

## **ODREĐIVANJE INVERZNE VREDNOSTI ERLANG B FORMULE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA**

Zlatica Marinković, Dušan Marković, Biljana Stošić, Vera Marković  
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, zlatica.marinkovic@elfak.ni.ac.rs,  
dusanmarkovic@elfak.rs, biljana.stosic@elfak.ni.ac.rs, vera.markovic@elfak.ni.ac.rs

**Rezime:** *Erlang B formula se koristi za određivanje verovatnoće blokiranja poziva u telekomunikacionim sistemima. Za rešavanje inverznog problema, odnosno određivanje intenziteta ponuđenog saobraćaja ili potrebnog broja kanala koji odgovaraju zadatoj verovatnoći blokiranja poziva, ne postoje izrazi u zatvorenom obliku. Veštačke neuronske mreže pružaju mogućnost razvoja modela zavisnosti između dva skupa podataka, pri čemu se ti modeli mogu predstaviti pomoću matematičkih izraza u zatvorenom obliku. Imajući ovo u vidu, veštačke neuronske mreže su u ovom radu primenjene za razvoj numeričkog modela za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule.*

**Ključne reči:** *Erlang B formula, telekomunikacioni saobraćaj, veštačke neuronske mreže*

### **1. Uvod**

Početak dvadesetog veka, danski matematičar Agner Krarup Erlang postavio je osnove teorije saobraćaja, studijom koliki broj korisnika može biti opslužen u telefonskoj mreži na području lokalne centrale, koja je imala ograničeni broj operatera koji su radili na uspostavljanju veze [1]. Upravo po njemu je ime dobila jedinica za intenzitet saobraćaja – Erlang. Erlangova teorija se odnosi na sisteme sa blokiranjem (Erlang B formula) i sisteme sa čekanjem (Erlang C formula). U sistemima gde ne postoji čekanje korisniku se odmah dodeljuje slobodni kanal, a ukoliko nema slobodnih kanala poziv se odbija i korisnik može ponovo poslati zahtev za uspostavljanje veze. Kod sistema sa čekanjem, ukoliko nema slobodnih kanala, poziv se stavlja na čekanje. Erlang B formula daje verovatnoću blokiranja poziva za određenu vrednost ponuđenog saobraćaja za dati broj kanala, dok se pomoću Erlang C formule određuje verovatnoća da će u slučaju razmatrane vrednosti ponuđenog saobraćaja upućeni poziv biti na čekanju [2]. Erlangove formule su, od svoje osnovne primene u javnim telefonskim mrežama, tokom godina, primenjene u sistemima gde korisnici koriste ograničene resurse, poput mobilnih komunikacionih sistema, VoIP sistema, računarskih mreža, *call* centara, sistemima za napajanje električnih vozila, itd. [3]-[11]. Prilikom planiranja takvih sistema i procene njihovih performansi, pored određivanja verovatnoće blokiranja za određenu vrednost ponuđenog saobraćaja u sistemima bez čekanja, tj. verovatnoće da

će poziv čekati u sistemima sa čekanjem, na osnovu čega se dalje određuje kvalitet servisa, potrebno je i rešiti inverzni problem, tj. odrediti intenzitet saobraćaja ili broj potrebnih kanala (resursa) za zadatu verovatnoću koja odgovara željenoj vrednosti GOS (*Grade of Service*). Imajući u vidu prirodu Erlangovih formula, ne postoji inverzna funkcija ovih formula u zatvorenom obliku. Zbog toga se vrše istraživanja na pronalaženju rešenja (numeričkih modela ili aproksimacija) za određivanje inverzne vrednosti Erlangovih formula [12]-[17] ili se koriste *look-up* tabele, pogotovo u aplikacijama koje se odnose na *call centre*.

Zahvaljući sposobnosti učenja zavisnosti između dva skupa podataka, veštačke neuronske mreže su našle široku primenu u različitim oblastima, kao što su oblasti elektronike i telekomunikacija [18]-[29]. One su najčešće primenjene za razvoj modela u slučaju da ne postoje matematički izrazi ili modela koji povezuju ulazne i izlazne parametre. Kako se karakterišu brzim odzivom, pogodne su i za razvoj brzih i efikasnih modela koji bi bili alternativa modela koji su kompleksni i/ili vremenski neefikasni. Imajući u vidu pomenute prednosti modela baziranih na veštačkim neuronskim mrežama, u ovom radu se predlaže da se za rešavanje problema određivanja inverznih vrednosti Erlangovih formula, u konkretnom slučaju Erlang B formule, primene veštačke neuronske mreže.

