

UNAPREĐENJE MODELA PROPAGACIJE U ZATVORENOM PROSTORU ZA NS-3 SIMULATOR

Marija Malnar, Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
m.malnar@sf.bg.ac.rs, n.jevtic@sf.bg.ac.rs, p.bugarcic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Za analizu performansi bežičnih mreža primena mrežnih simulatora pokazala se kao veoma efikasno rešenje. Jedan od najpoznatijih i često korišćenih simulatora je Network simulator 3 (NS-3) koji u sebi sadrži različite module zadužene za modelovanje brojnih tehnologija, protokola i propagacije radio signala. Kreiranje propagacionih modela u zatvorenim okruženjima predstavlja izazovan problem imajući u vidu da treba da obuhvati različite vrste i oblike prostorija kroz koje se signal prostire. Trenutna verzija NS-3 simulatora ograničena je na primenu veoma jednostavnog building modela koji omogućava definisanje zgrade sa određenim brojem spratova i prostorija pravougaone osnove i istih dimenzija. Iz tog razloga, u ovom radu unapređen je postojeći building model kako bi se obezbedilo modelovanje propagacije signala u zgradama sa prostorijama različitih dimenzija. Model je realizovan definisanjem posebnih sekcija, koje mogu sadržati jednu ili više istih prostorija. Sekcije se dalje kombinuju tako da formiraju kompleksnu zgradu sa proizvoljno pozicioniranim prostorijama različitih dimenzija. Za definisanje slabljenja u kompleksnoj zgradi predložen je i odgovarajući propagacioni model. Implementacija predloženog modela u NS-3 simulatoru može se koristiti za analizu širokog spektra bežičnih mreža realizovanih u kompleksnim zatvorenim okruženjima.*

Ključne reči: *bežične mreže, propagacija u zatvorenom prostoru, mrežni simulator, NS-3, building model*

1. Uvod

Godinama unazad najveći broj modela propagacije radio signala odnosio se na prenos signala u spoljašnjoj sredini, obuhvatajući propagaciju mikro i makro ćelija. Međutim, sa razvojem tehnologije i povećanjem broja korisnika bežičnih mreža, razvijanjem bežičnih lokalnih (WLAN, *Wireless Local Area Networks*), personalnih, (WPAN, *Wireless Personal Area Networks*), telesnih (WBAN, *Wireless Body Area Networks*) i senzorskih (WSN, *Wireless Sensor Networks*) mreža došlo je do potrebe za razvijanjem modela za propagaciju u zatvorenom prostoru [1]. Korisnici očekuju pristup bežičnom signalu u svojim domovima, prodavnicama, hotelima, restoranima, tržnim centrima, odnosno, bežičan pristup bilo gde i bilo kada. Kako bi se ispunila očekivanja

korisnika i poboljšao kvalitet servisa, QoS (*Quality of Service*) bežičnih mreža u zatvorenim prostorima, analiza, istraživanje i modelovanje pokrivenosti i propagacije radio signala u ovim okruženjima postaju sve važniji.

Jedan od izazovnih zadataka prilikom planiranja bežične mreže u zatvorenom prostoru je određivanje optimalne lokacije pristupnih tačaka, AP (*Access Points*). Iz tog razloga, dobra predikcija prijemne snage, RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) osnovni je zadatak kada se istražuje pokrivanje AP. Usled kompleksnosti i velike dinamičnosti nivoa radio signala, kao i uticaja drugih bežičnih mreža na nivo signala koji se ne mogu unapred predvideti, prijemna snaga može se analizirati samo kao procena stvarne vrednosti.

Najbolji način za predikciju nivoa snage signala na prijemu je da se izvrši veliki broj merenja na osnovu kojih će se izabrati odgovarajući model, odnosno odrediti empirijska formula za određivanje nivoa snage signala. Međutim, obimna merenja je često veoma teško, a ponekad i nemoguće izvršiti, najčešće usled visoke cene kvalitetne merne opreme i potrebnog vremena za sprovođenje merenja. U tim situacijama, modelovanje signala simulacijom pokazalo se kao veoma efikasno rešenje. Iz tog razloga, korišćenje postojećih empirijskih propagacionih modela i simulacija propagacije signala u zatvorenom prostoru imaju važnu ulogu u planiranju mreže.

