

Računalniška omrežja danes in nikoli več?

Computer networks now and never again?

Tone Vidmar;

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Tržaška 25, Ljubljana

Email: tone.vidmar@fri.uni-lj.si

Povzetek: Naslov je izbran z namenom, da že na samem začetku soočimo, pogojno rečeno, »računalnikarje«, kot specialiste za informacijsko tehnologijo in infrastrukturo in »telekomunikacijiste«, kot specialiste za (tele)komunikacijsko tehnologijo in infrastrukturo. Soočenje bo predstavljeno v luči tega, da so bili tako prvi kot drugi v različnih obdobjih razvoja prepričani, da bodo sami izdelali celovit in enovit informacijsko-komunikacijski sistem, danes pa vsi skupaj ugotavljamo, da je to možno le ob produktivnem sodelovanju enih in drugih. Utemeljili bomo tezo, da bo informacijsko komunikacijski sistem na pravi poti, ko bodo »računalnikarji« ugotovili, da v celoti ne razumejo kompleksnosti problemov v kontekstu prenosnih in komunikacijskih tehnologij, in da bo razvoj tekel v pravo smer, ko se bodo »telekomunikacijisti« odrekli snovanju informacijskih sistemov, pogojno rečeno, na podlagi telefonskih central. Predvsem se nam zdi pomembno osvetliti ta problem danes, ko so informacijske storitve dostopne prek cele množice »neračunalniških« terminalov, predvsem prenosnih telefonov. Pri tem ne želimo poudariti zgolj povezanosti informacijske in telekomunikacijske tehnologije, temveč predvsem to, da tehnologiji po svoji naravi med seboj nimata kaj dosti skupnega.

Abstract: The title of this paper is chosen with the aim to confront at the very beginning the so called computer freaks, as specialists for the information technologies and infrastructure, with the postmen, as specialists for tele-communication technologies and infrastructure. The confrontation will be presented from the point of view that the former as well as the latter have in different time periods been convinced of being able to develop a homogenous and integrated information system alone although today we all agree that the aim is attainable only with the productive close collaboration of the two parties. Our thesis is that the development of information-communication system pursues the right direction when computer society understands that it is not familiar with the complexity of the transmission and communication technologies and when the telecommunication society renounces its idea of building information system on the basis of a telephone exchange. The problem is particularly important today when numerous information services are accessible via non computer terminals, namely mobile telephones. In the paper we also discuss the importance of cooperative interaction between information and communication technologies as a result of the fact that they have not much in common.

Uvod

Provokativnost teze oziroma naslova je izbrana namerno, in sicer tudi zaradi zgodovinskih izkušenj. V našem primeru seveda ne gre za dinastične probleme plemiških rodbin, temveč za čisto posebne rodbine. Prvi je rod »računalnikarjev« in drugi je rod »telekomunikacijistov«, ki jih po svoje izzivam. Pričakujemo burne odzive z obeh strani, kajti v prispevku bomo osvetljevali razloge, zakaj je prišlo do produktivnega sodelovanja med obema svetovoma tako pozno. Pri tem mislim predvsem na bolj ali manj neutemeljene razloge, ki imajo s stroko v produktivnem pogledu prav malo skupnega (standardizacija, monopolizem, napačno ocenjevanje stanja...). S temi razlogi je povezano tudi to, da se je pojem »informacijsko komunikacijski sistem« (IKS ali sitem X, kot ga tudi označujemo) uveljavlja šele v zadnjih letih. Soočenje obeh resnic bo predstavljeno v luči tega, da so bili tako računalnikarji kot tudi telekomunikacijisti v različnih obdobjih razvoja od leta 1980 prepričani, da bodo sami izdelali celovit in enovit informacijsko komunikacijski sistem, medtem ko danes ugotavljamo, da je to možno le ob produktivnem sodelovanju enih in drugih. Naj v uvodu poudarimo, da električno-elektronski telekomunikacijski sistemi obstajajo že več kot 170 let. Prvi je bil Gaus Webrov telegraf 1830, ki je, mimogrede, digitalni komunikacijski sistem. Drugi pomembni uvodni podatek je, da se za začetek komu-

niciranja v svetu računalnikov šteje leto 1969, ko je nastala praverzija TCP/IP protokola, kar pomeni, da »računalnikarji« komunicirajo nič več kot 35 let.