Struktura rada je sledeća. Najpre je u sekciji 2 dat detaljniji opis Erlang B formule, a zatim je u sekciji 3 opisan predloženi model baziran na veštačkim neuronskim mrežama. Sekcija 4 sadrži numeričke rezultate dobijene predloženim modelom. U sekciji 5 izloženi su najvažniji zaključci.

## 2. Erlang B formula

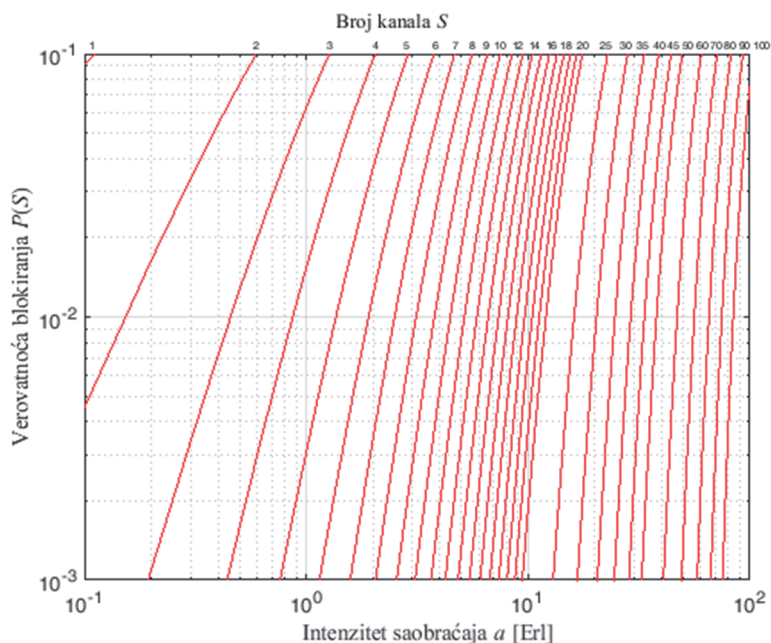
Erlang B formula daje verovatnoću da će poziv biti blokiran u sistemu sa blokiranjem poziva i ova verovatnoća određuje GOS u sistemu. Erlang B formula ima sledeći oblik:

$$P(S) = \frac{a^S}{\sum_{i=0}^S \frac{a^i}{i!}} = B(S, a) \quad (1)$$

gde  $S$  predstavlja broj kanala u sistemu, a  $a$  ponuđeni saobraćaj. Pretpostavlja se da tok nailazaka zahteva ima *Poisson*-ovu raspodelu. Takođe, pretpostavlja se beskonačno veliki broj korisnika, kao i sledeće: (a) svi korisnici, uključujući i one kojima su pozivi blokirani, mogu zahtevati poziv u bilo koje vreme; (b) verovatnoća trajanja zauzeća ima eksponencijalnu raspodelu, tako da su duži pozivi manje verovatni od kraćih poziva, i (c) postoji konačan broj raspoloživih kanala. Ovo je poznato kao M/M/m/m sistem opsluživanja, na osnovu koga je izvedena Erlang B formula (*blocked calls cleared* formula). Iako je moguće za sistem sa konačnim brojem korisnika primeniti Engsetovu formulu, koja je komplikovanija od Erlang B formule, ta dodatna kompleksnost ne utiče značajno na tačnost rezultata za slučaj da je broj korisnika za jedan red veličine veći od

broja kanala u sistemu. Takođe, rezultati za konačan broj korisnika daju manju verovatnoću blokiranja od Erlang B formule [2].

Na Slici 1 je dat grafički prikaz verovatnoće blokiranja u zavisnosti od ponuđenog saobraćaja, za sistem do 100 kanala. Često se vrednosti dobijene Erlang B formulom prikazuju tabelarno, a primer dela Erlang B tabele date u [30] (vrednosti saobraćaja  $a$  koje odgovaraju tabeliranim vrednostima broja kanala  $S$  i verovatnoće blokiranja  $P$ , izražene u %) prikazan je u Tabeli 1.



