

# Simulacija short-term fading-a pomoću veštačkih neuralnih mreža

Nikola Tomašević, mentori: dr Nataša Nešković, dr Aleksandar Nešković

**Sadržaj** — U okviru ovog rada predstavljena je i razmatrana tehnika simuliranja, odnosno predikcije *short-term fading-a*. Predloženo rešenje zasniva se na treniranoj veštačkoj neuralnoj mreži (u daljem tekstu *Artificial Neural Networks* - ANN). U cilju formiranja ulaznih podataka za trening, validaciju i fazu simulacije ANN, sprovedena su obimna merenja nivoa električnog polja u *indoor* sredini. Odgovarajuća analiza dobijenih rezultata pokazuje dobre performanse predložene tehnike, a time i mogućnost njene primene u realnim situacijama.

**Ključne reči** — *Short-term fading*, simulacija, veštačke neuralne mreže.

## I. UVOD

POJAVA da radio talas gubi snagu prilikom prostiranja, naziva se propagaciono slabljenje. U idealnom slučaju, ako na trasi ne postoje prepreke, propagaciono slabljenje odgovara slabljenju u slobodnom prostoru, dok u realnom slučaju snaga na prijemu značajnije opada. Pojam radio kanala podrazumeva medijum koji se koristi za prenos u zemaljskim mobilnim radio sistemima, i čije se prenosne karakteristike ne mogu jedinstveno odrediti propagacionim slabljenjem. U tipičnim urbanim i suburbanim područjima, između predajne i prijemne antene najčešće ne postoji direktna optička vidljivost (*line of sight*), tako da radio signal dospeva do prijemne antene pomoću složenih propagacionih mehanizama. Kao posledica navedenog, radio signal trpi različita slabljenja i promenu faze.

Kao rezultat složenih zakonitosti prostiranja radio talasa u blizini Zemljine površine i promene uslova prostiranja u vremenu, intenzitet električnog polja na mestu prijema varira. Karakteristika signala da na prijemu gubi svoje determinističke osobine i postaje slučajan u prostoru i vremenu, opisuje se pojmom *fading-a*. Fluktuacije signala na prijemu praktično je nemoguće predvideti samo na osnovu fizičkih zakona prostiranja, a i deterministički pristup njihovoj karakterizaciji je dosta komplikovan. Jedino je moguće da se na osnovu analize velikog broja merenja i odgovarajuće statističke obrade, govori o verovatnoći pojave određenog nivoa prijemnog električnog

polja u statističkom smislu.

Signal prijemnog polja moguće je veštački razdvojiti na *long-term fading*, čije vrednosti odgovaraju usrednjenom polju u okolini posmatrane tačke, i na *short-term fading*. Zbog postojanja *multipath* komponenti i slučajne raspodele faze, primljeni signal je slučajan i u odsustvu šuma, koji neminovno unose elektronski sklopovi. Različita slabljenja koja signal trpi, odnosno slučajna priroda signala na prijemu dovodi do mogućnosti da sistem radi u oblasti ispod praga prijema. Takođe, *short-term fading* ima uticaja i na oblik impulsa koji se prenosi kroz radio kanal. Zbog postojanja slučajnog kašnjenja reflektovanih komponenti dolazi do širenja impulsa, takozvane disperzije, koja potencijalno vodi do intersimbolske interferencije.

U ovom radu predložena je tehnika simulacije *short-term fading-a* koja koristi treniranu ANN i izmerene vrednosti nivoa električnog polja u *indoor* sredini radi sprovođenja trening faze, validacionog postupka i simulacije. Osnovna ideja je da se na osnovu nekoliko sukcesivnih odbiraka *short-term fading-a* vrši predikcija naredne vrednosti. Bitno je napomenuti da primena predložene metode ne zahteva detaljno poznavanje terena na kom se obavlja merenje.

Rad je organizovan kroz sedam delova, i na taj način će biti prezentovan. U poglavlju II opisan je metodološki pristup zadatku, a u poglavlju III postupak merenja i obrada ulaznih podataka. U četvrtom delu razmatra se arhitektura, a u petom treniranje ANN i validacioni postupak. U okviru poglavlja VI predstavljeni su dobijeni rezultati i odgovarajuća analiza, dok je zaključak dat u delu VII.

