

Prof.dr.sc. Ignac Lovrek
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Sveučilište u Zagrebu

Poslijediplomski studij
Ak.g. 2009./10.
Kolegij: Projektiranje telekomunikacijskih sustava

Arhitektura nove generacije mreža Bilješke s predavanja

Uvod

Nova generacija mreža vezuje se uz razvojne koncepte kao što su sljedeći.

- mreža sljedeće generacije (NGN - *Next Generation Network*)
- buduće arhitekture Interneta (FIA - *Future Internet Architectures*)
- fiksno-pokretna konvergencija (FMC - *Fixed Mobile Convergence*)

pri čemu ih sve obilježava konvergencija različitih rješenja kako bi se omogućilo više oblika informacije (medija) u istoj mreži, iste usluge u različitim mrežama, istu korisnička oprema za više mreža te ista tehnologiju za različite mreže. Novu generaciju mreža obilježava komutacija paketa, mrežni protokol IP i istraživanje post-IP mreža. U prijelaznom razdoblju koegzistiraju kanalske i paketske mreže, uz intenzivan razvoj IP-mreža.

1. Zahtjevi, rješenja i istraživanja

S motrišta medija, zahtjevi na mreže proizlaze iz dvije skupine usluga: zahtjevi na konverzijske usluge u stvarnom vremenu, primjerice govor, koje obilježava kvaliteta usluge te usluge koje uključuju veliku količinu podataka za koju je važna brzina prijenosa.

S motrišta pokretljivosti, najgrublja je sljedeća podjela:

- stacionarno komuniciranje,
- nomadsko komuniciranje i komuniciranje s prijenosne korisničke opreme s bežičnim pristupom i
- pokretno komuniciranje,

uz moguća prostorna ograničenja i ograničenja brzine kretanja.

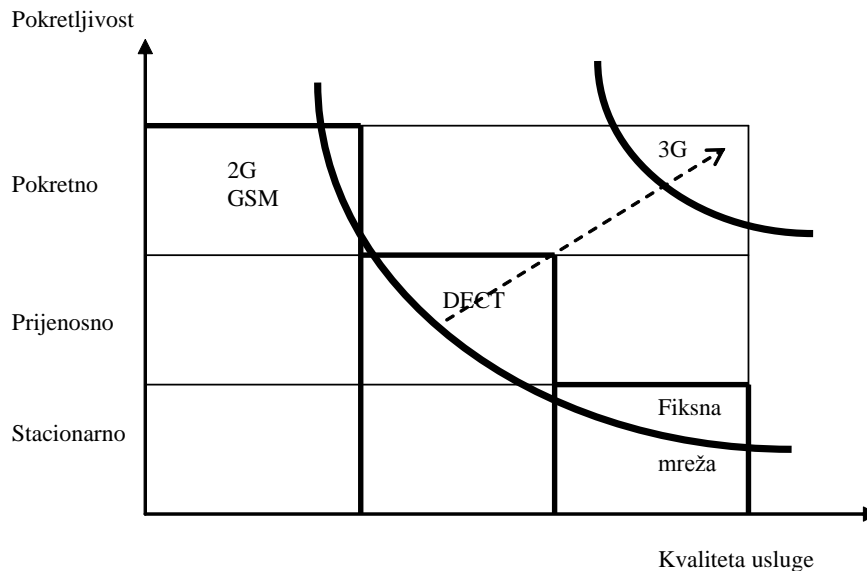
Govor

Osnovni zahtjevi su kvaliteta usluge i pokretljivost.

Današnju situaciju opisuju fiksna (nepokretna) mreža s visokom kvalitetom usluge (javna komutirana telefonska mreža, digitalna mreža integriranih usluga), bežično priključeni telefon

na fiksnu mrežu (DECT – *Digital Enhanced Cordless Telephone*), pokretna mreža druge generacije (2G) izvedena kao globalni sustav pokretnih komunikacija (GSM – *Global System for Mobile communication*), pokretna mreža treće generacije (3G) izvedena kao opći pokretni telekomunikacijski sustav (UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*) i usluga govora preko IP (VoIP – *Voice over IP*).

Slika 1 predočuje postignuta rješenja i osnovni razvojni cilj: neograničenu pokretljivost s visokom kvalitetom govornog komuniciranja, što se očekuje već od sustava treće generacije kao što je UMTS.



