

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
VARAŽDIN**

Dorijan Kajtazi

**ISPITIVANJE UTJECAJA MEĐUSOBNE
INTERFERENCIJE U BEŽIČNIM LOKALNIM
RAČUNALNIM MREŽAMA**

ZAVRŠNI RAD

Sisak, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Dorijan Kajtazi

Matični broj: 0016119322 (S-44224)

Studij: Primjena informacijske tehnologije u poslovanju

**ISPITIVANJE UTJECAJA MEĐUSOBNE INTERFERENCIJE U
BEŽIČNIM LOKALNIM RAČUNALNIM MREŽAMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Luka Milić, mag. ing. comp.

Sisak, svibanj 2022.

Dorijan Kajtazi

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj moj završni rad izvorni rezultat mogega rada te da se u izradbi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njem navedeni. Za izradbu rada su rabljene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredaba u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Ovaj rad ispituje utjecaj međusobne interferencije u bežičnim lokalnim računalnim mrežama. Rad započinje teorijskim dijelom u kojem se proučavaju različite podjele računalnih mreža. Središnji dio rada čini teorijski prikaz bežične lokalne računalne mreže i nekih od znamenitih bežičnih tehnologija. U radu je prikazan i model OSI koji se sastoji od sedam slojeva, a najbitniji za ovaj rad je zadnji sloj, tj. fizički sloj. Na kraju rada opisuje se elektromagnetska interferencija, a rad završava praktičnim dijelom u kojem se prikazuje simulacija jedne mreže, zatim simulacija više mreža te međusobna interferencija u bežičnim lokalnim računalnim mrežama u simulatoru OMNeT++. Prikazan je i mehanizam za smanjivanje interferencije.

Ključne riječi: elektromagnetska interferencija, bežična mreža, WLAN, model OSI, Wi-Fi

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Računalne mreže	2
3. Bežične računalne mreže	9
3.1 Bluetooth	9
3.2 WiMAX	9
3.3 ZigBee	10
3.4 IrDA	10
3.5 RFID	10
3.6 HomeRF	11
3.7 Wi-Fi	11
4. Elektromagnetska interferencija	12
4.1 Interferencija u bežičnim mrežama	12
5. Simuliranje prve mreže	14
6. Simulacija više mreža	25
7. Odabir mehanizma za smanjivanje interferencije	37
8. Zaključak	44
Popis literature	45
Popis slika	47
Popis tablica	47

1. Uvod

Bez bežične tehnologije bilo bi nezamislivo danas živjeti. Bežična tehnologija omogućila je čovjeku pokretljivost o kakvoj prije 20 godina nije mogao ni sanjati. Upravo zbog toga je važno baviti se tematikom bežične tehnologije.

Ovaj rad podijeljen je na osam poglavlja, ali se tematski može podijeliti na tri dijela. Rad započinje uvodom i općenitim poglavljem o računalnim mrežama u kojem se prikazuju različite podjele računalnih mreža (s obzirom na veličinu, tehnologiju prijenosa, način prospajanja Interneta itd.). U navedenom poglavljju spominje se i OSI-model. OSI-model sastoji se od sedam slojeva, a za ovaj rad važan je zadnji sloj, tj. fizički sloj. Prva dva poglavlja ujedno čine i prvi dio završnoga rada. Središnji dio rada započinje s poglavljem o bežičnim računalnim mrežama u kojem se dotiču i neke od znamenitih vrsta bežične tehnologije. Neke su manje, a neke više znamenite, ali svaka ima svoje koristi. U ovom radu najbitnija je Wi-Fi-tehnologija. Nakon navedenoga poglavlja slijedi poglavlje o elektromagnetskoj interferenciji. Zadnja tri poglavlja prije zaključka su ujedno i najvažnija poglavlja, a zajedno sa zaključkom tvore treći i posljednji dio ovoga završnoga rada. U petom poglavljju prikazana je simulacija prve mreže, dok je u šestom poglavljju prikazana simulacija više bliskih mreža i ispitana je međusobna interferencija u simulatoru OMNeT++. U sedmom poglavljju odabire se mehanizam kojim se smanjuje interferencija, a u ovom radu to su Wi-Fi-kanali.

2. Računalne mreže

Postoji golem broj definicija računalnih mreža, a jednom od njih započinje se ovo poglavlje. „Računalne mreže su složeni tehnološki i organizacijski sustavi koji obuhvaćaju golem broj elemenata, među koje spadaju metode zapisivanja informacijskih sadržaja za prijenos te definicije i realizacije brojnih struktura podataka i procesa“ (Radovan, 2018: 1). Jednostavnije rečeno, računalne mreže su skup dvaju, triju ili više samostalnih računala koji međusobnom komunikacijom dijele podatke kako bi stvorili raspodijeljene obradbe podataka.

Prije nego se krene s podjelama računalnih mreža, slijedi kratki prikaz osnovnoga mrežnoga nazivlja u tablici:

Tablica 1. Nazivlje pojmova

Naziv		Objasnidba
Mrežna kartica	<i>Network Interface Card, NIC</i>	Svaki uređaj koji povezuje korisnika s ostatkom mreže.
Medij	<i>Medium</i>	Različite fizičke okoline kroz koje se prenosi signal – bakrene parice, optički i koaksijalni kabeli, atmosfera kojom prolaze bežični signali.
Protokol	<i>Protocol</i>	Skup pravila po kojima se odvija komunikacija između umreženih računala.
Klijent	<i>Client</i>	Računalo ili program koji zahtijeva određene usluge od poslužitelja.
Poslužitelj	<i>Server</i>	Računalo ili program koji pruža različite usluge klijentima na mreži.
Mrežni operacijski sustav	<i>Network Operating System</i>	Odnosi se na poslužiteljske i kućne operacijske sustave (Windows 10, Ubuntu, UNIX...)
Uređaji za spajanje	<i>Connecting devices</i>	To su uređaji koji povezuju dva kraja medija za prijenos komunikacijskoga signala, a pri tom dvije manje mreže spajaju u veću ili veću mrežu raspodjeljuju u manje mreže. Primjer: <i>repeateri, hubovi, preklopnici, premosnici i usmjernici.</i>
PAN	<i>Personal-Area Network</i>	Osobna mreža koja spaja nekoliko uređaja. Primjer: Bluetooth-miš – spajanje s prijenosnikom.
LAN	<i>Local-Area Network</i>	Mreža koja pokriva uže područje.
MAN	<i>Metropolitan-Area Network</i>	Mreža koja pokriva dio grada ili jedan cijeli grad.
WAN	<i>Wide-Area Network</i>	Mreža koja je rasprostranjena na širem zemljopisnom području, a čini ju više povezanih LAN-mreža.
Fizička topologija	<i>Physical topology</i>	Predstavlja fizički izgled mreže.
Logička topologija	<i>Logical topology</i>	Predstavlja putanju kojom signal putuje od jednoga do drugoga računala.