## II. METODOLOGIJA

Celokupni postupak sproveden je u četiri koraka. U okviru prvog dela, izvršena su najpre merenja nivoa električnog polja na mestu prijemne antene koja se tokom mernih kampanja kreće duž zadate trase. Odgovarajućom obradom izmerenih vrednosti formirana su tri različita skupa ulaznih podataka radi treniranja, validacije i faze simulacije ANN. Merenja su vršena duž hodnika zgrade Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. S obzirom na kompleksnost izabranog *indoor* okruženja, izmerene vrednosti nivoa električnog polja na prijemu karakteriše velika dinamika, od preko 80dB. Stoga, izabrana *indoor* sredina može se smatrati dosta teškom za primenu tehnike koja koristi informacije o nivou prijemnog električnog polja u cilju simuliranja *short-term fading-a*.

Nikola Tomašević, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (telefon: 381-63-7769338; e-mail: nikola\_tomashevic@yahoo.com).

Nataša Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu; (telefon: 381-64-1115982; e-mail: natasha@etf.bg.ac.yu).

Aleksandar Nešković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu; (telefon: 381-64-1115983; e-mail: neshko@etf.bg.ac.yu).

Drugi deo eksperimenta sastoji se u određivanju pogodne arhitekture ANN i optimalnih vrednosti parametara simulacije. Zatim, u okviru trećeg dela, sprovedeni su trening i validacioni postupak nad prvim i drugim skupom ulaznih podataka, respektivno. U poslednjem koraku pristupa se finalnoj simulaciji pomoću prethodno trenirane ANN, korišćenjem trećeg skupa ulaznih podataka. Kako bi se došlo do konačnih ocena performansi i zaključaka o predloženoj metodi simuliranja *short-term fading*-a, analizirani su rezultati sprovedenih simulacija.

Pre početne faze rada, potrebno je bilo odrediti programsko okruženje u kome će biti izvršena implementacija i analiza eksperimenta. Zbog velikog broja raspoloživih operacija kao što su kreiranje, inicijalizacija, treniranje i simulacija ANN, dostupnih u okviru programskog alata *Neural Network Toolbox*, kao i zbog pogodnosti koje nudi kada je u pitanju obrada ulaznih podataka i rezultata, za implementaciju je izabrano Matlab softversko okruženje.

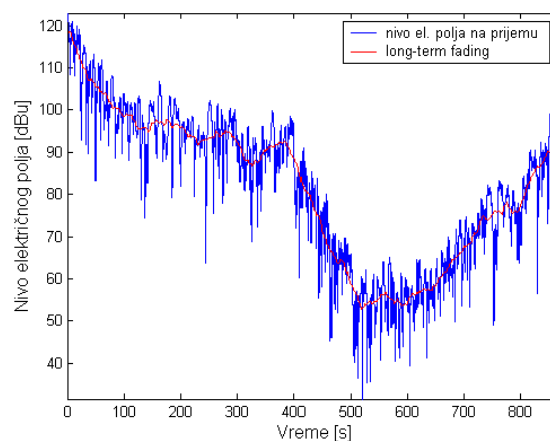
### III. PRIKUPLJANJE I OBRADA MERNIH REZULTATA

Radi prikupljanja mernih rezultata, odnosno informacije o nivou električnog polja na prijemu i formiranja odgovarajućih ulaznih podataka, u zgradi Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu sproveden je sledeći eksperiment. U laboratoriji 66 postavljena je stacionarna predajna antena, sa koje se emituje FM modulisan signal na učestanosti od 457MHz. Celokupna prijemna aparatura postavljena je na pokretna kolica koja se tokom merenja kreću u izabranom *indoor* okruženju. Prijemna antena povezana je na merni prijemnik koji snima promene nivoa prijemnog električnog polja, odnosno pretvara izmerene vrednosti napona na svom ulazu u odgovarajuće nivoe električnog polja. Snimljeni podaci se sa izlaza mernog prijemnika prosleđuju računaru. Pristigle informacije o nivou prijemnog električnog polja računar smešta u odgovarajuću tekstualnu datoteku. Odbirci, odnosno vrednosti nivoa električnog polja na prijemu, uzimani su sa periodom odabiranja od 100ms.

