

Poboljšanje postupka rutiranja u optičkim mrežama

Nenad Kojić¹, Irini Reljin², *Member, IEEE*, Branimir Reljin³, *Senior Member, IEEE*

Sadržaj — U radu se opisuje modifikovana topologija potpuno optičke mreže koja je pogodna za implementaciju Hopfield-ove neuralne mreže u rutiranju. Predložena modifikacija omogućava jednovremeno rutiranje i dodelu talasnih dužina u istom čvoru. Predloženo rešenje je stabilno i skalabilno, i obezbeđuje nalaženje optimalne putanje (pri datim uslovima), uz minimizaciju blokiranja i garantovanje kvaliteta servisa.

Ključne reči — Optičke mreže, rutiranje, optimizacija, Hopfield-ova neuralna mreža.

I. UVOD

RAZVOJEM savremenih telekomunikacionih servisa, a naročito multimedijalnih u realnom vremenu, rastu potrebe za uvođenjem optičkih mreža. Sve niža cena samog vlakna i sve bolja tehnička rešenja za postavljanje i nastavljanje optičkog kabla kao i održavanje kvaliteta signala, ovim mrežama striktno utire put u mreže naredne generacije, mada još uvek postoje problemi konverzije električnog u optički signal i obratno, kao i postojanja kvalitetnih algoritama za rutiranje. Ovo je naročito izraženo kada je potrebno rutiranja raditi u skladu sa brzinom signala, zadržavanjem garantovanog kvaliteta servisa i uslova da se verovatnoća blokade svodi na minimum [1-3]. Ti se problemi znatno otklanjaju uvođenjem potpuno optičkih mreža.

Najveći broj radova problem „krajnjeg“ rutiranja u potpuno optičkim mrežama posmatra kroz dve odvojene faze: rutiranje i dodelu talasnih dužina. U procesu rutiranja očekuje se pronalaženje najbolje putanje, od grupe ponuđenih linkova u mreži. Kriterijumi za izbor ove putanje mogu biti dužina, kašnjenje signala kroz link, kašnjenje u postupku obrade u ruterima, kapacitet, cena i slično. Kao najčešće korišćeni algoritmi za selekciju rute su: fiksno, alternativno i iscrpljujuće rutiranje. Nakon ove faze, za pronađenu putanju, potrebno je izvršiti dodelu talasnih dužina. Talasna dužina se bira po tome da li je najviše ili najmanje korišćena, po redosledu ili slučajno,

kao i po nekim drugim kriterijumima, ali svakako sa ciljem da broj konverzija talasnih dužina u ruterima bude minimalan, i to: da se obezbedi minimalna verovatnoća blokade za neki naredi svetlosni put i uz minimalno izmeštanje i oslobađanje trenutno zauzetih talasnih dužina na nekim od linkova [4-7].

U ovom radu prikazaće se jedan algoritam koji rešava problem odvojenog rutiranja i dodele talasnih dužina. Algoritam ima dve faze rada: modifikaciju topologije optičke mreže, sa ciljem da se prilagodi mogućnostima i uslovima koje nalaže Hopfield-ova neuralna mreža, i pronalaženje optimalne putanje u tako modifikovanoj mreži. Za potrebe ovog rada korišćiće se optimizacioni moduli koji su razvijeni za potrebe prethodnih radova [7,8], a akcenat će se staviti na mogućnost modifikacije topologije pri različitim realnim mrežnim okruženjima. Za potrebe ovog rada realizovan je korisnički interfejs u programskom jeziku C++, namenjen rutiranju u optičkim mrežama. Rezultat rada algoritma treba da bude optimalna fizička putanja od tačke A do tačke B u mreži proizvoljne topologije. Kao moguće restrikcije uvode se cena i broj konverzija talasnih dužina u ruterima, ograničenja u dodeli talasnih dužina pojedinim linkovima, maksimalna dužina putanje, broj hopova i mogućnost da neki od rutera uopšte i ne može da vrši konverziju talasnih dužina.

Rad je organizovan u pet poglavlja. Nakon uvoda, u drugom poglavlju dat je kratak opis rada Hopfield-ove neuralne mreže sa modifikacijama koje omogućavaju kontrolu rutiranja. U trećem poglavlju definisane su specifikacije algoritma, način realizacije i modifikacije topologije mreže. Dobijeni rezultati prikazani su u četvrtom, dok su u petom poglavlju sumirani ostvareni rezultati. Na kraju je dat spisak korišćene literature.

II. HOPFIELD-OVA NEURALNA MREŽA

Opšte karakteristike Hopfield-ove NN

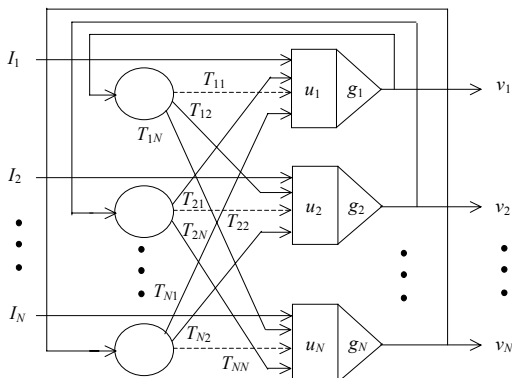
Na slici 1 je prikazana blok šema analogne mreže, inspirisane biološkim nervnim sistemom, sposobne da rešava optimizacione probleme. Ova struktura je predložena 1982. godine [9] i danas je poznata kao Hopfield-ova mreža. Mreža je rekurentnog tipa, dakle, postoje povratne sprege: izlazi neurona, v_i , su vezani za ulaze ostalih ćelija preko težinskih funkcija (sinapsi), T_{ij} , čime se vrši modifikacija ulaza, u_i , i promena stanja mreže u iterativnom postupku. Za stabilne mreže sukcesivne iteracije dovode do sve manje promene izlaza sve dok oni ne postanu nepromenljivi – dostignuto je stabilno stanje koje odgovara nekom od minimuma energije sistema.

¹Nenad S. Kojić je sa Visoke škole strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, Zdravka Čelara 16, 11000 Beograd, Srbija, E-mail: nenad.kojic@ict.edu.rs.

²Irini B. Reljin je sa Elektrotehničkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, i Visoke škole strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, Zdravka Čelara 16, 11000 Beograd, Srbija, E-mail: irinits@gmail.com.

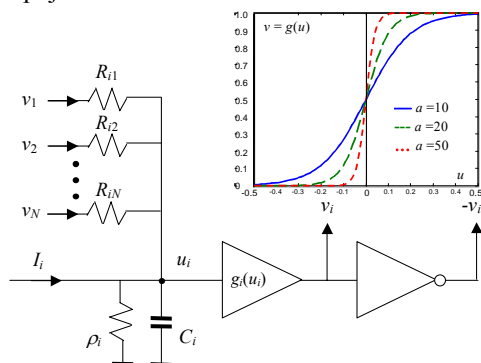
³Branimir D. Reljin je sa Elektrotehničkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija, E-mail: reljinb@etf.bg.ac.yu

Svaka ćelija ima i spoljašnji konstantan signal, I_i , kojim se definiše opšti nivo pobuđivanja ćelije ili cele mreže, ili se može obezbediti direktno pobuđivanje nekog određenog neurona.



Sl. 1: Struktura Hopfield-ove mreže

Procesirajući elementi (neuroni) – na slici 2 je prikazan i -ti neuron – su realizovani prema McCulloch-Pitts-ovom modelu formalnog neurona [10] kao težinski sumatori i nelinearni pojačavači.



Sl. 2: Moguća realizacija i -tog neurona (ćelije) i aktivaciona funkcija Hopfield-ove NN.

U inicijalnom Hopfield-ovom radu [9] prenosna funkcija pojačavača (aktivaciona funkcija), $v_i = g(u_i)$, je bila odskočnog tipa (*hard limiter*), a diskretna stanja neurona $[0,1]$ su se menjala u diskretnim trenucima vremena. U kasnijim radovima, razmatrane su mreže kod kojih se stanja neurona mogu kontinualno menjati u vremenu, a uvedena je monotono rastuća prenosna funkcija u vidu hiperboličnog kosinusa. Danas se, uobičajeno, koristi logistička funkcija, prikazana na slici 2 (gornje desno),

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

kod koje se eksponentom (pojačanjem) a_i utiče na strminu karakteristike. Izlazi svake od ćelija deluju na ulaze ostalih ćelija preko sinaptičkih konduktansi T_{ij} koje se realizuju otpornicima otpornosti $R_{ij} = 1/T_{ij}$. Eksitatorne sinapse ($T_{ij} > 0$) se ostvaruju vezivanjem otpornika za neinvertujući izlaz pojačavača a inhibitorne sinapse ($T_{ij} < 0$) vezivanjem otpornika za invertujući izlaz pojačavača. Kako u hardverskoj realizaciji sami pojačavači unose zanemarljivo kašnjenje, svakoj ćeliji se na ulazu dodaje RC član, ρ_i, C_i , koji obezbeđuje kašnjenje i integraciono sabiranje, dakle, dinamiku ulaznih signala.

Jednačine stanja kola sa slike 2 su opisane sa

$$C_i \frac{du_i}{dt} = \sum_{j=1, j \neq i}^N T_{ij} v_j - \frac{u_i}{R_i} + I_i, \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

gde je R_i ekvivalentna otpornost koju 'vidi' kondenzator na ulazu ćelije. Uobičajeno su svi neuroni identični (mada to nije neophodan uslov), osim vrednosti sinaptičkih konduktansi, a radi jednostavnosti se smatra da je izvršena normalizacija na C_i i R_i (tj., smatramo da su C_i i R_i jediničnih vrednosti).

U radu [12] je pokazano da su rekurentne mreže stabilne ako je matrica težina simetrična, sa nulama na glavnoj dijagonali. U Hopfield-ovoj realizaciji [11] to znači da će mreža biti stabilna ako su povratne konduktanse i -tog i j -tog neurona međusobno jednake, $T_{ij} = T_{ji}$, i ako nema povratne veze sa izlaza na ulaz istog neurona ($T_{ii} = 0$) – otuda su te veze na slici 1 označene crtkanim linijama. U tom slučaju, i je prenosna karakteristika bliska odskočnoj funkciji (ako je $a > 100$, slika 2), stabilnost Hopfield-ove mreže u smislu Ljapunova se može elegantno dokazati na osnovu ponašanja energijske funkcije, E , koja opisuje stanje mreže:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N T_{ij} v_j v_i - \sum_{i=1}^N I_i v_i \quad (3a)$$

Naime, promena energije E usled promene izlaza neurona i opisana je parcijalnim izvodom

$$\frac{\partial E}{\partial v_i} = -\sum_{j=1}^N T_{ij} v_j - \sum_{i=1}^N I_i, \quad (3b)$$

tako da se dinamika i -tog neurona (tj., njegova jednačina stanja) može opisati u obliku

$$C_i \frac{du_i}{dt} = -\frac{u_i}{R_i} - \frac{\partial E}{\partial v_i}, \quad \text{odnosno, } \partial E = -\frac{u_i}{R_i} \partial v_i \quad (4)$$

gde se krajnji oblik dobija u stabilnom stanju, kada je $du_i/dt = 0$, jer nema promene signala. Na osnovu (4), ako je aktivaciona funkcija oblika (1) zaključujemo da će proizvod $u_i \partial v_i$ uvek biti pozitivan, te je priraštaj energije negativan – dakle, sistem je stabilan u smislu Ljapunova.

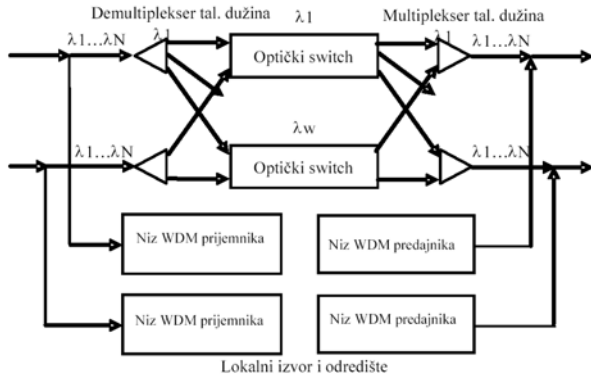
Modifikacije Hopfield-ove NN za potrebe rutiranja u telekomunikacionim mrežama

U radu [11] je pokazano da se ova neuralna mreža može uspešno primeniti za rešavanje složenih optimizacionih problema kao što je, na primer, problem trgovačkog putnika. To je, kasnije, primenjeno i u rešavanju problema rutiranja u telekomunikacionim mrežama [13-15]. U radovima [13,14] korišćena je originalna struktura Hopfield-ove mreže, dok je značajno unapređenje izvršeno u radu Ali i Kamoun-a [15], jer je cena linka opisana polarizacionim strujama neurona, I_i , čime je postignuto da se ista topologija mreže može koristiti bez obzira na promenu uslova rada mreže, što je velika prednost za rad u realnom vremenu. U radovima [7,8] su izvršene dalje modifikacije u cilju primene Hopfield-ove neuralne mreže za rutiranje u potpuno optičkim telekomunikacionim mrežama.

III. PREDLOŽENI ALGORITAM

Uslovi u optičkim mrežama

Rutiranje u potpuno optičkim mrežama direktno zavisi od mogućnosti konverzije talasnih dužina u mrežnim ruterima. Za tu potrebu koristi se arhitektura rutera kao na slici 3 [16], gde se saobraćaj sa dolaznih može preusmeriti na željeni odlazni port.



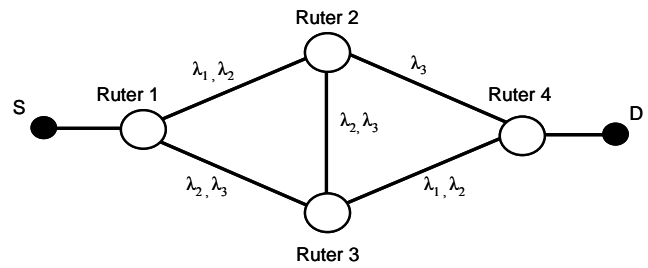
Sl. 3: Arhitektura rutera talasnih dužina [16].

Uvođenjem ovakvog tipa rutera nameće se i niz restriktivnih faktora da bi saobraćaj u mreži bio u potpunosti kontrolabilan. Pre svega u mreži se moraju definisati ruteri u kojima je moguće (ili nije) izvršiti rutiranje talasnih dužina. Pored toga mora se voditi računa da neki od rutera može imati samo pojedine kombinacije ili mogućnosti pri toj konverziji. Potrebno je uvesti i cenu konverzije i to: opštu (da bi se algoritam stimulisao na što manje promena talasnih dužina duž optičkog puta) i internu (gde se pojedine konverzije u ruterima stimulišu a neke ne). Sa druge strane mreža treba da ima karakteristike proizvoljne skalabilnosti (u smislu broja linkova i rutera) i proizvoljne dodele talasnih dužina po linkovima.

Opis nove topologije

Cilj algoritma je da pronade optimalnu putanju rutiranja imajući u vidu sve prethodno definisane uslove i ograničenja optičke mreže. To se može ostvariti Hopfield-ovom neuralnom mrežom sa odgovarajuće projektovanom energijskom funkcijom [7,8]. Ideja ovog radu je da se topologija mreže izmeni u cilju omogućavanja jednovremenog rutiranja i dodela talasnih dužina. Ova modifikacija je ključni deo rada i može se podeliti u tri faze. U prvoj se topologija mreže menja tako što se umesto svakog rutera uvode posebne, elementarne sub-mreže univerzalnog tipa u zavisnosti od broja talasnih dužina u mreži. U drugoj se svaki od postojećih linkova menja grupom linkova koji odgovaraju talasnim dužinama koje se prenose između dva rutera. Treća faza podrazumeva transformaciju svih ulaznih parametara i matrica stanja koje su odgovarale originalnoj topologiji kao u [7,8], a koriste se za rad neuralne mreže.

Ilustrovaćemo ovu ideju na slučaju mreže kao na slici 4 sa 4 rutera i talasnim dužinama λ_1, λ_2 i λ_3 . Čvorovi na ruterima 1 i 4 su izabrani za izvorišni (S) i odredišni (D).



Sl. 4. Topologija mreže sa raspodelom talasnih dužina.

U prvoj fazi definisani su ruteri talasnih dužina, slika 5, gde tačke $i=1, 2$ i 3 predstavljaju pristupne tačke za linkove koji će prenositi samo talasne dužine λ_1, λ_2 i λ_3 , respektivno. Novi linkovi među ovim tačkama imaju težinske vrednosti C_{ij} , kojima se direktno rešava uslov cena konverzija jedne u drugu talasnu dužinu, njihova zabrana, ili stimulisanje. Oznake ovih tačaka će biti RuterX(i).

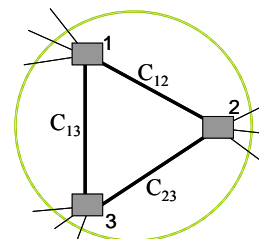


Fig. 5. Topologija mreže koja zamenjuje ruter talasnih dužina

U drugoj fazi se formira mreža ekvivalentna onoj sa slike 4, gde su ruteri zamenjeni ekvivalentnim sub-mrežama kao na slici 5, a postojeći linkovi sa više talasnih dužina se dele na više linkova sa pojedinačnim talasnim dužinama λ_1, λ_2 i λ_3 . Na ovaj način mreža je dobila potpuno drugačiju topologiju, ali se sada svaki link može opisati jednom vrednošću, uključujući i linkove u ruterima.

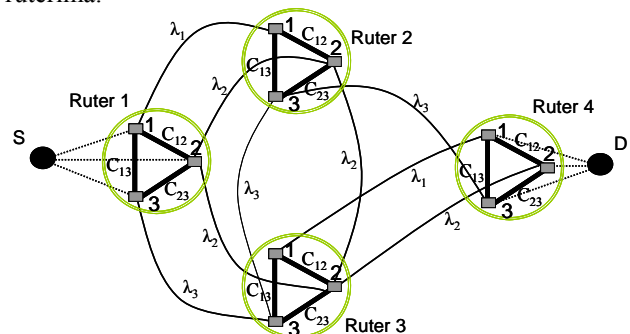


Fig. 6. Modifikovana topologija mreže sa slike 4

U trećoj fazi se sve matrice stanja prilagođavaju novoj topologiji mreže, nakon čega se prosleđuju neuralnoj mreži. Vrednosti matrica koje za novodobijenu topologiju neće postojati definišu se sa 0, i mreža ih neće razmatrati. U ovakvoj organizaciji mreža treba da pronade najkraći put između dve tačke, koji uzima u obzir i rutiranje i dodelu talasnih dužina, sa minimizovanjem broja linkova, broja hopova, konverzija u ruterima i ukupne cene.

IV. REZULTATI

Programsko rešenje realizovano je u jeziku C++. Kao ulazni parametri algoritma definisani su parametri

neuralne mreže, raspodele talasnih dužina po linkovima, matrica pristupa SD_{ij} (kojima se opisuje veza S i D sa mrežom) i vrednosti elemenata matrica konverzije C_{ij} . Zavisno od definisanih uslova, mreža će odabrati sledeće putanje između S i D:

1. Ako su cene linkova sa talasnim dužinama iste za sve talasne dužine i iznose 1, i ako su svi elementi matrica konverzija $C_{ij} = 0.5$, i matrica pristupa $SD_{ij} = 0.1$, dobijena putanja od S do D je **S-Ruter1(2)-Ruter3(2)-Ruter4(2)-D**. Ova putanja ima dva linka i oba sa talasnim dužinama λ_2 .
2. Ako se pretpostavi zauzetost linka 1-3, sa talasnom dužinom λ_2 , i ako su parametri konverzija u različite talasne dužine $C_{ij} = 0.1$, matrica pristupa $SD_{ij} = 0.1$, a cene linkova i dalje 1, dobijena putanja od S do D je **S-Ruter1(3)-Ruter3(3)-Ruter3(1)-Ruter4(1)-D**. Na ovaj način je stimulirano da se pre prihvati konverzija talasne dužine nego izbor dodatnog linka.
3. Za slučaj definisan u tački 2, moguće je obrnuti redosled prioriteta. Ukoliko je $C_{ij} = 3$, a svi ostali parametri nepromenjeni, putanja od S do D je **S-Ruter1(2)-Ruter2(2)-Ruter3(2)-Ruter4(2)-D**. Na ovaj način cena konverzije direktno utiče na izbor duže putanje ali bez konverzija, ako je to moguće.
4. Ukoliko se neka od talasnih dužina želi favorizovati, tada je dovoljno njenu cenu na svim linkovima smanjiti. Ako je to slučaj sa λ_1 , tada je cena ovih linkova izabrana da bude 0.1. Ukoliko se je $C_{ij} = 0.4$, matrica pristupa $SD_{ij} = 0.1$, a ostali linkovi sa cenom 1, putanja je **S-Ruter1(1)-Ruter2(1)-Ruter2(2)-Ruter3(2)-Ruter3(1)-Ruter4(1)-D**. U ovom slučaju se demonstrira mogućnost da se na putanju direktno utiče promenom samo dva parametra: cene linka sa željenom talasnom dužinom i cene konverzije.

S obzirom da je predloženi algoritam u mogućnosti da potpuno odvojeno posmatra svaki element mreže, uključujući podjednako i fizičke veze i logiku odlučivanja, promenom parametara se vrlo lako mogu simulirati svi postojeći algoritmi odlučivanja kada se radi o selekciji rute ili dodeli talasnih dužina, što mu daje mogućnost implementacije u postojeća rešenja, uz postizanje poboljšanja.

V. ZAKLJUČAK

U radu je predložen novi algoritam za rutiranje u optičkim mrežama koji treba da realizuje rutiranje i dodelu talasnih dužina istovremeno. Kao alat za traženje optimalne putanje korišćena je Hopfield-ova neuralna mreža, koja je uslovlila neophodne modifikacije topologije mreže, što je ovaj algoritam dodatno usložilo. Prikazano rešenje je pokazalo stabilnost i skalabilnost u velikom broju simulacija. Dalja istraživanja biće usmerena ka klasterizaciji pojedinih grupa rutera i obezbeđivanju centralizovane logike nadgledanja da bi se pored skalabilnosti zadržala i potrebna brzina rada.

LITERATURA

- [1] S. Rowe, M. Schuh, *Computer Networking*, Pearson, Prentice Hall, 2005.

- [2] K. Zhu, B. Mukherjee, *Traffic Grooming in Optical WDM Mesh Networks*, Springer Science and Business Media, 2005.
- [3] G. Rouskas, H. Penos, "A tutorial on optical networks", E. Gregori et al. (Eds.): *Networking 2002 Tutorials*, LNCS 2497, pp. 155-193, Springer-Verlag Berlin, 2002.
- [4] B. Mukherjee, "WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges" *IEEE JSAC*, Vol.18, pp. 1810-1824, Oct. 2000.
- [5] C. S. R. Murthy, M. Gurusamy, *WDM Optical Networks -Concepts, Design and Algorithms*, Prentice Hall, 2002.
- [6] V. Aćimović-Raspopović, G. Marković "Rutiranje u optičkim mrežama sa talasnim multipleksiranjem", *Zbornik radova konferencije TELFOR 2003 CD izdanje*, nov. 2003; Beograd, www.telfor.org.yu
- [7] N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Routing in optical networks by using neural network", in *Proc. 8th Conf. NEUREL-2006*, Belgrade, Serbia, Sept. 25-27, 2006, pp. 65-68.
- [8] N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Different wavelength assignment techniques in all-optical networks controlled by neural network", in *Proc. 8th Conference TELSIS-2007*, Vol. 2, pp. 401-404, Niš, Sept. 26-28, 2007.
- [9] J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.
- [10] W. McCulloch, W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in neural nets", *Bull. Math. Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-137, 1943.
- [11] J. J. Hopfield, D. W. Tank "Neural" computations of decision in optimization problems", *Biol. Cybern.*, Vol. 52, 1985, pp. 141-152.
- [12] M. Cohen, S. Grossberg, "Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks", *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 13, pp. 815-826, 1983
- [13] H. Rauch, T. Winarske, "Neural networks for routing communication traffic", *IEEE Cont. Syst. Mag.*, pp. 26-30, April 1988
- [14] L. Zhang, S. Thomopoulos, "Neural network implementation of the shortest path algorithm for traffic routing in communication networks", in *Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks*, p. II. 591, June 1989
- [15] M. Ali, F. Kamoun, "Neural networks for shortest path computation and routing in computer networks", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 4, No. 6, 1993, pp. 941-953.
- [16] N.F.Huang, G.H. Liaw, C.P. Wang, "A novel all-optical transport network with time-shared wavelength channels", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.18, No. 10, Oct. 2000.

ABSTRACT

The paper describes a modified topology of all-optical network suitable for implementation of Hopfield neural network for routing. Proposed modification enables simultaneous realisation of routing and wavelength assignment at the same node. Proposed solution is stable and scalable, and can find optimal path (under given constraints), with the minimisation of blocking, and with guaranteed QoS.

IMPROVEMENT OF ROUTING IN ALL OPTICAL NETWORKS

Nenad Kojić, Irini Reljin, Branimir Reljin