Smisla sistema X ni težko poiskati, ko v celoten kontekst vključimo se živega človeka, ki pa je danes žal razvrednoten zgolj v vlogo končnega uporabnika. V resnici gre za to, da človek potrebuje določene podatke, ki mu pomagajo do lažjega, uspešnejšega, ... pa tudi prijetnejšega življenja! Tu mislimo seveda na podatke, ki jih človek **potrebuje**. V zadnjem času se namreč kaže nov, čedalje bolj pereč problem, da človeka zasipamo z množico nepotrebnih in nebitvenih podatkov, ker nam tehnologije to pač omogočajo. Pogosto se sliši teza, da je t.i. »internet« največje smetišče podatkov. Zabavno-žalostno zvenijo reklame, ki trdijo, da je naša prihodnost digitalna, ali pa da bomo s tako in tako informacijsko tehnologijo živeli kakovostneje, ali pa da informacijska avtocesta pelje v svetlo prihodnost....

Avtonomnega komunikacijskega sistema ni!

Z zgornjim naslovom želimo poudariti, da elektronsko komuniciranje, bolje rečeno prenašanje podatkov, samo po sebi ni storitev, ki bi jo človek potreboval, saj je že pred letom 1830 človek razvil kar nekaj tehnik, ki omogočajo sporazumevanje. Elektronsko komuniciranje je zgolj most med virom podatkov tedaj, ko je vir tako daleč, da človek generiranih podatkov s svojimi čutili ne more neposredno

doseči. To pomeni, da se je telegraf razvil zato, da sta si »sogovorca« med seboj izmenjevala podatke v tekstovni obliki in da se je telefon razvil samo zato, da si govorca lahko na daljavo izmenjujeta podatke v govorni obliki. V prvem primeru je vir podatkov naprava, v drugem neposredno človek, v obeh primerih pa je bistven končni uporabnik podatkov. Pogojno rečeno sta že telegraf in telefon del informacijsko komunikacijskega sistema, če sprejmemo dejstvo, da je bistveni element informacijskega sistema naravnega izvora, torej - človek. Tehnologija komunikacijskega sistema torej ni bistvena, saj upoštevamo tudi knjižnični informacijski sistem na podlagi kataloških kartic, ki predstavljajo knjižnični fond, urejen po omarah in predalih. Komunikacijski sistem v ožjem pomenu besede dobi svoj razlog obstoja šele, ko je prisoten končni uporabnik oziroma ko je opredeljena informacijska nadgradnja. Brez informacijskega sistema so komunikacijski sistemi nepotrebni, vendar ponovno podarjam, da je tudi naprava telegraf iz leta 1830 v pravzaprav pravi informacijsko komunikacijski sistem. Informacijski sistem podatke zbira, pomni, procesira in posreduje ljudem in to je vse, kar informacijski sistem dela s podatki, komunikacijski sistem pa zagotavlja zgolj *povezljivost* med dvema ali več informacijskimi okolji. V komunikacijskem sistemu se podatki ne zbirajo, ne shranjujejo, se ne procesirajo, komunikacijski sistem podatkov neposredno ne posreduje ljudem, saj so podatki v komunikacijskem sistemu velikokrat kodirani na zelo nečloveški način (različni formati sporočil in signali v prenosnih medijih).

Razvoj telekomunikacijskih sistemov do leta 1980

Telekomunikacije so v primerjavi z večino klasičnih tehnologij dokaj mlado področje, če za začetek štejemo odkritje Oersteda, ki je leta 1819 formalno in praktično opredelil povezavo med magnetizmom in elektriko. Ne glede na to pa so komunikacije v primerjavi z računalništvom že prava klasična veda. Rezultate Oersteda na področju elektromagnetizma sta leta 1820 nadgradila Faraday in Ampere. Prvi dogodek, neposredno povezan s tem, kar si danes predstavljamo pod komunikacijami, pa se je zgodil leta 1830, ko sta Gauss in Weber razvila prvi *telegraf*, ki je deloval v Gottingenu. Leta 1844 je Morse vzpostavil 70 kilometrov dolgo telegrafsko povezavo med Washingtonom in Baltimorjem. Pri telegrafiji gre za pravi digitalni prenos podatkov (pike in črtice, »0« in »1«), ki je ustrezal kanalu s kapaciteto približno 3 bit/s! Leta 1849 je začel delovati prvi *telegrafski printer*, do leta 1860 pa so hitrosti prenosa podatkov med izvirnim in ponornim printerjem dvignili do zavidanja vrednih 15 bitov na sekundo. Leta 1874 je bil vzpostavljen prvi *multipleksirani* telegrafski kanal, ki je omogočal šest sočasnih telegrafskih povezav po isti parici. Leta 1890 je nastal prvi *telefon*, že 1892 pa smo dobili prvo *avtomatsko telefonsko centralo*, ki je nadomestila ročno posredovanje telefonskih povezav, s čimer se je začela era telefonije, kot smo jo razumeli in poznali praktično do leta 1980. Nastanek *telefonske centrale* kot vozlišča je poleg tehnike multipleksiranja drugi pomembni dogodek v razvoju *telekomunikacijskih omrežij*. V centrali se izvaja *preklapljanje* (komutacija) povezav.