Računalne mreže mogu se podijeliti po veličini, tehnologiji prijenosa, prospajanju prometa, topologiji i sklopovskoj tehnologiji.

S obzirom na veličinu, razlikuju se četiri vrste računalnih mreža:

1. PAN
2. LAN
3. MAN
4. WAN

S obzirom na tehnologiju prijenosa, postoje dvije vrste računalnih mreža:

1. Difuzijske mreže (engl. *broadcast network*)
2. Mreže od točke do točke (engl. *point-to-point network*)

Ako se promatra način prospajanja interneta, postoji podjela koja se temelji na tehnologiji prijenosa i tim postoje dvije vrste:

1. Difuzijske veze
2. Veze od točke do točke

Prema topologiji može se razlikovati pet vrsta mreža:

1. Zvezdasta topologija
2. Sabirnička topologija
3. Prstenasta topologija
4. Stablata topologija
5. Isprepletana topologija

A s obzirom na sklopovsku tehnologiju, postoje četiri vrste računalnih mreža:

1. Optička mreža
2. Ethernet mreža
3. Bežična mreža
4. *Power-line communication* (PLC)

U ovom radu težište je na bežičnim lokalnim mrežama (engl. *Wireless Local Area Network* – WLAN), pa će se samo ukratko opisati pojmovi LAN-a i bežične mreže.

LAN-mreža je računalna mreža u kojoj se računala nalaze na razdaljinama do 5 km. Sam naziv (engl. *Local-Area Network*) obilježava da je to mreža računala koja se proteže na razmjerno uskom prostoru. Lokalnom mrežom najčešće u cijelosti upravlja, a i posjeduje ju sam korisnik (bilo to osobno vlasništvo jedne osobe, vlasništvo tvrtke ili ustanove), što znači

da se prijenos podataka za korisnike ne će naplaćivati. LAN-mreže omogućuju iznimno velike brzine prijenosa podataka koje se mjere u gigabitima po sekundi – Gb/s (Pralas, 2008).



Slika 1. Prikaz LAN-mreže (Izvor: Local Area Network Lan)

Bežična mreža (engl. *Wireless network*) podrazumijeva, kako i njezin sam naziv govori, povezivanje računala bez porabe „žica“ iliti fizičkih veza. Bežično povezivanje je najjednostavniji način umrežavanja. Prijenos podataka će se u tom slučaju odvijati preko radiovalova, elektromagnetskih signala ili infracrvenih valova, a brzina prijenosa podataka kao i razdaljina povezanih računala je ograničena (Pralas, 2008). Bežično povezivanje se odvija jednostavno uz Wi-Fi-tehnologiju te je potrebno da računala koja se žele spojiti sadržavaju ili internu Wi-Fi-karticu ili vanjsku (USB-oblik). U karticama je integrirana antena koja omogućuje spajanje, ali ona se većinom rabi za manje mreže, dok je za veće potrebe moguće rabiti pojačivače signala kao vanjske antene. Kako bi se korisnik priključio na mrežu, potreban je tzv. *Hotspot*, koji predstavlja čvorište na kojem se svi korisnici bežične mreže spajaju. Mreža može biti osigurana te je za ulazak u nju potreban ključ, ali može biti i otvorena što znači da nema nikakvih ograničenosti za spajanje.

Tri su glavna elementa bežične mreže:

1. Čvor bežične mreže
2. Bazna postaja
3. Bežične veze

Čvor bežične mreže je krajnji uređaj na kojem se obavlja posao – računala, prijenosnici, pokretni uređaji. Bazna postaja je najvažniji član jer obavlja zadatak predaje i prijma podatkovnih paketa unutar mreže, a osim toga koordinira predaju podataka većemu broju

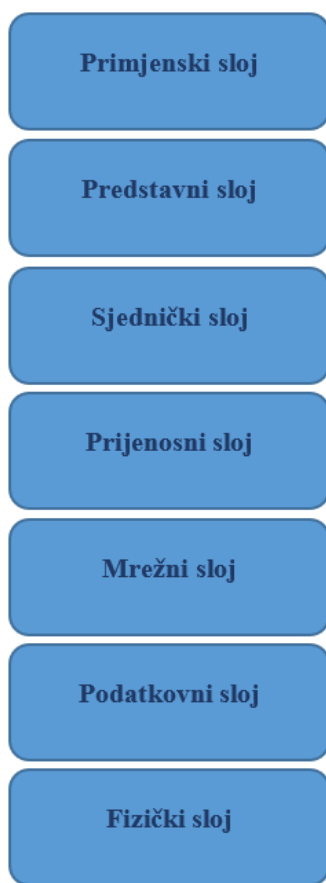
računala. Primjer bazne postaje je pristupna točka (engl. *Access Point* – AP) koja gospodari pristupom mediju, a može djelovati i kao most prema drugim bežičnim mrežama. Računala se moraju povezati s baznom postajom i s drugim računalima, a to čine s pomoću bežične veze (CARNet, 2008).

Za ovaj rad važno je osvrnuti se i na referentni OSI-model (engl. *Open Systems Interconnection Basic Reference Model*). OSI-model predstavlja apstraktni model koji se sastoji od više slojeva, a prvenstveno ga rabe stručnjaci kao preporuku prigodom razvijanja računalnih mreža i protokola. OSI-model se sastoji od sedam slojeva, a svaki sloj predstavlja skup povezanih funkcija bez kojih ne bi bila omogućena računalna komunikacija. Slojevi OSI-modela zapravo slikovito prikazuju tok podataka od početne točke k ciljnoj točki.

Za razvoj mrežnih protokola od velike su važnosti smjernice koje pruža OSI-model. Mrežni komunikacijski protokol je skup određenih pravila (kojima se prikazuju podaci, signaliziraju, autoriziraju i otkrivaju pogreške u njima) bez kojih se podaci ne bi mogli prenijeti preko komunikacijskoga kanala (Parlas, 2008).

Slojevi koji se nalaze u jednom OSI-modelu komuniciraju na način da jedan sloj može komunicirati samo s prvim slojem iznad i prvim slojem ispod sebe. Sloj je zapravo skup funkcija koje pružaju usluge sloja iznad sebe, a rabe usluge sloja ispod sebe. Sami slojevi su pak osmišljeni tako da promjene na jednom sloju ne će utjecati na drugi sloj niti će posljedično uzrokovati promjene na ostalim slojevima. Prigodom komunikacije dvaju OSI-modela svaki sloj komunicira samo sa slojem istovrsne razine na odgovarajućem računalu. Niti jedan sloj nije zapravo svjestan da postoje slojevi drugih razina i svega što se događa na ostalim slojevima (Jeren, Pale, 2015).

