

AKTUELNI PROBLEMI HETEROGENIH BEŽIČNIH MREŽA

Miodrag Bakmaz, Bojan Bakmaz
Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: *Heterogene bežične mreže predstavljaju perspektivan koncept razvoja pristupnih mreža naredne generacije. Pošto do sada nije realizovana idealna tehnologija, koja zadovoljava zahteve svih korisnika u pogledu performansi, ovaj koncept objedinjuje najbolje karakteristike, a ujedno potiskuje individualne nedostatke postojećih i bežičnih tehnologija u razvoju. Razvoj heterogenih mreža aktuelizuje veći broj problema u oblasti obezbeđivanja kvaliteta servisa, kontrole pristupa i upravljanja mobilnošću. U radu je analizirana arhitektura heterogenih bežičnih mreža kroz koegzistenciju različitih tehnologija, performanse TCP saobraćaja u bežičnom okruženju, kao i aspekt mobilnosti kao najznačajniji fenomen heterogenog okruženja.*

Ključne reči: *handover, heterogene bežične mreže, mobilnost, NGNs, TCP, QoS.*

1. Uvod

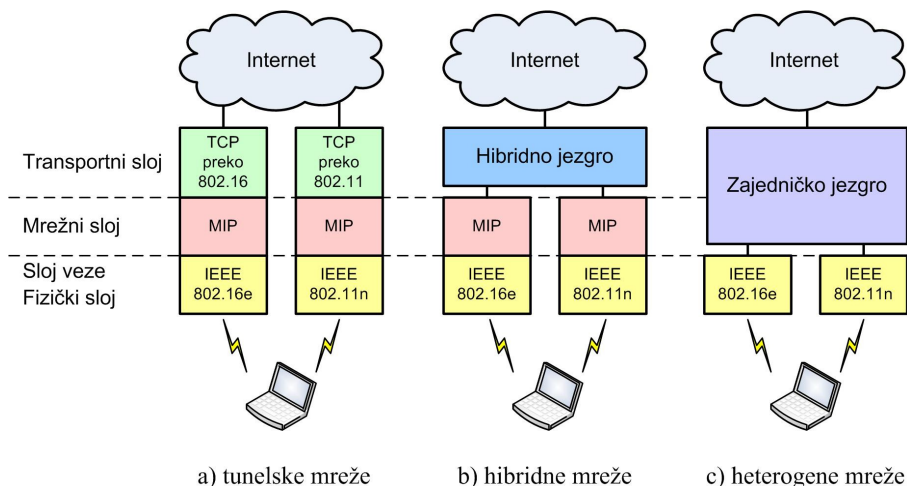
Uspeh druge generacije (2G) mobilnih sistema (npr. GSM – *Global System for Mobile communication*), uporedo sa implementacijom IP podrške preko 2.5G sistema (GPRS – *General Packet Radio Service*) odredio je pravac razvoja bežičnih mreža. Heterogene bežične mreže predstavljaju prihvaćen koncept razvoja pristupnog segmenta mreža naredne generacije (*Next-Generation Networks* – NGNs) [1]. Do sada nije realizovana idealna tehnologija koja bi zadovoljila zahteve svih korisnika u pogledu brzine prenosa informacija, pokrivenosti, sigurnosti, kvaliteta servisa i sl. Heterogene mreže objedinjuju najbolje karakteristike, a ujedno eliminišu nedostatke individualnih tehnologija.

Osnovni cilj heterogenih bežičnih mreža je obezbeđivanje potpune dostupnosti "bilo kada, bilo gde i bilo kojom tehnologijom", bazirane na ABC (*Always Best Connected*) konceptu koegzistencije više konkurentnih pristupnih mreža. Pristupne mreže se mogu formirati iz postojećih tehnologija (npr. UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*, WiMAX – *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), ili iz tehnologija u razvoju (npr. MobileFi - *Mobile Fidelity*, LTE – *Long Term Evolution*). U radu su izloženi arhitektura i standardi bežičnih mreža, problemi saobraćaja i mobilnosti u heterogenom okruženju. Predložen je optimizacioni proces vertikalnog handovera i analizirani metodi višekriterijumskog odlučivanja koje je moguće koristiti za rešavanje ovog problema.

2. Arhitektura heterogenih bežičnih mreža

Postoji nekoliko različitih pristupa koji razmatraju modele funkcionisanja pristupnih bežičnih mreža naredne generacije, a suštinska razlika se ogleda u nivou na kome bežične mreže komuniciraju. U dostupnoj literaturi se najčešće navode tri osnovna modela [2]:

- **Tunelske mreže** – Prema ovom modelu, korisnik nezavisno ugovara servise sa nekoliko operatora bežičnih pristupnih mreža. Ovakav sistem ne zahteva modifikacije postojećih pristupnih mreža. Osnovni nedostatak je konektivnost između mreža, koja je bazirana na višim slojevima (npr. transportnom sloju) OSI modela (Slika 1.a).
- **Hibridne mreže** – U ovom modelu figuriše hibridno jezgro kao direktni interfejs između bežičnih pristupnih mreža i Interneta (Slika 1.b). Bežične mreže su implementirane na mrežnom i nižim slojevima. Prednosti ovog modela se ogledaju u manjem broju dupliciranih funkcija i naprednijim servisima mrežnog sloja i sloja veze (npr. efikasniji hendover između pristupnih mreža).
- **Heterogene mreže** – Zahvaljujući zajedničkom jezgru mreže, ovaj model obezbeđuje potpunu funkcionalnost, kao u slučaju homogenih mrežnih struktura. Heterogene bežične pristupne mreže, isključivo upravljaju funkcijama koje se odnose na određene radio tehnologije (modulacija i sl.). U opštem slučaju, bežične pristupne mreže su zastupljene na fizičkom sloju i sloju veze, čime se postiže poboljšanje performansi i povećanje efikasnosti (Slika 1.c).



Slika 1. Modeli funkcionisanja heterogenih bežičnih mreža

Perspektivna arhitektura heterogenih bežičnih mreža zasniva se na tzv. 3M konceptu, koji čine tri osnovna entiteta (elementa) [3]: multiservisno okruženje, multimrežno okruženje i multimodni mobilni terminal.

Multiservisno okruženje korisnicima omogućuje pristup velikom broju različitih multimedijalnih servisa, uz potpunu mobilnost i garantovani QoS. Takođe je predviđeno simultano korišćenje pomenutih servisa.

Multimrežno okruženje obezbeđuje kooperaciju i integraciju mreža, koje se međusobno razlikuju u pogledu zone pokrivanja, brzine prenosa podataka, kvaliteta servisa, sigurnosti, cene, itd. Multimrežno okruženje podrazumeva interoperabilnost, interakciju i koegzistenciju postojećih i bežičnih mreža u razvoju (Tabela 1).

Tabela 1. Pregled bežičnih tehnologija

Mrežno okruženje	Standard	Frekventni opseg	Brzina prenosa podataka	Radius pokrivanja
WPAN	IEEE 802.15.1 Bluetooth	2,4 GHz 5 GHz (V.3)	3 Mb/s 54 Mb/s (V.3)	10 m
	IEEE 802.15.3a UWB	3,1-10,6 GHz	480 Mb/s	10 m
	IEEE 802.15.4 ZigBee	2,4 GHz (915/868 MHz)	250 kb/s	20 m
WLAN	IEEE 802.11a Wi-Fi	5 GHz	54 Mb/s	30 m
	IEEE 802.11b/g Wi-Fi	2,4 GHz	11/54 Mb/s	100 m
	IEEE 802.11n Wi-Fi	5 GHz / 2,4 GHz	600 Mb/s	200 m
WMAN	IEEE 802.16m WiMAX	2 - 11 GHz	300 Mb/s	50 km
	IEEE 802.16e Mobile WiMAX		128 Mb/s	30 km
	IEEE 802.20 MobileFi	< 3,5 GHz	41,6 Mb/s	15 km
WWAN	GSM 2G	450 - 1900 MHz	19,2 kb/s	35 km
	GPRS 2,5G		171,2 kb/s	
	EDGE 2,75G		384 kb/s	
	UMTS 3G	700 – 2600 MHz	2 Mb/s	20 km
	HSPA 3,5G		14 Mb/s	
	HSPA+ 3,75G		42,2 Mb/s	
	LTE		300 Mb/s	
WRAN	IEEE 802.22	54-862 MHz	31 Mb/s	30 km

Multimodni mobilni terminali pružaju veće komunikacione mogućnosti (npr. simultano korišćenje bežičnih pristupnih tehnologija) preko različitih interfejsa, čime se postiže najbolja povezanost sa bilo koje lokacije, u svakom trenutku. Obuhvaćeni su

WPAN (*Wireless Personal Area Network*), WLAN (*Wireless Local Area Network*), WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*), WWAN (*Wireless Wide Area Network*) i WRAN (*Wireless Regional Area Networks*) interfejsi.

Tradicionalni protokol stek, koji se sastoji od fizičkog, sloja veze, mrežnog, transportnog i aplikacionog sloja, ne zadovoljava u potpunosti zahteve heterogenih bežičnih mreža. Kao rešenje koegzistencije više heterogenih tehnologija nameće se koncept multimodnog protokol steka, koji se može realizovati kroz fleksibilnu horizontalnu i vertikalnu interakciju ukrštenih slojeva (*cross-layer*) [3,4]. Vertikalni segment ove arhitekture obezbeđuje potpunu koordinaciju u okviru samog steka, dok je horizontalni segment odgovoran za interoperabilnost samih bežičnih mreža (npr. proces vertikalnog handovera).