Začetnim korakom je sledilo obdobje, ko je razvoj telefonije označevalo predvsem povečevanje zmogljivosti telefonskih sistemov, medtem, ko je nabor osnovnih storitev ostal tako rekoč nespremenjen – PTT (*Pošta Telegraf Telefon*). Leta 1946 so v okviru prenosnih naprav multipleksirali že 1800 kanalov, leta 1953 pa je ta številka naraste na 9300 kanalov, kar bi digitalnem ekvivalentu PCM (*Pulse Code Modulation*) pomenilo kanal s kapaciteto okrog 595 Mbit/s. To ni malo niti iz zornega kota današnjih računalniških omrežij. Leta 1978 smo imeli že 132.000 multipleksiranih kanalov v enem prenosnem snopu, kar ustreza ekvivalentni PCM kapaciteti 8 Gbit/s. V tem času (1970-1980) so bili računalnikarji ponosni na svojih 300 do 2400 bit/s. Poleg tega pa je treba poudariti tudi, da gre pri telefonski storitvi za *storitev v realnem času*, ki pomeni garantirano pasovno širino end-to-end, kar bomo v svetu interneta dočakali šele s prihajajočo šesto verzijo protokola IP.

Seveda klasični telekomunikacijski sistemi niso samo telegrafski kot prenašalci tekstovnih podatkov in telefonski kot prenašalci govornih podatkov, temveč sem sodijo tudi radijski (1920), slikovni (1930 faksimile, 1960 telefaks) in televizijski (1950) telekomunikacijski sistemi. Skratka, gre za to, da so telekomunikacijski sistemi lahko prenašali podatke v obliki besedila, govora/zvoka, slike in gibajoče se slike. V vsem tem času pa ni prišlo do integriranja različnih omrežij. Pravzaprav je edina omemba vredna integracija omrežij, ko tehnologija »telefaks« za prenos slike uporabi telefonsko omrežje, ki je v osnovi namenjeno prenosu govora.

Razvoj računalniškega komuniciranja do leta 1980

Informacijski sistem potrebuje komunikacijskega, ko mora najti, shraniti, procesirati ali posredovati podatek zunaj svojega lokalnega okolja. V začetkih uporabe računalnikov (sedemdeseta in osemdeseta leta prejšnjega stoletja) so bili podatki, ki jih je obvladoval računalnik, bolj ali manj lokalni, predstavljeni v obliki, ki je najbližje takratni računalniški tehnologiji – alfa numerična predstavitev. Eno z drugim je pomenilo, da je komunikacijski kanal s kapaciteto 300-2400 bit/s konec sedemdesetih let in 9600 bit/s konec osemdesetih let bolj ali manj zadostoval tedanjim potrebam informacijskih sistemov. Količina podatkov je bila majhna, računalnikarji še niso poznali storitev prenosa podatkov v realnem času (govor, zvok, video). Seveda je to pomenilo dokaj preproste komunikacijske sisteme, ki so jih lahko obvladali »celo« računalnikarji, in zato je računalnikarje v teh letih zelo veselilo vzpostavljati tako imenovana WAN (Wide Area Networks) računalniška omrežja. Prvo evropsko komercialno paketno omrežje je bil francoski Transpac s protokolom X.25 leta 1976, leta 1989 pa je evropsko akademsko omrežje povežalo cca. 25 držav med seboj z omrežjem IXI, predhodnikom današnjega »Géanta« z vratomolnimi 64000 bit/s, kar je takrat pomenilo sanjske hitrosti prenosa podatkov. Mimogrede, računalnikarji so omrežja vzpostavljali tako, da so od telekomunikacijskih družb najemali prenosne sisteme (»žice«), na koncu katerih so nato priključili svoja vozlišča –

usmerjevalnike (ne telefonskih central), ki jim rečemo tudi »routerji«.

