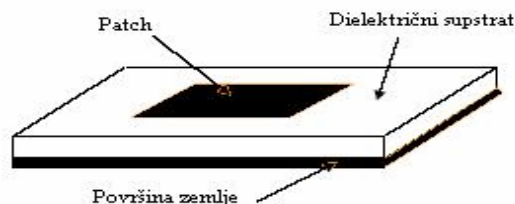


## MODELOVANJE MIKROTALASNIH PATCH ANTENA POMOĆU NEURONSKIH MREŽA

Marija Milijić, Zoran Stanković, Aleksandar Atanasković, *Elektronski fakultet u Nišu*

**Sadržaj** – U ovom radu izložen je princip modelovanja patch antena korišćenjem neuronskih modela baziranih na višeslojnoj perceptronskoj mreži. Neuronski model je obučavan skupom rezultata koji su dobijeni elektromagnetnom simulacijom antena korišćenjem HFSS 9.0 softvera. Ovaj model ima dva ulazna parametra:  $s$  i  $l$  slota antene na osnovu kojih omogućava brzo i tačno proračunavanje rezonantne frekvencije  $f_r$  i parametra  $S_{11min}$  antene.



Slika 1. Osnovna struktura patch antena

### 1. UVOD

Sa razvojem savremenih telekomunikacionih sistema raste i potreba za modelovanjem patch antena. Zahtevi koji se postavljaju modelovanju patch antena je da to bude brz i efikasan proces koji bi davao tačne i pouzdane rezultate. Neuronske mreže se odlikuju pre svega velikom brzinom rada i nakon uspešno završene obuke i velikom pouzdanošću i tačnošću rezultata.

Osnovna struktura patch antena prikazana je na Slici 1. Patch antena se sastoji od patch-a koji zrači i koji može biti različitog geometrijskog oblika (kružnog, elipsastog, prstenastog, pravougaonog ili kvadratnog). On se nalazi sa jedne strane supstrata od dielektričnog materijala a sa druge strane se nalazi sprovodna površina zemlje.

Najčešće se koristi supstrat sa niskom dielektričnom konstantom ( $\epsilon_r$ ), približno oko 2.5, ali kada se radi o aplikaciji sa kritičnim gubicima koristi se alumina ( $\epsilon_r=10$ ). U Tabeli 1. prikazani su glavni nedostaci i prednosti patch antena [1]. Najveći njihov nedostatak je mali propusni opseg.

Popularnost patch antena raste zbog njihovog korišćenja u bežičnim aplikacijama. Zbog toga se one koriste kao ugrađene antene u ručnim bežičnim uređajima kao što su mobilni telefoni, pejdžeri, itd... Takođe se koriste i u satelitskim komunikacijama.

Elektromagnetna simulacija je postupak koji se koristi za modelovanje antena. Mada veoma tačan i efikasan, ovaj postupak je zahtevan što se tiče hardverskih resursa neophodnih za njihovu softversku implementaciju i vreme potrebno za simulaciju može biti neprihvatljivo dugo. Dobra alternativa za prevazilaženje svih ovih problema može biti modelovanje patch antena pomoću veštačkih neuronskih mreža. Neuronski model u ovakvim slučajevima može da ima potrebnu brzinu i tačnost EM simulacije.

### 2. OSNOVNI KONCEPT NEURONSKIH MREŽA

Neuronske mreže su sačinjene od elemenata koji paralelno procesiraju podatke i koriste se u rešavanju problema koji su teško rešivi za standardne kompjutere. Elementi neuronskih mreža su nastali po ugledu na biološke nervne sisteme kod kojih su ćelije (elementi) međusobno povezani. Kod neuronskih mreža, veze između elemenata (neurona) se karakterišu težinama. Obuka neuronske mreže da izvršava specijalizovane zadatke se sastoji u prilagođavanju vrednosti težina između neurona mreže[2].