Imajući u vidu da je simulacija često korišćen alat za modelovanje mreže, kao i da se performanse računara konstantno unapređuju, ne iznenađuje činjenica da se danas koristi veliki broj mrežnih simulatora. Najčešće korišćeni simulatori otvorenog koda (*open source*) su *Objective Modular Network Test-bed* in C++ (OMNET++) [2], *Global Mobile Information System Simulator* (GloMoSim) [3], *Network Simulator 2* (NS-2) [4], *Network Simulator 3* (NS-3) [5]-[6], itd. Dva veoma popularna komercijalna simulatora su *OPTimized Network Engineering Tools* (OPNET) [7] i QualNet [8].

NS-3 je relativno nov simulator čija osnova (*core*) podržava paralelno izvršavanje, sadrži veliki broj modula kojima se mogu modelovati brojne tehnologije, protokoli i propagacija radio signala. Imajući u vidu da je nadogradnja postojećih modela relativno jednostavna, nije iznenađujuće što je NS-3 sve popularniji i češći izbor u istraživačkoj i nastavnoj zajednici. Iako osnovna verzija simulatora sadrži mnogo modela, trenutno je za modelovanje propagacije u zatvorenom prostoru NS-3 ograničen na primenu veoma jednostavnog *building* modela koji omogućava definisanje zgrade sa određenim brojem spratova i prostorija pravougaone osnove i istih dimenzija. Problem kod ovakvog modelovanja ogleda se u tome što efikasan model treba da obuhvati različite vrste i oblike prostorija kroz koje se signal prostire. Iz tog razloga, u ovom radu, predložen je nov *complex building* model, kao unapređenje postojećeg *building* modela, sa ciljem da se obezbedi modelovanje propagacije signala u zgradama sa prostorijama različitih dimenzija.

Model je realizovan definisanjem posebnih sekcija, koje mogu sadržati jednu ili više istih prostorija, a koje se dalje mogu kombinovati u formi kompleksne zgrade sa različitim proizvoljno pozicioniranim prostorijama. Kako bi se opisalo slabljenje u kompleksnoj zgradi predložen je i odgovarajući propagacioni model. Implementacija predloženog modela u NS-3 simulatoru može se koristiti za analizu širokog spektra bežičnih mreža realizovanih u kompleksnim zatvorenim okruženjima.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju dat je detaljan opis postojećeg *building* modela i predloženog unapređenja, nazvanog *complex building* model.

U trećem poglavlju prikazani su rezultati simulacije, odnosno nivoi signala signala na prijemnim čvorovima u jednoj zgradi sa kompleksnim tlocrtom koji sadrži veći broj prostorija različitih dimenzija. U okviru poslednjeg, četvrtog poglavlja data su zaključna razmatranja i planovi za dalja istraživanja.

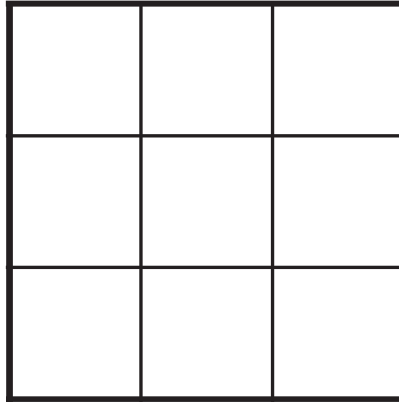
2. Opis postojećeg i predloženog *building* modela

Prilikom simulacije paketskog saobraćaja između WANET (*Wireless Ad hoc Networks*) čvorova, često se javlja potreba da se ti čvorovi, odnosno predajnici i prijemnici signala, rasporede unutar nekog zatvorenog prostora. Za implementaciju ovakvog okruženja NS-3 simulator nudi jednostavan *building* model. Ovaj model omogućava definisanje zgrade određenih dimenzija, tipa, vrste spoljašnjih zidova, broja spratova, kao i broja prostorija po dve ose na istom spratu. Od izabranog tipa zgrade zavisice nivo slabljenja signala pri prolasku kroz unutrašnje zidove, a od vrste spoljašnjih zidova zavisice slabljenje signala pri prolasku kroz spoljašnje zidove.