Na sljedećoj slici prikazani su slojevi OSI-modela.



Slika 2. Slojevi OSI-modela

U sljedećoj tablici prikazani su glavni zadatci i uloge svakoga sloja:

Tablica 2. Uloge slojeva OSI-modela

Primjenski sloj	Ovaj sloj pruža mrežne usluge aplikacijama i programima te šalje zahtjev za uslugama sljedećeg sloja, predstavna. On ne pruža usluge krajnjemu korisniku. Primjenski sloj definira npr. FTP (engl. <i>File Transfer Protocol</i>), ali na kraju krajnji korisnik je taj koji sam mora pozvati i izvršiti aplikaciju da bi se posljedično i prenijeli podaci.
Predstavni sloj	On se brine da podatci budu čitki na odredištu. Osim toga vodi brigu o strukturi i obliću podataka, a zatim i vodi pregovore o skladnji prijenosa za sloj koji mu je prethodio, primjenski sloj.
Sjednički sloj	Ovaj sloj ima tri funkcije: uspostavljanje, upravljanje i prekidanje veze između primjenskih programa.
Prijenosni sloj	Prvenstvena zadaća mu je da se brine o pouzdanom prijenosu podataka između uređaja. Osim toga, on otkriva i ispravlja moguće pogreške u prijenosu (tako što zahtijeva da se ponovno pokrene slanje). Prijenosni sloj uspostavlja, održava i prekida virtualne krugove (engl. <i>virtual circuit</i>).
Mrežni sloj	Ovaj sloj radi na povezanosti te odabire najbolje putanje kojima će se slati paketi podataka. Podatci od početne do krajnje točke mogu putovati različitim putanjama. Mrežni sloj rabi logičko adresiranje (IP-adresa). Način dostave podataka ide po principu „ <i>best effort delivery</i> “, što znači da mrežni sloj ne brine o tom hoće li dostava podataka biti pouzdana, nego tu zadaću ostavlja protokolima gornjih slojeva. Najčešće rabljeni protokol je Internet Protocol.
Podatkovni sloj	On omogućuje da se pouzdano prenesu podatci preko medija. Zadaća mu je da otkrije moguće pogreške u prijenosu preko prvoga sloja, da brine o pristupu mediju za prijenos podataka te da brine o povezanosti i odabiru putanje koja se prostire između uređaja.

Fizički sloj	Ovaj sloj se brine o fizičkim sastavnicama mreže: medijima za prijenos (kao što su npr. bakar, optika, radiovalovi), brzinama prijenosa podataka, konektorima, razinama napona i signala itd.
--------------	---

Fizički sloj je u ovom radu najvažniji sloj jer se bavi segmentima poput osobitosti signala, pravila za uspostavu početnoga komuniciranja, vremenskoga razmaka tijekom prijenosa gdje se za prijenos rabi sučelje koje se sastoji od mehaničkoga, električkoga i proceduralnoga fizičkoga uređaja/medija. Ova se razina preko standarda IEEE-a dijeli na *Media Access Control* (MAC), standard 802.3 i *Logical Link Control* (LLC), standard 802.2.

U praktičnom dijelu (peto i šesto poglavlje), koji slijedi na kraju završnoga rada, težište je stavljeno upravo na fizički sloj tj. simuliranje bežične poveznice preko simulatora.

3. Bežične računalne mreže

WLAN je kratica za engleski naziv *Wireless Local Area Network*, a obilježava bežičnu lokalnu mrežu računala. WLAN je mreža koja rabi elektromagnetske valove za prijenos podataka od jedne točke do druge. Iako se smatra da su bežične lokalne mreže razmjerno nova pojava, njihovo postojanje stiže u 1969. godinu kad je tim stručnjaka prvi put uspio komunicirati sa sedam računala smještenih na četirima otocima na Havajima. Mreža se zvala ALOHAnet, a službeno je počela s radom dvije godine poslije (Abramson, 2010).

Danas su bežične lokalne mreže vrlo popularne jer imaju veliki broj prednosti: podupiru velik broj uređaja, lako je namjestiti mrežu (nema potrebe za postavljanjem kabela za žičanu mrežu), pristup mreži je puno lakši, rasprostranjenost bežičnih mreža je danas iznimna te je dostupna većini građana gdje god se nalazili. Ipak, treba spomenuti da postoji nekoliko nedostataka – sigurnost podataka je ugroženija nego kada se rabi žičana mreža, a različite smetnje mogu smanjiti brzinu i ugroziti stabilnost veze (Mitchell, 2020).

U ovom poglavlju ukratko će se opisati sljedeće vrste bežičnih tehnologija, koje su dosta znane: Bluetooth, WiMax, ZigBee, IrDA, RFID, HomeRF i na kraju, najslavnija bežična tehnologija – Wi-Fi. Ono što je specifično kod bežičnoga prijenosa je pitanje interferencije signala, tj. međusobnoga utjecaja i smetnje prigodom komunikacije, a posljedično je važno i pitanje zaštite sadržaja koji se prenosi bežičnom tehnologijom.

3.1 Bluetooth

Tehnologiju Bluetooth razvila je tvrtka Ericsson u 90-im godinama prošloga stoljeća kada su pokrenuli istraživanja s kojima su htjeli ostvariti troškovno i tehnološki učinkovito radiosučelje, koje ne će puno trošiti, a radit će na malim razdaljinama. 1999. godine objavljena je specifikacija tehnologije Bluetooth, a samo tri godine nakon je IEEE usvojio standard IEEE 802.15.1 za bežične privatne mreže PAN (engl. *Personal Area Network*) koji se temelji na tehnologiji Bluetooth. Glavne prednosti tehnologije Bluetooth su ekonomičnost u potrošnji energije, ali i troškovna učinkovitost (Restović, Stojan, Ćubić, 2005). Mreže Bluetooth se nazivaju i „mrežama osobnoga prostora, jer vrše prijenos na vrlo ograničenom prostoru, do nekoliko desetaka metara udaljenosti“ (Radovan, 2018: 203).