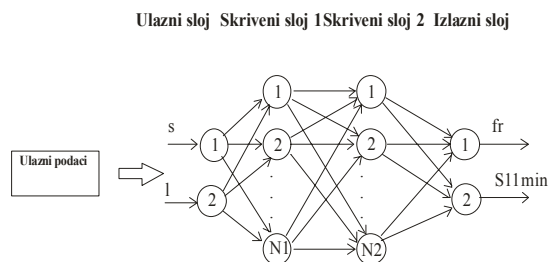
Tabela 1. Prednosti i mane patch antena

| Prednosti  | Nedostaci                                 |
|--|---|
| Male težine, niski volumen   | Mali propusni opseg                       |
| Laka za održavanje   | Gubici                                    |
| Niska cena izrade  | Slaba izolacija između napajanja i antene |
| Aerodinamičnost  | Veoma ograničena maksimalna iskorišćenost |
| Linearna i cirkularna polari-zacija laka za implementaciju         | Slaba moć rukovanja                       |
| Mogućnost upotrebe dualne frekvencije                              |   |
| Laka integracija sa MICs uređajima (mikrotalasna integrisana kola) |   |
| Linije napajanja i prenošenje fabrički određeno                    |   |

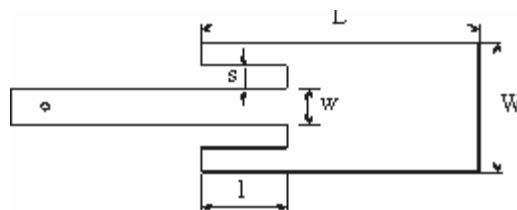
Mreža se može obučavati tako da na zadati ulaz daje očekivani izlaz. Ovakav tip obuke se naziva nadgledano učenje i koristi se u ovoj aplikaciji.

Kod rešavanja problema modelovanja patch antena koristi se neuronska mreža sa više slojeva formiranih od neurona, u ovoj aplikaciji sa 4 sloja (Slika2.). Na ulaz jednog neurona dovode se izlazi svih neurona iz prethodnog sloja, a njegov izlaz se vodi na ulaze svih neurona u narednom sloju. Između neurona u istom sloju ne postoji nikakva povezanost. Vektor ulaznih podataka se dovodi na *ulazni sloj* mreže koji sadrži onoliko neurona kolika je dimenzija vektora (broj ulaznih promenljivih, u ovoj aplikaciji dva). Poslednji sloj u ovom redosledu jeste *izlazni sloj*, pa tako izlazi neurona u ovom sloju čine izlaz celokupne mreže. Ostali neuroni, koji nemaju veze sa ulazno - izlaznim priključcima, su skriveni neuroni, pa se slojevi u kojima se oni nalaze nazivaju *skriveni slojevi*. Signali se kroz ovakvu mrežu prostiru samo u jednom smeru, od ulaza ka izlazu, pa je ovo primer feedforward mreže [2].

Mreža za modelovanje patch antena se sastoji od ulaznog, dva skrivena i izlaznog sloja. Broj neurona ulaznog



Slika 2. Četvoro-slojna neuronska mreža za modelovanje patch antena



Slika 3. Slotovana patch antena

Tabela 2. Rezultati testiranja neuronskih mreža

| Model    | Srednja greška | Maksimalna greška |
|----------|----------------|-------------------|
| M4-10-4  | 5.48%          | 46.23%            |
| M4-12-11 | 4.78%          | 69.51%            |
| M4-12-8  | 4.31%          | 38.26%            |
| M4-14-12 | 4.00%          | 44.94%            |
| M4-18-16 | 4.37%          | 48.50%            |
| M4-22-10 | 3.87%          | 39.39%            |
| M4-22-18 | 3.40%          | 42.28%            |
| M4-22-22 | 3.80%          | 44.81%            |

sloja jednak je broju promenljivih parametara patch antene, u ovom slučaju patch antena sa dva parametara,  $s$  i  $l$  parametar slota. Broj neurona skrivenog sloja se menja po potrebi, a u izlaznom sloju postoje dva neurona čiji su izlazi rezonantna frekvencija  $f_r$  i parametar  $S_{11min}$ .

Metod *Levenberg-Marquardt* koji se koristi za obuku mreže koristi standardne numeričke optimizacione tehnike. To je nelinearna optimizaciona tehnika koja se koristi za rešavanje različitih problema. Veoma je brza i daje bolje rezultate od drugih metoda za obuku. Kvalitet obuke neuronske mreže, obučene nadgledanim učenjem, se ogleda u sposobnosti da mreža na nepoznate ulaze (za koje nije obučena) daje tačne izlaze. Neophodno je da mreža bude obučena i za rad u nepoznatim uslovima, odnosno da generalizuje problem koji rešava.

