrolu pridruživanja, odnosno objedinjavanja (ACSE - *Association Control Service Element*). OSI sloj prezentacije i ACSE podržavaju servise UL sloja kojima se uspostavlja komunikacija između dva

#### 4. Standard za digitalnu sliku i komunikacije u medicini - DICOM

aplikacijska entiteta. To znači da se na vrhu implementacionog TCP/IP modela nalazi raspoloživi skup OSI servisa, koji je prihvaćen od strane standarda za potrebe razmene poruka i da je potrebno definisati UL protokol DICOM standarda - DULP (*DICOM Upper Layer Protocol*) za TCP/IP.

Granica servisa gornjeg sloja DICOM standarda označava da je aplikacijski entitet iznad te granice nezavisan od protokola i da se u slučaju promene protokola ne utiče na elemente servisa DICOM aplikacija, već se menja samo DULP za novi (OSI) protokol. Kao što je označeno u DICOM komunikacijskom modelu, analogija sa arhitekturom mrežnog protokola DICOM standarda u *on-line* komunikaciji postoji u *off-line* komunikaciji. Umesto komunikacijske mreže, podaci se arhiviraju u *off-line* komunikaciji i elementi servisa DICOM standarda su nezavisni iznad granice servisa DICOM datoteka. Interkonektivnost je obezbeđena ako se poštuju strukturirani komunikacijski modeli. Važno je napomenuti da time nije osigurana i interoperabilnost između DICOM aplikacija.



Slika 4.13. Aplikacijski entitet i servisi prenosa podataka.

Servisi za prezentaciju podataka i pridruživanje gornjeg sloja DICOM standarda (*UL Presentation Data Services* i *UL Association Service*, respektivno) veoma su značajni za aplikacijski entitet (slika 4.13). Struktura aplikacijskog entiteta osim servisa za pridruživanje, sadrži blok za pregovaranje o pridruživanju, kao i klase servisa, informacione objekte i odgovarajuće DIMSE servise. Postoje

dve vrste servisa za prenos podataka između dva aplikacijska entiteta: operacija (*Operation*) i notifikacija (*Notification*).

Uslov za početak komunikacije između dva DICOM aplikacijska entiteta je da se utvrdi njihov kapacitet, odnosno koje SCS-ove (*Service Class Specifications*) podržavaju oba entiteta [DRA06]. Pod utvrđivanjem specifikacija klase servisa (SCS) podrazumeva se određivanje SOP klase i dodeljenih operacija koje su podržane od strane oba aplikacijska entiteta u cilju predstavljanja podataka i njihove razmene.

DICOM standard za uspostavljanje i prekidanje "objedinjavanja", odnosno procesa asocijacije koristi posebne operacije koje spadaju pod ACSE operacije. ACSE operacije obuhvataju:

- A-ASSOCIATE - zahtev za ostvarivanje asocijacije, odnosno otvaranje kanala za potrebe komunikacije između aplikacija,
- A-RELEASE - operaciju regularnog prekidanja procesa asocijacije, odnosno zatvaranje kanala za komunikaciju dva DICOM aplikacijska entiteta,
- A-ABORT - operaciju za neregularno prekidanje procesa asocijacije između dva DICOM aplikacijska entiteta,
- A-P-ABORT - operaciju za iniciranje prekidanja procesa asocijacije usled problema na nižim komunikacijskim slojevima.

Za operacije A-ABORT i A-P-ABORT zahteva ne očekuje se nikakav odgovor.

ACSE poruke sadrže samo deo poruke za komandu za razliku od DIMSE poruka. Delovi ACSE poruka i njihove moguće vrednosti definisane su DICOM standardom.

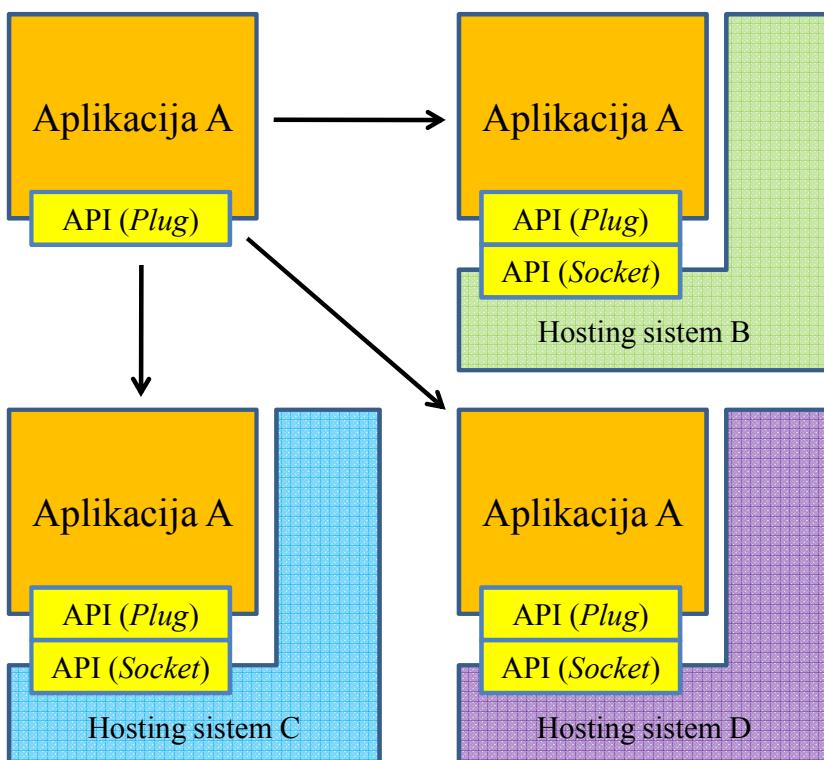
#### 4.8. HOSTING APLIKACIJA

Za poslednju verziju DICOM standarda, karakteristična su poslednja dva dokumenta, PS 3.19 i PS 3.20, koji govore o hostingu aplikacija i vezi DICOM-HL7 standarda, respektivno.

Hosting ili "udomljavanje" najčešće se odnosi na smeštanje *web* stranice na neki server, pri čemu u tome ključnu ulogu igra hosting kompanija, odnosno provajder. DICOM standard definiše interfejs dve softverske aplikacije. Prva aplikacija se interpretira kao hostovana aplikacija (*Hosted Application*), odnosno ona kojoj je potreban hosting. Druga aplikacija predstavlja hosting sistem (*Hosting System*) koja obezbeđuje hosting prvoj aplikaciji. Hostovana aplikacija

obično analizira podatke i potrebno je da vrati hosting sistemu određeni rezultat (npr. u vidu nekog struktuiranog izveštaja). Takav aplikacioni programski interfejs (API - *Application Program Interface*) je standardizovan tako da je omogućena razmena softverskih komponenti na jednom sistemu, umesto razmene podataka između dva različita sistema.

Programi hostovane aplikacije, napisani za standardizovani interfejs, mogu se jednostavno priključiti na hosting sistem. Kaže se da API predstavlja utikač (*plug*) za hostovanu aplikaciju i da se može priključiti (*plug-in-ovati*) u utičnicu (*socket*) hosting sistema, što je u kompjuterskom rečniku uobičajeno. Hosting sistem bi trebalo samo jednom da kreira standardizovani API da bi podržao ostale dodatke hostovane aplikacije. Hosting sistem može predstavljati radnu stanicu kojoj hostovana aplikacija daje ili vraća neki izveštaj. Ista hostovana aplikacija se može pokrenuti na bilo kojoj platformi, odnosno hosting sistemu, koja podržava API.



Slika 4.14. Hosting aplikacija.

U čitavom DICOM standardu insistira se na strukturiranom pristupu davanja izveštaja [MIL02, HUS04] - SR (*Structured Reporting*). Ovakav način davanja izveštaja i, generalno, način komunikacije treba da bude prihvaćen od strane proizvoljne platforme na kojoj DICOM aplikacija radi. To važi i za sve popularnije mobilne aplikacije [AND03]. Osim mobilnih aplikacija, o kojima će nešto kasnije biti više reči, *web* portali predstavljaju veoma čest način za razmenu medicinskih slika i podataka. Kako i elektrokardiografija spada pod DICOM standard, portali i alati raspoloživi za rad sa EKG signalima pod DICOM standardom su takođe na raspolaganju [HIL07, ETT08].

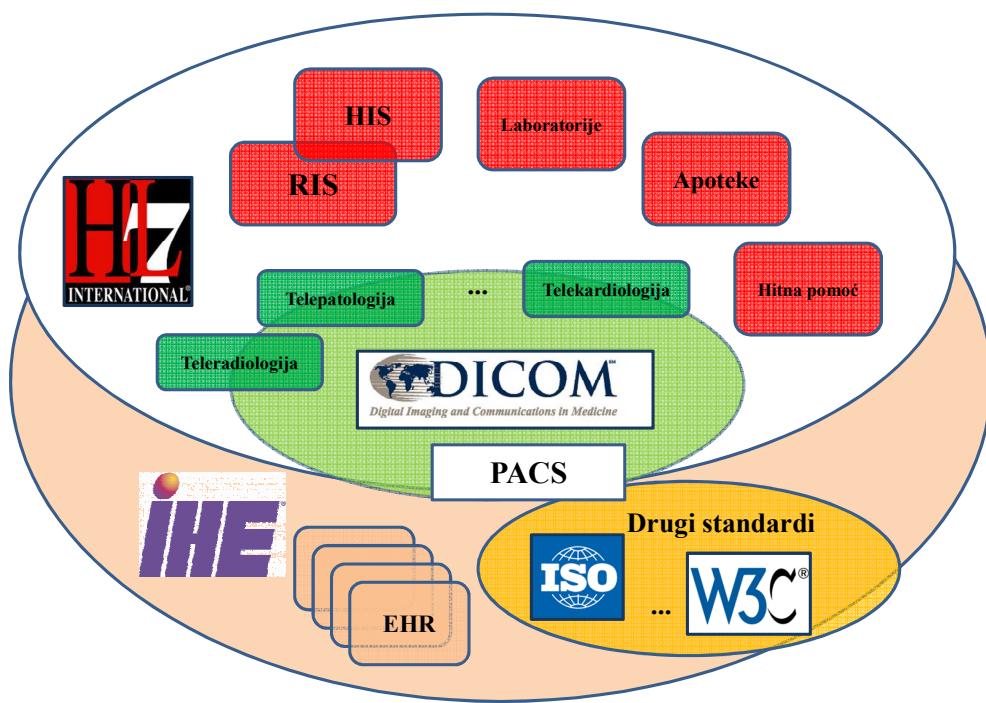
#### 4.9. HL7 I OSTALI TELEMEDICINSKI STANDARDI

Rad informacionog sistema bolnice (HIS) ili radiološkog informacionog sistema (RIS) ne reguliše DICOM standard. Ipak, DICOM standard definiše komunikaciju HIS-a i RIS-a sa delovima telemedicinskog sistema koji su DICOM orijentisani. Bilo je potrebno povezati ove dve celine što zahteva, osim DICOM-a, upotrebu drugačijeg standardizovanog pristupa. Standard može biti određen od strane: konzorcijuma, nadležnih organizacija (npr. NEMA, IEEE), vladinih agencija (npr. ANSI - *American National Standards Institute*, NIST - *National Institute of Standards and Technology*, CEN - *European Committee for Standardization*), Ujedinjenih nacija (npr. ISO - *International Organization for Standardization*, CCITT - *International Telegraph and Telephone Consultative Committee*). Konzorcijum HL7 (*Health Level Seven International*) orijentisan je ka integraciji DICOM standarda, koji ima centralnu ulogu u svim odeljenjima bolnice za akviziciju slike, i informacionog sistema bolnice.

HL7 konzorcijum je osnovan 1987. godine kao neprofitan sa ANSI-akreditovanim standardima za definisanje okvira koji uključuje poznate standarde za razmenu, integraciju, deljenje i povraćaj informacija u zdravstvu, vezanih za kliničku praksu i menadžment. Cilj konzorcijuma je da obezbedi interoperabilnost poboljšavajući celokupni zdravstveni sistem.

Ime "nivo 7" (*Level Seven*) potiče od ISO sedmog sloja. Analiza mrežne arhitekture započinje od sedmog aplikacijskog sloja OSI komunikacijskog modela. Ovaj sloj ima pristup servisima koji su sastavni deo komunikacije između aplikacija. U okviru DICOM standarda, PS 3.20 dokument uvodi struktuiranost u razmeni informacija u toku dvosmerne komunikacije između DICOM i HL7 standarda (od DICOM-a ka HL7 i obrnuto).

HL7 je fokusiran na DICOM razmenu podataka. IHE (*Integrating the Healthcare Enterprise*) predstavlja inicijativu profesionalaca u zdravstvu i industriji da poboljšaju način deljenja informacija u pružanju zdravstvene nege. IHE analizira konkretnе kliničke potrebe i promoviše koordinisanu upotrebu ustaljenih standarda kao što su DICOM i HL7. Optimalna nega pacijenta podrazumeva da korisnici mogu kreirati, upravljati i pristupati elektronskim zdravstvenim kartonima (EHRs - *Electronic Health Records*) efikasno i uz obezbeđenu sigurnost servisa i podataka [HEA13, IHE13].



Slika 4.15. DICOM, HL7 i srodni standardi.

Osim pomenutih, tu su i standardizacije ISO organizacije, W3C (*World Wide Web Consortium*) i drugi, koji zajedno učestvuju u generalnom procesu pružanja zdravstvene nege i lečenja (slika 4.15).

#### 4.10. REALIZACIJA NAMENSKIH DICOM APLIKACIJA

Čitav niz različitih DICOM aplikacija i slika je javno raspoloživ za testiranje, upotrebu i dalju analizu [IDO13, AYC13]. U realizaciji namenskih aplikacija potrebno je voditi računa o postojećim standardima, kao što su DICOM,

HL7, IHE, itd. Način implementacije i predstavljanja parametara slike treba pažljivo odabrati pri realizaciji namenskih DICOM aplikacija (aplikacije za razmenu podataka, pristup podacima, analizu podataka samo su neki od primera).

Istraživanja vezana za mogućnosti dijagnostike su od presudnog značaja za razvoj telemedicinskih sistema u cilju kvalitetne zaštite stanovništva. Pri njihovoj realizaciji potrebno je omogućiti unošenje medicinskih signala u odgovarajućem formatu sa propratnim medicinskim podacima koji mogu biti od značaja (.dcm format). Iako je dosta toga urađeno, veliki broj izazova još predstoji u radu na ujedinjavanju svih relevantnih medicinskih podataka, ali i na metodologijama za analizu i obradu medicinskih podataka.

Uvođenjem elektronskih kartona pacijenta, svi relevantni podaci o pacijentima mogu biti dostupni na jednom mestu. Ovim se postiže brže postavljanje dijagnoze, jer više lekara može uporedo vršiti korekcije (*on-line*). Brži je i prenos medicinskih podataka odgovarajućeg kvaliteta, kao i pristup informacijama koje koristi (istoriji bolesti, koje lekove i koju terapiju prima pacijent, pristup slikama različitih modaliteta, itd.).

Naziv operacije:	Naziv operacije	
Datum operacije:	2007	7
Vreme operacije:	09	00
Operacija:	OD - oculus dexter	
Hirurg:	Lekar Prvi (999999)	
Asistent:		
Anestesiolog:	Lekar Drugi (888888)	
Anestezija:		

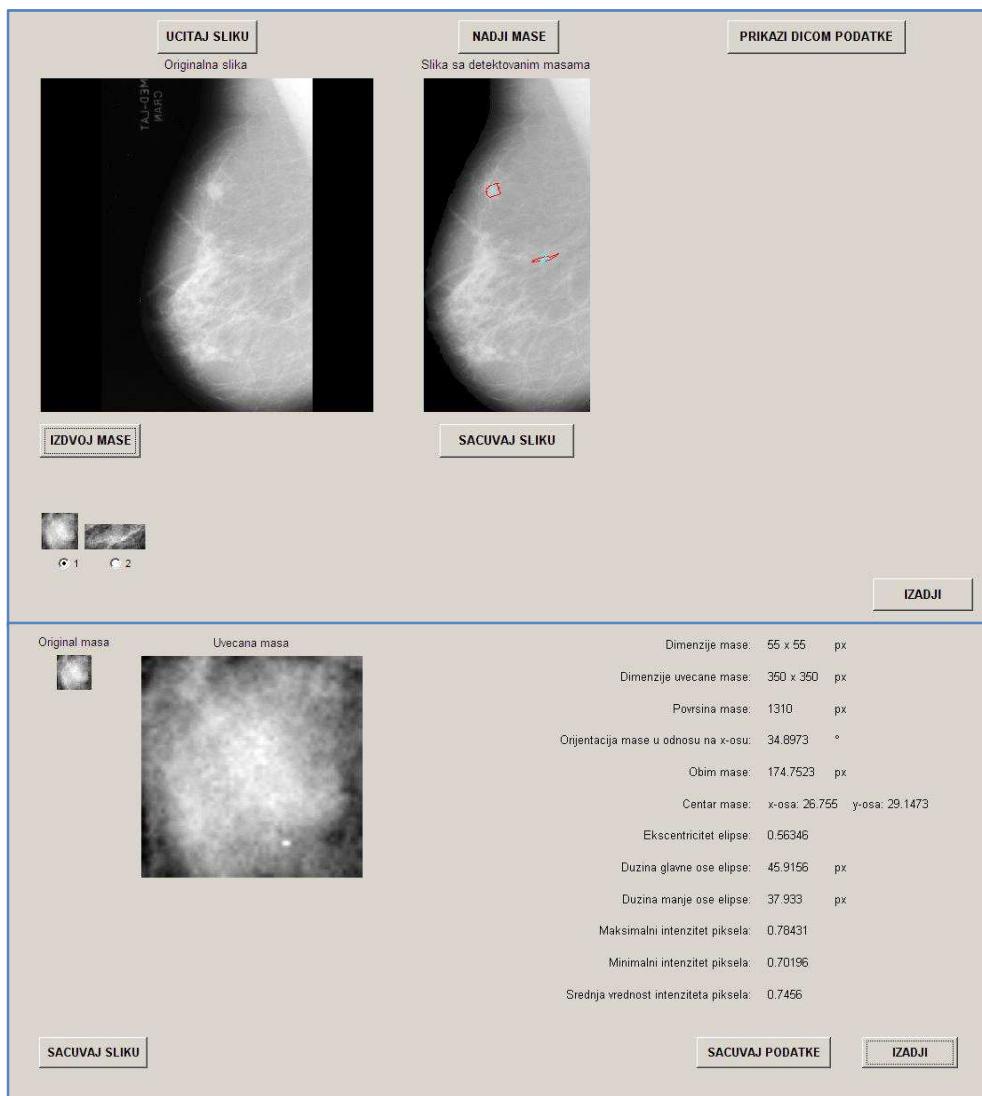
  

Tok:	tok operacije
Komplikacije:	eventualne komplikacije
Terapija pre operacije:	terapija pre operacije
Terapija posle operacije:	terapija posle operacije
Kontrola:	kada doći na kontrolu

Slika 4.16. Formular za potrebe operacije na primeru EKP sistema oftalmologije.

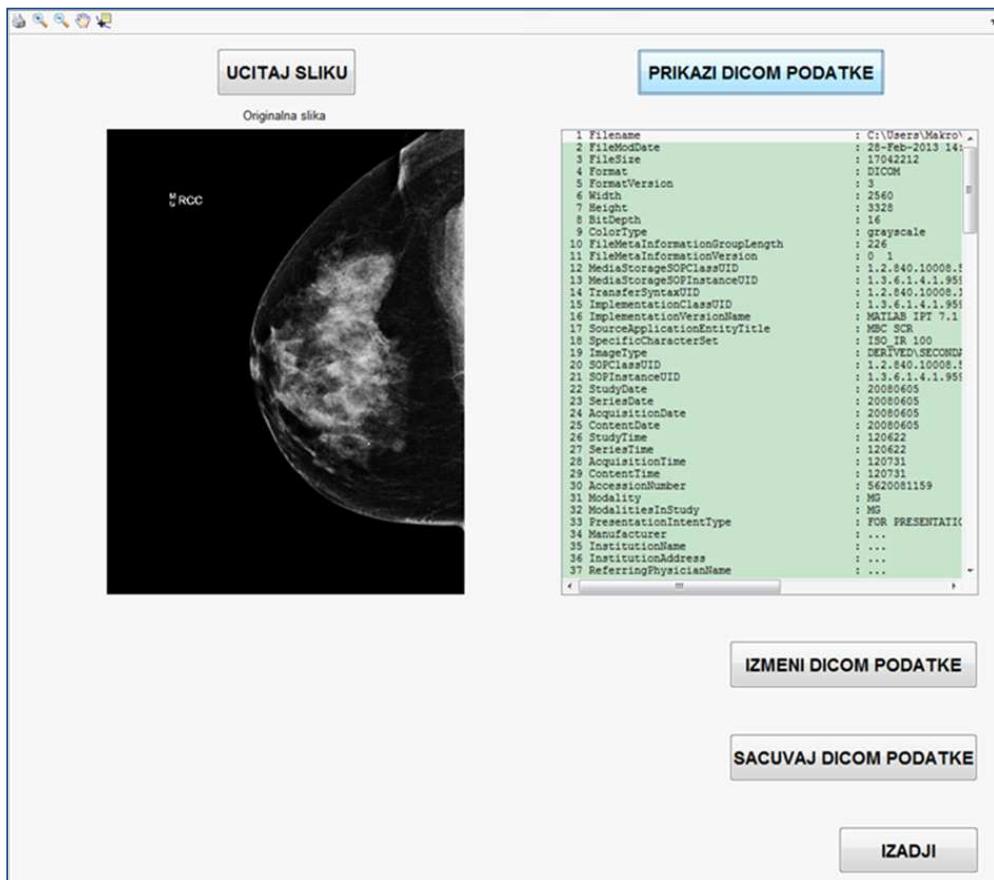
#### 4. Standard za digitalnu sliku i komunikacije u medicini - DICOM

Elektronski karton pacijenta (EKP) je medicinski karton pacijenta u digitalnoj formi. Upotreba EKP sistema omogućava pristup velikoj količini podataka. EKP sistem mogu da ubrzaju nivo znanja o načinu lečenja pacijenta i o efikasnosti pojedinih medicinskih praksi, kao i da pomognu u smanjivanju grešaka pri odlučivanju zdravstvenih radnika. Ovakva rešenja imaju za cilj da se poboljša kvalitet rada u ordinacijama [SLA12a, SLA12b].



Slika 4.17. Korisnički interfejs za detekciju masa u mamogramima i podaci o izabranoj masi.

EKP sistemi su najčešće *web*-orientisani sistemi. Za razvoj takvih sistema potrebno je poznavanje rada sa bazom podataka i programskim jezicima (*SQL*, *PHP*, *Javascript*, *HTML*, *CSS*, itd.). Softverska rešenja se koncipiraju tako da pojednostavljaju unos, očitavanje, štampanje pregleda i ostalih podataka o pacijentima i pregledima, ali i raspodelu aktivnosti među medicinskim osobljem (lekariма i medicinskim sestrama). Odabirom želenog pacijenta, potrebno je da lekar ima detaljan i pregledan uvid u njegove medicinske podatke. Na slici 4.16. je prikazan jedan formular na primeru oftalmologije u okviru sistema elektronskih kartona.



Slika 4.18. Prikaz i izmena DICOM podataka mamograma.

Razvoj softvera koji analizira nove mogućnosti, ali i unapređuje postojeće metodologije, veoma je važan. Medicinskim slikama, koje već sadrže propratne podatke, mogu se pridružiti nove relevantne informacije koje predstavljaju

rezultate njihovih analiza. Takvi sistemi pružaju računarsku pomoć lekarima u postavljanju dijagnoze (CAD (*Computer-aided diagnosis*) sistemi).

Softveri za detekciju, izdvajanje i analizu anomalija pružaju lekarima i drugim stručnim licima bolje sagledavanje medicinskih informacija. Ovakvi programi pružaju računarsku pomoć za automatsku i/ili poluautomatsku analizu i naročito su atraktivni pri analizi medicinskih slika. To se pokazalo i u mamografiji.

S obzirom na činjenicu da je rak dojke najčešći oblik raka kod žena i da mamografija predstavlja najbolji način za neinvanzivno otkrivanje malignih oboljenja dojke u ranoj fazi, ovakav softver ima značaj u otkrivanju potencijalnih znakova maligniteta u tkivu dojke. Među anomalijama izdvajaju se mikrokalcifikacije i mase. Mikrokalcifikacije su minijaturni depoziti kalcijuma veličine od 50 mikrona do nekoliko milimetara, koje su na mamografskom snimku vidljive kao individualni ili grupisani sjajni objekti. Mase su vidljive kao veće difuzne oblasti složenog oblika svetlijе od okoline, karakteristične po svom obliku i teksturi. Analiza anomalija u vidu kalcifikacija i masa zasniva se na izdvajanju regiona dojke i potencijalnih anomalija.

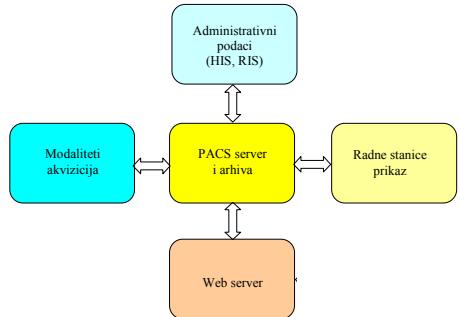
U softverima kao što je ovaj, za sliku mamograma, moguće je dobiti, na primer, dodatne relevantne podatke o detektovanoj masi, kao što su dimenzije, površina, obim, koordinate centra mase, opseg intenziteta piksela mase i ostale karakteristike, koje se mogu dalje iskoristiti kao potencijalni pokazatelji karakterističnih anomalija. Na slici 4.17. prikazan je primer korisničkog interfejsa za detekciju masa i pregled podataka relevantnih segmenata. Ovakve i slične namenske aplikacije omogućavaju pregled i rad sa DICOM datotekama. Na slici 4.18. prikazan je deo zaglavlja učitane DICOM slike mamograma, gde je omogućena izmena unetih podataka [SLA12c, JEV12].

## LITERATURA

- [AYC13] *AYCAN, PACS for People,*  
[http://www.aycan.de/main/lp/sample\\_dicom\\_images.html](http://www.aycan.de/main/lp/sample_dicom_images.html), accessed 17.2.2013.
- [AND03] R. Andrade, A. von Wangenheim, M.K. Bortoluzzi, "Wireless and PDA: a novel strategy to access DICOM-compliant medical data on mobile devices", *International Journal of Medical Informatics* (2003) 71, 157—163.
- [BID92] W.D. Bidgood, S.C. Horii, "PASC Mini Refresher Course, Introduction to the ACR-Nema DICOM Standard", RSNA *RadioGraphics*, Vol. 12, No. 2, pp.345-355, March 1992.
- [BID97] W.D. Bidgood, S.C. Horii, F.W. Prior, "Understanding and Using DICOM, the Data Interchange Standard for Biomedical Imaging", *Journal of the American Medical Informatics Association*, 1997 4: 199-212, Number 3 May / Jun 1997.
- [BOU10] R. Bourne, *Fundamentals of Digital Imaging in Medicine*, Springer-Verlag London Limited 2010.
- [CLU13] D. A. Clunie, *DICOM standard status*,  
<http://www.dclunie.com/dicom-status/status.html>,  
accessed 14.2.2013.
- [DIC13a] *DICOM standard*, NEMA webpage, <http://medical.nema.org/>,  
accessed 14.2.2013.
- [DIC13b] *DICOM office, Germany*, <http://dicom.offis.de/dcmintro.php.en/>,  
accessed 15.2.2013.
- [DRA06] D. Dragan, D. Ivetić, M. Popović, "DICOM komunikacija i preslikavanje na TCP/IP protokol", INFOTEH-Jahorina, Vol. 5, Ref. E-II-13, p. 384-388, March 2006.
- [ETT08] MJB. van Ettinger, JA Lipton, MCJ de Wijs, N van der Putten, SP Nelwan, "An Open Source ECG Toolkit with DICOM", *Computers in Cardiology* 2008;35:441–444.
- [EVI13] *Eviewbox SICOM java homepage, DICOM standard in Medical imaging: What does the radiologist has to know?*,

- <http://eviewbox.sourceforge.net/tutorial/intro.html/>,  
accessed 10.2.2013.
- [GUL02] M.O. Güld, M. Kohnen, D. Keysers, H. Schubert, B.B. Wein, J. Bredno, T.M. Lehmann, "Quality of DICOM header information for image categorization", in: *Proceedings of the International Symposium on Medical Imaging*, vol. 4685, San Diego, CA, USA, 2002, pp. 280—287.
- [HEA13] *Health Level 7 International*,  
<http://www.hl7.org/>, accessed 15.2.2013.
- [HIL07] T Hilbel, BD Brown, J de Bie, RL Lux, HA Katus, "Innovation and Advantage of the DICOM ECG Standard for Viewing, Interchange and Permanent Archiving of the Diagnostic Electrocardiogram", *Computers in Cardiology* 2007;34:633–636.
- [HUS04] R. Hussein, U. Engelmann, A. Schroeter, H-P. Meinzer, "DICOM Structured Reporting", Part 1. Overview and Characteristics, RSNA, 2004, RadioGraphics, Vol. 23, No. 3, pp 891–896, 2004.
- [IDO13] *I do imaging - Free Medical Imaging Software*,  
<http://www.idoimaging.com/>, accessed 17.2.2013.
- [IHE13] *IHE changing the way healthcare connects*,  
<http://www.ihe.net/>, accesed 15.2.2013.
- [JEV12] D. Jevtić, M. Slavković, B. Reljin, "Detekcija masa u digitalnom mamogramu", *EK1.5-1-4, Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN*, Zlatibor, 11-14. juna 2012.
- [MAR04] N. Marić P. Pejnović, "Digital imaging and communication in medicine", *Zbornik radova IX Naučno stručnog skupa - Informacione tehnologije - sadašnjost i budućnost*, Žabljak 2004.
- [MIL02] P. Mildnerger, M. Eichelberg, E. Martin, "Introduction to the DICOM standard, Computer applications", *Eur Radiol* (2002) 12: 920-927.
- [PIA12] O.S. Pianykh, *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) A Practical Introduction and Survival Guide*, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
- [SLA12a] M. Slavković, N. Reljin, M. Paskaš, A. Gavrovska, "E-karton klinike

- za oftalmologiju", EK3.5-1-4, *Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN*, Zlatibor, 11-14. juna 2012.
- [SLA12b] M. Slavković, B. Reljin, I. Reljin, A. Gavrovska, M. Paskaš, "Implementation of electronic patient records in ophthalmology", Tehničko rešenje, 2012.
- [SLA12c] M. Slavković, B. Reljin, I. Reljin, A. Gavrovska, M. Paskaš, "Software for detection, segmentation and analysis of masses in digital mammograms", Tehničko rešenje, 2012.
- [VAR12] D.R. Varma, "Managing DICOM images: Tips and tricks for the radiologist," *Indian J.Radiol. Imaging* 2012;22:4-13



## 5. Sistem za arhiviranje i razmenu slika u medicini - PACS

Sistem za arhiviranje i razmenu slika u medicini – PACS (*Picture Archiving and Communication System*) je računarski sistem razvijen za potrebe čuvanja, razmene i prikazivanja digitalnih elektronskih medicinskih slika dobijenih sa različitim dijagnostičkim uređajima (tzv. *modaliteta*) kao što su: kompjuterizovana radiografija, digitalni rentgen (DX), kompjuterizovana tomografija (CT), ultrazvuk, magnetna rezonancija (MRI), pozitronska emisiona tomografija (PET), endoskopija, i drugi uređaji. PACS sistem se sastoji od tri osnovne celine: akvizicijski uređaji, memorijske jedinice, radne stanice za prikaz snimaka. Ove celine međusobno komuniciraju korišćenjem raznovrsnih digitalnih mrežnih uređaja i sistema. U kombinaciji sa postojećim tehnologijama računarskih i telekomunikacionih mreža PACS obezbeđuje blagovremen i efikasan pristup digitalnim snimcima dobijenim sa raznovrsnih modaliteta, zatim, interpretaciju, obradu, arhiviranje i prikaz snimaka. Zahvaljujući korišćenju elektronskih slika PACS ukida fizička i vremenska ograničenja koja postoje u klasičnoj tehnologiji medicinskih slika koja je bazirana na korišćenju filmova (otuda se PACS tehnologija naziva i *filmless* tehnologija). Naime, posredstvom PACS-a isti snimak jednovremeno se može posmatrati sa različitih lokacija u isto vreme i od strane proizvoljno velikog broja korisnika, a pristup i

pretraživanje slika su jednostavni i mogu se obaviti sa proizvoljne lokacije. Takođe, slike se mogu kopirati u proizvolnjom broju kopija identičnog kvaliteta, tako da je mogućnost gubitka snimaka svedena na minimum.

Prilikom realizacije PACS se integriše sa drugim bolničkim elektronskim sistemima kao što su radiološki informacioni sistem (RIS) i bolnički informacioni sistem (HIS = *Hospital Information System*) što omogućava unošenje dodatnih podataka o pacijentima, čime se obezbeđuje jedinstvena elektronska datoteka [HUA04, DEB04, BRA09].

### 5.1. ISTORIJAT RAZVOJA PACS-a

Začeci primene dijagnostičkih uređaja baziranih na medicinskim slikama datiraju od 50-tih godina prošlog veka, nakon razvoja fotomultiplikatora koji su, integrисани sa TV sistemom, korišćeni za skrining pluća primenom fluoroskopije. Koncept sistema za arhiviranje i razmenu slika je uveden kasnih 70-tih i početnih 80-ih godina prošlog veka, nakon razvoja i intenzivnije primene digitalnih računara i modaliteta koji su generisali digitalne slike, kao što su: ultrazvuk (od 1960), kompjuterska tomografija (1970), magnetna rezonancija (1980) [HUA04, TUR02]. Integracija velikog broja raznovrsnih uređaja koji su generisali signale različitog formata zahtevala je primenu multimedijalnih tehnologija: hardverskih platformi, informacionih sistema i baza podataka, komunikacionih protokola, tehnologija za arhiviranje i prikaz slika. Do 80-ih godina prošlog veka tehnološka ograničenja su sprečavala masovniju praktičnu primenu digitalnih sistema za arhiviranje i razmenu medicinskih slika, pre svega radioloških slika, ali su definisane postavke sistema i uočeni problemi koje treba razrešiti. I pored tehnoloških ograničenja, već 1979. godine je ostvaren digitalni link između CT skenera i računara za planiranje radioterapije u univerzitetском medicinskom centru univerziteta Loma Linda (Kalifornija). Godine 1982. je održana prva međunarodna konferencija o sistemima za arhiviranje i razmenu (medicinskih) slika, *First International Conference on PACS*, u Kaliforniji, kada je i nastao termin PACS koji se od tada koristi. Iduće godine je održana prva evropska konferencija o PACS-u, a vojska SAD je pokrenula istraživački projekat te je realizovala PACS instalacije u Sietlu i Baltimoru. Nakon toga su i druge zemlje (Japan, Holandija, i drugi) realizovale i primenile PACS instalacije. Razvoj mrežnih tehnologija, protokola i standarda, gde značajno mesto zauzimaju standardi HL7 (od 1987) i DICOM (od 1993), značajno su ubrzali primenu PACS sistema [HUA04, TUR02].

Nakon šireg uvođenja u praksu, PACS se stalno razvija i unapređuje, primenom najnovijih tehnologija. Standardizacija dovodi do interoperabilnosti uređaja i donosi prednosti kako proizvođačima tako i korisnicima opreme.

Proizvođači dobijaju znatno veće potencijalno tržište, a korisnici kvalitetniju i jeftiniju opremu i mogućnost izbora proizvođača [HOO06].

## 5.2. OSNOVNI ELEMENTI SISTEMA PACS

Ključna odlika sistema PACS je sposobnost da formira, arhivira, prenosi i prikazuje medicinske slike dobijene sa različitih modaliteta. U narednom tekstu biće ukratko objašnjeni osnovni delovi sistema PACS.

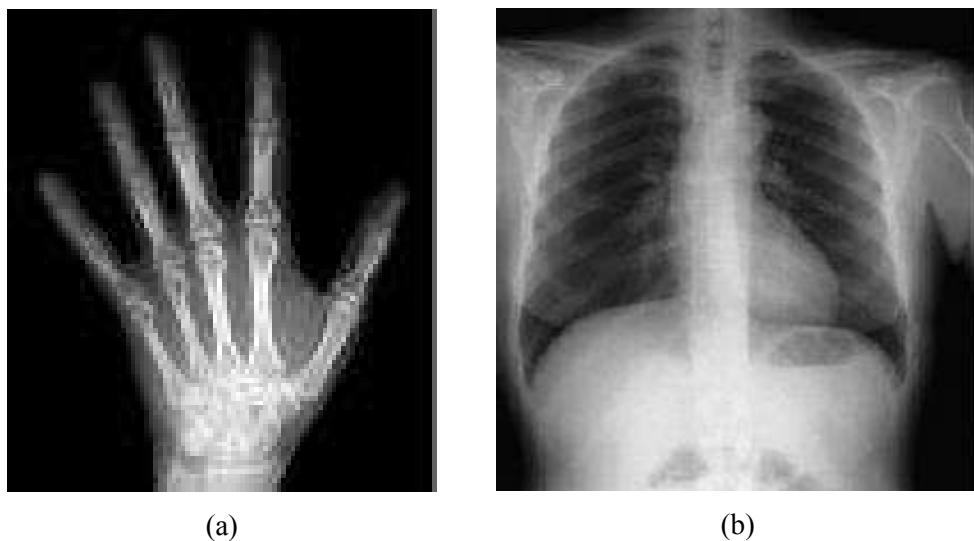
### 5.2.1. Akvizicija slike

Ključni deo sistema PACS je formiranje digitalne slike, što je poznato kao akvizicija. Smetnje i greške koje, eventualno, nastaju pri akviziciji (šumovi, neoštra slika, artefakti) se prenose kroz ceo sistem i teško se otklanjaju. Realni signali su uglavnom analogni (odlikuju se kontinualnim vrednostima amplituda i kontinualni su u vremenu/prostoru). Digitalni signali, međutim, imaju niz prednosti: podaci koji se jednom formiraju lakše se kopiraju, prenose se bez degradacije u odnosu na original, i manje su osjetljivi na smetnje. Većina uređaja za formiranje medicinskih slika danas prirodno formira digitalne signale (na primer, CT, DX ili MRI), i ti sistemi se mogu direktno povezati u PACS. Drugi medicinski uređaji prirodno generišu analogne signale, kao što je klasična radiografija bazirana na filmu, angiografija, ili u mikroskopiji i/ili endoskopiji/dermatologiji gde snimci mogu biti analogni. S obzirom da je PACS razvijen za potrebe digitalnih signala, analogni signali se moraju digitalizovati pre povezivanja u PACS. Svakako je najbolje koristiti prirodno digitalne signale, jer tada nema degradacije u odnosu na originalan signal. Ukoliko je izvorni signal analogan (na primer, klasična radiološka slika dobijena na filmu) potrebno ga je digitalizovati. U tu svrhu se koriste AD konvertori ili film digitajzeri, a dobijena slika je poznata kao sekundarno generisana slika (SC = *secondary captured*). Prilikom generisanja digitalne slike javljaju se ograničenja koje unosi AD konvertor – uobičajeno se degradira amplitudska rezolucija, a mogu nastati i artefakti zbog konačnih i diskretnih amplitudskih nivoa. Modaliteti koji generišu digitalne medicinske slike (uključujući tu i film digitajzere, odnosno AD konvertore) danas su kompatibilni sa DICOM standardom, koji obezbeđuje interoperabilnost između različitih uređaja. Za modalitet koji nije prilagođen ovom standardu potreban je interfejs koji obezbeđuje konverziju u DICOM standard, što je poznato kao DICOM-izacija [HOO06, HUA04].

Mada je cilj PACS-a ostvarenje elektronskih zapisa (u pitanju je tehnologija snimaka bez filma) primetimo da se i dalje često traže snimci u klasičnom, neelektronskom obliku. Razlog može biti taj da medicinska ustanova koja je poslala pacijenta u drugu ustanovu nema tehnologiju za pregled i analizu čisto elektronskih

snimaka, ili je potreban klasičan dokument (papirni ili na filmu), na primer za slučaj veštačenja ili osiguranja. Stoga značajno mesto u realizaciji PACS-a imaju i visokokvalitetni printeri (laserski) koji sa elektronskog zapisa formiraju slike na papiru ili filmu.

Jedan od osnovnih problema koji je ograničavao širu primenu PACS-a je velika količina informacija koja se generiše pri akviziciji. Po jednom pregledu potrebno je oko 30 MB podataka. Na primer, tipičan radiološki snimak, slika 5.1a, je karakterisan prostornom rezolucijom 2k x 2.5k piksela, sa amplitudskom rezolucijom od 12 bita po pikselu (bpp). Takva slika zauzima oko 7.5 MB (mada, s obzirom na strukturu digitalnih podataka, za 12 bpp bi se koristila 2 bajta, pa bi takva slika zauzimala 10 MB). Kako se po sesiji tipično koristi 2-4 snimka, jednoj sesiji odgovara 15-30 MB podataka. Radiološki snimak pluća, slika 5.1b, je veće prostorne rezolucije (4k x 5k) takođe sa 12 bpp. Slično je i u mamografiji, slika 5.2. Mada su mamografski snimci manjih fizičkih dimenzija, rezolucija je 4k x 5k x 12 bpp, a uobičajeno se koristi 2 do 4 snimka po sesiji [SUR02, TUR02, DEB04].



Slika 5.1. Radiološki snimci: (a) snimak šake, (b) snimak pluća.

Snimci sa MRI i/ili CT modaliteta, slika 5.3, su manje prostorne rezolucije (tipično 512x512 piksela) i sa 256 amplitudskih nivoa (1 B), ali se po sesiji koristi 12 do 100 snimaka, slike 5.4 i 5.5, dakle, generiše se 3-25 MB po sesiji. Slično je i sa drugim modalitetima, kao što su ultrazvuk, slika 5.6, angiografija, gama kamera, itd. Pojedinačni snimci ovih modaliteta su male rezolucije (256x256 ili manje), ali se po

sesiji koristi veliki broj snimaka (reč je o video materijalu sa minimum 10 slika u sekundi) pa je ukupna količina podataka velika [DEB04, FON11, SUR02, WET09].



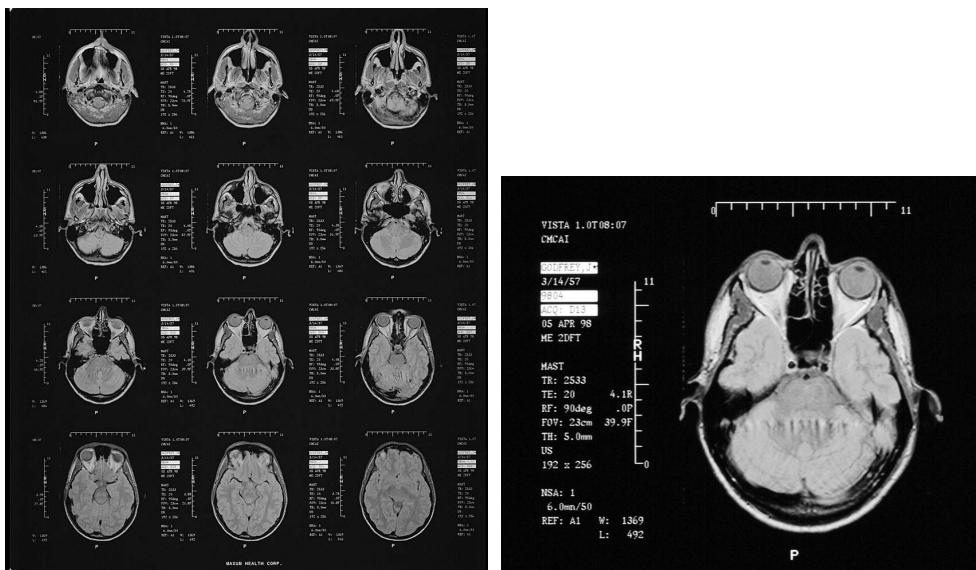
Slika 5.2 Mamografski snimci: desna (R) i leva (L) dojka, mediolateralni (ML) snimci.



Slika 5.3. Snimci magnetne rezonance (MRI): transverzalni presek (levo) i sagitalni presek (desno).



Slika 5.4. Tipična MRI sesija – sagitalni preseci.