Slika 1. Verovatnoća blokiranja u zavisnosti od intenziteta saobraćaja, izračunata primenom Erlang B formule [2]

Tabela 1. Deo Erlang B tabele date u [30]

S/P(%)	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10
1	0.0001	0.0005	0.0010	0.0050	0.0101	0.0204	0.0526	0.1111
2	0.0142	0.0321	0.0458	0.1054	0.1526	0.2235	0.3813	0.5954
3	0.0868	0.1517	0.1938	0.3490	0.4555	0.6022	0.8994	1.271
4	0.2347	0.3624	0.4393	0.7012	0.8694	1.092	1.525	2.045
5	0.4520	0.6486	0.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881
6	0.7282	0.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511

### 3. Predloženi model baziran na neuronskim mrežama

U zavisnosti od toga koju veličinu treba odrediti, opšti model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule sastoji se od neuronske mreže koja je obučena za određivanje:

- vrednosti saobraćaja  $a$  koji odgovara zadatoj vrednosti verovatnoće blokiranja  $P$  u sistemu sa  $S$  kanala:  $a = f(P, S)$ , Slika 2(a) ili
- potrebnog broja kanala  $S$  da bi se opslužio ponuđeni saobraćaj  $a$  sa verovatnoćom blokiranja manjom ili jednakom  $P$ :  $S = f(P, a)$ , Slika 2(b).



Slika 2. Predloženi opšti model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule:  
(a) određivanje vrednosti saobraćaja, (b) određivanje broja kanala

U ovom slučaju se koriste višeslojne neuronske mreže koje imaju po dva neurona u ulaznom sloju, koji odgovaraju ulaznim parametrima modela ( $S$  i  $P$  u slučaju određivanja saobraćaja ili  $P$  i  $a$  u slučaju određivanja broja kanala) i jedan neuron u izlaznom sloju koji odgovara parametru koji se modeluje (saobraćaj ili broj kanala). Mreže mogu imati jedan ili više slojeva skrivenih neurona. Broj skrivenih slojeva i broj neurona u njima nije unapred poznat i određuje se u toku obučavanja (treninga) mreža. Aktivacione funkcije skrivenih neurona su sigmoidne (log sigmoidna ili tangens hiperbolički), dok neuroni u ulaznom sloju imaju jediničnu aktivacionu funkciju, a neuroni u izlaznom sloju linearnu prenosnu funkciju. Za obučavanje mreža, kao trening skup (poznate kombinacije ulaz-izlaz), koriste se vrednosti verovatnoće za određeni broj kombinacija vrednosti broja kanala i ponuđenog saobraćaja dobijenih pomoću Erlang B formule.

Osnovna karakteristika ispravno obučanih neuronskih mreža je da daju korektne odzive, ne samo za vrednosti koje su korišćene za trening, već i za ostale vrednosti iz opsega razmatranog ulazno-izlaznog prostora. Kako se prenosna funkcija veštačke neuronske mreže može izraziti pomoću matematičkih izraza koji opisuju mrežu, a koji se sastoje od osnovnih matematičkih operacija i ekponencijalne funkcije, razvijeni modeli se mogu implementirati u bilo koje softversko okruženje i koristiti za direktno određivanje inverznih vrednosti Erlangovih formula, bez korišćenja bilo kakvih dodatnih programskih struktura, rekurzivnih formula ili aproksimacija.

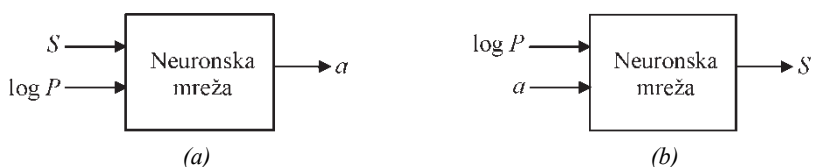
### 4. Numerički rezultati

Predloženi neuronski model razvijen je korišćenjem tabeliranih vrednosti Erlang B formule [30], koja se najčešće nalazi u literaturi, a koja se odnosi na sisteme čiji je broj kanala od jedan do 100 i sledeće vrednosti verovatnoće blokiranja: 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5%, 1.0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30% i 40%. Imajući u vidu raspodelu vrednosti verovatnoće u okviru razmatranog opsega od 0.01% do 40%, u konkretnom slučaju ulazni parametar modela je verovatnoća izražena logaritamski, kao što je prikazano na

