

## PROJEKAT TELEPATOLOŠKE MREŽE

Branimir Reljin<sup>1</sup>, Vojin Čučuz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrotehnički fakultet u Beogradu, <sup>2</sup>TeleGroup, Beograd

**Sadržaj:** *U radu se opisuje telemedicina, uopšte, sa posebnim naglaskom na razvoj telepatološke mreže. Pored pregleda stanja ove oblasti u svetu i Evropi, prikazuju se neki rezultati ostvareni u Srbiji, od 1997. godine.*

**Ključne reči:** *telemedicina, telepatologija, motorizovan mikroskop, virtuelna mikroskopija, snimanje celog slajda (WSI)*

### 1. Uvod

**Telemedicina** označava primenu informacionih i komunikacionih tehnologija radi prenosa medicinskih informacija u cilju dijagnoze, terapije ili edukacije, bez obzira gde se nalaze davalac zdravstvene usluge, pacijent, medicinska informacija ili oprema [1]. Mada je princip telemedicine relativno prost: prihvataju se podaci sa različitih senzora i prenose drugim centrima na obradu, analizu i dijagnozu, realizacija nije jednostavna, s obzirom na veoma složene tehničke zahteve, pre svega u pogledu obrade, prenosa, arhiviranja i pretraživanja ogromnog broja izuzetno velikih fajlova, kao što su medicinske slike. Eksplozivni razvoj hardvera i softvera poslednjih godina 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, uz primenu savremenih akvizicijskih uređaja, vrši na licu mesta: u seoskoj bolnici, ambulanti, bolničkom vozilu ili na terenu, dok se analiza signala i dijagnostika vrši u udaljenom centru koji ima vrhunsko medicinsko osoblje i kompletnu dijagnostičku opremu.

### 2. Kratak istorijat telemedicine

Razna tehnološka rešenja su, oduvek, nalazila primenu u medicini. Na primer, pronalazak telefona, 1875. godine (A. G. Bell), već 1900. dovodi do konstrukcije i primene električnog stetoscopa. Pronalazak triode, prve pojačavačke elektronske cevi, 1906. godine (Lee de Forest), omogućio je konstrukciju pojačavača slabih električnih signala koji opisuju vitalne funkcije organizma (kao što su EKG, EEG, EMG, itd.), a nakon komercijalne primene poluprovodnika, 50-tih godina prošlog veka, nastaje

eksponencijalni rast sve moćnijih (i jeftinijih) elektronskih uređaja koji nalaze primenu u medicini. Medicinske dijagnoze su danas nezamislive bez snažne elektronske podrške.

Zdravstvene usluge i informacije pružene na daljinu prisutne su dugo vremena. Ne računajući razne neelektrične načine komuniciranja na daljinu (na primer, slanje uzoraka lekaru po kuriru ili poštom), već 1906. godine je W. Einthoven, "otac elektrokardiografa", telegrafskom vezom slao snimke električne aktivnosti srca, poznate kao elektrokardiogram (EKG), a 1910. su otkucaji i šumovi srca registrovani električnim stetoskopom i prenošeni na daljinu telefonskim linijama. Šira praktična primena telemedicine nastaje nešto kasnije, ostvarivanjem radio veze sa brodovima i ostrvima, i to, najpre, u Norveškoj (bolnica Haukeland), 1920. godine, zatim, 1935. Italija formira Međunarodni radio-medicinski centar (*International Radio Medical Center*), Francuska formira Centar za pomorsku zdravstvenu zaštitu (*Centre of Maritime Health Care*), 1945. Svemirska trka između SAD i SSSR, od 50-tih godina prošlog veka, znatno je ubrzala razvoj mnogih grana nauke i tehnike, uključujući i telemedicine.