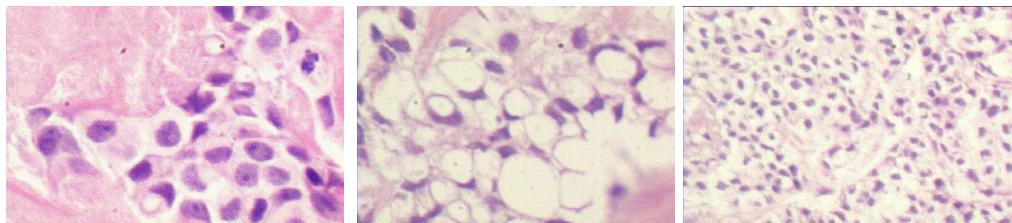


Slika 5.5. Tipična MRI sesija – transverzalni preseci.

Radiološki snimci su prirodno u skali sivog (monohromatske slike), uobičajeno sa 256 nivoa (8 bita) do 4096 nivoa (12 bita). U mikroskopiji, slika 5.7, dermatologiji, slika 5.8, i endoskopiji se koriste kolor slike, koje, za istu prostornu rezoluciju zahtevaju tri puta veću količinu informacija, jer se kolor ostvaruje kombinovanjem crvene, zelene i plave boje (RGB snimci).



Slika 5.6. Snimci dobijeni sa ultrazvučnih uređaja.

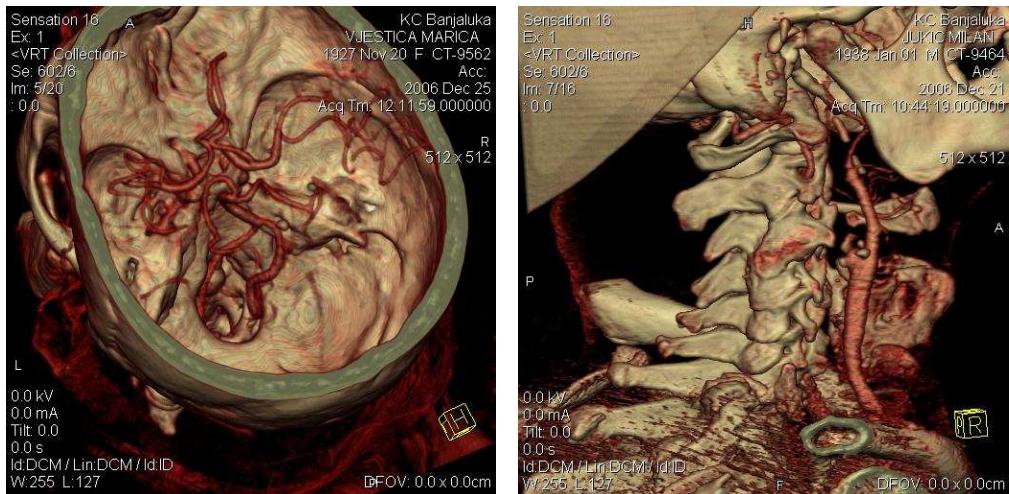


Slika 5.7. Tipične mikroskopske slike uzoraka tkiva, što se koristi u patologiji.



Slika 5.8. Dermatološke slike dobijene digitalnom kamerom.

Tehnika kompjuterske tomografije omogućava formiranje 3D izgleda unutrašnjih organa [HUA04], a naknadnim bojenjem se ostvaruje veoma realističan prikaz organa, slika 5.9.



Slika 5.9. Naknadno bojenje slika kompjuterske tomografije daje realističan prikaz unutrašnjih organa.

### 5.2.2. Arhiviranje slike

Arhiviranje slike je centralni deo PACS sistema. S obzirom na ogromnu količinu podataka koji se generišu u uobičajenom radu bolnice, kako u pogledu broja snimaka, tako i u pogledu informacione veličine pojedinačnih snimaka, potrebno je obezbediti veliki memorijski kapacitet, brz pristup podacima i standardizovano označavanje datoteka, kako bi se omogućio efikasan pristup podacima.

Organizacija PACS arhive je, uobičajeno, hijerarhijskog tipa i sadrži dve osnovne grupe podataka: trenutne podatke (*on-line*), što se naziva i kratkotrajnom ili radnom arhivom, i dugotrajne podatke (*long-term archive*). Ponekad se vrši finija podela dugotrajne arhive na „skoro trenutnu“ (*near-line archive*) i „trajnu“ (*off-line archive*). Novi snimci se drže u kratkotrajanjo arhivi, na lokalnom hard disku velike brzine, dok se stariji snimci odlaze u udaljenu dugotrajanu arhivu. Upravljanje memorijskim podacima se ostvaruje sistemom HSM (*hierarchical storage management*) koji omogućava prenos arhiviranih slika i podataka između brzih hard diskova kratkotrajne arhive i subsistema dugotrajne arhive. Izbor tehnologije arhiviranja zavisi od arhitekture i vrste medijuma za memorisanje podataka. Kao medijumi za arhiviranje koriste se dve osnovne tehnologije: diskovi i trake [TUR02].

### 5.2.2.1. Arhiviranje na diskovima

Umesto magnetnog (hard) diska velikog kapaciteta danas se uglavnom koriste RAID (*redundant array of inexpensive discs*) za kratkotrajnu memoriju. Primenom velikog broja manjih i jeftinijih diskova ostvaruje se isti memorijski kapacitet, a veća pouzdanost i brzina, jer je memorija raspodeljena [TUR02].

Digitalni diskovi (DVD = *digital versatile disc*) koriste sličnu tehnologiju kao CD-ROM, ali je ostvarena veća gustina podataka – za jednoslojan zapis je kapacitet diska 4.7 GB (odnosno, 8.3 GB za dvoslojni zapis). Koriste se i magneto-optički diskovi (MOD) koji kombinuju tehnologiju magnetnih diskova sa CD-ROM tehnologijom. Očitavanje je optičko, pomoću lasera, a upis je na bazi magneto-optičkog efekta, a ostvaruje se pomoću lasera i magneta. Odlikuju se velikom stabilnošću i pouzdanšću. Dvostrani MOD diskovi imaju kapacitet od 9.1 GB.

### 5.2.2.2. Arhiviranje na trakama

Postoji više formata magnetnih traka koje se koriste kako za kratkotrajnu tako i za dugotrajanu memoriju.

Unapređena inteligentna traka (AIT = *advanced intelligent tape*) se izrađuje u dva formata: AIT-2 i AIT-3, kapaciteta 50 odnosno 100 GB, respektivno, i sa brzinom prenosa podataka od 12 MB/s za AIT-3. Prednost ovih traka je što imaju ugrađen čip u kućište trake, koji čuva podatke o fajlovima koji su arhivirani na traci. To olakšava brzo pretraživanje, jer nije potrebno čitanje informacija sa diska da bi se locirao željeni fajl. Takođe, time se redukuje manipulacija nad trakom (pomeranje trake napred-nazad) što može da skrati radni vek medijuma. Proizvođači garantuju životni vek AIT od 30 godina.

Digitalne linearne trake (DLT) su jedan od najčešćih medijuma, jer su relativno jeftine i veoma pouzdane, a odlikuju se velikom brzinom pristupa informacijama. Kapacitet ovih traka je od 20 do 40 GB sa brzinom prenosa podataka od 6 MB/s. Nedavno su se pojavile unapređene trake nazvane Super DLT, sa kapacitetom od 110 GB i brzinom prenosa od 11 MB/s, koje su kompatibilne sa DLT.

Linearne otvorene trake (LTO) su nastale zajedničkim razvojem kompanija IBM, *Hewlett-Packard* i *Seagate*. Inicijalno su postojala dva formata koji su se razlikovali po kapacitetu: *Accelis*, kapaciteta 25 GB i *Ultrium*, kapaciteta 100 GB, ali je dalji razvoj koncentrisan samo na model Ultrium. Prednost ove tehnologije je što je u pitanju otvoren standard za ove tri kompanije. LTO imaju ugrađen čip, slično kao AIT, s tim što je ovde komunikacija bežična, a čip sadrži manje informacija nego AIT – samo informaciju o identifikaciji kertridža i informaciju o greški pri unosu.

Digitalne audio trake (DAT) su početno razvijene za visoko kvalitetno digitalno snimanje zvuka. One su kasnije prilagodene za čuvanje velike količine

proizvoljnih digitalnih informacija, uključujući i digitalne slike. Kertridži mogu čuvati do 20 GB podataka sa brzinom prenosa od 2.4 Mb/s (0.3 MB/s).

Manipulacija nad diskovima ili trakama se ostvaruje posebnim uređajima poznatim kao džuboks (*jukebox*). Taj uređaj bira medijum iz skladišta, postavlja ga u radni prostor pomoću robota ili karusela, i obezbeđuje upis ili očitavanje. Uobičajeno vreme za koje se postavlja disk/traka u radni prostor je 10-30 sekundi, zavisno od proizvođača [TUR02, DEB04].

Kao medijumi za arhiviranje danas se sve više koriste i poluprovodničke fleš memorije velikog kapaciteta (ostvaren je kapacitet od 256 GB i više, a predviđa se kapacitet od 8 TB i više). Fleš memorije su atraktivne za primenu, jer su malih fizičkih dimenzija, nemaju pokretnih delova i zahtevaju malu potrošnju energije. Doduše, ranije je postojalo ograničenje u pogledu broja ciklusa unosa i brisanja podataka. Ovaj nedostatak je danas prevaziđen, jer su realizovani čipovi koji omogućavaju više od 100 miliona takvih ciklusa. No, postoji oprez u korišćenju ovih komponenata, jer nema preciznih podataka o njihovoj pouzdanosti.

Slike generisane sa modaliteta su različitog formata i veličine. Arhiviranje treba da je tako organizованo da obezbedi verno prikazivanje slika na osnovu sačuvanih podataka. Da bi se uštedelo u memorijskom prostoru i obezbedio brži prenos slika, koristi se kompresija. Cilj kompresije je da se sa što manje podataka sačuva slika, a da se ostvari visoka vernost reprodukcije. Za potrebe medicine danas se koriste kompresije JPEG (*Joint Photographic Expert Group*) i to kompresija zasnovana na diskretnoj kosinusnoj transformaciji (DCT JPEG-LS) i kompresija zasnovana na talasićima (*wavelets*) poznata kao JPEG 2000. Za potrebe primarne dijagnostike u radiologiji koristi se kompresija bez gubitaka (*lossless*) u kom slučaju je reproducovana slika identična originalnoj, bez ikakvog gubitka informacije. Nedostatak ove kompresije je da su ušteda male: stepen kompresije je reda 2:1 do 3:1. Mada se može ostvariti dodatna ušteda uklanjanjem pozadine i tekstualnih oznaka u slici, kao i izborom regiona od interesa unutar slike koji će se koristiti za potrebe dijagnoze, ali je stepen kompresije i dalje mali.

Za potrebe konsultacija dopušta se kompresija sa gubicima, kada komprimovana slika nije identična originalnoj, ali se vizuelno (subjektivno) malo razlikuje od nje. Stepen kompresije može biti znatno veći, do oko 100:1 i više, ali treba biti oprezan, jer kompresija sa gubicima može dovesti do uklanjanja nekih relevantnih detalja ili do generisanja artefakata.

### 5.2.3. Pretraživanje i prikazivanje slika i razmena podataka

Upravljanje podacima unutar PACS-a je omogućeno primenom standarda HL7 (za administrativne i personalne podatke o pacijentima), koji je integralni deo bolničkog informacionog sistema (HIS), i DICOM standarda (za označavanje i

razmenu slika). PACS sistem se povezuje i sa radiološkim informacionim sistemom (RIS) koji podržava kako administrativne podatke tako i kliničke podatke o redosledu pregleda u radiološkim ispitivanjima. RIS je sličan HIS-u, ali je manjeg obima, a može se koristiti i nezavisno od HIS-a. Istorijski, RIS je najpre nastao kako bi olakšao proceduru u radiologiji: kako bi obezbedio demografske podatke o pacijentu, podatke o redosledu pregleda i tretmana, i lokaciju filmova/snimaka (za klasičnu radiologiju baziranu na filmu). Administrativni podaci omogućavaju da se svi fajlovi istog pacijenta jedinstveno označe i pridruže tom pacijentu. Kada se slika generiše u modalitetu ona sadrži zaglavlj (header), gde je opisana priroda slike, veličina i vrednosti piksela (prostorna i amplitudska rezolucija), a dodaju se i podaci o pacijentu. Zaglavlj sadrži i druge podatke koji omogućavaju brz pristup fajlovima i pretraživanje slika. Baza podataka je strukturno orijentisana. Od 1986. godine je jezik SQL (*structured query language*) usvojen kao industrijski standard, a kompletiran je 1992, kao SQL2, i uobičajeno se koristi u bazama podataka.

Prikazivanje snimaka i ostalih podataka se vrši na radnim stanicama. Termin „radna stanica“ se odnosi ne samo na monitor već i na računar i odgovarajući softver kojim se kontrolišu preuzimanje fajlova i prikazivanje snimaka. Za prikazivanje se koriste različiti monitori kako po veličini i orijentaciji ekrana, tako i po rezoluciji, što zavisi od primene. Radne stanice često imaju dvostrukе, slika 5.10, pa i četvorostruke monitore kako bi se moglo jednovremeno prikazati više snimaka.



Slika 5.10. Monitori koji se koriste u dijagnostičkim radnim stanicama.

Za dijagnostička ispitivanja u radiologiji koriste se monitori najviše klase, visoke rezolucije, tzv. 2k monitori (tipično 2048 x 1536 piksela) i kalibrirani. Za CT i MRI snimke se mogu koristiti monitori manje rezolucije (tzv. 1k monitori, tipično 1024 x 768 piksela). Da bi se ostvario maksimalan kontrast, monitori treba da imaju maksimalan osvetljaj od barem  $170 \text{ cd/m}^2$  (prema preporuci Američkog koledža za

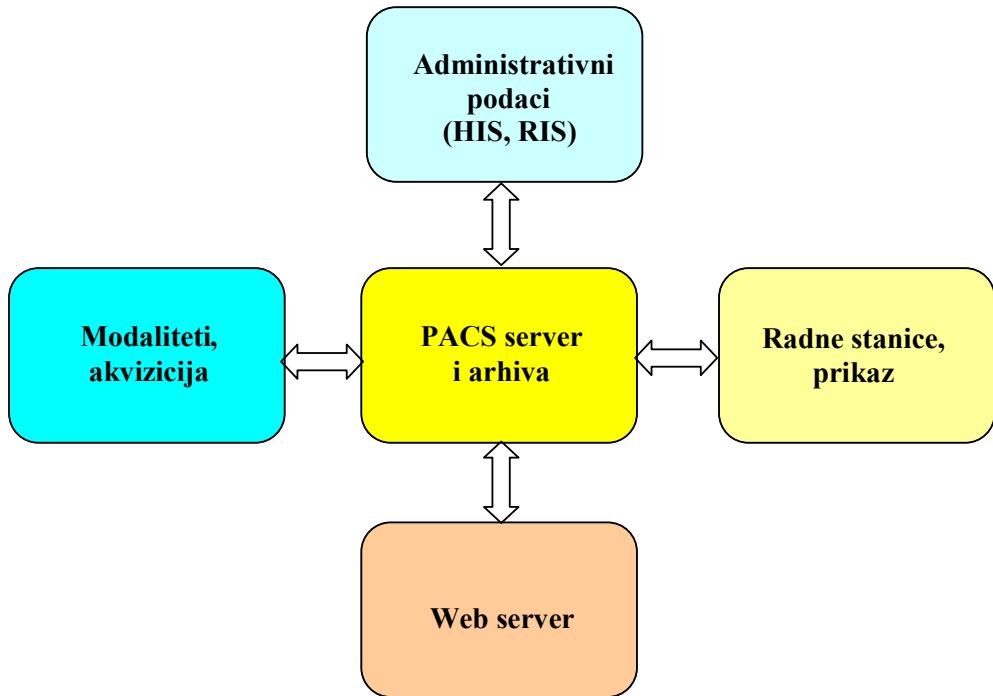
radiologiju). Današnji LCD monitori ostvaruju osvetljaj od  $1000\text{ cd/m}^2$  i više. Radne stanice za pregled i analizu mogu koristiti monitore slabijeg kvaliteta [TUR02].

Razmena podataka je možda najznačajniji deo PACS-a. Umrežavanjem se obezbeđuje prenos podataka od servera ili modaliteta do displeja i arhive i obratno. Brzina prenosa i propusni opseg (količina podataka koja se može preneti u jedinici vremena) su veoma povećani poslednjih godina, mada su i dalje ograničavajući faktori sistema, s obzirom na ogromnu količinu podataka koji se prenosi. Za prenos podataka se danas koriste računarske mreže realizovane po standardu ISO (*International Standards Organisation*). Ovaj standard je baziran na modelu sa sedam nivoa koji je poznat kao OSI (*Open System Interconnection*) model, mada se u analizi obično koristi uprošćen model sa četiri nivoa: sloj primene (*application layer*), mrežni protokol (*network layer*), link za prenos podataka (*data link*) i fizički sloj (*physical layer*). Unutar medicinske ustanove se koristi lokalna mreža (LAN) i to najčešće u arhitekturi *Ethernet*, koja je definisana standardom IEEE 802.3. Eternet koristi različite fizičke medijume kao što su koaksijalni kablovi, oklopljeni ili neoklopljeni upleneti kablovi i optički kablovi. Običan Eternet radi sa 10 MB/s, brzi Eternet sa 100 Mb/s, a koristi se i gigabitni Eternet (1 Gb/s). Za komunikaciju sa udaljenim korisnicima koriste se usluge telekomunikacionih provajdera različitog nivoa kvaliteta: prenos pomoću ISDN (128 kb/s), xDSL (do 8 Mb/s) ili T1/E1 linija (1.5/2 Mb/s) [FON11, HUA04].

### 5.3. MOGUĆA REALIZACIJA SISTEMA PACS

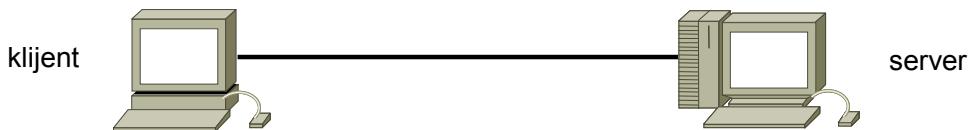
Istorijski gledano PACS se razvijao po potrebi i mogućnostima ustanove. Povezivani su mali subsistemi, zvani moduli, unutar radioloških odeljenja i svaki od modula je radio nezavisno. Nije bila moguća komunikacija između modula, što je bio veoma ograničavajući faktor, posebno u velikim bolničkim sistemima. Šira primena je nastala nakon uvođenja standarda DICOM, koji je omogućio povezivanje različitih modaliteta u jedinstven sistem, i mrežnih protokola. Osnovna struktura PACS-a prikazana je na slici 5.11.

Najbitniji deo sistema je PACS server, gde se arhiviraju podaci sa modaliteta i sa koga se pretražuju i koriste arhivirani podaci. Sa modaliteta se podaci unose u server, a preko *web* servera se komunicira sa spoljašnjim korisnicima. Administrativni podaci se unose u sistem i povezuju sa snimcima pacijenata preko bolničkog informacionog sistema (koristi se i radiološki informacioni sistem) [HUA04].



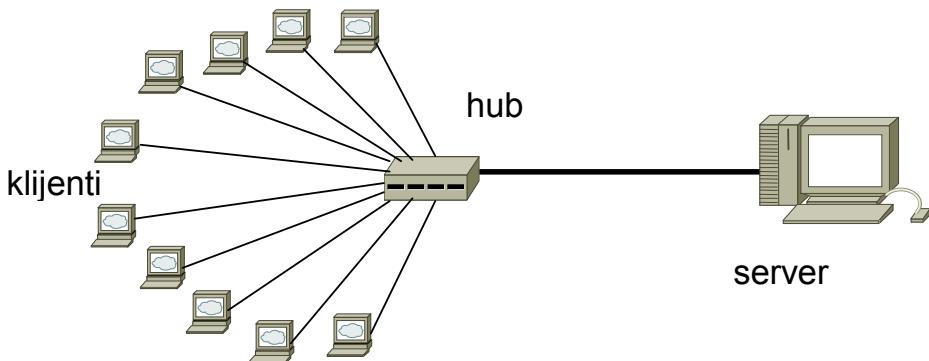
Slika 5.11. Osnovna struktura PACS sistema.

Najjednostavnija realizacija PACS-a bila bi kao na slici 5.12. Koristi se jedan server i postoji jedan korisnik (klijent). Strogo govoreći to i nije mreža već veza dva računara koji dele istu zajedničku liniju. Ako se koristi obični Eternet (10 Mb/s), neće se javiti problemi u radu, jer je mala verovatnoća da će oba učesnika u isto vreme tražiti vezu, dakle, mala je verovatnoća kolizije među računarima. Problemi mogu nastati ako treba povezati veći broj klijenata, kao na slici 5.13, kada treba više računara, na primer 10 računara, povezati za server.



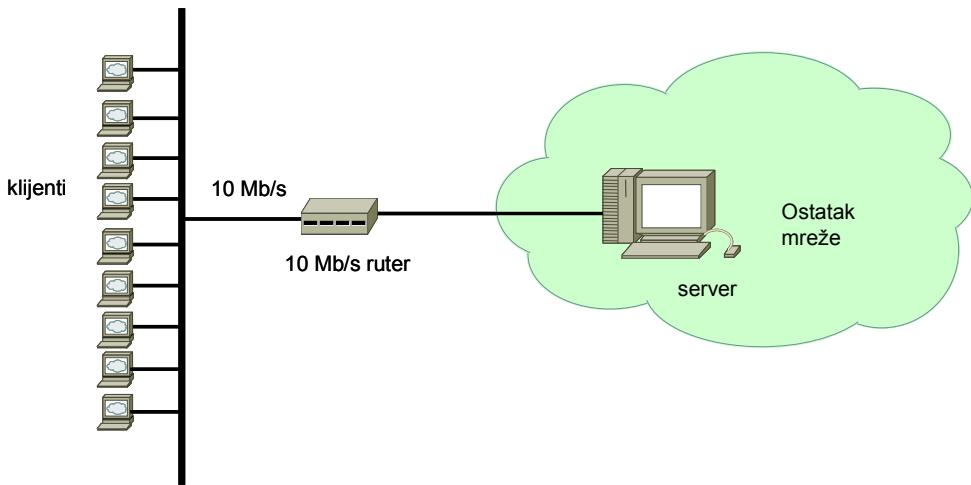
Slika 5.12. Najjednostavniji PACS. Jedna radna stanica (klijent) i jedan server (arhiva).

Za slučaj kao na slici 5.13 (10 klijenata i jedan server), ako se koristi obični Ethernets, svaki od klijenata može da pristupi serveru brzinom od 10 Mb/s, ali i server može ukupno da primi/emituje istom brzinom. Propusni opseg na liniji ka serveru se raspodeljuje između korisnika i može doći do zagušenja linije ka serveru. Rešenje može biti u korišćenju običnog Etherneta za vezu klijenata i *hub-a*, a brzog Eterneta (100 Mb/s) u vezi između servera i *hub-a*.

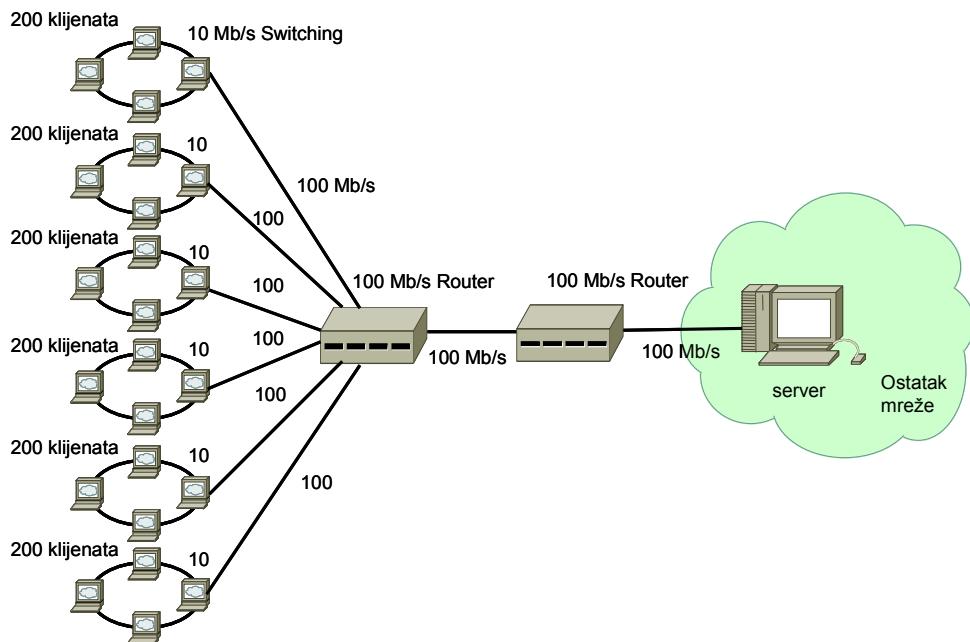


Slika 5.13. PASC sa više klijenata (10) i jednim serverom.

U realnom slučaju koristi se veći broj računara (npr. 1200) u istoj bolnici, slika 5.14. U tom slučaju običan Ethernets i 10 Mb/s ruter neće biti dobro rešenje, jer će računari zagušiti vezu ka serveru. Jedno moguće rešenje je kao na slici 5.15. Po 200 klijenata (to može odgovarati računarima na istom spratu) može biti vezano u prsten mrežom 10 Mb/s, koje su brzim Eternetom (100 Mb/s) povezani sa ruterom, a zatim sa serverom.

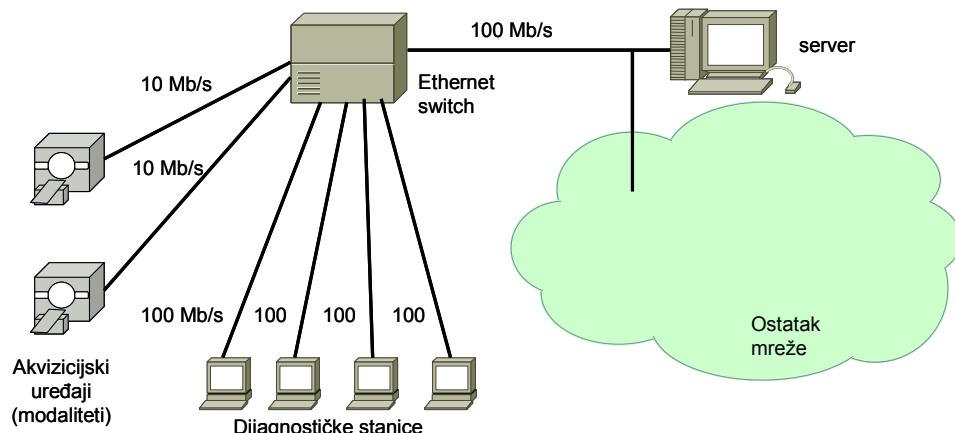


Slika 5.14. Realan sličaj PACS-a. Postoji veliki broj klijenata i jedan server.



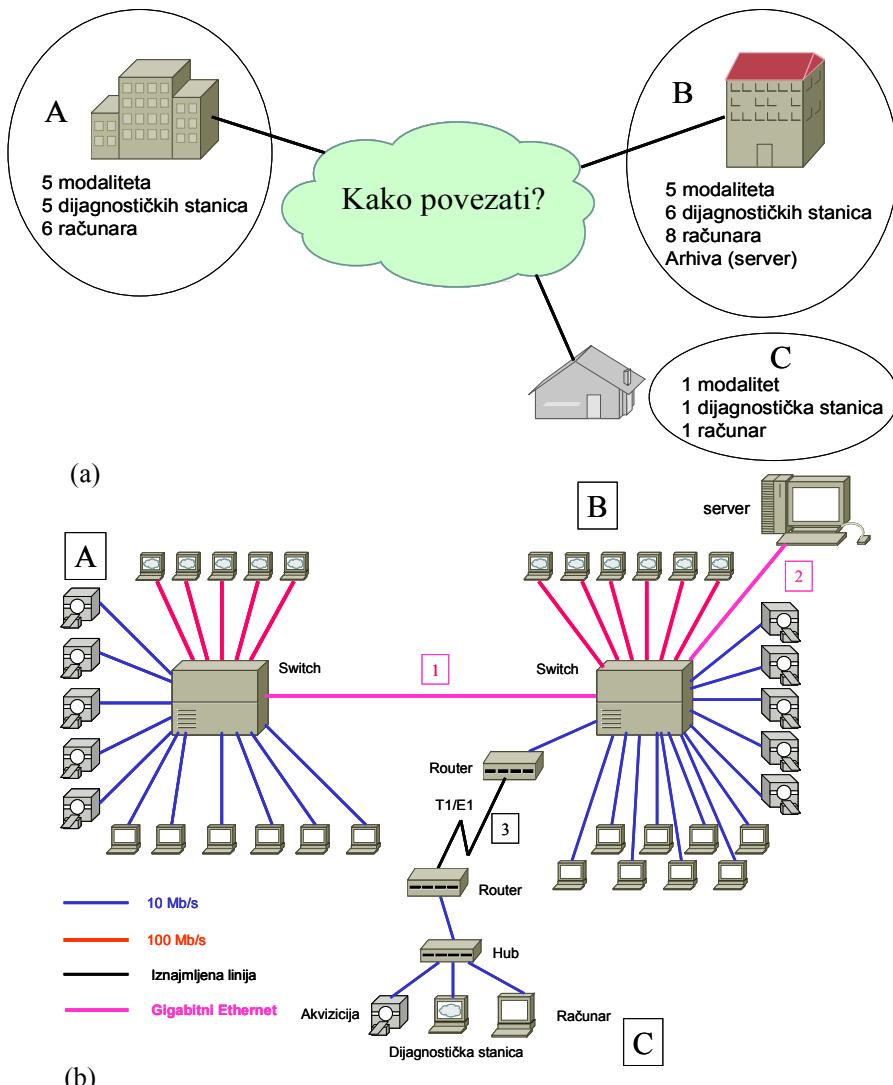
Slika 5.15. Jedno moguće rešenje povezivanja više klijenata na jedan server.

Jedno rešenje malog PACS sistema (tzv. mini PACS) prikazano je na slici 5.16. Koriste se dva modaliteta i četiri radne stanice. Modaliteti povremeno rade i uglavnom šalju slike ka serveru. Oni stoga mogu biti povezani običnim Eternetom (10 Mb/s). Radne stanice i server su više opterećeni i koriste brzi Eternet (100 Mb/s).



Slika 5.16. Mini PACS. Dva modaliteta i četiri radne stanice su povezani sa serverom.

Razmotrimo i složenu situaciju kao na slici 5.17-a. Treba povezati tri medicinske ustanove, označene sa A, B i C, koje su prostorno udaljene, pri čemu su ustanove A i B u istom gradu, a ustanova C je, na primer, seoska ambulanta. Neka ustanova A sadrži 5 modaliteta, 6 dijagnostičkih radnih stanica i 6 računara (običnih radnih stanica), ustanova B 5 modaliteta, 6 dijagnostičkih i 8 običnih radnih stanica, a ustanova C jedan modalitet, jednu dijagnostičku i jednu običnu radnu stanicu. U ustanovi B će se nalaziti i centralni server (arhiva). Pitanje je „Kako povezati ove ustanove u PACS sistem?“. Jedno moguće rešenje prikazano je na slici 5.17-b.



Slika 5.17. Povezivanje više ustanova u zajednički PACS sistem: a) početna situacija, b) jedno moguće rešenje.

Obrazloženje rešenja sa slike 5.17-b je sledeće. Dijagnostičke radne stanice se povezuju na brzi Eternet (100 Mb/s), osim u udaljenoj ambulantni C gde se ne očekuje intenzivni rad te se može koristiti i običan Eternet (10 Mb/s). Za sve modalitete, kao i obične računare, može se koristiti običan Eternet. Na osnovu toga računamo maksimalna procenjena opterećenja za lokacije A, B i C, kako bi dimenzionisali vezu sa serverom. Za lokaciju A maksimalno opterećenje iznosi 610 Mb/s (5 dijagnostičkih radnih stanica po 100 Mb/s i  $5+6=11$  uređaja sa po 10 Mb/s). Na isti način za lokaciju B dobijamo maksimalno opterećenje od 730 Mb/s, dok je za lokaciju C maksimalno opterećenje 30 Mb/s. Svakako, u bilo kojoj od ovih lokacija je mala verovatnoća da će svi uređaji raditi jednovremeno tako da je realno opterećenje (znatno) manje, pogotovu za lokaciju C. Na osnovu ove procene možemo zaključiti da za lokacije A i B možemo koristiti Eternet svičeve od 100 Mb/s, a za lokaciju C je dovoljan hub i običan Eternet. Za vezu između svičeva na lokacijama A i B koristi se gigabitni Eternet, kao i za vezu sa serverom u ustanovi B. Ove linije su na slici 17-b označene sa 1 i 2. Eventualno, radi sigurnijeg rada, mogu se na lokacijama A i B koristiti udvojeni svičevi i udvojeni gigabitni linkovi 1 i 2 (što na slici 17-b nije označeno). Udvajanje svičeva/linkova predstavlja veću početnu investiciju, ali je ukupan efekat pozitivan, jer se ostvaruje siguran rad, a moguće je vršiti izmenu ili servisiranje sistema bez potrebe za prekidanjem rada. Veza sa lokacijom C je preko iznajmljene linije T1 (ili E1) sa protokom 1.554 Mb/s (odnosno 2.48 Mb/s).

## LITERATURA

- [BRA09] B.F. Branstetter IV, Ed., *Practical Imaging Informatics: Foundations and Applications for PACS Professionals*, Springer New York, 2009.
- [DEB04] A.I. De Backer, K.J. Mortelé, B.L. De Keulenaer, „Picture archiving and communication system – part one: Filmless radiology and distance radiology“, JBR–BTR, 2004, 87: 234-241
- [FON11] B. Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine Technologies: Information Technologies in Medicine and Telehealth*, Wiley, 2011.
- [HOO06] M.N. Hood, H. Scott, „Introduction to picture archive and communication systems“, *Journal of Radiology Nursing*, Vol. 25, Issue 3, pp. 69-74, Sept. 2006.
- [HUA04] H.K. Huang, *PACS and Imaging Informatics*, Wiley, 2004.
- [SUR02] J. Suri, S. Kamaledin, S. Singh (Eds.), *Advanced Algorithmic Approaches to Medical Image Segmentation*, Springer, 2002.
- [TUR02] J. Turner, D. Bhachu, A. McBride, *PACS Net: A Beginner's Guide to PACS*, Medical Devices Agency, London, 2002.
- [WET09] R. Wetering, R. Batenburg, “A PACS maturity model: A systematic meta-analytic review on maturation and evolvability of PACS in the hospital enterprise”, *International Journal of Medical Informatics*, 2009, 78(2), 127-140



## *6. Telekardiologija*

Telekardiološki sistem predstavlja namenski telemedicinski sistem koji ima za zadatak prenos medicinskih informacija o stanju kardiovaskularnog sistema između dve udaljene lokacije. Najčešće se podrazumeva prenos kardioloških podataka od mesta akvizicije, odnosno pacijenta koji predstavlja izvor signala koji generiše podatke, do konačnog odredišta, odnosno lekara koji analizira prenute podatke.

Telekardiološki servisi su posebni servisi koji su povezani sa medicinom, pre svega sa kardiologijom, telekomunikacionim i informacionim tehnologijama. Vremenom su se definisali iz generalnog skupa telemedicinskih servisa koji su zahtevali poseban tretman u skladu sa određenim granama medicine (teleradiologija, telepatologija, telepsihiatrija, teledermatologija, telehirurgija, itd.). U procesu izdvajanja telekardiologije kao posebnog dela telemedicine, principijelno su zadržani osnovni opšti telemedicinski servisi i usluge (telemonitoring, telenega, teledijagnoza, teledjeksiplinska edukacija, itd.).

Danas, bolesti srca i krvnih sudova predstavljaju jedan od vodećih uzroka smrtnosti. To je jedan od razloga zašto je neophodno raditi na prevenciji i izradi strategije sprečavanja kardiovaskularnih oboljenja. Telekardiologija predstavlja

revolucionarni korak u današnjem pružanju zdravstvene nege i kontrole, i modernizaciji zdravstvene zaštite neophodne savremenom društvu. S obzirom na učestalost kardioloških oboljenja kod populacije, iako na začetku razvoja, telekardiologija je jedna od najrazvijenijih delova telemedicine, dok telekardiološki servisi koji se bave kontrolom i analizom kardiovaskularnog sistema stiču veliku popularnost.

Efikasni prenos kardioloških podataka između prostorno razdvojenog izvora informacija i prijemnog dela sistema daje šansu da na pouzdan i visokokvalitetan način podaci postanu raspoloživi većem broju korisnika garantujući bezbednost i pouzdanost istih uz značajno smanjenje troškova lečenja. Dimenzionalnost sistema utiče na njegovu realizaciju, a raznolikost i količina celokupnog relevantnog informacionog kardiološkog sadržaja prevazilazi tehničke mogućnosti. Ipak, stepen razvoja telekomunikacionih i informacionih tehnologija je na takvom nivou da se razvijaju aplikacije koje podržavaju prenos alfanumeričkih podataka, audio, vizuelnih i multimodalnih predstava rada srca.

U skladu sa strategijom razvoja telekardiologije, definišu se odgovarajući delovi telemedicinskih standarda (PACS, DICOM, HL7, itd.), vodeći računa o nizu zahteva i potreba korisnika, ali i pružanju visokog kvaliteta servisa - QoS (*Quality of Service*). U telekardiologiji daju se smernice o realizaciji aplikacija i sistema, ali ne i implementaciji u vidu konkretnih rešenja. Telekardiološki sistem je zahtevan i njegova realizacija predstavlja pravi izazov sa medicinske, inženjerske i finansijske tačke gledišta. Poseban izazov je prihvatanje primene ovakvog sistema od strane klijenata i njihova obuka.

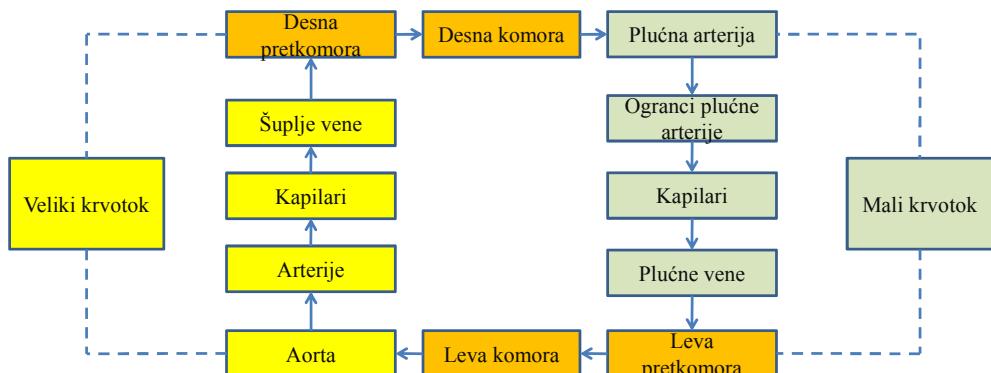
Organizaciona struktura telekardiološkog sistema određuje koji će elementi biti zahtevni za implementaciju. U slučaju nadzora pacijenta, akvizicija i merenje biomedicinskih signala predstavlja deo telekardiološkog sistema kome se posebno ukazuje pažnja, jer se mora voditi računa o kvalitetu pribavljenih podataka i pružanju adekvatnih usluga. Transport kardioloških podataka i dvosmerna komunikacija mogu biti otežani zbog lokacije korisnika i prepreka koje nastaju tom prilikom. Performanse telekomunikacionog sistema značajno utiču na potencijal telekardiološkog sistema. Prijemni signal može biti dugotrajan i ili memorijski zahtevan što dovodi do pitanja njegovog arhiviranja, ali i analize u slučaju aplikacija koje rade u realnom vremenu. Kako se komunikacija najčešće obavlja u oba smera, rezultat analize, njegovo prosleđivanje i pre svega potencijalna intervencija se mora razmotriti kao sastavni deo sistema telekardiologije. Dodatni zahtevi za realizaciju sistema mogu nastati zahvaljujući vrsti kardioloških podataka koji se prenose i potrebe za njihovom analizom.

Naime, procesi kardiovaskularnog sistema i ostali relevantni fiziološki procesi se moraju adekvatno interpretirati u telekardiološkom sistemu.

### 6.1. PROCESI KARDIOLOŠKOG SISTEMA

Kardiološki podaci koji se prenose u okviru telekardiološkog sistema sadrže informacije o procesima kardiološkog (kardiovaskularnog) sistema. Kardiološki medicinski signali nastaju delovanjem fizičke pobude na senzor, čulo ili drugu vrstu neposrednog prijemnika u okviru sistema za akviziciju. Rad srca i kardiovaskularnog sistema se može pratiti kroz čitav spektar različitih procesa kardiološkog sistema, parametara i prezentacija medicinskih signala.

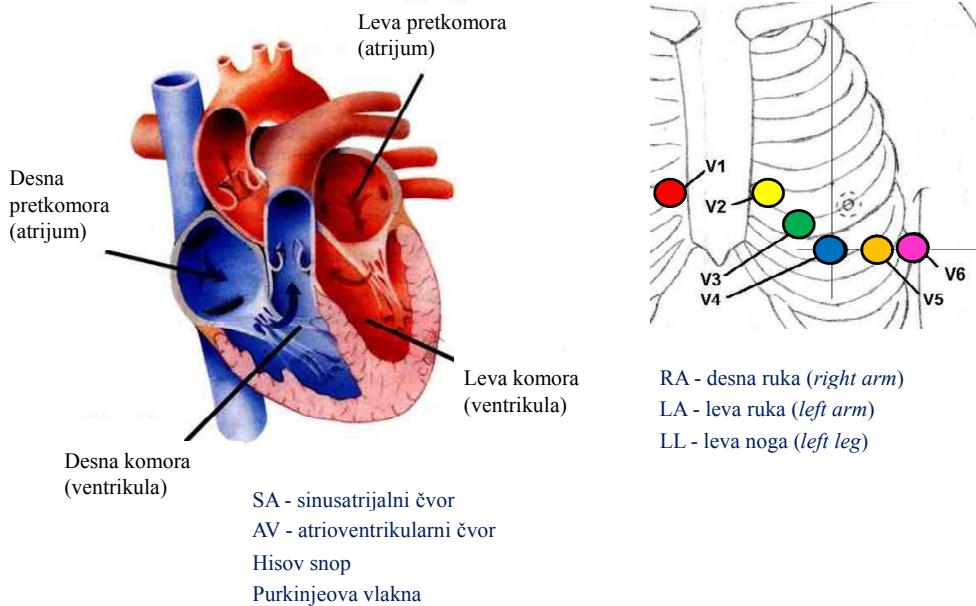
Funkcionalnost kardiovaskularnog sistema se prati kroz procese koji obezbeđuju njegov normalan rad, dok je normalna aktivnost uslovljena stalnim i efikasnim protokom materije. Srce je šupalj mišićni organ koji svojim ritmičkim kontrakcijama omogućava protok krvi. Razlikuju se četiri šupljine - dve pretkomore (desni i levi atrijum) i dve komore (desna i leva ventrikula), pri čemu su desna i leva strana srca odvojene srčanom pregradom (septumom). Srce predstavlja centralni organ krvotoka, koji pripada i malom i velikom krvotoku. Mali krvotok pretvara vensku krv u arterijsku, dok veliki pretvara arterijsku u vensku krv (slika 6.1-6.2).



Slika 6.1 Blok šema kruženja krvi u velikom i malom krvotoku i srca u ulozi pumpe između njih.

Srčani mišić (miokard) može biti u opuštenom stanju, što se naziva period dijastole, i u stanju kontrakcije, što predstavlja period sistole. Ovakav sistem upumpavanja i ispumpavanja krvi je sinhronizovan i kvaziperiodičan. Srce u ulozi pumpe, svojim pretkomorama ispumpava krv donetu šupljim i plućnim venama, a

grčenjem komora uz učešće aorte i plućne arterije, krv potiskuje u pluća i ostale delove tela. Otkucaj srca (kvaziperioda) se sastoji iz intervala sistole i dijastole. Srce karakteriše automatizam, sposobnost da funkcioniše samostalno, jer se impuls (spontana depolarizacija) za aktivaciju rada nalazi u samom organu.