Slika 1 - Govor: kvaliteta usluge u odnosu na pokretljivost

Podatak

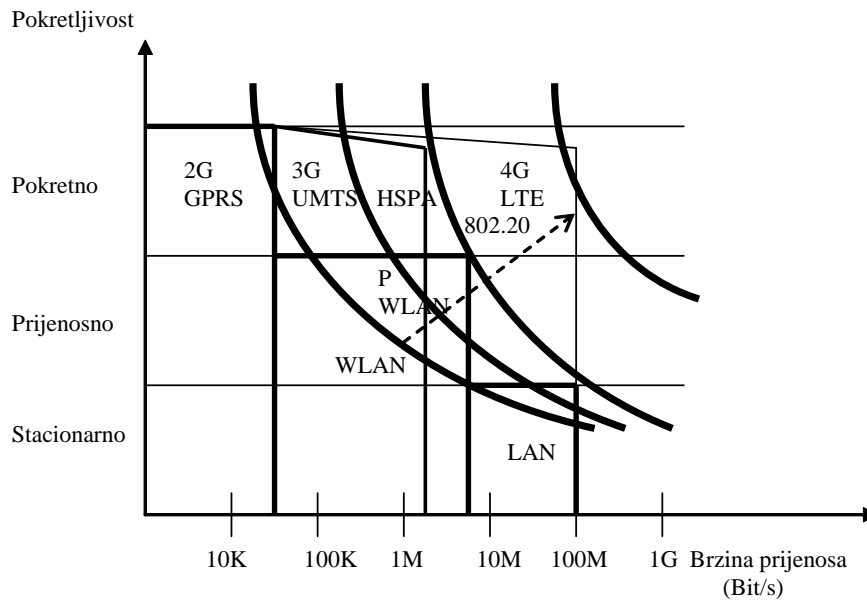
Podatak obilježava informacijske usluge koje se zasnivaju na komunikaciji podacima i njihovoj obradi. Promatrat će se, kao i kod govora, pokretljivost u odnosu na osnovni parametar koji utječe na kvalitetu usluge – brzina prijenosa podataka.

Za današnju situaciju karakteristični su stacionarno komuniciranje uporabom lokalne mreže, nomadsko komuniciranje s prijenosne korisničke oprema putem bežične lokalne mreže (WLAN- *Wireless Local Area Network*), te komuniciranje u pokretu uporabom općih paketskih radijskih usluga (GPRS – *General Packet Radio Services*) i poboljšanih brzina prijenosa podataka (EDGE – *Enhanced Data Rates for Global Evolution*) kao paketskog proširenja GSM-a, UMTS-a i brzog paketskog pristupa (HSPA - *High Speed Packet Access*).

Slika 2 predočuje takvo rješenje, s UMTS-om za opću pokretljivost, uz veće brzine prijenosa primjenom paketskog pristupa (HSPA – *High Speed Packet Access*), javnom bežičnom lokalnom mrežom (PWLAN – *Public Wireless Local Area Network*) za povezivanje prijenosnih uređaja, te brzim lokalnim mrežama za stacionarni pristup.

S motrišta pokretljivosti istražuju se i uvode rješenja pokretnih mreža četvrte generacije (4G) u čemu prednjači sustav dugoročne evolucije (LTE - *Long Term Evolution*). Razvija se

pokretni širokopojasni bežični pristup (*Mobile Broadband Wireless Access*, IEEE 802.20) i postupci pokrivanja većih površina javnim WLAN-om.



Slika 2 - Informacijske usluge: brzina prijenosa podataka u odnosu na pokretljivost

Da bi LTE omogućio maksimalne brzine prijenosa, na raspolaganju bi trebali biti kontinuirani frekvencijski pojasevi širine 20 MHz. Kako bi se ostvarila globalna pokrivenost i pokretljivost kakvu je GSM postigao za govornu komunikaciju i uslugu kratkih poruka, potrebna je harmonizacija spektra na svjetskoj razini, jer rad u različitim frekvencijskim područjima stvara probleme s korisničkom opremom.

IEEE 802.20 treba omogućiti brzine prijenosa iznad 4 Mbit/s, uz smanjenje kašnjenja na 30 ms. Da bi se to postiglo, spektralnu učinkovitost treba povećati s 0,2 na 1 bit/s/Hz/ćelija, uz znatno smanjenje cijene u odnosu na današnju.

