

Primena neuralnih mreža za dinamičko multicast rutiranje video signala

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

Sadržaj — Današnje komunikacije prenose multimedijalni sadržaj. Nagli tehnološki razvoj, jeftin ali moćan hardver i softver, dovode do sve većih zahteva korisnika za raznovrsnijim servisima. Industrija zabave (video-on-demand, news-on-demand, masovno slanje mail-ova itd.) i različiti komercijalni servisi (video konferencije, telemedicina, distribuirane baze podataka) utiču na razvoj telekomunikacija. Rukovanje raznovrsnim informacijama postaje težak zadatak usled često nepredvidivih zahteva korisnika. Neuralne mreže, s obzirom da su sposobne da rade sa nekompletnim i promenljivim ulaznim podacima, mogu biti veoma korisne u rešavanju raznih složenih problema, između ostalog, i u rutiranju u savremenim telekomunikacionim mrežama. U ovom radu je predložena Hopfield-ova neuralna mreža za dinamičko multicast rutiranje kod prenosa video signala.

Glavne reči — Dinamičko rutiranje, multicast, Steiner tree problem, Hopfield-ova neuralna mreža.

I. UVOD

SAVREMENO mrežno okruženje predstavlja jedan od osnovnih načina komunikacija. Raznovrsna i pristupačna oprema i mnogobrojne usluge, korisniku pružaju sve veće mogućnosti. U velikoj lepezi usluga, sve veći broj korisnika ima potrebu da komunicira sa više korisnika istovremeno [1]. Dosadašnje point-to-point veze sve više se zamenjuju point-to-multipoint konekcijama. Ovo je podjednako izraženo kod promocija zabavnih ali i profesionalnih sadržaja [1],[2]. Video konferencije predstavljaju sve češći način komunikacije zahvaljujući mogućnostima koje nude, ali i niskoj ceni realizacije ovog servisa. Svakako, ovaj servis, pored cene, mora da zadovolji i očekivanja korisnika u smislu kvaliteta [3].

Rutiranje predstavlja jedan od najbitnijih aspekata komunikacionih mreža. Kao osnovna ideja multicast rutiranja može se postaviti prenos kopija paketa do njihovih odredišta [4]. Dodatno opterećenje se nameće definisanjem jednog od dva moguća scenarija u smislu zatvorenosti grupe korisnika koja te sadržaje i prima: da li se paketi prenose do odredišnih čvorova samo čvorovima koji su definisani da pripadaju grupi, ili se prenose bilo kojim čvorovima. Optimizacija parametara koji učestvuju u kreiranju kriterijuma rutiranja može se podeliti u dva

segmenta. Prvi je pronalaženje najkraćeg stabla za rutiranje (shortest path tree), u smislu najniže cene između izvora i odredišta, i drugi, optimizacija ukupne cene rutiranja u multicast stablu, u slučaju da neki od čvorova stabla nisu članovi odredišne grupe [2],[5],[6].

Generalno gledano postoje tri opšta uslova koje je potrebno zadovoljiti kod dinamičkog multicast rutiranja, pa samim tim i njegove primene na video signal. To su ukupno kašnjenje signala, varijacija u kašnjenju i kapacitet [7],[8]. Kapacitet se u tom slučaju posmatra kao parametar po svakom od linkova koji za odabrano stablo mora biti veći od nekog unapred zadatog broja K_0 , koji je u stvari minimalni saobraćaj za te grane.[9]. Detaljnija analiza zahteva posmatranje trenutnog saobraćaja na svakom od linkova, kao i njegov kapacitet, i uslov da je $K_{ij} > G_{ij}$, čime se eliminiše pojava odbačenih paketa.

Dinamičko rutiranje se najteže može tačno opisati matematičkim relacijama. Ovaj problem se može sagledati kroz lokaciju gde se korisnik priključuje, i na taj način traži da se algoritam za rutiranje prilagodi i njegovom krajnjem čvoru, ali i dužini vremena koje će korisnik provesti u multicast grupi. Ulazeći u još detaljniju analizu, korisnik može imati različite zahteve za saobraćajem, pa je inicijalni izbor jedne od više putanja, ukoliko takve do njegovog čvora postoje, još teži.