3.2 WiMAX

WiMAX (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je bežična tehnologija koja se rabi na širem području (npr. području jednoga grada) i omogućuje bežični pristup

Internetu uz porabu radiofrekvencijskoga spektra. Ovu tehnologiju razvio je IEEE na standardu 802.16 i WiMAX je zamišljena kao bežična tehnologija čiji je dizajn optimalan za MAN, tj. za gradske računalne mreže. „Kod bežične mreže WiMAX spominju se udaljenosti od jedne zgrade, jedne milje, 10 km, pa do 50 km; ali govor o tim udaljenostima je neprecizan“ (Radova, 2018: 204) jer doseg signala zapravo ovisi o tom je li računalo u otvorenom prostoru ili postoji puno zaprjeka za signal (zgrade). WiMAX-tehnologija vrlo je slična Wi-Fi-tehnologiji u navedenom dometu. Način rada WiMAX-tehnologije ipak je različit od načina rada Wi-Fi-tehnologije jer se spajanje u WiMAX-mreži obavlja preko WiMAX-tornja i WiMAX-prijamnika (Padarić, Kukec, 2009).

3.3 ZigBee

IEEE je razvio i standard 802.15.4 koji je zapravo namijenjen za stvaranje bežičnih privatnih mreža s malom propusnošću LR-WPAN (engl. *Low Rate Wireless Personal Area Networks*) i koji je podloga mrežnomu protokolu ZigBee. Osim što je znan po maloj propusnosti, znan je i po maloj potrošnji energije – većinom ga rabe elektronički uređaji malih dimenzija i niske potrošnje energije. Komunikacija između uređaja se odvija preko digitalnih odašiljača i prijamnika. Standard mreže se sastoji od samo triju uređaja: to su mrežni koordinator, usmjernik i krajnji uređaj (Hadimović, 2009).

3.4 IrDA

Tehnologija Infrared (IrDA – engl. *Infrared Data Association*) prethodila je Bluetoothu, a svoj vrhunac doživjela je u 90-im godinama prošloga stoljeća kada je omogućila komuniciranje računalima preko kratkoga dometa bežičnih signala (Mitchell, 2020). Ova tehnologija rabi radiofrekvencijski spektar kojim se obuhvaća elektromagnetsko zračenje određene veličine. To su veličine koje su veće od valne duljine vidljive crvene svjetlosti, a manje od valne duljine radiovalova. Optimalna razdaljina za porabu tehnologije Infrared je do jedan metar. Danas se čovjek služi ovom tehnologijom svakodnevno i to ponajviše u svojem vlastitom domu, pa tako npr. daljinski upravljač rabi navedenu tehnologiju za upravljanje televizorom (Hadimović, 2009).

3.5 RFID

Radiofrekvencijska identifikacija (RFID – engl. *Radio Frequency Identification*) je tehnologija koja jednostavno zamjenjuje crtične kodove, a identifikacija se odvija s pomoću radiovalova. Osnovni pojmovi ove tehnologije su RFID-oznaka ili *tag*, RFID-čitač ili čitač *tagova* i računalo koje služi kao program za obradbu. *Tag* može slati beskonačno različite informacije

o objektu, bila to cijena, boja, datum proizvodnje, nadnevak isteka roka trajanja itd. Danas čovjek rabi RFID-tehnologiju prigodom evidencije masovnih prolazaka (granični prijelazi, autoceste) ili prigodom evidencije životinja, a sve veću primjenu nalazi u proizvodnji i skladištenju (Hadimović, 2009).

3.6 HomeRF

HomeRF (engl. *Home Radio Frequency*) se rabi za prijenos zvuka, slike i podataka unutar ureda. HomeRF omogućava normalno odvijanje komunikacije između dvaju ili više računala, ali i između računala i drugih uređaja koji se svakodnevno rabe u uredima (npr. telefoni, pisači, zvučnici, kamere). Jedna od glavnih primjena HomeRF-a je zajednička poraba periferne infrastrukture (pisača, interneta, veza) između više PC-a (Hadimović, 2009).

3.7 Wi-Fi

Iako se danas pojmovi Wi-Fi i WLAN rabe kao istoznačnice, WLAN obilježava bilo koju bežičnu lokalnu mrežu, bez obzira na to koja se tehnologija rabi, dok je Wi-Fi vrsta WLAN-a koja rabi standarde IEEE 802.11 (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Većina današnjih bežičnih lokalnih mreža rabi skup standarda 802.11. Navedeni skup standarda definira obličje i strukturu signala kratkoga dometa. Poslije je mijenjan proširkama standardima 802.11a i 802.11b zbog veće brzine (11 do 54 Mbps), a poslije su se pojavili i 802.11g i 802.11n (Rabbit, 2008). Jedan od najnovijih standarda je 802.11ac, znan kao 5G Wi-Fi, a brzine sežu od 1 Gb/s do 7 Gb/s (Henry, 2013). Najjednostavnije rečeno, Wi-Fi je prijenos radiosignala za koje nije potrebna poraba žice. Spajanje bez žice imalo je velike prednosti ne samo jer je jednostavnije za porabu, nego i povoljnije – kabeli se ne moraju postavljati na mjesta gdje bi to bilo preskupo. Velika je prednost Wi-Fi-ja što ne veže korisnika za jedno mjesto, nego daje slobodu da korisnik mijenja smještaj po želji. Uređaji koji se spajaju preko Wi-Fi-ja imaju prilagodnike kojima se priključuju na pristupnu točku (Rabbit, 2008). Pristupna točka je uređaj koji šalje signal preko kojega će se korisnici spojiti i povezati na Wi-Fi.

4. Elektromagnetska interferencija

Danas svi elektronički uređaji odašilju elektromagnetsku energiju (EM energiju). Proizvođači uređaja moraju imati na umu elektromagnetsku energiju prigodom projektiranja uređaja. U suprotnom može se dogoditi da je EM-zračenje toliko jako da ometa drugi uređaj i onemogućuje njegov rad – tj. dolazi do interferencije. „Elektromagnetska interferencija (EMI) je bilo koji signal ili odašiljanje koje se upućuje u slobodan prostor ili se kreće duž vodova napajanja ili signala, a koje ugrožava funkcioniranje radionavigacije ili druge sigurnosne usluge ili ozbiljno smanjuje, ometa ili kontinuirano prekida licenciranu uslugu radiokomunikacija“ (Dell.com, 2021). Najjednostavnije rečeno, EMI je poremećaj koji utječe na rad ostalih uređaja ili sustava, a uzrokovan je odašiljanjem elektromagnetskih valova.

EMI je danas česta pojava u svakodnevnicu čovjeka, a postoje dva izvora nastanka interferencije:

- Fizički kontakt između izvora i obuhvaćenoga uređaja
- Zračenjem (ne postoji fizička veza između izvora i obuhvaćenoga uređaja)

Izvori interferencije mogu biti naravnoga tipa, kao što su munje i oluje ili mogu biti umjetnoga tipa, stvorene od samoga čovjeka. Takve interferencije umjetnoga tipa mogu se podijeliti u dvije skupine (Phalguni, 2020):

- Nenamjerno izazvane – određene sastavnice jednoga uređaja mogu ometati rad druge sastavnice u okružju ili drugoga uređaja u okružju. Najuobičajeniji izvori nenamjernih interferencija su mobiteli, prijenosna računala, medicinska oprema, uređaji za zračenja, pa čak i sušila za kosu i klimauređaji.
- Namjerno izazvane – u nekim prijetećim situacijama, kao što je ratno stanje, radari mogu odašiljati veliku snagu kako bi izazvali kobne smetnje unutar neprijateljskih radara i komunikacijskih sustava.

