

TEHNIKE HENDOVERA U HETEROGENIM BEŽIČNIM MREŽAMA

Miodrag Bakmaz, Bojan Bakmaz
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Sadržaj: *Tehnike hendovera predstavljaju značajnu komponentu razvoja arhitekture heterogenih bežičnih mreža. Osnovni preduslov visoke funkcionalnosti i skalabilnosti vertikalnog hendovera je obezbeđivanje kvaliteta servisa u uslovima potpune mobilnosti. U radu su predstavljene i analizirane perspektivne tehnike vertikalnog hendovera, bazirane na kvalitetu radio linka i funkciji boniteta pristupne mreže, sa aspekta efikasnosti i kompleksnosti implementacije.*

Ključne reči: *heterogene bežične mreže, kvalitet servisa, mobilnost, vertikalni hendover*

1. Uvod

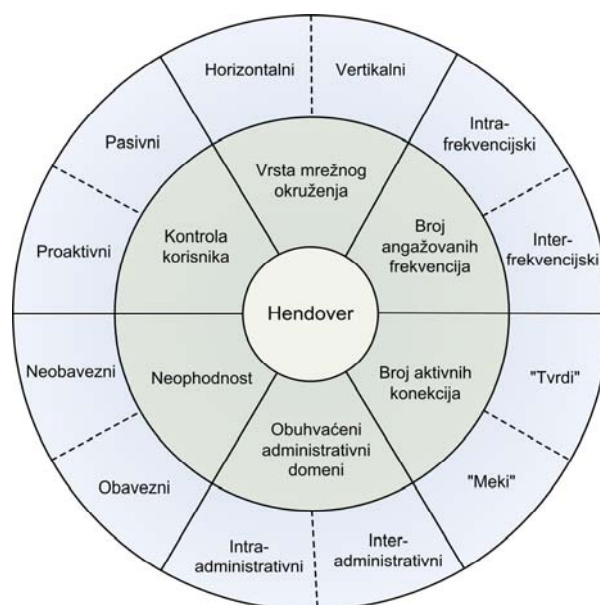
Osnovni koncept komunikacionih sistema naredne generacije predstavlja princip permanentno najbolje povezanosti, ABC (*Always Best Connectivity*), koji korisnicima obezbeđuje pristup servisima preko optimalne mreže. Optimalna pristupna mreža se određuje na osnovu metrika koje se odnose na performanse mreže, servisne zahteve i preferencije korisnika. Izbor optimalne mreže predstavlja značajan element složenog procesa hendovera [1, 2]. U homogenim bežičnim mrežama potreba za hendoverom se javlja u slučaju kada terminal, usled kretanja korisnika, izađe iz zone pokrivanja pristupnog rutera. U heterogenom okruženju hendover se češće javlja u funkciji poboljšanja komunikacije, a ređe u funkciji održavanja konekcije.

U dostupnoj literaturi predložen je veliki broj tehnika koji se odnose na iniciranje hendovera i izbor optimalne pristupne mreže. Predložene tehnike koriste različite metrike i heuristike za rešavanje pomenutih problema. Međutim, ni jedna od tih tehnika ne ispunjava sve zahteve u smislu funkcionalnosti i efikasnosti.

2. Vrste hendovera

Hendover (*handover, handoff*) kod bežičnih mreža predstavlja proceduralni vremenski proces, kada mobilni terminal, u toku aktivne sesije (ili poziva), menja tačku povezivanja (PoA – *Point of Attachment*). Klasifikaciju hendovera je moguće izvršiti na osnovu nekoliko faktora, uključujući vrstu mrežnog okruženja, obuhvaćene

administrativne domene, broj konekcija i angažovanih frekvencija itd. [3]. Klasifikacija hendovera na osnovu navedenih faktora prikazana je na slici 1.



Slika 1. Klasifikacija hendovera

U zavisnosti od toga da li se nova tačka povezivanja nalazi u istoj, ili drugoj mreži, kod bežičnih mreža razlikuju se dve vrste hendovera:

- Horizontalni (intra-sistemska), kod koga tačke povezivanja pripadaju istom tipu mreže (npr. bazne stanice u okviru UMTS mreže) i
- Vertikalni (inter-sistemska), kod koga tačke povezivanja pripadaju različitim tipovima mreža (npr. komutacija aktivne konekcije sa bazne stanice u okviru WiMAX mreže na pristupnu tačku u okviru WiFi mreže).

Na osnovu angažovanih frekvencija, proces hendovera se može posmatrati kao:

- Intra-frekvencijski, pri čemu tačke povezivanja funkcionišu na istim frekvencijama, što je slučaj kod CDMA/FDD sistema,
- Inter-frekvencijski, pri čemu tačke povezivanja mobilnog terminala funkcionišu na različitim frekvencijama, što je tipičan slučaj za CDMA/TDD sisteme. U GSM mrežama zastupljena je isključivo ova vrsta hendovera.

U pogledu broja simultanih konekcija u odnosu na tačke povezivanja, hendoveri se mogu klasifikovati u dve grupe:

- "Tvrdi" (*hard*) hendoveri – gde se radio link sa starom tačkom povezivanja raskida u trenutku uspostavljanja radio linka sa novom tačkom. U ovom slučaju mobilni terminal ostvaruje najviše jednu konekciju sa tačkom povezivanja u bilo kom trenutku. Ovakvi hendoveri su karakteristični za 2G mobilne sisteme (bazirane na vremenskom i frekvencijskom multipleksu), kao i za WiMAX tehnologije [4].

- "Meki" (*soft*) hendoveri – gde mobilni terminal održava paralelnu konekciju sa najmanje dve tačke povezivanja u preklapajućim hendover zonama. Konekcija sa nekom od tačaka povezivanja se prekida isključivo u slučaju kada jačina signal padne ispod predefinisane prag. 3G CDMA sistemi koriste ovu tehniku, jer se istovremeno koristi više kodiranih kanala i mobilni terminal može da komunicira sa više PoA.

Administrativni domeni predstavljaju grupe sistema i mreža koji pripadaju jedinstvenom organizacionom nivou. Oni imaju značajnu ulogu u bežičnim mrežama naredne generacije sa aspekta heterogenosti arhitekture, pa postoji podela hendovera na:

- Intra-administrativni hendover, koji se odvija između različitih mreža (uz eksploataciju istih, ili različitih mrežnih interfejsa) u okviru istog administrativnog domena i
- Inter-administrativni hendover, koji se odvija između različitih mreža, kojima upravljaju odgovarajući administrativni domeni.

Hendoveri se mogu razlikovati i u zavisnosti od potreba za njihovim izvršenjem, što je karakteristično za heterogeno okruženje. Moguće je analizirati:

- Obavezne (imperativne) hendovere, kada mobilni terminal prelazi na drugu tačku povezivanja, da bi se izbegao prekid veze usled slabljenja signala. Kao osnovni parametri za iniciranje hendovera mogu se posmatrati jačina radio signala i dostupnost kanala.
- Neobavezne (alternativne) hendovere, koji nastaju usled promene tačke povezivanja u cilju poboljšanja npr. opaženog nivoa kvaliteta servisa (QoS – *Quality of Service*), ukoliko to dozvoljavaju raspoloživi mrežni resursi. Alternativni hendoveri tolerišu veće hendover kašnjenje, a odnose se na QoS i AAAC (*Authentication, Authorization, Accounting and Charging*) korisničke zahteve [5].

Ukoliko se posmatra uticaj korisnika na proces iniciranja hendovera i izbora optimalne mreže, hendover može biti:

- Proaktivni, baziran na preferencijama korisnika, koji u većoj, ili manjoj meri utiču na proces hendovera. Korisnički orijentisan hendover predstavlja radikalni fenomen u bežičnim mrežama naredne generacije.
- Pasivni, odnosno hendover isključivo kontrolisan mrežom, je karakterističan za homogene bežične sisteme.

Na osnovu uloge entiteta u odlučivanju, postoje tri vrste hendovera [3], [6]:

- NCHO (*Network-Controlled HandOver*) - mrežom kontrolisan hendover, kod koga mreža donosi odluku o hendoveru,
- MAHO (*Mobile-Assisted HandOver*) - hendover uz asistenciju mobilnog terminala, kod koga takođe mreža odlučuje o hendoveru i
- MCHO (*Mobile-Controlled HandOver*) - hendover kontrolisan mobilnim terminalom, kod koga sam terminal odlučuje o hendoveru.

Za heterogene bežične mreže potrebno je razviti UAHO (*User-Assisted HandOver*) - hendover uz asistenciju korisnika. Na relaciji korisnik – terminal vrši se kontrola i iniciranje hendovera u pogodnom trenutku, određivanje optimalnog linka i održavanje aktivne konekcije [2].

Horizontalni hendoveri, bazirani na evaluaciji snage radio signala, vezuju se za homogeno bežično okruženje i ne predstavljaju adekvatno rešenje za heterogeno bežično okruženje. Proces vertikalnog hendovera je daleko kompleksniji od tradicionalnog

horizontalnog hendovera i predstavlja neminovno rešenje potpune mobilnosti. Zbog kompleksnosti i višedimenzionalnosti, vertikalni hendover se u dostupnoj literaturi naziva i hiper hendoverom (*hyper handover*) [8].

Da bi se postigla efikasnost i besprekidnost procesa vertikalnog hendovera u heterogenom bežičnom okruženju, neophodno je obezbediti kontinuitet servisa, uz održanje zahtevanog nivoa kvaliteta servisa, koji se reflektuje malim kašnjenjem i minimalnim gubitkom paketa u toku hendovera.

3. Kriterijumi za iniciranje hendovera i izbor optimalne pristupne mreže

Kao kriterijumi u tehnikama vertikalnog hendovera često se navode četiri grupe, koje se odnose na entitete - učesnike u odlučivanju o hendoveru:

- mrežno orijentisane metrike (pokrivenost, kvalitet linka, brzina prenosa podataka itd.),
- servisno orijentisane metrike (nivo kvaliteta servisa, nivo sigurnosti itd.),
- korisnički orijentisane metrike (preferencije korisnika, opaženi kvalitet servisa itd.)
- terminalno orijentisane metrike (brzina kretanja, potrošnja energije, lokacijske informacije itd.).

Snaga signala na prijemu (RSS – *Received Signal Strength*), je najčešće korišćeni kriterijum za iniciranje hendovera, zbog jednostavnosti merenja i direktne korelacije sa kvalitetom veze. RSS direktno zavisi od udaljenosti mobilnog terminala i PoA.

Brzina prenosa podataka (protok) predstavlja značajan indikator saobraćajnih performansi pristupne mreže i transparentan parametar za korisnike aktuelnih i budućih multimedijalnih servisa.

Nivo kvaliteta servisa može biti određen kroz metričke vrednosti kašnjenja, džitera, gubitka paketa i sl. 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 mrežnih elementa, a ovaj parametar postaje transparentniji prema korisniku.

Nivo sigurnosti, kao i prethodni kriterijum, može se deklarirati od strane provajdera servisa, a predstavlja meru sigurnosti prenosa informacija u određenoj mreži. Za većinu korisnika, zavisno od aplikacije, sigurnost ima veliki udeo prilikom odlučivanja o adekvatnosti neke mreže za prenos željenog sadržaja.

Cena servisa 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.

Navedene metrike utiču na trenutak iniciranja hendovera i izbor optimalne pristupne mreže. Broj kriterijuma i dinamička varijabilnost nekih parametara značajno povećava kompleksnost tehnike hendovera, zbog toga je izbor adekvatnih kriterijuma od izuzetnog značaja.

4. Evaluacija tehnika hendovera

Kvantitativne analize performansi hendover tehnika mogu se sprovesti kroz određivanje srednjeg i maksimalnog hendover kašnjenja, broja hendovera, broja neuspelih hendovera usled neadekvatnog izbora, verovatnoće blokiranja hendover zahteva, iskorišćenosti resursa i dr.

Hendover kašnjenje predstavlja vremensku razliku između trenutka iniciranja hendovera i završetka procesa hendovera. Intenzitet ovog kašnjenja direktno zavisi od kompleksnosti primenjene tehnike hendovera, a ima veliki uticaj na kvalitet poziva i multimedijalnih sesija.

Smanjenje broja nepotrebnih hendovera ("ping-pong" efekat) je jedan od osnovnih zahteva funkcionalnosti tehnike hendovera u cilju redukovanja opterećenja mrežnih resursa signalnim saobraćajem.

Blokiranje hendover zahteva se javlja u slučaju iniciranja hendovera ka mreži koja nema dovoljno slobodnih resursa za opsluživanje zahteva, ili kada se mobilni terminal nađe izvan zone pokrivanja ciljne pristupne tačke pre završetka hendover procesa. U prvom slučaju verovatnoća blokiranja hendover zahteva je u korelaciji sa raspoloživošću kanala ciljne mreže, dok je u drugom mobilnost korisnika ključni faktor.

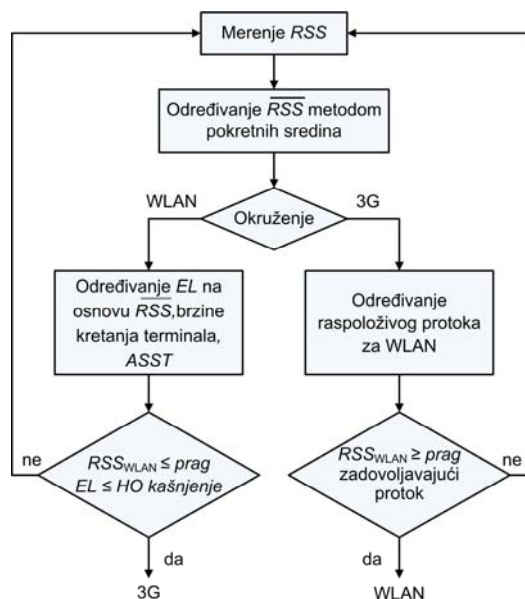
Iskorišćenost resursa predstavlja odnos iskorišćenih resursa i ukupne količine raspoloživih resursa. U slučaju efikasne iskorišćenosti kanala posmatra se odnos srednjeg broja zauzetih kanala i ukupnog broja raspoloživih kanala u sistemu [9].

5. Tehnike hendovera bazirane na kvalitetu radio linka

Klasične tehnike horizontalnog hendovera u osnovi analiziraju RSS metriku u varijantama poređenja RSS aktuelne PoA i RSS PoA mreže kandidata. U kombinaciji sa predefinisanim pragom i histerezisom, RSS metrika predstavlja zadovoljavajuće rešenje za homogeno mrežno okruženje. U heterogenom okruženju RSS metrika nije dovoljan kriterijum za iniciranje hendovera, ali se u kombinaciji sa drugim metrikama može primeniti kao eliminatorni (polazni) uslov.

Jedna od predloženih tehnika [10] analizira iniciranje hendovera između 3G i WLAN mreža, u slučaju preklapanja ćelija. Kao osnovna metrika koristi se RSS u kombinaciji sa procenjenim vremenom boravka mobilnog terminala u WLAN ćeliji (EL – *Estimated Lifetime*) i raspoloživim protokom. Kao sekundarni parametri korišćeni su brzina kretanja terminala, hendover kašnjenje i prag jačine signala (ASST - *Application Signal Strength Threshold*), koji zavisi od stepena greške bita (BER – *Bit Error Rate*), otpornosti aplikacije na greške i zahtevanog kvaliteta servisa. Algoritam tehnike hendovera bazirane na RSS prikazan je na slici 2.

Primenom EL metrike obuhvaćeni su zahtevi aplikacija u smislu kvaliteta servisa, kao aspekti mobilnosti korisnika, što u većoj meri redukuje broj nepotrebnih hendovera. U ovom slučaju terminal u najvećoj mogućoj meri koristi resurse (protok) WLAN okruženja, čime je povećan opaženi kvalitet servisa od strane korisnika. Nedostatak ove tehnike se ogleda u povećanju kašnjenja paketa i kompleksnosti implementacije.



Slika 2. Primer algoritama tehnike hendovera bazirane na RSS

Druga aktuelna tehnika, bazirana na kvalitetu radio linka, odnosi se na primenu SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) metrike [11] kod hendovera između WLAN i WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*) mreža. Na osnovu heuristike vrši se izbor optimalne mreže, pri čemu se inicira hendover ka mreži koja ima veću vrednost ekvivalentnog SINR. Primena SINR metrike obezbeđuje korisnicima veću brzinu prenosa informacija, pošto je raspoloživi protok u direktnoj zavisnosti od ovog kriterijuma.

6. Tehnike hendovera bazirane na funkciji boniteta pristupne mreže

Funkcija boniteta (*merit function*), na osnovu koje se donosi odluka u procesu vertikalnog hendovera, kombinuje nekoliko kriterijuma za izbor optimalne pristupne mreže. Evaluacija kriterijuma u cilju formiranja jedinstvene funkcije sprovodi se primenom jednog ili više matematičkih alata. Za rešavanje može se koristiti funkcija cilja, višekriterijumska analiza, veštačke neuronske mreže, *fuzzy* logika i dr.

U radu [12] predložena je tehnika hendovera koja određuje optimalnu mrežu na osnovu funkcije cilja, za sve raspoložive pristupne mreže

$$C^n = \sum_s \sum_j W_{s,j}^n Q_{s,j}^n, \text{ uz uslov } E_{s,j}^n \neq 0, \quad (1)$$

pri čemu je $Q_{s,j}^n$ normalizovana vrednost QoS parametra j (npr. protok) za servis s (npr. video, audio) u mreži n (npr. WLAN, UMTS), $W_{s,j}^n$ odgovarajući težinski koeficijent, a $E_{s,j}^n$ faktor eliminacije mreže, ukoliko mreža ne obezbeđuje zahtevani nivo kvaliteta servisa.

Hendover se inicira ka pristupnoj mreži sa minimalnom vrednošću funkcije cilja. Algoritam predložene tehnike prikazan je na slici 3. Autori su predložili i varijantu algoritma kojim se za svaku aktivnu sesiju, na osnovu funkcije cilja, određuje optimalna pristupna mreža.



Slika 3. Primer algoritma tehnike hendovera bazirane na funkciji cilja

Slično prethodnoj tehnici, rad [3] analizira primenu funkcije cilja u postupku evaluacije kvalitativnih performansi mreže kandidata. Distributivnim metodom funkcija cilja određuje faktor kvaliteta mreže Q_i na osnovu relacije

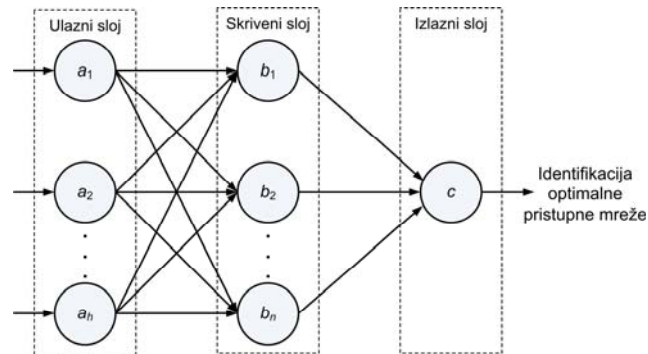
$$Q_i = f\left(w_c \frac{1}{C_i}, w_s S_i, w_p \frac{1}{P_i}, w_b B_i, w_f F_i\right), \quad (2)$$

pri čemu je C_i cena servisa, S_i sigurnost, P_i potrošnja energije, B_i protok, F_i kvalitet linka, dok su w_c , w_s , w_p , w_b i w_f odgovarajući težinski koeficijenti navedenih parametara. Zbog heterogenosti parametara potrebno je izvršiti normalizaciju funkcije.

Tehnika koja se pri izboru optimalne pristupne mreže oslanja na veštačku neuronsku mrežu, sa prostiranjem signala unapred, predložena je u [13]. Topologija primenjene neuronske mreže, koja se sastoji od ulaznog, skrivenog i izlaznog sloja, prikazana je na slici 4.

Ulazni sloj čini h čvorova koji predstavljaju različite kriterijume za izbor optimalne mreže, dok skriveni sloj čini n čvorova koji predstavljaju raspoložive pristupne mreže. Za određivanje funkcije cilja primenjena je sigmoidalna logaritamska aktivaciona funkcija $f(x) = 1/(1+e^{-x})$. Za proces obučavanja primenjen je algoritam propagacije greške unazad (*error backpropagation*).

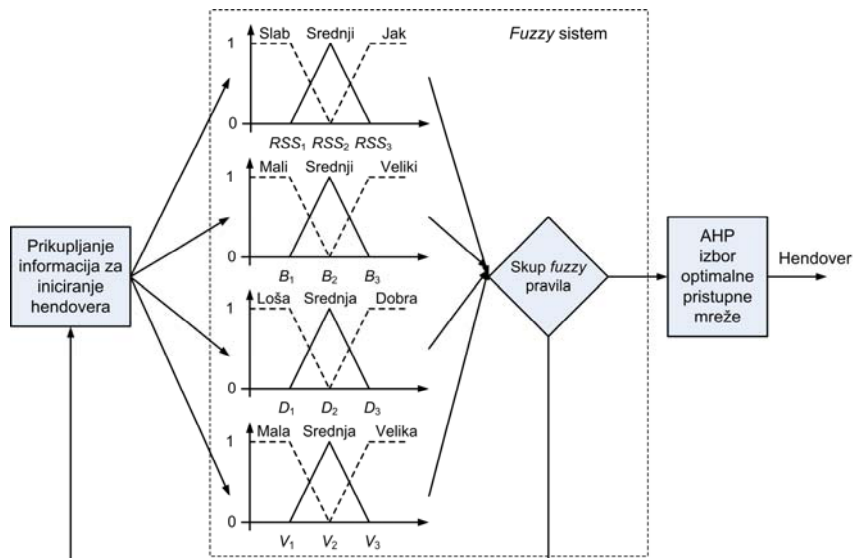
Izlazni sloj čini jedan čvor koji generiše identifikaciju optimalne pristupne mreže. Autori su u simulaciji usvojili istu funkciju cilja kao u radu [3]. Sprovedene simulacije su pokazale visoku tačnosti i pouzdanost modela pri izboru optimalne mreže. Nedostaci algoritma se ogledaju u kompleksnosti sistema i povećanom hendover kašnjenju usled procesa obučavanja.



Slika 4. Topologija neuronske mreže kao tehnike hendovera

Zbog asocijacije na prirodu problematike, veliki broj u literaturi dostupnih tehnika hendovera oslanja se na heuristike višekriterijumskog odlučivanja (MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*) [3, 14, 15]. Rad [15] kombinuje heuristike *fuzzy* sistema i MCDM (Slika 5). U procesu iniciranja hendovera predložena tehnika koristi *fuzzy* logiku analizirajući kriterijume kao što su: RSS, protok (B), pokrivenost (D) i brzina kretanja terminala (V). Na osnovu 4 pripadajuće funkcije i 81 definisanog pravila sistem određuje da li je hendover potreban ili ne. Primenom AHP (*Analytic Hierarchy Process*) metoda i *Satty*-eve skale na kriterijume kao što su: cena servisa, preferencija interfejsa, status baterije i QoS, određuje se optimalna pristupna mreža.

Primenom *fuzzy* logike u procesu odlučivanja smanjuje se broj nepotrebnih hendovera, signalizacioni saobraćaj i kašnjenje hendovera. Nefleksibilnost uticaja preferencija korisnika na sistem osnovni je nedostatak primenjene AHP metode, što bi se eventualno moglo prevazići primenom neke druge MCDM tehnike.



Slika 5. Primer tehnike hendovera bazirane na fuzzy sistemu i AHP metodi

Kvalitativna komparacija analiziranih tehnika hendovera, sa aspekta funkcionalnosti i kompleksnosti implementacije, data je u tabeli 1.

Tabela 1. Komparacija analiziranih tehnika hendovera

Heuristika	Kriterijumi	Prednosti	Nedostaci
Kvalitet radio linka [10, 11]	RSS, EL, SINR. Ograničen broj kriterijuma.	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjen broj nepotrebnih hendovera • Smanjeno kašnjenje hendovera • Jednostavnost 	<ul style="list-style-type: none"> • Povećana verovatnoća blokiranja novih zahteva • Nepouzdanost
Funkcija cilja [3, 12]	Cena servisa, sigurnost, potrošnja energije, protok, kvalitet linka. Povećanje broja kriterijuma ne utiče na kompleksnost.	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjeno kašnjenje hendovera • Mala verovatnoća blokiranja zahteva 	<ul style="list-style-type: none"> • Kompleksnost • Veći intenzitet signalizacionog saobraćaja
Neuronske mreže [13]	Povećanje broja kriterijuma povećava kompleksnost.	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjen broj nepotrebnih hendovera • Visoka pouzdanost 	<ul style="list-style-type: none"> • Izražena kompleksnost • Hendover kašnjenje
Fuzzy logika i MCDM [14, 15]	RSS, protok, pokrivenost, brzina kretanja terminala, cena servisa, preferencija interfejsa, status baterije, QoS. Povećanje broja kriterijuma povećava kompleksnost sistema u segmentu odlučivanja o hendoveru.	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjen broj nepotrebnih hendovera • Visoka pouzdanost 	<ul style="list-style-type: none"> • Izražena kompleksnost • Nefleksibilnost uticaja preferencije korisnika

7. Zaključak

Dizajniranje efikasnih tehnika hendovera predstavlja osnovni pravac istraživanja u oblasti heterogenih bežičnih mreža. Aktuelne tehnike ne ispunjavaju u potpunosti zahteve u pogledu pokrivenosti tehnologija, adekvatnosti analiziranih parametara, kompleksnosti implementacije i uključivanja svih entiteta u izbor adekvatne pristupne mreže. U suštini, tehnike bazirane na kvalitetu radio linka predstavljaju jednostavna rešenja zbog broja analiziranih kriterijuma i mrežnih tehnologija. Tehnike bazirane na bonitetu mreže analiziraju uticaje mrežnih performansi, servisnih zahteva i preferencija korisnika. Međutim, zbog svoje kompleksnosti predstavljaju isključivo teorijska rešenja, koja su trenutno u žiži interesovanja istraživača, ali zbog niza nedostataka nisu još primenljiva u realnim okruženjima.

Literatura

- [1] E. Hossain, *Heterogeneous Wireless Access Networks: Architectures and Protocols*, (edited volume), Springer, NY, USA, 2008.
- [2] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2008.

- [3] N. Nasser, A. Hasswa, H. Hassanein, "Handoffs in Fourth Generation Heterogeneous Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 10, Oct. 2006, pp. 96-103.
- [4] A. Sgora, D. D. Vergados, "Handoff Prioritization and Decision Schemes in Wireless Cellular Networks: a Survey", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 11, no. 4, Fourth Quarter 2009, pp. 57-77.
- [5] W. Zhang, J. Jaehnert, K. Dolzer, "Design and Evaluation of a Handover Decision Strategy for 4th Generation Mobile Networks", *Proc. 57th IEEE VTC 2003*, vol. 3, Apr. 2003, pp. 1969-1973.
- [6] M. Kassar, B. Kervella, G. Pujolle, "An Overview of Vertical Handover Decision Strategies in Heterogeneous Wireless Networks", *Computer Communications*, vol. 31, no. 10, June 2008, pp. 2607-2620.
- [7] M. Stemm, R. H. Katz, "Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks", *Mobile Networks and Applications*, vol. 3, no. 4, Jan. 1998, pp. 335-350.
- [8] X. Gao, G. Wu, T. Miki, "End-to-End QoS Provisioning in Mobile Heterogeneous Networks", *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 3, June 2004, pp. 24 - 34.
- [9] X. Yan, Y. A. Şekercioğlu, S. Narayanan, "A Survey of Vertical Handover Decision Algorithms in Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks", *Computer Networks*, vol. 54, no. 11, Aug. 2010, pp. 1848-1863.
- [10] A. H. Zahran, B. Liang, A. Saleh, "Signal Threshold Adaptation for Vertical Handoff in Heterogeneous Wireless Networks", *Mobile Networks and Applications*, vol. 11, no. 4, Aug. 2006, pp. 625-640.
- [11] K. Yang, et al., "Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks", *Proc. IEEE GLOBECOM'07*, Washington, DC, USA, Nov. 2007, pp. 4483-4487.
- [12] F. Zhu, J. McNair, "Multiservice Vertical Handoff Decision Algorithms", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2006, no. 2, Apr. 2006, pp. 1-13.
- [13] N. Nasser, S. Guizani, E. Al-Masri, "Middleware Vertical Handoff Manager: A Neural Network-based Solution", *Proc. IEEE ICC'07*, Glasgow, Scotland, June 2007, pp. 5671-5676.
- [14] F. Bari, V. C. M. Leung, "Automated Network Selection in a Heterogeneous Wireless Network Environment", *IEEE Network*, vol. 21, no. 1, Jan/Feb. 2007, pp. 34-40.
- [15] M. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, "An Intelligent Handover Management System for Future Generation Wireless Networks", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Article ID 791691, 12 pages, 2008.

Abstract: *Handover techniques are crucial components of heterogeneous wireless networks architecture development. Providing quality of service in conditions of seamless mobility is the major prerequisite for vertical handover high functionality and scalability. In this paper, the perspective vertical handover techniques, based on radio link quality and merit function of access network, are presented and analyzed in terms of efficiency and implementation complexity.*

Keywords: *heterogeneous wireless networks, mobility, vertical handover, QoS*

HANDOVER TECHNIQUES IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

Miodrag Bakmaz, Bojan Bakmaz