U tom smislu, nameće se potreba za rešavanjem bar dela ovog problema, što je razmatrano u literaturi [8],[10],[11]. Ovaj rad predstavlja jedno rešenje za multicast rutiranje koje se bavi paralelnom optimizacijom ukupne cene Steiner-ovog stabla, ali i minimizacijom ukupne cene sa aspekta broja hopova, dužine putanja u stablu i zagušenja. Zagušenje se analizira razmatranjem parametara kapaciteta i trenutnog saobraćaja po svakom od linkova, u skladu sa definisanim kvalitetom video signala.

Rad je organizovan kroz sledeća poglavlja: u poglavlju II je dat opis Steiner-ovog stabla i problema rutiranja unutar njega, kao i definisanje problema koje se u ovom radu rešava. 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. MULTICAST RUTIRANJE I NJEGOVA OGRANIČENJA

2.1 Steiner-ovo stablo

Neka je dat težinski graf $G=(V,E)$ gde su V čvorovi a E grane (linkovi) tog grafa. Neka je za takav graf definisan

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, irini.reljin@ict.edu.yu, reljinb@etf.bg.ac.yu.

podskup $D \subseteq V$. Steiner-ovo stablo (*Steiner tree*) je stablo u grafu G koje spaja sve čvorove u $D = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$. Dodatnom restrikcijom definiše se i minimalno Steiner-ovo stablo (*Minimum Steiner tree in graph - MSITG*) kao stablo za koje je ukupno rastojanje na njegovim granama minimalna vrednost među svim mogućim Steiner-ovim stablima za dato G i D . U takvom stablu postoji mogućnost da se koriste čvorovi $D' = \{d_1, d_2, \dots, d_K, \dots, d_{K'}\}$, gde je $D' \supseteq D$. Čvorovi koji su elementi $(D' - D)$ se nazivaju Stajnerovi čvorovi [12].

Problem pronalaženja Steiner-ovog stabla spada u “*NP-complete*”, i algoritmi za njegovo izračunavanje datiraju od sedamdesetih godina prošlog veka [13].

2.2 Ograničenja minimalnog Steiner-ovog stabla

Uvođenjem ograničenja u smislu kvaliteta servisa, a naročito kada se radi o prenosu zahtevnih video signala u realnom vremenu dobijaju se *Constrained Minimum Steiner tree in Graph (CMSITG)*. Ova ograničenja odnose se na ukupno kašnjenje u prenosu od izvora do odredišta, varijacije u kašnjenju i propusni opseg [14].

U prvobitnim rešenjima pokazalo se da se kompleksnost algoritma umnogome usložnjava povećanjem broja čvorova u grafu i samim tim povećava vreme obrade što negativno utiče na početnu pretpostavku da se radi o prenosu video signala u realnom vremenu. Primenom neuralnih mreža, ovaj problem je donekle prevaziđen. Naime, u radu [15] je pokazano da kod Hopfieldovih-neuralnih mreža vreme obrade ne zavisi od broja čvorova nego međusobnih veza od izlaznog do ulaznog sloja neurona u Hopfield-ovoj rekurentnoj mreži. Iz tog razloga ova mreža je izabrana kao kandidat za rešavanje problema dinamičkog rutiranja.

2.3 Modifikacija i definisanje problema dinamičkog multicast rutiranja za potrebe video signala

Polazeći od modifikovane funkcije iz rada [15], i uvođenjem pojma kapaciteta i gustine saobraćaja na svakom od linkova, realizovan je model za dinamičko multicast rutiranje pogodan za prenos video signala. Ovaj model traži *MSITG* u zadatom grafu sa ciljem minimizacije opšte cene težinskog grafa. Svaki od linkova je opisan svojom inicijalnom cenom (koja može biti fizičko rastojanje tj. indirektno izračunato vreme prenosa kroz posmatranu deonicu ili fizička cena prenosa po jedinici dužine), kapacitetom i trenutnom gustinom saobraćaja. Cilj je pronalaženje Pareto optimalne putanje koja može da odgovori potrebama promena konfiguracije grafa, u smislu konektovanja novih korisnika, i obezbedi minimalno odbacivanje paketa usled zagušenosti linka [9],[15].