Slika 6.2. Srčani mišić i merne pozicije za postavljanje elektroda prilikom akvizicije elektrokardiograma.

Srčani mišić se kvaziperiodično depolarizuje i repolarizuje. Mehanička kontrakcija srca nastaje nakon pojave akcionog potencijala u SA čvoru (sinusatrijalnom čvoru) u kome se aktivira kontrakcija pretkomore. Intercelularnim pristupom se mogu meriti akcioni potencijali i u drugim delovima srca i imaju drugačiji oblik kao i vremensko kašnjenje. SA čvor, intermodalni putevi od SA do AV (atrioventrikularnog) čvora, AV čvor (u kome se komore aktiviraju), Hisov snop (koji povezuje pretkomore i komore) i Purkinjeova vlakna (koja impulse sprovode u ostale delove komora) predstavljaju delove za merenje akcionalih potencijala, čijim sumiranjem se dobija karakteristični morfološki oblik elektrokardiograma (EKG-a; *electrocardiogram* - ECG signal). Mišićne kontrakcije su u direktnoj vezi sa ovako dobijenim signalom koji je električne prirode. EKG predstavlja do sada najistraženiji zapis rada srca koji se beleži u jedinici vremena.

Instrument za registrovanje bioelektričnih promena u srcu naziva se elektrokardiograf (EKG uređaj), koji snima električne potencijale nastale u srčanom mišiću. EKG zapis, elektrokardiogram, je kriva promene potencijala koja lekaru daje informacije o radu srca. Merenju EKG signala se može pristupiti na različite načine. Mogu se definisati tri napona zasnovana na *Eithovenovem*-ovom jednakostraničnom trouglu u frontalnoj ravni pacijenta. Ovaj trougao je zasnovan na ekstremitetima pacijenta (RA - desna ruka, LA - leva ruka i LL - leva nogu) i definiše tri napona na osnovu tri postavljene elektrode kao razliku potencijala u njima. Ti naponi se označavaju rimskim brojevima I, II i III, dok se LL tačka naziva još i LF (levo stopalo - *left foot*). U odnosu na referentnu tačku u okviru EKG uređaja, definišu se naponi VR, VL i VF za RA, LA i LF pozicije, redom. Naponi I, II i III se mogu opisati pomoću algebarskih jednačina:

$$I = VR - VL, \quad II = VR - VF, \quad III = VL - VF. \quad (6.1)$$

Uz nešto drugačiju hardversku realizaciju se definišu ogmentirani odvodi aVR, aVL i aVF kao:

$$aVR = 0.5(I+II), \quad aVL = 0.5(I-III) \text{ i } aVF = 0.5(II+III). \quad (6.2)$$

Danas je u kliničkoj dijagnostici osim frontalnog merenja, uobičajeno transverzalno merenje EKG signala. Mere se potencijali odvoda V1-V6 u šest mernih pozicija za postavljanje elektroda prilikom akvizicije EKG-a (slika 6.2).

Osim elektrokardiografije, postoje i drugi načini zapisa rada srca. Digitalni zapisi mogu biti i mehaničke prirode ili zapisi zvukova srca u vidu talasnih jednodimenzionalnih signala, takođe beleženih u vremenskom domenu. Fonokardiografija predstavlja jedan od najčešćih i najjednostavnijih načina za praćenje pravilnog rada srca u kliničkoj dijagnostici. Ona je nasledila mnogo stariju metodologiju auskultacije, slušanja srčanih zvukova. Stetoskop je instrument koji se koristi za akviziciju akustičnog zapisa rada srca i disanja, dok fonokardiogram (*phonocardiogram* - PCG signal) predstavlja snimak akustičnog zapisa. Auskultacijom odlučivanje zavisi od stručnosti i uvežbanosti korisnika-medicinskog lica koji je obavlja. Međutim, pojavom fonokardiografije inspekcija funkcionalnosti srčanog mišića na osnovu digitalnog zvučnog zapisa dobija još jedan aspekt. Osim zvučne slike, koja je nastala delovanjem fizičke pobude na čulo sluha, na raspolaganju je i vizuelna slika kojom je kvalitet odlučivanja auskultacijom znatno poboljšan. Vizuelna reprezentacija signala je prilagođena licima koja su manje vična prepoznavanju zvukova na osnovu preslušavanja.

Pojavom digitalnih elektronskih stetoskopa, akvizicija fonokardiograma je postala jednostavnija, omogućavajući digitalni zapis fonokardiograma koji je spreman sa razmenu i analizu u okviru telemedicinskih sistema. Zapis srčanih

zvukova sadrži informacije o radu srčanih zalistaka. Srčani zalistici u srčanom mišiću služe za usmeravanje krvi. Prilikom auskultacije, ali i analize morfološkog oblika fonokardiograma, obavlja se dijagnostičko odlučivanje o funkcionalnosti srca i protoka krvi u srcu. Osnovne pozicije za postavljanje senzora stetoskopa u zavisnosti od položaja srčanih zalistaka prikazane su na slici 6.3. Akvizicija mehanokardiograma upotrebom akcelerometra takođe predstavlja jednu vrstu zapisa mehaničkog rada srca.

A – Aortni region (*Base Right*)

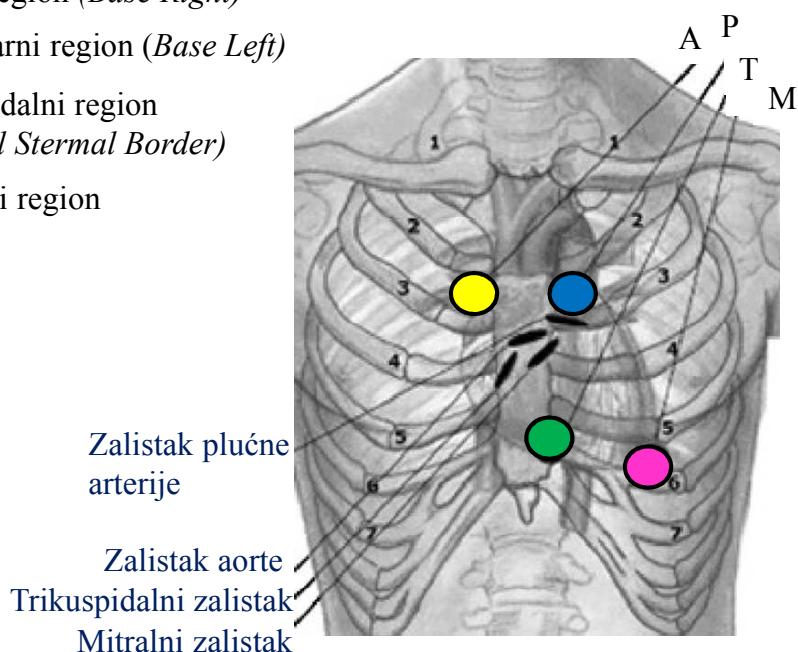
P – Pulmonarni region (*Base Left*)

T – Trikuspidalni region

(*Left Lateral Sternal Border*)

M – Mitralni region

(*Apex*)



Slika 6.3. Merne pozicije za postavljanje senzora prilikom akvizicije fonokardiograma i auskultacije.

Da bi se procesi kardiovaskularnog sistema izmernili upotrebom određene metodologije, svaka od tehnika akvizicije signala zahteva poznavanje aktivnosti koja se ispituje sa fiziološkog aspekta, ali i načina na koje se to ispitivanje obavlja. Pod tim se između ostalog podrazumeva pravilan položaj senzora kojim se meri signal, pravilan položaj pacijenta i niz drugih okolnosti i preuslova (npr. pravilan položaj slušalice stetoskopa i naušnica stetoskopa u uhu slušaoca), koji značajno utiču na kvalitet signala koji se pribavlja od strane pacijenta.

Ispravna akvizicija i položaj senzora je od ključne važnosti, jer predstavlja početni uslov da bi se postigao željeni kvalitet telekardioloških servisa. Na primeru elektrokardiografije i fonokardiografije se može videti da položaj mernih pozicija mora obeležiti lice koje je obučeno za njihovo određivanje u odgovarajućim interkostalnim delovima (između rebara) pacijenta. Tek kada je ispunjen uslov pozicioniranja senzora i akvizicije, može se pristupiti zadatku prenosa signala u okviru teleelektrokardiografije i telefonokardiografije.

Prethodni uslovi i pojašnjenja važe i za medicinsku sliku. Medicinska slika u kardiologiji predstavlja višedimenzionalni zapis (2D - siva slika, 3D - slika u boji ili siva slika uz vremensku dimenziju, 4D - kolor video snimak), odnosno signal koji je dobijen određenom tehnikom akvizicije. Tu spadaju: ehokardiografija, PET (*positron emission tomography*) akvizicija, kompjuterizovana tomografija angiografija, magnetna rezonanca - MRI (*magnetic resonance imaging*), itd. Akvizicija medicinske slike obično se obavlja pod laboratorijskim uslovima, s obzirom na neophodnost medicinskog osoblja i instrumentacije koja nije mobilna. Mobilnost instrumentacije u okviru telekardioloških sistema nije neophodna.

Ehokardiografija je primer dijagnostičke metode koja može biti i mobilna i fiksna posmatrajući instrumentaciju za akviziciju signala. Ehokardiografija ili ultrazvuk (US - *ultrasound*) srca je metoda za vizuelizaciju strukture srca koja koristi ultrazvučni talas i kojom se posebnom sondom vrši akvizicija ultrazvučne slike (ili kraće "eha"). Sonda se prislanja i pokreće preko grudnog koša, pri čemu se može sagledati morfologija i funkcionalnost srčanog mišića i zalistaka, kao i protok krvi. *Doppler* pristup u boji, pri akviziciji omogućava kolor vizuelizaciju toka krvi kroz srčane šupljine. Pojavom mobilne opreme za ehokardiografiju, digitalna ultrazvučna slika se može snimiti i u prirodnom okruženju kao sastavni deo telekardiološkog sistema koji uključuje napredniji nadzor procesa kardiovaskularnog sistema.

Hardverska realizacija sistema za akviziciju, odnosno senzorska mreža zavisi od toga koja se aktivnost, odnosno funkcionalnost, želi meriti. Odabir elektroda, akcelerometara, specijalizovanih membrana, odnosno odgovarajućih senzora, trebalo bi biti ispraćeno i dodatnim delovima hardvera za potrebe pre svega nadgledanja realne situacije (kamere, telefon i sl.). Takvi dodatni delovi bi sprečavali nepotrebne intervencije u slučaju neodgovarajućeg postavljanja senzora.

Signal koji se pribavlja, neophodno je učiniti što kvalitetnijim za prenos putem mreže. Pod time se podrazumeva selektivnost klinički važnih i potiskivanje

irelevantnih komponenata. S obzirom da je izdvajanje i sagledavanje relevantnih komponenti signala problematično, u hardverskoj i softverskoj realizaciji sistema za akviziciju obavlja se inicijalno poboljšavanje kvaliteta (npr. upotreba pojačavača i filtara u hardverskoj realizaciji).

## 6.2. NASTANAK TELEKARDIOLOGIJE

Akvizicija biomedicinskih signala i zapisa funkcionalnosti kardiovaskularnog sistema je sastavni deo telemedicinskih i telekardioloških sistema. Ona je postojala mnogo pre razvoja same telemedicine. Nastanak telekardiologije nastupio je nakon razvoja instrumenata kao što su stetoskop i elektrokardiograf.

U 19. veku fiziolog *Augustus Waller* je prvi pokazao da slab električni potencijal srčanih otkucaja može biti registrovan mernim uređajem koji je povezan sa elektrodama na koži pacijenta. *Willem Einthoven*, holandski lekar i profesor fiziologije na Univerzitetu Leiden u Holandiji, je jedan od osnivača moderne elektrokardiografije. *Einthoven* je realizovao prvobitni praktični elektrokardiograf 1903. godine, kada je i uvedena elektrokardiografija kao dijagnostička tehnika. Vec 1903. godine je elektrokardiograf bio spreman za upotrebu. Osim kao tvorac elektrokardiografije, *Einthoven* je poznat i kao začetnik telekardiologije. Prvi telekardiološki sistem 1905. godine koristio je telefonski kabl dužine oko 1.5 km za prenos signala od akademske bolnice do njegove laboratorije. Sistem je realizovan pomoću veze telefonskim kablom na predlog inženjera i profesora *Johannes Bosscha* iz Delfta, što je *Einthoven*-u poslužilo za olakšano ispitivanje pacijenata. Prvi telekardiogram (telekardiosignal), koji je predstavljao normalan EKG signal, snimljen je i prenet 22. marta 1905. godine. Zasebno su poslati i srčani zvukovi postavljanjem odgovarajućeg mikrofona na grudi pacijenta, tako da je ovo označilo početak i teleelektrokardiografije i telefonokardiografije. Samim tim, telekardiologija je prvi konceptualni pravac za kliničku i eksperimentalnu telemedicinu koji je uključivao inženjering i rešavanje novonastalih problema (vetar, zemlja, magnetna polja, itd.). *Willem Einthoven* je za svoj rad dobio Nobelovu nagradu 1924. godine. Zaslужan je za obeležavanje elektrokardiograma koje se i danas upotrebljava (P, Q, R, S, T talasi) i *Einthoven*-ovog trougla koji se koristi kao osnova za postavljanje elektroda u frontalnoj ravni pacijenta.

Prvi stetoskop je izumeo *René-Théophile-Hyacinthe Laennec*, francuski lekar još 1819. godine, što je predstavljalo revolucionarno otkriće. Upotreba stetoskopa je dugi niz godina bila zasnovana isključivo na auskultaciji. Oko

jednog veka je bilo potrebno da stetoskop počne da se upotrebljava i u oblasti telekardiologije upotrebom telefonske mreže. Stetoskopi i danas predstavljaju neizostavan deo sistema za analizu rada srčanog mišića i disanja putem auskultacije. Tek 1941. fonokardiogamski zapisi su dobili oblik grafičkih zapisa koji su omogućili jasno razlikovanje srčanih zvukova i ispomoć auskulataciji (*Rappaport, Sprague*) zahvaljujući adekvatnom filtriranju.



Prvi teleelektrokardiografski sistem,  
prof. Willem Einthoven (1905)



Međunarodni radiomedicinski centar,  
prof. Guido Guida (1935)

Slika 6.4. Početak razvoja telekardiologije.

Godine 1935. u Lavovu, Ukrajina, lansiran je prvi svetski klinički teleelektrokardiografski sistem. Profesor *Marjan Franke* zajedno sa profesorom *Witold Lipinski*-jem radili su na istraživanju EKG-a na pacijentima sa infektivne klinike na udaljenosti od 450 metara. Razmena EKG podataka obavljala se između odeljenja za infektivne bolesti u državnoj opštoj bolnici i odeljenja za opštu i eksperimentalnu patologiju na medicinskom fakultetu u Lavovu (1935-1937.). Na EKG signalima koji su pribavljeni telekardiološkim sistemom, utvrđene su morfološke osobine koje su karakteristične za zarazne bolesti pacijenata (difterija, šarlah, itd.), uprkos brojnim osporavanjima da je takav prenos moguć.

Razvoj telekardiologije pratilo je razvoj telekomunikacija (telegraf, radio, telefon, televizija, satelitska komunikacija, računarske mreže, internet, bežične mreže i protokoli). Međunarodni radiomedicinski centar profesora *Guido Guida* (CIRM - *Centro internazionale di radiocomunicazioni mediche*) koristio je prvu radio stanicu da obezbedi udaljenu medicinsku pomoć za bolesne mornare i pomoć stanovništvu na ostrvima 1935. godine. Danas, ovakvi centri postoje i u

drugim zemljama i koriste telekonsultaciju i u slučaju kardioloških bolesti, gde telekardiologija (prema CIRM-u) zauzima oko 10% ukazane pomoći.

Značajan momenat u razvoju telekardiologije predstavlja otkriće televizije. Otpočinje primena dvosmerne televizijske veze, u svrhu teleedukacije i razmene informacija. Iako je videokonferencija u telemedicini poznata još od 1949. godine kao sredstvo za razmenu informacija, po prvi put se sreće u telekardiologiji 1965. godine. Naime, 2. maja 1965. godine organizovana je tele-videokonferencija za vreme operacije srca koju je izvršio kardiohirurg, istaknuti profesor *Michael DeBakey*. Hirurški zahvat na srcu obavio je u SAD-u, a postupak se uživo prenosio u bolnici u Ženevi, preko satelitske veze [VLA12].

Pronalazak telefona i bežične telegrafije, odigrao je značajnu ulogu u razvoju telekardiologije. Druga važna prekretnica je nastala primenom biotelemetrije, novog pravca u nauci i kliničkoj medicini. Biotelemetrija je praćenje, merenje i zapisivanje na daljinu različitih funkcija, aktivnosti ili stanja organizma. *Body Area Network* (BAN) je mreža bežičnih biotelemetrijskih senzora smeštenih na ili u telu pacijenta, koje predstavlja medijum za prenos električnih signala (*intrabody communication - IBC*) i praćenje različitih parametara.

Telekardiologija je odigrala značajnu ulogu u ranim 60-tim godinama 20. veka, u projektu istraživanja kosmosa, daljinskom monitoringu fizioloških funkcija i zdravstvene zaštite astronauta, kao i slanja ljudskih posada u svemir (pre svega od strane SSSR-a i SAD-a). Realizacija telekomunikacionog sistema za razmenu medicinske informacije oslanjala se na uspostavljanje telekomunikacione infrastrukture koja treba da podrži telemonitoring, preventivnu zaštitu, telemedicinsku edukaciju i slične servise. Stečena su mnogobrojna iskustva u okviru svemirskog, ali i vojnog istraživanja (npr. američki *Akamai* projekat) na temu telemedicine.

Jedan od najstarijih telekardioloških sistema za teleprenos EKG-a je realizovan u Indiji 1975. godine. Stručni tim na medicinskom fakultetu u Gvalioru pri realizaciji ovog sistema prvi put je koristio raspoložive tehničke mogućnosti za praćenje stanja pacijenata sa pejsmajkerom u udaljenim područjima, i bežičnim prenosom EKG-a i fiksnim putem telefonske linije. Bežični prenos EKG-a se vršio iz pokretnih kola hitne pomoći ili iz kuće pacijenta do centralne kontrolne stanice u bolnici.

Razvoj novih tehnologija je ubrzao razvoj telekardioloških sistema za obradu medicinskih informacija. Pod tim se podrazumeva razvoj komunikacionih tehnologija, hardvera i softvera koji omogućavaju praćenje i prenos osnovnih

fizioških parametara pacijenata i ostalih potrebnih podataka. Na taj način postignuta je dostupnost podataka o kardiovaskularnom sistemu pacijenta širem broju korisnika (lekara) i olakšan je postupak njihove analize. Osim pacijenata i eksperata za održavanje sistema, telekardiološki sistem često uključuje tim medicinskog osoblja različitog profila [AUG09].

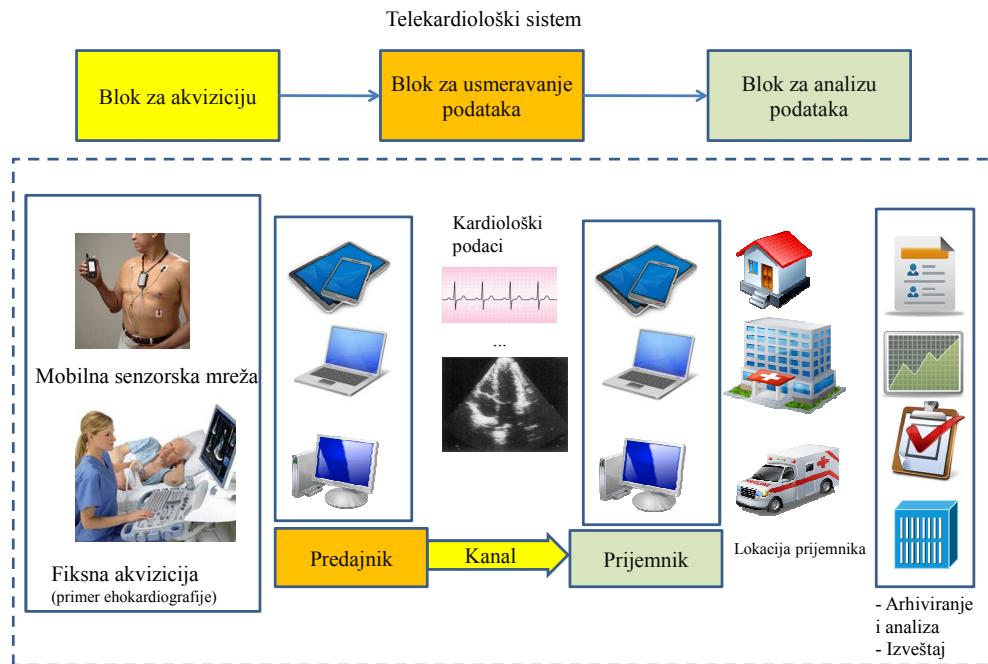
### 6.3. ORGANIZACIONA STRUKTURA TELEKARDIOLOŠKOG SISTEMA

Svaki građanin treba da ima pravo na zadovoljavajući kvalitet zdravstvene zaštite bez obzira da li živi u gradu ili ruralnim sredinama, u mestima koja su blizu ili udaljena od medicinskih ustanova. Poseban izazov u pružanju medicinske usluge predstavljaju nepristupačne lokacije na kojima se nalaze pacijenti u postoperativnom toku, hronični bolesnici i starija populacija. Zato je pokrivenost mreže telekardiološkog sistema jedan od osnovnih zadataka pri njegovoj realizaciji u skladu sa specifičnostima na koje se nailazi (geografska lokacija i njene karakteristike (planinski predeli, ostrva, itd.), pokretljivost pacijenta, raspoloživost lokalne opreme i dr.). Potrebno je stvoriti uslove da pacijent dobije odgovarajuće savete, obavi inicijalnu zdravstvenu kontrolu i samokotrolu bez prekidanja dnevne rutine. Prirodno okruženje je manje stresno od bolničkih uslova, pri čemu se mogu pribaviti relevantni podaci za potrebe kardiološkog nadzora što za posledicu ima efikasnost sistema [MAH09].

Danas, istraživanja su usmerena ka senzorima i sistemima koji su "nosivi" [LIN10, PAT12]. Naime, ako se omogući pacijentu da pored svog mobilnog telefonskog uređaja nosi i/ili oblači odelo (e-tekstil, fleksibilni senzori) sa ugrađenim senzorima, koji predstavljaju sastavni deo telemedicinskog sistema, kontrola i intervencija nad pacijentom bila bi znatno pojednostavljena. Minijaturizacija i fleksibilnost senzora igra ključnu ulogu. MEMS (*Microelectromechanical systems*) tehnologija je omogućila razvoj minijaturizovanih inercijalnih senzora. Upotreba ovakvih tehnologija se smatra posebno korisnom za praćenje starijih osoba i osoba sa hroničnim kardiovaskularnim oboljenjima.

Za realizaciju ovakvih sistema, osim senzorske tehnologije koju je potrebno implementirati, razmatraju se i komunikacijske tehnologije koje se pri tome mogu iskoristiti ujedno sa raspoloživim alatom za analizu podataka. Aplikacije koje prate ovakve sisteme mogu se odnositi na pružanje servisa telenoge, kontrolu i pružanje mogućnosti kućnog lečenja/oporavka, procene lečenja, ranog otkrivanja poremećaja. Sistemi koji omogućavaju kućnu negu i lečenje (servisi "pametne kuće" - *smarthome*) ili kontrolu dok je pacijent u

pokretu su izazovni za realizaciju. Uprkos tome, postoji uverenost da će u bliskoj budućnosti takvi sistemi zaživeti. Zahvaljujući složenijim zdravstvenim servisima, stanovnici razvijenijih zemalja duže žive. Još jedna prednost je olakšanje budžeta predviđenog za pružanje zdravstvenih usluga i regulisanje rada sa novim osiguranicima u sistemu zdravstvene zaštite. Iako postoje informacione tehnologije i srodne oblasti koje mogu omogućiti realizaciju ovakvih telemedicinskih sistema, još uvek je malo toga urađeno na ovom planu.



Slika 6.5. Struktura telekardiološkog sistema.

Praćenje fizioloških parametara (odnosno statusa pacijenta) koji mogu pomoći u dijagnostici i lečenju velikog broja pojedinaca sa kardiovaskularnim oboljenjima (ali i neurološkim, plućnim oboljenjima, itd.) omogućilo bi i pacijentu pristup servisima za pružanje zdravstvene zaštite. Pacijenti iz ruralnih sredina, u poređenju sa onima u urbanim sredinama, imaju u proseku lošije zdravstveno stanje (dijabetes, srčane udare), itd. Prenosni senzori i sistemi daljinskog nadzora vide svoju funkciju i u decentralizaciji države i ostanku stanovništva u sredinama koje nisu urbane.

Neophodno je razumevanje organizacionih procesa u pružanju zdravstvene nege u skladu sa komunikacionim tehnologijama i arhitekture celokupnog

telekardiološkog sistema, od najjednostavnijih do složenih realizacija, centralizovanih i distribuiranih rešenja [JAT03, BAL03, GAN00a, GAN00b, HSI12]. Status pacijenta koji se prati određuju vitalni znaci rada srca (ili respiratori znaci). Nadzor je obično propraćen dodatnim senzorima (za pokret, kamera, itd.). U bežičnim uslovima se najčešće oslanja na prenos podataka sa mobilnog telefona i/ili pristupne stanice i informacionih releja ka udaljenim centru putem odgovarajuće mreže (npr. Internet, satelitska komunikacija, GSM, itd.) [CLA00, CHA01, IST01, SAL05, QUE05]. Servisi hitne službe se mogu pružiti na ovakav način ili se omogućiti članovima porodice ili starateljima da budu upozorenici slučaju vanrednog stanja/statusa pacijenta. Moraju se predvideti i dodatne prepreke i izazovi, kao što je upotreba baterija i sl.

Struktura telekardiološkog sistema prikazana je na slici 6.5. Sastoji od tri osnovna bloka: bloka za akviziciju, bloka za usmeravanje podataka ka udaljenom centru i bloka za analizu podataka. Blok za akviziciju se odnosi na pribavljanje podataka za razmenu između udaljenih lokacija predajnika i prijemnika. Senzorska mreža može biti mobilna i u tim slučajevima se obično obavlja telemonitoring kardiološkog stanja pacijenta. Mobilna senzorska mreža obično je povezana sa mobilnim uređajima koji predstavljaju predajnike u okviru telekardioloških sistema (tablet računari, mobilni uređaji i sl.) ili je deo za akviziciju sastavni deo samih predajnika. Akvizicija može biti i fiksna, kao što je slučaj sa medicinskom slikom (primer akvizicije ehokardiografskog snimka). Ovakav način akvizicije signala zahteva fiksnu radnu stanicu i opremu za akviziciju koja nije pogodna za transport i mobilnu upotrebu.

Na tržištu postoji više vrsta medicinske dijagnostičke opreme za potrebe telekardiologije, ponuđene od velikog broja proizvođača. Savremeni medicinski dijagnostički uređaji su elektronski digitalni uređaji koji omogućavaju efikasnu integraciju medicinskog informacionog sistema u celini i komunikacione opreme (računara). Dijagnostički uređaji za telekardiologiju služe za vizuelizaciju pacijenta i/ili regiona od interesa, kao sredstva za akviziciju i obradu signala, merenje parametara, za emitovanje rezultata inspekcije ili kao sredstva za daljinsku kontrolu medicinskih uređaja.

Napomenućemo neke od vrsta medicinske dijagnostičke opreme koja se koristi u telekardiologiji (slika 6.6). Najpopularniji uređaj koji je pogodan za telekardiološku upotrebu je digitalni elektrokardiograf. On predstavlja kompjuterizovani aparat za dobijanje, obradu, analizu i prenos EKG-a. Elektrokardiograf koji ima 12 kanala (12-kanalni) se koristi na svim nivoima zdravstvene zaštite u cilju dobijanja kompletne dijagnoze. Akvizicija EKG-a pomoću elektrokardiografa se može sprovesti i sa manjim brojem kanala (6-

kanalni, 3-kanalni, 1-kanalni). Prenosivi elektrokardiograf je bežični uređaj malih dimenzija pogodan za pacijenta kao i za profesionalnu upotrebu u bolnicama. On daje direktni pregled rezultata, detektuje srčani signal i upozorava na potencijalne nepravilnosti [MIT07, LIN10].



Slika 6.6. Mobilni telekardiološki uređaji.

Elektronski stetoskop predstavlja medicinski aparat koji služi za auskultaciju srčanih i drugih unutrašnjih zvukova (disanja). Digitalni stetoskop predstavlja pogodan dijagnostički uređaj za potrebe telekardiologije. Na tržištu su danas prisutni bežični digitalni stetoskopi (koji npr. koriste *Bluetooth* tehnologiju) i koji su pogodni za promenu lokacije akvizicije fonokardiograma. Oni se prodaju obično uz prateći softver i imaju funkciju filtriranja, snimanja, prenosa, obrade podataka, čuvanja rezultata u odgovarajućim formatima (kod *Littman*-ovog stetoskopa .e4k format arhiviranja [LIT13]).

Mobilni sistemi za akviziciju signala nisu ograničeni samo na jednodimenzionalne signale, već mogu biti korišćeni i za medicinsku sliku

(sekvenca slika, video). Ultrazvučni uređaji su dijagnostički uređaji za obavljanje ultrazvučnih pregleda. Oni daju mogućnost emitovanja slike, bilo da su prenosivi (na bazi prenosivih računara, laptopa, PDA uređaja) ili robotizovani koje kontroliše stručno lice sa udaljenog mesta. Na raspolaganju su i specijalizovane kamere, digitalne kamere za emitovanje videa ili sekvenci skenova, oksimetri, akcelerometri i drugi načini akvizicije.

Blok za usmeravanje podataka podrazumeva upotrebu telekomunikacionih kanala za prenos kardioloških podataka od predajnika do prijemnika. Izbor tehnologije za prenos zavisi od performansi raspoloživih predajnika i prijemnika, okolnosti (tip sredine u kojoj se podaci prenose, karakteristike terena) i kardioloških podataka (koliko su sami podaci zahtevni za prenos da bi se održao njihov kvalitet na prijemnoj strani). Potrebno je uspostaviti vezu između hardvera i softvera koji se koristi u usmeravanju podataka (aplikacije, komunikacioni modeli, protokoli).

Da su ovakvi prenosni sistemi deo današnjice pokazuju komunikacijski standardi koji su orijentisani ka bežičnoj komunikaciji male snage. Među takvim standardima su i poznati IEEE 802.15.4/Zigbee i Bluetooth standardi. IEEE 802.15.4a standard uvodi dodatne fizičke nivoe originalnom IEEE 802.15.4 standardu bazirane na UWB (*Ultra-wideband*) i CSS-u (*chirp spread spectrum*). Upotreboom ovog standarda omogućava se rad sa uređajima niske cene i male snage. Time je omogućen razvoj telemedicinskih bežičnih mreža (WPANs - *wireless personal area networks*) i aplikacija koje dozvoljavaju brzu razmenu podataka i preciznu ocenu položaja pacijenta.

Orijentisanost ka širokopojasnim mrežama za brzu akviziciju i razmenu podataka još uvek postoji, naročito u manje i srednje razvijenim zemljama. Pod time se pre svega podrazumeva širokopojasni pristup Internetu (*broadband Internet access*) i upotreba personalnih računara kao fiksnih radnih stanica [SAL05]. Tu ulogu može preuzeti 4G mobilni internet u slučajevima kada pacijentu fiksna radna stanica nije na raspolaganju, s obzirom na sve veću dostupnost pametnih telefona.

Podaci se prenose u realnom vremenu na udaljene servere (npr. pomoću IP) ili se čuvaju i naknadno prosleđuju. Telekardiologija se može podeliti na tri kategorije sa gledišta razmene podataka: udaljeni monitoring, prosleđivanje nakon arhiviranja (*store and forward*), interaktivni pristup. Udaljeni pristup se primenjuje najčešće kod medicinskih informacija koje su manje zahtevne za prenos (krvni pritisak, težina itd.), iako je to moguće i kod drugih medicinskih informacija (npr. medicinske slike) ako se obezbede tehnički uslovi. Nakon što se

završi proces akvizicije medicinske informacije, ona se skladišti i prosleđuje do udaljenog mesta na dalju analizu. Interaktivni pristup je onaj kod koga se medicinski podaci prenose ujedno dok traje akvizicija i kod koga se sa udaljene lokacije može obaviti istovremena interpretacija i/ili manipulacija podacima.

Prijemnici su najčešće radne stanice-računari, ali i mobilni uređaji. Mobilni uređaji mogu da posluže i kao jedinica za obradu prikupljenih podataka, iako je to retko s obzirom na zahtevne tehnike analize koje je potrebno implementirati. Komplikovanje analize obavlja se u odgovarajućim delovima telekardiološkog sistema, pri čemu bi telefon dobijao samo povratnu informaciju u vidu izveštaja. Lokacija prijemnika takođe može biti proizvoljna, pri čemu su kućno okruženje, bolnica i ambulantska kola najčešće razmatrane lokacije u scenarijima telekardioloških sistema. Blok za analizu podataka je poslednji deo ovakvog sistema u kome se prepostavlja da su postignuti uslovi za arhiviranje pristiglih kardioloških podataka i implementirane tehnike za analizu i ekstrakciju klinički važnih informacija.

Aplikacije koje se koriste daju mogućnost prenosa biomedicinskih signala i medicinske slike na lokalne i udaljene lokacije, koje su sastavni deo jednog telekardiološkog sistema. Jedan od osnovnih zahteva je da postoji kompromis između cene sistema i njegovih delova sa rezultatima koji se ostvaruju. Zadatak je da se omogući efikasan i racionalan rad u medicinskoj nezi, nadzoru, dijagnostici i lečenju pacijenata. Manjak specijalizovanog osoblja se na taj način može kompenzovati.

Dobijanje rezultata analize i obrade kardioloških podataka je veoma važno. Poboljšanje kvaliteta signala, prepoznavanje oblika, *data mining*, alati veštačke analize (različiti klasifikatori, neuralne mreže, itd.) omogućavaju razvoj sistema za automatizovanu pomoć pri dijagnostici. Razvoj takvih aplikacija ima veliki značaj za podizanje opšteg kvaliteta pružanja zdravstvene zaštite, pri odlučivanju i lečenju pacijenata. Nakon generisanja izveštaja o funkcionalnosti kardiovaskularnog sistema na prijemnoj strani, moguće ih je arhivirati u cilju formiranja baza podataka, ali i u cilju intevencije i distribuiranja izveštaja u vidu povratne komunikacije. Na ovakav način moguće je obaviti konsultacije sa lekarom, ali dobiti i drugo mišljenje na osnovu medicinskih informacija.

#### 6.4. KARDIOLOŠKI PODACI

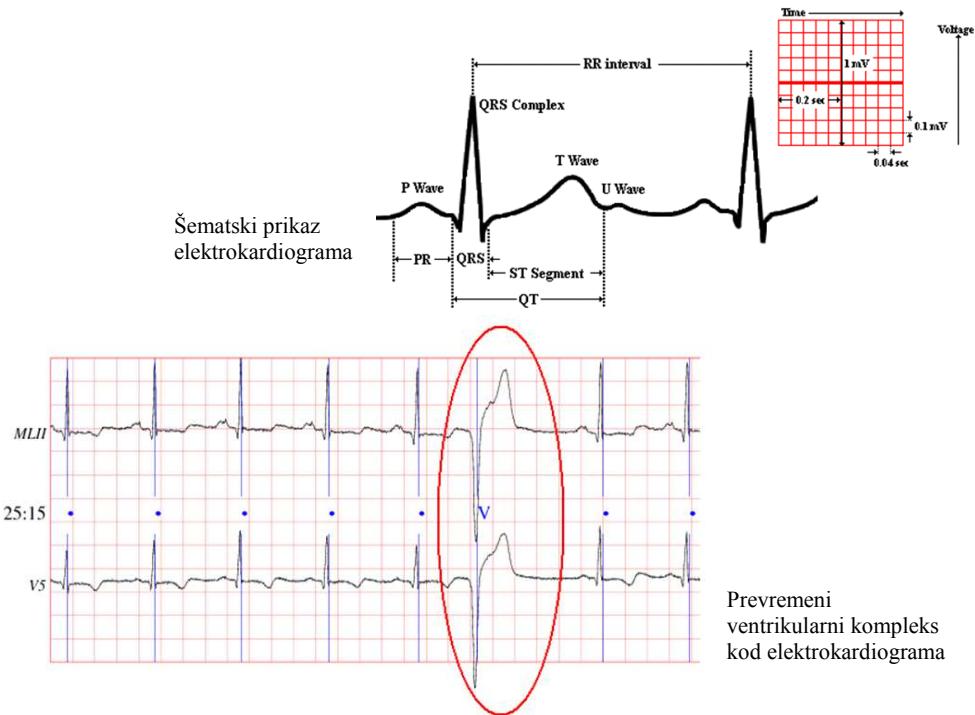
Telekardiološki sistem određuju kardiološki podaci koji se žele razmeniti. Takav sistem može biti predviđen za alfanumeričke podatke (kao što su puls,

krvni pritisak, istorija bolesti, itd), za jednodimenzionalne signale (elektrokardiogram, fonokardiogram, mehanokardiogram, itd.), medicinsku sliku i video (ehokardiogram, CT snimak srca, MRI snimak srca, itd.). Ovakve podatke je potrebno prezentovati i koristiti prema potrebama. Telekardiološki sistem treba da zadovolji odgovarajući kvalitet podataka i da podrži opšteprihvaćene medicinske standarde.

Računarska obrada kardioloških podataka može dati odlične rezultate u cilju dijagnostičke analize i automatskog i poluautomatskog odlučivanja. Angažovanje lekara je nezamenljivo u donošenju konačnih odluka. Tačnost pri odlučivanju računarskom analizom kardioloških podataka može time biti značajno unapređeno, a raspoloživo vreme lekara racionalnije iskorišćeno. Upotreba ekonomičnih pristupa u vidu analize medicinskih signala i lokalizacije disfunkcionalnosti predstavlja jedan od primarnih ciljeva u biomedicinskim istraživanjima. Efikasnu inicialnu kontrolu pacijenta moguće je sprovesti upotrebom jeftinijih rešenja monitoringa kardiovaskularnog sistema, izbegavajući komplikovanje sisteme za razmenu medicinskog signala (naročito u slučaju medicinske slike).

Akvizicija kardiosignalata, elektrokardiograma - EKG-ova i/ili fonokardiograma (PCG-ova), predstavlja jednu od najčešćih tehnika za analizu funkcionalnosti kardiovaskularnog sistema. Njihova morfologija, raspored i rastojanje referentnih tačaka nosi značajne medicinske informacije kojima se telekardiološki sistem može učiniti efikasnijim i jeftinijim rešenjem (slika 6.7). Osim osnovne morfologije signala, koja u retkim slučajevima može ukazati na potencijalne anomalije u vremenskom domenu (kao na primeru prevremene ventrikularne kontrakcije), takva analiza obično nije dovoljna.

Kako bi se anomalije sagledale, neophodno je definisanje uobičajenih šablonu morfologije signala u originalnom, ali i transformacionom domenu ukoliko originalni domen nije dovoljan, što je često slučaj. Šematski prikaz elektrokardiograma (slika 6.7) i fonokardiograma (slika 6.8) daje osnovni prikaz očekivanih morfoloških karakteristika i odgovarajuća obeležja. Kod EKG-a to je QRS kompleks, P, T, U talas, ali i vremenski intervali RR, PR, ST, itd. [ISL12]. Automatski pronalazak karakterističnih tačaka u otkucaju srca na EKG signalu može dati važne dijagnostičke informacije. Kod fonokardiograma, u (kvazi-) periodi koja odgovara otkucaju srca, razlikuje se period sistole i dijastole koji je okarakterisan pojavom dva osnovna srčana zvuka, S1 i S2. Na slici 6.8 šematski je prikazan fonokardiogram u odnosu na sinhronizovan EKG signal. Nakon pojave R pika u EKG-u, očekuje se pojava prvog osnovnog srčanog zvuka - S1.

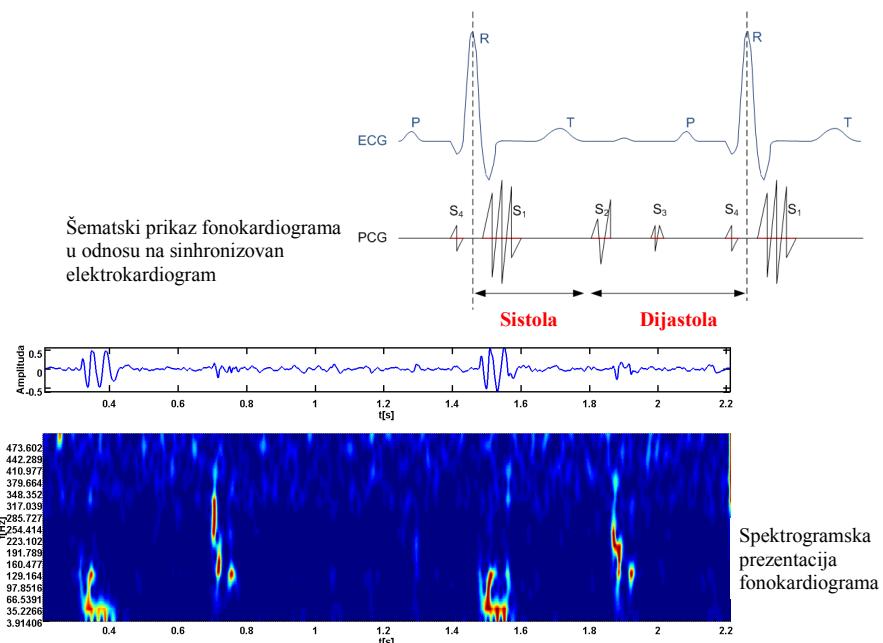


Slika 6.7. Šematski prikaz elektrokardiograma i primer prezentacije EKG signala (slučaj prevremenog ventrikularnog kompleksa).

Karakterizacija srčanih događaja je uobičajena u algoritmima za njihovu detekciju, dok se njihovim detektovanjem može poboljšati analiza samih signala. Ovo je problem segmentacije jednodimenzionalnih kardiosignalata. U nekim slučajevima je moguće, na ovaj način, postaviti inicijalnu dijagnozu. U slučaju fonokardiografije poznato je da srčani šumovi imaju karakteristične morfološke oblike i da se oni određuju pomoću osnovnih srčanih zvukova i njihove pozicije u okviru sistole i dijastole. U okviru kvaziperiode PCG signala, mogu se naći i drugi osnovni srčani zvukovi kao što su S3 i S4, ali i drugi srčani događaji (ejekcioni klik (EC - *ejection click*), zvuk otvaranja mitralne valvule (OS - *opening snap*), itd.).

Iako su referentna obeležja do određene mere poznata, još uvek predstavljaju oblast intenzivnih istraživanja. Ovo ne važi samo za EKG signal koji je do sada najviše istražen, i koji se uglavnom koristi kao referentni signal, već i

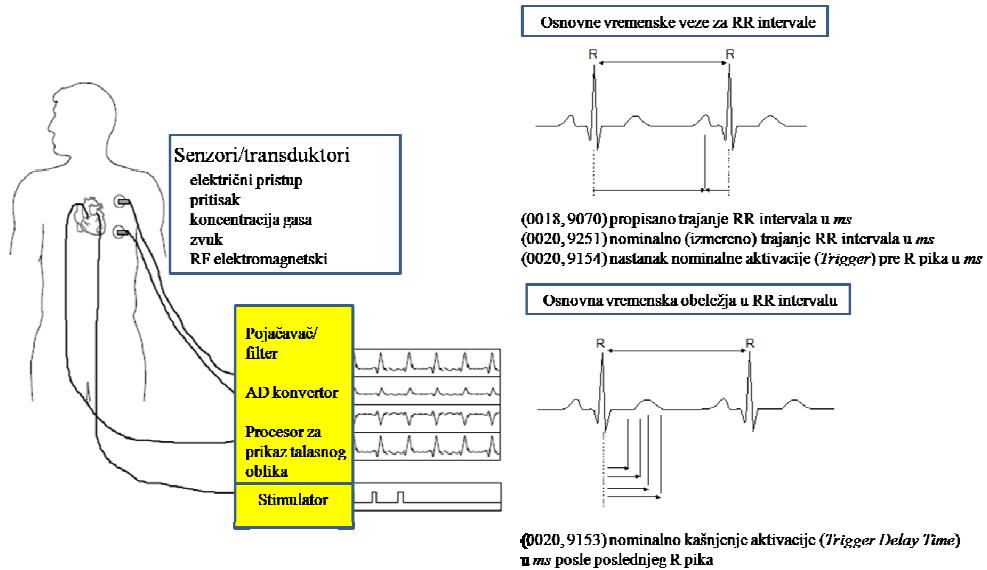
za druge talasne oblike biomedicinskih signala. Na slici 6.9. nalaze se pojedini delovi preuzeti iz DICOM standarda koji se tiču akvizicije kardiosignalata, ali i osnovnih vremenskih veza i obeležja unutar jednog otkucaja (R-R intervala). Kako senzori, odnosno transduktori (pretvarači), mogu biti različite prirode, signal koji se meri treba proći kroz tri osnovna dela sistema za akviziciju: dela za pojačanje, odnosno filtriranje, analogno-digitalnu (AD) konverziju i procesiranja radi prikaza talasnog oblika.