Kao kuriozitet, navedimo da je u časopisu *Radio News*, aprila 1924. godine, data fotomontaža koja prikazuje lekara kako sa ekrana dodatog uz radioprijemnik posmatra pacijenta, slika 1 [1]. Ilustrator je, očigledno, imao veliku moć predikcije jer je te godine Zvorikin tek pronašao ikonoskop, a elektronska televizija je ostvarena čak pet godina kasnije, 1929. godine!



Slika 1. Faksimil naslovne strane časopisa *Radio News*, iz aprila 1924. godine.

Smatra se da telemedicina u savremenom obliku datira od 1957. godine, kada je dr Albert Jutras, radiolog iz Montreala, Kanada, ostvario prvu teleradiološku vezu.

Neznatno kasnije, 1959. godine, dr Cecil Wittson sa Psihijatrijskog instituta u Omahi, Nebraska, SAD, je ostvario prvu interaktivnu audio-vizuelnu vezu sa Norfolkom, gradom koji je oko 180 km severozapadno od Omahe, u cilju telepsihijatrije i teleedukacije. Krajem 60-tih godina ostvarena je dvosmerna mikrotalasna audio-vizuelna veza između Opšte bolnice u Bostonu, Masačusets, i međunarodnog aerodroma Logan, radi obezbeđenja hitnih intervencija putnicima aerodroma. Projekat satelitskih video-konsultacija je uveden u Aljasci, 1971. godine, radi zdravstvene zaštite u ruralnim područjima. Iz sličnih razloga je u Australiji, 1984, započet projekat telemedicine u cilju zdravstvene zaštite Aboridžanima, u retko naseljenom severozapadnom delu zemlje.

U Evropi je savremen telemedicinski program započeo 1988., najpre u Norveškoj, povezujući razvijen i gušće naseljen jug zemlje sa ruralnim delovima na severu. Projekat je startovao sa telepatologijom, a kasnije su servisi proširivani na druge oblasti medicine. Telemedicinski servisi su uvedeni i u drugim evropskim zemljama: u Francuskoj, Velikoj Britaniji, Nemačkoj, Grčkoj, Portugalu, Španiji, itd. Značajni rezultati su ostvareni u slučajevima elementarnih nepogoda, na primer, u Jermeniji, 1988. godine, nakon zemljotresa, kada je korišćena NASA-ina svemirska oprema za jednosmeran prenos videa, glasa i faksimila između medicinskih centara u Jermeniji i Rusiji i četiri medicinska centra u SAD. Mnogi nerazvijeni delovi u Africi (Gana, Burkina Faso) su posredstvom telemedicine dobijali neophodnu zdravstvenu pomoć [2].

Uporedo sa uvođenjem telemedicine u pojedinim državama, realizovani su i projekti povezivanja više zemalja, pretežno u cilju istraživanja mogućnosti telemedicine. Evropska zajednica je 1996. godine finansirala projekat EUROMED, gde je promovisan novi web-baziran koncept za pristup medicinskim bazama podataka i obezbeđenje dijagnostičkih servisa. Pored više zemalja Evrope, tu je učestvovala i ekipa iz Beograda, pod rukovodstvom profesora Zorana Jovanovića, sa Elektrotehničkog fakulteta, koja se bavila 3D modelovanjem i virtuelnom realnošću u (tele)medicini [3]. Projekat EUROPATH, iz 1997. godine, povezivao je veći broj medicinskih centara Evrope. Unutar okvirnog programa Eureka je podržan projekat PathSystem, 1998. godine, koji je bio prototip sistema za upravljanje u patologiji, na osnovu najnovijih (u to vreme) telematskih principa i tehnologija. Godine 2000. je, unutar FP5 okvirnog plana, finansiran projekat 3D-PATHOLOGY, koji se bavio realnim sistemom za kvantitativnu dijagnostiku u patologiji i 3D vizualizaciju, a 2001. godine je, unutar projekta E-SCOPE, istraživana potpuno digitalna mikroskopija za rutinsku dijagnozu unutar bolničkog informacionog sistema [4].