Prikupljanje mernih rezultata sprovedeno je tokom tri merne kampanje. Bitno je naglasiti da se pokretna kolica sa prijemnom antenom, u okviru svake merne kampanje, kreću približno konstantnom brzinom od 0.2m/s duž iste zadate trase. Zapravo, iako je korišćen isti postupak merenja nivoa električnog polja na prijemu tokom sve tri merne kampanje, profil snimljenog prijemnog električnog polja se razlikuje. Merni rezultati dobijeni tokom prve i druge merne kampanje upotrebljeni su za formiranje ulaznih podataka u okviru trening i validacione faze, respektivno. Skup izmerenih vrednosti nivoa električnog polja treće merne kampanje koristi se radi verifikacije performansi predložene tehnike, odnosno trenirane ANN u okviru simulacione faze.

Nakon procesa merenja pristupa se obradi snimljenih podataka. Zapravo, obrada mernih rezultata predstavlja proračun *short-term fading*-a na osnovu izmerenog nivoa električnog polja na prijemu. Najpre, potrebno je odrediti

*long-term fading* usrednjavanjem snimljenih vrednosti nivoa električnog polja pomoću adekvatno izabranog prostornog intervala, odnosno prozora. Od izuzetnog značaja je da se odredi prihvatljiva veličina prozora. Kada se ispitivanja vrše na otvorenom (*outdoor*), u praksi se kao optimalan opseg dužine prozora koristi  $20-40\lambda$ . Međutim, rezultati merenja koji se obrađuju u ovom radu, dobijeni su u *indoor* okruženju. Stoga je, nakon odgovarajuće analize, usvojeno da se usrednjavanje vrši u vremenskom intervalu koji odgovara veličini prozora od  $5\lambda$ . Na Sl.1. prikazan je izgled vremenskih promena snimljenog nivoa električnog polja tokom prve merne kampanje, kao i odgovarajuće *long-term* promene. Na priloženom grafiku mogu se uočiti povremeni duboki padovi nivoa električnog polja na prijemu.



Sl. 1. Signal na prijemu i *long-term fading* (prva merne kampanje).

Kao rezultat izdvajanja *long-term fading*-a iz prijemnog električnog polja dobijaju se *short-term* varijacije. Navedeni postupak ekvivalentan je oduzimanju *long-term fading*-a od izmerenog nivoa električnog polja na prijemu. Dobijene vrednosti *short-term fading*-a predstavljaju ulazne podatke nad kojima se sprovodi treniranje i simuliranje ANN.

### IV. ARHITEKTURA ANN

U okviru faze konstruisanja simulatora *short-term fading*-a određena je vrsta i predložena optimalna arhitektura ANN. Imajući u vidu samu prirodu problema i funkciju koju mreža treba da obavlja, zaključeno je da višeslojne neuralne mreže (*multilayer feedforward neural networks*) u kombinaciji sa pravilom propagacije greške unazad (*error backpropagation*), kao jednim od najčešće primenjivanih pravila učenja, imaju značajne prednosti u odnosu na ostale strukture ANN [1].

#### A. Ulazi i izlazi mreže

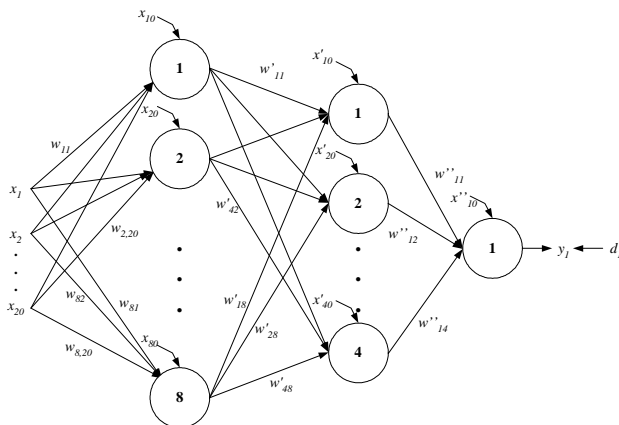
Broj elemenata ulaznog vektora i broj izlaza ANN koji je potrebno generisati, direktno je uslovljen osnovnom idejom predloženog rešenja. Pitanje veličine ulaznog vektora svodi se na određivanje broja susednih odbiraka *short-term fading*-a pomoću kojih se vrši predikcija naredne vrednosti. Stoga je, radi uvida u stepen