*Levenberg-Marquardt* metod koristi Hessian matricu koja je za funkciju  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  definisana kao:

$$H(f) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

pri čemu je matrica  $\mathbf{H}(f) = \mathbf{J}(\nabla f)$ , Jakobien gradijenta funkcije  $f$ . Hessian matrica može biti aproksimirana kao:

$$\mathbf{H} = \mathbf{J}^T \mathbf{J} \quad (2)$$

i gradijent može biti izračunat kao:

$$\mathbf{g} = \mathbf{J}^T \mathbf{e} \quad (3)$$

gde je  $\mathbf{J}^T$  matrica koja sadrži prve izvode grešaka mreže u odnosu na težine i biase mreže a  $\mathbf{e}$  je vektor grešaka mreže. Jedna iteracija ovog algoritma može biti napisana kao:

$$x_i = x_{i+1} - [\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \mu \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{e} \quad (4)$$

gde je parameter  $\mu$  skalarna vrednost koja opada nakon svake uspešne iteracije i time čini obuku mreže brzom i efikasnom.

### 3. NEURONSKI MODEL SLOTOVANE PATCH ANTENE

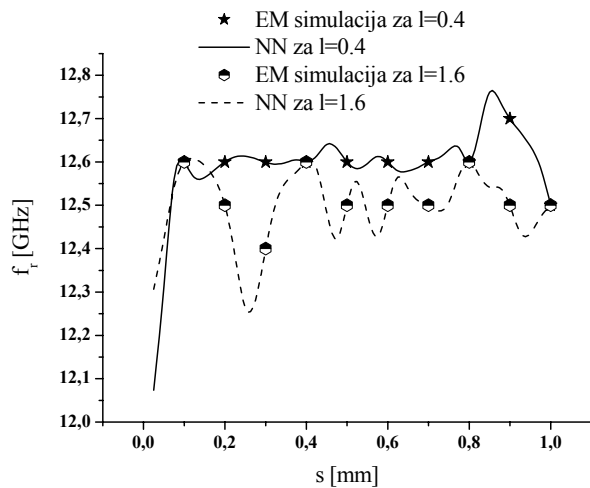
Struktura slotovane patch antene, koja se modeluje pomoću neuronske mreže, prikazana je na Slici 3. Antena je načinjena je od substrata koji ima sledeće karakteristike: relativna dielektrična konstanta  $\epsilon_r = 2.17$ , debljine  $h = 0.508$  mm, debljine provodnika  $T = 0.017$  mm. Elektromagnetnom simulacijom slotovane patch antene korišćenjem HFSS 9.0 softvera, pri konstantnim parametrima  $W=9,2$  mm,  $L=7,55$  mm i  $w=0,5$  mm, za različite vrednosti parametra  $l$  i  $s$  dobijene su vrednosti rezonantne frekvencije  $f_r$  i parametra  $S_{11min}$ . Rezultati elektromagnetne simulacije su se koristili za obuku neuronske mreže, pri čemu su ulaz mreže predstavljali vrednosti parametara  $s$  i  $l$ , a izlaz vrednosti  $f_r$  i  $S_{11min}$ .

U toku obuke neuronska mreža mora da aproksimira funkciju  $y=f(x)$ , gde je  $\mathbf{x}=[s,l]^T$  ulaz mreže a  $\mathbf{y}=[f_r, S_{11min}]^T$  izlaz, kako bi davala odgovarajuće izlaze za svaki ulazni skup.

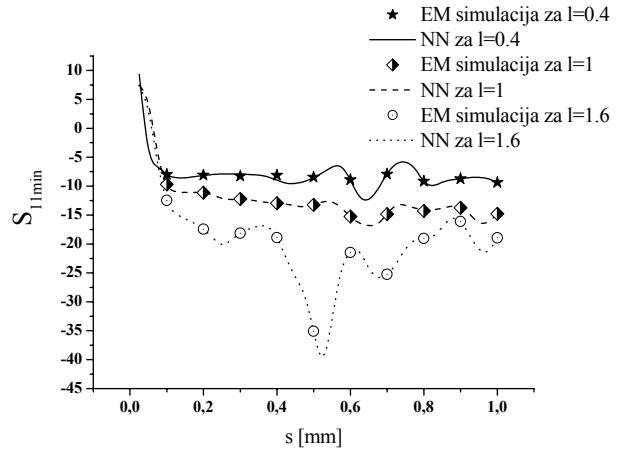
Opšta oznaka neuronskih modela za modelovanje patch antena je  $M_n-l_1-l_2$ , gde je  $l_1$  broj neurona u prvom skrivenom sloju,  $l_2$  broj neurona u drugom skrivenom sloju.

