

PRIMENA FAZI LOGIKE ZA VERTIKALNI HENDOVER U HETEROGENIM BEŽIČNIM MREŽAMA

Milica Šelmić, Aleksandra Ivanović, Miloš Nikolić, Predrag Grozdanović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
m.selmic@sf.bg.ac.rs, aleksandrastojanovic1410@gmail.com,
m.nikolic@sf.bg.ac.rs, p.grozdanovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U radu je predstavljena primena fazi logike za donošenje odluka o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Kreiran je fazi logički sistem sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, preferencije korisnika i kašnjenje signala. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za hendover. Na osnovu vrednosti ulaznih promenljivih fazi logički sistem donosi odluku da li je hendover potreban ili ne. Testiranje predloženog modela je izvršeno u Matlab okruženju.

Ključne reči: vertikalni hendover, fazi logika, heterogene bežične mreže

1. Uvod

Svakodnevno se u različitim oblastima poput ekonomije, saobraćaja, medicine i inženjeringa suočavamo s problemom donošenja odluka. Tradicionalni pristupi zasnovani na binarnoj logici, gde se odluke donose na osnovu toga da li neki element pripada ili ne pripada skupu, često nisu adekvatni za složene situacije koje su okarakterisane neizvesnošću, nepreciznošću i neodređenošću. U ovakvim slučajevima, Teorija fazi skupova pruža sofisticirane metode za efikasno rešavanje problema. Teoriju fazi skupova je razvio američki profesor Lotfi Zadeh.

Koncept fazi (eng. *fuzzy*), uveden u Zadehovom radu "Fuzzy Sets" iz 1965.godine, omogućava modelovanje vrednosti koje ne moraju striktno pripadati ili ne pripadati određenom skupu. Umesto toga, elementi mogu pripadati skupu sa određenim stepenom, tj. u određenoj meri. Fazi skup se najčešće definiše pomoću funkcije pripadnosti koja svakom elementu dodeljuje stepen pripadnosti fazi skupu u intervalu [0,1]. Što je stepen pripadnosti veći, to je veća verovatnoća da taj element pripada skupu. Ovaj pristup omogućava veću fleksibilnost i preciznost u donošenju odluka, jer odražava stvarnu prirodu mnogih kompleksnih situacija u kojima se ne može jednostavno odrediti pripadnost ili nepripadnost.

Teorija fazi skupova i fazi logika su evoluirale u snažne alate sa širokim spektrom primene, posebno u oblastima saobraćaja, inženjeringa, upravljanja i kontrole sistema, optimizacije, i prognoze finansijskih trendova. U savremenom kontekstu, tehnologije poput veštačke inteligencije i mašinskog učenja dodatno su unapredile fazi sisteme,

omogućavajući preciznije i efikasnije donošenje odluka u dinamičnim i kompleksnim okruženjima.

U ovom radu je predstavljena primena fazi logike u procesu odlučivanja o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Vertikalni hendover označava proces prenosa veze sa jedne bazne stanice (ili pristupne tačke) na drugu u okviru različitih mreža. Kreiran je fazi logički sistem sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za hendover. Izvršeno je testiranje modela u Matlab-u kroz tri različita scenarija.

Rad je koncipiran na sledeći način. U drugom poglavlju, nakon uvodnih razmatranja, objašnjen je koncept fazi logike, predstavljeni su osnovni pojmovi poput fazi skupova, fazi brojeva, lingvističkih promenljivih, kao i struktura fazi logičkog sistema. U trećem poglavlju je, primenom fazi logike, kreiran model za donošenje odluke o vertikalnom hendoveru, sa tri ulazne i jednom izlaznom promenljivom, uz odgovarajući skup fazi pravila. U četvrtom poglavlju je prikazan numerički primer, dok su zaključak, analiza rezultata istraživanja, kao i preporuke za buduća istraživanja u ovoj oblasti, dati u poslednjem, petom poglavlju.

2. Fazi logika

Kod klasičnih skupova, funkcija pripadnosti može imati samo dve vrednosti: nula ili jedan, što omogućava jasnu razliku između pripadnosti i nepripadnosti skupu. Međutim, u svakodnevnim situacijama često se suočavamo s lingvističkim izrazima koji se teško mogu precizno kategorizovati. Na primer, kada se govori o kvalitetu veze u mobilnim mrežama, izrazi kao što su "srednje kvalitetan signal" ili "odličan signal" ne mogu se lako svrstati u binarni sistem. Slično, u slučaju kašnjenja u mreži, možemo koristiti izraze kao što su "malo kašnjenje", "umereno kašnjenje" ili "veliko kašnjenje", koji predstavljaju stepen uticaja na korisničko iskustvo. Fazi skupovi omogućavaju modelovanje ovih lingvističkih izraza tako što prikazuju različite stepene pripadnosti i realizacije događaja [1]. Teorija fazi skupova pruža moćan matematički alat za modeliranje problema sa približno poznatim parametrima i subjektivnim ljudskim percepcijama, omogućavajući tako fleksibilniji i precizniji pristup rešavanju kompleksnih situacija [2].