Javni WLAN javlja se na tržištu u slobodnoj i komercijalnoj ponudi. Slobodna uporaba osniva se na infrastrukturi koju gradi i financira gradska uprava, dok komercijalnu preuzimaju operatorske tvrtke. Operatori koji ne posjeduju pokretnu mrežu nomadsku pokretljivost rješavaju WLAN-om na zaključenju fiksne mreže (žična ili optička pristupna mreža) u stanu, poslovnom prostoru ili javnom mjestu.

Istražuju se novi koncepti pokrivanja za nomadsko kretanje kod kojeg korisnik ne komunicira tijekom kretanja između dvije lokacije ili se zadovoljava nižom kvalitetom usluge tijekom kretanja.

Pojam generacije pokretnih sustava iza 3G, javlja se u tri inačice:

- 3,5G - označava "tradicionalni" razvoj (slično kao 2,5G), uz zajamčenu kompatibilnost unatrag s motrišta radijskog sučelja. Povećava se kapacitet sustava i mreže, poboljšavaju performanse i snižavaju troškovi.
- B3G - iza 3G (*Beyond 3G*) označava otvoreni pristup mreži, tj. integraciju i uporabu najbolje ili najpovoljnije od raspoloživih pristupnih mreža (npr. UTRAN, WLAN).

- 4G - označava pristup zasnovan na novom radijskom sučelju u novom dijelu frekvencijskog spektra, te pristupnom i jezgrenom mrežom optimiziranom za mrežni protokol IP (*Long Terme Evolution*, LTE, je u ovom trenutku pred-4G sustav)

2. Logička organizacija mreže

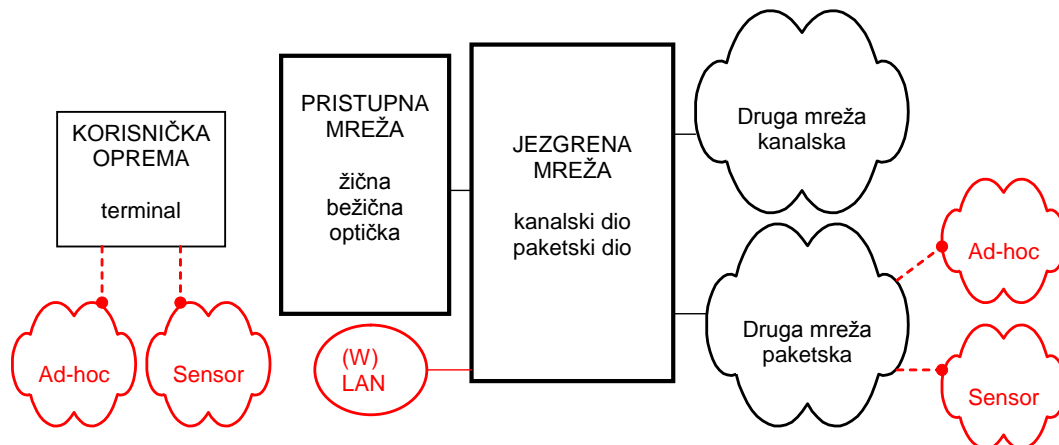
2.1 Osnovni dijelovi mreže

Osnovni dijelovi mreže, neovisno o izvedbenoj tehnologiji i načinu komuniciranja su pristupna i jezgrena mreža (Slika 3). Pristupna mreža pritom može s motrišta tehnologije biti žična, bežična ili optička, a jednoj se jezgrenom mreži može pristupiti iz jedne ili više izvedbeno različitih pristupnih mreža.

Uz mreže stabilne strukture, javljaju se mreže nestalne i promjenjive strukture koje se formiraju privremeno na načelu *ad-hoc* povezivanja, ili međusobnog umrežavanja senzora. Takve se mreže mogu formirati oko korisničke opreme kao što su npr. mreže osobnog područja (*Personal Area Network*, PAN) ili tjelesne mreže (*Body Area Network*, BAN), mogu djelovati autonomno, bez povezanosti na javnu ili privatnu mrežu, ili se s njima povezati.

Isto tako, moguć je raznovrsni bežični pristup, npr. za različite generacije pokretnih mreža (npr. GSM i UMTS, GSM, GPRS, EDGE), ili pokretni pristup Internetu i pristup Internetu bežičnom lokalnom mrežom (npr. UMTS i WLAN).