Telekomunikacijska dogajanja po letu 1980

Dejstvo je, da je v sedemdesetih letih v klasično telefonijo (*elektromehanske telefonske centrale*) začela vdirati elektronika in pogojno rečeno računalniška tehnologija (*elektro-niske telefonske centrale 1970*). Razvoj pomnilniških elementov tipa RAM je leta 1970 spodbudil sprejem standardov PCM najprej v tako imenovanem »stikalnem polju« *PCM (digitalne telefonske centrale)*. Sledi razvoj digitalnih prenosnih sistemov oziroma *digitalizacija povezav* med centralami (*»Plesiochronous Digital Hierarchy« PDH 1980, pozneje leta 1990 SONET »Synchronous Optical Network« in v Evropi SDH »Synchronous Digital Hierarchy«*).

Sprejem standarda ISDN sredi osemdesetih let (1984) je bil logična posledica omenjenih korakov digitalizacije telefonskih omrežij. *Tehnologija ISDN* je omogočila »telefonistom« *vzpostavljati end-to-end digitalno povezavo* kapacitete 64 Kbit/s in več, internet pa je v tem času s svojimi 9600 bit/s pomenil zgolj smet v globalnih telekomunikacijskih omrežjih govorne komunikacije.

Ni čudno, da so komunikacijisti v tem času dobili informacijske ambicije, kar standard ISDN v svoji osnovi brez dvoma potrjuje. Razvilo se je tudi več poskusov informacijsko komunikacijskih sistemov, ki so jih podpirale telekomunikacijske družbe (vodilna Francija). Tudi pri nas je takratna ISKRA začela z razvojem tako imenovanega *Podatkovno Komunikacijskega Sistema* (1978), ki je pomenil zelo napreden pristop in potrjuje dejstvo, da smo v teh časih bili pri nas v koraku z razvojnimi trendi v svetu. Kot pa vemo, se je ideja ISDN do danes razvila zgolj v moderno telefonijo brez bistvene informacijske nadgradnje. Morda tudi zato, ker smo takrat računalnikarji ISDN radi poimenovali kar »*Informations Sometimes, Dollars Now*«, prav tako pa je tudi res, da je ISDN postal komercialno dostopen šele po letu 2000.

V začetku leta 1991 je imela telekomunikacijska srenja odgovor na premalo zmogljiv ISDN iz leta 1984, tega ga je preimenovala v (*Narrowband ISDN*) N-ISDN in ustoličila B-ISDN (*Broadband ISDN*), kateremu je za osnovo priredila sinhroni digitalni kanal 155 Mbit/s, sredi devetdesetih let 1995 pa je ustoličila *protokol ATM (Asynchronous Transfer Mode)*, ki je postal prvo telekomunikacijsko omrežje s paketno komutacijo. Do takrat je pomenila zakon v telefoniji komutacija vodov. In tu smo sedaj, v velikem pričakovanju, kakšna bo usoda IPv6 v tekmi s tehnologijo ATM. Ne smemo namreč pozabiti, da so se računalniška omrežja od leta 1980 do danes razvijala zelo hitro in uspešno.

Paradoks informacijskih storitev po letu 1980

Po letu 1985 so se računalnikarji počasi začeli dušiti na povezavah 9600 bit/s, v WAN omrežjih pa so bili zelo ponosni na redke povezave s kapaciteto 64 Kbit/s (IXI projekt 1989/90).

Zelo pomemben dogodek na področju računalniških omrežij konec osemdesetih let (1987) pa je pomenil pojav tako imenovanih LAN omrežij (*Local Area Networks*) s kapaciteto 10 Mbit/s, pa četudi samo na oddaljenosti nekaj sto metrov.

Do leta 1990 je telekomunikacijistom uspelo integrirati zgolj storitev prenosa govora (*telefon*) in slike (*telefaks*) v okviru telefonskega omrežja, tehnologija LAN pa je računalnikarjem ponudila kapacitete, ki so omogočile snovanje aplikacij, ki so integrirale podatke v tekstovni, slikovni, zvočni in video obliki – *multimedijske storitve*. Sredi devetdesetih let 1995 so imeli računalnikarji na voljo 100 Mbit/s FDDI WAN tehnologijo, danes pa so komercialno dostopna omrežja z kapaciteto 10 Gbit/s. Pravzaprav je to povzročilo, da so računalnikarji prvi začeli uporabljati eno omrežje za prenos različnih oblik podatkov – v binarni, tekstovni, slikovni, zvočni in video obliki. Danes je na primer zelo aktualna IP telefonija, ki predstavlja klasično telekomunikacijsko storitev, implementirano na računalniškem omrežju. Računalnikarji so tako prvi »naredili« *pravo integrirano omrežje*, telekomunikacijisti pa se trenutno ukvarjajo s storitvami ADSL, hkrati pa ne vedo, kaj bi s tehnologijo ATM.