III. MODEL HOPFIELD-OVE NEURALNE MREŽE

Biološki nervni sistem je 1982. godine inspirisao J. J. Hopfield-a da kreira model analogne računarske mreže [16]. Nakon tri godine Hopfield i Tank predlažu model neuralne mreže [17] 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 trgovačkog putnika sa 30 gradova [17]. 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 [18]. Kao metrika sada se mogu koristiti realni fizički parametri za koje se traži optimalno rešenje. Daljom modifikacijom ove funkcije [19],[20] 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.

U radu [15] predlaže se energijska funkcija za rešavanje problema multicast rutiranja koje razmatra fizičko rastojanje i ukupno kašnjenje u smislu maksimalno dozvoljenog kašnjenja na najdužoj putanji u stablu. Modifikacijom ove funkcije i uvođenjem parametara za kapacitet i gustinu, za potrebe ovog rada predložena je energijska funkcija:

$$E^m = \frac{\mu_1}{2} \sum_X \sum_{i \neq X} C_{Xi} v_{Xi}^m \frac{1}{I + \sum_{\substack{j \\ j \neq m \\ j \in D}} v_{Xi}^j} + \frac{\mu_2}{2} \sum_X \sum_{\substack{i \neq X \\ (X,i) \neq (m,s)}} \rho_{Xi} v_{Xi}^m \\ + \frac{\mu_3}{2} \sum_X \left(\sum_{i \neq X} v_{Xi}^m - \sum_{i \neq X} v_{iX}^m \right)^2 + \frac{\mu_4}{2} \sum_i \sum_{X \neq i} v_{Xi}^m (I - v_{Xi}^m) \\ + \frac{\mu_5}{2} (I - v_{ms}^m) + \frac{\mu_6}{2} \sum_X \sum_{\substack{i \\ i \neq X \\ (X,i) \neq (m,s)}} [I - (K_{Xi} - G_{Xi})] v_{Xi}^m \quad (1)$$

Matrica \mathbf{C} predstavlja inicijalnu cenu, \mathbf{K} kapacitet i \mathbf{G} trenutnu gustinu saobraćaja. Matrica \mathbf{v} predstavlja izlazne vrednosti neurona u poslednjem sloju koje se zbog rekurentnosti mreže, vraćaju na ulazni sloj. Matrica $\mathbf{\rho}$ opisuje povezanost čvorova, i njeni članovi su:

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

Dodatni uslovi u mreži su eliminacije linkova na kojima se članovi matrica \mathbf{C} i \mathbf{K} jednaki 0, ili da je na linku razlika parametra K_{ij} i G_{ij} manja ili jednaka nuli (uslov zagušenja).

Prvi član (uz μ_1) u energijskoj funkciji (1) treba da minimizuje inicijalnu cenu, drugi da onemogući eliminisanim ili nepostojećim linkovima da postoje u konačnom rešenju, treći da obezbedi izlazak iz tranzitnih čvorova ako u njima postoji dolazni saobraćaj, četvrti da stimuliše vrednosti matrice \mathbf{v} da budu 0 ili 1, peti da eliminiše povratnu vezu ka izvorišnom čvoru, dok šesti

treba da optimizuje ponuđeni kapacitet u odnosu na gustinu saobraćaja.

Za razliku od point-to-point rutiranja, u multicast rutiranju se optimizacija i definisanje matrica ν vrši za svaki od parova S - D^m , gde je S izvor (*source*), a D^m skup destinacijskih čvorova. Međusobni uticaji, u smislu minimizovanja krajnjeg rešenja, dati su kroz prvi član energijske funkcije (1), dok se ukupna energijska funkcija dobija posle svake iteracije kao:

$$E = \sum_{\substack{m=1 \\ m \in D_m}} E^m \quad (2)$$

Prema jednačini (1), promena stanja u mreži definisana je opštim uslovom sa

$$\frac{dU_{xi}^m}{dt} = -\frac{U_{xi}^m}{\tau} - \frac{\partial E^m}{\partial V_{xi}^m} \quad (3)$$