### 3. Telemedicinski servisi i oblasti primene

Današnja telemedicina nudi bezbroj servisa, koje ćemo ukratko navesti. Primitimo da ova podela nije stroga i da se neka specifična telemedicinska aplikacija može pojaviti kao kombinacija navedenih kategorija.

**Tele-konsultacija** označava daljinski pristup znanju ili ekspertima u pojedinim medicinskim specijalnostima. Ovaj model podrazumeva pojedinačne slučajeve saradničkog rada u cilju donošenja zajedničke odluke ili dobijanja "drugog mišljenja".

**Tele-dijagnostika** je postupak davanja dijagnoze od strane udaljenog lekara. Udaljeni lekar mora imati interaktivan pristup slikama pacijenta (tele-prisustvo), ili se dijagnoza izvodi obradom informacija koje su primljene preko telematičkih sistema

koristeći “snimi i pošalji” (*store-and-forward*) postupak, što je češći način rada za daljinsku dijagnostiku.

**Tele-monitoring** jeste daljinsko monitorisanje fizioloških parametara pacijenata. Ovaj način usluge se koristi kod hroničnih i/ili visoko rizičnih pacijenata, npr. daljinski monitoring visoko rizičnih trudnica ili u slučaju postoperativne kontrole bolesnika.

**Tele-nega** označava korišćenje telekomunikacionih sistema za pružanje daljinske asistencije u terapiji pacijenata. Ovi servisi se široko koriste za monitorisanje starih osoba u njihovim kućama, npr. monitorisanje fizioterapeutskih postupaka, mentalnih bolesti i stanja hroničnih pacijenata.

**Daljinski klinički konzilijumi** se, uobičajeno, obavljaju interaktivno, video-konferencijskim sistemom, i ogledaju se pre svega u daljinskom pristupu kliničkim konzilijumima, u toku kojih više lekara različitih specijalnosti diskutuje o dijagnostičkom slučaju. Normalno, ove aplikacije koriste multimedijalne alate (podržavaju različite formate informacija, kao što su tekst, slike, zvučni i video zapisi), sa efektom koji je sličan klasičnim kliničkim konzilijumima.

**Daljinska edukacija** se koristi da olakša obuku specijalista, istraživača, lekara i bolničkog osoblja, uopšte. Sistem predstavlja mogućnost za kreiranje virtualnih učionica sa daljinskim učiteljem.

**Daljinski pristup bazama podataka** je jedna varijanta daljinske edukacije, ali bez učitelja. Informacije mogu biti strukturane kao multimedijalni dokumenti. Primeri ove vrste servisa uključuju i zahteve za laboratorijskim pretragama upućene od strane doktora laboratoriji ili daljinski pristup bolničkim listama za zakazivanje pregleda.

Neka varijanta ovog servisa su i baze opštih i specijalizovanih medicinskih podataka, javno dostupnih (sa razlikom da li se radi o medicinskim profesionalcima ili pacijentima), kao su MEDLINE [5], Virtual Hospital, Univerziteta u Ajovi [6], SNOMED (Systematized Nomenclature of Medicine) [7], itd.

