

## AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA NEFUNKCIONALNIM ZAHTJEVIMA KOD PROCESA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

Muharem Bašanović, Ivana Ognjanović  
Univerzitet u Bijaću Tehnički fakultet Bihać, Ulica dr. Irfana Ljubijankića bb,  
77000 Bihać, BiH, [muharem.basanovic@gmail.com](mailto:muharem.basanovic@gmail.com)  
Univerzitet Donja Gorica, Donja Gorica bb, 81000 Podgorica, Crna Gora,  
[ivana.ognjanovic.edu@gmail.com](mailto:ivana.ognjanovic.edu@gmail.com)

**Ključne riječi:** Nefunkcionalni zahtjevi, višekriterijsko odlučivanje, automatizacija upravljanja, analitičko hijerarhijski proces AHP, slojevito analitičko hijerarhijski proces S-AHP, uslovno slojeviti analitičko hijerarhijski proces CS-AHP

### SAŽETAK:

*Donošenje ispravne odluke može da predstavlja problem koji nastaje prilikom odabira alternative koja zadovoljava skup postavljenih kriterija. Kompleksnost problema raste s brojem kriterija i alternativa. Jedno od rješenja za višekriterijsko odlučivanje i najčešće korišteno je metoda analitičko hijerarhijskog procesa (engl. Analytical Hierarchical Process – AHP). I ako je metoda jednostavna za izvođenje, ona posjeduje određene nedostatke, kao što je kvadratni broj poređenja, i nemogućnost da se usporede konceptualno različite opcije. Da bi se riješili navedeni nedostaci, predloženo je uvođenje slojevitog analitičko hijerarhijskog procesa (engl. Stratified Analytic Hierarchy Process – S-AHP), poboljšane AHP metode koja koristi manji broj poređenja između dostupnih alternativa korištenjem dvoslojnog modela. Promjene nastale uvođenjem slojevitog modela omogućile su proširenje analitičko hijerarhijskog procesa na uslovni model (engl. Conditional Stratified Analytic Hierarchy Process – CS-AHP), omogućujući analizu različitih vrsta zahtjeva primijenom propozicijske logike, definisanjem uslova nad kriterijima. Izvršavanje i provjera uslova može se okarakterisati kao složen proces zbog uključenosti više različitih parametara što sam postupak čini neefikasnim u svakodnevnoj primjeni. U radu je prikazano kreirano programsko rješenje koje omogućuje automatizaciju upravljanja nefunkcionalnim zahtjevima kod procesa višekriterijskog odlučivanja. Predloženo rješenje prevazilazi nedostatke koja su posjedovala postojeća u pogledu formalne specifikacije uslovnih zahtjeva elementima matematičke logike. Primjenjivo je u različitim oblastima od ekonomije, menadžmenta, teorije odlučivanja, vještačke inteligencije, informacijske tehnologije, kao i u drugim sistemima gdje postoji potreba za višekriterijskim odlučivanjem.*

### 1. UVOD

Problem višekriterijskog odlučivanja najčešće se posmatra kao proces u kojem se donositelj odluke mora opredijeliti za jednu od alternativa koja zadovoljava dijelomičan ili konačan skup postavljenih kriterija. Budući da su kriteriji u pravilu konfliktni sam proces donošenja odluke postaje složeniji. Vrednovanje mogućih alternativa podložno je i subjektivnom dojmu donositelja odluke, te ovisi o težinama odnosno važnostima kriterija. Dosadašnja istraživanja u ovoj oblasti pokazala su da je većina metoda razvijena za analizu bezuslovno definisanih zahtjeva koji u najvećem broju slučajeva