U jezgrenom mreži razlikuju se tri dijela: kanalski, paketski i zajednički koji sadrži sustavske funkcije kao što su upravljanje pokretljivošću i sigurnost. Dobar primjer razvoja zajedničkog dijela je poslužitelj vlastitih pretplatnika (HSS – *Home Subscriber Server*) u UMTS-u.



Slika 3 - Dijelovi mreže

2.2 Domene

Formalna definicija dijelova mreže kao domena (*Domain*) koje predočuju skup funkcija, prvi put je primijenjena kod UMTS-a (Slika 4). Domene su međusobno odvojene referentnim točkama (*Reference Point*).

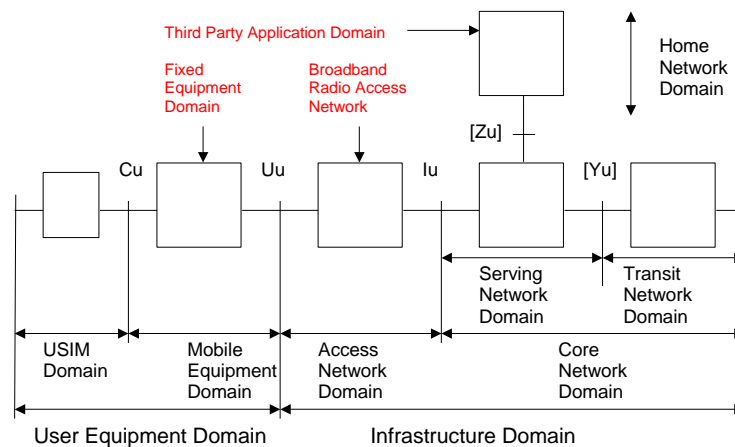
Osnovna je podjela na dvije domene: korisnička oprema (*UE Domain - User Equipment Domain*) i mrežna infrastruktura (*Infrastructure Domain*).

Korisnička oprema obuhvaća sve čime raspolaže korisnik, a uključuje sljedeće domene:

- UMTS korisnički identifikacijski modul (*USIM Domain - UMTS Subscriber Identity Module Domain*) s podacima i procedurama za nedvosmisleni i sigurni identifikaciju osobe u izvedbi pametne kartice (*Smart Card*),
- Pokretna oprema (*ME Domain - Mobile Equipment Domain*), s radiokomunikacijskim dijelom kao pokretnim zaključenjem (*MT - Mobile Termination*) i samom terminalnom opremom (*TE - Terminal Equipment*).

Bitne su novosti osobna identifikacija te komponentni model korisničke opreme koji dopušta različite izvedbene inačice kao i povezivanje korisničke komunikacijske i računalne opreme (npr. prijenosno računalo s vanjskim UMTS i-ili WLAN modulom). Definirane su dvije referentne točke:

- C_u - između USIM i pokretne opreme te
- U_u - između korisničke opreme i pristupne mreže.



Slika 4 - UMTS domene

Mrežna infrastruktura sadrži pristupnu mrežu (*AN Domain - Access Network Domain*) s fizikalnim entitetima za pristup korisnika jezgrenoj mreži, i jezgrenu mrežu (*CN Domain - Core Network Domain*) koja obavlja transfer korisničke i upravljačke informacije, upravljanje pokretljivošću, pozivima i uslugama. Između njih je referentna točka I_u .

Jezgrena mreža dalje se dijeli na sljedeće domene:

- Uslužna mreža (*SN Domain - Serving Network Domain*) koja osigurava funkcionalnost za posluživanje korisnika na korisničkoj pristupnoj točki; upravlja pokretljivošću te usmjerava poziv i informacije od i prema korisniku,
- Domaća mreža (*HN Domain - Home Network Domain*) čije su funkcije povezane s "pripadnošću" određenoj mreži, odnosno mrežnom operatoru (pretplatnički odnos). Svaka mreža u tom je smislu domaća za vlastite korisnike. U ovoj su domeni sadržani

podaci o korisniku i procedure neovisne o trenutnoj pristupnoj točki (pretplatničke mogućnosti sukladno USIM-u, raspoložive usluge, dogovorena kvaliteta usluge, personalizirani podaci),

- Tranzitna mreža (*TN Domain - Transit Network Domain*) koja ostvaruje komunikacijski put između uslužne mreže i druge mreže.