3. Dinamička alokacija spektra

Dinamička alokacija spektra za bežične mreže naredne generacije ima za cilj njegovo efikasno korišćenje uz koegzistenciju heterogenih tehnologija. Deljenje spektra između heterogenih bežičnih sistema može biti horizontalno ili vertikalno. Za razliku od vertikalnog, horizontalno deljenje spektra je pogodno za slučajeve gde radio interfejsi ravnopravno pristupaju određenom opsegu, kao što je to slučaj u nelicenciranim opsezima. Tehnički posmatrano, spektar se može deliti u vremenskom, prostornom, frekvencijskom i kombinovanom domenu. Spektar tradicionalno može biti raspodeljen statički, međutim u savremenim pristupnim mrežama spektar se može dinamički alocirati u zavisnosti od saobraćajnih zahteva.

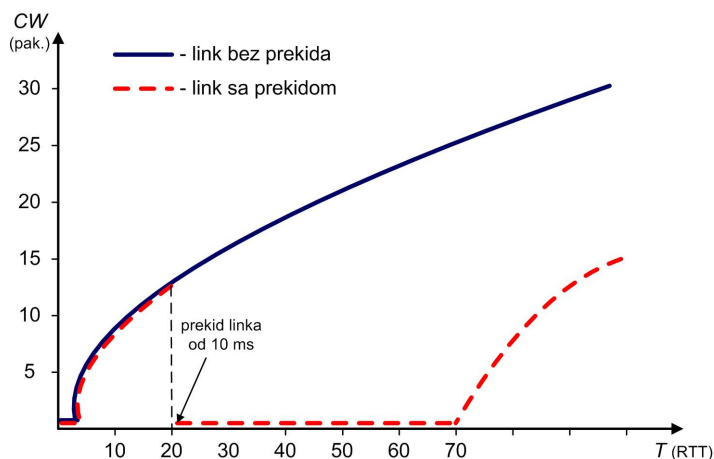
Šenonova teorija upućuje na efikasnija rešenja iskorišćenja spektra za aplikacije koje se smatraju izvorima striming saobraćaja. Dinamička alokacija spektra (DSA – *Dynamic Spectrum Allocation*) se može vršiti decentralizovanim modelima, ili pod kontrolom mreže. Međutim, u aktuelnoj literaturi se sve više razmatra i novi koncept tzv. kognitivnog radija, koji bi obezbedio efikasno iskorišćenje spektra [5]. Kognitivni radio se posmatra kao specijalni tip softverski definisanog radija, koji se prilagođava promenljivom okruženju.

DSA se u najvećoj meri oslanja na predviđanje budućih saobraćajnih zahteva na osnovu niza vrednosti iz prošlosti. Za prognoziranje mrežnog saobraćaja, koji pokazuje osobinu "sličnosti samom sebi" (*self-similarity*), adekvatnim su se pokazali autoregresioni modeli ARIMA i FARIMA [1].

4. Performanse TCP saobraćaja u bežičnom okruženju

NGN arhitekture su po svojoj prirodi IP orijentisane, pri čemu veze između čvorova mogu biti žične i bežične. Međutim, TCP (*Transport Control Protocol*) koji je osmišljen i realizovan prvenstveno za žične tehnologije, manifestuje određene nedostatke u heterogenom bežičnom okruženju. Anomalije potiču od karakteristika bežične veze i performansi modela gubitaka paketa, a odražavaju se na različite aplikacije, kroz degradaciju propusnosti, neefikasno iskorišćenje mrežnih resursa i učestalim prekidima u prenosu podataka. Takođe, BER (*Bit Error Rate*) je izraženiji u bežičnim linkovima, a terminalna i personalna mobilnost zahtevaju veći broj privremenih raskidanja i uspostavljanja veze u toku jedne sesije. Kraći prekidi veze neminovno dovode do dužih

prekida TCP saobraćaja [6]. Ovaj efekat je ilustrovan slikom 3, kroz odnos veličine prozora zagušenja CW (*Congestion Window*), koji indirektno predstavlja propusnost linka i ukupnog vremena prenosa u oba smera RTT (*Round Trip Time*). U ovom primeru, prekid veze u trajanju od 10 ms ($20 RTT \leq T \leq 20,5 RTT$) prouzrokuje prekid TCP saobraćaja od 1 s. Ovi prekidi dovode do gubitaka paketa i ACK potvrda.



Slika 3. Uticaj kratkog prekida veze na TCP saobraćaj
(brzina linka 2 Mb/s, 1 RTT = 20 ms)

TCP *Reno*, kao jedan od najzastupljenijih algoritama, nije u dovoljnoj meri efikasan u slučaju visokog BER i učestalih prekida veze. U žičnom okruženju gubitak paketa se najčešće javlja kao posledica zagušenja mreže, dok u bežičnom okruženju veliki BER izaziva slučajan gubitak paketa, što dovodi do neželjenog efekta usporenja prenosa podataka. Višestruki slučajni gubitak malog broja paketa u okviru jednog RTT intervala neminovno dovodi do dužeg prekida TCP saobraćaja. Prema [6], slučajni gubitak dva paketa u okviru jednog RTT intervala dovodi do prekida TCP prenosa u trajanju od 1 s.