Za definisanje slabljenja u kombinovanom (*indoor* i *outdoor*) okruženju najčešće se koristi hibridni propagacioni model. Hibridni model predstavlja kombinaciju standardnih empirijskih modela (Okumura-Hata model, COST231, ITU-R P.1411, ITU-R P.1238) koji mogu proceniti gubitke usled propagacije na učestanostima od 200 do 2600 MHz u različitim okruženjima (urbano, suburbano ili otvoren prostor), uključujući i zgrade (tj. *indoor* i *outdoor* okruženja). Atributi koje je moguće definisati kod ovog modela su frekvencija, prag prelaska iz LoS (*Line-of-Sight*) u NLoS (*Non-Line-of-Sight*) okruženje u metrima, tip okruženja, veličina grada, visina nivoa krova, standardna devijacija normalne raspodele koja se koristi za izračunavanje parametra *shadowing* (*shadow fading* ili *slow fading*) [9] kod *outdoor* čvorova, standardna devijacija normalne raspodele koja se koristi za izračunavanje parametra *shadowing* kod *indoor* čvorova, standardna devijacija normalne raspodele koja se koristi za izračunavanje parametra *shadowing* prouzrokovanog prolaskom signala kroz spoljašnje zidove, kao i dodatni gubitak usled prolaska signala kroz unutrašnji zid. Parametar *shadowing* utiče na varijaciju slabljenja signala pri prolasku kroz spoljašnje zidove, unutrašnje zidove, itd.

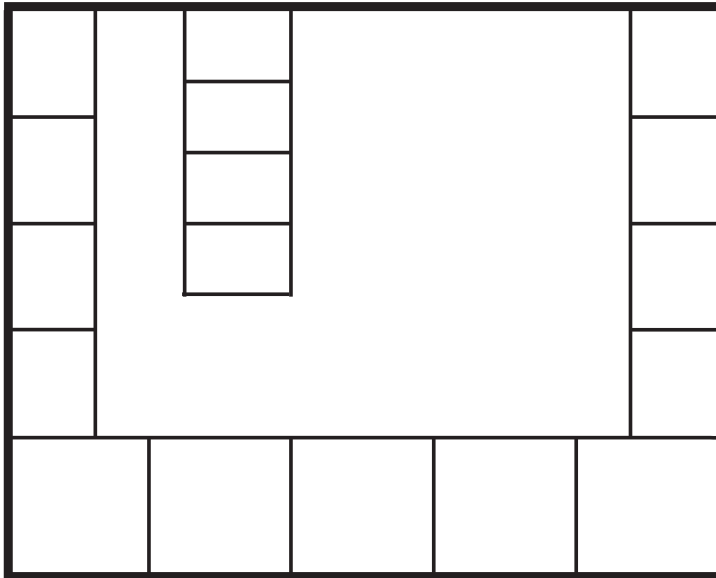
U postojećem *building* modelu definisanje rasporeda i dimenzija prostorija na jednom spratu je prilično ograničeno. Moguće je jedino definisati broj prostorija po širini i dužini, čime će ukupna širina i dužina zgrade biti podeljene na odgovarajući broj jednakih delova. Na ovaj način se kreiraju prostorije istih dimenzija, bez mogućnosti definisanja hodnika koji su prisutni u skoro svakoj realnoj zgradi. Grafički prikaz jednog nivoa zgrade kreirane korišćenjem postojećeg *building* modela, prikazan je na slici 1. Očigledno je da na ovaj način nije moguće kreirati zgradu sa proizvoljnim rasporedom i dimenzijama prostorija.

Kako bi se rešio ovaj problem, u ovom radu je predloženo unapređenje postojećeg *building* modela, nazvano *complex building*, koje omogućava kreiranje zgrade sa proizvoljnim rasporedom prostorija. Primer jedne ovakve zgrade prikazan je na slici 2. Kao što se može videti, prostorije ne moraju biti istih dimenzija, mogu biti proizvoljno pozicionirane, a moguće je i definisanje hodnika proizvoljne veličine. Na ovaj način su značajno proširene mogućnosti kreiranja željene zgrade. Jedini uslov koji mora biti ispunjen je taj da prostorije u zgradi moraju biti pravougaonog oblika.



Slika 1. Primer mogućeg rasporeda prostorija u zgradi kreiranoj korišćenjem postojećeg building modela

Kreiranje *complex building* modela je omogućeno definisanjem novih klasa unutar NS-3 simulatora: *BuildingSection*, *ComplexBuilding* i *HybridComplexBuildings PropagationLossModel*. Klasa *BuildingSection* omogućava definisanje posebnih sekcija unutar zgrade. Svaka od sekcija može da sadrži proizvoljan broj prostorija pravougaonog oblika i istih dimenzija. Ukoliko je potrebno spojiti dve sekcije, moguće je definisati da jedan od krajnjih zidova jedne od sekcija bude izostavljen, kako ne bi došlo do dupliranja zidova, a samim tim i slabljenja signala pri prolasku kroz te zidove.