Slika 6.8. Šematski prikaz fonokardiograma i primer prezentacije fonokardiograma u vremenskom i združeno vremensko-frekvencijskom domenu.

Vremenska obeležja unutar R-R intervala se definišu preko nominalnih (referentnih) kašnjenja aktivacija, odnosno pojave karakterističnih talasa i tačaka u milisekundama u odnosu na prethodni R-pik. Vremenski intervali, o kojima je bilo prethodno reči, su takođe važni i njihov spisak prevazilazi osnovnu varijabilnost srčanog ritma (HRV - *heart rate variability*), odnosno R-R intervala. Da bi se EKG zapis mogao koristiti u telekomunikacionom sistemu, potrebno je da se implementira SCP-ECG (*Standard Communication Protocol for Computer-assisted Electrocardiography*) format za razmenu (evropski *OpenECG* projekat), koji uključuje niz tehničkih pojedinosti (npr. način kodovanja, kompresije, korekcija grešaka i sl.) [FIS03a, FIS03b, TRI09]. Način kodovanje i kompresiona

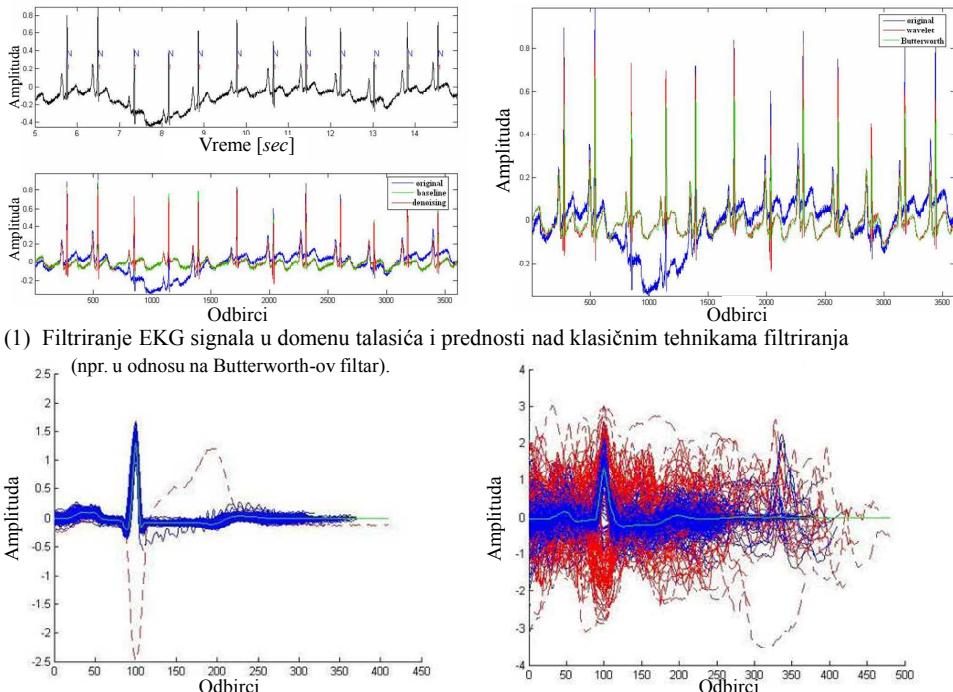
tehnika koja se upotrebljava u razmeni podataka zavise od organizacione strukture sistema [IST00, ALE06, GAR12].



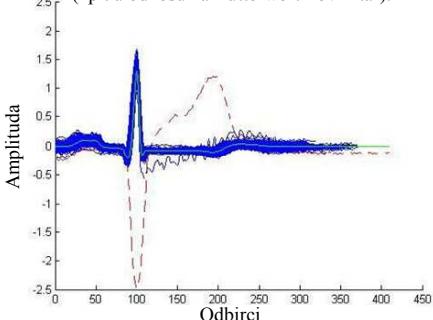
Slika 6.9. Akvizicija kardiosignalata i definisanje osnovnih vremenskih veza i obeležja unutar R-R intervala.

Poboljšanje kvaliteta kardiosignalata predstavlja jedan od primarnih zadataka telekardiologije i u velikoj meri zavisi od načina akvizicije. Uticaj šuma može biti različitog karaktera i značajno može uticati na "vidljivost" anomalija. Šum kod EKG signala može biti pomeranje osnovne linije - BW (*baseline wandering*) šum, elektromiografski - EMG (*electromyographic*) šum, kao i šum električne mreže (50/60 Hz). Ovoj listi pripadaju i pomeranja i spadanja elektroda, kao i drugi nepredviđeni uzroci. Kod fonokardiograma koji predstavlja zapis zvuka pokreta srčanih zalistaka, nailazi se na irrelevantne komponente nešto drugačije prirode. Ipak, da bi se odvojilo važno od nevažnog, neophodno je istaći da osim srčanih zvukova postoje i tzv. srčani šumovi (murmuri) koji su od izuzetnog značaja za dijagnostiku. Pod šumom kod PCG signala se podrazumevaju zvukovi disanja i pluća, zvuk sredine (govor, kucanje na vratima i slično), zvuk kontakta senzora i kože, zvuk disanja fetusa, itd. Jedan od osnovnih

zadataka predstavlja pronaženje adekvatnog domena, gde bi irelevantne komponente bile uočljivije u odnosu na vremenski domen. Postoje različite tehnike klasičnog filtriranja koje se koriste u fazi predobrade (*moving average* filter, *Savitzky-Golay*, *Butterworth*, *Kaiser*, itd).



(1) Filtriranje EKG signala u domenu talasića i prednosti nad klasičnim tehnikama filtriranja (npr. u odnosu na Butterworth-ov filter).

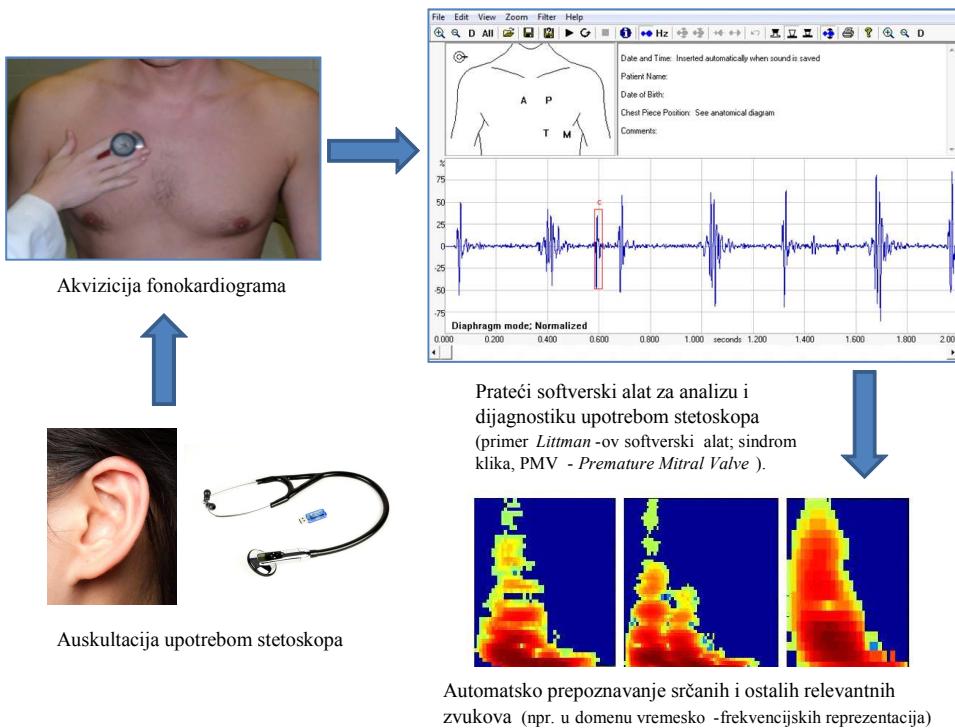


(2) Upoređivanje normalnih otkucaja sa srednjim normalnim otkucajem i ostalim otkucajima (npr. pojava PVC - *Premature Ventricular Contraction* otkucaja).

Slika 6.10. Otklanjanje šuma u domenu talasića i morfološko poređenje na nivou otkucaja kod elektrokardiograma.

Talasići (*wavelets*) su se pokazali kao korisno rešenje za pronalaženje onih koeficijenata u transformacionom domenu koji upadaju u opseg šuma, koji je neophodno otkloniti. Otklanjanje šuma (*denoising*) se sastoji obično iz tri faze: prelazak u transformacioni domen, modifikacija koeficijenata u transformacionom domenu, što se najčešće postiže postavljanjem praga, i primena inverzne transformacije (slika 6.10). Otklanjanje irelevantnih komponenti i poboljšavanje kvaliteta medicinskih signala je veoma važno. Tehnike filtriranja treba prilagoditi

medicinskim signalima, koji predstavljaju slučajne procese i koji nimalo nisu jednostavnii za rad sa inženjerske tačke gledišta [GAV08a, GAV09a, GAV10a].



Slika 6.11. Upotreba pratećeg softvera pri akviziciji fonokardiograma i napredne tehnike analize.

Pronalaženje adekvatnog transformacionog domena potrebno je za bolju inspekciju anomalija, gde bi odlučivanje bilo jednostavnije i preciznije. U fonokardiografiji, tu ulogu često imaju združene vremensko-frekvencijske (JTF - joint time-frequency) reprezentacije (slika 6.8). Analiza može biti zasnovana i na vremenskom domenu korišćenjem korelacije i jednostavnom poređenju sa referentnim (srednjim) morfološkim oblikom otkucaja (slika 6.10) [GAV08b, GAV09b, GAV09c]. Potrebno je naglasiti da za analizu signala postojanje inverzne transformacije nije potreban uslov. Izbor domena za analizu i reprezentaciju medicinskih signala samo je jedan od osnovnih zadataka. Odabirom adekvatnih transformacija prelazi se na rad u domenima koji nisu originalni (originalan vremenski domen, originalni prostorni domen). Poslednji niz godina tzv. spars (*sparse* - retki) domeni su predstavljeni kao pogodni kako za

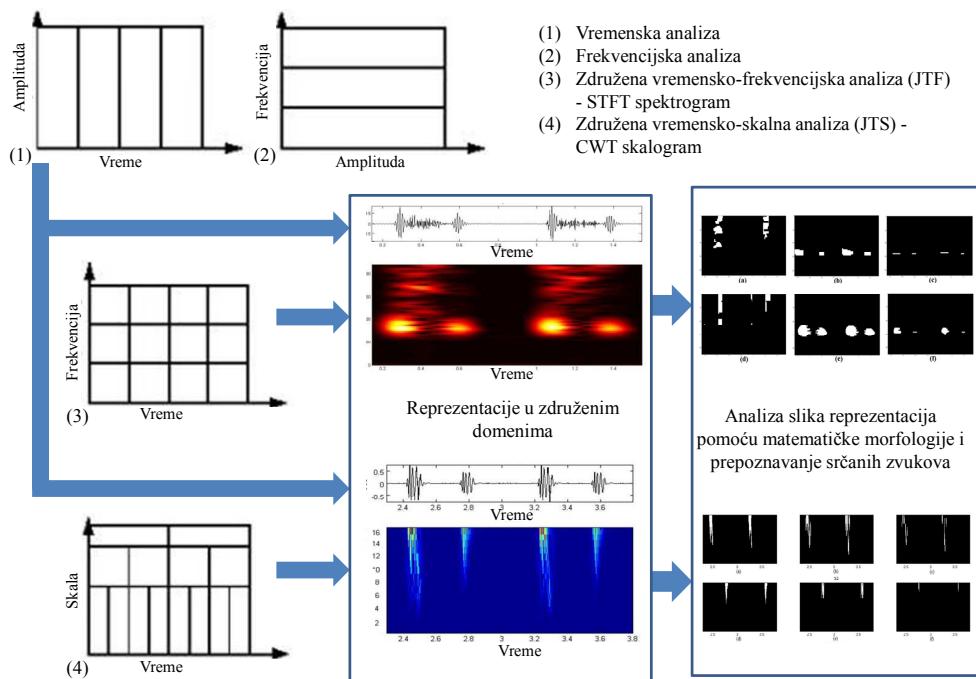
tehnike filtriranja, o kojima je prethodno bilo reči, tako i za potrebe kodovanja i, generalno, analize, ali i kompresije. Najčešće se oblast kompresije odvaja od oblasti analize signala jer ova dva segmenta imaju različite ciljeve.

Upotreba ekonomičnih pristupa u vidu analize medicinskih signala i lokalizacije disfunkcionalnosti predstavlja jedan od primarnih ciljeva u biomedicinskim istraživanjima. Tehnike za poboljšanja kvaliteta medicinskih signala i njihove reprezentacije u različitim domenima radi kvalitetnije analize, obrade i boljeg uvida u potencijalne anomalije, predstavljaju dugogodišnji predmet istraživanja. Ovakva istraživanja prevazilaze domen biomedicine, s obzirom da se nakon akvizicije signala pristupa razmeni podataka telekomunikacijskim sredstvima utičući na kvalitet signala i mogućnost dijagnostikovanja.

Na slici 6.11 prikazana je standardna upotreba pratećeg softvera koji se dobija kupovinom digitalnog stetoskopa. Instalacijom softvera i pratećom akvizicijom fonokardiograma i auskultacijom, moguće je uneti relevantne podatke zapisa i, pre svega, vizualizovati signal. Dodatne alatke su obično na raspolaganju kao što su one za manuelno obeležavanje karakterističnih segmenata. Ipak, napredne tehnike analize su još uvek u razvoju, pod kojima se najčešće podrazumevaju: automatska segmentacija fonokardiograma, prepoznavanje karakterističnih šablon-a (*pattern-a*) i naprednija dijagnostička odlučivanja.

Združene vremensko-frekvencijske JTF reprezentacije i združene skalno-vremenske (JTS- *joint time-scale*) reprezentacije predstavljaju primere prelaska u domene gde se može istovremeno sagledati više karakteristika, odnosno dimenzija kao što su: intenzitet, vreme i frekvencija, odnosno skala (slika 6.12). Ovakve prezentacije obično služe za analizu fonokardiograma u cilju boljeg sagledavanja sadržaja signala, s obzirom da vremenski domen ne omogućava efikasan pregled dominantnih frekvencija, dok frekvencijski domen ne pokazuje koja je frekvencija dominantna u kom vremenskom intervalu, što je veoma važno s obzirom da su ovi realni signali nestacionarne prirode. U cilju omogućavanja istovremenog pregleda sve tri dimenzije, koristi se prozorski pristup u kome se pretpostavlja stacionarnost signala, generiše spektrogramski (npr. upotrebom STFT - *Short Time Fourier Transform*), odnosno skalogramski prikaz (npr. upotrebom CWT - *Continuous Wavelet Transform*). Na ovaj način dobija se trodimenzionalna slika, koja se može dalje analizirati tehnikama obrade slike. Ovakva analiza često dobija još jednu dimenziju - vremensku, jer se generisanje ovakvih reprezentacija obično obavlja za fiksne vremenske intervale-prozore sa potencijalnim preklapanjem.

Sa aspekta telekardiologije, potrebno je razmotriti efikasnost alata za analizu kardiosignalna. Ako je u pitanju telemonitoring kardiosignalna, neophodno je da tehnike obrade signala i slike, koje se implementiraju i upotrebljavaju, ne budu vremenski zahtevne dajući rezultat zadovoljavajućeg kvaliteta, kao što je matematička morfologija (slika 6.12) [GAV09c, GAV10b, GAV10c, GAV12]. U slučaju da rad u realnom vremenu nije neophodan, moguće je pristupiti kompleksnijim analizama signala u cilju dijagnostike i statističkim pristupima [GAV10d].

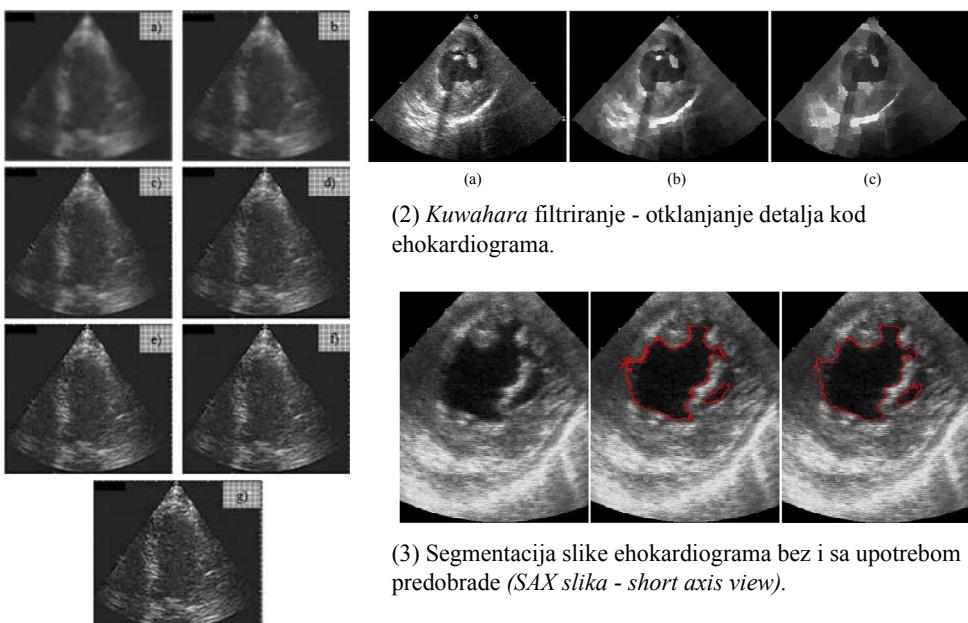


Slika 6.12. Otklanjanje šuma u domenu talasića i morfološko upoređivanje na nivou otkucaja kod elektrokardiograma.

Odabir odgovarajućeg domena za analizu i poboljšanje kvaliteta važi i za medicinsku kardiološku sliku, što će biti objašnjeno na primeru ultrazvučne slike. Ehokardiografija je pogodna dijagnostička metoda za čiju primenu nije potrebna posebna priprema. Velike su mogućnosti dijagnostike upotrebom ultrazvučne slike zbog mogućnosti vizuelizacije srčanog mišića i protoka krvi odgovarajućom sondom. U ultrazvučnom uređaju vrši se nelinearna kompresija signala i ona smanjuje dinamički opseg signala koji nam je na raspolaganju. Kako bi se

nekomprimovani signal, koji nije dostupan, rekonstruisao potrebno je istražiti statistike signala pre i posle kompresije. Prednost korišćenja ultrazvuka nad ostalim dijagnostičkim alatkama leži u neinvazivnosti postupka, mobilnosti i dostupnosti ultrazvučnih uređaja. S druge strane, njegova najveća mana je mali odnos signal-šum, što otežava pravilnu dijagnostiku i dalju obradu ultrazvučnog signala.

Povećanje odnosa signal-šum je moguće postići poznavanjem statistike šuma. Međutim, statistika signala se u ultrazvučnom uređaju menja pod uticajem logaritamske kompresije, koja se primenjuje kako bi se smanjio dinamički opseg signala za prikazivanje na displeju uređaja. Najčešće parametri kompresije nisu dostupni i potrebno ih je odrediti samo na osnovu dobijenih snimaka. Kada se odrede parametri kompresije, poznavajući statistiku ukupnog signala moguće je tehnikama filtriranja, kako u prostornom tako i u frekvencijskom domenu, redukovati uticaj šuma odnosno povećati odnos signal-šum (*SNR - Signal-Noise Ratio*).



(1) Izdvajanje detalja upotrebom filterske tehnike zasnovane na CNN (*Cellular Neural Network*) pristupu.

(2) Kuwahara filtriranje - otklanjanje detalja kod ehokardiograma.

(3) Segmentacija slike ehokardiograma bez i sa upotrebom predobrade (*SAX slika - short axis view*).

Slika 6.13. Tehnike za poboljšanje kvaliteta ultrazvučne slike.

Najveći uticaj na tehnike obrade ultrazvučne slike ima priroda ultrazvučnog snimanja koja unosi zrnasti šum; što se prvenstveno odnosi na tehnike filtriranja i segmentacije. Šum koji se javlja na ultrazvučnim snimcima je granularne prirode (u vidu mrlja, *speckles*) i potiče od mikrostruktura u tkivu koje su po veličini jednake ili manje od talasne dužine na kojoj radi uređaj.

Zrnasti šum potiče od destruktivnih interferencija zvučnih talasa na mikrostrukturama u tkivima. Za njegovu eliminaciju koriste se filtri koji se prevashodno, zasnivaju na usrednjavanju (*Wienerov, Kuanov, Frostov* filter) bilo da su adaptivni ili ne, ali i druge tehnike (slika 6.13). Većina ovih filtara ima izotropno dejstvo, odnosno jednakо tretiraju piksele sa homogenim okruženjem kao i piksele koji pripadaju prelazima između homogenih regiona, tj. ivicama. Dakle, osim što se vrši niskofrekventno filtriranje (usrednjavanje) anatomski homogenih oblasti, niskofrekventno se filtriraju i oblasti koje sadrže visokofrekventnu komponentu korisnog signala.

Selektivno filtriranje, koje bi sa jedne strane niskofrekventno filtriralo oblasti u slici sa malom varijansom, a visokofrekventno filtriralo oblasti sa većom varijansom, omogućilo bi eliminaciju šuma uz zadržavanje oštine. Selektivnost filtra je moguće kontrolisati gradijentom u posmatranoj tački. Korišćenjem varijacionog računa moguće je projektovati filtre sa anizotropnim karakteristikama, među kojima se za ultrazvučne slike izuzetno dobro pokazao SRAD (*Speckle Reduction Anisotropic Diffusion*).

Dalja analiza, izdvajanje karakteristika, zavisi od predobrade i kvaliteta medicinske slike. Kvalitet segmentacije srčanih komora u ehokardiogramu, takođe, zavisi od faze predobrade (npr. segmentacija pomoću aktivnih kontura) [PAS09a, PAS09b, PAS10a, PAS10b, PAS11a, PAS11b].

## 6.5.KONTROLNI I DIJAGNOSTIČKI SISTEMI U TELEKARDIOLOGIJI

Proces efikasnog pristupanja ključnim kardiološkim podacima omogućava razvoj sistema koji mogu biti od velikog značaja za potrebe kontrole kardiovaskularnog sistema i prevencije potencijalnih abnormalnosti, ali i za dijagnostičko odlučivanje. Udaljenim dijagnostičkim praćenjem je moguće sprečiti troškove nepotrebnih odlazaka u specijalizovane medicinske ustanove i troškove zdravstvene nege, ubrzati prijem pacijenata i njihovo zbrinjavanje.

Svakodnevno praćenje stanja pacijenta podrazumeva prikupljanje, prenos, skladištenje i analizu prikupljenih podataka i predstavlja komplikovan medicinski i tehnički poduhvat. Prioritetna kontrola i analiza se odnosi na pacijente sa srčnim

problemima, ali i na pacijente koji su izloženi stresnim situacijama i fizičkim naporima.

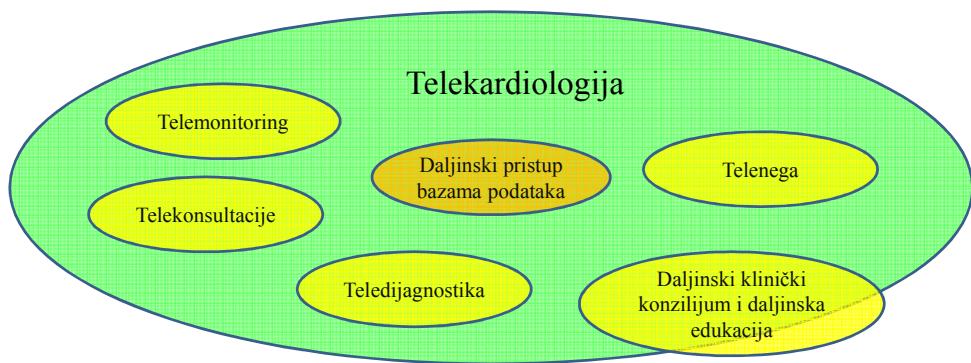
Opšti servisi predstavljaju sastavni deo telekardiološkog sistema. Telemonitoring je daljinsko nadgledanje osnovnih fizioloških parametara kardiovaskularnog sistema. Koristi se kod hroničnih pacijenata, u postoperativnoj kontroli bolesnika i u slučaju nadgledanja visokorizičnih pacijenata. Telekonsultacije u okviru telekardiološkog sistema omogućavaju daljinski pristup medicinskom znanju ili ekspertima u okviru oblasti kardiologije. Komunikacija može biti zasnovana na davanju odgovarajućih saveta, dobijanju mišljenja drugog lekara, ili u cilju donošenja zajedničke odluke medicinskog osoblja. Udaljeno dijagnostikovanje pacijenta se do određene mere može obaviti od strane lekara u okviru teledijagnostike. Interaktivni pristup medicinskim podacima, kao što su medicinske slike, mora postojati. Takvo "teleprisustvo" omogućava daljinsku dijagnostiku kardioloških oboljenja. Teledijagnostika se može obaviti i putem pribavljenih (prethodno snimljenih) medicinskih informacija i njihove obrade, što predstavlja najčešći oblik postavljanja dijagnoze na daljinu.

Kako bi kliničke informacije bile raspoložive za analizu i poređenje, neophodan je daljinski pristup bazama takvih podataka. Veoma česte su laboratorijske pretrage medicinskih podataka. Potrebno je obezbediti korisnicima telekomunikacioni pristup individualnim ili javnim relevantnim informacijama. Ti podaci mogu biti medicinski, ali mogu se ticati i tele-ordinacije u vidu zakazivanja pregleda, podnošenja konkretnih zahteva i molbi. Daljinski pristup bazama medicinskih podataka predstavljaju jednu vrstu daljinske edukacije, istraživačkog rada i usavršavanja putem dokumenata koji mogu biti i multimedijalni.

U cilju telekonsultacije, teleedukacije i teletreninga više stručnjaka iz različitih oblasti medicine formiraju se klinički konzilijumi. Interaktivni, videokonferencijski sistem omogućava komunikaciju daljinskog kliničkog konzilijuma sa konzilijumom u zdravstvenoj ustanovi i diskusiju o konkretnim slučajevima koji zahtevaju tretman ili dijagnozu. Aplikacije koje omogućavaju ovakav vid komunikacije sadrže niz multimedijalnih alata (zvučni i tekstualni zapisi, manipulacija videom, snimanje konkretnih prikaza za dalju obradu itd.) i alata za pregled i kontrolu telekomunikacionih parametara. Telenega u kardiologiji se najčešće odnosi na pružanje daljinske asistencije u terapiji pacijenata koji ima kardiološko oboljenje ili kao prevencija.

Kontrolni i dijagnostički sistemi u telekardiologiji su još uvek u razvoju. Neka od najčešćih područja nadgledanja i kontrole odnose se na srčanu

insuficijenciju, odnosno slabost srca (HF - *Heart failure*). Srčana insuficijencija nastaje kada srce gubi sposobnost ispumpanja cele količine ulivene krvi iz komora. Telemonitoring u tom slučaju može smanjiti vreme hospitalizacije, dok se telekonsultacijom i telenegom upotpunjaju kontrolni sistem. Na ovaj način smanjuje se rizik od smrti. Takođe, svakodnevno praćenje i adekvatna kontrola arterijskog pritiska putem kardiološkog sistema za lečenje hipertenzije mogu smanjiti rizik od pojave kardiovaskularnih bolesti. Daljinski nadzor se može obavljati kod pacijenata sa ugrađenim elektronskim uređajima. To omogućava pravovremeno detektovanje eventualnih problema i smanjen broj kontrolnih pregleda.



Slika 6.14. Opšti servisi u okviru telekardiologije.

Telemontoring se može primenjivati za potrebe nadgledanja aritmija koje mogu biti opasne po život. Na EKG zapisu neke pojave aritmije se mogu odmah uočiti, dok je kod drugih potreban duži vremenski period, jer su promene prolazne ili iznenadne. Time je omogućeno dijagnostikovanje akutnog infarkta miokarda [VEL12].

Danas, u Beogradu, vozila Hitne pomoći su opremljena savremenim dvanaestokanalnim EKG aparatima [TEL11]. EKG zapis koji se uradi na terenu (u stanu pacijenta ili na javnom mestu), kao i u kolima hitne pomoći, momentalno je vidljiv u centrali Hitne pomoći, ili u bolnici u koju se transportuje pacijent. EKG snimak pacijenta se preko GSM-a (*Global System for Mobile Communications*) prenosi na server, odakle je dostupan za pregled i analizu. Time se poboljšava komunikacija između ekipe na terenu i lekara u centrali ili bolnici, bilo da se odnosi na stanje pacijenta na samom terenu, urgentne terapije, transporta i drugo. Lekari mogu dodatno da se konsultuju i sa drugim stručnim licima u cilju

donošenja ispravne dijagnoze. Ovo je najsigurniji, najbolji i najbrži način da se pomogne pacijentu. Ekipa koja dočekuje pacijenta, ne samo da pomaže ekipi na terenu, već su lekari i drugo osoblje u toj službi, unapred upoznati sa stanjem pacijenta i spremni su da pruže adekvatnu pomoć.

### LITERATURA

- [ALE06] A. Alesanco, S. Olmos, R.S.H. Istepanian, J. García, "Enhanced Real-Time ECG Coder for Packetized Telecardiology Applications", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 10, No. 2, pp. 229- 236, April 2006.
- [AUG09] P. Augustyniak, R. Tadeusiewicz, *Ubiquitous Cardiology: Emerging Wireless Telemedical Applications*, Medical Information science reference, Hershey - New York, IGI Global 2009.
- [BAL03] N. Balogh, G Kerkovtis, M. Eichelberg, D. Lemoine, V. Punys, "DICOM and XML usage for Multimedia Teleconsultation and for Reimbursement in Cardiology", *Computers in Cardiology* 2003, 30:379-382.
- [CHA01] K.-M. Chao, R. Anane, J. Plumlef, N. Godwin, R.N.G. Naguib, "A Mobile Agent Framework for Telecardiology", 2001 *Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference*, October 25-28, Istanbul, Turkey, pp. 3484-3487.
- [CLA00] M. Clarke, R.W. Jones, D. Lioupis, "AIDMAN - Telecardiology Over a High-speed Satellite Network", *Computers in Cardiology* 2000;27:657-660.
- [FIS03a] R. Fischer, Chr. Zywietz, "How To Implement SCP-ECG", \_Part I, Version of the document 1.3, CEN/TC 251, Hannover, February 2003.
- [FIS03b] R. Fischer, Chr. Zywietz, "How to Implement SCP-ECG", (Part

- II: Technical Hints), Version of the document 1.3, CEN/TC 251, Hannover, July 2003.
- [GAN00a] P. Ganguly, P. Ray, "Software Interoperability of Telemedicine Systems : A CSCW Perspective", in *Proc. of Seventh International Conference on Parallel and Distributed Systems*, 4-7 July 2000, pp. 349-356.
- [GAN00b] P. Ganguly, P. Ray, N. Lovel, "Workflow -Based Approach Towards Health Care Applications Distributed", *Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference*, July 23-28, 2000, Chicago IL, pp. 555-558.
- [GAR12] J. García, Á. Alesanco, E. Cavero, "Cardiac Signals Coding and Transmission in Real-Time Mobile Telecardiology Applications", *Computers in Cardiology* 2012, 39:317-320.
- [GAV08a] A. Gavrovska, D. Jevtić, "Predobrada kardiosignalna pomoću talasnih transformacija", Zbornik radova 52. Konferencije za ETRAN, EK2.5-1-4, Srbija, Palić, 8-12. juna, 2008.
- [GAV08b] A. Gavrovska, D. Jevtić, "PVC scalogram detection using neural network", in *Proc. 9<sup>th</sup> Conference NEUREL* 2008, pp.161-164, Serbia, Belgrade, September 25-27, 2008.
- [GAV09a] A. Gavrovska, D. Jevtić, B. Reljin, "Selection of Wavelet Decomposition Levels in ECG Filtering", in *Proc. 9th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services - TELSIKS*, Volume 2, SP II.3, pp. 221-224, Serbia, Nis, October 7-9, 2009.
- [GAV09b] A. Gavrovska, D. Jevtić, "Detekcija oblika murmura u fonokardiogramu u vremenskom domenu", Zbornik radova 53. Konferencije za ETRAN, EK2.2-1-4, Srbija, Vrnjačka Banja, 15-18. juna, 2009.
- [GAV09c] A.M. Gavrovska, M.P. Paskaš, I.S. Reljin, "Određivanje morfološki karakterističnih PCG segmenata iz slike spektrograma", *17. Telekomunikacioni forum TELFOR*, pp. 656-659, Srbija, Beograd, novembar 24-26, 2009.
- [GAV10a] A. Gavrovska, M. Paskaš, I. Reljin, D. Jevtić, D. Dujković, B. Reljin, "Review of Selected Techniques for Cardiosignal Analysis", *MD medical review*, Vol.2, No. 4, pp. 341-347,

December 2010.

- [GAV10b] A. Gavrovska, M. Paskaš, I. Reljin, "Direktna primena slike skalograma u određivanju morfološki karakterističnih PCG segmenata", *Naučno-stručni Simpozijum INFOTEH, Srbija, Jahorina*, Sesija E1 - Informacione tehnologije u medicini, E1-14, 17 - 19. mart, 2010.
- [GAV10c] Gavrovska A.M., Paskaš M.P., Dujković D.M., Reljin I.S., "Whole Fundamental Heart Sound ANN-based Detection using Simple Features", in *Proc. of 18th Telecommunication Forum, TELFOR, SP 5.1*, pp. 571-574, Serbia, Belgrade, November 23-25, 2010.
- [GAV10d] A.M. Gavrovska, M.P. Paskaš, D.M. Dujković, I.S. Reljin, "Region-based Phonocardiogram Event Segmentation in Spectrogram Image", in *Proc. 10<sup>th</sup> Conference NEUREL 2010*, pp.69-72, Serbia, Belgrade, September 23-25, 2010.
- [GAV12] A. Gavrovska, M. Slavković, M. Paskaš, I. Reljin, "Joint time-frequency analysis of phonocardiograms", *In Proc. NEUREL 2012 Symposium*, Belgrade, Sep. 20-22, 2012.
- [HSI12] J-c. Hsieh, M-W. Hsu, "A cloud computing based 12-lead ECG telemedicine service", *BMC Medical Informatics and Decision Making* 2012, 12:77.
- [ISL12] Md Saiful Islam, Naif Alajlan, Yakoub Bazi, and Haikel S. Hichri, "HBS: A Novel Biometric Feature Based on Heartbeat Morphology", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 16, No. 3, MAY 2012, pp. 445- 453.
- [IST00] R.S.H. Istepanian, A.A. Petrosian, "Optimal Zonal Wavelet-Based ECG Data Compression for a Mobile Telecardiology System", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 4, No. 3, 200-211, September 2000.
- [IST01] R.S.H. Istepanian, B. Woodward, C.I. Richards, "Advances in Telemedicine Using Mobile Communications", *2001 Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference*, October 25-28, Istanbul, Turkey, pp. 3556-3558.
- [JAS04] Y. Jasemian, E. Toft, L. Arendt-Nielsen, "Real-time remote monitoring cardiac patients at distance", *2nd OpenECG Workshop 2004*, Berlin, Germany, S-7-1-1, pp. 48-50.

- [JAT03] P.H. Jatobal, R. Lima, G. Vilar, E. Oliveiral S.S. Mattes, "Collaborative environments for telecardiology", *Proceedings of the 25 Annual International Conference of the IEEE EMBS Cancun*, Mexico, September 17-21, 2003, pp. 3646- 3648.
- [LIN10] C-T. Lin, K-C. Chang, C-L. Lin, C-C. Chiang, S-W. Lu, S-S. Chang, B-S. Lin, H-Y. Liang, R-J. Chen, Y-T. Lee, and L-W. Ko, "An Intelligent Telecardiology System Using a Wearable and Wireless ECG to Detect Atrial Fibrillation", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, No. 3, May 2010, pp. 726- 733.
- [LIT13] 3M *Littman* stetoskopi, *webpage* [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/sr\\_RS/Littmann/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/sr_RS/Littmann/), accessed 1.2.2013.
- [MAH09] V. Mahesh, A. Kandaswamy, and R. Venkatesan, "Telecardiology for Rural Health Care", *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol 2, No. 3, pp. 6-9, November 2009.
- [MIT07] M. Mitra, S. Mitra, J.N. Bera, R. Gupta, B.B. Chaudhuri, "Preliminary Level Cardiac Abnormality Detection Using Wireless Telecardiology System", *Proceedings of the First International Conference on the Digital Society (ICDS'07)*, 2007.
- [PAS09a] M. Paskaš, "Poređenje postupaka za određivanje parametara logaritamske kompresije na osnovu ultrazvučnih snimaka", *Zbornik radova 53. Konferencije za ETRAN 2009*, EK2.1-1-4, Srbija, Vrnjačka Banja, 15-18. juna, 2009.
- [PAS09b] M.P. Paskaš, A.M. Gavrovska, B.D. Reljin, "Uticaj broja iteracija SRAD filtra na kvalitet rekonstruisane ultrazvučne slike", *17. Telekomunikacioni forum TELFOR 2009*, SP 05\_27, pp. 644-647, Srbija, Beograd, novembar 24-26, 2009.
- [PAS10a] M. Paskaš, A. Gavrovska, B. Reljin, M. Domijan, "Obrada ultrazvučne slike pomoću celularnih neuralnih mreža", *Zbornik radova 54. Konferencije za ETRAN*, EK1.1-1-4, Srbija, Donji Milanovac, 7-11. juna, 2010.
- [PAS10b] P. Stanić Molcer, M. Paskaš, V. Delić and B. Reljin, "Implementation of cellular neural networks in image

- preprocessing for left ventricular filling velocity evaluation", *8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics* (SISY), pp.569 - 573, 10-11 September 2010.
- [PAS11a] M. Paskaš, A. Gavrovska, D. Jevtić, M. Slavković, D. Dujković, I. Reljin, B. Reljin, "Echocardiogram Segmentation using Active Contours with Preprocessing Step", *MD medical review*, Vol.3, No. 2, pp. 205-207, June 2011.
- [PAS11b] M. Paskaš, A. Gavrovska, M. Slavković, B. Reljin, "Segmentacija ehokardiograma pomoću aktivnih kontura", *Zbornik radova 55. Konferencije za ETRAN*, EK1.2-1-4, Banja Vrućica (Teslić), 6-9. juna, 2011. (ISBN 978-86-80509-66-2)
- [PAT12] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, M. Rodgers, "A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2012, 9:21.
- [QUE05] J.M. Quero, M.M. Elena, J.A. Segovia, C.L. Tarrida, J.J. Santana, C. Santana "CardioSmart: Sistema Inteligente de Monitorización Cardiológica Empleando GPRS", *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 3, No. 2, April 2005, pp. 152-158.
- [SAL05] C.H. Salvador, M.P. Carrasco, M.A. González de Mingo, A.M. Carrero, J.M. Montes, L.S. Martín, M.A. Cavero, I.F. Lozano, J.L. Monteagudo, "Airmed-Cardio: A GSM and Internet Services-Based System for Out-of-Hospital Follow-Up of Cardiac Patients", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 9, No. 1, March 2005, pp. 73- 85.
- [TEL11] Telemedicina olakšava rad lekarima, Blic Online, <http://www.blic.rs/Vesti/Beograd/254728/Mobilni-EKG-u-svim-kolima-beogradske-Hitne-pomoci>, accessed 20.5.2011.
- [TRI09] J.D. Trigo, F. Chiarugi, Á. Alesanco, M. Martínez-Espronceda, L. Serrano, C.E. Chronaki, J. Escayola, I. Martínez and J. García, "SCP-ECG in an ISO/IEEE 11073-PHD world: Store-and-Forward Transmission and Messaging Part.", ITAB 2009, *9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*, 4-7 November 2009, Larnaca.
- [VEL12] Enno van der Velde, "Područje primjene telekardiologije - Applications in telecardiology", Kardio list 2012, 7(3-4) pp. 95-

97.

- [VLA12] А.В. Владзимирський, Г.А. Ігнатенко, А.С. Воробьев,  
*Телекардіологія (навчальний посібник)*, Видавництво  
"Ноулідж", Донецьке відділення, 2012.



## 7. *Teleradiologija*

### 7.1. NEDOSTACI KONVENCIONALNE RADIOLOGIJE

U konvencionalnoj (klasičnoj) radiologiji formiranje slike, a zatim njen prikazivanje, prenos i čuvanje, vrši se pomoću rentgenskog filma. Ova tehnologija je u pogledu finoće detalja koji se mogu razlikovati još uvek superiorna nad drugim tehnologijama, jer je prostorna rezolucija ograničena dimenzijama čestica fotoosetljivog sloja (na bazi halogenida srebra), koje su reda veličine nekoliko mikrometara, ali ima i niz značajnih nedostataka, koje ćemo, ukratko, navesti.

Jedan od osnovnih nedostataka konvencionalnog radiološkog filma je taj što jedan snimak jednovremeno može analizirati veoma mali broj lekara (do dva, eventualno tri) koji se moraju nalaziti na istom mestu. Jednom formirana slika na filmu bila je nepromenljiva (osim ako se film ne ošteći), a jedina moguća manipulacija nad njom je u vidu jačeg ili slabijeg prosvetljavanja snimka na tzv. *negatoskopu*, slika 7.1. (Negatoskop je kutija sa poluprovidnom prednjom stranom (tzv. mlečno staklo) na koju se postavlja snimak koji se analizira, i pozadinskim osvetljenjem koje omogućava uniformno prosvetljavanje snimka.) Dalje, prenos filma sa jedne na drugu lokaciju je vremenski zahtevan proces, a čuvanje i pretraživanje filmske arhive je komplikovano, čak i ako je arhiva dobro označena i organizovana. Ujedno takva arhiva zauzima puno fizičkog prostora, a zahteva posebne ambijentalne uslove kako ne bi došlo do oštećenja filmova. Često pretraživanje i analiziranje snimaka može dovesti do mehaničkog oštećenja emulzije, a time i kvaliteta snimka. Uz to, formiranje snimka je hemijski proces (poznat kao *razvijanje filma*) koji

zahteva određeno vreme (koje je danas, doduše, veoma kratko) i uslove (hemikalije, temperaturu, posebnu prostoriju i ili opremu). Takođe, fotoosetljiv materijal je nelinearno zavisan od intenziteta zračenja koje izaziva hemijske promene u materijalu, tako da kod razvijenog filma dolazi do saturacije pri malim i pri relativno velikim iznosima intenziteta zračenja, čime neki bitni detalji mogu biti neregistrovani. Ujedno, ali ne i beznačajno, je to da filmovi mogu biti izgubljeni ili zatureni, kao i da se veliki procenat snimaka (do 20%) ne može pronaći u zahtevanom vremenu, što predstavlja značajan praktičan problem u kliničkoj praksi [DEB04].



Slika 7.1. Negatoskop: Standardan medicinski uređaj za posmatranje konvencionalnih radioloških snimaka.

## 7.2. POTPUNO ELEKTRONSKA RADIOLOGIJA

Problemi klasične radiologije su značajno ublaženi nakon razvoja novih modaliteta koji su prirodno generisali elektronske zapise, koji su odgovarali „snimcima“ unutrašnjosti čovečijeg tela. Novi modaliteti, kao što su CT, MRI i ultrazvuk danas direktno generišu digitalne slike, jer se slika formira nakon računarske obrade izlaznog signala sa senzora. U začecima razvoja ovih modaliteta se slika formirala posredno, na filmu, konverzijom elektronskog signala u optički, čime su i dalje zadržani osnovni nedostaci slike na filmu. Razvojem displeja i printer-a slika se direktno formirala na tim uređajima, bez među-konverzije u optičku sliku. Nova

tehnologija elektronskih snimaka je omogućila niz ogromnih prednosti nad slikom na filmu, kao što ćemo navesti.