4.1 Interferencija u bežičnim mrežama

U bežičnim mrežama radiovalovi se rabe kao medij za širenje signala, a za rad uređaja i prijenos podataka u mreži nisu potrebne žičane veze. Zbog toga je bežični prijenos izrazito podložan različitim vrstama interferencije. Spomenut će se neki od najčešćih čimbenika koji utječu na rad Wi-Fi-mreža (Keenetic, 2021).

1. Ostali Wi-Fi-uređaji (pristupne točke, bežični uređaji poput kamere, mikrofona i sl.) koji rade unutar dometa tekućega uređaja i rabe isti frekvencijski pojas.

Wi-Fi-uređaji su vrlo osjetljivi, pa čak i na male smetnje koje stvaraju drugi uređaji koji rade na istom frekvencijskom pojasu. Bežične mreže rabe dva frekvencijska pojasa – 2,4 i 5 GHz. Bežične mreže 802.11b/g rade u pojasu 2,4 GHz, 802.11a mreže u pojasu 5 GHz i 802.11n mreže u pojasi 2,4 GHz i 5 GHz.

2. Visoka jačina Wi-Fi-signalâ

Ako je radijski zrak vrlo opterećen (postoje mnoge bežične mreže čiji je signal visok), može se opaziti utjecaj unutar- i međukanalnih smetnjâ. Navedene smetnje isto tako utječu na rad mreže. Smetnje povećavaju razinu buke, a što je veća razina buke, to je slabija komunikacijska stabilnost zbog stalnoga prosljeđivanja paketa. U tom slučaju preporučuje se smanjivanje prijenosne snage na pristupnoj točki na od 50 do 70%.

3. Bluetooth-bežični uređaji

Bluetooth-uređaji, bežične tipkovnice i miševi koji rade u dometu Wi-Fi-uređaja rade u frekvencijskom pojasu 2,4 GHz i stoga mogu utjecati na rad pristupne točke i drugih Wi-Fi-uređaja.

4. Velike razdaljine između Wi-Fi-uređaja

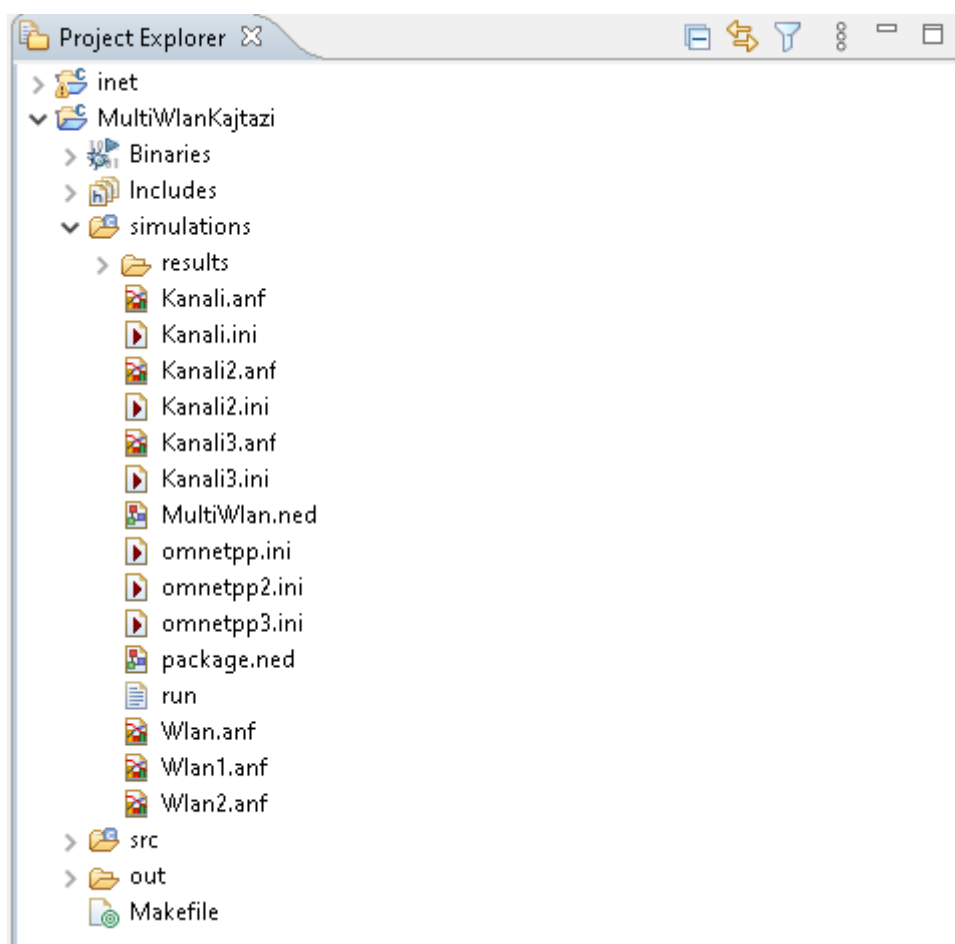
Wi-Fi-bežični uređaji ipak imaju svoju granicu što se tiče razdaljine koju pokrivaju. Razdaljine variraju i ovise o više čimbenika (npr. vrsti usmjernika koji se rabi), a svakako je moguće pokriti veću razdaljinu na otvorenom području. Unutar prostorije Wi-Fi-uređaji mogu biti ograničeni i na nekoliko metara, a sve ovisi o samoj prostoriji (debljini i raspodjeli zidova).

5. Preprjeke

Kada se govori o preprjekama, misli se na zidove, stropove, namještaj, kovana vrata i slično. To su sve preprjeke koje se nalaze između Wi-Fi-uređaja i mogu djelomično ili znatno upiti radiosignale, što znači da će doći do djelomičnoga ili potpunoga gubitka signala. U gradovima su glavne preprjeke radiosignalima zgrade čiji su zidovi izgrađeni od betona i armature lima. Čak i stvari poput zrcala ili zatamnenih stakala mogu uzrokovati smetnje, a treba imati na umu i da ljudsko tijelo slabi signal.