#### 4. Razvoj telemedicine u Srbiji

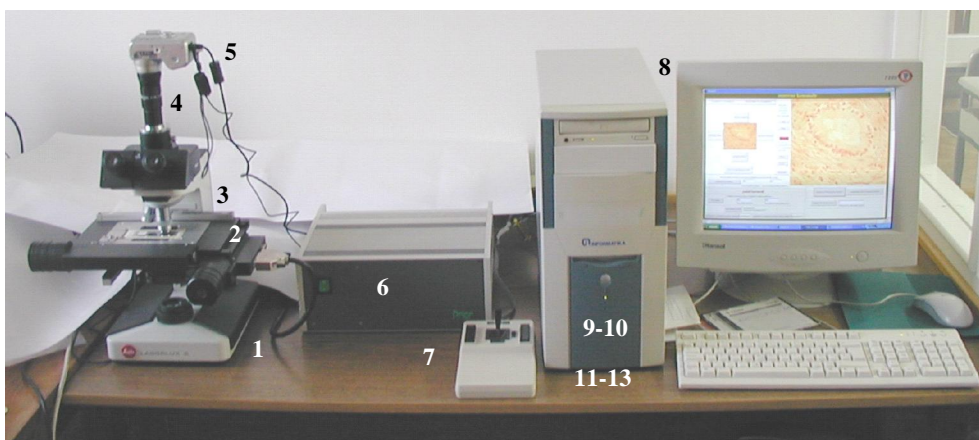
Telemedicina se 90-tih godina razvijala i u Srbiji, uprkos teškoj situaciji u zemlji usled sankcija, hiperinflacije, i ratnih dejstava. Na Vojnomedicinskoj akademiji (VMA) u Beogradu, još 1995. godine je započela digitalizacija ogromne biblioteke klasičnih staklenih slajdova, na Institutu za patologiju i sudsku medicinu, pod rukovodstvom prof. dr Petra Spasića i dr Ivice Milosavljevića. Godine 1997. je na VMA osnovan Telemedicinski centar [8] i uspostavljena je stalna telepatološka veza između VMA u Beogradu i Vojne bolnice i Instituta za patologiju Medicinskog fakulteta u Nišu. Uprkos relativno skromnoj tehnologiji, ta telemedicinska veza se pokazala veoma sigurnom, u stalnoj je funkciji, a ostvareni su impresivni rezultati uključujući i ex-tempore analize (kada se uzorak uzimao u Nišu, za vreme operacije, a snimak se slao na dijagnozu u Beograd). Pored stalne veze sa Nišom, VMA je imala nekoliko eksperimentalnih veza sa drugim medicinskim centrima: u Podgorici, Sremskoj Kamenici, sa KBC Bežanijska Kosa, a pored digitalizovanih mikroskopskih slika vršen je i prenos radioloških slika, o čemu je referisano na više mesta [9,10]. Značaj osnivanja ovakvog centra je prepoznat u svetu [11, str. 122].

U istraživački rad na razvoju telemedicine uključila se i Laboratorija za digitalnu obradu slike, telemedicinu i multimediju, sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, od

1997. godine. Pored saradnje sa VMA, realizovan je telemikroskopski sistem ADM (automatski digitalizovan mikroskop), slika 2, kojim se može upravljati i vršiti akvizicija slika sa proizvoljno udaljene lokacije [12]. Razvijen je i program za obradu digitalizovanih snimaka i fuziju više individualnih snimaka sa istog staklenog slajda u jedan mega-slajd.

## 5. Savremena telepatološka mreža

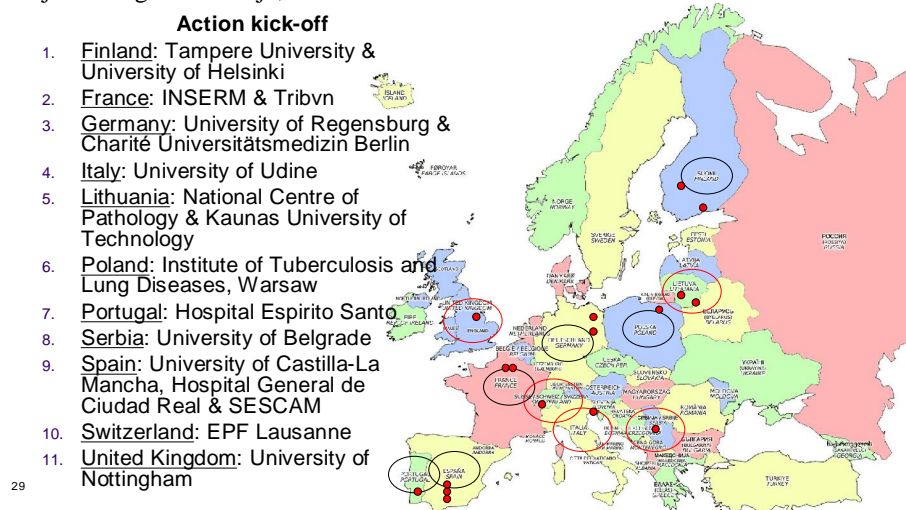
Telepatologija predstavlja jednu od najznačajnijih telemedicinskih usluga. Patologija je značajna za donošenje dijagnoze i zaključka o malignitetu, i neophodna je u svim hirurškim intervencijama. Međutim, ova specijalnost je deficitarna, uopšte, a patolozi su neravnomerno raspoređeni po medicinskim centrima. Ove činjenice dodatno ukazuju na značaj telepatologije i potrebu za uvođenjem ovog servisa, i to u globalnom vidu, web-orijentisano. Prepoznajući značaj telepatologije, nedavno je pokrenut COST projekat IC0604, „Anatomic Telepathology Network (EURO-TELEPATH)“, koji se finansira na osnovu Okvirnog plana FP7 [4]. Projektu je, do sada, pristupilo 11 zemalja Evrope, slika 3, a ravnopravan partner je Elektrotehnički fakultet u Beogradu.