Jednom formirana digitalna slika se u neizmenjenom obliku mogla prenositi na bilo koju lokaciju, mogla se jednostavno indeksirati, sortirati, arhivirati i pretraživati. Istu sliku je mogao posmatrati, u isto vreme, proizvoljan broj lekara, sa bilo koje lokacije. Nad elektronskom slikom su se mogle vršiti razne obrade i manipulacije poznate iz metoda digitalne obrade slike, koje su omogućavale izvanredno isticanje željenih detalja, uvećanje i/ili odsecanje delova slike, segmentaciju delova od interesa, automatsko određivanje dimenzija i oblika segmentiranih objekata, itd. Ujedno, direktna digitalizacija je dopuštala formiranje kvalitetnijih snimaka, jer su novi senzori imali u velikoj meri linearnu zavisnost izlaznog električnog signala od nivoa ulaznog zračenja [JAM07].



Slika 7.2 Digitajzeri radioloških filmova: a) standardna verzija, b) verzija sa sopstvenim displejom za *on-line* kontrolu digitalizovanog snimka.

Pored prirodno generisanih digitalnih slika mogu se i konvencionalne radiološke slike digitalizovati konverzijom snimka na filmu u odgovarajući električni signal. Tako dobijene slike su poznate kao sekundarno generisane slike (*secondary captured*, SC). Konverzija se optičke u električnu (digitalnu) sliku se vrši opto-elektronskim pretvaračima, u uređajima poznatim kao film-digitajzeri (ili skeneri), slika 7.2. Na nekim uređajima se digitalizovana slika može odmah prikazati na displeju samog uređaja, sl. 7.2-b, mada se, češće, slika kontroliše na displeju radne stanice za koju se povezuje digitajzer. Premda su SC slike uobičajeno lošijeg kvaliteta

u odnosu na direktno generisane digitalne slike, one omogućavaju korišćenje niza prednosti digitalnog zapisa, kao što su arhiviranje, pretraživanje, prenos, isticanje detalja, i slično. Kao ilustracija poboljšanja kvaliteta slike nakon njene digitalizacije, na slici 7.3 je prikazan radiološki snimak vilice (tzv. *ortopan snimak*) pre i posle digitalizacije.



Slika 7.3. Ilustracija prednosti digitalizacije konvencionalnog radiološkog snimka. Ortopan snimak vilice pre (levo) i posle digitalizacije (desno).

Jedna od značajnih prednosti uvođenja digitalnih slika u radiologiji je mogućnost jednostavnog i pouzdanog prenosa takvih slika sa jedne lokacije na drugu, što je poznato kao *teleradiologija*.

Prema američkom udruženju radiologa, ACR (*American College of Radiology*) [ACR02] teleleradiologija predstavlja *elektronski prenos radioloških snimaka pacijenata sa jedne lokacije na drugu, radi analize, interpretacije ili konsultaciju*. Još od začetaka telemedicine prenos medicinskih slika na daljinu je bio veliki izazov za inženjere i lekare. Zahtev za visokim kvalitetom slike je predstavljao veliku kočnicu u razvoju teleradiologije sve do sredine 70-ih godina prošlog veka kada je nastao nagli razvoj mikroelektronike. Od tada, svedoci smo „mrtve trke“ između zahteva za kvalitetom slike i tehničkim mogućnostima postojećeg hardvera i softvera.

### 7.3. TEHNOLOŠKI ZAHTEVI U TELERADIOLOGIJI

Osnovni problem u teleradiologiji je velika količina informacija koju nose digitalne slike. Konkretno, jedan radiološki snimak pluća je dimenzije 4k x 5k piksela sa 12 do 16 bpp, čemu odgovara preko 30 MB. (Primetimo ovde da se za 12 bita po pikselu (4096 nivoa sivog) koriste 2 bajta (16 bita), iz praktičnih razloga standardizacije digitalnih zapisa.) Slično je u mamografiji gde su snimci manjih fizičkih dimenzija, ali veće prostorne rezolucije. Drugi modaliteti, npr. CT ili MRI, generišu slike manje rezolucije (512x515 piksela sa 12 bita po pikselu, što čini oko

0.5 MB), ali se za jednu sesiju traži veći broj snimaka (preseka), 30 ili više, te se opet zahteva preko 20 MB podataka [SUR02].

Postoje dve osnovne kategorije opreme za teleradiologiju: oprema malog kapaciteta (*small matrix size*) i oprema velikog kapaciteta (*large matrix size*), zavisno od korišćenog modaliteta, odnosno, zavisno od karakteristika slika koje se koriste.

Oprema malog kapaciteta namenjena je razmeni slika koje su izvorno male rezolucije, kao što su slike dobijene sa CT-a, MRI-a, ultrazvuka, nuklearne medicine, digitalne fluorografije i digitalne angiografije. Oprema treba da obezbedi minimalnu prostornu rezoluciju  $512 \times 512$  piksela sa minimalno 8 bpp (256 nivoa), bez degradacije bilo prostorne bilo amplitudske rezolucije pri prenosu, obradi i prikazivanju.

Za digitalnu radiografiju i digitalizovane radiografske snimke koristi se oprema velikog kapaciteta. Potrebno je da se bez degradacije prenose, obraduju i prikazuju slike minimalne prostorne rezolucije  $1k \times 1k$  (odnosno, sa minimalno 2.5 lp/mm, lp = *line pair*, par crno belih linija, čemu odgovara veličina piksela od 400 mikrona) i minimalnom amplitudskom rezolucijom od 10 bpp (1024 nivoa).

Radi redukcije memorijskih zahteva i omogućavanja veće brzine prenosa podataka vrši se kompresija podataka. Preporučuje se kompresija bez gubitaka, ali se dozvoljava i kompresija sa gubicima. U tom poslednjem slučaju kompresiju treba da vrši kvalifikovano osoblje, uz kontrolu od strane lekara, kako ne bi došlo do gubitka dijagnostički značajnih detalja u snimku.

Snimci koji se pripremaju za prenos treba da sadrže i dodatne podatke: o pacijentu ( prezime, ime, identifikacioni broj), datum i vreme formiranja snimka, naziv institucije gde je snimak načinjen, vrstu snimanja (koji modalitet se koristio), anatomsку orientaciju pacijenta/snimka (levo, desno, spreda, pozadi, gore, dole), i metod i iznos kompresije, ako je vršena. Poželjno je da se doda i kratka istorija pacijenta, ako je moguće.

Oprema za prenos podataka treba da je kvalitetna i da obezbedi prenos bez gubitaka klinički značajnih informacija. Prenosni sistem treba da ima mogućnost provere i korekcije greške.

Radne stanice i prostorija za zvaničnu interpretaciju i pregled snimaka, kako za sisteme malog kapaciteta tako i za sisteme velikog kapaciteta, prema preporukama ACR [ACR02] treba da zadovolje sledeće zahteve:

1. Sjajnost monitora treba da je minimalno 170 kandela po kvadratnom metru ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).
2. U prostoriji za pregled snimaka pozadinsko svetlo treba da je kontrolisano kako bi se eliminisala refleksija na monitoru.
3. Displej treba da ima mogućnost izbora sekvencija snimaka.

4. Podaci o pacijentu moraju biti precizno povezani sa razmatranim snimcima.
5. Neophodno je da postoji mogućnost podešavanja parametara slike (osvetljaj, kontrast), i manipulacije nad slikom: izdvajanja detalja, mogućnost uvećanja i smanjenja slike (zumiranje), mogućnost rotiranja i obrtanja slike (*flipping*) radi boljeg uočavanja detalja.
6. Mogućnost prikazivanja podataka o veličini slike, amplitudskoj rezoluciji, podataka o broju snimaka koji čine studiju, podataka o vrsti i iznosu kompresije, o prethodnim obradama (ako ih je bilo), kao i prikazivanja drugih relevantnih tehničkih podataka.
7. Izračunavanje i prikazivanje tačnih fizičkih dimenzija označenih detalja u slici, i drugih morfometrijskih podataka, kao i podataka o vrednostima označenih piksela u odgovarajućim jedinicama (npr. *Hounsfield* jedinicama za CT snimke), ako su takvi podaci raspoloživi.

Monitori namenjeni primarnoj dijagnozi treba da se testiraju svakog meseca, prema SMPTE (*Society of Motion Picture and Television Engineers*) preporukama. Ako sistem za prikazivanje nije namenjen zvaničnoj interpretaciji (dijagnozi), on ne mora da ispunjava ove gore navedene zahteve.

U radiologiji se pretežno koriste monohromatski monitori (crno-beli) visokog kvaliteta, mada se danas sve više koriste i kolor monitori, s obzirom da se naknadnim bojenjem može ostvariti bolji dijagnostički kvalitet snimka. Često se koriste specijalni monitori ili udvojeni monitori kako bi se mogao jednovremeno analizirati veći broj snimaka, što je ilustrovano na slici 7.4.



Slika 7.4. Dijagnostički monitori u teleradiologiji.

Ako se u teleradiološkom sistemu koristi elektronsko arhiviranje, treba da budu ispunjeni i sledeći zahtevi [ACR02]:

1. Medijum za arhiviranje treba da obezbedi dovoljan memorijski kapacitet za sve zahteve kako tehnološke, tako i administrativne (zakonske).
2. Svaki dokument mora imati tačne podatke o pacijentu, datum i vreme formiranja snimka, vrstu snimanja (koji modalitet se koristio), i druge podatke o snimanju. Poželjno je da se doda i kratka istorija pacijenta, ako je moguće.
3. Pre analize arhiviran podatak treba da je dostupan u privremenom prozoru kako bi se olakšao rad medicinskog osoblja.
4. Svaki servis treba da ima definisana pravila i procedure za arhiviranje koji su ekvivalentni pravilima za zaštitu arhiviranih podataka na medijumu za arhiviranje.

Ujedno, teleradiološki sistemi treba da imaju protokole za zaštitu mreže i softvera u cilju obezbeđenja tajnosti, sigurnosti i privatnosti podataka o pacijentu, saglasno zakonskim zahtevima, i da su obezbeđeni od neovlašćenog pristupa podacima.

Generalno posmatrano, današnja teleradiologija treba da ispunи sledeće zahteve:

1. Da obezbedi konsultacije i razmenu radioloških podataka.
2. Da obezbedi olakšane radiološke konsultacije bez potrebe za direktnom podrškom od strane radiologa.
3. Da obezbedi pravovremeni pristup medicinskim slikama i njihovu interpretaciju.
4. Da olakša radiolozima rad prilikom razmene iskustava.
5. Da obezbedi podršku subspecijalizantima radiologije, ako je potrebno.
6. Da omogući obuku radiologa, specijalizanata i studenata medicine.
7. Da omogući daljinsko nadgledanje i analizu medicinskih snimaka.

Za potrebe telemedicine radiolozi treba da su obučeni da koriste savremene ICT uređaje, da poznaju mogućnosti (prednosti i nedostatke) novih tehnologija i da interpretiraju snimke sa displeja radnih stanica.

## LITERATURA

- [ACR02] American College of Radiology. *ACR Standard for Teleradiology*. Reston, VA: American College of Radiology, 1994, Rev. 2002.
- [JAM07] James H. Thrall, MD, “Teleradiology: Part I. History and clinical applications”, *Radiology*: Vol 243: No, June 2007, pp. 613-617
- [DEB04] A.I. De Backer, K.J. Mortelé, B.L. De Keulenaer, “Picture archiving and communication system – part one: Filmless radiology and distance radiology”, *JBR-BTR*, 2004, 87: 234-241
- [HOO06] M.N. Hood, H. Scott, “Introduction to picture archive and communication systems”, *Journal of Radiology Nursing*, Vol. 25, Issue 3, pp. 69-74, Sept. 2006.
- [HUA04] H.K. Huang, *PACS and Imaging Informatics*, Wiley, 2004.
- [SUR02] J. Suri, S. Kamaledin, S. Singh (Eds.), *Advanced Algorithmic Approaches to Medical Image Segmentation*, Springer, 2002.
- [TUR02] J. Turner, D. Bhachu, A. McBride, *PACS Net: A Beginner's Guide to PACS*, Medical Devices Agency, London, 2002.
- [WET09] R. Wetering, R. Batenburg, “A PACS maturity model: A systematic meta-analytic review on maturation and evolvability of PACS in the hospital enterprise”, *International Journal of Medical Informatics*, 2009, 78(2), 127-140



## *8. Telepatologija i teledermatologija*

### 8.1. TELEPATHOLOGIJA

Istorijski gledano, telepatologija je jedan od prvih servisa koji je uveden u medicinsku praksu. Jedan od razloga je taj da je broj patologa relativno mali, dok je značaj patologa neprocjenjiv za svaku dijagnozu. U nerazvijenim područjima, generalno, postoji stalni nedostatak specijalizovanog medicinskog osoblja, svakako i patologa. No, i u razvijenim zemljama postoji nedostatak ili neravnomerni raspored patologa. Kao i u drugim granama medicine, i u patologiji, pored osnovne specijalizacije, postoji veoma širok dijapazon sub-specijalizacija, za određene slučajeve u medicini. Takvi sub-specijalisti su, često, locirani u određenim medicinskim centrima i korisno je da postoji neka direktna veza sa njima, kako bi se ubrzalo ispitivanje i dijagnostika posebnih slučajeva. Napomenimo da se, u standardnoj proceduri, medicinski uzorci šalju poštom ili posebnom službom u referentne dijagnostičke centre, tako da proces ovore/provere dijagnoze može biti dugotrajan. Uvođenjem telepatologije, potrebno vreme za taj proces je drastično redukovano. Sa druge strane, tehnološki zahtevi za (tele)patologiju nisu tako složeni, što znači da se osnovna telepatološka mreža može realizovati relativno jednostavno, što je i praksa pokazala.

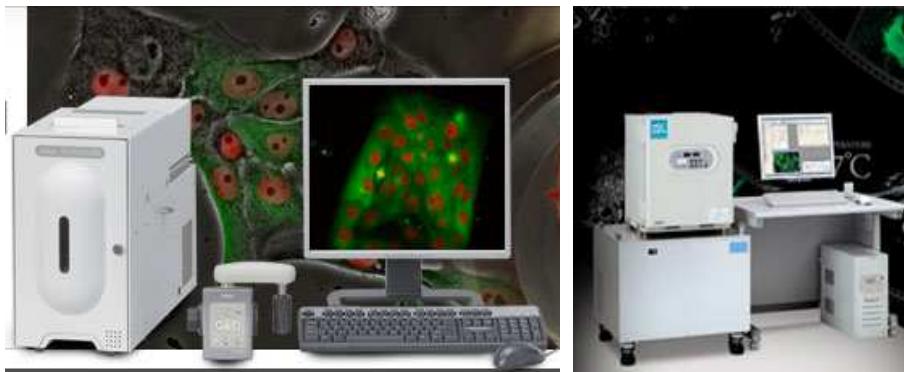
Prvi telepatološki sistem je razvijen još 1960. godine u SAD (*Massachusetts General Hospital*), mada je ta tehnika uvedena u praksu tek kasnih 80-ih godina, u Norveškoj. Danas postoje dva osnovna oblika telepatologije, poznata kao statička (*store-and-forward*) i dinamička (*real-time*) telepatologija. U statičkoj telepatologiji se slika, sa dodatnim informacijama, formira na jednoj strani, i šalje udaljenom patologu na pregled i ocenu/dijagnozu. Ovaj način omogućava slanje snimaka vrhunskog kvaliteta i preko standardne mreže, jer ne postoji interaktivna veza pa vreme prenosa slike nije kritično. Na mestu prijema se slika analizira i šalje se izveštaj predajnoj strani. Taj način se pretežno koristi za potrebe dijagnostike [JAM07].

Za dinamičku telepatologiju, koja se obično koristi za konsultacije, zahteva se interaktivna veza oba (ili više) učesnika koji jednovremeno analiziraju isti materijal i donose odgovarajuće zaključke. Tada je neophodna dvosmerna komunikacija (videokonferencijska veza) i zahteva se širok propusni opseg prenosnog sistema, kako bi se omogućila interaktivna video komunikacija. Kvalitet snimaka ne mora biti vrhunski, jer je reč o konsultacijama. Ovaj način razmene informacija nema neke posebne zahteve u odnosu na standardnu videokonferencijsku vezu, te se neće posebno analizirati.

U oba slučaja, bilo za statičku ili dinamičku telepatologiju, koriste se kolor slike a od opreme se zahteva visoka vernost reprodukcije, jer je boja značajan parametar za opisivanje mikroskopskih uzoraka i dijagnostiku, s obzirom na standardizovane procedure pri bojenju uzoraka.

#### 8.1.1. Statički telepatološki sistem

Statički telepatološki sistem može generisati digitalne snimke širokog raspona kvaliteta, što zavisi od opreme. Danas se na tržištu mogu naći kompaktni sistemi za digitalizaciju mikroskopskih uzoraka, tzv. invertovani mikroskopi (nazivaju se i ćelijski inkubatori, *cell incubator*). Za razliku od standardnog mikroskopa kod koga se stakleni slajd postavlja na odgovarajuću platformu i prosvetljava se odozdo, a posmatra se odozgo, kod ovih uređaja je pozicija izvora svetla i objektiva obrnuta. Takvi uređaji su automatizovani i ne zahtevaju posebnu obuku rukovaoca, a mogu se koristiti i za fluorescentnu mikroskopiju i posmatranje živih ćelija. Često imaju kasetu za postavljanje više uzoraka koji se mogu birati automatski, bez intervencije rukovaoca, što olakšava i ubrzava rad. Na slici 8.1 su prikazani neki takvi uređaji kompanije Nikon (*BioStation IM-Q*) i Olympus (*VivaView FL*).



Slika 8.1. Dva kompaktna sistema za digitalizaciju mikroskopskih slika: *BioStation IM-Q* kompanije *Nikon* (levo) i *VivaView FL* kompanije *Olympus*.

Umesto specijalizovanog kompaktnog sistema može se koristiti i uobičajen optički mikroskop kome se dodaje digitalna kamera na tzv. „treće oko“ okularu, kao što je prikazano na slici 8.2. Lekar posmatra uzorak i upravlja mikroskopom na standardan način, ispituje uzorak, i bira deo koji je od interesa. Kamera prati rad lekara, a digitalna slika se projektuje na displeju (jednom ili više displeja), što omogućava detaljnu analizu uzorka od više lekara. Deo uzorka, koji je od interesa za dalju analizu ili za dokumentaciju, se snima, arhivira u memoriji računara, a može se odmah prenosi i na udaljenu lokaciju, radi dodatnog ispitivanja. Ovaj princip je i u našoj zemlji primjenjen još 1995. godine, na Odeljenju za patologiju i sudsku medicinu Vojnomedicinske akademije (VMA) u Beogradu, pod rukovodstvom dr Petra Spasića, koji je tada bio načelnik tog odeljenja. Na slici 8.3 je prikazana fotografija sistema za digitalizaciju standardnih patoloških uzoraka na staklenim slajdovima, iz bogate 70-godišnje arhive VMA [SPA98].



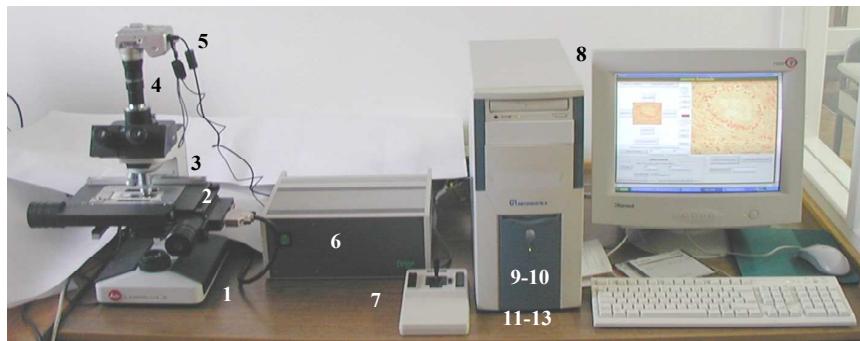
Slika 8.2. Jednostavan način formiranja mikroskopske digitalne slike.



Slika 8.3. Radna stanica za digitalizaciju mikroskopskih uzoraka u Odeljenju za patologiju i sudsku medicinu VMA u Beogradu, iz 1995. godine [SPA98].

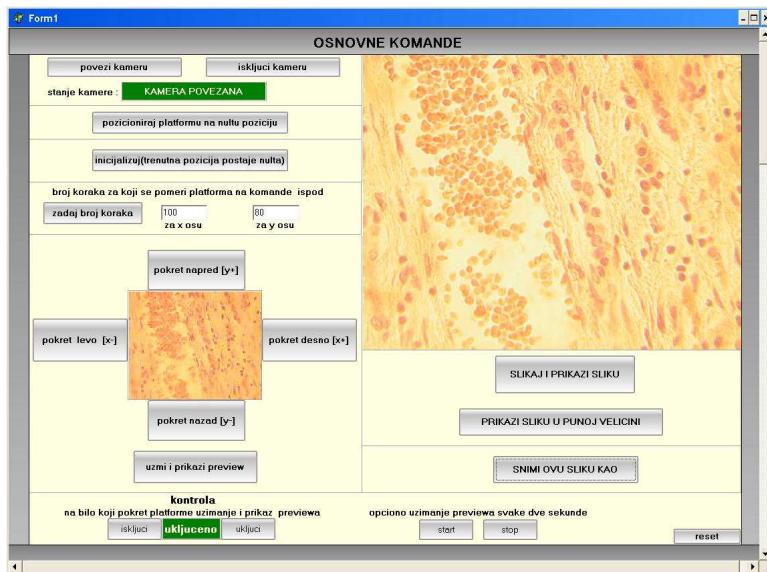
Na osnovu početnih rezultata iz digitalizacije staklenih slajdova, na VMA je osnovan Centar za telemedicinu, i 1997. godine je osnovana prva telemedicinska (telepatološka) veza između Beograda (VMA) i Niša (Vojna bolnica i Institut za patologiju na Medicinskom fakultetu). Od 1997. godine ta veza je u stalnoj funkciji, što je prepoznato i navedeno u literaturi iz telemedicine [KAY99].

U Laboratoriji za digitalnu obradu slike, telemedicinu, i multimediju, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, je realizovan automatizovan digitalizovan mikroskop (sistem ADM), slika 8.4 [ĆUĆ04]. Sistem ADM umesto standardne platforme za slajdove koristi motorizovanu platformu sa step-motorima za pomeranje po  $x$ - i  $y$ -pravcu (označeno brojem 2 na slici 8.3), kao i motor za pomeranje po  $z$ -osi (3). Motorima se upravlja preko kontrolera (6) i računara (8).



Slika 8.4. Automatizovan digitalizovan mikroskop (ADM) realizovan u Laboratoriji za digitalnu obradu slike, telemedicinu i multimediju, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, 2008. godine [ĆUĆ04].

Osnovni delovi sistema su: 1. Optički mikroskop *Leitz*, 2. motorizovana platforma sa step-motorima za pomeranje po *x*- i *y*-pravcu, 3. motor za pomeranje platforme po *z*-osi, 4. mehaničko-optički adapter za montažu digitalne kamere 5., 6. kontroler pomeranja po *x*-, *y*- i *z*-osi, 7. džoystik za brzo (ručno) pomeranje platforme, 8. PC računar, 9-13 softver za pomeranje platforme, akviziciju i obradu snimaka, kao i za komunikaciju sa udaljenim korisnicima.

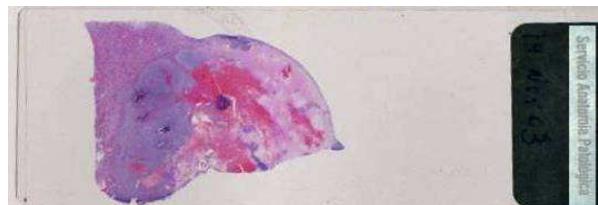


Slika 8.5. Osnovne komande sistema ADM koje omogućavaju pomeranje platforme po *x*-, *y*- i *z*-osi, pretraživanje uzorka (*preview*), izbor i snimanje dela od interesa [ĆUĆ04].

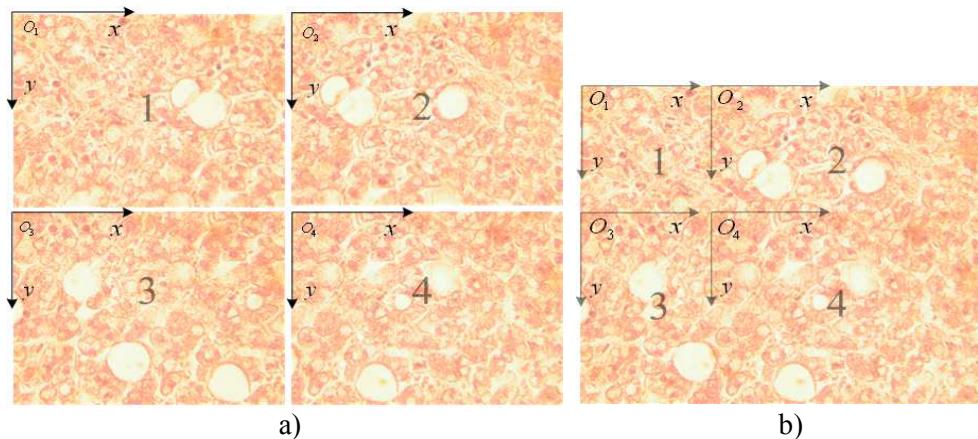
Razvijen je i odgovarajući softver kako za upravljanje motorima, tako i za komunikaciju i upravljanje digitalnom kamerom (5) koja je postavljena na treće oko mikroskopa preko mehaničko-optičkog adaptera (4). Osnovne komande se prikazuju na monitoru računara, što je prikazano na slici 8.5. Preko računara je omogućena veza sa bilo kojim korisnikom, tako da se ovakva stanica može koristiti za pregled i akviziciju snimaka sa udaljenog medicinskog centra [ĆUĆ04]. Potrebno je samo da u tom centru postoji (pomoćno) medicinsko osoblje koje može da pripremi i postavi uzorak na platformu mikroskopa. Svu dalju kontrolu može preuzeti lekar specijalista iz udaljenog referentnog medicinskog centra koji će pretražiti stakleni slajd, odabrat deo od interesa, analizirati ga i, ako je potrebno, snimiti ga, uz eventualnu konsultaciju sa drugim centrima, radi formiranja dijagnoze.

### 8.1.2. Snimanje celog slajda

U analizi standardnih mikroskopskih uzoraka jedan od osnovnih problema je taj da je fizička dimenzija uzorka na staklenoj pločici (oko 20mm x 20mm), slika 8.6, znatno veća od vidnog polja mikroskopa. Stoga lekar mora pažljivo da pretražuje ceo slajd kako bi pronašao deo od interesa za analizu. Ukoliko se na treće oko mikroskopa postavi digitalna kamera, vidno polje je još uže, te su problemi pretraživanja još izrazitiji. Jedan od načina za ublažavanje tog efekta je fuzija više prekloppljenih snimaka u jedan mega-slajd, što je ilustrovano na slici 8.7 za slučaj 4 susedna snimka, označena brojevima 1-4 [STE05].

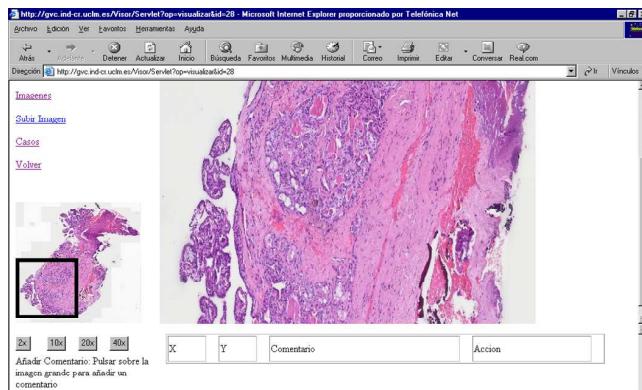


Slika 8.6. Izgled standardnog staklenog slajda koji se koristi u optičkoj mikroskopiji.  
Dimenzija uzorka je oko 25mm x 20mm.

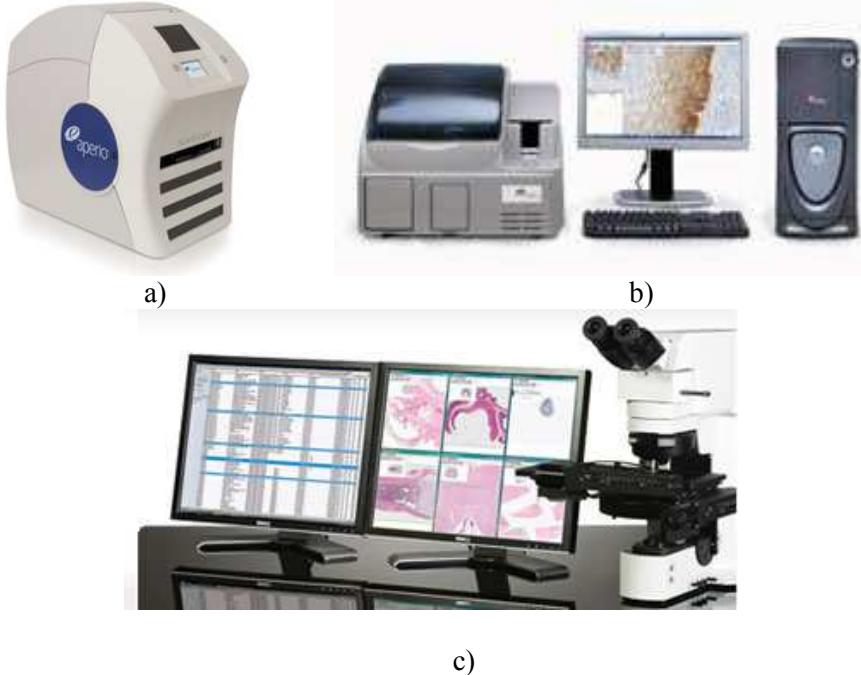


Slika 8.7. Ilustracija formiranja mega-slajda od više susednih prekloppljenih snimaka:  
a) Četiri susedna prekloppljena snimka delova mikroskopskog uzorka (snimci su označeni brojevima 1 do 4), b) Izlazna slika dobijena fuzijom pojedinačnih slika 1-4.  
Delovi koji se preklapaju su izbačeni. Brojevi 1-4 su uneti samo radi lakšeg razlikovanja detalja na slikama. [STE05]

## 8. Telepatologija i teledermatologija



Slika 8.8. Izgled jednog virtuelnog slajda (levo) i uvećanog detalja unutar označenog kvadrata (desno)



Slika 8.9. Izgled nekih skenera za formiranje virtuelnih slajdova: a) *Aperio ScanScope*, b) *ACIS III (Dako)*, c) *Olympus BLISS HD*.

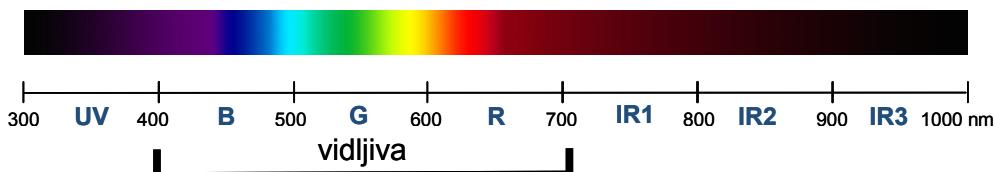
Danas se primenjuje tehnologija formiranja celog slajda u vidu jedne slike (WSI = *whole slide imaging*), što je poznato i kao virtuelni slajdovi ili virtuelna mikroskopija. Posebnom tehnikom skeniranja od celog staklenog slajda formira se digitalna slika u boji visoke prostorne rezolucije reda veličine 60k x 40k piksela. Jedan primer takvog virtuelnog slajda je prikazan na slici 8.8. Virtuelni slajd

omogućava preciznu analizu celog mikroskopskog uzorka, uz zumiranje i biranje dela od interesa, bez degradacije. Elektronski slajd se pretražuje i analizira slično kao pri direktnoj manipulaciji na mikroskopu, ali uz sve prednosti digitalne obrade slike. Jedini nedostatak je što jedna takva slika zauzima veliki memorijski prostor (tipično 1 do 10 GB) što otežava prenos, arhiviranje i obradu. Postoji više proizvođača koji isporučuju opremu i odgovarajući softver za WSI, na primer, *Aperio*, *ACIS III* (*Dako*, *Olympus*, i drugi). Neki WSI skeneri su prikazani na slici 8.9.

## 8.2. TELEDERMATOLOGIJA

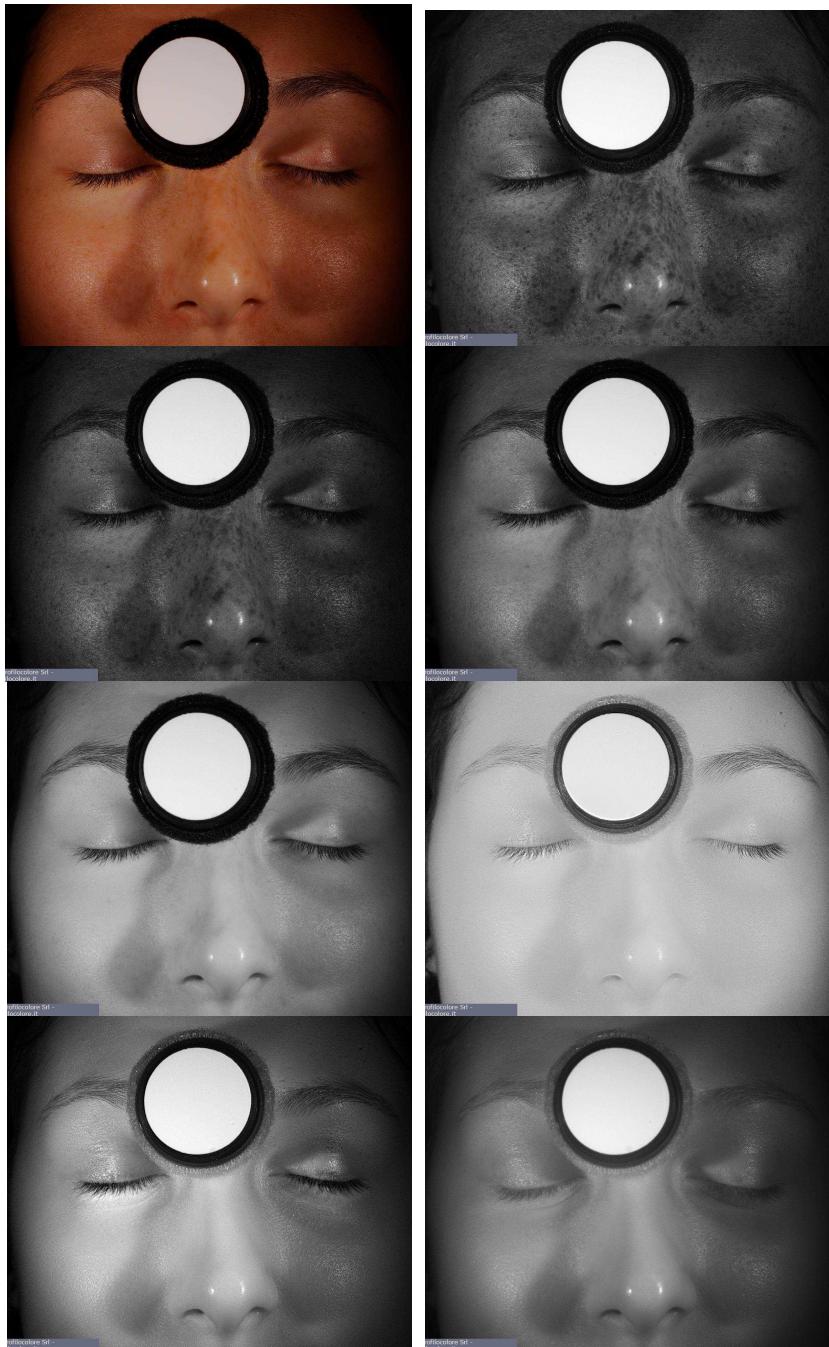
Po tehnološkim zahtevima i načinima realizacije teledermatologija je veoma slična telepatologiji: koriste se digitalne kolor kamere, a način rada je statički (odložen, ili *store-and-forward*) i dinamički (odnosno u realnom vremenu, *real-time*).

Rad u realnom vremenu je tipa videokonferencije. Ovakav način rada je veoma pogodan za pacijenta jer se trenutno dobija dijagnoza i uputstvo za režim lečenja, ali je za dijagnozu potrebna oprema visokog kvaliteta i sigurna telekomunikaciona mreža širokog propusnog opsega. Međutim, ako se ovaj vid koristi samo za konsultacije među lekarima ili u edukativne svrhe, tada se može koristiti jeftinija oprema standardnog kvaliteta.



Slika 8.10. Talasne dužine svetlosti korišćene pri snimanju istog objekta: u opsegu vidljive svetlosti (400-700 nm) i u opsezima UV (300-400 nm), plave (B, 400-500 nm), zelene (G, 500-600 nm), crvene (R, 600-700 nm) i tri opsega bliske infracrvene svetlosti (IR1, IR2, IR3, 700-800, 800-900 i 900-1000 nm, respektivno) [MEL11].

U statičkom načinu rada se digitalna slika sa propratnom dokumentacijom (bez ličnih podataka o pacijentu) šalje u dijagnostički centar specijalisti dermatologu, radi konsultacije i/ili dijagnoze. Prenos se tada može vršiti standardnim telekomunikacionim kanalima, te je ovaj vid teledermatologije u široj upotrebi.



Slika 8.11. Ilustracija uticaja različitih talasnih dužina zračenja na dobijeni snimak. Odozgo nadole i s leva u desno: snimak dobijen u opsegu vidljive svetlosti, i u opsezima UV, plave (B), zelene (G), crvene (R) i tri opsega bliske infracrvene svetlosti (IR1, IR2, IR3) [MEL11].

U ovom načinu rada se, pored standardnih digitalnih kamera visoke rezolucije (najmanje 3 megapiksela), koje vrše snimanje u domenu vidljive svetlosti, koriste i specijalizovane kamere koje isti region snimaju pri određenim talasnim dužinama, uključujući i snimanje van vidljive svetlosti – u domenu infracrvenog i/ili ultraljubičastog (UV) zračenja, ili koriste polarizovanu svetlost. Time se mogu otkriti neki detalji koji se ne primećuju u vidljivom delu spektra, a detektuju se i promene ispod površine kože, u epidermu, što u mnogim slučajevima može biti veoma značajno za dijagnozu. Naime, u vidljivom delu spektra boja kože nastaje usled proteina hemoglobina, koji se nalazi u crvenim krvnim zrncima, i smeđeg pigmenta melanina. Hemoglobin se nalazi u kapilarima ispod epiderma, tipično do 500 mikrona ispod površine kože. Melanin se nalazi u epidermu koji se nalazi na 50 do 100 mikrona ispod površine kože i promenljive je koncentracije. Obe supstance veoma absorbuju svetlost iz vidljivog i UV opsega, a slabo apsorbuju svetlost iz bliskog infracrvenog područja. Upravo zbog sposobnosti apsorpcije svetlosne energije melanin ima veliki značaj kao zaštita od sunčevog zračenja.

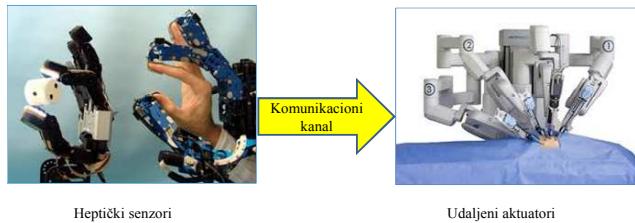
Kao ilustraciju koristi od snimanja pri različitim talasnim dužinama svetlosti, posmatraćemo uticaj svetlosti iz opsega vidljive svetlosti, kao i opsega UV, plave (B), zelene (G), crvene (R) i tri bliske infracrvene svetlosti. Opsezi talasnih dužina koji su korišćeni prikazani su na slici 8.10, a na slici 8.11 je prikazan niz snimaka iste osobe dobijenih pri razmatranim uslovima [MEL11].

## LITERATURA

- [ACR94] American College of Radiology. *ACR Standard for Teleradiology*. Reston, VA: American College of Radiology, 1994
- [CHA11] Charles L. Hitchcock, (2011) *The Future of Telepathology for the Developing World*. Archives of Pathology & Laboratory Medicine: February 2011, Vol. 135, No. 2, pp. 211-214
- [ĆUĆ04] V. Ćućuz, Đ. Đurđević, B. Reljin, I. Milosavljević, “Digitalizovan mikroskop: Sistem za upravljanje motorizovanim postoljem, akviziciju, digitalizaciju i arhiviranje mikroskopskih slika”, *12. Telekomunikacioni forum*, TELFOR 2004, Beograd, 23-25. novembar, 2004
- [DEB04] A.I. De Backer, K.J. Mortelé, B.L. De Keulenaer, “Picture archiving and communication system – part one: Filmless radiology and distance radiology”, *JBR-BTR*, 2004, 87: 234-241

- [FON11] B. Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine Technologies: Information Technologies in Medicine and Telehealth*, Wiley, 2011.
- [HUA04] H.K. Huang, *PACS and Imaging Informatics*, Wiley, 2004.
- [JAM07] James H. Thrall, MD, “Teleradiology: Part I. History and clinical applications”, *Radiology*: Vol 243: No, June 2007, pp. 613-617
- [KAY99] K. Kayser, J. Szymas, R.W. Weinstein, *Telepathology*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999
- [MEL11] M. Melis, M. Miccoli, “Multispectral Imaging and Hypercolorimetry in Dentistry and endo-oral Dermatology”, EAPDH (European Association of Dental Public Health) - *16th Annual Meeting*, Rome, 22-24 September 2011.
- [REL99] B. Reljin, P. Spasić, I. Milosavljević, P. Kostić, S. Mijušković, “Telemicroscopy - The first step in telemedicine foundation in Yugoslavia”, in *Recent Advances in Signal Processing and Communications*, N. Mastorakis (Ed.), World Scientific and Engineering Society Press, Clearance Center, Danvers, MA, 1999, pp. 209-216
- [SPA98] P. Spasić, B. Reljin, I. Milosavljević, S. Mijušković, S. Ristić, R. Marković, P. Kostić, I. Rakočević, D. Mijatović, “Telemedicine: First telepathology network in Yugoslavia”, in *Proc. Conf. TELFOR'98*, pp. 561-568, Belgrade, 24-26 Nov. 1998.
- [STE05] N. Stepanić, V. Ćućuz, D. Dujković, “Fuzija slika visoke rezolucije dobijenih digitalizovanim mikroskopom sa motorizovanom platformom”, *Zbornik 49. Konf. ETRAN*, vol. 1, pp. 119-122, Budva, 5-10. juni, 2005.





## 9. *Telehirurgija*

Telehirurgija označava postupak kada lekar-hirurg obavlja operaciju nad pacijentom koji nije fizički na istoj lokaciji. Reč je o tehnologiji koja objedinjava medicinu, robotiku i telekomunikacije. Telehirurgija je postala moguća nakon pronalaska laparoskopske hirurgije, kasnih 80-ih godina prošlog veka. Laparoskopija (poznata i kao minimalno invazivna hirurgija) je hirurška procedura kada se laparoskop (tanka cev sa izvorom svetla i kamerom) i specijalni hirurški instrumenti unose u abdomen kroz male rezove (oko 1 cm) na stomaku. Unutrašnje operaciono polje se osvetljava laparaskopom, snima i posmatra na video monitoru. Hirurškim instrumentima se upravlja na neki način „daljinski“, preko specijalnih mehaničkih prenosnika, s obzirom da su ruke hirurga znatno udaljene od mesta gde se vrši intervencija.