Delitev dela in denarja

Če poenostavimo, ugotovimo, da so v začetku devetdesetih let telekomunikacijisti želeli graditi informacijsko komunikacijski sistem na podlagi moderne telefonske centrale ISDN z digitalnim omrežjem, ki je zagotavljalo end-to-end 6400 bit/s tako rekoč med vsakim telefonskim parom. Po drugi strani so računalnikarji na podlagi hitrih omrežij, ki pa niso podpirala multimedijskih potreb na več kot nekaj sto metrih, hitro razvijali storitve, ki jim danes rečemo kar »*spletne storitve*«. Če smo pošteni, lahko rečemo, da so tako prvi kot drugi imeli za cilj »dokončno« *in avtonomno poiskati rešitev vseh informacijsko komunikacijskih potreb človeka, kar pa se do danes seveda še ni zgodilo.*

Poznejše zlivanje pogledov, ki jih podpirajo komunikacijske in računalniške družbe, ni nastalo zaradi želje po zlivanju, temveč izključno zato, ker je enim primanjkovalo informacijskih, drugim pa komunikacijskih znanj in izkušenj. ISDN danes sicer pomeni moderno telefonijo, vendar informacijskih storitev ni ostalo kaj dosti, razen, da dobro služi kot dostopni medij do oddaljenih informacijskih virov prek komutiranih linij ISDN. Zelo pomemben premik pa je, da prenosni sistemi tipa SONET in SDH z omrežno nadgradnjo, kot na primer plast ATM, transparentno prenašajo podatke v kakršni koli obliki: tekst, slika, govor, zvok, video. Zelo pomembna storitev telekomunikacijskih sistemov je danes seveda tudi mobilnost. *Kombinacija mobilnosti s transparentnim komunikacijskim sistemom je prav to, kar danes potrebujejo moderne informacijske storitve.* Vse to pa je nekoliko preveč za tako imenovana računalniška omrežja. Spomnimo se samo vseh težav, ki jih imamo s protokolom IP, ker ne omogoča virtualnega povezovanja, in kako težko čakamo na širšo uveljavljenost šeste verzije, ki pa še ni prav blizu. Računalnikarjem danes telekomunikacijski sistemi niso več izgovor za razvoj kakršnih koli storitev, čedalje pogosteje

pa se jim tudi dogaja, da podatki niso več lokalni, temveč so razpršeni, in da se procesiranje podatkov ne izvaja zgolj na enem računalniku, temveč na več neodvisnih računalnikih. Upamo si trditi, da do konkretnega sodelovanja informacijskih in komunikacijskih industrij prihaja zgolj zaradi težav enih in drugih, in žal je tega še vedno bistveno premalo.

Kot vedno pa delitev dela niti ni tako velik problem. Zatakne se pri denarju. Podjetja združijo moči le, ko ne gre drugače, in pogosto zato, da bi oteževala nastop tretjim. Lep primer tega je zmeda na področju mobilne telefonije, kjer se izdelovalcem mudi z vedno novimi »informacijskimi« storitvami, ki jih mečejo na trg tipično telekomunikacijska podjetja, pri tem pa delujejo tako rekoč brez *de iure* standardov, ki so bili vedno lepa navada komunikacijske sfere, in ki še danes zagotavljajo kompatibilnost telekomunikacijskih sistemov različnih generacij. To je enak položaj, kot ga imamo v informacijski domeni z množico izdelkov različnih firm, ki bolj ali manj uspešno rešujejo izolirane probleme razpršenosti podatkov in razpršenega procesiranja. Niti na misel pa jim ne pride, da bi poskusili probleme rešiti enovito in na sistemski ravni, medtem ko računalniška omrežja še vedno ne rešujejo problema tako imenovanih storitev v realnem času (govor, zvok, video).