ne odgovaraju realnosti, dok dobivena rješenja imaju izuzetno mali nivo prilagodbe različitim potrebama korisnika i njihovom nivou znanja[1,3,4,5]. Efikasno rješenje i najčešće korišteno za višekriterijsko odlučivanje je metoda analitičko hijerarhijskog procesa (*engl. Analytical Hierarchical Process – AHP*)[2]. Specifičnost ove metode je što se u procesu ocjenjivanja pojedinih kriterija i mogućih alternativa uvažavaju objektivni i subjektivni faktori. Odgovarajućim matematičkim modelom sintetizira se konačan rezultat prioriteta alternativa u odnosu na postavljeni cilj problema odlučivanja. I ako je metoda jednostavna za izvođenje, ona posjeduje određene nedostatke, kao što je kvadratni broj poređenja, i nemogućnost da se usporede konceptualno različite opcije. Da bi se riješili navedeni nedostaci, predloženo je uvođenje slojevitog analitičko hijerarhijskog procesa (*engl. Stratified Analytic Hierarchy Process – S-AHP*), poboljšane AHP metode koja koristi manji broj poređenja između dostupnih alternativa korištenjem dvoslojnog modela[3]. Promjene nastale uvođenjem slojevitog modela omogućile su proširenje analitičko hijerarhijskog procesa na uslovni model (*engl. Conditional Stratified Analytic Hierarchy Process – CS-AHP*), omogućujući analizu različitih vrsta zahtjeva primjenom propozicijske logike, definisanjem uslova nad kriterijima[1]. U odnosu na standardni model analitičko hijerarhijskog procesa donositelj odluke ima mogućnost izmjene lokalnih prioriteta na osnovu važnosti kriterija alternative, preferirajući određene opcije koje zadovoljavaju postavljene uslove. Izvršavanje i provjera uslova nad kriterijima alternativa može se okarakterisati kao složen proces zbog uključenosti više različitih parametara od provjere ispravnosti, istinitosti uslova, do konzistentnosti odgovora, što sam postupak čini neefikasnim u svakodnevnoj primjeni. S druge strane razvoj informacioni tehnologija omogućuje implementaciju navedenog metoda u obliku brzog i efikasnog programa, čime se stvaraju pretpostavke i uslovi za jednostavnije korištenje. U radu je prikazano kreirano programsko rješenje koje omogućuje podršku automatizacije procesa odlučivanja u skladu s raznim vrstama zahtjeva korisnika kod višekriterijskog odlučivanja.

## **2. PRIMJENA CS–AHP METODE U PROCESU AUTOMATIZACIJE UPRAVLJANJA NEFUNKCIONALNIM ZAHTJEVIMA**

Metoda uslovno slojevitog analitičko hijerarhijskog procesa (*engl. Conditional Stratified Analytic Hierarchy Process – CS-AHP*) razvijena je kao proširenje AHP metode za potrebe predstavljanja i analize uslovno definisanih zahtjeva i zahtjeva u leksikografskom poretku. Prvobitno u obliku slojevito analitičko hijerarhijskog procesa (*engl. Stratified Analytic Hierarchy Process – S-AHP*) da bi se riješili određeni nedostaci AHP algoritma, kao što je kvadratni broj poređenja, i nemogućnost usporedbe konceptualno različitih opcija[1,2]. Ulazni model CS-AHP metode može da se predstavi sljedećim parametrima: skupom opcija (alternativa), obilježja (kriterija), instanci (podkriterija), i zahtjevima[1,4]. Općenito sam proces primjene prikazan je kroz sljedeće korake: *Identifikovanje skupa obilježja (kriterija i podkriterija)*– definisanje nefunkcionalnih karakteristika koje najčešće opisuju važnosti određenih parametara, gdje se za svaku karakteristiku vrši procjena intervala kako bi se odredio skup mogućih vrijednosti sa odgovarajućim leksikografskim značenjem. *Definisanje zahtjeva*– izvodi se na oba nivoa u strukturi. Na nivou obilježja definiše se: koja obilježja imaju dominantni relativni prioritet. Uslovni i bezuslovni zahtjevi čiji se relativni prioriteti određuju pomoću matrice s vrijednostima definisanim Saaty-evom skalom. Za uslovne zahtjeve definišu se dvije matrice za slučaj da je uslov istinit ili ne istinit. Uslovi ne mogu sadržavati instance obilježja za koje se definiše relativni prioritet. Na nivou instanci je moguće definisati uslovne i bezuslovne zahtjeve o relativnim odnosima instanci obilježja za koja prethodno nije određeno da imaju dominantni prioritet. *Računanje vrijednosti opcija*– Rezultat se predstavlja numeričkim vrijednostima za svaku od raspoloživih opcija prema stepenu ispunjenja definisani zahtjeva. Množenjem vrijednosti obilježja sa vrijednostima pripadajući instanci za odabranu opciju, uz predhodnu provjeru definisani uslova kako bi se odredile vrijednosti prioriteta za obilježja i instance. Konačni rezultat dobiva se računanjem srednje vrijednosti svih obilježja za odabranu opciju. Opcija s najvišom vrijednošću uzima se kao najprihvatljivija[1,5,6,7,8].