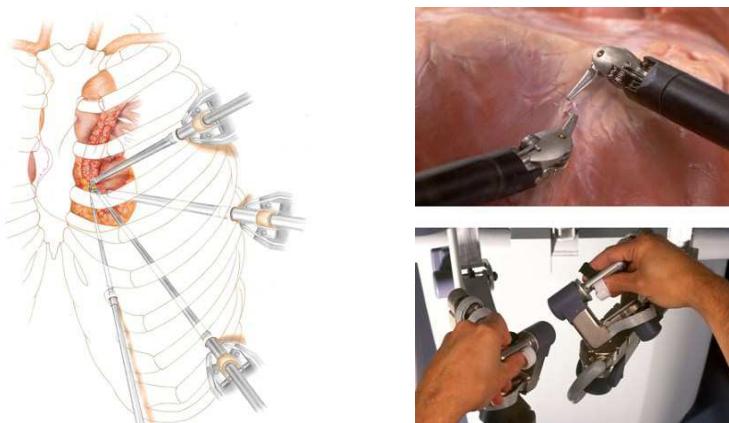
Naredni korak u razvoju ove tehnologije je bilo uvođenje robotike i računarskog upravljanja. Konstruisane su robotske ruke, slične kao u industriji, kojima je upravljao hirurg, posredstvom računara. Hirurg bi sedeо na specijalnoj anatomski oblikovanoj stolici, nekoliko metara udaljen od pacijenta, posmatrao operaciono polje na monitoru računara, i pokretima šake kontrolisao rad robotskih ruku koje su držale hirurske instrumente, slika 9.1. Osvetljavanje radnog operacionog polja moglo se vršiti govornim komandama.

Za potrebe mikrohirurgije i neurohirurgije, gde se zahteva visoka preciznost rada, hirurg je oslanjao ruke na posebno oblikovane držače, kako bi se sprečio zamor i podrhtavanje ruku, a često je sistem imao i neku vrstu „redukcije“ prenosa što je

softverski regulisano. Naime, pomeraj robotske ruke se mogao podešavati tako da predstavlja „skaliranu na dole“ verziju pokreta ruke hirurga, dakle, pomeraj veštačke šake je mogao biti (znatno) manji od pomeraja ruke hirurga. Na taj način se postizala znatno veća preciznost rada, što je veoma značajno u mikrohirurgiji. Ujedno, primenom računara moglo se obezbediti filtriranje signala generisanih pomeranjem ruke hirurga, tako da se uticaj eventualnog podrhtavanja ruku mogao redukovati, a signal koji upravlja aktuatorima (i hirurškim instrumentima) bi bio znatno čistiji, a time bi pomeranje robotizovane šake bilo ravnomernije.



Slika 9.1. Prikaz robotizovane hirurgije. a) Lekar posmatra operaciono polje na monitoru i upravlja radom robotskih ruku. b) Operacija se obavlja pomoću robotskih ruku na mestu koje je udaljeno od lekara.



Slika 9.2. a) Crtež postupka pri laparoskopskoj hirurgiji, b) upravljanje robotizovanom rukom sistema ZEUS.

Krajem 80-tih i početkom 90-tih godina prošlog veka nekoliko proizvođača je ponudilo robotizovan sistem za hirurgiju. Jedan od prvih, koji je bio i komercijalno raspoloživ, je bio sistem Da Vinci *Surgical System*, kompanije *Intuitive Surgical* (USA) [INT12]. Sistem Da Vinci je potvrđen od strane Administracije za hrane i lekove (FDA) SAD 2000. godine kao sistem za opšte laparoskopske procedure. Na slici 9.2 je prikazan crtež generalnog postupka intervencije laparoskopskom metodom (levo) i detalj operacije pomoću ovog uređaja (desno: gore – pozicije robotskih ruku sa hirurškim instrumentima, dole – rukovanje robotskim rukama od strane hirurga).

Drugi sistem, koji je postao veoma poznat jer su pomoću njega vršene intervencije na velikim rastojanjima, jeste ZEUS *Robotic Surgical System*, kompanije *Computer Motion*. Sistem je razvijen 1995, a 2002. je potvrđen od FDA kao generalni sistem za primenu u opštoj i laparoskopskoj hirurgiji. Modifikovan sistem ZEUS je sudelovao u projektu Operacija Lindberg<sup>1</sup>, koji je trebalo da potvrdi upotrebljivost telehirurgije. Sistem je omogućio prvu kompletну hirurgiju na daljinu septembra 2001. godine, kada je obavljena operacija žučne kese na rastojanju od 7000 km: pacijent i hirurški sistem su bili u Strazburu (Francuska), a francuski hirurg sa konzolom za upravljanje je bio u Njujorku (SAD). Kašnjenje signala je bilo 135 ms, što se pokazalo dopustivim. Malo kašnjenje i garantovan kvalitet su bili omogućeni primenom ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) tehnike prenosa, a velika brzina prenosa, maksimalnog protoka 10 Gb/s, korišćenjem specijalne iznajmljene optičke veze. Operacija je uspela u potpunosti, i pacijent, žena starosti 68 godina, je napustila bolnicu posle 48 sati od operacije, što je uobičajeno vreme i za konvencionalnu laparoskopsku operaciju. Video snimak sa detaljima ove pionirske operacije se može naći na adresi <http://www.ircad.fr/event/lindbergh/?lng=en>. Neki detalji video materijala o ovoj operaciji prikazani su na slici 9.3.

No, i pored velike preciznosti, robotska ruka sa konzolom za upravljanje, kao na slikama 9.1 i 9.2, ima nedostatke. Jedan od njih je taj da je rukovanje konzolom zahtevalo posebnu obuku lekara, jer pokreti hirurga nisu odgovarali uobičajenim pokretima u konvencionalnoj hirurgiji. Jedno moguće rešenje ovog problema je prikazano na slici 9.4. Reč je o humanoidnoj šaci (veštačka ruka) koja je slične konfiguracije kao ljudska šaka. Na šaku operatora se postavlja kontrolna rukavica, slika 9.4a-desno, sa senzorima koji generišu signale pri pokretima prstiju i šake. Ti signali, preko računara, upravljaju humanoidnom robotskom šakom, slika 9.4a-levo, ili aktuatorima, slika 9.4b.

---

<sup>1</sup> Naziv Operacija Lindberg je izведен u čast Čarlsa Lindberga koji je izveo pionirski transatlantski let od Njujorka do Pariza, 1927. godine.

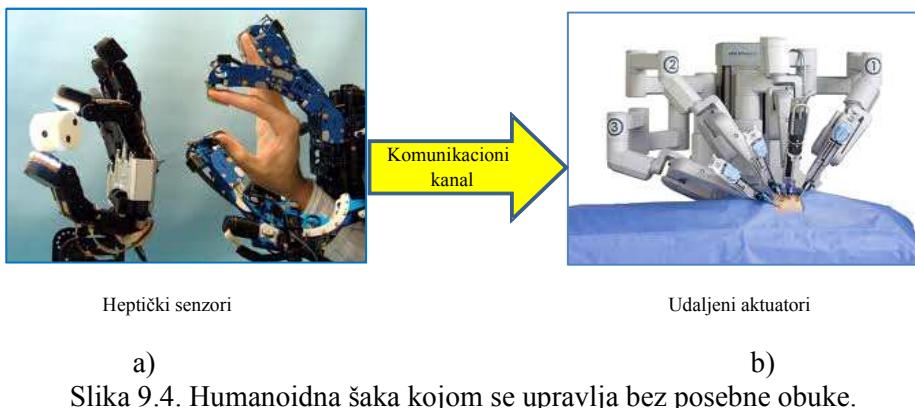
## TELEMEDICINA



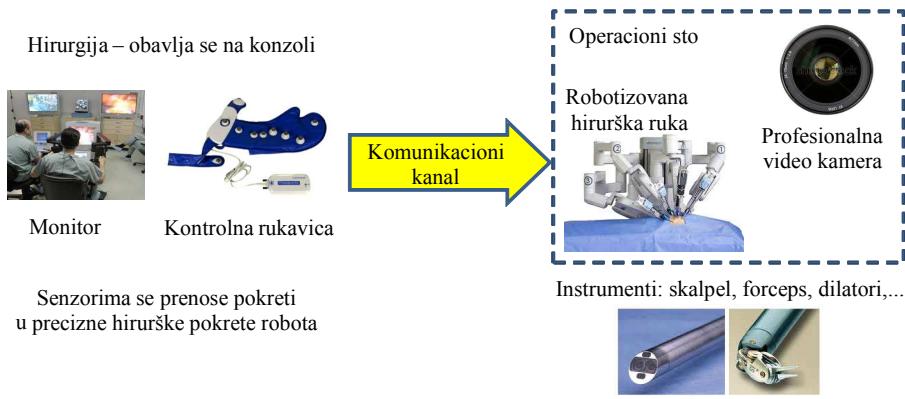
Slika 9.3. Video materijal sa telehirurške intervencije između Njujorka i Strazbura, iz projekta Operacija Lindberg, iz 2001. godine: a) Lekar u Njujorku (SAD), koji upravlja konzolom; b) pacijent u Strazburu (Francuska).

Dodatni problem u primeni robotizovanih ruku je taj što mehanička ruka nema osećaj dodira, tako da pritisak mehaničke ruke na tkivo koje se operiše može biti nedopustivo veliki. Potrebno je uvesti senzore dodira (tzv. heptičke senzore) koji mere pritisak delova ruke na objekat koji se hvata i šalju kontrolni signal koji u povratnoj vezi reguliše pritisak prstiju na objekat [PAR07]. Time se mogu obaviti veoma precizne radnje.

Ilustracija postupka korišćenja ovakvog sistema prikazana je na slici 9.5. Lekar kontroliše proces operacije na monitoru ili na više njih, koji mogu prikazati i 3D sliku. Pokreti šake lekara se registruju senzorima koji se nalaze u kontrolnoj rukavici i preko računara upravljavaju izvršnim organima – aktuatorima u robotizovanoj hirurškoj ruci. Za operaciju se koriste specijalni hirurški instrumenti, posebno razvijeni najpre za laparoskopiju, a zatim i za robotizovanu hirurgiju. Ceo proces će snima kvalitetnim video kamerama, uz potrebna uvećanja radi boljeg uočavanja detalja, i prikazuje na monitorima.



Slika 9.4. Humanoidna šaka kojom se upravlja bez posebne obuke.



Slika 9.5. Ilustracija postupka robotizovane hirurgije.

Prelaz od robotizovane hirurgije do „prave“ telehirurgije, kada hirurg i pacijent mogu biti veoma udaljeni međusobno, je tehnički veoma jednostavan. Naime, u robotizovanoj hirurgiji nema direktnog kontakta hirurga sa pacijentom i ceo proces je upravljan pomoću računara. Tehnički posmatrano, ako hirurg može vršiti operaciju sa rastojanja od nekoliko metara, zašto ne bi mogao i sa rastojanja od više kilometara? Međutim, u realizaciji postoji jedan značajan ograničavajući faktor a to je *kašnjenje* signala. U standardnoj robotizovanoj hirurgiji je rastojanje između kontrolne konzole ili rukavice i robotizovane šake nekoliko metara, te je kašnjenje u prenosu podataka zanemarljivo. Hirurg, dakle, odmah vidi pokrete robotizovane ruke u operacionom polju i može jednostavno i trenutno da upravlja aktuatorima. Međutim, ako su rastojanja velika, kašnjenje signala u prenosu može biti značajno, tako da manipulacija hirurga postaje otežana. Neka istraživanja (na primer, u okviru već spomenutog projekta Lindberg) su pokazala da kašnjenja veća od oko 200 ms mogu izazvati ozbiljne teškoće, pa čak i da mogu biti opasna po tok operacije. Naime, u mnogim slučajevima hirurg treba trenutno da reaguje u slučaju nekog nepredviđenog toka operacije. Pri velikim kašnjenjima reakcija hirurga je nepravovremena i čak može biti sa suprotnim efektom. Stoga, kao generalni zaključak, može se konstatovati da se telehirurgija može uspešno primeniti za rastojanja do nekoliko stotina kilometara. Ipak, i pored mogućih neželjenih efekata, u mnogim slučajevima se dopušta telehirurgija čak i na većim rastojanjima. To su, na primer, hirurške intervencije u prekoceanskim ili svemirskim brodovima, intervencije u zoni ratnih dejstava ili na teritoriji koja je pogodena elementarnom nepogodom, i slično. U hitnim slučajevima, kada nema drugog rešenja, može se koristiti i satelitska veza, mada su kašnjenja signala tada znatno veća, čak preko 600 ms.

Dodatni, veoma ozbiljan problem u telehirurgiji, a koji nije kritičan u drugim telemedicinskim primenama, je sigurnost telekomunikacione veze. Šta činiti ako usred hirurške intervencije dođe do prekida veze? Jedno rešenje kojim se može rešiti ovaj problem je da na mestu hirurške intervencije postoji kvalifikovano medicinsko osoblje koje može priskočiti u pomoć udaljenom hirurgu. Svakako, bez obzira na udaljenost hirurga i pacijenta, potrebno je kvalifikovano inženjersko osoblje na obe lokacije, kako bi se oprema ispravno povezala, podesila i kontrolisala tokom rada.

## LITERATURA

- [LOB07] A. Lobontiu, D. Loisance, “Robotic surgery and tele-surgery: Basic principles and description of a novel concept”, *Jurnalul de Chirurgie*, Iasi, Vol. 3, No. 3, pp. 208-214.
- [INT12] Intuitive Surgical, 2012. “The Da Vinci Surgical System.” [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgical\\_system/](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgical_system/)
- [PAR06] J. Park, O. Khatib, “A haptic teleoperation approach based on contact force control”, *Int. J. of Robotics Research*, May–June 2006, pp. 575-591



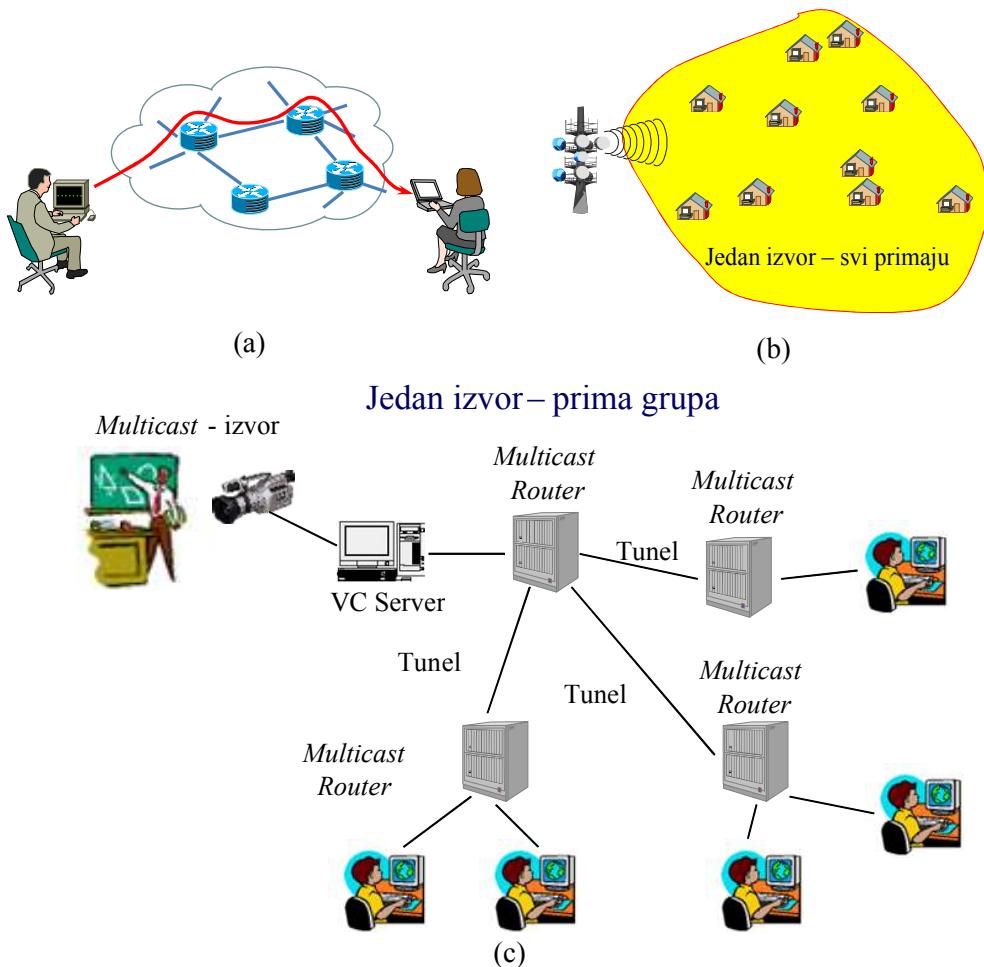


## *10. Telekomunikacije u telemedicini*

U telemedicinskim aplikacijama se formira velika količina podataka koju treba arhivirati ili preneti mrežom do ili od medicinskog centra. Da bi se obavio uspešan prenos, a da se pri tome mreža ne "zagubi" velikom količinom podataka, neophodno je ispravno proceniti potrebne mrežne resurse i definisati načine na koje se prenos ostvaruje. Digitalni telekomunikacioni sistemi prenose informacije u okviru blokova (paketa različitih dužina) ili *stream-a* (u kojem se prenos vrši kontinuirano). Karakteristika multimedijalnog saobraćaja, u koji spadaju i telemedicinske aplikacije, je velika eksplozivnost. To znači da te aplikacije generišu promenljivu količinu podataka pri čemu se često, a u zavisnosti od dinamike signala koji se komprimuje, dobijaju izrazito veliki maksimumi. Eksplozivnost multimedijalnog saobraćaja može proizvesti velike probleme u mreži, jer je teško proceniti potreban kapacitet kanala, a samim tim i metode za garantovanje kvaliteta servisa.

Pored neminovnosti da telemedicinske aplikacije najčešće generišu eksplozivni saobraćaj, treba istaći i načine na koje se telekomunikaciona veza može ostvariti. Najjednostavniji tip veze je *unicast* (jedan izvor - jedan korisnik), slika 10.1.a. Veza se uspostavlja od jednog korisnika (računara), kroz mrežu unutar koje se pronalazi put ka odredištu (računar pošiljalac eksplicitno navodi adresu računara

primaoca). Imajući u vidu da se prenos vrši savremenim mrežama elektronskih komunikacija, podrazumevaćemo da je reč o tipu zasnovanom na Internet Protokolu (IP). Stoga se saobraćaj usmerava ka odredištu u ruterima, a na osnovu nekog od algoritama, najčešće zasnovano na algoritmu "najkraće putanje".



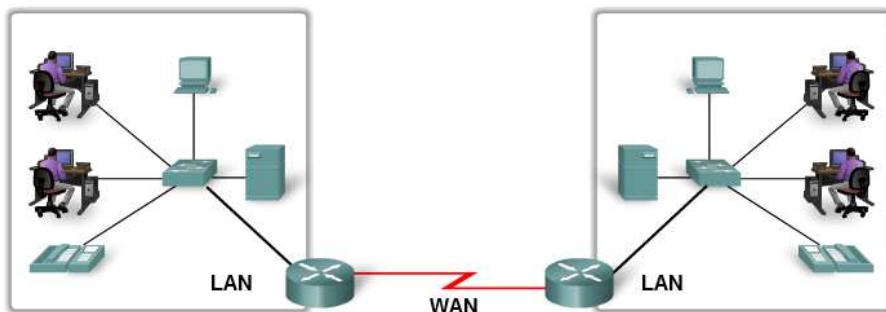
Slika 10.1. (a) *Unicast* prenos; (b) *Broadcast* prenos; (c) *Multicast* prenos.

*Unicast* saobraćaj je dominantna vrsta saobraćaja u LAN (*Local Area Network*) i WAN (*Wide Area Network*) mrežama, slika 10.2, pri čemu su korisnicima poznate neke od standardnih *unicast* aplikacija i protokola :

- *http* - *HyperText Transfer Protocol* je mrežni protokol koji pripada sloju aplikacije OSI referentnog modela, predstavlja glavni i najčešći metod prenosa

informacija na vebu. Osnovna namena ovog protokola je isporučivanje HTML dokumenta, tj. *web* stranica;

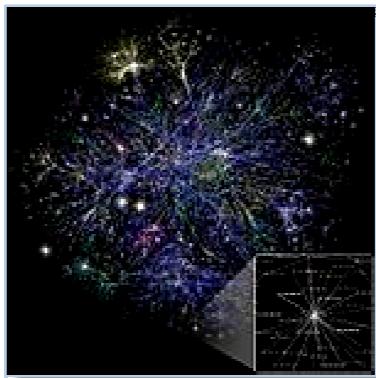
- *ftp* - *File Transfer Protocol* je protokol za prenos datoteka, najčešće korišćen protokol za prenos podataka između dva računara na mreži. Veza se uspostavlja na zahtev klijentskog računara prema serverskom računaru;
- *smtp* - *Simple Mail Transfer Protocol* predstavlja osnovni protokol sloja aplikacija za elektronsku poštu, koji koristi uslugu pouzdanog transfera podataka protokola TCP. Kao i većina drugih protokola aplikacijskog sloja ima klijentsku i serversku stranu;
- *telnet* - mrežni protokol unutar grupe internet protokola. Najčešće se koristi da osigura korisniku jednog računara sesiju za korišćenje komandne linije na drugom računaru, itd.



Slika 10.2. LAN - WAN mreže.

*Broadcast* (difuzni prenos u svim pravcima) slika 10.1.b je način prenosa u kome se informacija generiše od strane jednog izvora, a primaju je svi korisnici. Najčešće je korišćen od strane ARP i DHCP protokola mada i sami ruteri koriste neku vrstu *broadcast* saobraćaja za redovno ažuriranje svojih ruting tabela. Ova vrsta prenosa se primenjuje i u terestrijalnoj televiziji ili radiju, odnosno u slučajevima kada je potrebno informaciju preneti "svima" (na primer u vanrednim situacijama i slično).

Najširu primenu za distribuciju multimedijalnog sadržaja preko računarske mreže ima tip veze *multicast*, u kojoj se informacija generiše od jednog izvora, a prima je grupa korisnika (onih koji pristupe *multicast* grupi), slika 10.1.c. Veza ovog tipa je karakteristična za mnoge servise na internetu, a verovatno najčešći je IPTV (prenos televizijskog signala preko interneta, zasnovan na IP protokolima).



Slika 10.3. Vizualizacija uspostavljenih ruta na delu Interneta, prema *Opte Project-u*.

Najzad, za IP saobraćaj vrlo je bitno istaći da je i jedan od uzroka eksplozivnosti nepredvidivo trajanje sesija koje ne pokazuju karakteristike međusobne nezavisnosti, već imaju osobinu dugih korelacija [REL01]. Sama struktura interneta je složena - svaki ulazak na internet pokazuje drugu, promenjenu topologiju mreže. Vizualizacija ruta na internetu, urađena u okviru *Opte Project-a* koji je 2003. godine pokrenuo *Barrett Lyon* prikazana je na slici 10.3. Ova slika se nalazi i u Bostonском музеју науке, Музеју модерних уметности и Лувру.

## 10.1. PLANIRANJE I RAZVOJ MREŽE - OSI MODEL

U složenim savremenim računarskim i telekomunikacionim mrežama je postojala potreba da se jednostavnije sagledaju okviri komunikacija i izvrši dizajniranje mreža. Stoga se iskazala potreba za podelom mrežne arhitekture u različite slojeve, koji bi specificirali skup funkcija procesiranja i formatiranja podataka. Model koji definiše način otvorenog međupovezivanja OSI (*Open Systems Interconnection*, ISO/IEC 7498-1) je nastao naporima međunarodne organizacije za standardizaciju ISO (*International Organization for Standardization*). OSI se sastojao iz dva dela: osnovnog referentnog (sedmoslojnog) modela, tabela 10.1, i skupa protokola kojim se definišu međupovezivanja.

Dva susedna sloja imaju direktnu komunikaciju kojom se podaci razmenjuju u blokovima preko servisnog pristupa.

Slojevi referentnog modela se dele u dve osnovne grupe: slojeve medijuma (čine ih tri najniža sloja) i slojeve hosta (čine ih tri najviša sloja). Srednji sloj

(transportni) nekada se definiše i kao deo viših slojeva, ali treba ipak naglasiti da kao transport ipak ima mnogo više veze sa medijumom.

Tabela 10.1. Osnovni referentni model OSI.

OSI Model			
	Sloj	Jedinica podataka	Funkcija
Slojevi hosta	Sloj aplikacije	Podaci	Format poruke, korisnički interfejs
	Sloj prezentacije		Kodovanje, zaštita, kompresija
	Sloj sesije		Upravljanje sesijama između pojedinih aplikacija
	Transportni sloj	Segmenti	Kontrola grešaka od kraja-do-kraja
Slojevi medijuma	Mrežni sloj	Paketi/ datagrami	Mrežno (logičko) adresiranje, rutiranje, komutiranje
	Sloj veze	Ram	Kontrola toka i fizičke veze, korekcija grešaka, fizičko adresiranje
	Fizički sloj	Bit	Fizički medijum, način predstavljanja bita

OSI model klasificuje proces elektronskih komunikacija u funkcionalne slojeve. Na nivou svakog sloja ponaosob, moguća je direktna razmena podataka. Ako se zadržimo na slici 10.1.a, vidimo da su slojevi na dve razdvojene lokacije (na dva kraja mreže) bez direktnе veze, pa komunikaciju među njima zovemo virtuelnom. Komunikacija se ostvaruje razmenom jedinica podataka protokola PDU (*Protocol Data Unit*). Korisnički podaci su unutar anvelope PDU i zovu se jedinice podataka servisa (*Service Data Unit*). SDU sadrži i zaglavlje koje se proizvodi od *entiteta sloja n* kome odgovara. Nad svakim entitetom sloja postoji *protokol sloja n* koji upravlja tim entitetom. Svaki entitet, zajedno sa SDU, šalje PDU na sloj (n-1) na dalje procesiranje. Uloga sloja n je da prihvati informaciju od PDU-a sloja iznad (n+1),

prosleđujući je na donje slojeve i eventualno pretvarajući je u pogodan oblik za prenos datim kanalom.

U slučaju da dužina bloka prelazi maksimalnu dužinu koju podržava sledeći sloj ( $n-1$ ), primenjuje se proces segmentacije i ponovnog združivanja (*segmentation and reassembly*), u kome se blokovi podataka razbijaju u manje jedinice, a na prijemnoj strani na isti način vraćaju nazad. Tu se SDU segmentiraju u višestruke PDU-ove  $n$ -tog sloja. Na prijemnoj strani se vrši združivanje (*reassembly*).

#### Funkcije pojedinih slojeva OSI modela:

- Fizički sloj: Na ovom sloju se definišu električne i fizičke specifikacije između čvorova i medijuma. To su informacije o protoku, trajanju signala, konfiguracije pin-ova i konektora. Ovde se prenose samo binarni impulsi, "0" i "1", te stoga nemaju veze sa sadržajem poruka, odnosno sa *stream*-om. Na ovom sloju se vrše neophodne modulacije. Može biti bakarni kabl, optički kabl, radio link, laserski snop...
- Sloj veze (Sloj linka podataka): Na ovom sloju rade mrežni protokoli (*Ethernet*) i uređaji kao što su switch i bridge, a komuniciraju na osnovu MAC adresa, pa je zbog toga komunikacija moguća samo u okviru LAN mreža. Ovaj sloj obezbeđuje detekciju greške, a nekada i korekciju. Uspostavlja *peer-to-peer* vezu između mrežnih entiteta. Blokovi podataka se konvertuju u ramove gde se ubacuju zaglavља koja sadrže kontrolne i adresne podatke, oznake početka rama, kontrolu pristupa medijumu. Deli se na MAC i LLC podsloj.
- Sloj mreže: Na ovom sloju se podaci konvertuju u pakete za prenos mrežom. Takođe, sloj mreže (treći sloj) je odgovoran za proces *rutiranja*. U ruterima se biraju putanje koje odgovaraju najkraćem ili najefikasnijem putu, u zavisnosti od postavljenih kriterijuma. Pored fizički najkraćeg puta, kriterijum se dopunjava zahtevom za najmanje opterećenim deonicama ili slično. Razlikujemo dva tipa rutiranja: statičko (u kome se uzimaju u obzir fiksni podaci o dužinama i cenama putanja) i dinamičko (u kome se mogu u obzir uzeti i trenutna stanja u mreži i tako izbeći zagušenje). Ovom sloju pripadaju uređaji kao što su ruteri i L3 svičevi.
- Transportni sloj: Ovaj sloj je zadužen za pouzdan prenos informacije između dva entiteta koji komuniciraju. Vrši kontrolu toka, segmentaciju i ponovno združivanje blokova podataka, kontrolu grešaka. Na osnovu servisa koje obezbeđuje data mreža, pruža se neophodan QoS (kvalitet servisa) za podatke sloja sesije. Ovde se prati tok podataka i inicira ponovni prenos kada je to potrebno.

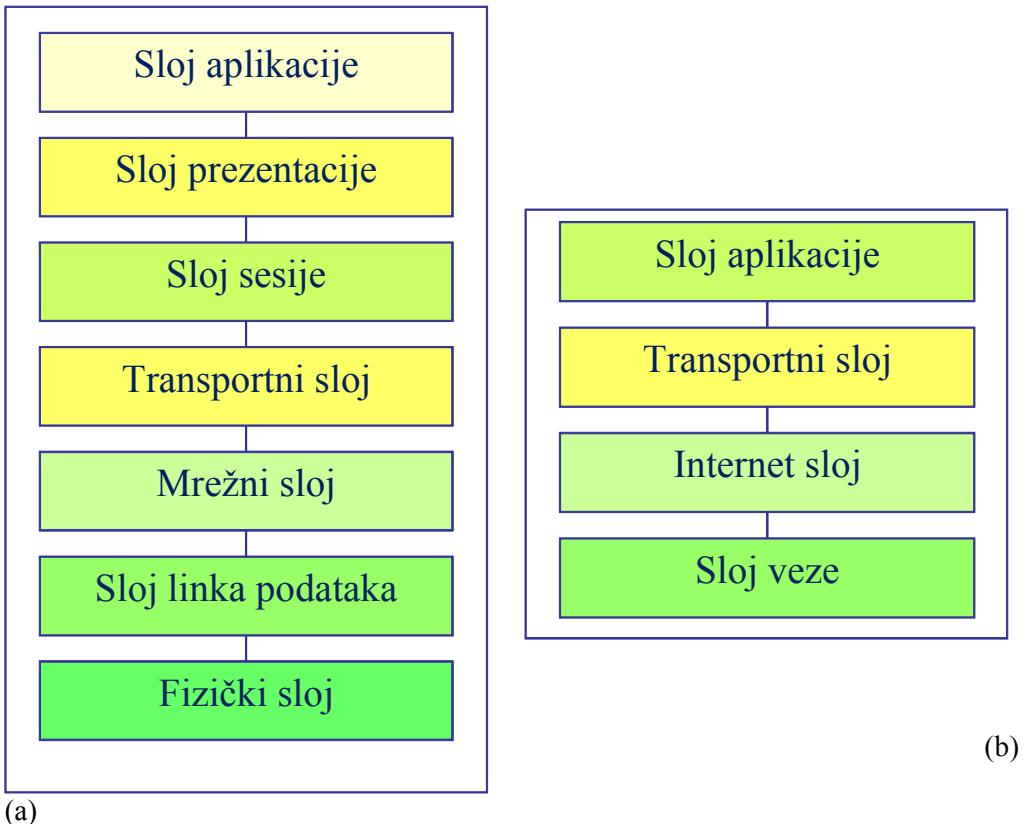
- Sloj sesije: vrši administriranje veze između čvorova (računara) mreže, tj. uspostavlja vezu između korisnika i maštine. Ovde se uspostavlja i raskida veza, kontroliše tip veze, obezbeđuje sinhronizacija. Sloj sesije je odgovoran za vrlo duge nizove podataka, kao što je EKG signal.
- Sloj prezentacije: Uloga ovog sloja je da primi informaciju od aplikacionog i učini je, posredstvom aplikacionog softera, u oblik koji je pogodan za dalju obradu od strane računara. U ovom sloju se vrši konverzija kodnih strana, odnosno ovaj sloj je odgovoran za enkripciju podataka pre uspostavljanja sesija sa destinacijom i slanja podataka na mrežu. U zavisnosti od operativnog sistema, koriste se različiti kodovi koji treba da prezentuju informaciju sloju sesije u formatu nezavisnom od maštine (računara).
- Aplikacioni sloj: predstavlja najviši (sedmi sloj) OSI modela koji podržava interfejs ka računaru ili ljudskom organizmu (u slučaju neke telemedicinske aplikacije). Jedan od primera funkcionalnosti ovog sloja može biti pisanje recepta koga, dalje, šalje farmaceutu.

#### 10.1.1. Internet slojevi

Internet protokol datira još iz prve mreže za prenos podataka koju je razvila *Defense Advanced Research Projects Agency DARPA* (Bezbednosna agencija za napredne istraživačke projekte u USA) sedamdesetih godina prošlog veka. Stoga je i IP model slojeva mreže, zapravo stariji od OSI modela. Njihov odnos je prikazan na slici 10.4.

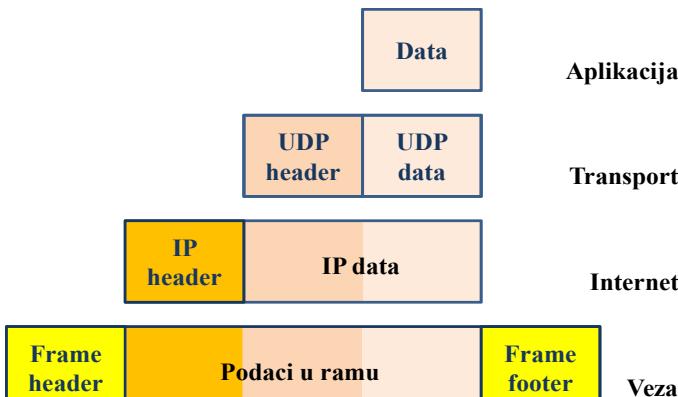
Arhitektura IP slojeva je definisana u RFC 1122 (*Request for Comments*), u kojima je definisano funkcionisanje IP mreže kao:

- Od kraja-do-kraja tako da se upravljanje i održavanje mreže postavlja na njenim krajevima. Razvoj mreže se zasniva na principima što veće brzine i jednostavnosti. Uslovi rada i realne potrebe su menjali ovaj koncept uvodeći *firewall*, *translatore* adresa.
- Primene treba da budu koncipirane tako da budu konzervativne pri slanju, a liberalne u prijemu. To znači da se sa predaje moraju slati dobro formirani datagrami, ali se istovremeno moraju primati bilo koji datagrami koje je moguće interpretirati.



Slika 10.4. Slojevi mreže: (a) OSI model; (b) IP slojevi.

Napomenimo da je Internet koncipiran kao način prenosa u *best effort* maniru. Dakle, kvalitet servisa se, generalno, ne garantuje. U međuvremenu su se razvili novi protokoli koji na izvestan način obezbeđuju kontrolu podataka.



Slika 10.5. IP slojevi: enkapsulacija podataka.

Enkapsulacija podataka u IP modelu je prikazana na slici 10.5, a za slučaj korišćenja UDP (*User Data Protocol*). Ovaj protokol se koristi u aplikacijama koje forisiraju mali *overhead* (dodatna količina podataka) i malo kašnjenje. Druga mogućnost, ili TCP (*Transport Control Protocol*) odgovara aplikacijama kod kojih se forsira provera grešaka i potvrda ispravnosti isporuke.

TCP detektuje probleme u prenosu, kao što su gubitak paketa ili prijem paketa *out-of-order*. Ovaj protokol zahteva retransmisiju podataka, rearanžira pakete prema redosledu za prikaz, nekada minimizira zagušenja. Koristi se od strane aplikacija kao što su *World Wide Web (WWW)*, *E-mail*, *FTP*, *streaming media* itd.

UDP, međutim, više pažnje posvećuje aplikacijama koje rade u realnom vremenu. Tako se za VoIP (*Voice over IP*, prenos govora po internetu) koristi RTP (*Real-time Transport Protocol*) koji radi nad UDP.

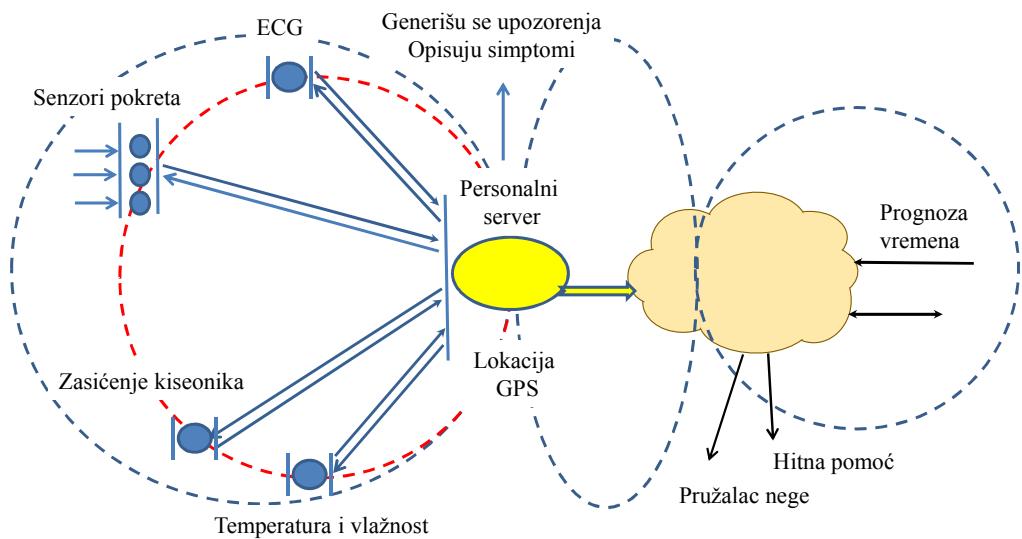
Navedimo još jedan od protokola koji je važan za aplikacije kod kojih se forsira kvalitet servisa, *Multiprotocol Label Switching (MPLS)*. To je multiprotokol kod kog se podaci kroz mrežu usmeravaju od čvora do čvora, zasnovano na kratkim labelama putanja umesto dugih adresa. Time se izbegavaju složene *look-up* tabele rutiranja. Labele identifikuju virtualne putanje umesto krajnjih tačaka. MPLS može da enkapsulira podatke iz različitih mrežnih protokola i podržava širok opseg pristupnih mrežnih tehnologija.

## 10.2. MREŽE ELEKTRONSKIH KOMUNIKACIJA U TELEMEDICINI

Ako imamo u vidu da su česte primene telemedicine vezane za monitoring pacijenata, i to u situacijama kada su oni u pokretu, zaključujemo da je veliki broj telemedicinskih mreža vezan za bežične mreže elektronskih komunikacija. Generalno, tu se radi o senzorskim mrežama na telu pacijenta, slika 10.6, u kojima se signali skupljaju u konzoli koja se nosi na telu (videti Glavu 2). Ovi se signali dalje prosleđuju bežičnim putem do nekog lokalnog servera, a zatim, mrežom koja je na raspolaganju, ka medicinskom centru. U velikom broju slučajeva, koristi se i GPS sistem radi lociranja nadgledanog pacijenta.

Posebna korist i prednost telemedicinskih servisa je ta da omogućavaju kvalitetne konsultacije i dijagnozu nezavisno od lokacije, posebno u slučaju udaljenih ustanova u nerazvijenom, ruralnom, području ili drugim lokacijama (prekoceanski brodovi, privremeni vojni objekti ili neki drugi kampovi, i slično) gde postoji nedostatak kvalifikovanog i specijalizovanog medicinskog osoblja. Ujedno, time se

obezbeđuje „drugo mišljenje“ radi potvrde ili opovrgavanja dijagnoze u netipičnim slučajevima.

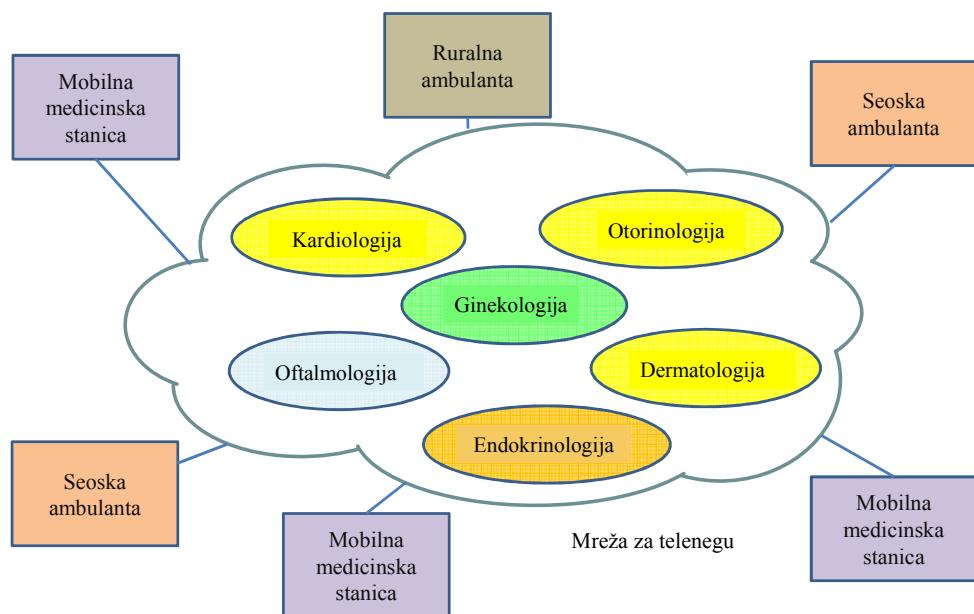


Slika 10.6. Mreža na telu pacijenta.

Naglogom razvoja telemedicinskih servisa, koji inače pokrivaju široke oblasti medicine, bilo da se odnose na telekonsultacije, bilo na telenegu, slika 10.7, doprinelo je i postojanje brojnih bežičnih sistema elektronskih komunikacija namenjenih različitim, jednostavnim i uobičajenim primenama u svakodnevnom životu. Ovakve mreže pokrivaju područja od nekoliko metara do hiljadu kilometara, i rade u različitim frekvencijskim opsezima. Tabela 10.2 sadrži osnovne podatke o frekvencijskim opsezima koji su namenjeni tehnikama prenosa u pojedinim tipovima bežičnih mreža, mogućim protocima i njihovom maksimalnom dometu.

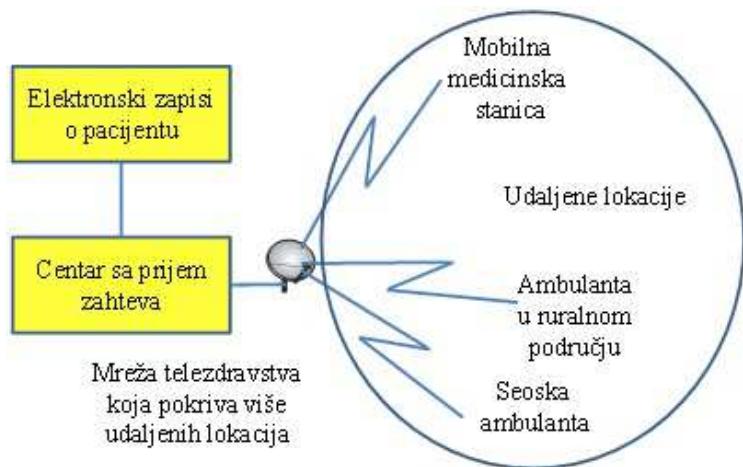
Tabela 10.2. Karakteristike najčešće korišćenih bežičnih sistema.

Tip mreže	Frekvencijski opseg	Protok	Maksimalni domet
<i>Bluetooth</i>	2.4 - 2.485 [GHz]	3 - 24 [Mbps]	300 [m]
<i>IR</i>	100 - 2000 [GHz]	16 [Mbps]	5 [m]
<i>Wi-Fi</i>	2.4 - 5 [GHz]	108 [Mbps]	100 [m]
<i>ZigBee</i>	900 [MHz]	256 [kbps]	10 [m]
Celularne mreže	800 - 1900 [MHz]	20 [Mbps]	5 [km]
<i>WiMAX</i> (fiksni)	10 - 66 [GHz]	1 [Gbps]	10 [km]
<i>LMDS</i>	10 - 40 [GHz]	512 [Mbps]	5 [km]



Slika 10.7. Mreža za telenegu.

Već na prvi pogled, jasno je da će veliki broj mreža u telezdravstvu i telemedicini biti bežičnog tipa, upravo zbog osnovne namene telemedicine i njoj pratećih oblasti. Dakle, primarno se pokrivaju ruralne, teško dostupne oblasti. Tu se podrazumeva i uključivanje udaljenih ambulanti, mobilnih medicinskih stanica, slika 10.8.