Slika 2. Telemikroskopski sistem ADM (automatski digitalizovan mikroskop) realizovan u Laboratoriji za digitalnu obradu slike, telemedicinu i multimediju, na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

Projekat EURO-TELEPATH ima nekoliko postavljenih ciljeva. **Opšti cilj** je procena i ocena zajedničkih tehnoloških rešenja i komunikacionih standarda koji su potrebni za pristup, prenos i upravljanje digitalnim medicinskim podacima od strane patologa i drugog medicinskog osoblja. Od više **posebnih ciljeva** najznačajniji su sledeći: treba povećati upotrebu automatskih procedura na preko 50% u anatomske patologiji, povećati produktivnost (dostići 100 slajdova za digitalizaciju, dnevno), normirati pravila kompresije slika kako bi se ostvarile mikroskopske slike sa punim dijagnostičkim kvalitetom uz minimalan mogući memorijski prostor (1-2 GB), definisati skup DICOM zaglavlja za mikroskopske patološke slike, definisati nove tipove poruka potrebnih za razmenu informacija o patološkim slikama (u okviru CEN, HL7, i drugih standarda), i povećati naučno liderstvo Evrope u novom okvirnom planu tehnologija u patologiji.

Takođe, treba vršiti istraživanja u informacionim sistemima za patologiju i drugim bolničkim informacionim sistemima radi integrisanja u standardizovanu razmenu patoloških slika, usklađivanje metodologije radi formiranja otvorenog, web-zasnovanog evropskog telekonsultacionog servisa baziranog na virtuelnim slajdovima, projektovanje centralne baze meta-podataka sa više od 3500 virtuelnih baza podataka patoloških slika radi zajedničkog istraživanja, obuke i analize.

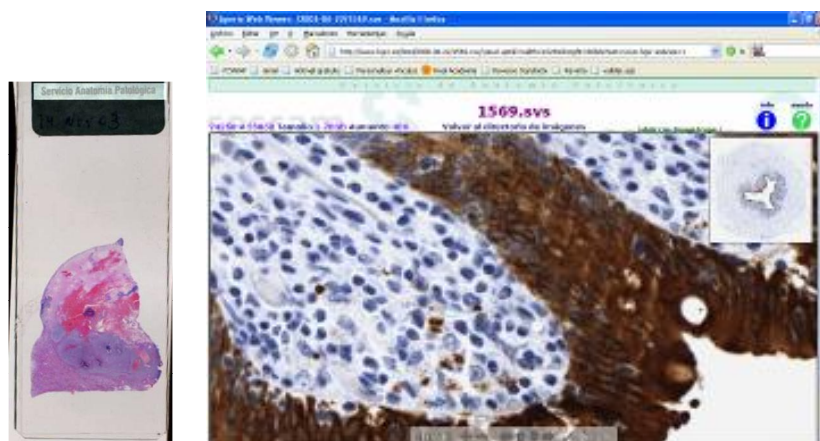


Slika 3. Zemlje učesnice u COST projektu IC0604 EURO-TELEPATH (novembar 2007).