5. Simuliranje prve mreže

U ovom radu se za potrebe simulacije međusobne interferencije u bežičnim lokalnim računalnim mrežama služi OMNeT++-om. OMNeT++ je sastavnica temeljena na programskom jeziku C++ koja se rabi prvenstveno za izgradnju mrežnih simulatora, a ona je proširiva i modularna (<https://omnetpp.org/>). U ovom poglavlju prikazuje se simulacija jedne mreže i važno je napomenuti da simulator ne podupire simulacije odvojenih okružja te su iz toga razloga uređaji koji se ne rabe namjerno stavljeni u pasivno stanje bez konfiguracije i trenutačno ne utječu na ovu mrežu.



Slika 3. Project Explorer u OMNeT++-u

OMNeT++ rabi NED-datoteke za definiranje sastavnica i njihovo okupljanje u veće jedinice poput mreža.

INET – INET Framework je model *open-source* za simulacijsko okruženje OMNeT++. Pruža protokole, agente i druge modele za istraživače i studente koji rade s komunikacijskim mrežama. INET sadržava modele za brojne žične i bežične protokole, opširan model fizičkoga sloja, modele primjenskih programa.

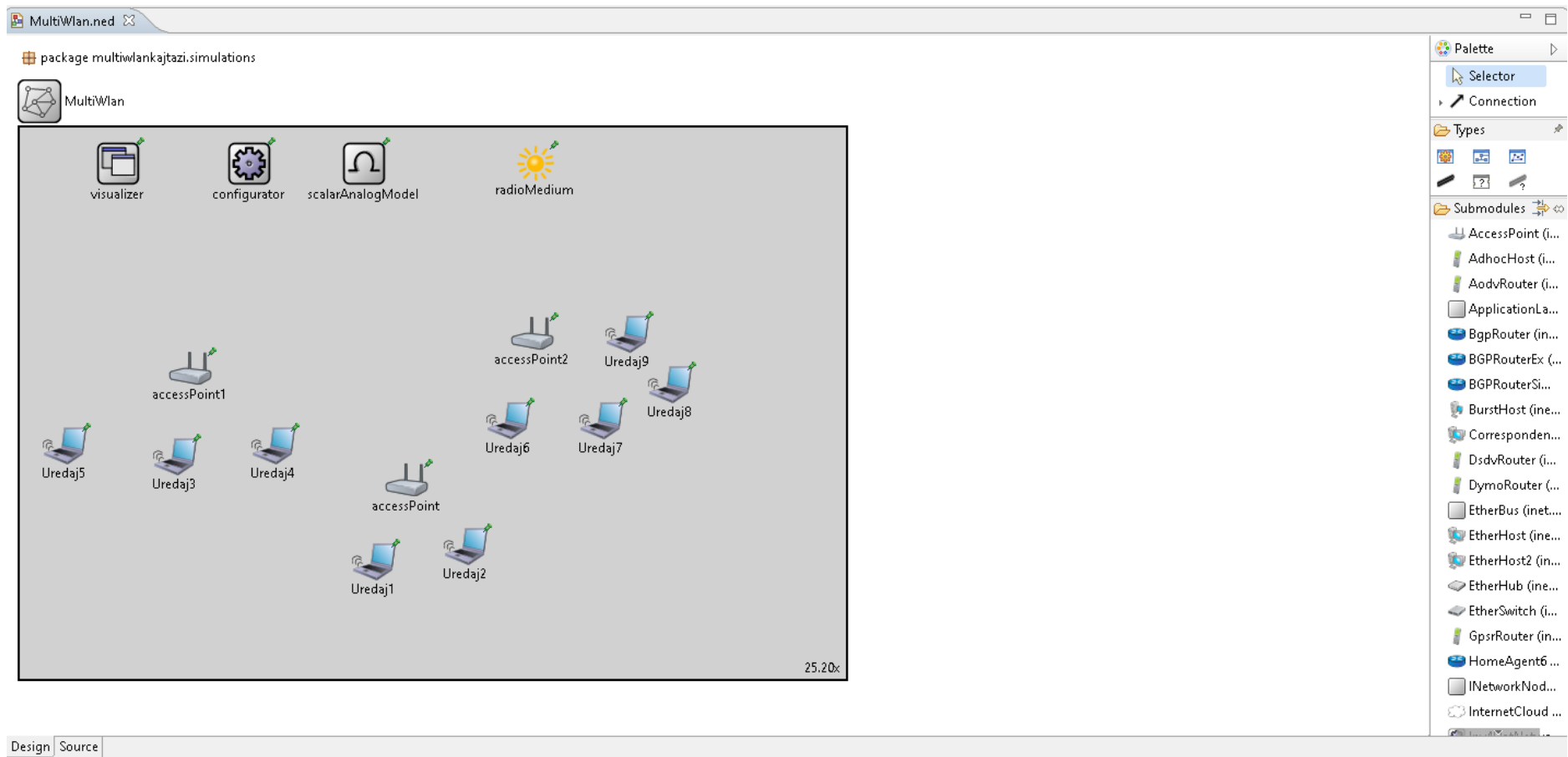
`.ini` – sadržava postavke (koje se konfiguriraju po korisniku) te navodi kako se simulacija izvodi, vrijednosti parametara modela te koja se predefinirana mreža želi simulirati.

`.ned` – NED-datoteka može sadržavati deklaraciju paketa. Deklaracija paketa rabi ključnu riječ *package* i navodi paket za definiranje NED-datoteke. Ako ne postoji deklaracija paketa, sadržaj datoteke nalazi se u paketu *default* kao u ovom slučaju.

`.anf` – u OMNeT++-u 4.x, oruđe za statističku analizu uklopljeno je u okružje *Eclipse*. Korisničke postavke (tj. korisnički recept za pronalaženje rezultata iz sirovih podataka) bit će zabilježene u datotekama za analizu (`.anf`).

U *design modeu* se mogu stvarati/dodavati moduli, kanali i sastavnice raznih vrsta s pomoću izbornika *drag and drop* s desne strane, a ujedno služi kao i vizualna reprezentacija mreže koja će se poslije simulirati.

S druge strane *source mode* omogućuje korisniku da izravno radi s kodom *NED source* i kao takav dopušta ručni unos gore navedenih stavaka. Isto tako se provjerava tijekom rada korisnika te se pogreške prikazuju u stvarnom vremenu na lijevoj margini što vele pomaže u radu. Primjer vlastite mreže u navedenom *modeu* nalazi se na sljedećoj slici.