Slikama 3(a) i 3(b). Za oba modela nezavisno su obučavane mreže sa jednim i dva skrivena sloja i različitim brojem neurona u skrivenim slojevima korišćenjem Levenberg-Marquardt-ovog algoritma obuke i izvršeno je poređenje modela testiranjem postignute tačnosti kako na trening skupu, tako i na kontrolnom test skupu koji se odnosi na vrednosti verovatnoća koje nisu bile korišćene u trening skupu i to: 0.03%, 0.075%, 0.3%, 0.75%, 1.5%, 3.5%, 7.5%, 12.5%, 17.5%, 25% i 35%. Kao kriterijum za testiranje korišćeni su: srednja greška testiranja (*ATE – Average Test Error*), maksimalna greška testiranja (*WCE – Worst Case Error*) i *Pearson-Product Moment* korelacioni koeficijent  $r$  [20]. ATE i WCE predstavljaju usrednjenu i maksimalnu relativnu grešku u odnosu na razmatrani opseg izlazne veličine.

Kao finalni modeli izabrane su sledeće mreže:

- za određivanje saobraćaja mreža sa dva skrivena sloja koji imaju po 10 neurona sa log sigmoidnom aktivacionom funkcijom i
- za određivanje broja kanala mreža sa dva skrivena sloja koji imaju po 12 neurona sa log sigmoidnom aktivacionom funkcijom.



Slika 3. Predloženi model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule sa logaritamski izraženom verovatnoćom na ulazu: (a) određivanje vrednosti intenziteta saobraćaja, (b) određivanje broja kanala

Tabela 2. Rezultati testiranja razvijenih neuronskih modela na trening i test skupu

	Određivanje intenziteta saobraćaja		Određivanje broja kanala	
	Trening skup	Test skup	Trening skup	Test skup
<i>ATE</i> [%]	0.38	0.44	0.28	0.33
<i>WCE</i> [%]	1.07	1.15	4.11	2.69
$r$	0.999958	0.999938	0.999887	0.999782

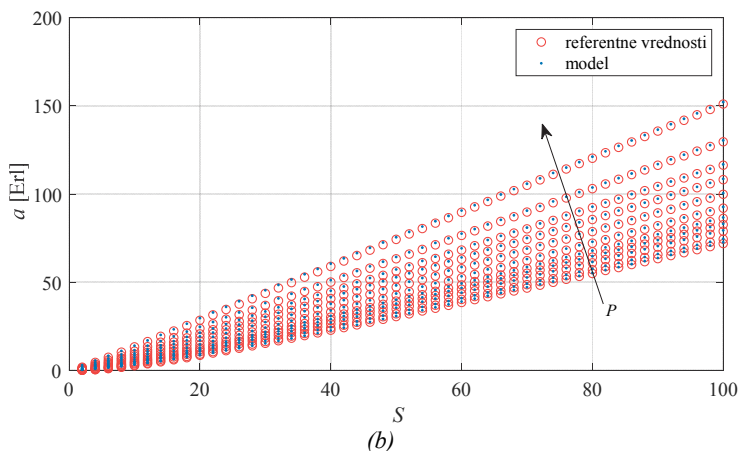
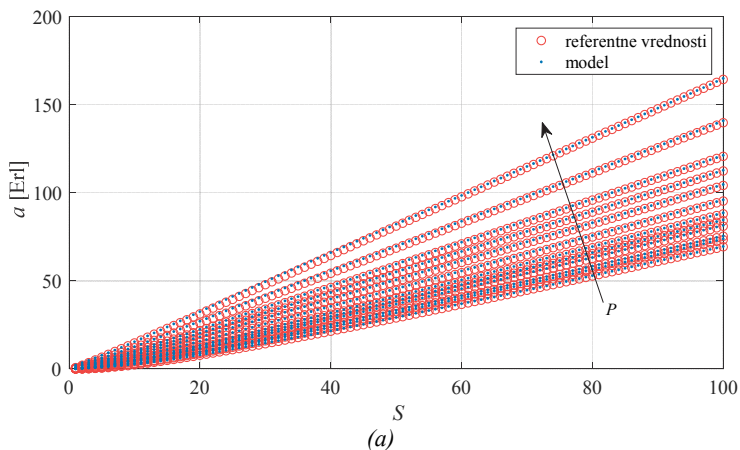
Statistika testiranja prikazana je u Tabeli 2. Male vrednosti srednje i maksimalne greške, kao i korelacioni koeficijent blizak jedinici pokazuju da je postignuta zadovoljavajuća tačnost modelovanja, kako na trening skupu, tako i na test skupu.