korelisanosti, analizirana autokorelaciona funkcija ulaznih podataka [2]. U konkretnom slučaju, kao donja granica za procenu broja koreliranih odbiraka uzeta je vrednost autokorelacije od 0.2, na osnovu čega je usvojeno da broj elemenata ulaznog vektora bude 20. Sa druge strane, činjenica da se vrši predikcija jednog odbirka *short-term fading*-a uslovljava da se izlazni stepen mreže sastoji iz jednog linearnog neurona.

### B. Unutrašnja struktura mreže

Višeslojna neuralna mreža podrazumeva mogućnost postojanja jednog ili više skrivenih slojeva ispred izlaznog stepena. Zapravo, izbor unutrašnje strukture ANN svodi se na pitanje broja skrivenih slojeva, kao i broja neuronskih jedinica u tim slojevima.

U cilju određivanja optimalne unutrašnje strukture ANN ne postoji egzaktan metod. Definisani su algoritmi za redukciju suvišnih elemenata mreže, čime se, polazeći od namerno predimenzionirane mreže, iterativno približava najjednostavnijem rešenju [1]. S obzirom na kompleksnost takve procedure i na činjenicu da je jedan od ciljeva ove metode jednostavnost, prihvaćen je poznat stav da broj neurona svakog sledećeg skrivenog sloja treba da se smanjuje i konvergira ka broju neurona izlaznog stepena mreže. Imajući ovo u vidu, urađen je niz probnih simulacija za neuralne mreže sa jednim, dva, tri i četiri skrivena sloja. Rezultati probnih simulacija prezentovani su u okviru rada [2]. Na osnovu analize dobijenih rezultata izabrana je troslojna konstrukcija ANN. Arhitektura mreže koja je pokazala najbolje rezultate simuliranja, prikazana je na Sl.2. i sastoji se od osam neurona u prvom skrivenom sloju, četiri u drugom skrivenom sloju i jednog izlaznog neurona.



Sl. 2. Šematski prikaz implementirane ANN.

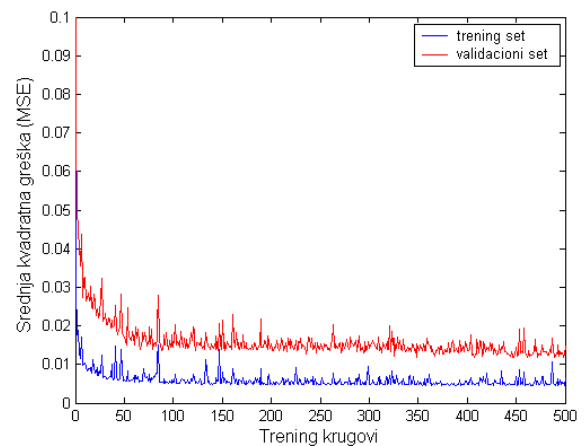
### V. TRENIRANJE I VALIDACIJA ANN

U cilju određivanja pogodne veličine skupa ulaznih podataka za treniranje ANN, analiziran je set probnih simulacija. Zbog zadovoljavajućih rezultata i prihvatljivog trajanja trening kruga, usvojeno je da se ulazni vektori formiraju nad segmentom *short-term fading*-a od 1000 odbiraka. Vrednosti odbiraka nasumično izabranog segmenta sortirane su u formi dve odgovarajuće matrice. Kolone prve matrice predstavljaju ulazne vektore, dok je druga matrica zapravo niz odgovarajućih ciljnih vrednosti na osnovu kojih se vrši korekcija težinskih koeficijenata

neuralne mreže tokom procesa treniranja.