Slika 10.8. Mreža telezdravstva koja pokriva udaljene lokacije.

### 10.2.1. Različiti tipovi bežičnih mreža

Zadržavajući se samo na onim tipovima mreža koje mogu biti implementirane u telemedicini, ovde će biti navedena jednostavna objašnjenja njihovog načina rada [VAR09].

#### 10.2.1.1. *Bluetooth*

*Bluetooth* tehnologija je namenjena primenama u *ad hoc* mrežama u kojima je ukupna potrošnja snage 100-200[mW]. Razvijena je od strane *Ericsson*-a kao zamena za RS 232 interfejs. U ovoj tehnici se primenjuje adaptivno frekvencijsko skakanje kako bi se smanjila mogućnost štetnih elektromagnetskih uticaja. Za promene opsega na raspolažanju je 79 frekvencija razmaknutih za po 1[MHz]. Razlikuju se tri klase mreža, one koje imaju domet od 3[m], 30[m] ili 300[m]. Mreže sa najmanjim dometom, do 3[m], pripadaju klasi 3 i mogu se koristiti za mreže nosive na ljudskom telu [FON11].

#### 10.2.1.2. Mreže u infracrvenom području (IR)

Infracrveni opseg odgovara talasnim dužinama od 800-900[nm], tj. nalazi se između vidljivog dela spektra i mikrotalasnog područja. Mreže ovog tipa se koriste u noćnim uslovima (sunčeva svetlost sadrži takođe spektar IR). Ova se oblast deli na *near IR* (blisko infracrveno područje IR-A) koje se koristi za noćna snimanja i kratkotalasno IR područje IR-B. Infracrveno područje se može koristiti tamo gde postoji optička vidljivost. Kao izvori signala se koriste LED (*Light-Emitting Diode*), a na prijemnoj strani poluprovodnički fotodetektor.

Pored IR tehnike prenosa, postoji i Giga-IR koja omogućava protokole do 1[Gbps]. Ovo se često koristi i u prenosu EKG signala. Takođe se koristi i u virtuelnim studijima u produkciji televizijskih signala, gde su uobičajeno mreže kratkih dometa, tabela 10.2.

#### 10.2.1.3. Bežične *LAN* i *Wi-Fi*

IEEE (*Institution of Electrical and Electronic Engineers*) 802.11 standardi su rasprostranjeni u kućnim mrežama. Standardi IEEE 802.11 a/b/g/n definišu specifikacije na fizičkom sloju. Standard 802.11 radi na 5[GHz], a ostali u opsegu 2.4[GHz]. U ovom opsegu je moguće imati smetnje od bežičnih telefona, mikrotalasnih rerni i *Bluetooth* uređaja. Pokrivanje u ovim mrežama se može povećati povećanjem broja pristupnih tačaka.

*Wi-Fi* je razvijena iz standarda 802.11, koristi se za pristup internetu koristeći tačke pristupa koje se još zovu i *hot spots*. Ove mreže su pogodne za monitoring

pacijenata. Koriste se i za pokrivanja slobodnih prostora u kojima je omogućen besplatni pristup internetu.

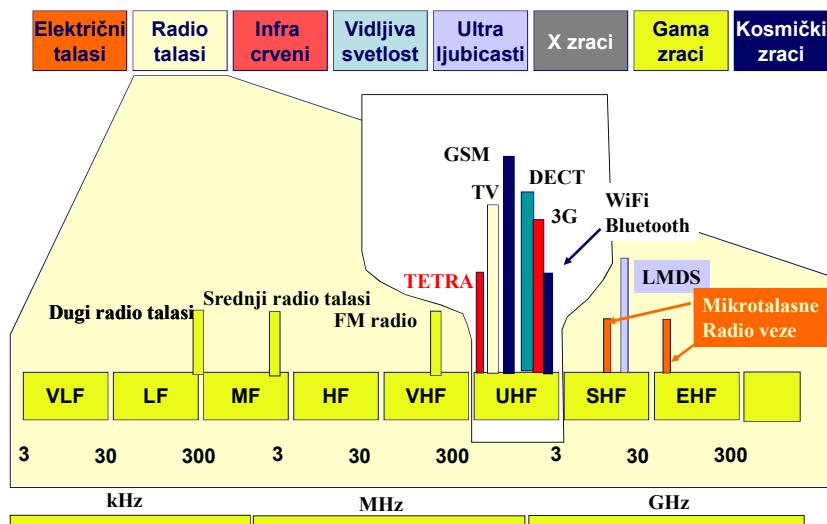
#### 10.2.1.4. ZigBee mreže

ZigBee predstavlja male uređaje koji se koriste u personalnim mrežama WPAN (*Wireless Personal Area Network*, bežične personalne mreže) u kojima primenjuju IEEE 802.15.4 standard [FON11]. Vrlo se jednostavno implementiraju i imaju malu potrošnju. Rade na frekvenciji 868 [MHz]. To je UHF područje koje je inače poželjno u primenama u elektronskim komunikacijama.

Ove se mreže koriste u zgradama, na primer za kontrolu pacijanata na *fitness* aparatima, u kontroli energetski efikasnih sistema, u robi široke potrošnje za kontrolu plejera (TV, DVD, itd.), za vezu miševa sa računarima, u kontroli rasvete i sistema za navodnjavanje zelenila, i sl. Za slučaj kontrole više uređaja koristi se *ZigBee* ruter za usmeravanje saobraćaja.

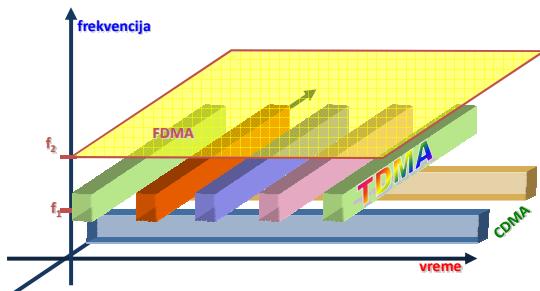
#### 10.2.1.5. Celularne mreže

Mobilne telekomunikacione mreže se često zovu celularnim, jer se najbolja podela područja koja opslužuju pojedine bazne stanice ostvaruje u celularnoj strukturi. Pokrivanje u ovim mrežama se uvek može povećati uvođenjem novih baznih stanica. Korisnici se mogu kretati u njima zahvaljujući principu *handover-a*, tj. uvođenjem mehanizma prenošenja kontrole i upravljanja sa jedne na drugu baznu stanicu, pri čemu postoji i područje u kojоj obe deluju.



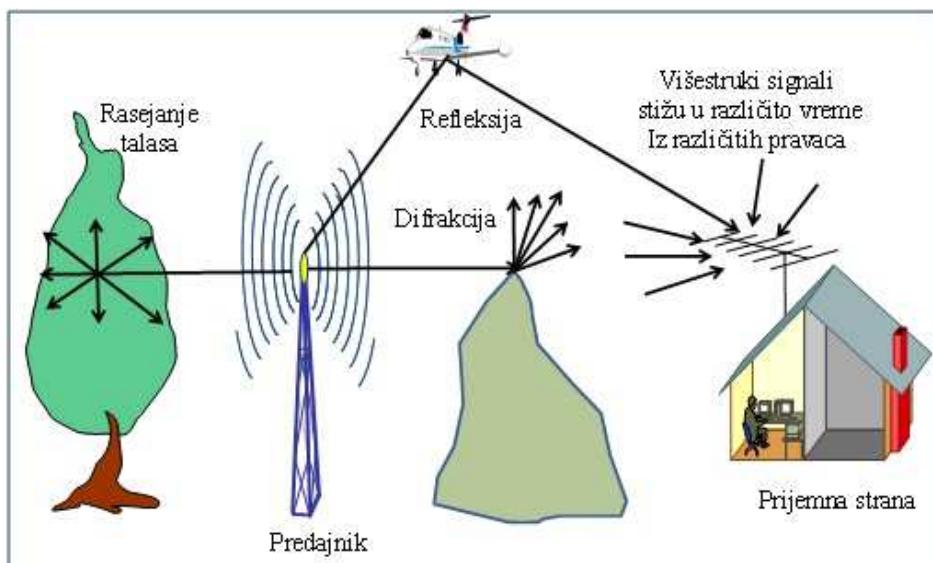
Slika 10.9. Elektromagnetski spektrar i "sweet spot" pozicija u spektru (UHF).

U prvim generacijama se pristup u mobilnim mrežama ostvarivao na bazi frekvencije, zatim na bazi vremenske raspodele. U 3G (telekomunikacioni sistemi treće generacije) sistemima, pristup se ostvaruje na bazi koda *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), slika 10.10. U mobilnim sistemima "4G" (*LTE, Long Term Evolution*), umesto *CDMA* pristupa se koristi mnogo efikasniji *COFDM* (*Coded Orthogonal Frequency Multiple Access*, pristup na bazi kodovanih ortogonalnih nosilaca).



Slika 10.10. Prikaz različitih pristupa multipleksu (FDMA, TDMA i CDMA).

Mobilni telekomunikacioni sistemi rade u frekvencijskim opsezima: 800 [MHz], 900 [MHz], 1800 [MHz], 1900 [MHz], 2.5 [GHz].



Slika 10.11. Prostiranje talasa u slobodnom prostoru.

S obzirom da je prenos u slobodnom prostoru neminovno praćen smetnjama i degradacijama, potrebno je sagledati prirodu tih pojava, slika 10.11. Uočava se rasejanje talasa na objektima, najčešće na zelenilu, koje ima za posledicu manju energiju signala na mestu prijema. U slobodnom prostoru dolazi do refrakcije talasa, kao i do pojave višestruke propagacije. Usled višestruke propagacije, mnogobrojni talasi "stizu" do prijemne antene praćeni raspršivanjem kašnjenja. U prisustvu dugih kašnjenja (velikog raspršivanja kašnjenja) signal koji nosi talas sa najdužim kašnjenjem deluje kao smetnja od stranih neželjenih izvora, tj. destruktivno. Kraća kašnjenja je moguće dobiti ako se koristi veliki broj nosilaca koji su međusobno ortogonalni. Tako se razvio prostup na bazi *COFDM*. Ovom tehnikom se postiže da maksimalno kašnjenje bude deo trajanja korisnog simbola, pa se simbol lako izdvaja.

Napomenimo da se tehnologija *COFDM*, IP zasnovane mreže, tehnika efikasnog zaštitnog kodovanja (kod LDPC, *Low Density Parity Check*), kao i neke dodatne tehnike koriste u većini sistema elektronskih komunikacija (kao što su 4G sistemi, televizijski terestrijalni i kablovski sistemi).

Mobilni telekomunikacioni sistemi se već duži niz godina koriste kao podrška telemedicinskim servisima [DJA00].

#### 10.2.1.6. Broadband Wireless Access (BWA)

BWA (Bežični širokopojasni pristup) podržava različite servise. Frekvencije nosioca u BWA aplikacijama mogu biti od nekoliko GHz do 40GHz. U ovu kategoriju spadaju i WiMAX, definisan IEEE 802.16 standardom, i LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) [FON11].

LMDS radi u frekvencijskim opsezima od 26 do 29 GHz. Rad na ovako visokim frekvencijama ograničava dužine linka do 2.5 kilometra, a usled slabljenja izazvanog padavinama. U slučajevima sistema tačka-tačka, povećava se dobitak antene, pa se povećavaju i dužine linka. LMDS se često koristi u telemedicinskim aplikacijama. Takođe se povezuju različite zgrade u medicinskom kampusu ovom tehnikom.

#### 10.2.1.7. Satelitske mreže

Satelitski sistemi nude vrlo velike kapacitete i kao takvi mogu biti interesantni za telemedicinske servise. Sa druge strane velika kašnjenja zbog realno velikog rastojanja onemogućava primene u kojima se zahteva interaktivnost, kao što je telehirurgija.

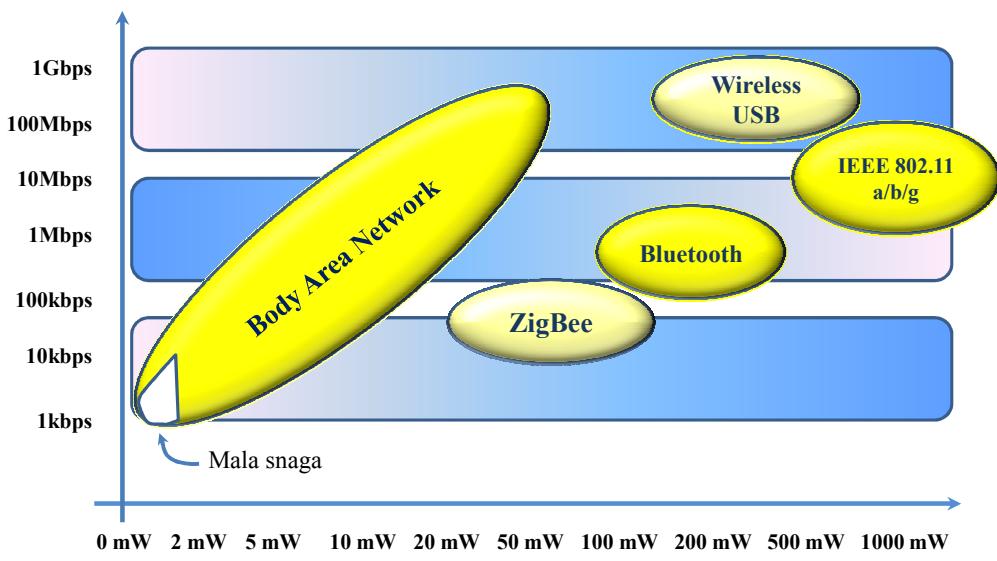
### 10.3. MREŽE NA LJUDSKOM TELU (BAN)

Monitoring pacijenata se ranije realizovao ožičenjem, kada je veliki broj provodnika ometao njihovo normalno funkcionisanje. Razvoj bežičnih sistema elektronskih komunikacija omogućava upotrebu znatno efikasnijih sistema od kojih se neki nalaze direktno na telu, a neki se čak mogu ugraditi u tkivo. Ovakva blizina senzora i ljudskih organa obezbeđuje kontinuirani monitoring fizioloških podataka bez obzira na njihovu lokaciju. Treba istaći da se monitoring odvija u realnim uslovima funkcionisanja pacijenta, pa su samim tim i rezultati verodostojniji.

BAN senzori se mogu podeliti u dve kategorije:

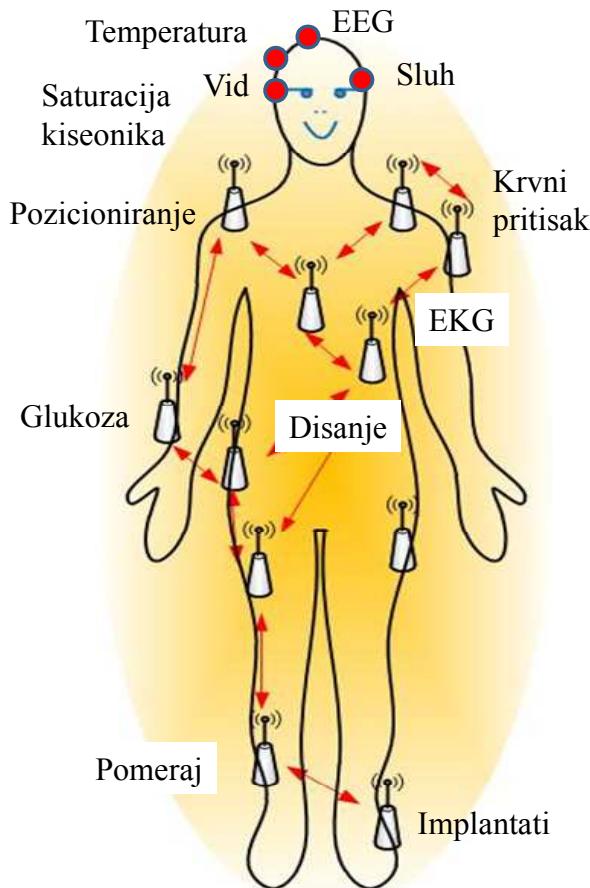
- Nosivi BAN se nalaze u blizini tela. To su jednostavni, lagani i jeftini minijaturni senzori koji omogućavaju korišćenje u dugom periodu. Ovo su najčešće korišćeni senzori.
- Implantirani BAN senzori se ugrađuju u ljudsko telo i pored monitoringa, imaju i mnogo važniju ulogu - akviziciju nekog od važnih podataka o ljudskom organizmu i, shodno tome, kontrolu uzimanja medikamenata koji čak mogu biti i ugrađeni u telo.

Za BAN je vrlo bitna procena štetnosti zračenja čije se snage, s obzirom da su u pitanju korišćenja frekvencija različitih opsega, moraju kontrolisati.



Slika 10.12. Odnos protok - snaga.

Na slici 10.12 su prikazane snage koje se koriste u opisanim bežičnim mrežama. Kao što se vidi, potrošnja implantata, posebno označena na slici pri malim snagama, je veoma mala.



Slika 10.13. Pozicije BAN senzora.

Zahtevi koji se postavljaju u dizajniranju BAN su:

- Faktor oblika: veličina i težina su ključne za upotrebu senzora jer direktno utiču na zadovoljstvo pacijenta.
- Potrošnja električne energije: vek trajanja baterija treba da bude što duži, a potrošnja uređaja što manja.
- Preciznost i realizibilnost: bez ovoga senzori nemaju smisla.
- Zaštita: mora se u potpunosti zaštititi privatnost pacijenta, a posebno obezbediti zaštita u slučajevima kada se vrši daljinsko upravljanje upotrebom medikamenata.

Grupa istraživača radi na koncipiranju standarda IEEE 802.15.6. kojim se definije BAN, što će biti podstrek za razvoj i implementaciju drugih sistema za monitoring različitih vitalnih parametara pacijenata. Najzad, na slici 10.14 su prikazane veze složenog telemedicinskog bežičnog sistema.



Slika 10.14. Bežični telemedicinski sistem i njegove funkcije [FON11].

## LITERATURA

- [BLO08] Bernd Blobel, Peter Pharow, Michael Nerlich, eds., *eHealth: Combining Health Telematics, Telemedicine, Biomedical Engineering and Bioinformatics to the Edge*, IOS Press, 2008, ISBN 978-1-58603-835-9.
- [DAR00] Adam William Darkins, Margaret Ann Cary, *Telemedicine and Telehealth - Principles, Policies, Performance, and Pitfalls*, Springer Publishing Company, 2000. ISBN 0-8261-1302-8.
- [DJA00] N. Djaja, B. Reljin, P. Kostić, I. Reljin, "Telemonitoring in cardiology – ECG transmission by mobile phone", *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 63-66, 2000
- [FIN09] Nancy B. Finn, William F. Bria, *Digital Communication in Medical Practice*, Springer-Verlag, London 2009, ISBN 978-1-84882-354-9.
- [FON11] Bernard Fong, A.C.M. Fong, C.K. Li, *Telemedicine technologies : information technologies in medicine and telehealth*, John Wiley & Sons, 2011, ISBN 978-0-470-74569-4.
- [HUS97] K.M. Hussain, D.S. Hussain, *Telecommunications and Networks*, Butterworth-Heinemann, 1997, ISBN 0 7506 2339X.
- [KLD11] Ekaterina (Eka) Kldiashvili, *Grid Technologies for E-Health: Applications for Telemedicine Services and Delivery*, Medical Information Science Reference, 2011, ISBN 978-1-61692-010-4.
- [REL00b] B. Reljin, I. Reljin, "Telemedicine in multimedia environment", pp. 22-107 in Spasic P, Milosavlijevic I, Jancic Zguncas M, Eds. (2000), text book "Telemedicine", Belgrade, Academy of Medical Sciences of Serbian Medical Association.
- [REL01] I. Reljin, B. Reljin, "Telecommunication requirements in telemedicine", *Annals of the Academy of Studenica*, Novi Sad, Yugoslavia, Vol. 4, pp. 53-62, 2001.

- [VAR09] Upkar Varshney, *Pervasive Healthcare Computing: EMR/EHR, Wireless and Health Monitoring*, 2009, ISBN: 978-1-4419-02 -146.
- [XIA08] Yang Xiao, Hui Chen, eds, *Mobile Telemedicine - A Computing and Networking Perspective*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008, ISBN-13: 978-1-4200-6046-1.



## *11. Android platforma*

Da bi se poboljšao kvalitet života pacijenta, potrebno je da pacijent može da pristupi telemedicinskoj aplikaciji sa bilo kog mesta i bilo kada. Razvojem novih otvorenih tehnologija, otvorena su i vrata razvoja ovakvih aplikacija i sistema. Mobilni telemedicinski sistemi predstavljaju kombinaciju naprednih uređaja za daljinsko nadgledanje, inovativnog softvera i hardvera koji daju mogućnost pružanja medicinskih servisa.

Za izradu jedne telemedicinske aplikacije potrebno je odabrati adekvatno okruženje za rad. Internet, kao rezultat konvergencije razvoja računara i telekomunikacija, predstavlja najčešći izbor za komunikaciju aplikacija. U skladu sa tim, koriste se *web*-orientisana okruženja za realizaciju telemedicinskih sistema. Tipičan primer su zdravstveni i telemedinski portali, specijalizovani za konkretnu kliničku namenu.

Razvoj ugradne mobilne tehnologije i informacione tehnologije (IT) u medicini doneo je napredak u telemedicini i pružanju telemedicinskih servisa udaljenom korisniku. Mobilnim telefonom omogućen je pristup internetu, čime je olakšano praćenje stanja pacijenta od strane lekara. Spajanje interneta i mobilnog računarstva pruža velike potencijale i stvara nove izazove u oblasti telemedicine. Pacijent putem interneta može da pošalje izmerene vrednosti i podatke sa svog

mobilnog telefona na udaljeni personalni računar lekara ili staratelja. Ovo je samo jedan primer razmene medicinskih podataka u okviru telemedicinskog sistema.

Razvoj telemedicinskih sistema upotrebom otvorenih rešenja nalazi svoju primenu u nadgledanju pacijenta. Mobilni uređaj postaje mobilni pristupni terminal za pružanje usluga monitoringa pacijentu. Ovlašćeni korisnici, bilo da je to pacijent, staratelj ili medicinsko osoblje, uvek i u svako vreme mogu pregledati podatke na *web* aplikaciji.

Danas, mobilne telemedicinske aplikacije dobijaju na sve većem značaju. Kako je mobilni telefon uređaj koji se obično nosi sa sobom, platforme koje su orijentisane za razvoj aplikacija na mobilnim telefonima su postale veoma popularne. Ovo važi i za druge slične uređaje, kao što su tablet računari. Postoji više raspoloživih platformi za rad (*iOS (iPhone OS)*, *Windows Mobile*, *RIM Blackberry OS* i druge), među kojima je u poslednje vreme sigurno jedna od najistaknutijih *Android* platforma.

*Android* platforma omogućava visok stepen prilagođavanja i slobode pri realizaciji namenskih aplikacija. Uređaji koji su izgrađeni na *Android* platformi, kao i njihov korisnički interfejs, svako može da prilagodi svojim zahtevima. Kada se pametni mobilni telefon (*smartphone*) koristi kao pristupni terminal za pružanje monitoring usluga pacijentu, on je povezan sa biosenzorskim uređajem koji beleži fiziološke parametre pacijenta. Podaci se mogu preuzeti iz senzorskog uređaja i prikazati na *Android* telefonu i/ili u okviru *web* aplikacije na radnoj stanicu (računaru).

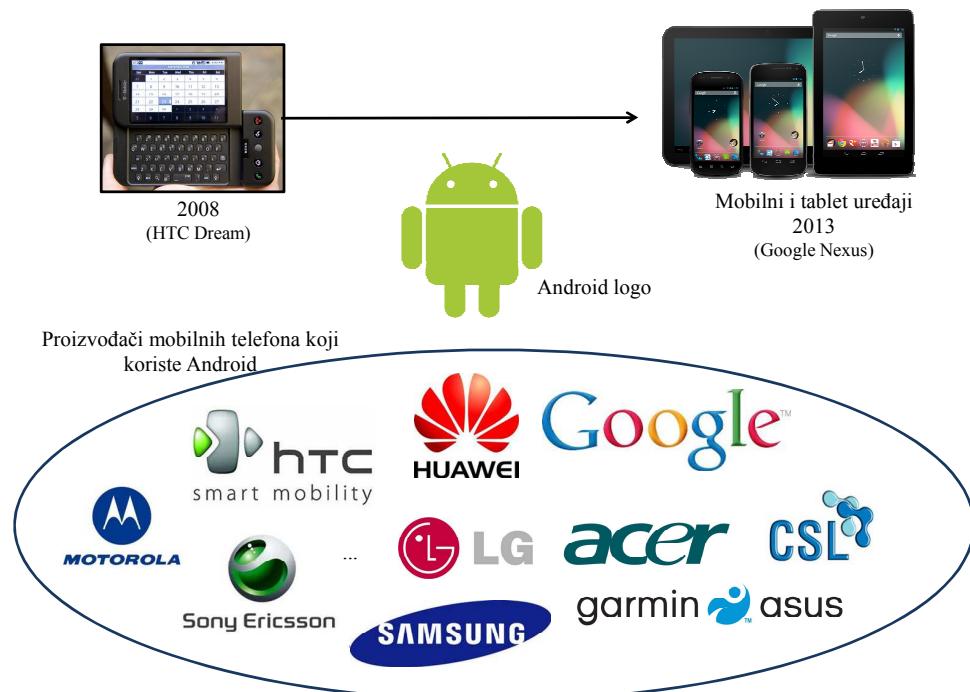
## 11.1. UVOD U ANDROID PLATFORMU

*Google* je 2005. godine kupio nekoliko malih kompanija, među kojima je bila *Android, Inc.* kompanija. *Android, Inc.* se tek razvijala i radila je na softveru za mobilne telefone. Smatralo se da je ovom kupovinom *Google* želeo ulazak na tržište mobilne telefonije. Razvojni tim u *Google*-u je radio na operativnom sistemu (OS) za mobilne sisteme koji je baziran na *Linux*-u. Proizvođačima mobilnih telefona ovaj OS je predstavljen kao fleksibilan i lako nadogradiv sistem što se kasnije pokazalo kao istina.

Nova alijansa pod nazivom *Open Handset Alliance* (OHA) osnovana je u novembru 2007. godine sa zajedničkim ciljem razvoja otvorenog standarda za mobilne uređaje. U njenom sastavu nalaze se najuglednije svetske telekomunikacione kompanije i druge zainteresovane strane. Očekivano je da će otvoreni standard ubrzati inovacije na području mobilnih operativnih sistema, što

će doprineti jeftinijim, efikasnijim i prihvatljivijim uslovima za korisnike i proizvođače.

Prvi proizvod koji je baziran na Androidu (Android 1.0) bio je pametni telefon T-Mobile G1 ili HTC Dream, tajvanskog proizvođača HTC, 2008. godine (slika 11.1). Danas, mnogi proizvođači mobilnih telefona (HTC, Nexus, Samsung, Sony Ericsson, LG, Motorola, itd.) koriste Android kao platformu. Pored Android platforme, na raspolaganju su i druge platforme pogodne za programiranje aplikacija, među kojima su operativni sistemi iOS (*iPhone*) i Windows Mobile [ALL10, MUN12, REY10].



Slika 11.1.Android i proizvođači mobilnih uređaja koji koriste Android platformu.

Android platforma se i dalje razvija, prihvata nove tehnologije i predstavlja pogodno okruženje za razvoj telemedicinskih aplikacija. Brzi razvoj Androida omogućile su jake kompanije koje predstavljaju sastavni deo OHA, ali i otvorenost koda i dobra organizacija. Platforma će se razvijati sve dok OHA bude zainteresovana za inovacije.

Android je projekat otvorenog koda (*open source*) [AND13a, AND13b, BUR10], koji je besplatan i prilagođljiv aplikacijama za konkretnе namene u

zdravstvu. Sadrži operativni sistem, međuopremu (*middleware*) i ključne mobilne aplikacije. Međuoprema predstavlja softver koji omogućava servise aplikaciji koji nisu raspoloživi od strane operativnog sistema. Programerima (*software developers*) međuoprema dosta znači u cilju uspostavljanja komunikacijskih servisa, pa njihova pažnja može biti usmerena ka samoj realizaciji aplikacije, odnosno njenoj nameni.

## 11.2. ARHITEKTURA I VERZIJE ANDROID-A

Arhitektura Android-a sastoji se od nekoliko slojeva (lejera). Osnovna arhitektura Android-a je prikazana na slici 11.2. Najniži nivo je zapravo *Linux kernel* 2.6, koji predstavlja sloj softvera koji razdvaja fizički nivo (harvder) od ostatka softvera. Sastoji se od skupa upravljačkih programa (*drivers*) (ukupno 8), među kojima su:

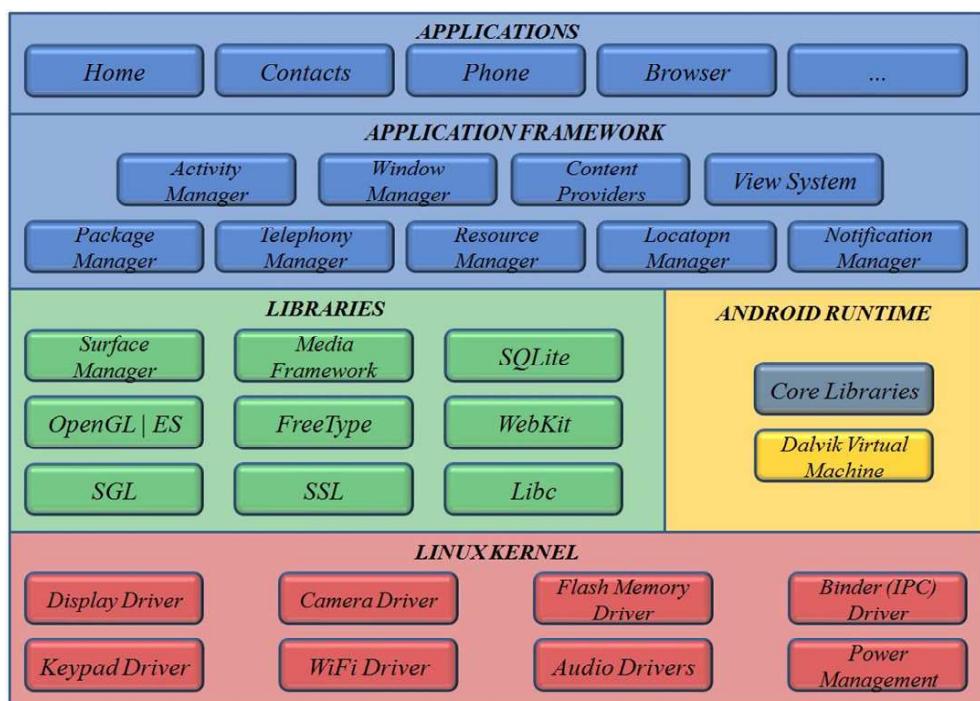
- upravljački program za prikaz (*Display Driver*),
- upravljački program za tastaturu (*Keypad Driver*),
- upravljački program za kameru (*Camera Driver*),
- upravljački program za *Wi-Fi* (*Wi-Fi Driver*),
- upravljački program za fleš memoriju (*Flash Memory Driver*),
- upravljački programi za audio (*Audio Drivers*),
- upravljački program za međusobnu komunikaciju (*Binder (IPC) Driver*) i
- upravljački program za kontrolu napajanja (*Power Management*).

Upravljački program za međusobnu komunikaciju, *Binder* ili *IPC (Inter-process communication)* upravljački program, služi za razmenu podataka u *on-line* komunikaciji (između različitih aplikacijskih entiteta) ili *off-line* komunikaciji (unutar entiteta).

Naredni, viši sloj platforme predstavljaju C/C++ biblioteke (ukupno 9):

- *Surface Manager*,
- *OpenGL | ES*,
- *SGL*,
- *Media Framework*,
- *FreeType, SSL*,
- *SQLite*,
- *WebKit*,
- *libc*.

*Surface Manager* predstavlja biblioteku koja upravlja prikazom grafičkog interfejsa. *OpenGL | ES* (*Open Graphics Library | for Embedded Systems*) i *SGL* (*Scene Graph Library*) su biblioteke koje opisuju rad sa trodimenzionalnom, odnosno dvodimenzionalnom računarskom grafikom. U slučaju trodimenzionalne računarske grafike, česta je potreba za renderovanjem (*rendering*), kojim se grafički prikaz realizuje na osnovu modela. Za potrebe snimanja i reproducovanja audio i video formata služi *Media Framework*. *FreeType* i *SSL* (*Secure Sockets Layer*) su biblioteke za regulisanje fonta i sigurnost pri komunikaciji, respektivno. *WebKit* (*engine*) je dizajniran za *web* pretraživače (i renderovanje *web* stranica). *Libc* predstavlja sistemsku biblioteku za sisteme koji su zasnovani na Linux-u.



Slika 11.2. Arhitektura Android-a.

Jedan od najvažnijih delova za funkcijonisanje Android platforme je *Android Runtime*, koji se sastoji od biblioteka koje su neophodne za funkcijonisanje programskog jezika Java (*Core Libraries*) i virtuelne mašine *Dalvik* (*Dalvik Virtual Machine*). *Dalvik* predstavlja sastavni deo Androida koji je optimizovan za rad na platformi predviđenoj za mobilne telefone i tablet računare. Fajlovi koji su kompatibilni sa Java virtualnom mašinom se često konvertuju u

Dalvik kompatibilne fajlove pre instalacije programa na uređaj. Taj program je pisan na Java programskom jeziku.

Treći sloj Android platforme odnosi se na aplikacijski okvir (*Application Framework*). Sastoji se od servisa koji:

- omogućavaju upravljanje aktivnostima (*Activity Manager*),
- omogućavaju upravljanje prozorima (*Window Manager*),
- omogućavaju pribavljanje sadržaja (*Content Providers*),
- omogućavaju prikazivanje (*View System*),
- omogućavaju manipulisanje instaliranim paketima (*Package Manager*),
- omogućavaju upravljanje izvorima podataka (*Resource Manager*) i lokacijama izvora (*Location Manager*),
- kao i servisima za potrebe telefonije (*Telephony Manager*) i obaveštavanja (*Notification Manager*).

Najviši sloj u arhitekturi Androida je aplikacijski sloj (*Applications*). On sadrži aplikacije koje su vidljive krajnjem korisniku, među kojima su:

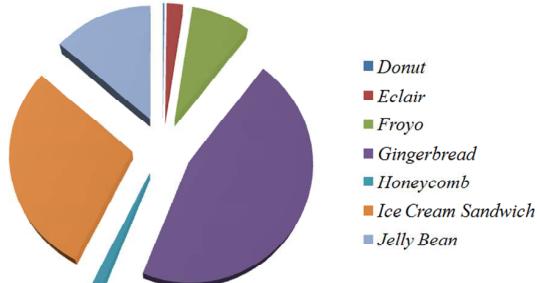
- glavni meni (*Home*),
- imenik (*Contacts*),
- telefon (*Phone*),
- pretraživač (*Browser*), itd.

One imaju funkcionalnost kao i kod drugih platformi koje odgovaraju mobilnim telefonima i tablet uređajima. Osim osnovnih aplikacija i/ili aplikacija koje su ugrađene (poruke, kalendar, kamera itd.), u ovom sloju se nalaze i ostale opcione aplikacije instalirane od strane korisnika, među kojima se najčešće podrazumevaju preuzete aplikacije sa mreže (*Android Market*-i, *Google Play*) [AND13c, GOO13].

Do sada je izšlo nekoliko verzija Android-a. Imena su dobijale po slatkišima i to po abecednom redu: *Donut* (verzija 1.6), *Eclair* (2.1), *Froyo* (2.2), *Gingerbread* (2.3-2.3.2, 2.3.3-2.3.7), *HoneyComb* (3.1-3.2), *Ice Cream Sandwich* (4.0.3-4.0.4), *Jelly Bean* (poslednje verzije 4.1, 4.2). API (*Application Programming Interface*) nivo predstavlja broj koji jedinstveno određuje okvir API revizije koja je predložena verzijom platforme. Novi okviri za API su dizajnirani tako da ostaju kompatibilni sa prethodnim verzijama platformi. Na slici 11.3 prikazana je statistika koja se odnosi na broj aktivnih uređaja koji koriste

određenu verziju Androida. Statistički prikaz je napravljen na osnovu dvonedeljnog pristupa Android uređaja *Google Play*-u.

Verzija	Naziv	API	Distribucija [%]
1.6	<i>Donut</i>	4	0.2
2.1	<i>Eclair</i>	7	2.2
2.2	<i>Froyo</i>	8	8.1
2.3-2.3.2	<i>Gingerbread</i>	9	0.2
		10	45.4
3.1	<i>Honeycomb</i>	12	0.3
3.2		13	1.0
4.0.3-4.0.4	<i>Ice Cram Sandwich</i>	15	29.0
4.1	<i>Jelly Bean</i>	16	12.2
4.2		17	1.4



4. Februar, 2013.

Slika 11.3. Verzije Androida.

### 11.3. ODABIR ANDROIDA SA ASPEKTA TELEMEDICINE

Odabir Android platforme za mobilne uređaje u okviru telemedicinskih sistema nije isključiv. Ovde je ova platforma izabrana, jer danas sigurno predstavlja jednu od najotvorenijih platformi za realizaciju telemedicinskih aplikacija.

Scenario koji uključuje mobilni uređaj, kao što je mobilni telefon i/ili tablet računar i predstavlja vezu korisnika, odnosno pacijenta sa predajne strane i korisnika/lekara sa prijemne može postati deo svakodnevnice. Pacijent u svom svakodnevnom okruženju uz pomoć senzorske mreže, AD konverzije, može obaviti prenos osnovnih zdravstvenih parametara. Akvizicija signala putem senzora može biti praćena dodatnim relevantnim podacima, kao što je informacija o tome gde se pacijent nalazi, putem GPS-a (*Global Positioning System*). Android aplikacija realizovana za namensku akviziciju podataka (puls, krvni pritisak, elektrokardiogram, itd.) koristi se za prikaz raspoloživih podataka i dalji njihov prenos. Tehnologija za prenos do prijemnika zavisi od trenutnih okolnosti.

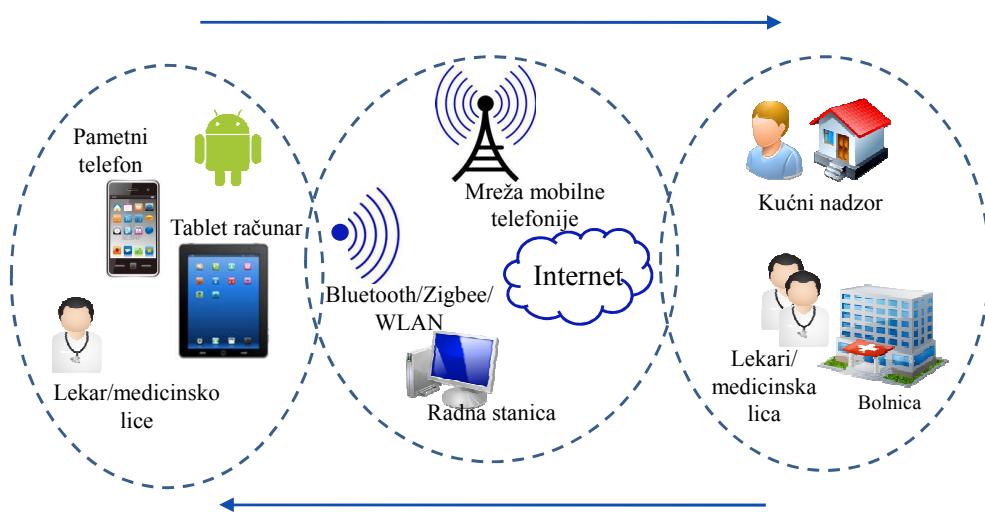


Slika 11.4. Telemonitoring baziran na Android platformi.

Osim pristupa koji uključuje razmenu podataka upotrebom raspoloživih sistema i tehnologija, kao što je upotreba interneta, mreže mobilne telefonije ili kablovske televizije, mogu se koristiti i tehnike za lokalni prenos do radne stanice (upotrebom *Bluetooth*, *Zigbee* ili *WLAN* pristupa). Podaci se direktno ili sa vremenskim kašnjenjem uz mogućnost dodatnih radnih stanica za analizu podataka šalju prijemnoj aplikaciji koja je sastavni deo sistema za monitoring (u okviru kućnog nadzora, određene lokalne ustanove (doma zdravlja), hitne pomoći, bolnice). Podaci mogu biti prenošeni i analizirani u okviru monitoringa u realnom vremenu ili češće u režimu sačuvaj-pa-prosledi (*store and forward*). Na prijemnom delu telemedicinskog sistema se može obaviti detaljna analiza pristiglih podataka (manuelna, poluautomatska, automatska). Automatizovana analiza je moguća upotrebom odgovarajućih softvera za analizu podataka određenog tipa ili više tipova zajedno. Podaci koji su dostavljeni se čuvaju u arhivi pacijenta. U slučaju da analiza pokaže abnormalne rezultate postoji mogućnost hitne intervencije. Staratelj u okviru kućnog nadzora može kontaktirati specijalizovanu medicinsku ustanovu ili medicinska služba može direktno intervenisati s obzirom da je poznato gde se pacijent nalazi (GPS). Neophodno je imati na umu moguće slučajne okolnosti kao što je prestanak rada senzora (baterije), izmeštanje senzora (spadanje senzora sa tela pacijenta), itd. Zbog toga je upotreba dodatnih načina za audio/video monitoring takođe potrebna (npr. korišćenje kamere na mobilnom uređaju). Telemedicinski sistem koji opisuje korisnika koji upotrebom pametnog mobilnog telefona upućuje zahtev za savet ili

rezultate dijagnostike iz svog prirodnog okruženja predstavlja drugačiji scenario, ali opet sličan ovom.

Osim predloženog scenarija upotrebe Android platforme od strane pacijenta (slika 11.4), aspekt upotrebe platforme je drugačiji kod lekara, odnosno medicinskog osoblja. U sistemima za pacijente, obavlja se prikupljanje podataka, memorisanje, monitoring, eventualno pretraživanje na osnovu raspoloživih medicinskih podataka pacijenta, dok se u sistemima za lekare koristi razmena podataka u drugačije svrhe. Putem Android platforme, lekar je u mogućnosti da pristupi relevantnim podacima u okviru kućnog nadzora pacijenta, podacima koji su raspoloživi u udaljenim zdravstvenim ustanovama (konkretnе baze podataka) ili da se usaglasi/konsultuje sa drugim stručnim licima. Takva komunikacija je dvosmerna (slika 11.5).



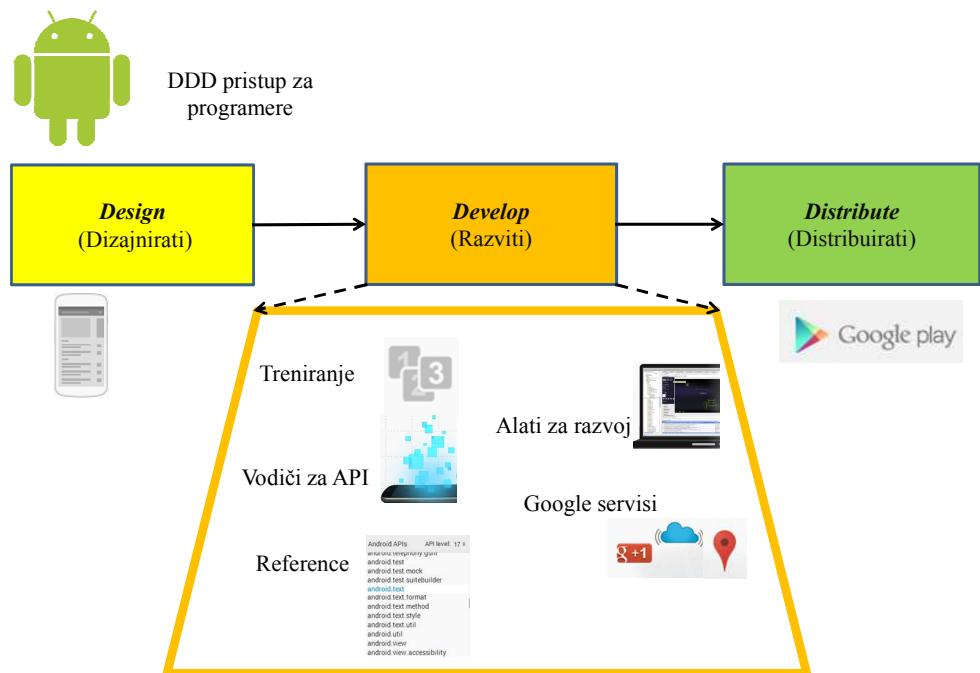
Slika 11.5. Upotreba Android platforme sa aspekta lekara/medicinskog lica.