Tradicionalna TCP rešenja ne zadovoljavaju u potpunosti zahteve heterogenih okruženja. Aktuelni predlozi modifikacije TCP algoritama mogu se posmatrati sa aspekta mogućnosti kontrole zagušenja (reaktivno i proaktivno) entiteta, gde je potrebno izvršiti modifikaciju (ruter, izvorni čvor), intenziteta mobilnosti i sl. U tabeli 2 su komparirane modifikacije TCP algoritama, koji se primenljivi u heterogenom bežičnom okruženju.

Tabela 2. Poređenje modifikacija TCP algoritama za heterogene bežične mreže

TCP algoritam	Kontrola zagušenja	Mobilnost	Modifikacija
<i>New Reno</i>	reaktivna	mala	izvora
<i>Selective ACK</i>	reaktivna	mala	izvora
<i>Vegas</i>	proaktivna	mala	izvora
<i>Veno</i>	proaktivna	mala	izvora
<i>Westwood</i>	proaktivna	velika	izvora
<i>Jersey</i>	proaktivna	velika	rutera i izvora

5. Mobilnost u heterogenom okruženju

Distribucija multimedijalnih servisa u IP-baziranom NGN okruženju odvija se u uslovima potpune, besprekidne mobilnosti. Koncept mobilnosti se može definisati na više načina, u smislu:

Kretanja (nomadnosti) korisnika: Mobilnost predstavlja sposobnost korisnika da promeni tačku povezivanja (PoA – *Point of Attachment*) u toku kretanja.

Kontinuiteta sesije: Mobilnost predstavlja sposobnost komutiranja PoA u toku trajanja sesije. U toku komutiranja PoA, može doći do prekida i nastavka sesije, kao i određene degradacije kvaliteta servisa u smislu kašnjenja i gubitaka podataka.

Besprekidnog handovera: Mobilnost se posmatra kao transparentna migracija saobraćajnih tokova između dve PoA, koje pripadaju nezavisnim heterogenim tehnologijama. Adekvatni handover algoritmi mogu u značajnoj meri smanjiti gubitak paketa. Handover se može klasifikovati u sledeće opšte kategorije:

- Intrasistemski (horizontalni) handover – stara i nova tačka povezivanja pripadaju istim tehnologijama.
- Intersistemski (vertikalni) handover – stara i nova tačka povezivanja pripadaju različitim tehnologijama.
- Interoperatorski handover – proširenje kontinuiteta sesije izvan domena gde je servis registrovan.

Mobilnost na mrežnom sloju se najčešće posmatra preko MIP (*Mobile Internet Protocol*) rešenja. MIP funkcioniše na osnovu alociranja dve adrese za mobilne terminale: trajne opšte adrese (*home address*) i privremene lokalne adrese (CoA – *Care of Address*) [7]. Trenutno su aktuelne dve verzije ovog protokola, MIPv4 i MIPv6. Noviji protokol karakterišu značajne prednosti koje se odnose na optimizaciju komunikacije između pristupnog čvora i mobilnog terminala. Osnovni MIP algoritam definiše kašnjenje u toku handovera, detekciju kretanja, konfigurisanje CoA i ažuriranje lokacije. Kašnjenje koje je prouzrokovano procesom handovera predstavlja jedan od ključnih problema u pogledu mobilnosti u okviru heterogenih bežičnih mreža. Kao mogućnost minimizacije kašnjenja nametnula su se dva rešenja, koja predstavljaju poboljšane varijante MIPv6: FMIPv6 (*Fast MIPv6*) [8] i HMIPv6 (*Hierarchical MIPv6*) [9].

FMIPv6 obezbeđuje mobilnom terminalu da koristi link nove podmreže pre ažuriranja lokacije sa pristupnim čvorom. Redukujući proces signalizacije između čvorova, FMIPv6 povećava kompleksnost arhitekture terminala i rutera, ali zato obezbeđuje sve potrebne informacije (kontrola pristupa, QoS profili, kompresija zaglavlja) za praktično besprekidan handover. FMIPv6 se uglavnom pominje u kontekstu mikro mobilnosti.

HMIPv6 se oslanja na mrežnu arhitekturu baziranu na domenima koji obuhvataju nekoliko pristupnih rutera i mobilnih veznih tačaka (MAP – *Mobile Anchor Point*). Funkcioniše na principu dve adrese (globalne CoA i CoA po linku), tako da u slučaju mikro mobilnosti (mobilnost u okviru istog domena) smanjuje kašnjenje i gubitke koji se javljaju u toku handovera.

Mobilnost na transportnom sloju obezbeđuje se poboljšanjima aktuelnih protokola transportnog sloja (TCP, UDP), kao i razvojem novih protokola. Jedno od prihvatljivih rešenja za besprekidnu mobilnost predstavlja mSCTP (*mobile Stream Control Transmission Protocol*) [10]. Njega karakterišu višestruko adresiranje, višestruki

tokovi i relativno pouzdan prenos podataka. Prednosti korišćenja ovog protokola u vertikalnom hendoveru se odražavaju u jednostavnijoj mrežnoj arhitekturi, povećanju propusnosti, smanjenju kašnjenja, efikasnijoj adaptaciji tokova i kontroli zagušenja.