Kao dodatna ilustracija tačnosti razvijenih modela na Slici 4 prikazane su vrednosti intenziteta saobraćaja u funkciji broja kanala dobijenih pomoću neuronskog modela za određivanje intenziteta saobraćaja za trening skup (Slika 4(a)) i za test skup (Slika 4(b)) i upoređene sa referentnim vrednostima dobijenim pomoću Erlang B formule, odnosno Erlang B tabele. Uočava se da vrednosti određene neuronskim modelom veoma dobro prate referentne vrednosti.

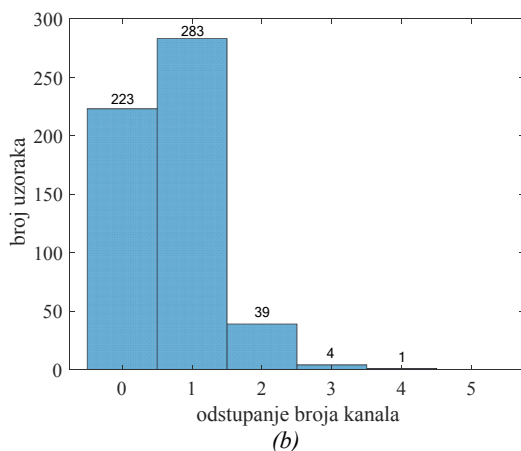
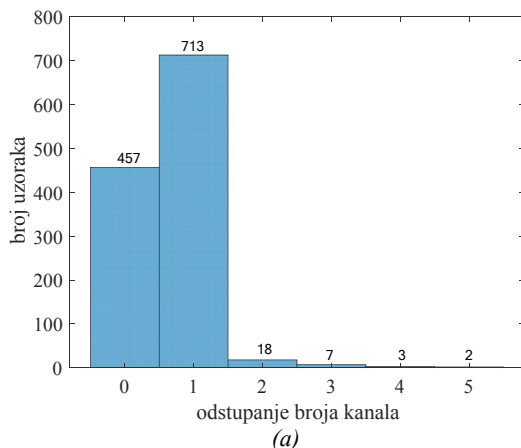
Vrednosti broja kanala koje su dobijene neuronskim modelom su u opštem slučaju realni brojevi, pa se zbog toga vrednost broja kanala određuje zaokruživanjem dobijene vrednosti na prvu veću celobrojnu vrednost. Raspodela vrednosti odstupanja broja kanala dobijenih predloženim modelom od referentnih vrednosti prikazana je na

Slikama 5(a) i 5(b), za trening i test skup, respektivno. Uočava se da za većinu testiranih vrednosti (97.5% ukupnog broja uzoraka u slučaju trening skupa i 92% ukupnog broja uzoraka u slučaju test skupa) nema odstupanja ili je odstupanje maksimalno za jedan kanal, što se može smatrati veoma dobrim rezultatom.

U slučaju oba modela, malo veća odstupanja su uglavnom u delu ulaznog prostora koji se odnosi na veoma mali broj kanala, uglavnom manji od 5, i za veoma male vrednosti verovatnoće blokiranja poziva, manje od 0.1%.



Slika 4. Vrednosti intenziteta saobraćaja koje odgovaraju zadatoj vrednosti verovatnoće u zavisnosti od broja kanala – poređenje vrednosti dobijenih neuronskim modelom i referentnih vrednosti: (a) trening skup, (b) test skup.



Slika 5. Raspodela vrednosti odstupanja broja kanala određenih pomoću predloženog modela od referentnih vrednosti broja kanala: (a) trening skup, (b) test skup.