Kao metoda treniranja primenjuje se *gradient-descent error backpropagation* pravilo, koje je implementirano pomoću Matlab funkcije *traingd*. Najpre, sprovedeno je inkrementalno učenje (*incremental learning*), kada se korekcija težinskih koeficijenata vrši po učitavanju svakog, nasumično biranog, ulaznog vektora. Zatim, nezavisno od prethodnog trening postupka, sprovedeno je i grupno učenje (*batch learning*), kada se korekcija težinskih koeficijenata vrši nakon učitavanja celog skupa ulaznih vektora. Implementacija odgovarajućeg trening postupka u Matlab softverskom okruženju uslovljena je strukturnom formom ulaznih podataka prilikom učitavanja u neuralnu mrežu [3]. Uporedo sa treniranjem sprovodi se i validacioni proces, radi izbegavanja eventualnog prekomernog treniranja i uvida u generalizacione sposobnosti neuralne mreže.

Na Sl.3. prikazana je promena srednje kvadratne greške (u daljem tekstu *Mean Squared Error* - MSE) tokom treniranja pomoću inkrementalne metode. Postupak treniranja sproveden je nad segmentom *short-term* varijacija prvog mernog skupa, čiji je opseg vrednosti intenziteta električnog polja 0-2.5. Oscilatorni karakter promene MSE posledica je prirode primenjenog učenja. Analizom dobijenih rezultata zaključeno je da se efekat prekomernog učenja ne pojavljuje, a da se zadovoljavajući rezultati dobijaju posle 100 trening krugova. U slučaju grupnog učenja zabeleženi su znatno lošiji rezultati, ali je trajanje trening procesa znatno kraće [2].

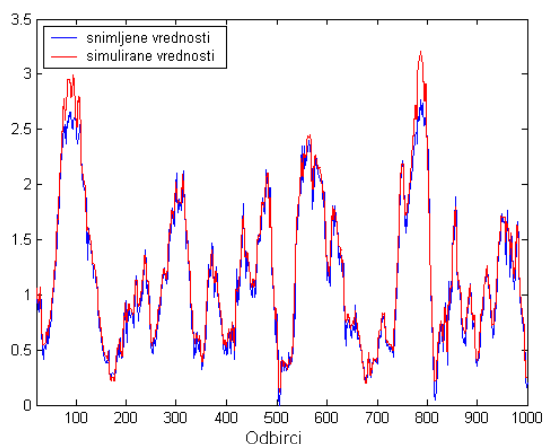


Sl. 3. Promena MSE tokom treniranja ANN primenom inkrementalne metode.

### VI. REZULTATI

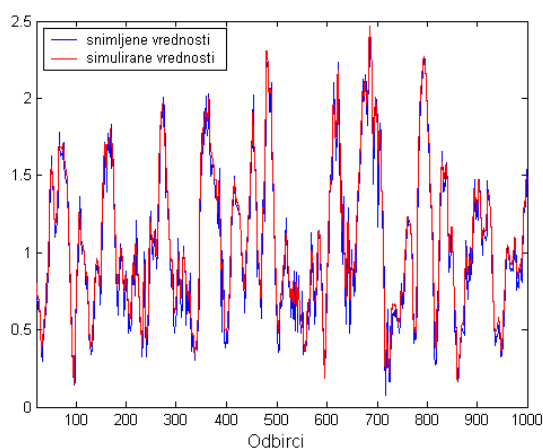
Nakon sprovedene trening faze, pristupa se simuliranju rada trenirane ANN. Mreža trenirana inkrementalnom metodom, najpre je pobuđena validacionim podacima. Na Sl.4. predstavljena je vremenska zavisnost segmenta *short-term fading*-a, korišćenog u okviru validacionog postupka, i odgovarajućih simuliranih vrednosti na izlazu ANN. Analizom dobijenih rezultata mogu se, pored visokog stepena poklapanja originalnih i simuliranih vrednosti, primetiti dve oblasti većeg odstupanja. U konkretnom slučaju potrebna je procena odbiraka izvan opsega vrednosti intenziteta električnog polja nad kojim je

neuralna mreža trenirana. Nemogućnost neuralne mreže da izvrši ekstrapolaciju izvan opsega vrednosti trening podataka je razlog odstupanja simuliranih vrednosti i veće MSE. Na osnovu navedenog zaključeno je da skup trening podataka mora biti reprezentativan, odnosno da mora pokriti opseg podataka čija se simulacija vrši.



