

# Planiranje i izbor putne trase autoputa primenom neuralne mreže

Nenad Kojić, Radica Kojić, Irini Reljin, *Member, IEEE*, Branimir Reljin, *Senior Member, IEEE*

**Sadržaj** — U radu se predlaže novi algoritam planiranja i definisanja trase autoputa, baziran na Hopfield-ovoj neuralnoj mreži. Kriterijumi planiranja se zasnivaju na fizičkim parametrima koji opisuju okolinu (reljef, rečni tokovi, vrsta terena), kao i socijalni i politički uticaj, uključujući i zaštitu životne sredine. Stoga se ovaj problem može posmatrati kao optimizacija višekriterijumske funkcije. Takvi problemi se mogu uspešno rešavati primenom neuralnih mreža. Simulacioni rezultati su pokazali da je predloženi algoritam baziran na neuralnoj mreži pogodan da nađe dobro rešenje, te se može koristiti kao dodatni alat u slučajevima složenog planiranja.

**Glavne reči** — Optimizacija, planiranje, putna trasa, višekriterijumski izbor, Hopfield-ova neuralna mreža.

## I. UVOD

Razvoj savremenog društva direktno je povezan sa ulaganjem i realizacijom saobraćajne infrastrukture [1], [14]. Visoki troškovi transporta robe i putnika mogu uticati na povećanje cena velikog broja proizvoda [8]. Ovim se uslovljava narušavanje kako mikro tako i makroekonomske situacije. Iz tog razloga se troškovi prevoza pokušavaju minimizirati kroz više aspekata od kojih je prvi svakako dobro planiranje i kvalitetna realizacija putne mreže [2],[15]. U složenom političkom i ekonomskom društvu izbor putne trase predstavlja kompleksan problem koji za cilj ima balansiranje različitih, ponekad dijametralno suprotnih, činioaca. Pored stava da put treba da ima najkraće moguće rastojanje između dve krajnje tačke, cena izgradnje umnogome narušava ovaj uslov jer se u obzir moraju uzeti i realni parametri fizičkog okruženja ali i ekonomski tj. politički uticaj [3]. U tom smislu cena jedinice putne trase direktno zavisi od strukture tla i reljefa, ali se izbor optimalne trase može vršiti i po parametru fizičkog rastojanja [16]. Sa druge strane, ekonomski uticaj direktno sugerise da se od tačke A do tačke B putanja prostire i kroz gradove i oblasti koji su razvijeni i kojima ova trasa može omogućiti dodatno rasterećivanje saobraćaja [17]. Suprotno tome može se posmatrati i politička inicijativa da trasa prođe kroz nerazvijene regione i na taj način pokuša pospešiti njihov privredni razvoj. Ovi uslovi dodatno opterećuju

kriterijum najkraće putanje i problem svrstavaju u višekriterijumsku optimizaciju. Poseban akcenat, a i problem kod planiranja putnih trasa predstavlja uticaj na životnu sredinu [4]. Razvijeni gradovi imaju veoma malo slobodnog zemljišta za izgradnju saobraćajnica, osim ranije definisanih zaštićenih zona i zelenih površina. Približavanje ovim područjima ili urbanim naseljima predstavlja negativan efekat sa aspekta životne sredine, što dodatno opterećuje proces planiranja i uslovljava njegov postupak. Danas posao planiranja i izrade projektne dokumentacije putne trase sa detaljnim izveštajima o ceni, strukturi tla, kvalitetu, sigurnosti i uticaju na životnu sredinu izvode veliki projektni biro i taj postupak traje po nekoliko meseci [4], [5].

U ovom radu izložiće se softverski paket koji za cilj ima analizu više realnih fizičkih parametara i procenu putne trase, u smislu pravca i cene, koji se zasniva na Hopfield-ovoj neuralnoj mreži. Ova neuralna mreža je već pokazala dobre rezultate u rešavanju višekriterijumskih optimizacija pa se njene prednosti u smislu cene i brzine rada mogu iskoristiti kao alat za bolje i jeftinije planiranje putnih trasa [7].

Ovaj rad je organizovan kroz sledeća poglavlja: u poglavlju II je data klasifikacija i kvantifikacija kako fizičko-geografskih tako i ekonomsko-političkih faktora koji utiču na izbor putne trase u realnom okruženju. Opis predloženog modela Hopfield-ove neuralne mreže predstavljen je u poglavlju III. U poglavlju IV date su simulacije i rezultati dobijeni predloženim softverskim paketom. Zaključak i dalje smernice u istraživanju sadržani su u poglavlju V.

## II. KLASIFIKACIJA I KVANTIFIKACIJA ULAZNIH FAKTORA

U ovom radu razmatraće se odvojeno fizičko-geografski uticaji kroz reljef, rečnu mrežu i tipove zemljišta i ekonomsko-politički faktori kroz uticaj životne sredine na planiranje putne trase. Realizacija ovog softverskog paketa predviđa podelu teritorije, na kojoj se nalazi početna i krajnja tačka, na oblasti. Podela se vrši po  $x$  i  $y$  pravcu čime se broj oblasti kao i njihova veličina proizvoljno definiše [9]. Svaka oblast je opisana sa četiri različita broja koji u sebi sadrže podatak o tipu reljefa, rečnoj mreži, tipovima tla i uticaju na životnu sredinu. U tu svrhu mogu se koristiti unapred sektorisane digitalne mape ili mogućnosti GIS-a [10].

Podela reljefa na kartama može se posmatrati kroz 8-10 visinskih zona dok će se za potrebe ovog rada podela

Nenad Kojić je iz Visoke ICT škole, Zdravka Čelara 16, 11000 Beograd, Srbija; Irini Reljin je iz Visoke ICT škole i sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu; Branimir Reljin je sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija. E-mail [nenad.kojic@ict.edu.yu](mailto:nenad.kojic@ict.edu.yu), [radicas@EUnet.yu](mailto:radicas@EUnet.yu), [irini.reljin@ict.edu.yu](mailto:irini.reljin@ict.edu.yu), [reljinb@etf.bg.ac.yu](mailto:reljinb@etf.bg.ac.yu).

izvršiti na 4: ravnice, brda, niske i visoke planine. Težinski faktori koji su dodeljeni ovim podelama su potpuno proizvoljni ali moraju biti skalirani na interval od 0 do 1. Ovi faktori opisuju cenu izgradnje jedinice dužne mere putne trase kroz ranije određenu oblast. U tom smislu težinski faktori kroz ravnice su najmanji i direktno prikazuju nižu cenu izgradnje po kilometru. Za potrebe ovog rada predložene su sledeće vrednosti:

TABELA 1: FAKTORI I NAČIN OZNAČAVANJA PODELE RELJEFA.

| Oznaka | Klasifikacija reljefa | Faktor |
|--------|-----------------------|--------|
|        | Ravnice               | 0.2    |
|        | Brda                  | 0.5    |
|        | Niske planine         | 0.7    |
|        | Visoke planine        | 0.9    |

Rečna mreža je predstavljena dopunskom cenom koja se plaća za datu oblast ukoliko se putna trasa usmeri preko reke. Ovaj parametar direktno implicira cenu izgradnje mosta a zavisi od veličine reke. U ovom radu pretpostavljeno je da su reke iste veličine pa je težinski faktor svakog prelaska definisan kao +50% u odnosu na faktor reljefa u datoj oblasti.

Tipovi tla su jedan od najbitnijih faktora jer pored pristupačnosti terenu definišu i dodatnu cenu za pripremu kod pojedinih podela, zbog postizanja unapred definisanog kvaliteta putne trase. U literaturi postoji veliki broj podela tipova tla a mnogostruko više unakrsnih podela sa aspekta mogućnosti izgradnje. Za potrebe ovog rada predložene su vrednosti u tabeli 2. Najniži faktor zbog dostupnosti teritorije i njene fizičke cene ima poljoprivredno zemljište. Ova podela izvršena je sa ekonomskog aspekta dok se ekološki aspekt i devastacija zemljišta nisu razmatrali.

TABELA 2: FAKTORI I NAČIN OZNAČAVANJA TIPOVA TLA.

| Oznaka | Klasifikacija tipova tla | Faktor |
|--------|--------------------------|--------|
|        | Poljoprivredno zemljište | 0.2    |
|        | Šumsko zemljište         | 0.5    |
|        | Urbano                   | 0.7    |
|        | Ostalo                   | 0.9    |

Kao poslednji faktor razmatran je uticaj na životnu sredinu. U tom smislu narušavanje nacionalnih tj. regionalnih parkova ili prolaza kroz industrijske zone nema isto izdvajanje za narušavanje životne sredine. Stoga, nacionalni i regionalni parkovi imaju najveći faktor čime se implicira izbor trase što dalje od tih oblasti dok nenaseljene i poljoprivredno neiskoristive zone imaju najmanji faktor. Za potrebe ovog rada predložene su sledeće vrednosti:

TABELA 3: FAKTORI I NAČIN OZNAČAVANJA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU.

| Oznaka | Klasifikacija tipova tla               | Faktor |
|--------|--|--------|
|        | Nacionalni i regionalni parkovi        | 0.95   |
|        | Parkovi prirode i rekreaciona područja | 0.8    |
|        | Naseljene zone                         | 0.6    |
|        | Industrijski kompleksi                 | 0.4    |
|        | Ostalo                                 | 0.1    |

Kod svih faktora podela može biti manje ili više složena sa proizvoljnim faktorima čime se može dodatno uključiti u razmatranje i specifičnost posmatranog terena. Vrednosti faktora mogu biti i preko vrednosti 1, ali se tada menjaju vrednosti konstanti u energijskoj funkciji Hopfield-ove mreže.

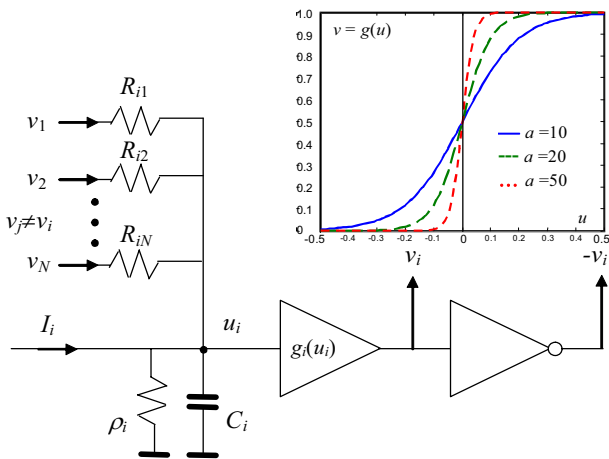
### III. MODEL HOPFIELD-OVE NEURALNE MREŽE

Biološki nervni sistem je 1982. godine inspirisao J. J. Hopfield-a da kreira model analogne računarske mreže [6]. Nakon tri godine Hopfield i Tank predlažu model neuralne mreže [7] koji je u mogućnosti da reši različite kompleksne probleme. Model mreže se zasniva na izboru odgovarajuće energijske funkcije koja predstavlja specifičan matematički zapis problema čije se rešenje traži. Cilj mreže je da u nizu iteracija minimizuje energijsku funkciju i ponudi optimalno rešenje. Efikasnost ovog modela je demonstrirana na složenom problemu trgovčkog putnika sa 30 gradova [7]. Nakon ovog rada veliki broj radova koristi modifikaciju ove energijske funkcije za različite optimizacione probleme. 1993. godine Ali-Kamoun predlažu primenu ove mreže na parametre koji ne moraju biti samo fizička rastojanja između gradova. Matrica po kojoj se vrši optimizacija dobija opšti naziv matrica cena [11]. Kao metrika sada se mogu koristiti realni fizički parametri za koje se traži optimalno rešenje. Daljom modifikacijom ove funkcije [12],[13] pored jedne matrice uvodi se više paralelnih ulaznih matrica po kojima se vrši objedinjeni proces traženja minimalne forme. Na ovaj način se Hopfield-ovom neuralnom mrežom postiže optimizacija višekriterijumskih funkcija. Polazeći od težinskog grafa  $G=(\Psi, \mathbf{E}g)$ , gde je  $\Psi$  broj čvorova a  $\mathbf{E}g$  broj grana, pri čemu grane mogu biti dvosmerne sa različitim težinskim faktorima, problem se svodi na traženje grupe grana kojima će se povezati zadati izvorišni ( $S$ ) i odredišni ( $D$ ) čvor po nekom zadatom kriterijumu. U ovom radu svaka grana grafa je opisana sa po četiri parametra po kojima će se vršiti optimizacija: reljef, rečna mreža, tipovi tla i uticaj na životnu sredinu. Cilj neuralne mreže je pronalaženje Pareto optimalne putanje kojom će se izabrati grane sa što optimalnijom kombinacijom ulaznih parametara. Predložena energijska funkcija za potrebe ovog rada je

$$E = \frac{\mu_1}{2} \sum_X \sum_{i \neq X} (RF_{X_i} + RK_{X_i}) v_{X_i} + \frac{\mu_2}{2} \sum_X \sum_{i \neq X} \rho_{X_i} v_{X_i} + \frac{\mu_3}{2} \sum_X \left( \sum_{i \neq X} v_{X_i} - \sum_{i \neq X} v_{iX} \right)^2 + \frac{\mu_4}{2} \sum_i \sum_{X \neq i} v_{X_i} (1 - v_{X_i}) + \frac{\mu_5}{2} (1 - v_{ds}) + \frac{\mu_6}{2} \sum_X \sum_{i \neq X} T_{X_i} v_{X_i} + \frac{\mu_7}{2} \sum_X \sum_{i \neq X} Z_{X_i} v_{X_i} \quad (1)$$

Gde su ulazne matrice:  $\mathbf{RF}$  - reljef,  $\mathbf{RK}$  - rečna mreža,  $\mathbf{T}$  tipovi tla i  $\mathbf{Z}$  - zaštita životne sredine. Matrica  $\mathbf{v}$  predstavlja izlazne vrednosti neurona u poslednjem sloju koje se zbog rekurentnosti mreže, slika 1, vraćaju na ulazni sloj. Konstante  $\mu_{1-7}$  imaju vrednosti 250, 850, 1500, 450, 2500, 400 i 250, respektivno. Matrica  $\mathbf{p}$  predstavlja podatak o povezanosti čvorova, i definisana je kao:

$$\rho = \begin{cases} I, & \text{ako link od čvora } X \text{ do čvora } i \text{ ne postoji} \\ 0, & \text{u ostalim slučajevima} \end{cases}$$



Sl. 1. Moguća hardverska realizacija  $i$ -tog neurona u Hopfield-ovoj neuralnoj mreži i njegova aktivaciona funkcija.

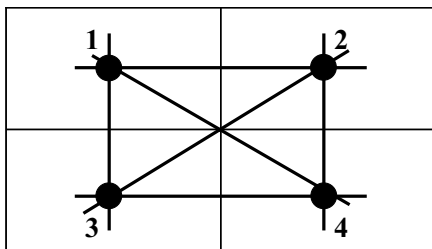
Hopfield uvodi pojam aktivacione funkcije kao [7]

$$g_i(u_i) = \frac{1}{1 + e^{-a_i u_i}} \quad (2)$$

Koeficijent  $a_i$  definiše nagib sigmoidalne funkcije. Povećanjem vrednosti  $a_i$ , dobija se strmiji nagib, i u граничном slučaju, pri  $a_i \rightarrow \infty$ , dobija se odskočna funkcija, slika 1.b.

Postupak prilagođavanja realne karte predloženom algoritmu realizuje se u tri koraka:

- Za geografsku kartu se oblast od interesa podeli po  $x$  i  $y$  osi na proizvoljan broj oblasti,
- Za svaku oblast se definišu vrednosti ulaznih parameta u odnosu na klasifikaciju koja je određena,
- Popune se ulazne matrice prelaza koje definišu cene prelaza iz jedne u drugu oblast u svim pravcima, pri čemu se čvor mreže postavlja u centar oblasti, numerisane sa  $i$ - $x$ .

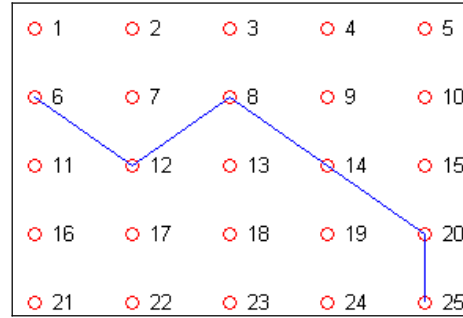


Sl. 2. a) Veze četiri oblasti, tj. povezanost njihovih čvorova, kojima se oblast predstavlja neuralnoj mreži kao neuron.

#### IV. REZULTATI

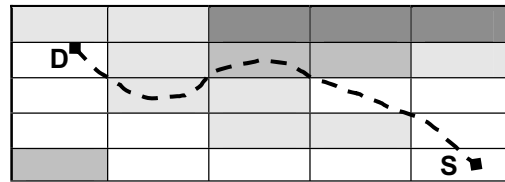
Prema opisanom algoritmu (1) kreirana je softverska aplikacija za planiranje i izbor putne trase. Kod je realizovan u programskom paketu Matlab i za krajnji cilj ima pronalaženje Pareto optimalne putanje za definisane ulazne parametre. Analizirana je fiktivna teritorija sa podelom  $x$  i  $y$  ose na po pet delova. U dobijenoj strukturi od 25 polja proizvoljno su razmeštene sve podele ulaznih parametara, ali vodeći računa da postoji logička

povezanost odgovarajućih zona. Npr. oblasti gde je urbana zona su definisane kao naseljene zone ili industrijski kompleksi u oblastima ravnica ili brda. Ukoliko se izvrši numeracija po redovima za početnu ( $S$ ) tačku izabrana je oblast 25 dok je za određenu ( $D$ ) izabrana oblast 6. U prvom slučaju izvršena je analiza bez uticaja rečne mreže jer je njen uticaj kroz težinske faktore najveći. Za zadato  $S$  i  $D$  rezultat pretrage neuralne mreže dat je na slici 3.

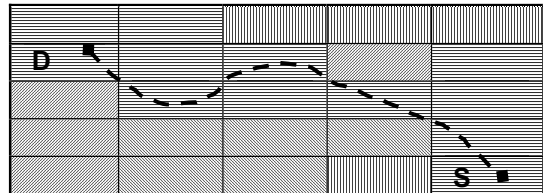


Sl. 3. Putanja kada se ne razmatra rečna mreža.

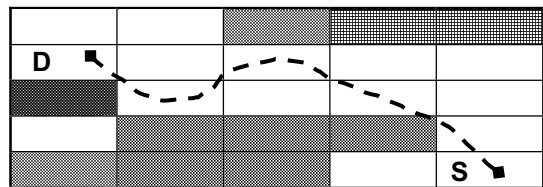
Posmatranjem ove trase u zadatom okruženju dolazi se do zaključka da putanja zaista predstavlja optimalno rešenje. Na slikama 4-6 prikazano je izabrano rešenje ucrtno na karti za svaki od faktora koji su uticali na izbor ove Pareto optimalne putanje.



Sl. 4. Izabrana putanja u reljefnom okruženju.

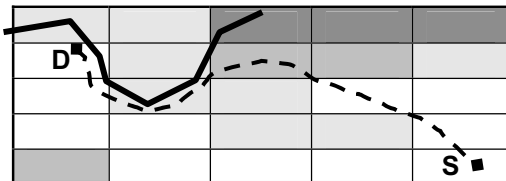


Sl. 5. Izabrana putanja prikazana kroz tipove tla.

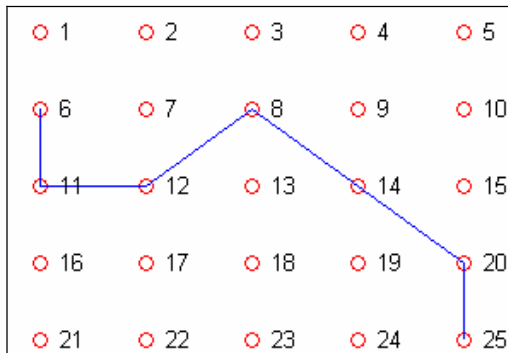


Sl. 6. Izabrana putanja prikazana kroz stepen uticaja na životnu sredinu.

Ukoliko se u drugoj analizi uključi i rečna mreža rezultat je prikazan na slikama 7-8. Mreža je i dalje zadržala veći deo predhodno odabrane trase, ali je zbog visoke cene izgradnje mosta (u ovom slučaju stavljena je cena 2) mreža odabrala put duž rečnog toka. Ovakav izbor mreže odgovara i rešenjima koje se primenjuju u praksi.



Sl. 7. Izabrana putanja prikazana kroz uticaj reljefa i rečne mreže.



Sl. 8. Izabrana putanja u programskom okruženju kada se razmatra i uticaj rečne mreže.

## V. ZAKLJUČAK

U radu je predložen algoritam za planiranje i izbor putne trase zasnovan na Hopfield-ovoj neuralnoj mreži. Algoritam je namenjen primeni u realnom fizičko-geografskom prostoru i može se iskoristiti kao dodatno sredstvo u složenim poslovima izrade prostornog plana. Kao ulazni parametri korišćeni su reljef, rečna mreža, tipovi tla i uticaj na životnu sredinu. Uticaj svakog od parametra kao i njihova raspodela unutar oblasti na zadatoj mapi je u potpunosti prepuštena korisniku. Na ovaj način sve vrste terena i specifičnosti istih se mogu razmatrati. Broj oblasti na koje se deli inicijalna karta je takođe proizvoljan. U tom smislu pored fizičko-geografskih karti mogu se koristiti i topografske karte tj. planovi. Demonstrirani su primeri koji pokazuju izbor Pareto optimalne putanje za izabrani par S-D kroz svaku pojedinačnu kartu kojom se opisuju ulazni parametri.

Ostvarena brzina predloženog algoritma je zavisna od broja čvorova. Za prikazane simulacije brzina je reda sati što je posledica realizacije na personalnom računaru i programskom okruženju Matlab-a. Ova brzina se višestruko može povećati hardverskom realizacijom ili optimizacijom i realizacijom u nekom drugom programskom paketu. Sa druge strane ovo vreme je zanemarljivo malo u odnosu na klasične proračune koji se u najvećoj meri koriste u praksi.

Dalja istraživanja biće usmerena ka povećanju broja ulaznih parametara. Ovo se posebno odnosi na ekonomski uticaj u smislu planiranog razvoja pojedinih oblasti ali i uticaja lobija u smislu velikih kompanija koje su spremne da finansiraju deo putne mreže koja bi zadovoljila njihove interne potrebe. Takođe, treba izvršiti analizu i ukrštanja sa drugim putnim pravcima kao i procene gustine saobraćaja.

## LITERATURA

- [1] R. Borndorfer, M. Grottschel, A. Lobel, "Optimization of transportation systems", *Acta Forum Engelberg, The Future of Mobility and Transportation in a Moving World ZIB-Report* 98-09.
- [2] P.V. Hall, M. Hesse, J.P. Rodrigue, Re-Exploring the Interface between Economic and Transport Geography, *Environment & Planning A*, Vol 38, No. 8, pp. 1401-1408.
- [3] S.G. Li, Y. M. Su, Optimal transit path finding algorithm based on geographic information system, *Intelligent Transportation Systems, Proceedings IEEE*, Vol. 2, 12-15 Oct. 2003, pp. 1670 – 1673.
- [4] Dokumentacija za prethodnu procjenu uticaja na okolinu, IPISA Institut, 2005. <http://www.fmpuio.gov.ba/FMPUIO/Dokumenti/Dokumentacija%20za%20PPUO%20%20Vc%20Lot%20%20centralni%20dokument.pdf>.
- [5] Prostorni plan Republike Srbije za period do 2010. godine, [http://www.mugrs.sr.gov.yu/srp\\_pdf/prplan.pdf](http://www.mugrs.sr.gov.yu/srp_pdf/prplan.pdf).
- [6] J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 79, pp.2554-2558, 1982.
- [7] J. J. Hopfield, D. W Tank, "'Neural' computations of decision in optimization problems", *Biol. Cybern.*, Vol. 52, pp. 141-152, 1985
- [8] J. P. Rodrigue, Transportation and the Geographical and Functional Integration of Global Production Networks, *Growth and Change*. Vol. 37, No. 4, pp. 510-525.
- [9] R.W. Thomas, R.J. Huggett, *Modelling in Geography: A mathematical Approach*, Rowman & Littlefield, 1980.
- [10] Y.F. Tang , S.C. Pun-Cheng, Algorithmic development of an optimal path computation model based on topographic map features, *XXth ISPRS Congres*, Istanbul, 12-23 July, 2004
- [11] M. Ali, F. Kamoun, "Neural networks for shortest path computation and routing in computer networks", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 4, No. 6, pp. 941-953, 1993.
- [12] N.Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Neural network for optimization of routing in communication networks", *FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics*, Vol. 19, No. 2, pp. 317-329, August 2006.
- [13] N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Optimal routing in packet switching network by using neural network", in *Proc. EUROCON-2005*, Vol. 2, pp. 1750-1753, Belgrade, 21-24 Nov., 2005.
- [14] K. Balsys, D. Eidukas, A. Marma, A. Valinevicius, M. Žilys, Systems of Transport Route Development, *The 11<sup>th</sup> International Conference Electronics*, Kaunas, 15-17 May, 2007.
- [15] N.Kojić, R.Stokić, I.Reljin, B.Reljin, "Poboljšanje planiranja drumskog saobraćaja primenom Hopfield-ovih neuralnih mreža", *Konferencija Telfor 2006*, Beograd, Nov. 21-23, 2006.
- [16] M. Thériault, M. H. Vandersmissen, M. L. Gosselin, D. Leroux, Modelling Commuter Trip Length and Duration Within GIS : Application to an O-D Survey, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 3, no. 1, pp. 41-55, 1999.
- [17] E. Nikolova, M. Brand, D. R. Karger, Optimal Route Planning under Uncertainty, *Int. Conf. on Automated Planning and Scheduling (ICAPS)*, June 2006.

## ABSTRACT

This paper proposes a new algorithm for planning and defining highway in real environment, based on Hopfield neural network. The criteria for planning are based on physical parameters which are connected to environment (relief, rivers and terrain), social and political influence, even the environment protection. From these reasons the route planning can be assumed as a multicriteria optimization. Such problems can be solved by using neural networks. The simulation results show that the proposed algorithm is able to find a good solution and could be used as an additional tool in complex planning jobs.

### A new approach for planning and defining highway trace by neural network

Nenad Kojić, Radica Kojić, Irini Reljin, Branimir Reljin