## 5. Zaključak

Prikazani rezultati testiranja predloženih modela za određivanje inverznih vrednosti Erlang B formule potvrđuju pretpostavku da se veštačke neuronske mreže mogu uspešno iskoristiti u ovu svrhu, čime se daje efikasno rešenje koje predstavlja alternativu drugim numeričkim modelima razvijenim u ovu svrhu. Model ima dobru tačnost, daje odziv trenutno, a njegova implementacija u različita softverska okruženja je bazirana na primeni elementarnih matematičkih operacija i eksponencijalne funkcije. Ove osobine, posebno poslednja, čine model posebno pogodnim i za primenu i u softverskim okruženjima koja imaju skromne mogućnosti implementacije dodatnih programskih procedura. Treba napomenuti da je model validan u opsezima ulaznih veličina koji su određeni opsezima vrednosti ovih veličina korišćenih u trening skupu, odnosno izbor vrednosti trening podataka direktno određuje opseg validnosti modela. Dalja istraživanja

će biti posvećena poboljšanju tačnosti modela i primenljivosti predloženog pristupa za određivanje inverznih vrednosti Erlang C formule.

## Zahvalnica

Istraživanja prikazana u ovom radu podržana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

## Literatura

- [1] A. K. Erlang, "Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges", *Post Office Electrical Engineer's Journal*, vol. 10, pp. 189-197, 1917.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless communications principles and practice*, Chapter 3, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, USA: 2002.
- [3] L. Ding and J. S. Lehnert, "Calculation of Erlang capacity for cellular CDMA uplink systems", *2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Conference Record (Cat. No.00TH8540)*, vol. 1, pp. 338-342, 2000. DOI: 10.1109/WCNC.2000.904653
- [4] M. Kavacký, E. Chromý and J. Šuran, "Evaluation of Erlang models in IP network", *2011 9th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, pp. 109-113, 2011. DOI: 10.1109/ICETA.2011.6112596
- [5] M. Stasiak, M. Glabowski and S. Hanczewski, "The application of the Erlang's Ideal Grading for modelling of UMTS cells", *2012 8th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*, pp. 1-6, 2012. DOI: 10.1109/CSNDSP.2012.6292773
- [6] E. Saranova, "Dimensioning of telecommunication network based on quality of services demand and detailed behaviour of users", *International Journal Information Technologies and Knowledge*, vol. 1, pp. 103-113, 2007.
- [7] J. H. Klink and T. Uhl, "Quality-aware network dimensioning for the VoIP service", *2017 25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pp. 1-6, 2017. DOI: 10.23919/SOFTCOM.2017.8115576
- [8] P. Zou, O. Ozel and S. Subramaniam, "On the Benefits of Waiting in Status Update Systems", *IEEE INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 171-176, 2019. DOI: 10.1109/INFOCOMW.2019.8845135
- [9] H. A. Damanik and M. Anggraeni, "Optimization info rate using APSK modulation scheme for delivery GSM ABIS over satellite communications", *2019 6th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, pp. 305-310, 2019. DOI: 10.23919/EECSI48112.2019.8977020
- [10] T. R. Robbins, "Evaluating the performance of the Erlang models for call centers", *International Journal of Applied Science and Technology*, vol. 9, no. 1, March 2019. DOI: 10.30845/ijast.v9n1p1