dok su u predloženom rešenju stanja definisana sa

$$\begin{aligned} \frac{dU_{xi}^m}{dt} = & -\frac{U_{xi}^m}{\tau} - \frac{\mu_1}{2} C_{xi} \frac{1}{1 + \sum_{\substack{j \\ j \neq m, j \in D}} \nu_{xi}^j} \cdot (1 - \delta_{xm} \delta_{is}) \\ & - \frac{\mu_2}{2} \rho_{xi} (1 - \delta_{xm} \delta_{is}) - \frac{\mu_3}{2} \sum_{\substack{y=1 \\ y \neq x}} (v_{xy}^m - v_{yx}^m) \\ & + \frac{\mu_3}{2} \sum_{\substack{y=1 \\ y \neq i}} (v_{iy}^m - v_{yi}^m) - \frac{\mu_4}{2} (1 - 2v_{xi}^m) + \frac{\mu_5}{2} \delta_{xm} \delta_{is} \\ & - \frac{\mu_6}{2} [I - (K_{xi} - G_{xi})] \cdot (1 - \delta_{xm} \delta_{is}) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\forall (x, i) \in \bar{N} \times \bar{N} / x \neq i$$

U realizaciji mreže korišćena je prilagođena aktivaciona funkcija [17]

$$V_{xi}^m = g_{xi}^m(U_{xi}^m) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda_{xi}^m U_{xi}^m}} \quad (5)$$

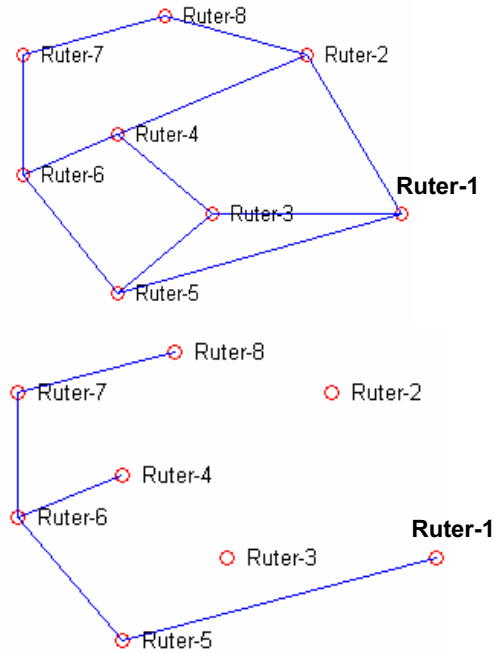
IV. REZULTATI SIMULACIJE

Na osnovu definisane energijske funkcije i promene stanja neurona u mreži realizovan je simulacioni model korišćenjem programskog paketa Matlab. Parametri korišćeni u simulaciji su $\tau = 1$, $\lambda_{xi}^m = 1$, $g_{xi}^m = g$. Konstante μ_{1-6} imaju vrednosti 450, 950, 1500, 450, 2500 i 750, respektivno. Neuroni su inicijalno pobuđeni šumom $-0.00001 \leq \delta U_{xi}^m \leq +0.00001$. Kraj simulacije definisan je stagnacijom energijske funkcije i maksimalnom oscilacijom u deset uzastopnih iteracija od 0.0000001. Na kraju rada programa vrednosti matrica ν su zaokružene na 1 ako je $V_{xi}^m \geq 0.5$ ili 0 u ostalim slučajevima. U prikazanim primerima $S=1$ dok je skup $D^m = \{4, 5, 7, 8\}$.

Polazeći od strukture mreže date na slici 1a i postavljanjem parametara kapaciteta i gustina na neutralne vrednosti 1 tj. 0.1 dobijen je isti rezultat kao i u radu [15] čime se pokazuje da novouvedene matrice ne narušavaju optimalnost rešenja. Matrica inicijalnih cena je data u tabeli 1 dok je dobijena putanja prikazana na slici 1b.