Mobilnost na aplikacionom sloju se najčešće realizuje preko SIP (*Session Initiation Protocol*), najpoznatijeg signalnog protokola za upravljanje multimedijalnim sesijama [11]. SIP obezbeđuje identifikovanje mobilnih terminala jedinstvenom logičkom adresom, pri čemu za razliku od drugih rešenja, ne zahteva modifikaciju mrežnih entiteta i TCP/IP steka. Međutim, nedostatak SIP mobilnosti se manifestuje preko izrazitog hendover kašnjenja na višim slojevima. SIP može da obezbedi terminalnu, personalnu i servisnu mobilnost u NGN okruženju.

Sinopsis pozitivnih i negativnih aspekata pomenutih mobilno-orijentisanih rešenja dat je u tabeli 3.

Tabela 3. Komparacija mobilno-orijentisanih protokola

Sloj	Reprezentativna rešenja	Prednosti	Nedostaci
Mrežni	MIP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transparentna mobilnost ka višim slojevima. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Izmene u mrežnoj arhitekturi i TCP/IP steku. ▪ Rutiranje "u trouglu".
Transportni	mSCTP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obezbeđuje kontinuitet sesije za svaku TCP konekciju. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modifikacija transportnog sloja. ▪ Dugotrajni prekidi onemogućuju nastavak sesije. ▪ Ne obezbeđuje mobilnost za aplikacije koje se oslanjaju na ostale transportne protokole.
Aplikacioni	SIP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bez izmena u TCP/IP steku. ▪ Podrška za terminalnu, personalnu i servisnu mobilnost. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementacija <i>proxy</i> servera. ▪ Ne obezbeđuje kontinuitet sesije za ostale aplikacije. ▪ Izrazito hendover kašnjenje.

6. Medijum nezavisni hendover

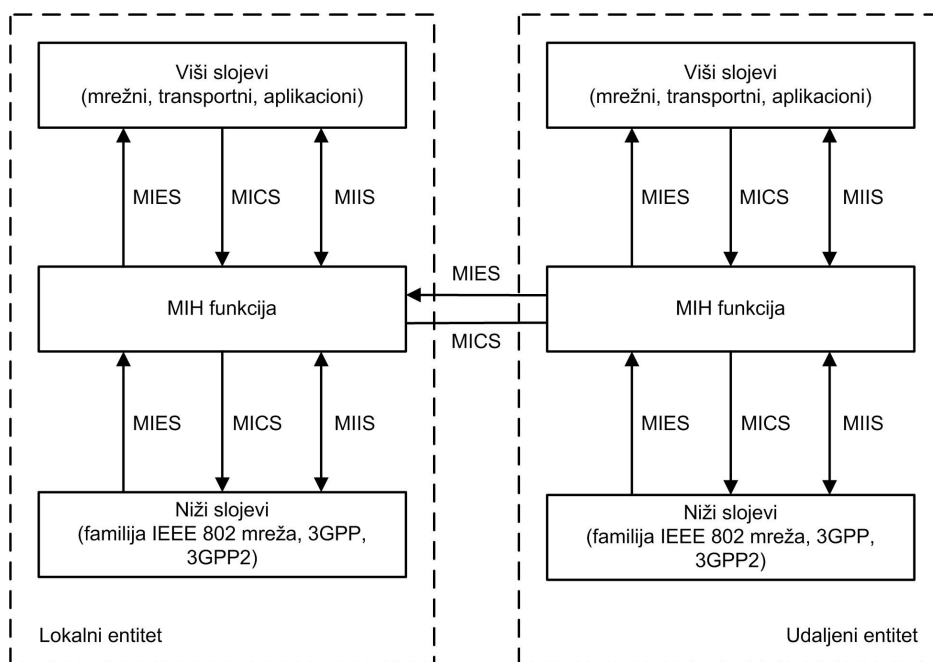
Za NGN sisteme neophodno je definisati okvir za podršku mobilno-orijentisanim protokolima. Radna grupa u okviru IEEE nedavno je predložila standard IEEE 802.21, koji bi trebao da reši probleme vezane za interoperabilnost heterogenih bežičnih mreža i proces vertikalnog hendovera [12]. Osnovni koncept ovog standarda je obezbeđivanje zajedničkog interfejsa za upravljanje procedurama i porukama u multimrežnom okruženju. Ovakav koncept je takođe prihvaćen od IETF radne grupe MIPSHOP (*Mobility for IP: Performance, Signaling and Handoff Optimization*) [13].