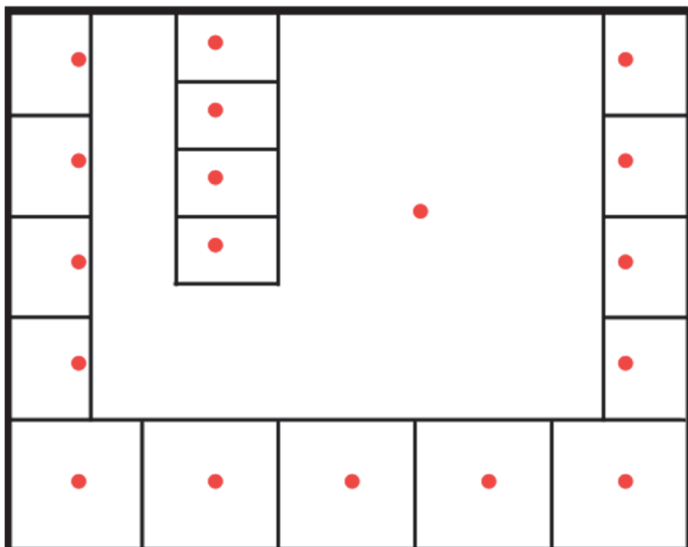
Slika 2. Primer mogućeg rasporeda prostorija u zgradi kreiranoj korišćenjem complex building modela

Klasa *ComplexBuilding* kreirana je sa ciljem da sve sekcije budu spojene u jednu kompleksnu zgradu. Ona definiše spoljašnje dimenzije zgrade i omogućava kreiranje neograničenog broja sekcija koje su proizvoljno pozicionirane unutar zgrade. Pozicije sekcija su definisane u klasi *BuildingSection*, uz očigledna ograničenja da sekcije moraju biti unutar kompleksne zgrade i da se sekcije međusobno ne preklapaju.

Za određivanje propagacionog slabljenja u novoj kompleksnoj zgradi predložen je *HybridComplexBuildingsPropagationLossModel*, koji predstavlja modifikaciju postojećeg hibridnog propagacionog modela u NS-3 simulatoru. Slabljenje signala pri prolasku kroz kompleksnu zgradu određuje se kao kod postojećih hibridnog modela na osnovu preporuke ITU-R P.1238 [10] koja se koristi kada su čvorovi u zatvorenom prostoru, odnosno preciznije kada su čvorovi unutar iste zgrade. Prema ovoj preporuci propagacija signala se modeluje prema *One-slope* modelu uz dodatak slabljenja kroz plafone višespratne zgrade. Pri tome faktor slabljenja kroz prostor bez prepreka i slabljenje kroz plafon zavise od učestanosti signala i tipa zgrade. Propagacija kroz unutrašnje zidove zgrade se dodaje na slabljenje iz preporuke ITU-R P.1238. Pri tome se broj zidova između predajnog i prijemnog čvora određuje za svaku sekciju pojedinačno u klasi *BuildingSection*, a zatim sumira za celu zgradu u klasi *ComplexBuilding*.

3. Rezultati simulacija

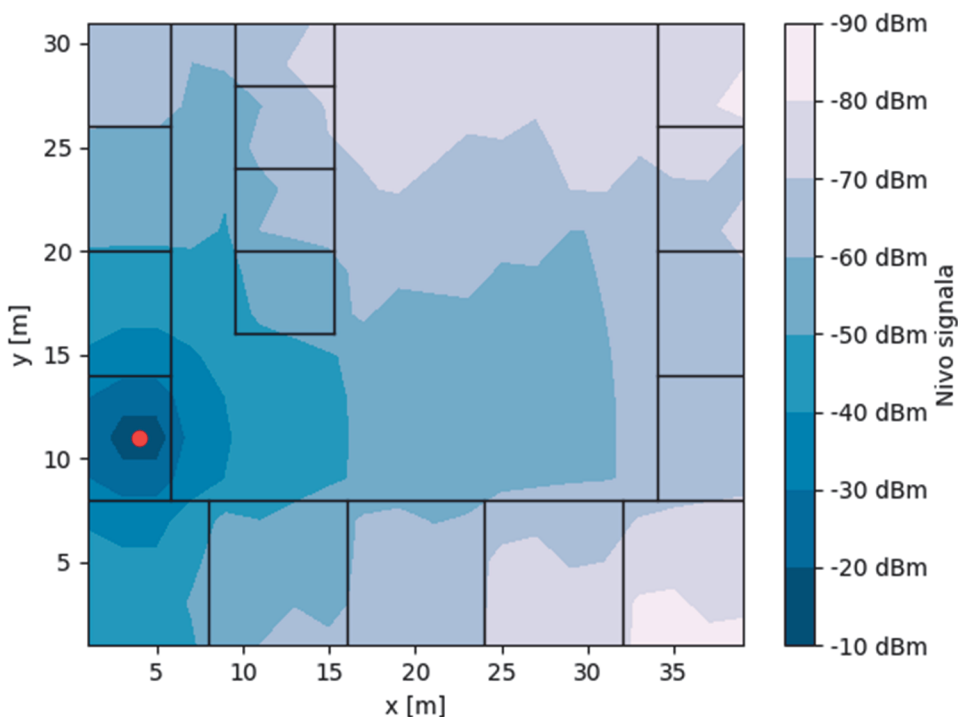
Analiza rezultata simulacija predloženog unapređenja *building* modela prikazani su u nastavku. Korišćena je verzija simulatora NS-3.29. Za potrebe simulacije kreirana je kompleksna zgrada dimenzija 40 m x 32m, sa četiri sekcije od kojih svaka ima veći broj prostorija, kao što je prikazano na slici 3. U svakoj od prostorija postavljena je po jedna pristupna tačka, označena tačkama na slici 3. Za verifikaciju nivoa snage signala u zgradi sa slike postavljena je mreža koja se sastoji od 320 prijemnih čvorova na međusobnom rastojanju od 2 metra.