Osnovnim domenama UMTS-a dodaju se tri posebne za fiksnu opremu, širokopojasni pristup i aplikacije treće stranke.

Osobna pokretljivost zahtijeva rješenja za korisnika u fiksnoj mreži, s fiksnom korisničkom opremom. To je obuhvaćeno domenom fiksne opreme (*FE Domain - Fixed Equipment Domain*) i referentnom točkom W_u (funkcijski podskup od I_u). Fiksni terminal je kao i pokretni opremljen je s USIM karticom.

Osnovno rješenje pristupne mreže za UMTS, UTRAN (*UMTS Terrestrial Access Network*) ograničava pokretne pristupne mogućnosti na 2 Mbit/s. Širokopojasna radijska pristupna mreža (*BRAN - Broadband Radio Access Network*) označava širokopojasni pristup.

Sustavno rješenje za uvođenje vanjskih davatelja usluge predočuje nova domena za aplikacije treće stranke (*TPA Domain - Third Party Application Domain*) i nova referentna točka X_u prema domaćoj mreži. U ovom kontekstu korisnik i operator mreže su prve dvije stranke.

Otvoreni problemi današnjih mreža su sljedeći:

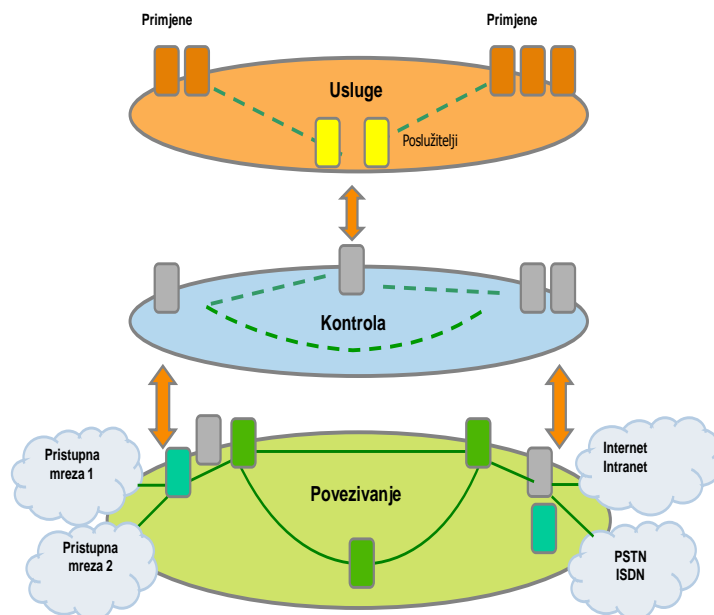
- posebna i različita zračna sučelja korisnička oprema – pristupna mreža/pristupna točka,
- odvajanje i miješanje komutacije kanala i komutacije paketa u jezgrenoj mreži, s unaprijed definiranim uslugama (npr. govor po kanalu, podatak u paketu).

Današnje mreže karakteriziraju posebna zračna sučelja između korisničke opreme i radijske pristupne mreže (RAN – *Radio Access Network*), npr. GSM RAN, UTRAN u UMTS-u, različiti WLAN-ovi. Nadalje, konceptijski se razlikuju rješenja za ograničeni prostor koji se pokriva izoliranim ćelijama i širi prostor koji se pokriva s više ćelija. Prvom rješenju bliske su tehnologije WLAN-a za koje istraživanja pokazuju da je moguće postići spektralnu gustoću koja omogućuje brzine prijenosa 1 Gbit/s, uz ograničenu pokretljivost. Drugom rješenju teže javne pokretne mreže s očekivanim brzinama prijenosa od 100 Mbit/s i širokim pokrivanjem. U UMTS se uvodi brzi paketski pristup HSPA (*High Speed Packet Access*) za brzine prijenosa od nekoliko Mbit/s, čime se omogućuju širokopojasne višemedijske usluge (npr. video u stvarnom vremenu, interaktivne igre) i brzi pristup Internetu u pokretu. Sustav LTE (*Long Term Evolution*) primjer je pred-4G sustava.

Zajedničko ili jedinstveno zračno sučelje koji bi omogućavalo različite načine uporabe frekvencijskog spektra omogućuje softverski radio (SWR - *Software Radio*, SDR – *Software Defined Radio*).