U okviru IEEE 802.21 MIH (*Medium Independent Handover*) standarda razmatraju se:

- **Intersistemski hendover** za multimodne terminale u heterogenom bežičnom okruženju, koji može biti iniciran od strane pristupne mreže, ili mobilnog terminala.
- **Besprekidni hendover** sa aspekta kontinuiteta servisa.
- **QoS-orijentisani hendover** u smislu obezbeđivanja QoS garancija za sve tipove saobraćaja (*best effort, real-time*). U razmatranju su obuhvaćeni i QoE (*Quality of Experience*) aspekti prilagođavanja karakteristika sesije.
- **Sigurnosni aspekt** za signalizaciju u procesu hendovera.

Osnovne funkcije IEEE 802.21 MIH standarda obuhvataju:

- MIES (*Media-Independent Events Service*) - zadužen za detektovanje događaja i prosleđivanje odgovarajućih informacija između lokalnih i udaljenih entiteta, koji se odnose na stanje, karakteristike i kvalitet veze.
- MICS (*Media-Independent Command Service*) - kojim viši slojevi upravljaju nižim slojevima u toku hendovera. Tipične komande se odnose na konfiguraciju mrežnih uređaja i skeniranje raspoloživih mreža, a razmena komandi se može odvijati i između lokalnih i udaljenih entiteta.
- MIIS (*Media-Independent Information Service*) - predstavlja deo mehanizma za prikupljanje značajnih informacija za donošenje odluke o hendoveru. Informacije podrazumevaju parametre sloja veze: performanse kanala, MAC adrese PoA iz okolnih mreža i sl.



Slika 4. Osnovne funkcije IEEE 802.21 MIH standarda

7. Optimizacija procesa vertikalnog hendovera

Postojeće širokopojasne pristupne mreže obuhvataju tehnologije koje se mogu rangirati od personalnog do regionalnog nivoa. Vertikalni hendover, koji je karakterističan za ovo okruženje, prouzrokuje degradaciju kvaliteta servisa kroz dodatno kašnjenje i gubitak paketa za *real-time* saobraćaj. U osnovi, upravljanje mobilnošću se odnosi na dva kritična problema: upravljanje lokacijom i upravljanje hendoverom. Bežične mreže naredne generacije zahtevaju fleksibilnu arhitekturu u kojoj je QoS usko povezan sa upravljanjem resursima i hendover mehanizmima.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred mehanizme vertikalnog hendovera su:

- Smanjenje broja nepotrebnih hendovera u cilju redukovanja opterećenja mreže signalnim saobraćajem,
- Maksimiziranje iskorišćenja mreže uz obezbeđivanje zahtevanog QoS nivoa.

Ovi zahtevi mogu biti ispoštovani uz adekvatnu razmenu signalnih informacija između entiteta mreže, kao i optimizacijom procesa vertikalnog hendovera. Proces vertikalnog hendovera se može posmatrati kroz tri osnovne faze [14]:

1) Iniciranje hendovera – Prikupljanje informacija za identifikovanje potreba za hendoverom. Kao adekvatni parametri mogu se posmatrati: raspoloživa brzina prenosa, nivo kvaliteta servisa, nivo sigurnosti, cena servisa i sl. **Brzina prenosa podataka** (B) predstavlja značajan i transparentan parametar za korisnike aktuelnih i budućih multimedijalnih servisa. **Nivo kvaliteta servisa** (Q) može biti određen kroz metričke vrednosti kašnjenja, džitera, gubitaka paketa i sl. Nivo kvaliteta servisa može biti deklarisan od strane provajdera servisa na osnovu ITU preporuke Y.1541, kojom su definisane granične vrednosti QoS parametara za određene aplikacije, odnosno klase servisa. Praćenjem QoS parametara preko jedinstvene metrike nivoa kvaliteta servisa izbegava se nepotrebno opterećivanje korisničkih terminala i ostalih mrežnih elementa, a ovaj parametar postaje transparentniji prema korisniku. **Nivo sigurnosti** (S) se, kao i prethodni parametar, može deklarirati od strane provajdera servisa, a predstavlja meru sigurnosti prenosa informacija u određenoj mreži. Za većinu korisnika, u zavisnosti od aplikacije, sigurnost ima veliki udeo prilikom odlučivanja o adekvatnosti neke mreže za prenos željenog sadržaja. **Cena servisa** (C) se može značajno razlikovati od provajdera do provajdera, ali i u različitim mrežnim okruženjima. Cena u nekim slučajevima može biti odlučujući faktor u izboru optimalne mreže, a obuhvata cenu saobraćaja i cenu rominga između heterogenih mreža.