### 4. REZULTATI TESTIRANJA

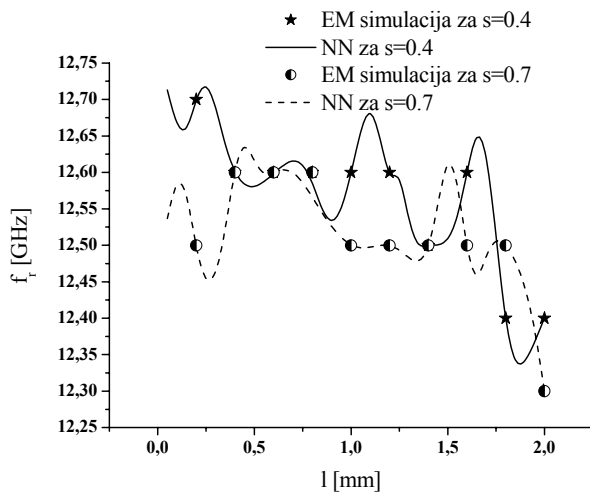
Testiranje neuronskih modela izvršeno je na uniformnom test skupu koji se sastoji od uzoraka koji su se koristili u obuci i uzoraka koji se nisu koristili da bi se ispitala generalizacija problema za koji je mreža obučena. Izdvojena su osam modela čiji su rezultati testiranja prikazani u Tabeli 2. Kao glavno merilo za kvalitet obuke korišćena je vrednost prosečne i maksimalne relativne greške na osnovu kojih je izabrana mreža sa  $l_1=22$  i  $l_2=18$  neurona.



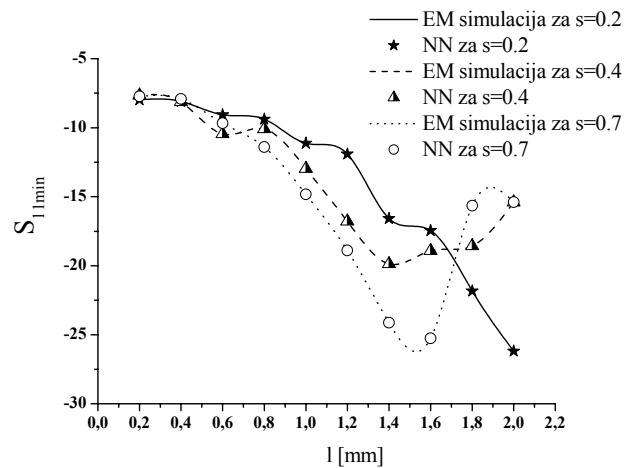
Slika 4. Zavisnost rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametra  $s$



Slika 6. Zavisnost parametra  $S_{11min}$  od parametra  $s$



Slika 5. Zavisnost rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametra  $l$



Slika 7. Zavisnost parametra  $S_{11min}$  od parametra  $l$

## 5. REZULTATI SIMULACIJE

Neuronski model M4-22-18 koji je pokazao najbolje rezultate u procesu testiranja iskorišćen je za simulaciju zavisnosti rezonantne frekvencije  $f_r$  i parametra  $S_{11min}$  u funkciji parametara slota patch antene  $s$  i  $l$ . Na slici 4. prikazane su krive zavisnosti rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametra  $s$  pri konstantnoj vrednosti parametra  $l$  (za  $l=0.4$  i  $l=1.6$ ) i koje su upoređene sa referentnim vrednostima. Za referentne vrednosti su uzete vrednosti dobijene elektromagnetnom simulacijom patch antene. Može se videti da su generisane krive veoma bliske referentnim vrednostima što svedoči o visokoj tačnosti neuronskog modela. Dalje, ovaj neuronski model je iskorišćen za generisanje krivih zavisnosti rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametra  $l$  pri konstantnoj vrednosti parametra  $s$  (za  $s=0.4$  i  $s=0.7$ ) (Slika 5.). Ove krive su upoređene sa referentne vrednostima dobijenim elektromagnetnom simulacijom patch antene. Na osnovu slaganja krivih zavisnosti rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametra  $l$  dobijenim pomoću neuronskog modela i referentnih vrednosti, može se potvrditi opravdanost

korišćenja neuronske mreže za modelovanje rezonantne frekvencije  $f_r$  patch antena.