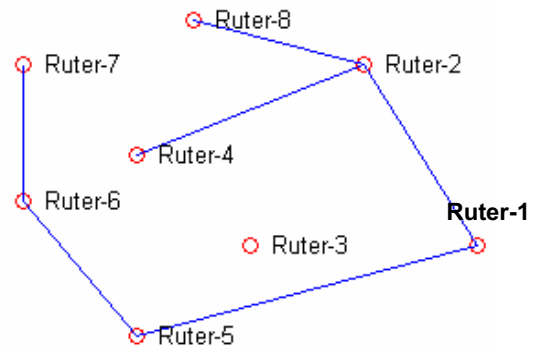
TABELA 1: MATRICA INICIJALNIH CENA.

0	2	3	0	1	0	0	0
2	0	0	3	0	0	0	4
3	0	0	2	2	0	0	0
0	3	2	0	0	3	0	0
1	0	2	0	0	1	0	0
0	0	0	3	1	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	2
0	4	0	0	0	0	2	0



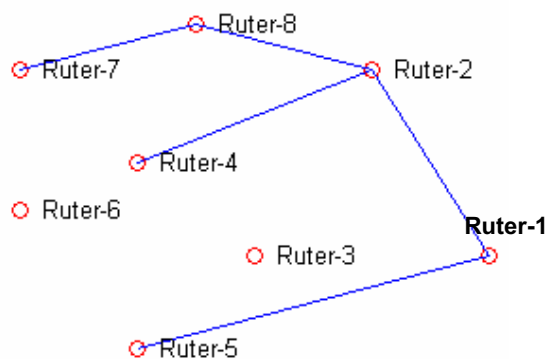
Sl. 1. (a) Početna povezanost mreže i (b) izabrana putanja po kriterijumu rastojanja (inicijalna cena).

Ukoliko se cena, na prvom linku izabrane putanje 1-5, poveća sa vrednosti 1 na 3, kao i gustina sa 0.1 na 0.3 tada se ukupna cena stabla i pojedinih destinacija, naročito za čvorove 4, 7 i 8 kao krajnje tačke, povećava pa algoritam za najudaljenije od njih pronalazi alternativne putanje. Ovo je prikazano na slici 2.



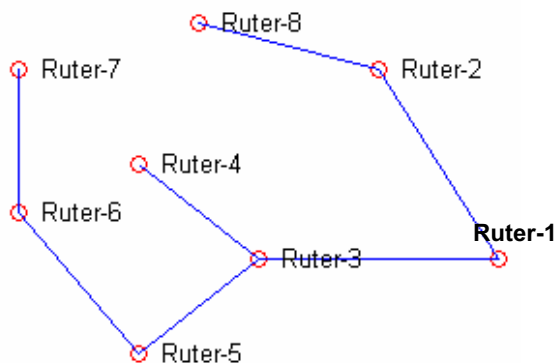
Sl.2. Izabrana putanja nakon promene rastojanja sa 1 na 3, i gustina sa 0.1 na 0.3.

Ukoliko se na linkovima 3-4, 6-4, 6-7 i 7-8 simuliraju zagušenja postavljanjem elemenata matrice \mathbf{K} i \mathbf{G} na pomenutim linkovima na vrednosti 0.9 tada se dobija Pareto optimalna putanja kao na slici 3.



Sl.3. Izabrana putanja nakon simulacije zagušenja linkovima 3-4, 6-4, 6-7 i 7-8.

Posmatranjem trenutka vremena kada je na izbegnutim linkovima zagušenje prestalo, ponovo se stvaraju povoljni uslovi za njihovu upotrebu. Ukoliko je gustina na svim linkovima manja od ponuđenog kapaciteta $K_{ij}=1$ a $G_{ij}=0.4$ i ako se simulira prekid linka 1-5 tada program nudi putanju kao na slici 4.



Sl.4. Izabrana putanja nakon simulacije prekida linka 1-5 i rasterećenja prethodno "zagušenih" linkova.

V. ZAKLJUČAK

U radu je opisan i razvijen model zasnovan na Hopfield-ovoj neuralnoj mreži za potrebe dinamičkog multicast rutiranja. Predloženi model je pokazao identične rezultate sa dostupnim u literaturi ali je uveo i dva nova parametra koji u mnogome povećavaju kvalitet servisa i smanjuju verovatnoću zagušenja od prenosa video signala. Dalji rad biće usmeren na proširenje postojećeg modela i na računanje varijacije kašnjenja pri izboru konačne putanje.

LITERATURA

- [1] L. A. Giuliano, B. M. Edwards, B. R. Wright, Interdomain Multicast Routing, Addison-Wesley, 2002.
- [2] D. Chakraborty, G. Chakraborty, C. Ponomal, N. Shiratori, "Cost Minimization for Dynamic Multicast without Rerouting", Proceeding of the *Internet Global Summit 1999*, San Jose, June 22-25, 1999
- [3] D. Chakraborty, G. Chakraborty, N. Shiratori, "A dynamic multicast routing satisfying multiple QoS Constraints", *International journal of network management 2003*; Vol. 13: pp. 321-335, 2003.
- [4] T. K. Shih, "Distributed Multimedia Databases: Techniques and Applications", *IGI Global*, 2002.

- [5] L. H. M. K. Costa, S. Fdida, O. Duarte, "Hop by hop multicast routing protocol", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 31, Issue 4, pp. 249 - 259, 2001.
- [6] W. JIA, W. TU, W. ZHAO, G. XU, "Multi-shared-trees based multicast routing control protocol using anycast selection", *The International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 69-84, March 2005.
- [7] I.I. Mandou, A. Olshevsky, A.Z. Zelikovsky "QoS multimedia multicast routing", Chapter 71 of *Approximation Algorithms and Metaheuristics*, T.E. Gonzalez, Chapman & Hall/CRC, 2007.
- [8] H.Chen, B. Sun, "Multicast routing optimization algorithm with bandwidth and delay constraints based on GA", *Journal of communication and computer*, Vol. 2, No.5, May 2005.
- [9] J.Crichigno, B. Baran, "Multiobjective multicast routing algorithm" *11th International Conference on Telecommunications*, Fortaleza, Brazil, August 1-6, 2004.
- [10] R. H. Hwang, W. Y. Do, S. C. Yang, "Multicast Routing Based on Genetic Algorithms", *Journal of information science and engineering*, Vol.16, pp. 885-901, 2000.
- [11] Chiu D. M., S. Hurst, M. Kadansky, J. Wesley, "TRAM: A Tree-based Reliable Multicast Protocol", *Sun Microsystems Laboratories Technical Report SMLI TR-98-66*, September 1998.
- [12] Goutam Chakraborty, "Genetic Algorithm Approaches to Solve Various Steiner Tree Problems", In *Steiner Trees in Industries*, Kluwer Academic, pp. 71-100, 2001.
- [13] M. R. Gareg, D. S. Johnson, Computer and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness, Freeman, New York, 1979.
- [14] S.L. Hakimi, "Steiner's problem in graphs and its implications" *Networks*, Vol. 1, No.1, pp. 113-133, 1971.
- [15] C. Ponomal, G. Chakraborty, N. Shiratori, "A neural network approach to multicast routing in real-time communication networks", *Third International Conference on Network Protocols (ICNP'95)*, pp. 332-339, 1995.
- [16] J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.
- [17] J. J. Hopfield, D. W. Tank, "'Neural' computations of decision in optimization problems", *Biol. Cybern.*, Vol. 52, pp. 141-152, 1985
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

ABSTRACT

Modern communications support multimedial content. Rapid technological development, cheap but powerful hardware and software, provoke users to need more and more sophisticated services. Entertainment industry (video-on-demand, news-on-demand, massive e-mails sending) and different commercial services (video conferences, telemedicine, distributed databases) generate the progress in telecommunications. Managing of different information is very difficult task due to unpredictable users' demands. Neural networks (NN), being capable to work with uncomplete and changeable input data, are very promising for solving different complex problems, among others the routing in modern telecommunication networks. In this paper the Hopfield NN is suggested for dynamic multicast routing in video signal transmission.

Neural network application in dynamic multicast routing of video signals

Nenad Kojić, Irini Reljin, Branimir Reljin