Slika 3. Tlocrt korišćene zgrade i raspored pristupnih tačaka (AP)

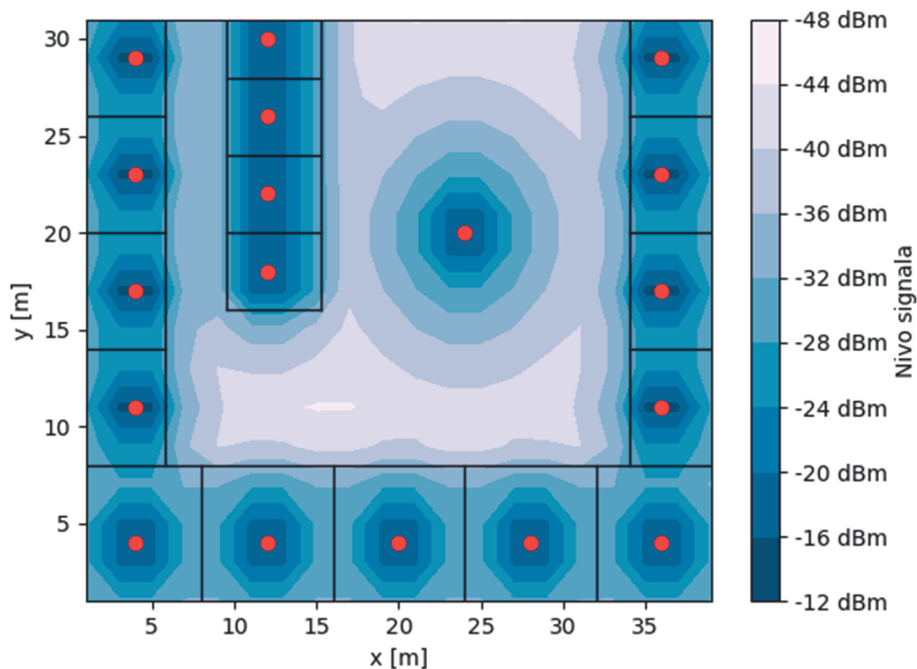
Za analizu nivoa snage signala, za MAC pod-sloj korišćen je standard 802.11b. Kanali su modelovani na osnovu *YansWiFiChannel* kanala i hibridnog propagacionog modela. *User Datagram Protocol* (UDP) je korišćen na transportnom sloju. U svakom AP instalirana je aplikacija koja generiše pakete sa periodom od 1 sekunde i difuzno ih šalje svim čvorovima koji su u dometu. Kako bi se obezbedilo merenje snage signala u prijemnim čvorovima, *YansWiFiChannel* modifikovan je na taj način što je snaga signala na mestu prijema upisana u poseban *tag* koji se pridružuje primljenom paketu. Aplikacije instalirane u prijemnim čvorovima, po prijemu paketa od odgovarajućeg AP, izdvajaju pridruženi *tag* i pamte vrednost nivoa snage signala (izraženu u dBm).