2) Odlučivanje o hendoveru – Matematičkim algoritmima se vrši evaluacija prikupljenih parametara iz čega se može formirati opšta funkcija kvaliteta mreže:

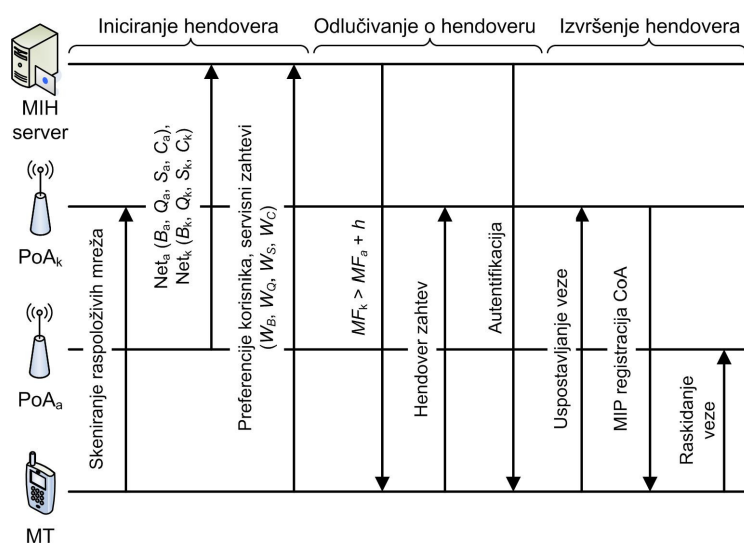
$$MF_i = f(W_B B_i, W_Q Q_i, W_S S_i, W_C C_i), \quad (1)$$

pri čemu su W_B , W_Q , W_S i W_C odgovarajući težinski koeficijenti posmatranih parametara. Težinski koeficijenti mogu da zavise od servisnih zahteva (mrežom kontrolisan hendover, automatski izbor optimalne mreže), ili da se estimiraju na osnovu servisnih zahteva i preferencije korisnika. Funkcija kvaliteta mreže se koristi za donošenje odluke o hendoveru, uz uslov

$$MF_k > MF_a + h, \quad (2)$$

pri čemu se, pored funkcije kvaliteta aktuelne mreže (MF_a) i mreže kandidata (FA_k), uzima u obzir i predefinisani histerezis hendovera h . Optimalno određivanje histerezisa ima za cilj smanjivanje uticaja negativnih efekata učestalih hendovera (tzv. "ping-pong" efekat). Vrednost histerezisa se dinamički menja u funkciji upravljanja radio resursima.

3) Izvršenje hendovera – Poslednja faza u proceduri hendovera oslanja se na MIP platformu i obezbeđuje kontinuitet servisa. Odnosi se na uspostavljanje veze sa novom PoA i prekid veze sa starom PoA. Faze procesa vertikalnog hendovera sa tokovima informacija prikazane su na slici 5.



Slika 5. Proces vertikalnog hendovera

8. Višekriterijumsko odlučivanje u procesu vertikalnog hendovera

Problemi višekriterijumskog odlučivanja (MCDM, *Multiple Criteria Decision Making*), vrlo se razlikuju, a u cilju dizajniranja optimalne alternative, ili selekcije najbolje, aktuelna je klasifikacija u dve kategorije: višekriterijumsko odlučivanje prema objektu (MODM, *Multiple Objective Decision Making*) i višekriterijumsko odlučivanje prema osobinama (MADM, *Multiple Attributes Decision Making*).

Kod izbora optimalne mreže u heterogenom okruženju predodređena kandidat mreža odlikuje se atributima, broj dostupnih mreža je konačan, a prostor odlučivanja diskretan, tako da se problem može svrstati u MADM kategoriju. Matrica odlučivanja u MADM metodu sadrži četiri glavna dela: alternative, attribute, težine i mere performansi alternativa s obzirom na attribute. Cilj MADM je odabir alternative iz skupa alternativa, koja najbolje zadovoljava osnovu prioritizacije atributa kao mere performanse svake alternative. Postojanje više alternativa i kriterijuma, od kojih neke treba maksimizirati a neke minimizirati, znači da se odluke donose u konfliktnim uslovima i da se za rešavanje višekriterijumskih zadataka moraju primeniti postupci fleksibilniji od strogo matematičkih optimizacionih tehnika.

Na osnovu prirode MADM razvijeni su klasični metodi, poput metoda otežane sume (WSM, *Weighted Sum Method*), metoda otežanog proizvoda (WPM, *Weighted Product Method*), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité, Elimination and Choice Expressing the Reality*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), itd. Ovi metodi koriste heurističke parametre i mere rastojanja, ima ih više verzija, a u praksi se često paralelno koristi nekoliko metoda, da bi se obezbedila kontrola konzistentnosti odlučivanja.

U većini MADM metoda opšta je pretpostavka da su svi kriterijumi nezavisni. Postoje problemi, poput izbora mreže u heterogenom okruženju, gde su kašnjenje u mreži, gubitak paketa, bitska brzina i drugi kriterijumi koji se uzimaju u obzir, značajno međuzavisni. Za rešavanje višekriterijumskih problema sa međuzavisnim kriterijumima razvijen je metod ANP (*Analytic Network Process*), koji sistematski uzima u obzir zavisnost i povratnu spregu. Moguće je koristiti i Teoriju *fuzzy* logike u verzijama optimizacionih metoda, koje obuhvataju kompleks problema vezanih sa grupnim odlučivanjem, subjektivnošću, ekspertskim znanjem, sklonošću da se koriste lingvističke umesto brojevanih ocena i slično.

Niz kvantitativnih evaluacionih metoda, poput kombinovanog *grey*, sintetičkog *fuzzy*, kao i evaluacije veštačkih neuralnih mreža može se uvesti radi određivanja težina evaluacionih indikatora, koji su ili subjektivni ili vrlo kompleksni pri proračunu. Subjektivnost se ne može izbeći u osnovi kod nekih evaluacionih metoda, kao što je određivanje funkcije pripadnosti ili stepena učešća u sintetičkoj *fuzzy* evaluaciji.

TOPSIS baziran na entropiji težine izbegava nedostatke koji postoje u navedenim evaluacionim metodima. TOPSIS metod se zasniva na principu da izabrano rešenje treba da ima najkraće rastojanje do pozitivnog idealnog rešenja i najduže rastojanje od negativnog idealnog rešenja, gde se rastojanja proračunavaju sa određenom vrednošću p ($1 \leq p \leq \infty$) iz metrika Minkovskog. Tradicionalni TOPSIS koristi Euklidsku normu, odnosno minimizaciju kvadratnog korena sume kvadriranih rastojanja, za idealno i anti-idealno rešenje. Ovo je metrika drugog reda, za razliku od metrike prvog reda u varijanti TOPSIS2, gde se rastojanja mere kao najmanje apsolutne vrednosti. Originalni TOPSIS, kao i drugi metodi, poseduje evaluacioni nedostatak koji se ogleda u pojavi preinačenja ranga (*rank reversal*), tako da se tretiraju modifikacije koje prevazilaze ovaj problem [15].

9. Zaključak

Razvoj NGN pretpostavlja postojanje heterogenih bežičnih mreža, što otvara niz problema. Problem mobilnosti, realizacija vertikalnog handovera, kao i razvoj algoritma za selekciju mreža predstavljaju trenutno najveće izazove za istraživače u ovoj oblasti.

Literatura

- [1] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2008.
- [2] P. J. M. Havinga et al., "The SMART project exploiting the heterogeneous mobile world", *Proc. 2nd International Conference on Internet Computing*, Las Vegas, Nevada, USA, June 2001, pp. 346-352.

- [3] B. Xie, A. Kumar, and D. P. Agrawal, "Enabling Multiservice on 3G and Beyond: Challenges and Future Directions", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 15, no. 3, June 2008, pp. 66-72.
- [4] E. Hossain, *Heterogeneous Wireless Access Networks: Architectures and Protocols*, (edited volume), Springer, NY, USA, 2008.
- [5] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain - Empowered Wireless Communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, vol. 23, no. 2, Feb. 2005, pp. 201-220.
- [6] Y. Tian, K. Xu, and N. Ansari, "TCP in Wireless Environments: Problems and Solutions", *IEEE Commun. Magazine*, vol. 43, no. 3, Mar. 2005, pp. S27-S32.
- [7] L. Sarakis, G. Kormentzas, F. M. Guirao, "Seamless Service Provision for Multi Heterogeneous Access", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 16, no. 5, Oct. 2009, pp. 32-40.
- [8] R. Koodli, Ed., "Mobile IPv6 Fast Handovers", IETF RFC 5268, June 2008.
- [9] H. Soliman et al., "Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management", IETF RFC 5380, Oct. 2008.
- [10] S. J. Koh, M. J. Chang, and M. Lee, "mSCTP for Soft Handover in Transport Layer", *IEEE Commun. Letters*, vol. 8, no. 3, Mar. 2004, pp. 189-191.
- [11] B. Ciubotaru and G-M. Muntean, "SASHA – A Quality-Oriented Handover Algorithm for Multimedia Content Delivery to Mobile Users", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 55, no. 2, June 2009, pp. 437-450.
- [12] G. Lampropoulos, A. K. Salkintzis and N. Passas, "Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks", *IEEE Commun. Magazine*, vol. 46, no.1, Jan. 2008, pp. 64-71.
- [13] <http://tools.ietf.org/wg/mipshop>
- [14] M. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, "An Overview of Vertical Handover Decision Strategies in Heterogeneous Wireless Networks", *Computer Commun.*, vol. 31, no. 10, June 2008, pp. 2607-2620.
- [15] L. Ren et al., "Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and TOPSIS", *Applied Mathematics Research Express*, no.1, Jan. 2007, pp. 1-10.

Abstract: *Heterogeneous wireless networks represent perspective concept for next generation access networks. The ideal technology which could satisfy the demands of all users concerning performance is not deployed until now. This concept integrates the best characteristics, and also represses the individual limitations of current and wireless developing technologies. The heterogeneous networks development actualizes great number of problems in the domain of providing the quality of service, admission control and mobility management. This work analyzes the architecture of heterogeneous wireless networks through various technology coexistences, as well as the wireless TCP traffic performance and the mobility aspect as the most important phenomenon of heterogeneous environment.*

Keywords: *handover, heterogeneous wireless networks, mobility, NGNs, TCP, QoS.*

ACTUAL PROBLEMS IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

Miodrag Bakmaz, Bojan Bakmaz