2.3 Slojevi

Troslojni model mreže (Slika 5) sadrži sloj povezivosti (*Connectivity Layer*), kontrolni sloj (*Control Layer*) te sloj primjena i usluga (*Application & Service Layer*).



Slika 5 - Troslojni model mreže

Sloj povezivosti ostvaruje protok korisničke informacije između korisnika priključenih preko jedne ili više pristupnih mreža te prema korisnicima koji su spojeni na istovrsne mreže ili na druge vrste mreža. Povezivanje se ostvaruje sustavima koji komutiraju i usmjeravaju korisničku informaciju.

Protokolni složaj poveznog sloja ovisan je o prijenosnom mediju (žično – parica, bežično, optičko vlakno) i načinu komuniciranja (kanal, paket), pri čemu se primjenjuju različita rješenja za paketsku arhitekturu (npr. IP/SDH/optičko vlakno, IP/Ethernet/optičko vlakno....), uz istraživanja rješenja IPoDWDM (*IP over Dense Wavelength Division Multiplex*). Kanalski se način rada zamjenjuje paketskim, s mrežnim protokolom IP.

Kontrolni sloj određuje način povezivanja sukladno zahtjevima poziva, usluga i aplikacija. Kontrolni sloj utvrđuje sudionike u komunikaciji, njihovu lokaciju, vrstu informacija koju razmjenjuju i druge kontrolne parametre potrebne za upravljanje komunikacijom. Sustavi kontrolnog sloja izmjenjuju upravljačku informaciju (signalizaciju) međusobno i sa sustavima druga dva sloja. Posebno je važna funkcionalnost kojom se ostvaruje upravljanje pokretljivošću te sigurnost mreža, usluga i aplikacija.

Uvedeni su novi kontrolni protokoli, primjerice SIP (*Session Initiation Protocol*).

Sloj primjena i usluga sadrži poslužiteljske sustave potporu primjenama i uslugama na raspolaganju korisnicima. U tom su sloju smješteni i sadržaji potrebni za ostvarivanje informacijskih usluga.

Upravo se u području usluga i primjena očekuju najveće promjene koje će promijeniti uloge i poslovne modele mrežnih operatora i davatelja usotsluga. Riječ je o razvoju inteligentnih kontekstno ovisnih usluga prilagođenih načinu života čije pružanje zahtijeva uspostavljanje elektroničkog tržišta usluga korisnicima vrste B2C (*Business to Consumer*), kao i

elektroničkog tržišta mrežnih i uslužnih resursa između mrežnih operatora i davatelja usluga vrste B2B (*Business to Business*).

Troslojna mrežna arhitektura primjer je horizontalne arhitekture koja uvodi zajedničke elemente za više mreža i više usluga, za razliku od vertikalnih arhitektura kod kojih svaka mreža ili vrsta usluga raspolaže vlastitim sredstvima za povezivanje, kontrolu, primjene i usluge (npr. telefonska mreža).

Upravljanje (*Management*) definira se izvan pojedinih slojeva. Ono usklađuje rad mreže u cijelosti, unutar i između slojeva, te prema sustavima za potporu poslovanju. (npr. CRM – *Customer Relation Magement*).

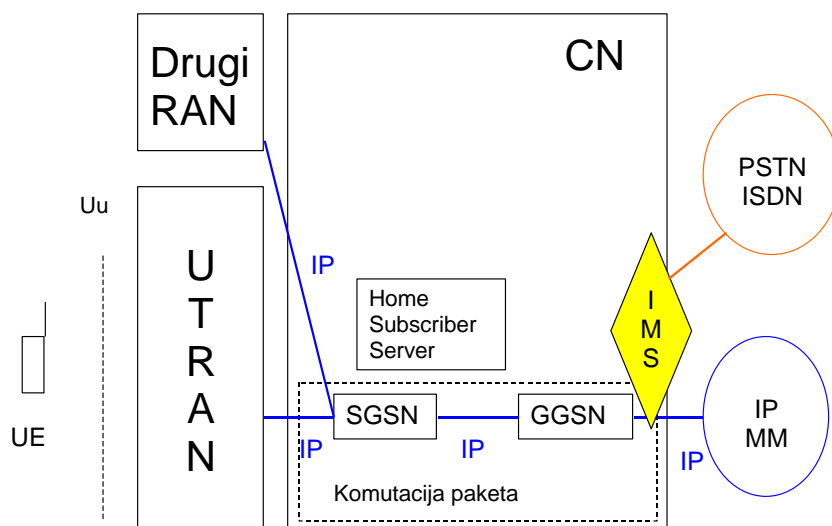
2.4 Stratumi

Pojam stratuma (*Stratum*) koji određuje funkcijsku zavisnost između domena uveden je uz definiciju domena u UMTS-u, a temeljni je koncept mreže sljedeće generacije (NGN - *Next Generation Network*)