2.1. Osnovni pojmovi fazi logike i elementi fazi logičkog sistema

Da bi se razumela suština i primena fazi logike, neophodno je upoznati se sa ključnim pojmovima i osnovnim komponentama fazi logičkog sistema.

- **Funkcija pripadnosti** - funkcija pripadnosti određuje stepen kojim neki element pripada fazi skupu i može uzeti bilo koju vrednost iz zatvorenog intervala $[0,1]$. Što je vrednost veća to je i veća pripadnost fazi skupu.
- **Fazi brojevi** - u slučaju kada se procenjuje recimo brzina prenosa podataka ili cena neke usluge, moguće je procenu izraziti pomoću fazi skupova. Npr. brzina prenosa je "oko 100 Mb/s" ili cena usluge iznosi "otprilike 50 evra". Primećuje se prisustvo brojeva u prethodnim iskazima koji su konstatovani

na osnovu našeg iskustva ili intuicije. Brojevi izraženi na ovakav način, kroz fazi skupove, predstavljaju fazi brojeve.

- **Lingvističke promenljive** - prilikom donošenja odluke nekada je bolje koristiti lingvističke umesto numeričkih promenljivih. Lingvističke promenljive za vrednost uzimaju reči ili rečenice, za razliku od numeričkih promenljivih čija vrednost su brojevi.

Osnovni elementi svakog fazi logičkog sistema su (Slika 1)[1]:

- Pravila;
- Fazifikator;
- Mašina zaključivanja;
- Defazifikator.



Slika 1. Osnovni elementi fazi logičkog sistema

Ulazne vrednosti mogu biti numeričke vrednosti ili lingvističke promenljive. Fazifikator vrši preslikavanje numeričkih vrednosti u fazi skupove, dok u slučaju kada su ulazne vrednosti lingvističke promenljive onda su one izražene fazi brojevima. Fazi pravila se koriste da izvrše kategorizaciju lingvističkih ulaznih i izlaznih promenljivih. Skup fazi pravila čini fazi upravljački algoritam (algoritam aproksimativnog rezonovanja). Fazi rezonovanje predstavlja zaključivanje na osnovu pretpostavki kada su lingvistički izrazi okarakterisani fazi skupovima. Neophodno je "proći" kroz sva definisana pravila sadržana u algoritmu aproksimativnog rezonovanja, nakon čega se svakoj od mogućih vrednosti izlazne promenljive pridružuje odgovarajući stepen pripadnosti.

Defazifikacija predstavlja izbor jedne vrednosti izlazne promenljive i ujedno i poslednji korak u algoritmu aproksimativnog rezonovanja. Donosioci odluke najčešće biraju finalnu vrednost na osnovu sledećih kriterijuma: "najmanja vrednost sa najvećim stepenom pripadnosti", "centar gravitacije", "najveća vrednost sa najvećim stepenom pripadnosti" itd.

Proces formiranja fazi logičkog sistema se sastoji iz [3]:

- Izboru ulaznih i izlaznih promenljivih;
- Formiranja funkcije pripadnosti;
- Formiranja pravila;
- Algoritma aproksimativnog rezonovanja;
- Modifikovanja baze fazi pravila i oblika funkcija pripadnosti kroz veći broj iteracija.

3. Razvoj modela za vertikalni hendover u heterogenim bežičnim mrežama

S razvojem bežičnih mreža i njihovim prelaskom iz 4G u 5G i dalje ka 6G, kompleksnost u upravljanju mrežnim resursima i korisničkim iskustvom drastično je povećana. Heterogene bežične mreže danas uključuju različite tehnologije i standarde, kao što su Wi-Fi, LTE, 5G, i nadolazeće 6G mreže, koje pružaju različite nivoe usluga i performansi. Hendover (eng. *handover*, *handoff*) kod bežičnih mreža predstavlja proceduralni vremenski proces u kojem se aktivni poziv ili sesija prenosi sa trenutne mreže na novu dostupnu mrežu [3]. U zavisnosti od toga da li nova tačka povezivanja pripada istom ili drugom tipu mreže, razlikujemo horizontalni i vertikalni hendover. Ukoliko nova tačka povezivanja pripada istom tipu mreže, reč je o horizontalnom hendoveru (prisutan u homogenim bežičnim mrežama - npr. bazne stanice u okviru 4G mreže). Vertikalni hendover predstavlja proces prenosa konekcije na tačku povezivanja koja pripada drugom tipu mreže (npr. prenos aktivnog poziva sa pristupne tačke u okviru Wi-Fi mreže na baznu stanicu u okviru WiMAX mreže). Za razliku od horizontalnog hendovera, koji se javlja radi održavanja konekcije, vertikalni hendover se najčešće inicira radi poboljšanja korisničkog iskustva, efikasnosti mreže, bezbednosti i privatnosti, kao i za pružanje podrške za mobilnost i različite usluge i aplikacije [4].

Proces vertikalnog hendovera se odvija kroz tri osnovne faze: iniciranje hendovera, odlučivanje o hendoveru i izvršenje hendovera [5]. U prvoj fazi se prikupljaju podaci za identifikovanje potreba za hendoverom i mogu se podeliti u četiri grupe: mrežno orijentisane metrike (brzina prenosa podataka, snaga signala na prijemu, odnos signal - šum itd.), servisno orijentisane metrike (nivo kvaliteta servisa, nivo sigurnosti itd.), korisnički orijentisane metrike (preferencije korisnika, opaženi kvalitet servisa itd.) i terminalno orijentisane metrike (brzina kretanja, lokacijske informacije itd.) [6]. Zatim sledi faza odlučivanja o hendoveru, u kojoj mobilni terminal, na osnovu parametara prikupljenih u fazi iniciranja hendovera, donosi odluku da li ostaje povezan na trenutnu mrežu ili će doći do prelaska na drugu mrežu. Da bi se obezbedila visoka efikasnost hendovera, potrebno je razviti napredne metode donošenja odluka koje mogu obraditi kompleksne ulaze i parametre. Pravilno upravljanje ovim parametrima može značajno poboljšati kvalitet usluge i korisničko iskustvo u složenim bežičnim okruženjima. U fazi odlučivanja o hendoveru primenjuju se različite tehnike kao što su fazi logika, neuronske mreže, teorija igara, genetski algoritmi, mašinsko učenje itd. U nastavku rada je predstavljen model za odabir mreže u proceduri vertikalnog hendovera u heterogenim bežičnim mrežama primenom fazi logike.

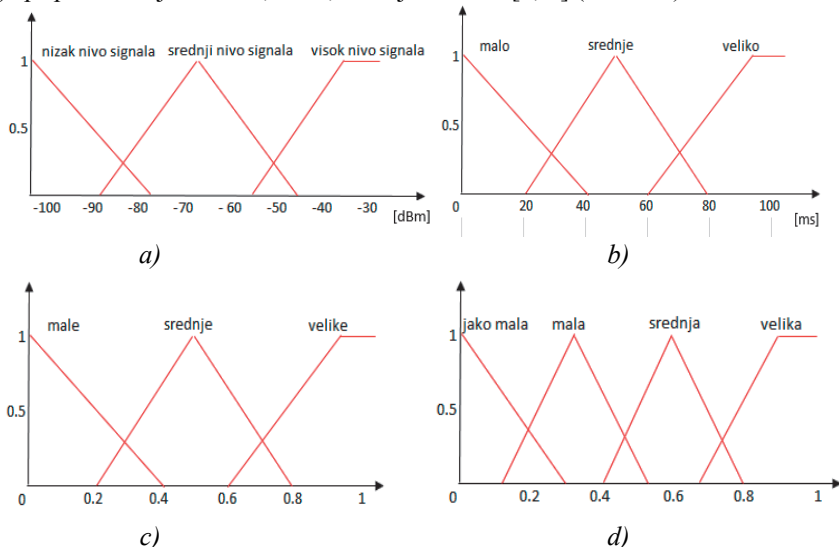
Prvi korak u procesu formiranja fazi logičkog sistema predstavlja izbor ulaznih i izlaznih promenljivih. U ovom radu su izabrane tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za vertikalni hendover. Posmatra se scenario u kojem je korisnik povezan na WiFi mrežu, a dostupna mreža na koju se može povezati, ukoliko dođe do hendovera, je 4G. Snaga signala na prijemu je parametar koji se najčešće koristi za iniciranje hendovera i direktno zavisi od udaljenosti mobilnog terminala i pristupne tačke/bazne stanice. Kašnjenje signala predstavlja veoma bitan parametar jer utiče na kvalitet servisa i korisničko iskustvo. Preferencije korisnika se odnose na kriterijume kao što su cena usluge, stabilnost i pouzdanost veze, privatnost i bezbednost, pristupačnost i dostupnost,

trajanje baterije itd. U kontekstu prelaska sa WiFi mreže na 4G, što je slučaj prikazan u ovom radu, korisnik može preferirati prelazak iz više razloga. To može biti zbog kvaliteta servisa (posebno ako koristi aplikacije koje zahtevaju visok nivo kvaliteta servisa, poput video poziva, video igara itd.), očuvanja baterije mobilnog uređaja (u određenim situacijama baterija se brže troši kada je uređaj povezan na WiFi), ili zaštite privatnosti podataka (s obzirom da su javne WiFi mreže manje bezbedne u poređenju sa 4G mrežom), kao i drugih faktora.

Nakon izbora promenljivih, potrebno je odrediti funkcije pripadnosti za svaki fazi skup posebno. To je urađeno na sledeći način:

1. Fazi skup *Snaga signala na prijemu* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: nizak, srednji i visok nivo signala [-100, -30], izraženo u dBm (Slika 2a).
2. Fazi skup *Kašnjenje signala* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: malo, srednje i veliko kašnjenje [0, 100], izraženo u ms (Slika 2b).
3. Fazi skup *Preferencije korisnika za 4G* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: male, srednje i velike preferencije [0, 1] (Slika 2c).

Izlazna fazi promenljiva *Preferencija za hendover* je prikazana pomoću četiri funkcije pripadnosti: jako mala, mala, srednja i velika [0, 1] (Slika 2d).



Slika 2. Ulazne i izlazna promenljiva: a) Fazi skup Snaga signala na prijemu b) Fazi skup Kašnjenje signala c) Fazi skup Preferencije korisnika d) Fazi skup Preferencija za hendover

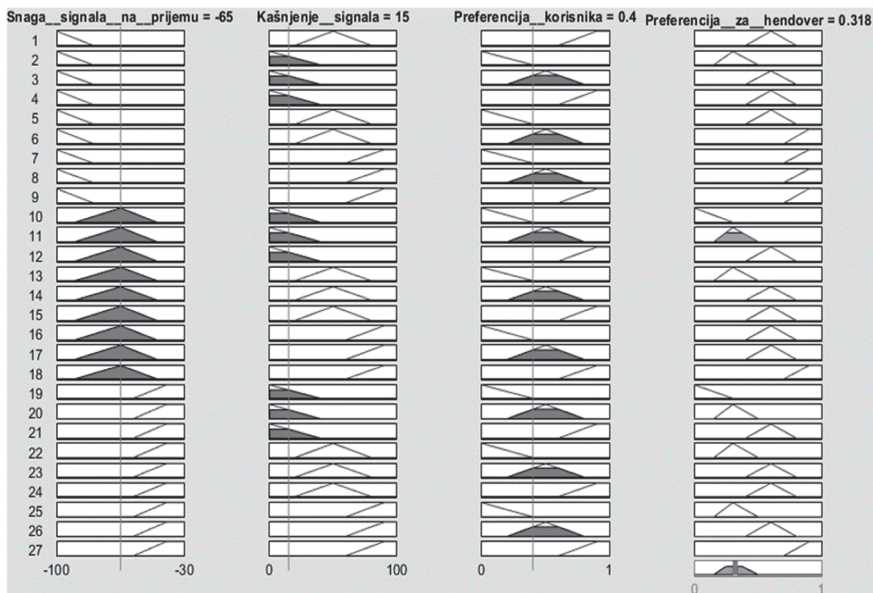
Nakon definisanja svih fazi skupova i odgovarajućih funkcija pripadnosti, sledi generisanje baze pravila. Potrebno je definisati $3^3 = 27$ fazi pravila (Tabela 1).

Tabela 1. Fazi pravila

| Br. | Pravila |
|-----|---|
| 1 | Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika male => preferencije za hendover su jako male. |
| 2 | Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika srednje => preferencije za hendover su male. |
| 3 | Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika velike => preferencije za hendover su srednje. |
| ... | ... |
| 26 | Ako je nizak nivo signala i kašnjenje signala veliko, i preferencije korisnika srednje => preferencije za hendover su velike. |
| 27 | Ako je nizak nivo signala i kašnjenje signala veliko, i preferencije korisnika velike => preferencije za hendover su velike. |

4. Numerički primer

Po završetku definisanja svih pravila, fazi logički sistem se može sagledati u celosti, kao što je prikazano na Slici 3. Odluke o vertikalnom hendoveru se donose na osnovu različitih vrednosti ulaznih parametara. Sa desne strane prozora su prikazane funkcije pripadnosti izlazne promenljive (Preferencija za hendover). Agregacijom svih vrednosti funkcija pripadnosti izlazne promenljive formira se konačna grafička prezentacija na dnu prozora, koja predstavlja fazifikovan rezultat. Defazifikacija je prikazana na dnu slike u desnom uglu, koja označava konkretan rezultat kao izlaz iz ovog fazi logičkog sistema, a koja je dobijena primenom metode centra gravitacije.



Slika 3. Prikaz fazi logičkog sistema

Tabela 2. Vrednosti izlazne promenljive za tri različita scenarija

| Scenario br. | Snaga signala na prijemu (dBm) | Kašnjenje signala (ms) | Preferencije korisnika za 4G | Preferencija za hendover |
|--------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1. | -65 | 15 | 0.4 | 0.391 |
| 2. | -40 | 60 | 0.8 | 0.602 |
| 3. | -30 | 10 | 0.1 | 0.104 |

Tabela 2 prikazuje tri različita scenarija. U zavisnosti od vrednosti snage signala na prijemu, kašnjenja signala i preferencija korisnika, jasno se može videti koja odluka o vertikalnom hendoveru će biti doneta od strane fazi logičkog sistema u svakom od scenarija. U prvom scenariju je preferencija za hendover srednja s obzirom na malo kašnjenje, srednje preferencije korisnika i snagu signala, za razliku od trećeg scenarija gde je preferencija za hendover jako mala, jer je kašnjenje malo, preferencije korisnika za prelazak na 4G su male a prijemni signal je jak, te nema potrebe za prelaskom na drugu mrežu.

5. Zaključak

U ovom radu je uspešno predstavljena primena fazi logike za donošenje odluka o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Razvijeni fazi logički sistem, sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika, pokazao je sposobnost da fleksibilno odgovori na dinamične promene u mreži. Na ovaj način je omogućeno efikasno upavljanje procesom hendovera, čime se poboljšava kvalitet i korisničko iskustvo u heterogenim bežičnim mrežama.

Da bi se dodatno unapredile performanse vertikalnog hendovera, fazi logika se može kombinovati sa tehnikama, kao što su mašinsko učenje i veštačke neuronske mreže. Takođe, ispitivanje uticaja dodatnih parametara kao što su gustina saobraćaja i energetska efikasnost, može biti važan aspekt u optimizaciji budućih algoritama za hendover u sve kompleksnijim mrežnim okruženjima.

Literatura

- [1] D. Teodorović i M. Šelmić, *Računarska inteligencija u saobraćaju*, Beograd, Srbija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, str.13, 2019.
- [2] T. Coqueiro, J. Jailto, T. Carvalho and R. Frances, "Fuzzy Logic System for Vertical Handover and Maximizing Battery Lifetime in Heterogeneous Wireless Multimedia Networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2019, pp.1-13, January 2019. DOI:10.1155/2019/1213724.
- [3] J. Divakaran, C. Arvin and K. Srihari, "Fuzzy Logic Based Handover Authentication in 5G Telecommunication", *Computer Systems Science and Engineering*, vol.46, no.1, pp.1141-1152, August 2022. DOI:10.32604/csse.2023.028050

- [4] B. Mithuan i R. Patil, "Fuzzy Based Network Controlled Vertical Handover Mechanism for Heterogeneous Wireless Network", *Materials Today: Proceedings*, vol.80, part 3, pp. 2385-2389, April 2023.
- [5] A. Prithviraj, A. Maheswari, D. Balamurugan, V. Ravi, M. Krichen i R. Alroobaea, "Multi-Criteria Fuzzy-Based Decision Making Algorithm to Optimize the VHO Performance in Hetnets", *Tech Science Press*, vol. 70, no.1, pp. 324-325, April 2021. DOI: 10.32604/cmc.2022.015299
- [6] B. Bakmaz, M. Bakmaz i Z. Bojković, "Izbor mreže u proceduri heterogenog hendovera", *16. Telekomunikacioni forum TELFOR 2008*, str.25-27, 2008.

Abstract: *This paper examines the application of fuzzy logic in the decision-making process for vertical handover in heterogeneous wireless networks. A fuzzy logic system has been developed, incorporating three input variables: received signal strength, user preferences and signal delay. The output variable represents the handover preferences. Based on the values of the input variables, the fuzzy logic system generates a decision regarding the handover. The proposed model has been tested in the Matlab environment.*

Keywords: *vertical handover, fuzzy logic, heterogeneous wireless networks*

APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR VERTICAL HENDOVER IN HETEROGENIUS WIRELESS NETWORKS

Milica Selmić, Aleksandra Ivanović, Milos Nikolić, Predrag Grozdanović