Po završetku simulacije, zapamćene vrednosti nivoa snage signala svih prijemnih tačaka, od svih AP, upisuju se u izlaznu tekstualnu datoteku u CSV (*Comma Separated Value*) formatu. Podaci iz ove datoteke, dalje su obrađeni u programskom jeziku *Python* i grafički prikazani na slikama 4 i 5.



Slika 4. Nivo snage signala u prijemnim čvorovima za jedan izdvojeni AP

Na slici 4 prikazan je nivo snage signala u prijemnim čvorovima za jedan, proizvoljno izabran AP, dok je na slici 5 prikazan nivo snage signala za sve AP. Sa slika se uočava da raspodela nivoa prijemnog signala prati očekivane vrednosti čime se može verifikovati ispravnost predloženog unapređenja *building* modela u NS-3 simulator.



Slika 5. Nivo snage signala u prijemnim čvorovima za sve AP

4. Zaključak

Postojeći model za propagaciju bežičnih signala u zatvorenom prostoru u NS-3 simulatoru je veoma ograničen po pitanju definisanja unutrašnjih prostorija zgrade, što značajno degradira kvalitet i verodostojnost simulacionih analiza bežičnih mreža u ovakvim okruženjima. Iz tog razloga, u ovom radu opisano je jedno unapređenje postojećeg modela zgrade koje uvodi mogućnost definisanja prostorija proizvoljnih dimenzija i samim tim nudi realniji model propagacije bežičnih signala u zatvorenom prostoru. U cilju daljeg unapređenja modela, planira se razvoj složenijih sekcija koje uključuju mogućnost uvođenja različitih parametara koji opisuju slabljenje kroz različite prostorije (hodnike, amfiteatre, kancelarije, učionice, laboratorije, liftove, i sl.), kao i različitih koeficijenata slabljenja za unutrašnje zidove zgrade. Ovakav pristup svakako zahteva i uvođenje različitih parametara *shadow fading*-a za različite tipove unutrašnjih zidova. Ovakvim pristupom mogu se realnije simulirati scenariji u poslovnim zgradama gde se često sreću pregradni zidovi različitih debljina koji su napravljeni od različitih materijala, koji se značajno razlikuju u pogledu slabljenja nivoa bežičnog signala.

Literatura

- [1] A. Neskovic, N. Neskovic, G. Paunovic, "Modern approaches in modeling of mobile radio systems propagation environment", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 3, no. 3, pp. 2–12, 2000.
- [2] OMNet++, [Online]. Available at: <http://www.omnetpp.org/>

- [3] GloMoSim, [Online]. Available at: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>
- [4] NS-2, [Online]. Available at: <http://www.isi.edu/nsnam2>
- [5] K. Wehrle, M. Gunes, J. Gross, *Modeling and Tools for Network Simulation*, Berlin, Springer, 2010.
- [6] NS-3, [Online]. Available at: <http://www.nsnam.org/>
- [7] X. Chang, "Network simulations with OPNET", *IEEE Simulation Conference*, vol. 1, pp. 307–314, 1999.
- [8] Qualnet, [Online]. Available at: <https://www.scalable-networks.com/qualnet-network-simulation>
- [9] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems", *Electronics Letters*, vol. 27, no. 23, pp. 2145 – 2146, 1991.
- [10] Recommendation P.1238: *Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 450 GHz*, Available at: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1238/en>.

Abstract: *For the analysis of wireless network performance, the application of network simulators has proven to be a very efficient solution. One of the most popular and frequently used simulators is Network Simulator 3 (NS-3), which contains various modules used for modeling numerous technologies, protocols, and radio signal propagation. Having in mind that indoor environments often have different room types and shapes, creating an adequate propagation model for this kind of environment is a challenging task. The current version of the NS-3 simulator is limited to the application of a very simple building model that allows the definition of a building with a certain number of floors and rooms of rectangular base and the same dimensions. For this reason, in this paper, we have improved the existing building model in order to provide signal propagation modeling in buildings with rooms of different shapes and dimensions. The model is realized by defining special sections, which can contain one or more equal rooms. With the further combination of sections, a complex building with arbitrarily positioned rooms of different dimensions is formed. An appropriate propagation model has been proposed to define the attenuation in a complex building. The implementation of the proposed model in the NS-3 simulator can be used to analyze a wide range of wireless networks implemented in complex closed environments.*

Keywords: *wireless networks, indoor propagation, network simulator, NS-3, building model*

IMPROVEMENT OF INDOOR PROPAGATION MODEL FOR NS-3 SIMULATOR

Marija Malnar, Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić