

PREDIKCIJA NIVOVA ELEKTROMAGNETNOG POLJA U URBANIM SREDINAMA POMOĆU HIBRIDNOG EMPIRIJSKO-NEURONSKOG MODELA

Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Aleksandar Jovanović
Elektronski fakultet u Nišu

Sadržaj – U ovom radu je prikazana primena hibridnog empirijsko-neuronskog (HEN) modela za određivanje slabljenja EM talasa duž propagacione trase koja prolazi kroz urbanu sredinu. Trasa je podeljena na propagacione oblasti različitog tipa, a za svaki tip oblasti razvijen je zaseban HEN model. Ukupno slabljenje na trasi dobijeno je spajanjem ovih HEN modela u jedan složeniji hijerarhijski HEN model. Ovo omogućava da se specifična svojstva svake oblasti koja utiču na prostiranje EM talasa uključe u propagacioni model u cilju tačnijeg određivanja slabljenja trase.

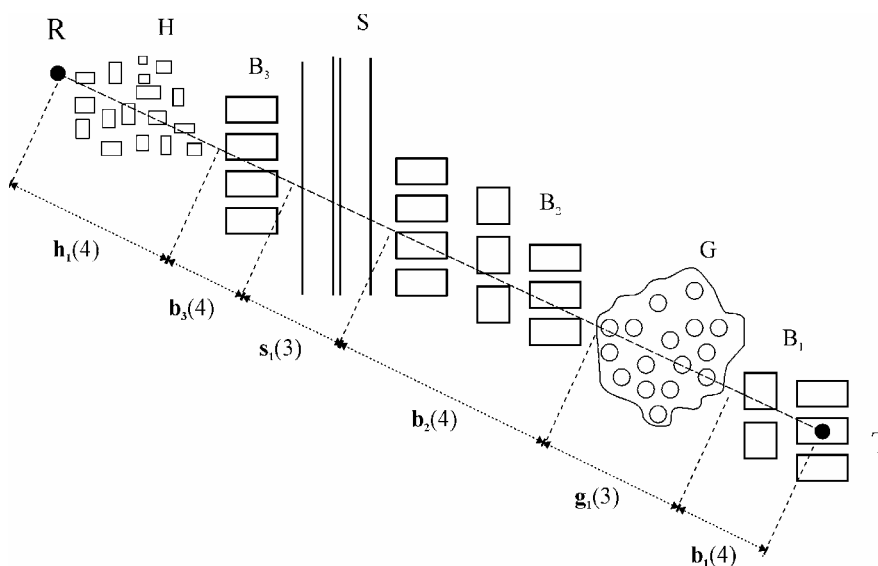
1. UVOD

Razvoj modela za predikciju nivoa elektromagnetnog polja, koji verno odslikavaju realne uslove prostiranja ima ogroman značaj za projektovanje modernih radiodifuznih i mobilnih telekomunikacionih sistema. Nedostaci empirijskih i poluempirijskih modela upravo proizilaze iz činjenice da su oni zasnovani na suviše grubim aproksimacijama i da ne uzimaju u obzir u dovoljnoj meri specifičnosti oblasti kroz koju se signal prostire. Često korišćeni COST 231 Walfisch-Ikegami model [1, 2] podrazumeva da su sve ulice u datoj oblasti paralelne, da su svi objekti iste visine i podjednako međusobno udaljeni, da je širina ulica uniformna itd. Pojedini aproksimativni modeli izloženi u [3], iako formirani na osnovu merenih vrednosti slabljenja, podrazumevaju da je parcijalno slabljenje koje unosi jedan tip objekata (npr. zgrada, kuća, drvo) uvek isto bez obzira na dimenzije i orijentaciju konkretnih objekata na koje signal nailazi pri prostiranju.

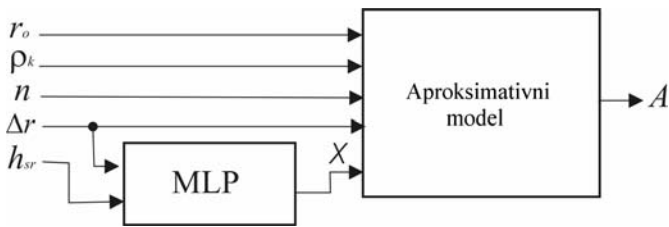
Kao dobra alternativa postojećim determinističkim,

poluempirijskim i empirijskim modelima koji često ne daju zadovoljavajuće rezultate u pogledu brzine i tačnosti izračunavanja može biti modelovanje prostiranja EM talasa pomoću neuronskih mreža [4]. U radovima [6-9] su razvijeni neuronski modeli bazirani na ITU-R P370.7 preporuci koji su pokazali veliku brzinu i zadovoljavajuću tačnost u predikciji nivoa EM polja u makroprostiranju. Prvi ohrabrujući rezultati su postignuti u primeni neuronskih mreža na probleme prostiranja u urbanoj sredini. U radu [10], pomoću neuronskih mreža vrši se uspešna predikcija nivoa električnog polja mobilnog predajnika u okviru mikroćelije za oblast zgrada bez obzira na njihovu visinu.

Da bi se povećala tačnost i efikasnost predikcije, potrebno je u model uneti parametre koji karakterišu specifičnosti sredine kroz koju se signal prostire. To se može postići tako što se celokupna urbana sredina, podeli na oblasti u kojima dominira jedan tip objekata (npr. oblast niskih zgrada-kuća, oblast visokih zgrada, zelene površine i slično). Na slici 1 je prikazana podela trase EM talasa na propagacione oblasti kojima je pridružen vektor parametara kojih ih karakterišu (G - zelena oblast, S - ulica, B - visoke zgrade, H - kuće). Proračunom parcijalnog slabljenja svake propagacione oblasti pojedinačno i sumiranjem, može se dobiti bolja procena ukupnog slabljenja signala na deonici u urbanoj sredini, s obzirom da se uzimaju u obzir realni parametri propagacionih oblasti. U radovima [11-13] razvijeni su prvi HEN modeli za predikciju slabljenja signala pri prostiranju kako kroz oblast visokih zgrada tako i kroz oblast niskih zgrada koji su prikazali ohrabrujuće rezultate. Treba da se naglasi da se ovi modeli mogu primeniti i u oblastima gde nisu izvršena nikakva merenja za obuku HEN modela.



Slika 1. Put prostiranja EM talasa od predajnika (T) do prijemnika (R)



Slika 2. HEN model propagacione oblasti

2. NEURONSKI MODEL ZA PREDIKCIJU SLABLJENJA U PROPAGACIONOJ OBLASTI

Neuronski model za predikciju slabljenja je hibridni model koji predstavlja kombinaciju empirijskog modela i višeslojne perceptronske mreže (*multilayered perceptron network* – MLP) [4-5], koja vrši poboljšanje tačnosti empirijskog modela. Ovaj model je dat na slici 2. Hibridni model formira se u dve faze.

U prvoj fazi realizuje se aproksimativni model propagacione oblasti, koji ima ulogu empirijskog modela u hibridnom modelu. Prema ovom modelu slabljenje u propagacionoj oblasti (izraženo u dB) ima jednu linearnu i jednu logaritamsku komponentu, u skladu sa jednačinom

$$\bar{A} = \sqrt{\rho_k} \Delta r \bar{X} + 5n \log(1 + \Delta r / r_o) \quad (1)$$

gde je \bar{A} vrednost slabljenja duž trase dužine Δr od početka oblasti sa prosečnom gustinom zgrada ρ_k , srednjim parcijalnim slabljenjem jedne zgrade \bar{X} i indeksom eksponencijalnog slabljenja n , gde je r_o najmanje rastojanje između oblasti od interesa i predajnika [13].

Doprinos slabljenju elektromagnetnih talasa od strane zgrada koje su prisutne na trasi iskazuje se istovremeno preko dva parametra: srednjeg parcijalnog slabljenja jedne zgrade \bar{X} i indeksa eksponencijalnog slabljenja n . Parametar \bar{X} se određuje na osnovu merenih vrednosti na trasama kroz datu oblast, tako da vrednosti koje daje aproksimativni model imaju najmanju standardnu devijaciju u odnosu na merene vrednosti. Aproksimativni model pretpostavlja da je doprinos slabljenju od strane jedne zgrade isti na celoj deonici kroz propagacionu oblast. Međutim, prilikom prostiranja EM talas nailazi na zgrade koje imaju različitu geometriju i sastav tako da se parcijalno slabljenje od strane jedne zgrade \bar{X} realno menja u zavisnosti od rastojanja Δr .

U drugoj fazi, integracijom MLP mreže i aproksimativnog modela formira se HEN model (u skladu sa arhitekturom prikazanom na slici 2), koji uzima u obzir promenu parcijalnog slabljenja jedne zgrade X na trasi, čime se dobija znatno tačniji model prostiranja EM talasa za datu oblast. MLP mreža u hibridnom modelu ima zadatak da odredi vrednost parcijalnog slabljenja jedne zgrade u zavisnosti od srednje visine zgrada u oblasti h_{sr} i udaljenosti zgrade od

početka propagacione oblasti Δr , odnosno ona modeluje funkciju

$$X = f_{MLP}(h_{sr}, \Delta r) \quad (2)$$

U skladu sa tim, mreža ima dva neurona u ulaznom nivou i jedan neuron u izlaznom nivou, i više skrivenih slojeva, sa promenljivim brojem neurona. Aktivacione funkcije neurona u skrivenim slojevima su sigmoidalne, dok neuroni izlaznog sloja imaju linearne aktivacione funkcije. Za promenljive strukture neuronske mreže koristi se oznaka $Mn-l_1-l_2-\dots-l_{n-2}$, gde je n ukupan broj slojeva u datoj neuronskoj mreži, a oznake l_1, l_2, \dots, l_{n-2} su redom brojevi neurona u skrivenim slojevima mreže.

Kada se na ulaz aproksimativnog modela umesto vrednosti \bar{X} dovede korigovana vrednost slabljenja X , aproksimativni model kao i HEN model daju vrednosti vrlo bliske merenim vrednostima. U skladu sa slikom 2, slabljenje na izlazu HEN modela A sada iznosi:

$$A = \sqrt{\rho_k} \Delta r X + 5n \log(1 + \Delta r / r_o) \quad (3)$$

2.1 Priprema podataka za obuku i testiranje MLP mreže HEN modela propagacione oblasti

Merenja nivoa jačine električnog polja, potrebna za obuku MLP mreže u HEN modelu i testiranje HEN modela, vršena su za TV predajnik frekvencije 495.25 MHz, postavljen 50m iznad zemlje u četiri oblasti sa niskim zgradama i četiri oblasti sa visokim zgradama. Parametri za oblast niskih zgrada i visokih zgrada su prikazani u Tabelama I i II respektivno, gde je d dužina oblasti, dok su ostali parametri pomenuti ranije. Merna oprema sadrži antenu AMC/1 Promax i analizator spektra Sperry RF-3200, pomoću koga je detektovana vrednost nivoa električnog polja u datoj tački, za istu konstantnu visinu prijemne antene koja je usmerena u pravcu predajnika. Merenja su vršena u tačkama unutar oblasti od interesa, koje se nalaze na istim pravcima (istim azimutima) u odnosu na predajnik.

Izmerene vrednosti konvertovane su u slabljenje signala duž trase u odnosu na nivo signala u tački koja je na posmatranom azimutu najbliža predajniku. Vrednosti za slabljenje usrednjene su po svim azimutima, tako da je, za svaku oblast pojedinačno, dobijena po jedna jedinstvena kriva. Za svaku krivu određene su vrednosti srednjeg parcijalnog slabljenja jedne zgrade X i indeksa eksponencijalnog slabljenja n za svaku oblast pojedinačno. Zajedno za niske i visoke zgrade, na osnovu ovih vrednosti formirani su trening i test skup na osnovu srednje visine zgrada h_{sr} i slabljenja X , koji se kasnije koriste za obuku i testiranje neuronskih modela.

2.2. Obuka MLP mreže HEN modela

Obradom rezultata merenja dobijen je skup vrednosti slabljenja za odgovarajuće rastojanje $\{(r_i, A_{mi}), i = 1, 2, \dots, N_m\}$,

TABELA I
PARAMETRI OBLASTI NISKIH ZGRADA

Oblast	I	II	III	IV
$\rho_k [10^{-3} \text{ m}^{-2}]$	1.875	2.15	2.659	3.233
$h_{sr} [\text{m}]$	13	7	10	9
$d [\text{m}]$	420	280	420	420
$r_o [\text{m}]$	2350	2312	2664	2236

TABELA II
PARAMETRI OBLASTI VISOKIH ZGRADA

Oblast	I	II	III	IV
$\rho_k [10^{-3} \text{ m}^{-2}]$	0.319	0.375	0.583	0.733
$h_{sr} [\text{m}]$	24	22	30	20
$d [\text{m}]$	250	200	250	160
$r_o [\text{m}]$	1224	1792	1064	3056

gde je N_m broj uzoraka. Na osnovu ovih vrednosti i izraza (4)

$$X = \frac{A_m - 5n \log(1 + \Delta r / r_0)}{\Delta r \sqrt{\rho_k}} \quad (4)$$

dobijene su realne vrednosti parcijalnog slabljenja jedne zgrade u zavisnosti od rastojanja, za svaku od četiri oblasti. Ovi podaci iskorišćeni su za formiranje skupova oblika $\{(\mathbf{U}_i, X_i), i=1, \dots, N_p\}$ gde je \mathbf{U}_i i-ti vektor ulaza $[\Delta r_i, h_{sri}]_{N_p \times 2}$ za obuku i testiranje neuronskih modela a $X_i = [X_i]_{N_p \times 1}$, željeni odziv modela na ulaz \mathbf{U}_i , N_p broj uzoraka za obuku, odnosno testiranje. Obuka neuronskih modela izvršena je korišćenjem Levenberg-Marquardt-ove metode sa zadatom tačnošću od $5 \cdot 10^{-4}$. Za obučavanje i testiranje HEN modela korišćeno je:

- Oblast niskih zgrada: 152 trening i 72 test uzoraka
- Oblast visokih zgrada: 80 trening i 38 test uzoraka

Srednja relativna greška testiranja je kriterijum koji je odlučivao o izboru neuronskog modela.

2.3. Rezultati dobijeni simulacijom HEN modela

Na osnovu rezultata testiranja za simulaciju slabljenja u oblasti sa niskim zgradama izabran je model MLP4-14-7 a za simulaciju slabljenja u oblasti za visokom zgradama izabran je model MLP4-7-7. Na slici 3 su prikazani rezultati simulacije hibridnog modela za oblast niskih zgrada u kojoj su izvršena merenja za formiranje aproksimativnog modela i trening skupa MLP mreže zajedno sa vrednostima koje su dobijene aproksimativnim modelom. Sa druge strane hibridni model je pokazao dobre karakteristike generalizacije koja se može uočiti na slici 4, gde su prikazani rezultati simulacije za oblast u kojoj su vršena samo merenja u cilju testiranja. Aproksimativni model može da se primeni samo u slučaju kada su poznate merene vrednosti slabljenja za oblast od interesa. Nasuprot tome, hibridni model može da se upotrebi u oblasti u kojoj merenja nisu izvedena.

3. NEURONSKI MODEL PROPAGACIONE TRASE

Put prostiranja EM talasa od predajnika do prijemnika tj. propagaciona trasa može se modelovati hijerarhijskim HEN modelom. Ovo je kompleksni neuronski model čija je arhitektura organizovana u dva nivoa (Slika 5) U prvom nivou su intergrirani već obučeni HEN modeli koji su specijalizovani za svaku pojedinu oblast tj. nose znanje o prostiranju EM talasa u pojedinim karakterističnim propagacionim oblastima. U drugom nivou je MLP neuronska mreža koja koristi postojeće znanje neuronskih modela iz prvog nivoa tako što kao približnu vrednost ukupnog slabljenja na celom putu uzima zbir slabljenja koje daju modeli pojedinih oblasti a zatim tu vrednost i koriguje na osnovu raspodele dužina puteva kroz pojedinih oblasti. Ovaj model je iskorišćen za određivanje slabljenja EM talasa na trasi koja prolazi kroz dve susedne propagacione oblasti a to su oblasti II-LB i III-LB.

U ovom slučaju MLP mreža hijerarhijskog HEN modela praktično modeluje funkcionalnu zavisnost

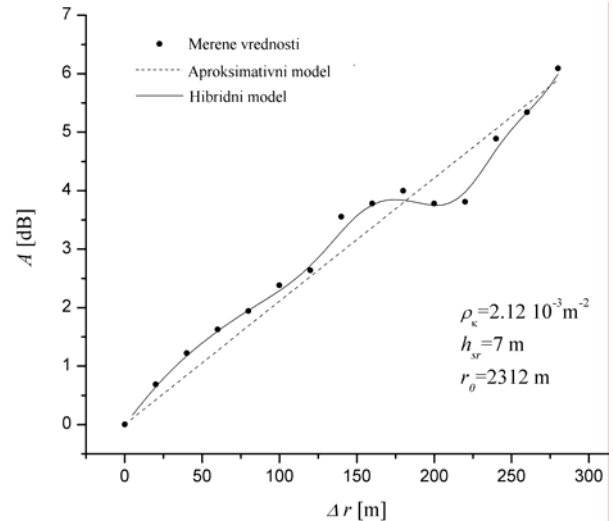
$$A = f(A_{II-LB} + A_{III-LB}, \Delta r_{II-LB}, \Delta r_{III-LB}) \quad (5)$$

gde su A_{II-LB} i A_{III-LB} slabljenja koje daje HEN model za II-LB i III-LB oblast respektivno, a Δr_{II-LB} i Δr_{III-LB} su redom dužine puteva koje je EM talas prešao u II-LB i III-LB oblasti.

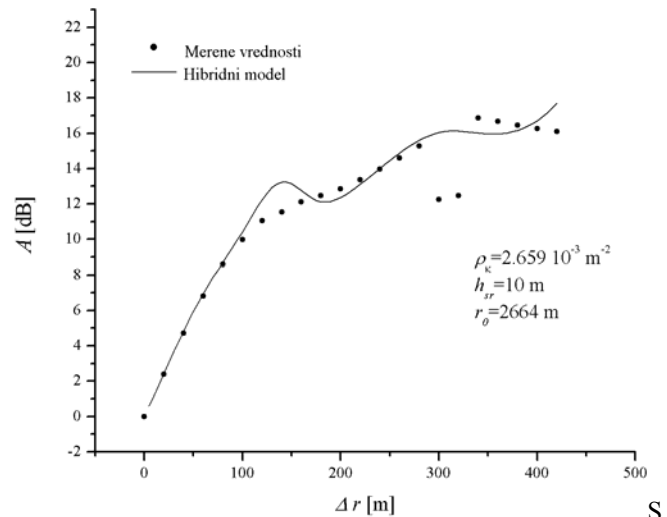
Rezultat modelovanja ove trase hijerarhijskim HEN modelom gde je korišćena MLP korekciona mreža sa jednim skrivenim slojem od 12 sigmoidalnih neurona prikazan je na slici 6. Može se videti da je slabljenje trase koje je određeno ovim modelom bliže merenim vrednostima od prostog zbira slabljenja koje daje svaki HEN model ponaosob.

4. ZAKLJUČAK

Aproksimativni model za proračun slabljenja signala u urbanoj sredini pretpostavlja da sve zgrade unose podjednako slabljenje bez obzira na njihov međusobni položaj, rastojanje, orijentaciju i visinu. Neuronska mreža u hibridnom modelu modeluje realno parcijalno slabljenje koje unosi jedna zgrada.

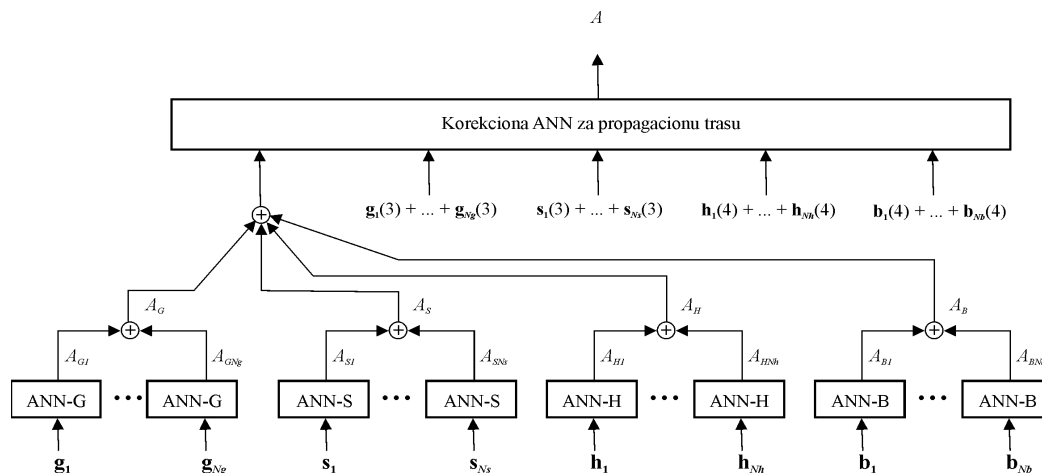


Slika 3. Poređenje vrednosti slabljenja dobijenih aproksimativnim modelom i HEN modelom sa izmerenim vrednostima za oblast niskih zgrada (II-LB)

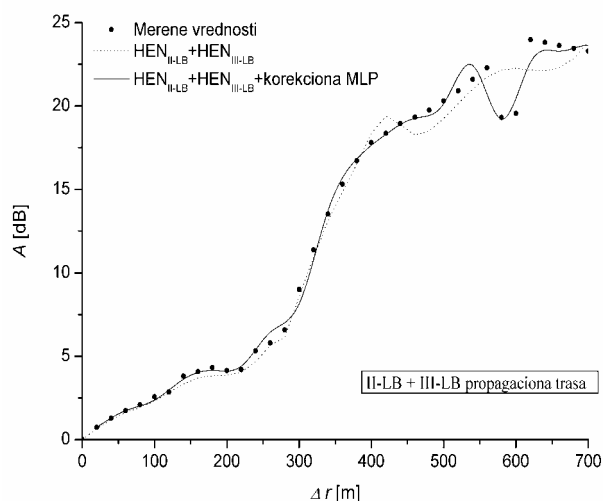


Slika 4. Poređenje vrednosti slabljenja dobijenih HEN modelom sa izmerenim vrednostima za oblast niskih zgrada (III-LB)

Zbog toga su vrednosti slabljenja signala u urbanoj sredini dobijene hibridnim modelom bliže merenim vrednostima, a sam proces modelovanja izvodi se izuzetno brzo. Mora se naglasiti da se aproksimativni model može primeniti samo u slučaju kada su poznate merene vrednosti slabljenja za oblast od interesa. Nasuprot tome, hibridni model može da se upotrebi za propagacionu oblast u kojoj merenja nisu vršena.



Slika 5. Hijerarhiski HEN model propagacione trase



Slika 8. Slabljenje trase koja prolazi kroz dve susedne propagacione oblasti II-LB i III-LB dobijeno hijerarhijskim HEN modelom

Ako trasa kojom se EM talas prostire kroz urbanu sredinu prolazi kroz više propagacionih oblasti, HEN modeli koji se koriste za modelovanje prostiranja u oblastima sa visokim i niskim zgradama mogu da se iskoriste za realizaciju jedinstvenog HEN modela koji modeluje slabljenje trase. [13]. Na sličan način se mogu uključiti i HEN modeli za proračun slabljenja u oblastima kao što su zelene površine i ulice. Integracijom svih ovih modela dobio bi se opšti model koji bi omogućio potpunu automatizaciju predikcije slabljenja.

LITERATURA

- [1] Lal Chand Godara, *Handbook of Antennas in Wireless Communications*, Chapter 3, CRC Press, 2002
- [2] Tapan K. Sarkar, Michael C. Wicks, Magdalena Salazar-Palma, Robert J. Bonneau, *Smart Antennas*, IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc. 2003 pp 239-295
- [3] N. Ž. Vasić, "Poboljšanje modela za predikciju elektromagnetnog polja u radio-difuziji i mobilnim komunikacijama", Magistarska teza, Elektronski fakultet u Nišu, 2003
- [4] S. Haykin, *Neural Networks*, New York, IEEE, 1994.

- [5] J. Hertz, A. Krogh and R. Palmer, *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Addison-Wesley, 1991.
- [6] Z. Stanković, B. Milovanović, J. Jovković, J. Antonijević, "Modeling of the ITU-R P.370-7 Propagation Curves by Neural Network", ICEST 2002 Conference Proceedings, Niš 2002, pp. 103-106.
- [7] Z. Stanković, B. Milovanović, J. Antonijević, J. Jovković, "Neural Model of the Propagation Curves from ITU-R P.370-7", NEUREL 2002 Conference Proceedings, Beograd, Šeptembar 2002, str. 191-196
- [8] Z. Stanković, N. Vasić, "Neural Approach in Modeling of the Propagation Curves from Recommendation ITU-R P.370-7", ETRAN 2003 Conference Proceedings, H. Novi 2003, pp.269-272.
- [9] B. Milovanović, Z. Stanković, A. Stošić, "Prediction of the Electromagnetic Field Strength Level using Neural Model", TELSIKS 2003 Conference Proceedings, Niš 2003, pp.457-461.
- [10] Aleksandar Nešković, Nataša Nešković, Đorđe Paunović, "Microcell Coverage Prediction Using Artificial Neural Networks", NEUREL 2002.
- [11] Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Anđelija Đorđević, Maja Sarevska, "Electromagnetic Field Strength Level Prediction by Neural Model-Application to Broadcasting" ICEST 2004 Conference Proceedings, Bitola 2004.
- [12] Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Marija Veljković, Anđelija Đorđević, "The Neural Model for the Electromagnetic Field Level Prediction in Urban Environments" ETRAN 2004 Conference Proceedings, Čačak 2004, pp. 307-310.
- [13] Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Marija Veljković, Anđelija Đorđević, "The Hybrid Empirical Model for the Electromagnetic Field Level Prediction in Urban Environments" NEUREL 2004 Conference Proceedings, Beograd 2004, pp. 189-192.

Abstract - The application of hybrid-empirical neural model (HEN) for electromagnetic wave path loss calculation along propagation area that passes through urban environment is presented in this paper. The propagation path is divided into propagational areas of different type, and for each type of area it was developed specific HEN model. The overall electromagnetic wave path loss is obtained by linking these HEN models into more complex hierarchical HEN model. This method enables specific features of each area that affect on propagation to be included in propagational model to the end that the electromagnetic path loss modelling be more accurate.

ELECTROMAGNETIC FIELD LEVEL PREDICTION IN URBAN ENVIRONMENTS USING HYBRID EMPIRICAL NEURAL MODEL

Zoran Stanković, Aleksandar Jovanović