Slika 4. Prikaz datoteke .ned u *design modeu*

```

package multiwlan.kajtazi.simulations;

import inet.networklayer.configurator.ipv4.Ipv4NetworkConfigurator;
import inet.node.inet.Router;
import inet.node.inet.WirelessHost;
import inet.node.wireless.AccessPoint;
import inet.physicallayer.analogmodel.packetlevel.ScalarAnalogModel;
import inet.physicallayer.ieee80211.packetlevel.Ieee80211ScalarRadioMedium;
import inet.visualizer.integrated.IntegratedMultiCanvasVisualizer;

network MultiWlan
{
    parameters:
        @display("bgb=30,20");

        @figure[title](type=label; pos=1,0; anchor=sw; );
        @figure[rcvdPkText](type=indicatorText; pos=13,18; anchor=w; font=,1; textFormat="X: %g"; initialValue=0);
        @statistic[packetReceived](source=Uredaj2.app[0].packetReceived; record=figure(count); targetFigure=rcvdPkText);
    submodules:
        visualizer: IntegratedMultiCanvasVisualizer {
            parameters:
                @display("p=3.610985,1.341223");
        }
        radioMedium: Ieee80211ScalarRadioMedium {
            parameters:
                @display("p=18.769188,1.2697971");
        }
        configurator: Ipv4NetworkConfigurator {
            parameters:
                @display("p=8.356852,1.341223");
        }
        Uredaj1: WirelessHost {
            @display("p=12.856696,15.753421");
        }
        Uredaj2: WirelessHost {
            @display("p=16.189913,15.197885");
        }
        Uredaj3: WirelessHost {
            @display("p=5.6347246,11.944029");
        }
        Uredaj4: WirelessHost {
            @display("p=9.206029,11.547217");
        }
        Uredaj5: WirelessHost {
            @display("p=1.6269276,11.547217");
        }
        Uredaj6: WirelessHost {
            @display("p=17.737478,10.634551");
        }
        Uredaj7: WirelessHost {
            @display("p=21.110376,10.634551");
        }
        Uredaj8: WirelessHost {
            @display("p=23.61029,9.325072");
        }
        Uredaj9: WirelessHost {
            @display("p=22.062725,7.499739");
        }
        accessPoint: AccessPoint {
            parameters:
                @display("p=14.047131,12.777333");
        }
        accessPoint1: AccessPoint {
            @display("p=6.190261,8.729856");
        }
        accessPoint2: AccessPoint {
            @display("p=18.610464,7.460058");
        }
        scalarAnalogModel: ScalarAnalogModel {
            @display("p=12.499565,1.3094783");
        }
}

```

Slika 5. Prikaz datoteke .ned u source modeu

Prvo je potrebno definirati parametre na sljedeći način:

1. Stvaranje mreže – stvorena je lokalna mreža 15x15.
2. Praćenje uspješnih paketa definirano je biljegom „X“ i početni iznos je stavljen na 0.
3. Uvedeno je praćenje paketa za Uređaj B kako ono služi kao primarni izvor informacija poslije kada se gledaju interferencije.

Sljedeći korak je dodavanje *submodulea*:

1. *Visualizer* – služi za dodavanje animacija kako bi mogao pobliže vizualizirati putanju paketa i doseg uređaja
2. *Configurator* – ovaj modul dodjeljuje adrese IPv4 i postavlja statičko usmjeravanje za mrežu IPv4. Dodjeljuje IP-adrese po sučelju, nastoji uzeti u obzir podmreže, a također može optimizirati generirane usmjerne tablice spajanjem usmjernih unosa.
3. *radioMedium* – model medija opisuje zajednički fizički medij na kojem se odvija komunikacija. Prati radio, izvore buke, tekuće prijenose, buku podloge i ostale trajne zvukove i trebaju ga sve bežične simulacije koje rabe INET. Medij izračunava kada, gdje i kako prijenosi i šumovi dolaze na prijarnike. Također učinkovito nudi skup ometajućih prijenosa i zvukova za prijarnike.
4. *WirelessHost* – modelira *hosta* s jednom bežičnom karticom u infrastrukturnom načinu. Služi kao uređaj u lokalnoj mreži. U biti se ponaša kao *StandardHost* samo je prekonfiguriran za rad u bežičnoj mreži.
5. *AccessPoint* – opća pristupna točka koja podržava više bežičnih radija i više priključaka *Ethernet*. U ovom radu *AccessPoint* se rabi kao usmjernik *Wireless* i konfigurira se s jednim sučeljem 802.11.
6. *ScalarAnalogModel* – ovaj analogni model računa sa skalarnom analognom reprezentacijom snage. Drugim riječima, snaga signala se ne mijenja tijekom vremena ili frekvencije, osim granica signala.

Kada su postavljeni mreža i fizički moduli/podmoduli, potrebno je konfigurirati mrežu za rad na način i svrhu koja je odgovarajuća. Upravo ta konfiguracija u OMNeT++-u se izvodi preko datoteke `.ini`.

```
MultiWlan.ned  onnetpp.ini  [
[Config Wlan]
network = MultiWlan
sim-time-limit = 20s

*.Uredaj*.ipv4.arp.typename = "GlobalArp"

*.Uredaj*.*.bitrate = 1Mbps

*.accessPoint.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint.wlan[0].mgmt.ssid = "Dorijan-2.4ghz"

*.Uredaj1.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"
*.Uredaj2.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"

*.Uredaj1.numApps = 1
*.Uredaj1.app[0].localPort = 2000
*.Uredaj1.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj1.app[0].destAddresses = "Uredaj2"
*.Uredaj1.app[0].destPort = 1000
*.Uredaj1.app[0].messageLength = 1000B
*.Uredaj1.app[0].sendInterval = 15ms
*.Uredaj1.app[0].packetName = "UDP"

*.Uredaj2.numApps = 1
*.Uredaj2.app[0].typename = "UdpSink"
*.Uredaj2.app[0].localPort = 1000

**.numMediumVisualizers = 4
**.displaySignals = true

*.visualizer.mediumVisualizer[0].nodeFilter = "Uredaj1"
*.visualizer.mediumVisualizer[0].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].nodeFilter = "Uredaj2"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].signalColor = "blue"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].interfaceFilter = "wlan[0]"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].interfaceFilter = "wlan[1]"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].signalColor = "blue"

*.visualizer.mediumVisualizer[3].signalColor = "blue"

*.visualizer.numDataLinkVisualizers = 2
*.visualizer.dataLinkVisualizer[*].displayLinks = true
*.visualizer.dataLinkVisualizer[*].activityLevel = "peer"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].nodeFilter = "Uredaj1 or accessPoint"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].lineColor = "red"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].labelColor = "red"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].nodeFilter = "accessPoint or host2"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].lineColor = "darkblue"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].labelColor = "darkblue"

*.visualizer.interfaceTableVisualizer[0].displayInterfaceTables = true
*.visualizer.interfaceTableVisualizer[0].placementHint = "top"
*.visualizer.ieee80211Visualizer[0].displayAssociations = true

*.Uredaj*.wlan[0].radio.displayCommunicationRange = true
]
```