3. IP mreža

IP je osnovni mrežni protokol i postupno se uvodi u sve mreže, pri čemu je za novu generaciju mreža važan IPv6, s funkcijama pokretljivosti (*Mobile IP*) i sigurnosti (*IPsec*), a istražuju se i post-IP mrežni mehanizmi.

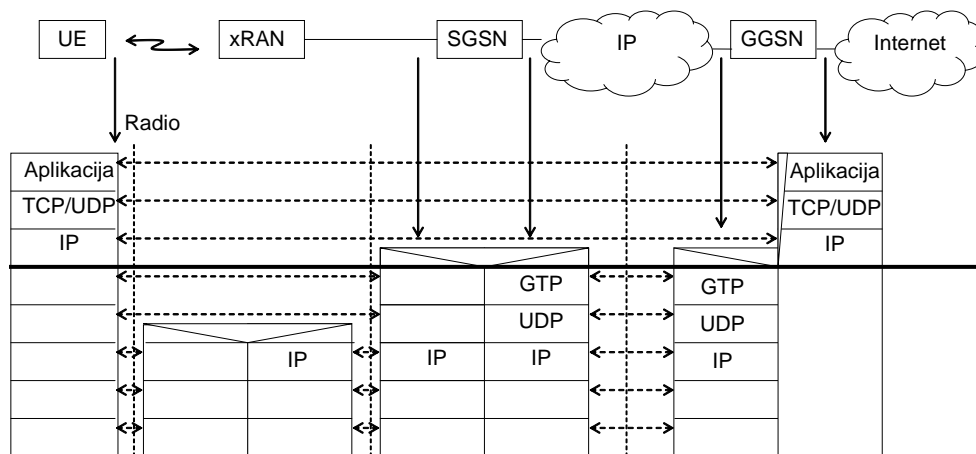
Razvojni korak u razvoju pokretnih mreža u kojem postupno "nestaje" kanalski dio naziva se sve-IP (*All-IP*), a odgovara arhitekturi 3GPP R5 UMTS (Slika 6), s IP višemedijskim podsustavom (*IP Multimedia Subsystem*). Uz veze od točke do točke (*point to point*) omogućuje se veza od točke prema više točaka (*point to multipoint*) te opće i višeodredišno razaslanje podataka (*broadcast, multicast*). U 3G mrežama to se rješava MBMS (*Multimedia Broadcast/Multicast Service*). U nečelijskim mrežama primjenjuje se tehnologija DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handheld*) za prikaz na malim ručnim terminalima.



Slika 6 Sve-IP arhitektura UMTS-a

Osnovni je problem (ne)učinkovitost sve-IP arhitekture. Ona u znatnoj mjeri ovisi o primjeni tuneliranja protokolom IP. Na sl. 7 pokazan je primjer koji opisuje paketski dio pokretne mreže (GPRS (*General Packet Radio Services*), EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*), UMTS). Tuneliranje se javlja između GPRS potpornih čvorova GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) i SGSN (*Service GPRS Support Node*) protokolom GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) te još između pristupne i jezgrene mreže.

Treba napomenuti da je s motrišta hijerarhijske organizacije pokretna mreža složenija nego fiksna. Dok se u fiksnoj mreži funkcijski razlikuju čvorovi na koje su spojeni korisnici (pristupni) i mrežni čvorovi (jezgreni), u pokretnoj se i u jezgrenoj i u pristupnoj mreži javlja više vrsta i razina čvorova. To su npr. SGSN i GGSN u jezgrenom paketskom dijelu, tako da se istražuju rješenja s jednom vrstom čvorova (GSN) s ciljem stvaranja nove i jednostavnije arhitekture.