**Rezultati projekta** EURO-TELEPATH treba da obezbede korisnicima (profesionalcima i specijalistima u zdravstvenoj zaštiti) bolju i bržu dijagnozu u svim međusobno povezanim oblastima medicine (onkologija, dermatologija, ginekologija, itd.) uključujući i primarnu zdravstvenu zaštitu, dopuštajući patolozima da dobiju adekvatan odgovor za nekoliko sati ili čak minuta, poboljšanje nege pacijenata kroz bolje praćenje dejstva terapije i bolji pregled najnovijih uputstava i protokola za analizu uzoraka, što će unaprediti i proces kontinualnog učenja za patologe u svakoj ustanovi. Ujedno, razmena novih medicinskih znanja će olakšati nove istraživačke projekte o retkim bolestima i omogućiti bolju klasifikaciju i razumevanje bolesti. Očekuje se i niz tehnoloških doprinosa u cilju povećanja kvaliteta medicinskih informacija, povećanja primene virtuelnih slajdova umesto konvencionalnih lomljivih slajdova, poboljšanja postupka identifikacije uzoraka i pacijenata, kao i lakše i sigurnije pretraživanje patoloških podataka i slika. Zajednički rad lekara različitih specijalnosti dovešće do promocije istraživanja u obradi i produkciji 2D i 3D slika, i multispektralnih slika visoke rezolucije.

Posebna pažnja u novom COST projektu biće posvećena najnovijim tehnikama kao što su tehnika *digitalne mikroskopije* (naziva se i *virtuelna mikroskopija*) i imidžing celih slajdova (WSI = *whole slide imaging*). Klasični mikroskopski uzorci su na staklenim pločicama dimenzije 25x75 mm, pri čemu su sami uzorci dimenzije do oko 20x25 mm, slika 4a. Stakleni slajdovi imaju niz nedostataka: lomljivi su, nepostojani, ne mogu se praviti kopije, kolor mapa je ograničenog raspona, teško je označavanje, arhiviranje i pronalaženje odgovarajućeg slajda. Ujedno, optičko vidno polje mikroskopa

je znatno manje od veličine uzorka, te je analiza uzorka složena i vremenski zahtevna. Nasuprot tome, digitalizacijom uzorka, uvode se sve prednosti koje pruža digitalna obrada slike. Moguća je dinamička kolor mapa, a uvećanje snimka i izbor regiona od interesa se jednostavno obavljaju, slika 4b. Lako je kopiranje i slanje snimaka drugim patolozima radi analize. Ujedno, digitalni slajdovi se jednostavno arhiviraju, anotiraju i pretražuju.



Slika 4. a) Klasičan stakleni mikroskopski slajd. b) Digitalni (virtuelni) slajd.

Formiranje digitalnih slajdova se može vršiti na više načina. Ranih 90-tih godina su uvedena dva generalna pristupa koji se dopunjuju: “dinamička” i “statička” telepatologija. U dinamičkoj telepatologiji se vrši interaktivna akvizicija slike sa mikroskopa tako što se na tzv. “treće oko” mikroskopa montira digitalna kamera i snima se regija od interesa. Uobičajeno se vrši daljinska kontrola kamere, mikroskopa i platforme na kojoj je slajd, kao što je primenjeno i u sistemu ADM [12]. U tom slučaju udaljeni patolog može da ima potpuniu kontrolu mikroskopa, dok na mestu mikroskopa patolog nije neophodan. Raznovrsne kliničke studije su pokazale da je ovaj način konkurentan direktnom ispitivanju uzorka na klasičan način [13]. Nasuprot tome, statička telepatologija je fokusirana na jedan snimak, sliku određenog dela uzorka, koja se smešta na server i može se preuzeti po potrebi. Mada je to tehnološki manje zahtevan postupak, jer se radi u store-and-forward režimu, u stručnom pogledu je nepovoljniji, jer se, sa jedne strane, zahteva patolog i na mestu mikroskopa, kako bi odabrao region od interesa, a sa druge strane udaljeni patolog može samo taj snimak da analizira a nema uvid u ostali deo uzorka.