Pametni telefoni i tableti predstavljaju sastavni deo savremenih telemedicinskih sistema. Od njih se očekuje da omoguće kontinuirano praćenje zdravstvenog stanja. Osnovna prednost Android aplikacija je da omogućavaju jeftino rešenje za univerzalni pristup podacima i njihovoj razmeni. Za potrebe ruralnih sredina često se razmatraju *cloud*-bazirani sistemi. Upotreba ovakvih rešenja pruža mogućnost za realizaciju brzih i isplativih telemedicinskih sistema.

## 11.4. RAZVOJ APLIKACIJA NA ANDROIDU

Otvoreno Android tržište je iz dana u dan bogatije novim aplikacijama, među kojima telemedicinske zauzimaju značajno mesto. Uredaji kao što su pametni mobilni telefoni i tablet računari su veoma pogodni zbog svoje raspoloživosti i činjenice da su postali deo svakodnevnice.

Raspoložive Android aplikacije pokrivaju neke osnovne mogućnosti upotrebe Android platforme i učinjen je samo inicijalni korak ka onome što ovakva platforma omogućava. Logično je za očekivati da potrebe korisnika sa aspekta zdravstvene nege i lečenja zajedno sa mogućnostima ovakvih platformi mogu doneti efikasna rešenja, koja su nekada bila nezamisliva.



Slika 11.6. DDD pristup za programere i razvoj aplikacija na Android-u.

Realizacija aplikacija na Android platformi je podređena jednostavnoj upotrebi. Da bi se jedna telemedicinska ili bilo kakva namenska aplikacija realizovala na Android platformi neophodan je osnovni alat, koji se naziva ADT

(*Android Developer Tools*). On uključuje *Eclipse* IDE softver (IDE - *integrated development environment*) i neophodne Android SDK (*Software Development Kit*) komponente za razvoj.

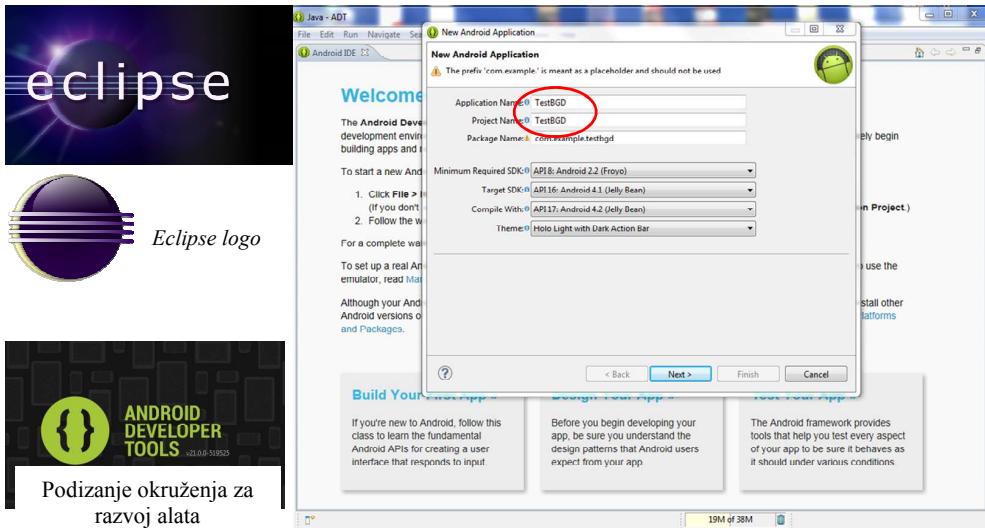
Za programere postoji tzv. DDD pristup realizacije Android aplikacije. DDD (*Design - Develop - Distribute*) pristup se sastoji od tri osnovna koraka: dizajnirati aplikaciju, razviti i distribuirati je (slika 11.6).

Prvi korak podrazumeva dizajniranje aplikacije, odnosno osmišljavanje izgleda namenske aplikacije. Na raspolažanju je veliki broj stilova i šablonu koji se mogu iskoristiti da bi konačni proizvod izgledao kao aplikacija vrhunskog dizajna prijemčiva korisniku i jednostavna za upotrebu. Drugi korak je osnovni korak koji se tiče razvoja, odnosno programiranja namenske aplikacije. Moguće je obučiti se za realizaciju aplikacija, naći vodiče za API, reference, alate za razvoj i pomoćne *Google* servise na zvaničnoj strani Android-a. Kada se aplikacija razvije, ona se dalje može distribuirati. Takva aplikacija postaje dostupna korisnicima na odgovarajućim Android marketima, čime one postaju spremne za preuzimanje i korišćenje u skladu sa predefinisanim uslovima (npr. nakon kupovine te aplikacije).

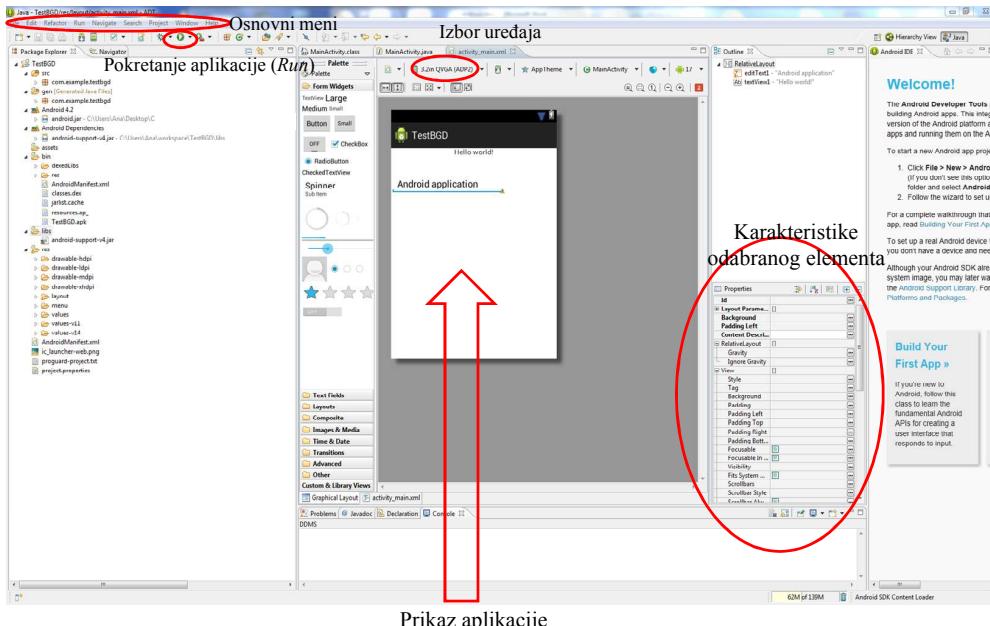
Mnogi kodovi su raspoloživi i otvoreni, pa se mogu koristiti kao sastavni deo aplikacija. Za potrebe treniranja, mogu se preuzeti primeri u vidu demo aplikacija. Nakon instaliranja osnovnog razvojnog Android alata i pokretanja *Eclipse* softvera, može se odmah krenuti sa razvojem Android aplikacije. Daćemo primer jedne aplikacije. Neka je njeni ime *TestBGD* (slika 11.7).

Na slici 11.8 prikazano je *Eclipse* razvojno okruženje. Kako obučavanje rada na Android platformi prevazilazi okvire ove knjige, biće opisan samo osnovni postupak za pravljenje inicijalnog koraka ka realizaciji jedne Android aplikacije. *Eclipse* razvojno okruženje ima zajedničke karakteristike sa bilo kojim razvojnim okruženjem; sadrži: osnovni meni, navigaciju, izbor radne površine (izbor uređaja i rezolucije), skup alata i elemenata koji se mogu koristiti na radnoj površini aplikacije, pregled karakteristika unetog elementa, itd. Prateća aktivnost odgovarajućih elemenata realizuje se pomoću Java programskog jezika.

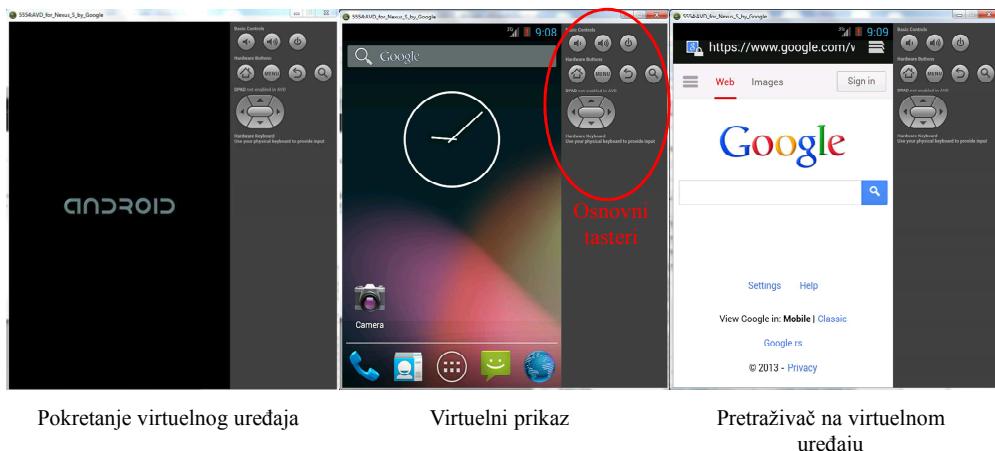
Kada se aplikacija realizuje i sačuva na odabranoj radnoj površini, može se pokrenuti pomoću tastera *Run*. Ako napisan kod ne prijavljuje greške, aplikacija se instalira na simulatoru mobilnog uređaja.



Slika 11.7. Razvojni Android alat i početak realizacije Android aplikacije.



Slika 11.8. Eclipse razvojno okruženje.



Pokretanje virtuelnog uređaja

Virtuelni prikaz

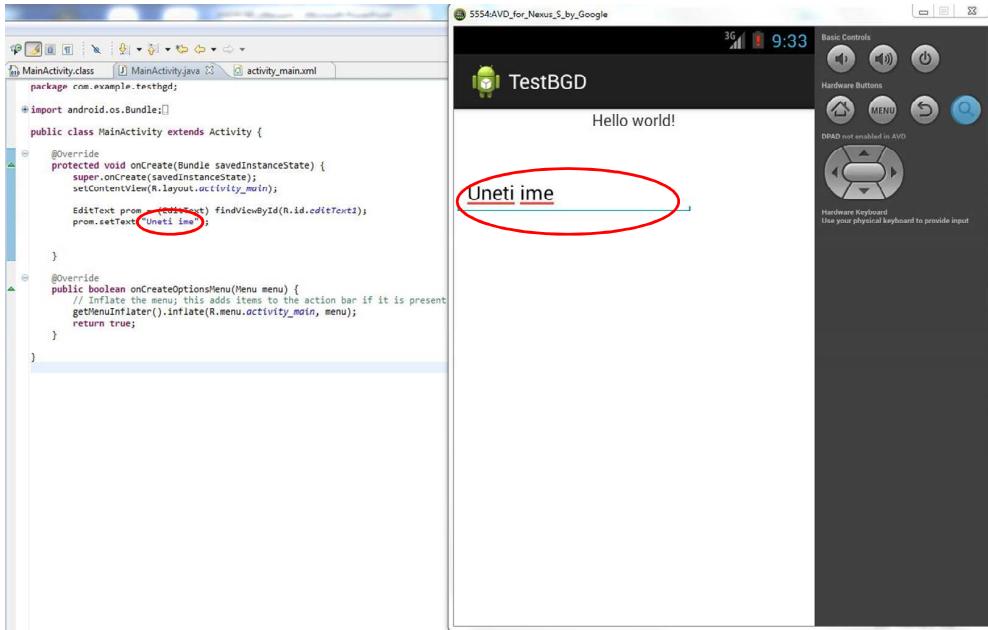
Pretraživač na virtuelnom  
uredaju

Slika 11.9. Virtuelni mobilni uređaj.

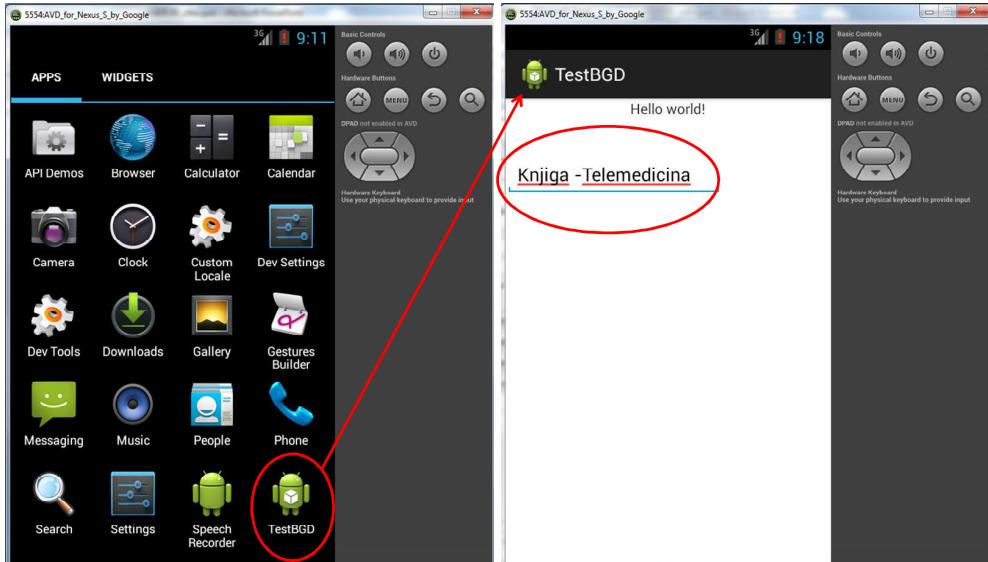
Simulator ima karakteristike prethodno odabranog uređaja (radna površina) za koju je aplikacija realizovana. Ovaj virtuelni mobilni uređaj sadrži osnovne tastere (*Home*, *Back*, tastere za manipulaciju gore-dole-levo-desno, audio kontrolu, itd.), ali i standardne aplikacije, kao što je internet pretraživač (slika 11.9). Na slici 11.10 prikazan je Java kod koji prati aktivnost elemenata za unos teksta i prateći izgled aplikacije na simulatoru. Početna vrednost promenljive je "Uneti ime" koja se prikazuje na ekranu. Nakon toga je moguće uneti proizvoljan tekst. Ovakvo i slična polja za alfanumerički unos podataka nalaze čestu primenu kod telemedicinskih aplikacija, jer predstavlja osnovni način da se određeni medicinski podaci prenesu od strane korisnika (npr. težina pacijenta, nivo šećera u krvi, itd.). Na slici 11.11 prikazana je test aplikacija *TestBGD* na simulatoru, čijim se pokretanjem (pritiskom na ikonu) prikazuje realizovana aplikacija i gde je novi tekstualni unos "Knjiga - Telemedicina" napravljen na mestu inicijalnog prikaza "Uneti ime".

Kao što se može sagledati na ovom jednostavnom primeru, pristup programiranju je prilagođen korisniku, ali zahteva poznavanje Java programskega jezika. Android SDK alati kompajliraju Java kod, zajedno sa podacima i datotekama koji daju izvorne podatke, u jedinstven Android paket (*Android package*), gde je konačan rezultat aplikacija spremna za instalaciju (ekstenzija *.apk*).

Aplikacija se dalje može distribuirati i instalirati na uređajima koji podržavaju Android platformu uz odgovarajuća ograničenja. Treba znati za koji uređaj je aplikacija namenjena i na kojim uređajima je ista testirana.



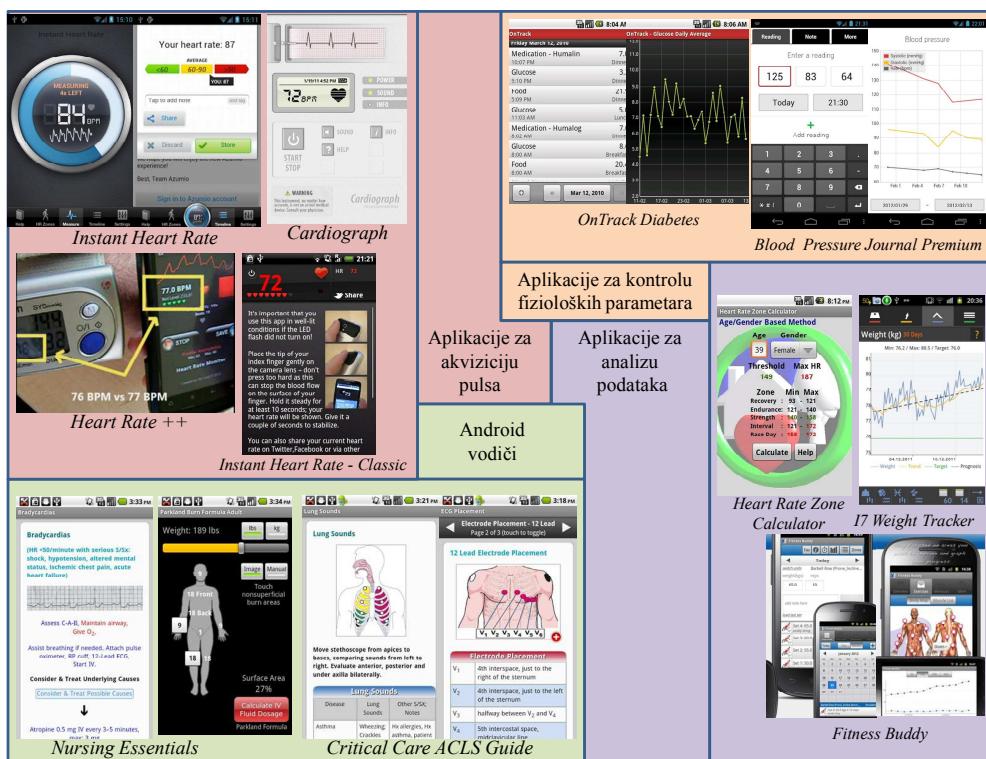
Slika 11.10. Java programiranje.



Slika 11.11. Testiranje Android aplikacije u okviru virtuelnog mobilnog uređaja.

### 11.5. TELEMEDICINSKE APLIKACIJE NA ANDROIDU

Realno je očekivati da će se izbor Android aplikacija koje se mogu koristiti u konkretnim telemedicinskim sistemima proširiti, s obzirom na sve veći broj raspoloživih digitalnih uređaja koji mogu učestvovati u mobilnoj kontroli zdravstvenog stanja (tablet računari, mobilni EKG, UV uređaji, odela opremljena fleksibilnim senzorima, i sl.).

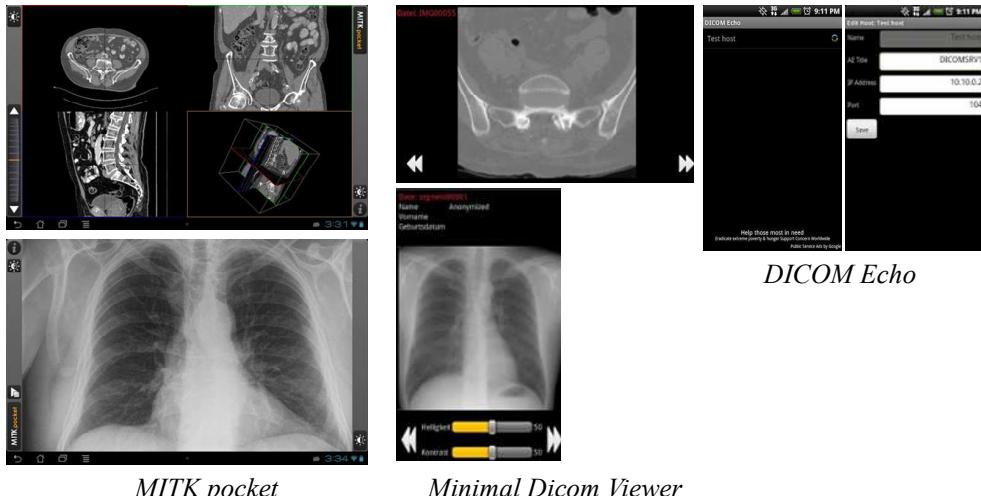


Slika 11.12. Primeri Android aplikacija.

U okviru servisa telenegi raspoložive su aplikacije (svaka sa svojim ograničenjima): za merenje pulsa, monitoring telesne težine, monitoring krvnog pritiska, kontrolu nivoa glukoze u krvi i drugih fizioloških parametara. Ovakve i slične aplikacije se mogu koristiti: za kućni monitoring, kontrolu u prirodnom okruženju, na poslu, za vreme fizičke aktivnosti (fitnesa, sporta, fizičkog rada), itd. Softver se može koristiti kao pomoćno sredstvo za edukaciju, pri čemu bi važne informacije bile objašnjene na ekranu. Može služiti za unos, prikaz i

analizu medicinskih podataka i pre svega za njihovu razmenu. Na slici 11.12 su prikazani neki od primera Android aplikacija, koji se mogu preuzeti sa [GOO13].

Izbor raspoloživih telemedicinskih Android aplikacija, odnosno Android aplikacija koje se mogu preuzeti i iskoristiti u potrebe telemedicinskog sistema uglavnom nije odgovarajući i često je potrebno pristupiti razvoju aplikacije koja zadovoljava potrebe telemedicinskog servisa koji se želi pružiti. Pored toga, može se napomenuti da su aplikacije koje podržavaju *real-time* akviziciju medicinskog signala kao što je elektrokardiogram zahtevnije, zbog dodatne opreme koja je potrebna pored pametnog mobilnog telefona ili tablet računara. Kada se akvizicija fizioloških parametara obavlja nezavisnim sistemom, razvijene su aplikacije za njihov svakodnevni unos, ali i statistički prikaz i kontrolu tokom dužeg vremenskog perioda. Aplikacije za analizu podataka i implementaciju jednostavnih metoda za inicijalnu evaluaciju zdravstvenog stanja na osnovu unosa su takođe česti primeri upotrebe Androida. Ipak, u slučaju ozbiljnijih analiza i implementacije naprednih tehnologija neophodna je dvosmerna komunikacija mobilnog uređaja sa računarom ili računarskim sistemom. Osim aplikacija za potrebe akvizicije i analizu podataka, popularne su i aplikacije koje predstavljaju vodiče za pružanje medicinske nege (za bolničarke, prvu pomoć, itd.).



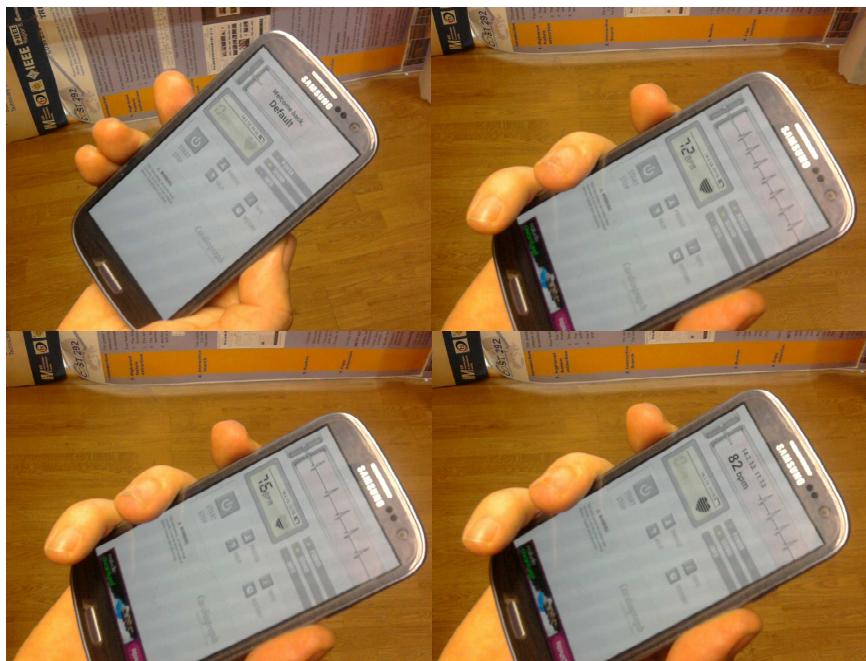
Slika 11.13. Android aplikacije koje su bazirane na delovima DICOM standarda.

Granica mogućnosti Android-a se jednostavno može sagledati na primeru analize medicinske slike. Iako su razvijene aplikacije za inicijalni pregled DICOM slika (*Dicom Viewer-i*) uz upotrebu inicijalnih alatki (za poboljšanje kontrasta,

zumiranje, merenje euklidskih rastojanja i sl.), one se ne mogu smatrati ozbiljnim medicinskim sredstvima za analizu. U tim slučajevima Android aplikacija se koristi za pružanje mogućnosti za osnovni pristup podacima ili osnovnu kontrolu nad ozbiljnijim udaljenim sistemom. Ali, Android aplikacije mogu poslužiti za obavljanje manjih aktivnosti, kao što je npr. "ping-ovanje" medicinske opreme ("echo" naredba DICOM standarda) da bi se testirala međusobna povezanost uređaja [GOO13].

Kako ograničenja za dodatnu upotrebu medicinske opreme postoje, Android aplikacije koje se bave realnom akvizicijom nisu česte. Iz tog razloga, trenutno su popularne aplikacije za akviziciju pulsa, jer akviziciju obavljaju pomoću ugrađene kamere u okviru samog mobilnog telefona. Postavljanjem prsta korisnika na sočivo kamere meri se pulsiranje krvi u prstu na osnovu osetljivosti same kamere, kao što je to slučaj sa Android aplikacijom *Cardiograph* (slika 11.14).

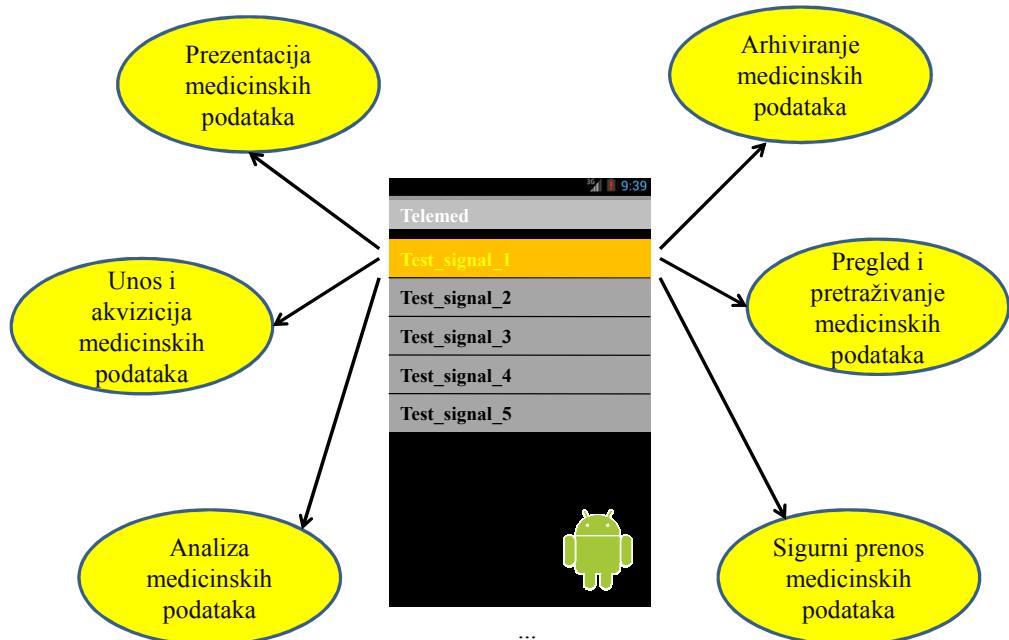
Osim pomenutih aplikacija, telemonitoring se razmatra i u slučajevima preciznijih tehnika merenja pulsa [SHI12a], praćenja naglih padova [SPO09], kada je potrebna kontrola upotrebe lekova [WAN09], itd.



Slika 11.14. Upotreba Android aplikacije *Cardiograph*.

Najčešći primeri ozbiljnijih telemedicinskih sistema koji su zasnovani na realnoj akviziciji signala i njihovom telemonitoringu upotrebom Android platforme su oni koji se bave akvizicijom EKG-a [CHU11, JOH11, SIL11]. Ovde kvalitet EKG-a koji se dalje prenosi putem pametnog telefona i njegov prikaz predstavljaju dva osnovna izazova. Svaku od ovakvih aplikacija čekaju brojna pitanja za pružanje kontinualne i kvalitetne zdravstvene mobilne zaštite (slika 11.15).

Najveći izazovi Android platformi u bliskoj budućnosti prete sa aspekta sigurnosti podataka koji se razmenjuju [SIX12]. Algoritmi i unapređenja koja nisu direktno vezana za telemedicinske aplikacije mogu biti ubuduće interesantne i za telemedicinske realizacije [KIM11, SHI12b, YOU11]. S obzirom na početak ovakvih istraživanja, pitanja standardizovanih korisničkih interfejsa i dizajna [DAN12, FAL09] odnose se samo na inicijalna razmatranja za potrebe razvoja Android telemedicinskih aplikacija. Upotreba otvorenih rešenja i mobilnih uređaja u telemedicinske svrhe u velikoj meri doprinose razvoju AAL (*Ambient Assisted Living*) aplikacija.



Slika 11.15. Izazovi za razvoj medicinskih i telemedicinskih servisa na platformi kao što je Android.

### LITERATURA

- [ALL10] S. Allen, V. Graupera, L. Lundrigan, *Pro Smartphone Cross-Platform Development: iPhone, Blackberry, Windows Mobile and Android Development and Distribution*, Springer Science, Business Media, LLC., 2010.
- [AND13a] *Android Web Page*, <http://www.android.com/>, accessed 15.02.2013.
- [AND13b] *Android for Developers*, <http://developer.android.com/index.html>, accessed 15.02.2013.
- [AND13c] Android market - Android tržište Srbije,  
<http://www.androidmarket.rs/>, accessed 10.02.2013.
- [BUR10] E. Burnette, *Hello, Android Introducing Google's Mobile Development Platform*, Pragmatic Programmers, LLC, 3rd Edition, 2010.
- [CHU11] V. Chudacek, L. Zach, J. Kuzilek, J. Spilka, L. Lhotska, "Simple Scoring System for ECG Quality Assessment on Android Platform", *Computing in Cardiology* 2011;38:449–451.
- [DAN12] J. Dańda, D. Kobylarz, "A common Interface to Transfer Data Between Telemedicine Devices and Smartphones for Monitoring of Chronic Diseases", *ITC'12 Proceedings of the 24th International Teletraffic Congress*, poster no. 18., 2012.
- [FAL09] B. Falchuk, "Visual and interaction design themes in mobile healthcare," *In 6th Annual International Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, MobiQuitous 2009*, pp. 1–10. IEEE, Los Alamitos (2009).
- [GOO13] *Google Play*, <https://play.google.com/store/apps/>, accessed 10.02.2013.
- [JOH11] L. Johannessen, "Assessment of ECG Quality on an Android Platform," *Computing in Cardiology* 2011;38:433–436.
- [KIM11] H. Kim, M. Lee, W. Han, K. Lee, I. Shin, "Aciom: Application Characteristics-aware Disk and Network I/O Management on Android Platform", *EMSOFT'11*, October 9–14, 2011, Taipei, Taiwan. pp. 49-58.

- [MUN12] J. Munro, *20 Recipes for Programming PhoneGap*, O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [REY10] M. Baxter-Reynolds, *Multimobile Development: Building Applications for the iPhone and Android Platforms*, Springer Science+Business Media, LLC., 2010.
- [SHI12a] K.Y. Shin, T.K. Kim, J.S. Song, S.O. Jin, "Remote Blood Pressure Monitoring using a Pulse Diagnostic System in TCM and Android-Based Tablet PC", *Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics - BHI*, Hong Kong and Shenzhen, China, 2-7 January 2012, pp. 647- 650.
- [SHI12b] E. Shihab, Y. Kamei, P. Bhattacharya, "Mining Challenge 2012: The Android Platform", MSR 2012, Zurich, Switzerland, pp. 112-115.
- [SIL11] H. Silva, A. Lourenco, N. Paz, "Real-Time Biosignal Acquisition and Telemedicine Platform for AAL Based on Android OS", *Proc. INSTICC International Living Usability Lab Workshop on AAL Latest Solutions, Trends and Applications*, Rome, Italy, January, 2011. pp. 111-121.
- [SIX12] J. Six, *Application Security for the Android Platform*, O'Reilly Media, Inc. 2012.
- [SPO09] F. Sposaro, G. Tyson, "iFall: An Android Application for Fall Monitoring and Response", *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Minneapolis, Minnesota, USA, September 2-6, 2009, pp. 6119- 6122.
- [WAN09] M-Y. Wang, J.K. Zao, P.H. Tsai, J.W.S. Liu, "Wedjat: A Mobile Phone Based Medicine In-take Reminder and Monitor", *2009 Ninth IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering*, pp. 423-430.
- [YOU11] D-H. You, B-N. Noh, "Android platform based linux kernel rootkit", *6th International Conference on Malicious and Unwanted Software*, pp.79-87., 2011.

# *Indeks*

## **A**

ACR-NEMA	63
AE	74
AET	74
aktuatori	175
akvizicija	138
fonokardiograma	
akvizicija podataka	16,25,29
Američki koledž za radiologiju - ACR	63
amplitudska rezolucija	34
Android aplikacije	213
Android platforma	199
aortni region	122
aplikacijski entitet	63
aplikacioni profili arhiviranja	68
aplikacioni server	16
aplikacioni sloj	185
arhitekture Androida	203
arterija	119
atrioventrikularni čvor	120
audio signal	56
auskultacija	123

## **B**

B slika	49,53
BAN	18,19,26,126,194
BAN senzori	195
<i>Basic Print</i>	82
<i>Basic Worklist Management</i>	82
bazilarna membrana	56
bežične telekardiološke mreže	131
bežični biosenzor	18
bežični širokopojasni pristup	193
bidirekciono prediktovana slika	50
blok	38,52
blokovska transformacija	39
<i>Bluetooth</i>	187,190
<i>broadcast</i>	179,181
BWA	193
<b>C</b>	
<i>Cardiograph</i>	215

## TELEMEDICINA

---

CBR	34	elektrokardiograf	129
CDMA	192	elektromiografski	135
CIF	53	šum	
cik-cak skeniranje	41	elektronske	1
COFDM	192	komunikacije	
<i>Conformance Statement</i>	83	elektronski karton	92,93,94
CT	61,101,109,152	pacijenta - EKP	
		element komande	73
		entropija	36
		entropijsko	46
		kodovanje	
<b>D</b>			
<i>data stream</i>	69	EOB	41
DCT transformacija	39	<i>Ethernet</i>	110,111
dekorelisana	34	e-zdravstvo	5
informacija			
depolarizacija	120	<b>F</b>	
dermatologija	13	film digitajzer	101
DHCP	71	filtriranje	140,142
DICOM	49, 61,62,66,117	kardiosignalna	
		fizički sloj	184
DICOM izveštaj	75	fonokardiogram	121,133
DICOM poruka	73	<i>forceps</i>	175
difrakcija refleksija	192	format odmeravanja	37
digitalizovan	162	fotoreceptor	28
mikroskop		frekvencijski domen	40
dijagnostička oprema	5	frekvencijsko	55
dijagnostički	156	maskiranje	
monitori		frontalno merenje	121
dilator	175	ftp	181
DIMSE	74,78,83	Furijeova	38
direktna predikcija	49	transformacija	
<i>Doppler</i>	123	<b>G</b>	
DSG	74	GOP	52
DVD	53,81	GPS	205
<b>E</b>			
EEG	25,69	građa oka	27
EKG	25,26,69	<i>grey scale</i> slika	29

## Indeks

---

grupa slika	52	informacioni objekat	81
		informacioni sistem	84,99,108
		bolnice	
		informaciono-komunikacione tehnologije	1
<b>H</b>			
H.262	52,54	intenzivna nega	27
H.263	54	interaktivne	13
H.264	51,54	telemedicinske veze	
H.265	51	interaktivni servisi	8
HAS	55	<i>interframe</i> kodovanje	49
HDTV	37,53	interkodovana slika	34
<i>header</i>	67	<i>intraframe</i> kodovanje	49
heksadecimalni brojevi	64	intrakodovana slika	34
heptički senzori	171	invertovani	160
HER	91	mikroskopi	
Hisov snop	120	inverzna talasna transformacija	44
histopatološki preparat	17	IOD	69,70,74,76,77
HL7	71,90,117	IP enkapsulacija	186
hosting aplikacija	68,89	podataka	
hrominentne komponente	31,32,36	IP slojevi	186
HRV - <i>heart rate variability</i>	135	IR	187,190
HSM - <i>hierarchical storage management</i>	106	ISCL	71
HTTP	71	ISO	54,65
http	180	ISO/OSI	69
HVS - <i>Human Visual System</i>	29,71	ITU	15,54
		<b>J</b>	
I slika	49,54	jednodimenzionalni signali	25
ICT industrija	4	JPEG 2000	43,48,66,69
identifikatori	64	JPEG 2000	49
IEEE	110	<i>Interactive Protocol</i>	
IEEE 802	194	JPEG DCT	38,48,66,69
indirektna predikcija	49	JPEG DCT koder	42
		JPEG kompresija	38
		JPIP	49

---

<b>K</b>			
kapilari	119	LDPC	193
kardiološki sistem	119	LMDS	187
klase servisa	68	luminentna komponenta	30,32,36
klijent	5		
klijent/server	49	<b>Lj</b>	
kodovanje sa konstantnim protokom	34	ljudski auditorni sistem	55
kodovanje sa promenljivim protokom	34	ljudski vizuelni sistem	29
kodovanje sa promenljivom kodnom reči	33		
komora	119	<b>M</b>	
komponentne slike	47	magnetna rezonanca	5
kompresija	46	makroblok	52
kompresija bez gubitaka	35	MAN	19
kompresija sa gubicima	35	maskirajući zvuk	55
kompresija slika	31	maskiranje	55
komprimovana slika	47	maskiranje unapred	55
koncept telemedicine	6	maskiranje unazad	55
konstantan kvalitet servisa	34	<i>Media Storage</i>	82
kontinualna talasna transformacija	44	mediateka	2
kosinusna transformacija	38	medicinski informacioni sistem	24
krvni pritisak	25	medicinski karton	16
krvotok	119	medicinski servis	2
		medicinski signali	23
<b>L</b>		MEMS	127
LAN	18,19,110,180	mikroskop	7
laparoskop	171	mitralni region	122
LCD monitori	110	MJPEG	47,52
LDAP	71	monitoring	8
		monohromatska slika	29
		MPEG	52
		MPEG-2	52,54
		MPLS	187
		mreža za telenegu	188
		mrežni protokol	86

## Indeks

---

MRI	61,101,109,152		
<i>multicast</i>	179,181	<i>Patient (Study, Results, Information) Management</i>	82
multimedijalne aplikacije	38	patolog	7
<i>Multiprotocol Label Switching</i>	187	PDU - <i>Protocol Data Unit</i>	183
murmur	13	<i>Performed Procedure Steps</i>	82
<b>N</b>			
NASA	14	piksel	29
negatoskop	151	PLC kodovanje	32
nekomprimovana	47	pododmeravanje	45
slika		popločavanje	44,47
NEMA	63	prediktivna slika	50
NEMA PS3	66	predobrada signala	136
N-EVENT-REPORT	83	srčanog ritma	
N-GET	83	pretkomora	119
NM	81	promenljiv kvalitet	34
nuklearni medicinski uređaji	5	servisa	
		prostorna suvišnost	32
		prostorni domen	40
		psihijatrija	13
		psihovizuelna suvišnost	32
		pulmonarni region	122
		Purkinjeova vlakna	120
<b>O</b>			
oblast pretraživanja	50		
<i>off-line</i> komunikacija	70	<b>Q</b>	
oftalmologija	23	QCIF	53
<i>on-line</i> komunikacija	70	QRS kompleks	133
<i>Open Handset Alliance</i>	200	<i>Query/Retrieve</i>	82
ortopan	154		
OSI	66,110,182		
OSI model	183	<b>R</b>	
<b>P</b>			
P slika	49,52	<i>Radio News</i>	13
PACS	61,67,99,110,118	radiologija	13
		RAID	106
		rasejanje	192
		razvoj aplikacija na	208

---

Androidu		SOP	73,75
rečnik podataka	64	spektralna analiza	56
referentna slika	49	spektralne komponente	30
region od interesa	46		
rekonstruisan signal	36	SQL	109
robotska ruka	171	srčane anomalije	135
ROI	46	srčani zalisci	122
ruter	18	standardizacija	15
		standardne sintakse prenosa	69
		štapići	28
<b>S</b>		statistička suvišnost	32
S1	133	statistički	34
S2	134	multipleksler	
S3	134	stetoskop	12,129
S4	134	<i>Storage Commitment</i>	82
SCP	74,82	<i>store and forward</i>	5,8
SCP-ECG	135	aplikacija	
SCU	74,82	<i>stream</i>	52
SDTV	53	<i>streaming media</i>	187
SDU - <i>Service Data Unit</i>	183	<i>streaming</i> protokol	49
sekundarno	153	struktura DICOM	85
generisane slike		poruke	
server	5	struktura podataka (DICOM)	68
servisi	144	šum granularne prirode	142
telekardiologije			
sinusatrijalni čvor	120	suvišnost	32
skener	5		
slabost srca	144		
<i>slice</i>	52		
sloj mreže	184	<b>T</b>	
sloj prezentacije	185	TCP/IP	65,187
sloj sesije	185	teledermatologija	159
sloj veze	184	teledijagnoza	16,18
slojevi	70	telehirurgija	19
slojevi referentnog modela	182	telekardiologija	117,124
<i>smartphone</i>	200	telekomunikacioni sistem	2
smpt	181	telekonsultacije	1,13
		telemedicina	3,4,12,15,16

## Indeks

---

telemonitoring	140	veza	
kardiosignalna		višestruko maskiranje	56
telenega	3	vitalne funkcije	26
telepatologija	159	vizualizacija ruta na	182
teleradiologija	151	internetu	
telezdravstvo	3,4,7,11	VoIP	187
telnet	181	vremenska suvišnost	32
temperatura tela	25,26	vremensko	55
TLS	71	maskiranje	
tomografija	123		
transverzalno	121		
merenje			
transportni sloj	184	<b>W</b>	
trikuspidalni region	122	W3C - <i>World Wide</i>	91
		<i>Web Consortium</i>	
		WADO	71
		WAN	180
		<i>wavelet</i>	43
		transformacija	
<b>U</b>		<i>Wi-Fi</i>	187,190
udisaj	26	WiMAX	187
UDP	187		
UHDTV	53		
UID	73	<b>X</b>	
ultrazvučna slika	141	xDSL	110
ultrazvuk	123		
unapređena	106		
inteligentna traka		<b>Z</b>	
<i>unicast</i>	179	zaglavljе slike	47
URL/URI	71	zasićenost	26
usaglašenost	65	kiseonikom	
		<i>ZigBee</i>	187,191,194
<b>V</b>		zvuk	55
VBR	34		
VCEG	54		
vektor pokreta	51		
vene	119		
ventrikula	120,134		
<i>verification</i>	82		
video standardi	53		
videokonferencijska	17		

Izdavač

**Akademска misao**

Primorska 21, Beograd

Tel./Fax: +381 11 3218 354

Marko Vujadinović dipl. el. inž.  
+381 63 30 10 75

marko.vujadinovic@akademска-misao.rs

Aleksandar Rašković, dipl. el. inž.  
+381 63 30 10 65

sasa.raskovic@akademска-misao.rs

**www.akademска-misao.rs**

**office@akademска-misao.rs**

---

CIP – Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

616-07:621.39(075.8)(0.034.2)

РЕЉИН, Ирини, 1952-  
Telemedicina / Irini Reljin, Ana  
Gavrovska. - Elektronsko izd.. - Beograd :  
Akademска misao, 2013

Način dostupa (URL):  
<http://akademска-misao.rs/images/isecci/Telemedicina.pdf>. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Dokument je u pdf formatu. - Opis izvora dana 18. 04. 2013.

ISBN 978-86-7466-458-2  
1. Гавровска, Ана, 1983- [автор]  
а) Медицина - Телекомуникациони системи  
COBISS.SR-ID 198029324

---