Slika 7 Paketska komunikacija u sve-IP mreži

Alternativna arhitektura u kojoj bi svi mrežni entiteti bili izravno povezani u IP mrežu i djelovali kao krajnji sustavi ili međusustavi je tzv. "čisti IP" (*Pure IP*). To uključuje i nova pristupna rješenja te spada pod koncepte 4G. Naime, za učinkovitost paketskog pristupa i kvalitetu usluge, a posebice malo kašnjenje, nije dovoljan prijenos IP datagrama u radijskim kanalima, već treba pristup takvom mediju (MAC – *Media Access Control*) i održavanje logičke veze (LLC – *Logical Link Control*) izvesti sukladno zahtjevima prijena IP datagrama.

IP-mreža otvara i nove probleme pri međusobnom povezivanju mreža (interkonekciji) i procjeni troškova međusobnog povezivanja, parametru bitnom za razvoj tržišta.

4. Usluge i aplikacije

S motrišta funkcionalnosti, razlikuju se sljedeće izvedbe usluga:

- Usluge zasnovane na modelu klijent-klijent (*client-client*):
 - korisnička oprema osigurava funkcionalnost usluge;
 - funkcionalnost usluge osigurava se posredovanjem sloja primjena i usluga, npr. kod preusmjerenja poziva;

- Usluge zasnovane na modelu klijent-poslužitelj (*client-server*):
 - korisnička i poslužiteljska oprema osiguravaju funkcionalnost usluge;
 - jezgrena mreža prespaja klijenta do poslužitelja uz posredovanje sloja primjena i usluga, npr. kod odabira najbližeg poslužitelja ili poslužitelja zahtijevanih performansi;
- Usluge s višestrukim posredovanjem sloja primjena i usluga, npr. kod dostave istog sadržaja za više korisnika, npr. strujanje video sadržaja.

S motrišta korisnika, osnovne informacijske i komunikacijske usluge proširuju se novima, primjerenima svakodnevnim aktivnostima i novom stilu života (učenje, zabava, posao, zdravlje, okoliš, društvena interakcija). Uvode se „pametne“ tehnologije za inteligentne, kontekstno-svjesne, stvarnom životu slične i prilagodljive usluge, razrađuju postupci profiliranja korisnika, personalizacije usluga, preporučivanja i savjetovanja, uz posebnu važnost društvene umreženosti, eksplicitne i implicitne.

S poslovnog motrišta očevidna je migracija vrijednosti prema sadržaju, prostor rasta zasnovan na vertikalnoj integraciji sadržaja, rješenja i infrastrukture, novi koncepti usluga kao što su *Software-as-a-Service* (SaaS) i *Media-as-a-Service* (MaaS), i sve veća važnost upravljanja povjerenjem korisnika (*Trust management*) kao element diferencijacije davatelja usluga.

Za usluge i aplikacije istražuju se i razvijaju poslovni modeli i postupci poslovne analize.

Literatura:

1. T. Plevyak, V. Sahin, „Next Generation Telecommunications Networks, Services, and Management”, IEEE Press Series on Network Management, 2010.
2. A. Bažant, Ž. Car, G. Gledec, D. Jevtić, G. Ježić, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, Z. Skočir, „Telekomunikacije – tehnologija i tržište“, Element, Zagreb, 2007.
3. A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković, „Osnovne arhitekture mreža“, Element, Zagreb, 2003.
4. Yi-Bing Lin, I. Chlamatac, „Wireless and Mobile Network Architectures”, Wiley Computer Publishing, 2001.
5. D. Minoli, A. Schmidt, „Internet Architectures”, Wiley Computer Publishing, 1999.
6. R. Venturin, T.G. Eskedal, R. Andreassen, I. Grgic Gjerde, „A Method for the Business Analysis of B3G System”, *Proceedings of the 7th International Conference on Telecommunications ConTEL 2003*, Vol. I, pp. 97-104, Zagreb, 2003.
7. W.W. Lu, B.H. Walke, X. Shen, „4G Mobile Communication: Towards Open Wireless Architectures, *IEEE Wireless Communications*, pp. 6-8, April, 2004.
8. J. Mitolla, „Technical Challenges in the Globalization of Software Radio”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, No. 2, pp. 84-89, 1999.
9. Jong-Lok Yoon, „Telco 2.0: A new Role and Business Model”, *IEEE Communicatons Magazine*, Vol. 45, No.1, pp. 10-12, 2007.
10. **4G** - Your **4G** Resource for **4G** News, **4G** Reports And More (www.4g.co.uk)
11. NGN Forum and IMS Forum (www.imsforum.org)