Sl. 4. Snimljene i simulirane vrednosti *short-term fading*-a (druga merna kampanja).

U okviru finalne test faze pristupa se simulaciji podataka dobijenih tokom treće merne kampanje. Na Sl.5. prikazane su vremenske varijacije nasumično izabranog segmenta *short-term fading*-a i odgovarajućih simuliranih vrednosti. Dobijeni rezultati pokazuju dobro poklapanje originalnih i simuliranih vrednosti. Bitno je primetiti da opseg trening podataka pokriva vrednosti koje se simuliraju u ovom slučaju.



Sl. 5. Snimljene i simulirane vrednosti *short-term fading*-a (treća merna kampanja).

Zatim, pristupa se testiranju, odnosno simuliranju rada ANN trenirane pomoću grupne metode. Rezultati simulacije nakon grupnog treniranja prezentovani su u okviru rada [2]. U ovom slučaju, dobijeni rezultati pokazuju znatno odstupanje simuliranih od originalnih vrednosti. Na osnovu odgovarajuće analize zaključeno je da primena inkrementalne metode *error backpropagation* učenja pokazuje znatno bolje karakteristike simuliranja *short-term fading*-a nego primena grupne metode.

## VII. ZAKLJUČAK

Ovim radom predložena je i opisana metoda simuliranja *short-term fading*-a pomoću ANN. Zbog svojih pogodnosti, za implementaciju eksperimenta izabrano je Matlab softversko okruženje. Nakon prikupljanja i odgovarajuće obrade mernih rezultata, sproveden je niz probnih simulacija u cilju određivanja optimalne strukture ANN. Analiziran je i uticaj veličine skupa ulaznih podataka nad kojim se vrši treniranje. Pored procesa treniranja predstavljen je i validacioni postupak radi izbegavanja eventualnog prekomernog treniranja i uvida u generalizacione sposobnosti mreže. Rezultati testiranja rada ANN trenirane inkrementalnom metodom pokazuju visok stepen poklapanja originalnih i simuliranih podataka.

Radio kanal, čak i u odsustvu šuma, ukazuje na slučajne promene anvelope signala na prijemu što je objašnjeno pojmom *fading*-a. Rezultati merenja, koja su sprovedena pod istim uslovima, potvrđuju pretpostavku o slučajnoj raspodeli vrednosti nivoa električnog polja. Upotreba predložene tehnike simuliranja *short-term fading*-a omogućava da se pri implementaciji ne vodi računa o tipu i konstrukciji izabranog objekta. Pošto su merenja vršena u *indoor* okruženju koje karakteriše neregularno prostiranje radio signala, može se očekivati da predloženo rešenje, nakon odgovarajućeg treniranja ANN, pokaže dobre rezultate i u *outdoor* okruženju.

Analiza dobijenih rezultata pokazuje da konstruisana ANN predstavlja zadovoljavajući simulator *short-term fading*-a, pod uslovom da je dostupan pogodan skup ulaznih podataka odgovarajućeg opsega vrednosti, u cilju pravilnog treniranja neuralne mreže. S obzirom da je izabrana *indoor* sredina kompleksne strukture koju karakteriše velika dinamika nivoa električnog polja, a da su dobijene performanse i pored toga bile zadovoljavajuće, može se zaključiti da opisana metoda predstavlja ekonomičan i dobar izbor za praktične potrebe simuliranja *short-term fading*-a.

## LITERATURA

- [1] Mohamad H. Hassoun, "Fundamentals of Artificial Neural Networks", Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [2] Nikola Tomašević, Diplomski rad: "Simulacija *short-term fading*-a pomoću neuralne mreže", Elektrotehnički fakultet u Beogradu
- [3] The MathWorks, <http://www.mathworks.com/>, Cambridge – The MathWorks Ltd.

## ABSTRACT

This paper presents technique for simulation of short-term fading with the use of trained artificial neural network. Different sets of input data, measured in indoor environment, were used for training, validation and simulation process. It is shown in test phase that the simulation technique obtained can be sufficiently accurate for practical purpose use.

## SIMULATION OF SHORT-TERM FADING WITH THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Nikola Tomašević, mentors: dr Nataša Nešković, dr Aleksandar Nešković