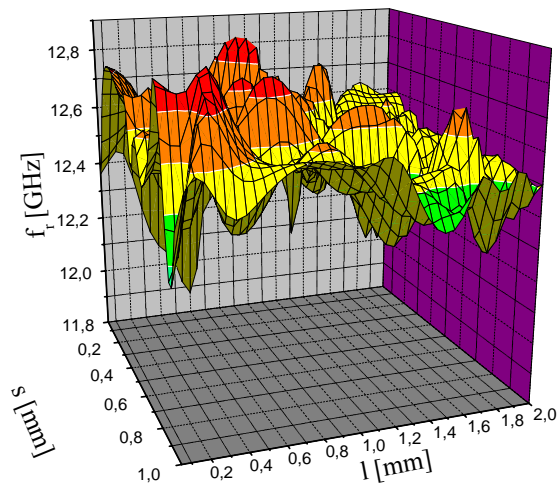
Isti zaključak se može izvesti i za opravdanost korišćenja neuronske mreže za modelovanje  $S_{11min}$  parametra patch antena na osnovu rezultata dobijenih za zavisnost parametra  $S_{11min}$  od parametra  $s$  pri konstantnoj vrednosti parametra  $l$  (za  $l=0.4$ ,  $l=1$  i  $l=1.6$ ) (Slika 6.) i zavisnost parametra  $S_{11min}$  od parametra  $l$  pri konstantnoj vrednosti parametra  $s$  (za  $s=0.2$ ,  $s=0.4$  i  $s=0.7$ ) (Slika 7.).

Na slikama Slika 8. i Slika 9. prikazane su i zavisnosti rezonantne frekvencije  $f_r$  i parametra  $S_{11min}$  od parametara  $s$  i  $l$ .

## 6. ZAKLJUČAK

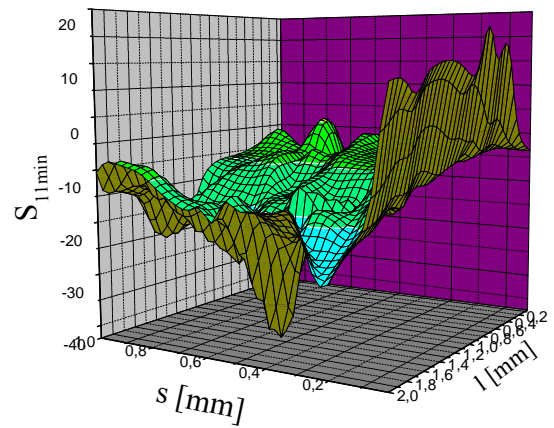
Najpoznatiji metod za modelovanje patch antena je elektromagnetna simulacija. Ovaj metod daje vrednosti zadovoljavajuće tačnosti ali je sam proces simulacije komplikovan i spor a softver koji se koristi za modelovanje

patch antena zahteva snažnu hardversku platformu. Modelovanje patch antena pomoću neuronskih modela može



Slika 8. Zavisnost rezonantne frekvencije  $f_r$  od parametara  $s$

i da bude dobra alternativa elektromagnetnoj simulaciji. Ovakav zaključak se pre svega izvodi na činjenici da rezultati dobijeni neuronskim modelom pokazuju izuzetno slaganje sa rezultatima dobijenim klasičnom elektromagnetnom simulacijom a sam proces generisanja rezultata je izuzetno brz.



Slika 9. Zavisnost parametra  $S_{11min}$  od parametara  $s$  i  $l$

#### LITERATURA

[1] [www.odysseus.nildram.co.uk/Systems\\_And\\_Devices\\_Files/Patch\\_Antenna.pdf](http://www.odysseus.nildram.co.uk/Systems_And_Devices_Files/Patch_Antenna.pdf)

[2] [gislab.elfak.ni.ac.yu/vi/Materijal/FaziLogikaNeuronskeMreze.pdf](http://gislab.elfak.ni.ac.yu/vi/Materijal/FaziLogikaNeuronskeMreze.pdf)

**Abstract** – The paper presents the principle of modeling of patch antennas using neural networks based on multilayer perceptron network. The neural model was trained using a set of results obtained by electromagnetic simulation of antennas using HFSS 9.0 software. This model has two input parameters,  $s$  and  $l$  antenna slot, which enables a quick and accurate calculation of resonant frequency  $f_r$  and the parameter  $S_{11min}$  of the antenna.

#### MODELING OF MICROWAVE PATCH ANTENNAS USING NEURAL NETWORKS

Marija Milijić, Zoran Stanković, Aleksandar Atanasković,