### 3. IMPLEMENTIRANO PROGRAMSKO RJEŠENJE

Algoritam uslovno slojevitog analitičko hijerarhijskog procesa CS-AHP, prezentovan je naučnoj javnosti 2013. godine i od tad ima jasnu primjenu u raznim oblastima, kao što su ekonomija, medicina, sigurnosni modeli, itd.[1,3,5,8-16]. Nastojanja da se kreira jednostavan korisnički interfejs za sada nisu bila uspješna prvenstveno zbog problema „običnim“ korisnicima da formalno predstave uslovne zahtjeve elementima matematičke logike[9,11]. U ovom dijelu rada se ide korak dalje i predstavlja automatizovano rješenje, zasnovano na postojećem modelu CS-AHP metode, primjeni semantički tehnologija kao i osnovnih principa razvoja korisnički orijentirani interfejsa (*engl. user-friendly interface*). Implementirano je primjenom veb tehnologija. Omogućuje unos i predstavljanje različitih vrsta zahtjeva koji mogu biti uslovni ili bezuslovni. Pored korisničkog okruženja za unos podataka pojedini dijelovi aplikacije pružaju mogućnost automatske sugestije dozvoljenih vrijednosti i provjere ispravnosti istih. Postupak korištenja aplikacije prikazan je na sljedećem primjeru – predpostavimo da imamo osobu-korisnika koja želi odabrati određenu uslugu između više različitih telekomunikacionih operatera. Da bi se primjenila CS-AHP metoda potrebno je identifikovati skup obilježja – definisati nefunkcionalne karakteristike, u ovom slučaju to su: *cijena i kvaliteta usluge, brzina reagovanja u slučaju kvara, mogućnost promjene pakta usluge*. Za svaku karakteristiku vrši se procjena intervala: *Cijena usluge- niska, srednja, visoka, veoma visoka*; *Kvaliteta usluge- loša, dobra, veoma dobra*; *Reagovanje u slučaju kvara – sporo, brzo, veoma brzo*; *Mogućnost promjene paketa usluge- moguća, nije moguća*. Nakon što su određena obilježja ista se unose u aplikaciju, prikazano na slici 1.

The screenshot shows a mobile application interface titled "CS-AHP". It displays a list of service characteristics with their corresponding values. Each value has a small 'x' icon next to it, indicating it is a selected or available option.

Characteristic	Values
Cijena usluge	Cijena usluge- niska x Cijena usluge- srednja x Cijena usluge- visoka x Cijena usluge- veoma visoka x
Kvaliteta usluge	Kvaliteta usluge- loša x Kvaliteta usluge- dobra x Kvaliteta usluge- veoma dobra x
Reagovanje u slučaju kvara	Reagovanje u slučaju kvara- sporo x Reagovanje u slučaju kvara- brzo x Reagovanje u slučaju kvara- veoma brzo x
Mogućnost promjene paketa usluge	Mogućnost promjene paketa usluge- moguća x Mogućnost promjene paketa usluge- nije moguća x

Slika 1: Unos obilježja

U sljedećem koraku korisnik definiše zahtjeve i relativne prioritete. Uslovni zahtjevi korisnika su: *–za nivo obilježja*: ako je moguća promjena paketa usluge, kvaliteta usluge je važnija od cijene, u suprotnom cijena je važnija od kvalitete usluge. *–za nivo instanci*: Ako je cijena usluge niska ili srednja i kvaliteta usluge dobra ili veoma dobra, brzo reagovanje u slučaju kvara je važnije od veoma brzog, u suprotnom veoma brzo reagovanje u slučaju kvara je važnije od brzog. Za instancu *mogućnost promjene paketa usluge* definišu se relativni prioriteti, kao i za instance *cijena i kvaliteta usluge* jer su određene kao dominantne na nivou obilježja. Proces definisanja zahtjeva korištenjem aplikacije je olakšan, korisnik ima mogućnost automatske sugestije dozvoljenih vrijednosti za unos, identifikaciju i provjeru nekonzistencija koje se mogu pojaviti. Na slici 2. prikazan je izgled forme za unos zahtjeva.

Slika 2: Unos zahtjeva

Postupak kreiranja matrice relativnih prioriteta prikazan je na slici 3., korisnik kroz set postavljenih pitanja, dajući odgovore određuje prioritet pojedinog obilježja (instance) u odnosu na drugu.