Predlog

Izhodišče predloga sta naslednji predpostavki, ki smo ju že dodobra utemeljili:

- o Telekomunikacijska omrežja omogočajo prenos govora, zvoka, videa (*storitve v realnem času*). Njihovi celični in satelitski mobilni sistemi so že globalni. Tera-hitrosti niso več laboratorijska skrivnost.
- o Računalnikarji čedalje uspešneje rešujejo probleme nadzora (*porazdeljen operacijski sistem - POS*) razpršenih podatkov in razpršenega procesiranja (*klasterska in grid tehnologija*). Čedalje bližje so »nadzorniku«, ki bo uspešno obvladal več kot en računalnik.

Seveda se postavlja vprašanje, kje se POS in komunikacijski sistem srečata. Naj nam pomaga stari dobri ISO OSI model? Spomnimo se definicije sejne plasti, ki pravi, da leta skrbi za logično povezovanje aplikacijskih procesov. Dobro se je spomniti, da je prav to tudi osnovna funkcija vsakega lokalnega OS.

Trdimo: Sejna plast je namenjena temu, da v okviru množice neodvisnih računalnikov počne isto, kar počne lokalni operacijski sistem v okviru enega računalnika – logično povezuje aplikacijske procese.

V praksi naš predlog pomeni, da bo treba sejno plast napolniti s storitvami logičnega povezovanja aplikacijskih procesov, ki so v resnici multimedijske storitve (*konsistentnost podatkov, sinhronizacija procesiranja, ...*), in to naj naredi računalniška sfera. Informacijska domena torej rešuje probleme *aplikacijske, predstavitvene in sejne* plasti za potrebe multimedijskih uporabniških storitev in tu ne manjka problemov. Hkrati pa se telekomunikacijstom prepusti transportno, omrežno in nižje plasti, v katerih naj uspešno rešijo probleme prenosa podatkov za *storitve v realnem času na podlagi paketne komutacije*. Njihova domena so torej transportne, omrežne in prenosne storitve

prenosa podatkov (tekst, slika, govor, zvok ali video), ki pa naj jim bo mogoče preprosto predpisati tako inkriminirano »*kakovost storitev*« - QOS (*quality of service*). Informacijsko komunikacijski sistem bo na pravi poti, ko bodo »računalnikarji« ugotovili, da v celoti ne razumejo kompleksnosti problemov prenosnih in komunikacijskih tehnologij in da bo razvoj tekel v pravo smer, ko se bodo »telekomunikacijisti« odrekli snovanju informacijskih sistemov na podlagi telefonskih central.

Viri

1. Vidmar, T.: Računalniška omrežja in storitve, ISBN 961-6065-31-X, 413 str., Atlantis april 1997.
2. Vidmar, T.: Informacijsko komunikacijski sistem, ISBN 961-6361-24-4, 839 str., Pasadena 2002.
3. Bertsekas, D., Gallager, R.: Data Networks, 2. izdaja, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
4. Halsall, F: Data Communications, Computer Systems and Open Systems, Addison-Wesley 1993.
5. Gupta, A., Kumar, A., Roughgarden, T.: Simpler and better approximation algorithms for network design, proc. STOC, 2003 (portal.acm.org).
6. Pawlikowski, K., Jeong, J., Lee, J.S.R., Christchurch, N.Z.: On credibility of simulation studies of telecommunication networks - IEEE Communications Magazine, 2002 (cosc.canterbury.ac.nz).
7. Koutsoukos, G., Gouveia, J., Andrade, L.F., Fiadeiro, J.L.: Managing Evolution in Telecommunication Systems, Proc. DAIS, 2001 (fiadeiro.org).
8. Sarkar, M.B., Cavusgil, S.T., Aulakh, P. S.: International Expansion of Telecommunication Carriers: The Influence of Market Structure, Network Characteristics, and Entry Imperfections, Journal of International Business Studies, 30, 2, 1999 (copenhagen.jibs.net).
9. Ciglarič, S., Fefer, D., Jeglic, A.: Evaluation of an Alternatively Designed Digital Phase Angle Standard, IEEE Trans. Instr. Measurement, Vol. 15, No. 4, 2002.
10. Ciglarič, M.: Towards More Effective Routing in Unstructured Peer-to-Peer Overlays, IEE Proc. Communications, 2005 (v tisku).
11. Ciglarič, M.: Content Networks: Distributed Routing Decisions in Presence of Repeated Queries, Intl. J. of Foundations of Computer Science, Vol.15, No.3, 2004.
12. Tannenbaum, A. S.: Computer Networks, 1.-4. izdaja, Prentice-Hall 1981-2003.