Znatan nedostatak oba ova načina je u tome da se snima samo jedan deo uzorka, a ne ceo mikroskopski uzorak. Najnovija tehnika WSI obezbeđuje snimanje celog slajda (20x25 mm) u visokoj rezoluciji, na primer, 0.5 mikrona po pikselu (ili manje) pri uvećanju 20x, tako da patolog može istraživati ceo uzorak sa velikom preciznošću. Svakako, ovako visoka rezolucija znači da će fajlovi biti veoma veliki, reda više GB, te je potrebna kompresija. Koristi se DCT JPEG sa kompresijom do 10:1 i/ili wavelet JPEG2000 do 30:1.

## Literatura

- [1] [http://tie.telemed.org/telemed101/understand/tm\\_history.asp](http://tie.telemed.org/telemed101/understand/tm_history.asp) (Okt. 2007.)
- [2] O.Ferrer-Roca, M. Sosa-Iudicissa (Eds), *Handbook of Telemedicine*, IOS Press, 1998.
- [3] Z. Jovanović, B. Marović, I. Jovanović, N. Đukanović, „Telemedicina preko Web-a“, iz dvojezične monografije *Telemedicina*, P. Spasić, I. Milosavljević, M. Jančić-Zguricas (editori), str. 188-208, Akademija medicinskih nauka SLD, Beograd, 2000.
- [4] [http://www.cost.esf.org/index.php?id=110&action\\_number=IC0604](http://www.cost.esf.org/index.php?id=110&action_number=IC0604) (Okt. 2007.)
- [5] <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/> (Okt. 2007.)
- [6] <http://www.uihealthcare.com/vh/> (Okt. 2007.)
- [7] [http://www.cap.org/apps/cap.portal?nfpb=true&pageLabel=snomed\\_page](http://www.cap.org/apps/cap.portal?nfpb=true&pageLabel=snomed_page) (Okt. 2007.)
- [8] I. Milosavljević, P. Spasić, et al, „Centar za telemikroskopsku dijagnostiku u Zavodu za patologiju i sudsku medicinu VMA“, *Acta Medica Medianae*, XXXVI, suppl. 1, pp. 5-12, 1997.
- [9] P. Spasić, B. Reljin, I. Milosavljević, S. Mijušković, S. Ristić, R. Marković, P. Kostić, I. Rakočević, D. Mijatović, “Telemedicine: First telepathology network in Yugoslavia” (invited paper), *Zbornik TELFOR'98*, pp. 561-568, Beograd, 24-26 nov. 1998.
- [10] 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.), pp. 209-216, World Scientific and Engineering Society Press, Clearance Center, Danvers, MA, 1999.
- [11] K. Kayser, J. Szymas, R. Weinstein, *Telepathology: Telecommunication, Electronic Education and Publication in Pathology*, Springer, 1999.
- [12] V. Čučuz, 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
- [13] B.E Dunn, “Routine surgical telepathology in the Department of Veterans Affairs: experience-related improvements in pathologist performance in 2200 cases”, *Telemed. J.*, 5, 323, 1999.

**Abstract:** *The paper describes the Telemedicine, in general, with particular focus on Telepathology Network. Among the state-of-the-art in this field in the World and in Europe, some results obtained in Serbia since 1997 were presented.*

**Keywords:** *Telemedicine, Telepathology, motorized microscope, virtual microscopy, whole slide imaging (WSI)*

## PROJECT TELEPATHOLOGY NETWORK

Branimir Reljin and Vojin Čučuz