- [11] M. Taruk, E. Budiman, R. Wardhana, H. J. Setyadi, G. M. Putra and E. Maria, "Network traffic WLAN monitoring based SNMP using MRTG with Erlang theory", *2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)*, pp. 391-394, 2021. DOI: 10.1109/EIConCIT50028.2021.9431898
- [12] R. Jovanovic, S. Bayhan and I. S. Bayram, "Capacity optimization of EV charging networks: A greedy algorithmic approach", *2022 3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, pp. 1-6, 2022. DOI: 10.1109/SGRE53517.2022.9774066
- [13] S. S. Rappaport, "Calculation of some functions arising in problems of queueing and communications traffic", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 27, no. 1, pp. 249-251, January 1979. DOI: 10.1109/tcom.1979.1094249
- [14] R. F. Farmer and I. Kaufman, "On the numerical evaluation of some basic traffic formulae", *Networks*, vol. 8, no. 2, pp. 153-186, 1978. DOI: 10.1002/net.3230080207
- [15] S. Berezner, A. Krzesinski and P. Taylor, "On the inverse of Erlang's function", *Journal of Applied Probability*, vol. 35, no. 1, pp. 246-252, March 1998. DOI: 10.1239/jap/1032192569
- [16] J. S.H. Van Leeuwen and N. M. Temme, "Asymptotic inversion of the Erlang B formula", *SIAM Journal on Applied Mathematics*, vol. 70, no. 1, pp. 1-23, 2009. <http://www.jstor.org/stable/27798762>. Accessed 12 Oct. 2022.
- [17] V. Shakhov, "Simple approximation for Erlang B formula", *2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON)*, pp. 220-222, 2010. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2010.5555345
- [18] A. M. Alaa and M. Hazim Tawfik, "Novel teletraffic analysis of GSM/EDGE orthogonal sub channel (OSC) and application to spectrum re-farming", *Frequenz*, vol. 68, no. 3-4, pp. 137-150, 2014. DOI: 10.1515/freq-2013-0109
- [19] S. Haykin, *Neural Networks*, New York, USA, IEEE, 1994.
- [20] Q. J. Zhang and K. C. Gupta, *Neural networks for RF and microwave design*, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [21] V. Đorđević, O. Pronić-Rančić, Z. Marinković, M. Milijić, V. Marković, U. Siart, C. Chwala and H. Kunstmann, "New method for detection of precipitation based on artificial neural networks", *Microwave Review*, vol. 19, no. 2, pp. 50-55, December 2013.
- [22] Z. Marinković, T. Kim, V. Marković, M. Milijić, O. Pronić-Rančić, T. Ćirić and L. Vietzorreck, "Artificial neural network based design of RF MEMS capacitive shunt switches", *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, vol. 31, no. 7, pp. 756-764, July 2016.
- [23] S. Pattanayak and P. Das, "Artificial neural networks for intelligent communication systems: A study", *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering (IJERCSE)*, vol 5, no. 2, pp. 186-189, February 2018.
- [24] C. Zhang, P. Patras and H. Haddadi, "Deep learning in mobile and wireless networking: A survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2224-2287, thirdquarter 2019. DOI: 10.1109/COMST.2019.2904897

- [25] M. Alam, M. D. Samad, L. Vidyaratne, A. Glandon and K. M. Iftekharuddin, "Survey on deep neural networks in speech and vision systems", *Neurocomputing*, vol. 417, pp. 302-321, December 2020. DOI: 10.1016/j.neucom.2020.07.053
- [26] Z. Marinković, G. Crupi, A. Caddemi, V. Marković and D. M.M.-P. Schreurs, "A review on the artificial neural network applications for small-signal modeling of microwave FETs", *International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 33, no. 3, e2668, May/June 2020. DOI: 10.1002/jnm.2668
- [27] J. Jin, F. Feng, W. C. Na, S. X. Yan, W. Y. Liu, L. Zhu and Q.-J. Zhang, "Recent advances in neural network-based inverse modeling techniques for microwave applications", *International Journal on Numerical Modeling*, vol. 33, no. 6, e2732, Nov/Dec 2020. DOI: 10.1002/jnm.2732
- [28] T.-V. Nguyen, T.-N. Tran, K. Shim, T. Huynh-The and B. An, "A deep-neural-network-based relay selection scheme in wireless-powered cognitive IoT networks", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 9, pp. 7423-7436, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3038907
- [29] Z. Ž. Stanković, D. I. Olćan, N. S. Dončov and B. M. Kolundžija, "Consensus deep neural networks for antenna design and optimization", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 7, pp. 5015-5023, July 2022. DOI: 10.1109/TAP.2021.3138220
- [30] <https://sites.pitt.edu/~dtipper/2110/erlang-table.pdf>

**Abstract:** *The Erlang B formula is used to determine the probability of blocking in telecommunication systems. There are no closed-form expressions for solving the inverse problem, that is, determining the traffic intensity or the required number of channels corresponding to a given probability of blocking. Artificial neural networks provide the ability to develop models of dependencies between two sets of data, where these models can be represented using closed-form mathematical expressions. Having this in mind, artificial neural networks are applied in this paper to develop a numerical model for determining the inverse values of the Erlang B formula.*

**Keywords:** *Artificial neural networks, Erlang B formula, telecommunication traffic*

#### **DETERMINATION OF THE ERLANG B FORMULA INVERSE VALUES USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

Zlatica Marinković, Dušan Marković, Biljana Stošić, Vera Marković