Slika 3: Kreiranje matrice relativnih prioriteta

Kreirane matrice za nivo obilježja prikazane su u sljedećim tabelama:

Tabela 1: Nivo obilježja (Primarni kriteriji) –uslov istinit

	Cij.usl.	Reag.u sl. kv.	Kval.usl.	Mog.prom.usl.	Prioritet
Cij.usl.	1	3	1/3	3	23.72%
Reag.u sl. kv.	1/3	1	1/5	3	12.80%
Kval.usl.	3	5	1	7	56.88%
Mog.prom.usl.	1/3	1/3	1/7	1	6.59%

Tabela 2: Nivo obilježja (Primarni kriteriji) –uslov ne istinit

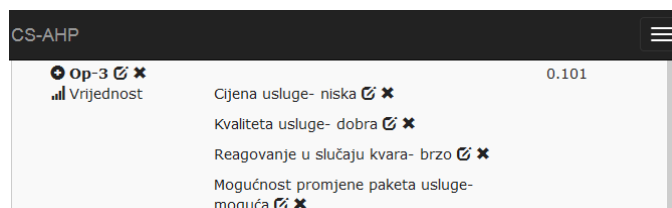
	Cij.usl.	Reag.u sl. kv.	Kval.usl.	Mog.prom.usl.	Prioritet
Cij.usl.	1	3	3	3	43.16%
Reag.u sl. kv.	1/3	1	1/5	3	13.35%
Kval.usl.	1/3	5	1	7	35.82%
Mog.prom.usl.	1/3	1/3	1/7	1	7.67%

Matrice relativnih prioriteta za nivo instanci kreiraju se na isti način kao i za nivo obilježja, vrijednosti za svaku instancu prikazane su u nastavku: Cijena usluge (*Niska- 54.79%, Srednja- 28.31%, Visoka- 11.69%, Veoma visoka- 5.21%*); Kvaliteta usluge (*Loša- 8.82%, Dobra- 24.31%, Veoma dobra- 66.87%*); Reagovanje u slučaju kvara- uslov istinit (*Sporo- 10.62%, Brzo- 63.34%, Veoma brzo- 26.05%*); Reagovanje u slučaju kvara- uslov ne istinit (*Sporo- 11.96%, Brzo- 33.12%, Veoma brzo- 54.92%*); Mogućnost promjene paketa usluge (*Moguća- 83.33%, Nije moguća- 16.67%*). Na osnovu predhodno određenih obilježja i instanci vrši se analiza odabranih telekomunikacioni operatera, kako bi se odredile karakteristike usluga, prikazano u tabeli 3.

Tabela 3: Analiza usluga odabranih telekomunikacioni operatera

Naziv operatera	Cijena usluge	Kvaliteta usluge	Reag.u.slu.kvara	Mog.pro.pak. usl.
Op-1	visoka	loša	brzo	moguća
Op-2	srednja	dobra	sporo	moguća
Op-3	niska	dobra	brzo	moguća
Op-4	niska	dobra	sporo	moguća
Op-5	veoma visoka	dobra	brzo	nije moguća
Op-6	niska	loša	sporo	nije moguća
Op-7	visoka	veoma dobra	veoma brzo	nije moguća
Op-8	veoma visoka	loša	brzo	nije moguća
Op-9	niska	loša	brzo	moguća

Nakon unosa rezultata analize (tabela 3.) u aplikaciju, korisnik dobiva konačni rezultat za sve operatere: Op-3 (0,101), Op-7 (0,094), Op-4 (0,084), Op-6 (0,074), Op-9 (0,069), Op-2 (0,068), Op-1 (0,044), Op-5 (0,042), Op-8 (0,028). Opcija s najvišom vrijednošću uzima se kao najprihvatljivija. U ovom slučaju to je Op-3, prikazano na slici 4.



Op-3	0.101
Vrijednost	
Cijena usluge- niska	
Kvaliteta usluge- dobra	
Reagovanje u slučaju kvara- brzo	
Mogućnost promjene paketa usluge- moguća	

Slika 4: Rezultati analize

Promjenom zahtjeva i relativnih prioriteta obilježja, korisnik ima mogućnosti da uspoređuje različite varijacije rezultata, kako bi se odredila najprihvatljivija opcija.

