

# Izbor mreže u proceduri heterogenog hendovera

Bojan M. Bakmaz, *Member, IEEE*, Zoran S. Bojković, *Senior Member, IEEE*,  
Miodrag R. Bakmaz, *Member, IEEE*

**Sadržaj** — Ovaj rad razmatra problem izbora mreže u proceduri heterogenog hendovera, kao jednog od bitnijih izazova pri obezbeđivanju interoperabilnosti tehnologija i potpune mobilnosti korisnika u bežičnim mrežama naredne generacije. Predložen je model baziran na višekriterijumskoj analizi, pri čemu bežične pristupne mreže predstavljaju alternative, dok se mrežni parametri (brzina prenosa, nivo kvaliteta servisa, nivo sigurnosti i cena) razmatraju kao kriterijumi za određivanje optimalne mreže. Testiranjem modela, pokazane su mogućnosti TOPSIS metode u procesu izbora optimalne mreže.

**Gljučne reči** — Hendover, heterogene bežične mreže, kvalitet servisa, višekriterijumska analiza.

## I. UVOD

IDEJA o povezivanju više različitih bežičnih tehnologija u jedan heterogeni sistem predstavlja perspektivnu viziju bežičnih mreža naredne generacije (NGN – *Next Generation Networks*). Da bi se korisnicima obezbedio pristup "sa bilo kog mesta, u bilo kom trenutku", nameće se potreba za kreiranjem efikasnog okruženja, koje promovise interoperabilnost pristupnih mreža i potpunu mobilnost korisnika multimodnih terminala.

Bežične pristupne tehnologije (npr. Wi-Fi, WiMAX, UMTS, MobileFi) se međusobno razlikuju po svojim opštim karakteristikama, kao što su: brzina prenosa podataka, pokrivenost, sigurnost, cena i kvaliteta servisa. Pored tradicionalne (horizontalne) mobilnosti u okviru jedne mreže, kod heterogenog bežičnog okruženja, u prvi plan se ističe vertikalna mobilnost, sa daleko kompleksnijom pratećom procedurom. Heterogeni (vertikalni) hendover predstavlja proces prenosa konekcije na baznu stanicu (ili pristupnu tačku) u okviru druge mreže. Može biti iniciran od strane korisnika, ili od strane mreže, ali transparentno prema korisniku, u zavisnosti od potrebnih resursa. Na primer, korisnik može da izabere pristup WLAN mreži za slanje velike količine podataka, ili UMTS mreži za prenos glasa. Do sada je za upravljanje procesom hendovera bila dovoljna samo analiza jačine signala, ali je u heterogenim mrežama neophodna analiza većeg broja parametara.

Obezbeđivanje ABC (*Always Best Connected*) koncepta, koji predstavlja primarni cilj heterogenog

bežičnog okruženja, realizuje se izborom optimalne mreže u procesu heterogenog hendovera. Mehanizmi za izbor mreže su u dostupnoj literaturi prihvaćeni kao alati za upravljanje radio resursima (RRM – *Radio Resource Management*) [1], a o njihovom značaju svedoči i MIH (*Media Independent Handover*) standard, koji se razvija pod okriljem radne grupe IEEE 802.21 [2].

Pošto se pored jačine signala u obzir moraju uzeti i drugi parametri, ovaj problem se može rešavati sa aspekta višekriterijumske analize [3]-[6], *fuzzy* logike [7], [8], neuronskih mreža [9], teorije igara [10] i sl.

Efikasan model za izbor mreže trebalo bi da ispunjava sledeće uslove:

- da ravnopravno razmatra preferencije korisnika, zahteve servisa i performanse mreže,
- da je transparentan prema korisniku,
- da minimizira kašnjenje u procesu hendovera,
- da analizira najznačajnije parametre,
- da je fleksibilan i pogodan za implementaciju.

Nakon uvoda u kome je istaknut značaj problematike i deklarirani uslovi za razvoj efikasnog modela za izbor mreže u procesu hendovera kod heterogenog bežičnog okruženja, u drugom delu rada definisani su parametri za optimalan izbor mreže i način prikupljanja njihovih metričkih vrednosti preko kognitivnog pilot kanala. Predložen je model baziran na višekriterijumskoj analizi i izvršeno je testiranje kroz tri različita scenarija. Izvedeni su odgovarajući zaključci i ukazano je na smernice za dalja istraživanja.

## II. PARAMETRI ZA IZBOR MREŽE

Kao najznačajnije parametre za izbor mreže u procesu heterogenog hendovera možemo izdvojiti:

- **Brzina prenosa podataka ( $B$ )** predstavlja krucijalan 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,

B. M. Bakmaz, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091223; e-mail: b.bakmaz@sf.bg.ac.yu).

Z. S. Bojkovic, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091217, e-mail: z.bojkovic@yahoo.com).

M. R. Bakmaz, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091314; e-mail: bakmaz@sf.bg.ac.yu).

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.

Nakon definisanja adekvatnih parametara, nameće se pitanje na koji način vršiti distribuciju metričkih informacija od mrežnih entiteta do korisničkih multimodnih terminala. Koncept kognitivnog pilot kanala (CPC – *Cognitive Pilot Channel*), koji je razvijen u okviru E<sup>2</sup>R (*End to End Reconfigurability*) projekta [11], može da obezbedi dovoljno informacija mobilnom terminalu o performansama raspoloživih mreža.

### III. RANGIRANJE DOSTUPNIH MREŽA

Perspektivne strategije za izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju detaljno su analizirane u [12]. Strategije koje se oslanjaju na višekriterijumsku analizu, privlače najviše pažnje istraživača, jer u najvećem stepenu ispunjavaju definisane zahteve u pogledu efikasnosti, fleksibilnosti, kompleksnosti i transparentnosti prema korisniku. Prednosti primene višekriterijumske analize (VA) u odnosu na strategije koje se baziraju na *fuzzy* logici (FL) i neuronskim mrežama (NM) date su u tabeli 1.

TABELA 1: PREDNOSTI VIŠEKRI TERIJUMSKE ANALIZE U ODNOSU NA FL I NM METODE U PROCESU IZBORA MREŽE.

METODE:	VA	FL	NM
Analiza više kriterijuma	+	+	-
Transparentnost ka korisniku	+ -	+ -	+ -
Efikasnost	+	+	+
Fleksibilnost	+	+ -	+ -
Kompleksnost implementacije	+ -	-	-

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) metoda višekriterijumskog odlučivanja, koju su razvili C. Hwang i K. Yoon 1981. godine, zasnovana je na konceptu da izabrana alternativa ima najkraće Euklidsko rastojanje od idealnog rešenja i najduže od anti-idealnog rešenja. Kriterijumi se mogu predstaviti u višedimenzionalnom koordinatnom sistemu, gde svakom od njih odgovara jedna koordinatna osa. Pretpostavlja se da svakom kriterijumu monotono raste ili opada upotrebljivost, tako da je relativno lako naći idealno rešenje, sastavljeno od svih najboljih kriterijumskih vrednosti koje su dostignute, kao i anti-idealno rešenje, sastavljeno od najlošijih vrednosti. Ova metoda je jednostavna, a daje neosporan redosled preferencije rešenja.

Model ovog problema nema kriterijume istog stepena važnosti, pa je potrebno da korisnik unapred definiše koji od parametara (kriterijuma) ima veći značaj, u zavisnosti

od multimedijalnog sadržaja koji se prenosi. Na primer, za prenos video sadržaja najznačajniji parametar je brzina prenosa, u slučaju prenosa govora najvažniji je kvalitet servisa, dok je u slučaju podataka to sigurnost. U teoriji je razvijeno više postupaka za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma. Metod entropije predstavlja egzaktan pristup, gde se mogu kombinovati težine određene na osnovu entropije atributa u okviru istog kriterijuma i raspona u okviru svih kriterijuma modela, sa težinama koje dodeljuje korisnik na osnovu svojih preferencija.

Nakon normiranja mrežnih parametara i ponderisanja odgovarajućim težinskim koeficijentima na osnovu relacija (1) i (2), koje predstavljaju Euklidsko rastojanje alternative od idealnog i anti-idealnog rešenja, moguće je izračunati koeficijent relativne bliskosti idealnom rešenju  $RC$  za svaku mrežu  $i$

$$D_i^+ = \sqrt{(B_i^* - B^+)^2 + (Q_i^* - Q^+)^2 + (S_i^* - S^+)^2 + (C_i^* - C^+)^2} \quad (1)$$

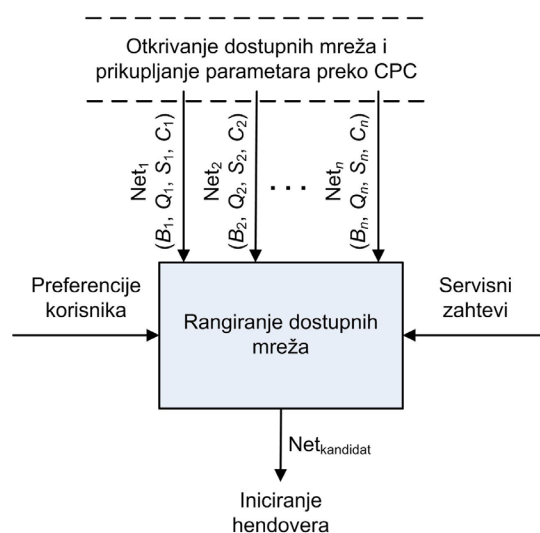
$$D_i^- = \sqrt{(B_i^* - B^-)^2 + (Q_i^* - Q^-)^2 + (S_i^* - S^-)^2 + (C_i^* - C^-)^2} \quad (2)$$

$$RC_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (3)$$

Na osnovu  $RC$  koeficijenta može se izvršiti rangiranje mreža, pri čemu je optimalna ona mreža koja ima najveći pomenuti koeficijent.  $RC$  faktor se može upotrebiti za iniciranje vertikalnog hendovera, uz uslov

$$RC_C > RC_A + \theta \quad (4)$$

pri čemu se porede koeficijenti aktuelne mreže ( $RC_A$ ) i mreže kandidata ( $RC_C$ ) uzimajući u obzir i predefinisani prag hendovera  $\theta$ . Optimalno određivanje ovog praga ima za cilj smanjivanje uticaja negativnih efekata učestalih hendovera (tzv. "ping-pong" efekat). Model za rangiranje dostupnih mreža prikazan je na sl. 1.



Sl. 1. Model za rangiranje dostupnih mreža.

### IV. TESTIRANJE MODELA I MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE

Za testiranje modela razvijena je softverska aplikacija, čiji je izvorni kod napisan u Borland C++ okruženju. Izvorni kod se, uz adekvatan GUI (*Graphic User*

Interface), može implementirati u multimodne mobilne terminale, kako bi korisniku bio obezbeđen brži i jednostavniji način povezivanja na optimalnu pristupnu mrežu. Rezultati testiranja modela prikazani su kroz tri reprezentativna scenarija, za tri raspoložive pristupne mreže.

Prema prvom scenariju testiranja modela korisnik nije imao određene preferencije prema bilo kom parametru, pa je metodom entropije, na osnovu servisnih zahteva, za težinski koeficijent brzine prenosa podataka ( $B$ ) određeno  $W_B = 0.44$ . Pored brzine prenosa, za ovaj servis se značajnim pokazao i parametar nivo sigurnosti ( $S$ ), čiji je težinski koeficijent  $W_S = 0.30$ , dok su nivo kvaliteta servisa ( $Q$ ) i cena ( $C$ ) u ovom slučaju od manjeg značaja ( $W_Q = 0.10$  i  $W_C = 0.16$ ). Kao optimalna mreža za pristup određena je mreža  $Net_1$ , jer je po svim parametrima, izuzev cene, bolja od druge dve mreže. Rezultati testiranja, koji prezentuju ovaj scenario prikazani su u tabeli 2.

TABELA 2: REZULTATI TESTIRANJA MODELA – 1. SCENARIO.

	$B$	$Q$	$S$	$C$
<i>normalizovana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	0.881	0.310	0.418	0.419
$Net_2$	0.844	0.161	0.080	0.776
$Net_3$	0.626	0.192	0.058	0.234
$W_j$	0.44	0.10	0.30	0.16
<i>otežana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	<b>0.392</b>	<b>0.031</b>	<b>0.124</b>	0.067
$Net_2$	0.375	0.016	0.024	<b>0.123</b>
$Net_3$	0.278	0.019	0.017	0.037

U drugom scenariju, preferirani parametar od strane korisnika bila bi brzina prenosa podataka ( $B$ ), a za taj parametar, metodom entropije, određen je težinski koeficijent  $W_B = 0.44$ . Prema rezultatu simulacije (Tabela 3) mreža  $Net_3$  deklarirana je kao optimalna mreža, iako je mreža  $Net_2$  bolja po svim ostalim parametrima. Međutim, razlika vrednosti parametara  $Q$ ,  $S$  i  $C$  se pokazala marginalnom u poređenju sa značajem parametra  $B$ .

TABELA 3: REZULTATI TESTIRANJA MODELA – 2. SCENARIO.

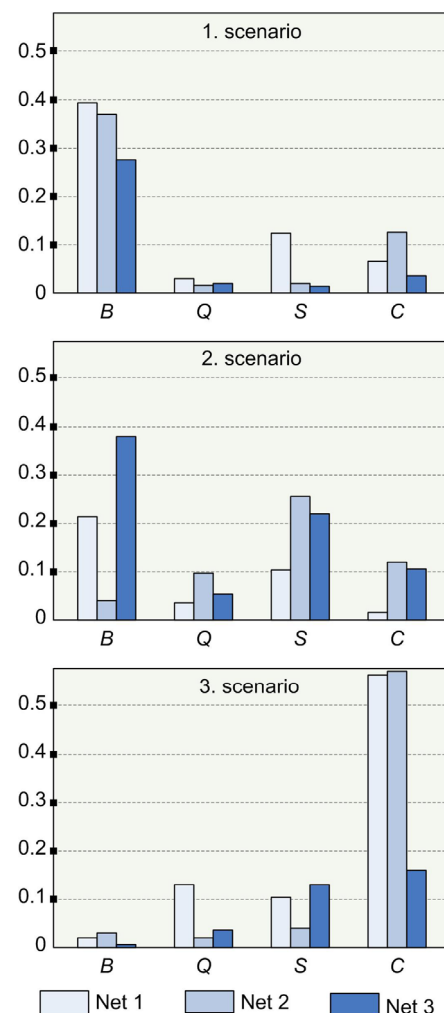
	$B$	$Q$	$S$	$C$
<i>normalizovana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	0.498	0.286	0.389	0.088
$Net_2$	0.089	0.828	0.944	0.695
$Net_3$	0.872	0.458	0.821	0.614
$W_j$	0.44	0.12	0.27	0.17
<i>otežana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	0.218	0.034	0.105	0.015
$Net_2$	0.039	<b>0.098</b>	<b>0.255</b>	<b>0.121</b>
$Net_3$	<b>0.381</b>	0.054	0.221	0.107

Za treći scenario testiranja modela od strane korisnika zahtevana je najniža cena prenosa podataka, pa je u kombinaciji sa zahtevima servisa, za ovaj parametar određen težinski koeficijent  $W_C = 0.58$ . Iz dobijenih rezultata (Tabela 4) može se konstatovati da je  $Net_2$  mreža

sa najnižom cenom prenosa podataka. Međutim, kao optimalna, deklarirana je mreža  $Net_1$ , jer obezbeđuje znatno bolji QoS i sigurniji prenos podataka.  $Net_2$  mreža takođe nudi veću brzinu prenosa podataka, ali je u ovom slučaju taj parametar od najmanjeg značaja. Na sl. 2 prikazani su rezultati testiranja za sva tri scenarija.

TABELA 4: REZULTATI TESTIRANJA MODELA – 3. SCENARIO.

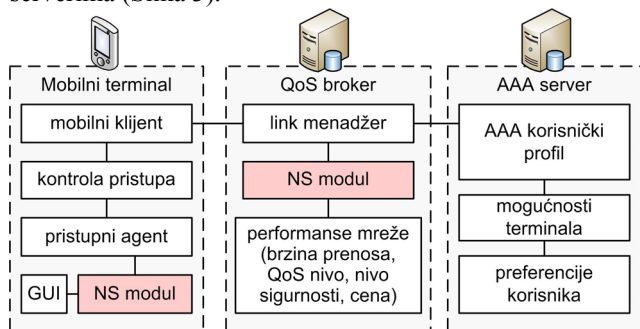
	$B$	$Q$	$S$	$C$
<i>normalizovana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	0.169	0.869	0.681	0.976
$Net_2$	0.254	0.132	0.269	0.993
$Net_3$	0.056	0.229	0.878	0.274
$W_j$	0.12	0.15	0.15	0.58
<i>otežana matrica mrežnih parametara</i>				
$Net_1$	0.020	<b>0.132</b>	0.103	0.567
$Net_2$	<b>0.030</b>	0.020	0.041	<b>0.577</b>
$Net_3$	0.007	0.035	<b>0.132</b>	0.159



Sl.2. Prezentacija rezultata testiranja

Za funkcionisanje modela na aplikacionom nivou i obezbeđivanje neophodnih podataka, potrebno je implementirati softverske module (NS moduli), bazirane na predloženom modelu u multimodne mobilne terminale, kao i hardverske i softverske module za podršku pri izboru optimalne mreže u QoS brokere, koji bi bili u interakciji sa

AAA (Authentication Authorization Accounting) serverima (Slika 3).



Sl. 3. Implementacija modela

Implementacija modela bi obezbedila značajna poboljšanja QoS-a, koji se opaža od strane korisnika, jer je evidentno da, u slučaju vertikalnog hendovera, jačina radio signala nije dovoljan indikator za analizu performansi heterogenih bežičnih mreža.

## V. ZAKLJUČAK

Predloženi model na efikasan, fleksibilan i jednostavan način iznalazi optimalan balans između zahteva servisa, preferencija korisnika i stanja mreže. Rezultati ovog rada omogućuju nastavak istraživanja u više pravaca sa ciljem optimizacije procedure iniciranja i minimiziranja kašnjenja hendovera.

## LITERATURA

- [1] A. M. Taha, H. S. Hassanein, and H. T. Mouftah, "Vertical Handoffs as a Radio Resource Management Tool", *Computer Communication*, vol. 31, no. 5, Mar. 2008, pp. 950-961.
- [2] A. de la Oliva, et al., "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services", *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, no. 4, Aug. 2008, pp. 96-103.
- [3] Q. Song and A. Jamalipour, "Network Selection in an Integrated Wireless LAN and UMTS Environment Using Mathematical Modeling and Computing Techniques", *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, no. 3, June 2005, pp. 42-48.
- [4] M. R. Kibria and A. Jamalipour, "On Designing Issues of the Next Generation Mobile Network", *IEEE Network*, vol. 21, no. 1, Jan/Feb. 2007, pp. 6-13.

- [5] C. Yiping and Y. Yuhang, "A New 4G Architecture Providing Multimode Terminals Always Best Connected Services", *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 2, April 2007, pp. 36-41.
- [6] F. Bari and 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.
- [7] S. Kher, A. K. Somani, R. Gupta, "Network Selection Using Fuzzy Logic", in *Proc. 2<sup>nd</sup> International Conference on Broadband Network*, Oct. 2005, Boston, USA, pp. 876-885.
- [8] Y. Nakansah-Gyekye and J. I. Agbinya, "Vertical Handoff Decision Algorithm for UMTS-WLAN", in *Proc. AusWireless 2007*, Sydney, Australia, Aug. 2007.
- [9] J. Makela, M. Ylianttila, and K. Pahlavan, "Handoff Decision in Multiservice Networks", in *Proc. 11<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, London, UK, Sep. 2000, pp. 655-659.
- [10] J. Antoniou and A. Pitsillides, "4G Converged Environment: Modeling Network Selection as a Game", in *Proc. 16<sup>th</sup> IST Mobile and Wireless Communication Summit*, Budapest, Hungary, July 2007.
- [11] Y. Ji, et. al., "CPC-assisted Network Selection Strategy", *16<sup>th</sup> IST Mobile and Wireless Communications Summit*, Budapest, Hungary, July 2007.
- [12] M. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, "An Overview of Vertical Handover Decision Strategies in Heterogeneous Wireless Networks", *Computer Communications*, vol. 31, no. 10, June 2008, pp. 2607-2620.

## ABSTRACT

This paper deals with network selection in heterogeneous handover procedure, as one of the most significant challenges during interoperability of technologies and full mobility provisioning in next-generation wireless networks. Model based on multiple criteria analysis is proposed. The wireless access technologies in this model represent the alternatives, while the properly chosen network parameters (available bandwidth, quality of service level, security level, cost of service) are considered as the trigger criteria for determining the suitable network. Through simulation studies, we show the potential of TOPSIS method in optimal network selection process.

## NETWORK SELECTION IN HETEROGENIOUS HANDOVER PROCEDURE

Bojan Bakmaz, Zoran Bojkovic and Miodrag Bakmaz