#### 4. ZAKLJUČAK

Kreirano rješenje prikazano u ovom radu omogućuje automatizaciju upravljanja nefunkcionalnim zahtjevima kod procesa višekriterijskog odlučivanja. Zasniva se na postojećem modelu CS-AHP metode, primjeni semantički tehnologija, kao i osnovni principa razvoja korisnički orijentirani interfejsa. Aplikacija pruža korisnicima mogućnost automatske sugestije dozvoljenih vrijednosti, identifikaciju i provjeru nekonzistencija koje se mogu pojaviti u procesu odlučivanja, prevazilazi nedostatke koja su posjedovala postojeća u pogledu formalne specifikacije uslovnih zahtjeva elementima matematičke logike. Ima mogućnost široke primjene u različitim oblastima od ekonomije, menadžmenta, medicine, baza podataka, umjetne inteligencije, s mogućnošću integracije i u druge sisteme. U cilju daljnje primjene predloženog rješenja neophodno je izvršiti evaluaciju s stanovišta

efikasnosti korištenja nad različitim grupama korisnika u zavisnosti od njihovog stepena matematičkog znanja, ICT (engl. *Information and communications technology*) vještina i domenima primjene, kako bi se formirala cjelovitija percepcija razvijenog interfejsa.

## 5. LITERATURA

- [1] Ognjanović I., Gašević D., Bagheri E.: *A Stratified Framework for Handling Conditional Preferences: an Extension of the Analytic Hierarchy Process*, Expert Systems with Applications, Vol 40, No. 4, pp.1094-1115, DOI: 10.1016/j.eswa.2012.08.026, March 2013.
- [2] Saaty T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [3] Bagheri E., Asadi M., Gašević D., Soltani S.: *Stratified analytic hierarchy process: prioritization and selection of software features*. In Proceedings of the 14th International conference on Software product lines, 2010.
- [4] Ognjanović I., Šendelj R.: *Making judgments and decisions about relevant learning resources*, Proc.of the 20th International Electro-technical and Computer Science Conference, Portorož, B, pp.409-412, Slovenia, ERK 2011.
- [5] Ognjanović I.: *Configuration of service oriented architectures with semantic technologies based on non-functional requirements*, Beograd 2012.
- [6] Boutilier C., Brafman R. I., Domshlak C., Hoos H. H., Poole D.: *CP-nets: a tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus preference statements*, Journal of Artificial Intelligence Research, vol. 21, no. 1, pp. 135-191, 2004.
- [7] Goldsmith J., Lang J., Truszczynski M., Wilson N.: *The computational complexity of dominance and consistency in CP-nets*, Journal of AI Research, pp. 403-432, 2008.
- [8] Ognjanović I., Gašević D., Bagheri E., Asadi M.: *Conditional Preferences in Software Stakeholders' Judgments*, In Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on Applied Computing, pp. 683-690, Taichang, Taiwan 2011.
- [9] Soltani S., Asadi M., Gašević D., Hatala M., Bagheri E.: *Automated Planning for Feature Model Configuration based on Functional and Non-Functional Requirements*, In Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference, pp. 56-65, Salvador, Brazil, 2012.
- [10] Matijević T., Ognjanović I., Šendelj R.: *Enhancement of Software Projects' Function Point Analysis Based on Non-functional Judgments*, IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2012), Montenegro 2012.
- [11] Asadi M., Soltani S., Gašević D., Hatala M.: *The Effects of Visualization and Interaction Techniques on Feature Model Configuration*, Empirical Software Engineering, in press, 2014.
- [12] Nowakowski S., Ognjanović I., Grandbastien M., Jovanović J., Šendelj R.: *Two Recommending Strategies to enhance Online Presence in Personal Learning Environments*, Recommender Systems for Technology Enhanced Learning, Research Trends and Applications, Part III, pp 227-249, DOI 10.1007/978-1-4939-0530-0\_11, Springer New York, 2014.
- [13] Šendelj R., Ognjanović I.: *Semantically enhanced cyber security over clouds: Methodological approach*, International Journal of Advances in Computer Networks and Its Security, Vol 4, No.3, ISSN: 2250-3757, September 2014.
- [14] Ognjanović I., Šendelj R., Ljucović J.: *Analyses of OP4L services for personalized recommendation of learning resources*, IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2014), Montenegro 2014
- [15] Ljucović J., Ognjanović I., Šendelj R.: *Assessment of students' performance based on AHP algorithm and historical data*, 2nd International Conference New technologies NT-2015, BiH, 2015.
- [16] Šendelj R., Ognjanović I.: *Personalized Recommendation Strategies for eLearning: an AHP approach*, Applied Technologies and Innovations, accepted for publishing.