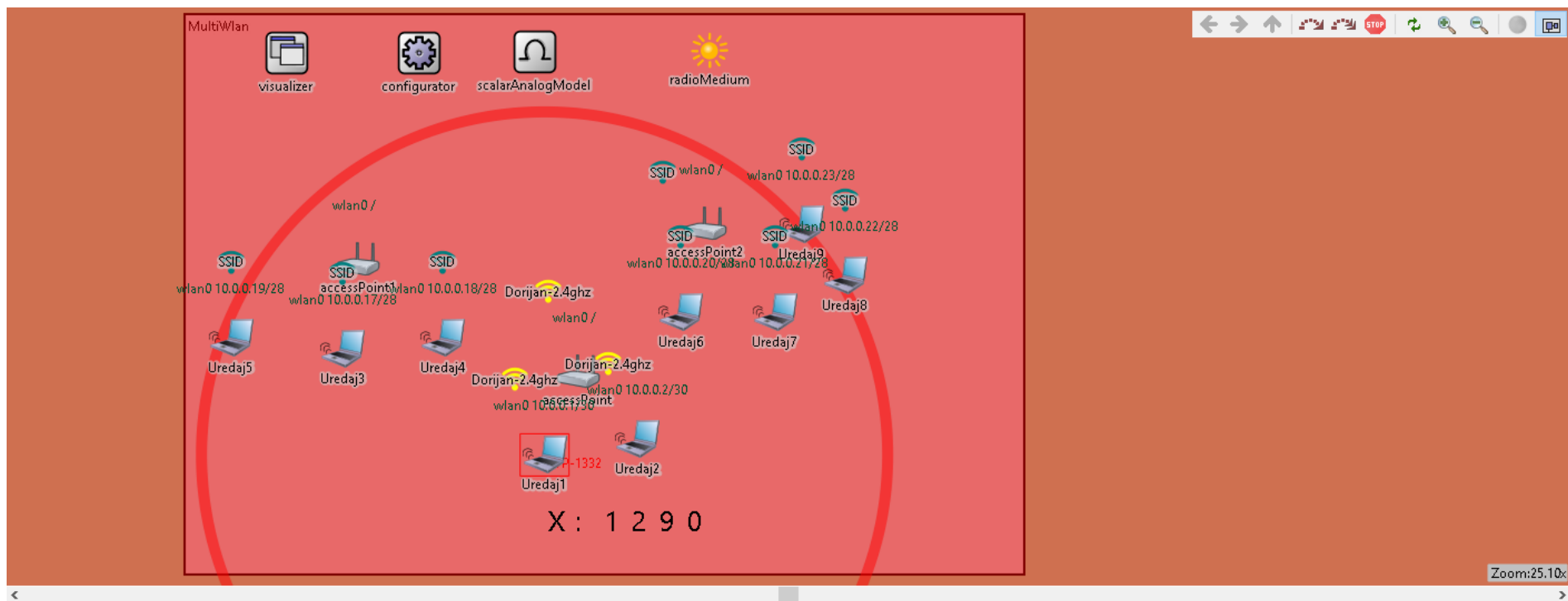
Slika 6. Prikaz konfiguracije .ini, prva mreža

Prije nego što se krene dalje, važno je objasniti nekoliko važnih pojmova koji su povezani s kodom na slikama.

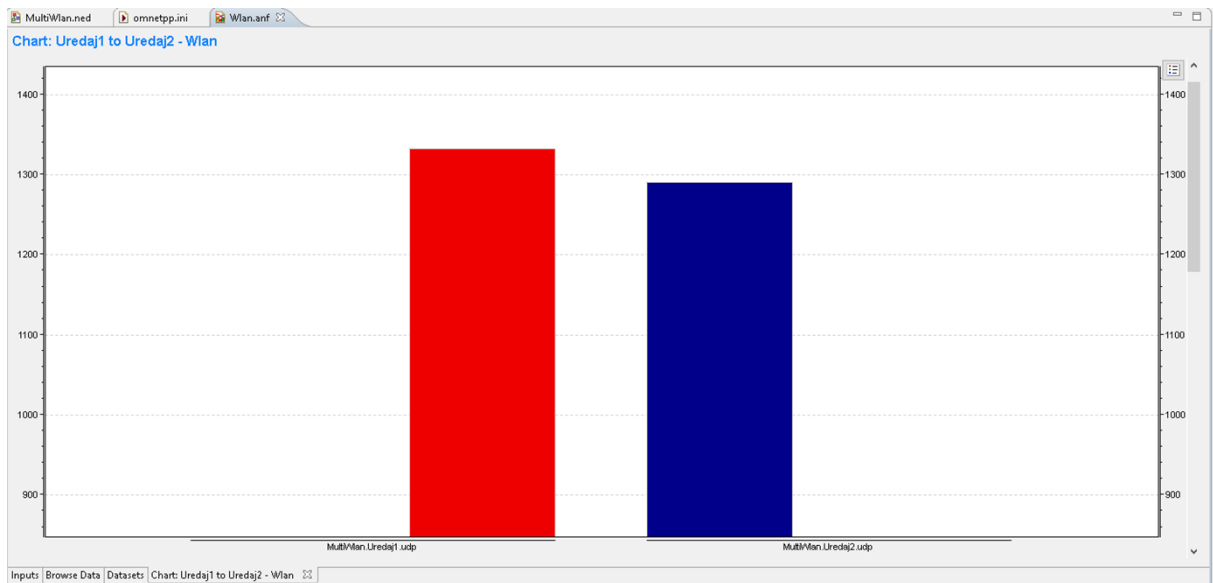
Tablica 3. Objašnjavanje konfiguracijskih pojmova u `OMNeT.ini`

Naziv	Objasnidba
<i>GlobalArp</i>	Ovaj modul omogućuje globalno razrješavanje adresa bez razmjene paketa.
<i>UdpBasicApp</i>	Šalje paket UDP na zadanu IP-adresu u zadanom razdoblju. Kompatibilan s IPv4 i IPv6.
<i>UdpSink</i>	Troši i ispisuje pakete primljene od modula UDP.
<i>Mgmt.SSID</i>	SSID obilježava „ <i>Service Set Identifier</i> “. Prema bežičnom mrežnom standardu IEEE 802.11 "skup usluga" odnosi se na skupinu bežičnih mrežnih uređaja s istim parametrima. Dakle, SSID je identifikator (naziv) koji govori koji se skup usluga (ili mreže) pridružuje. U ovom slučaju definira se naziv mreže <i>AccessPointa</i> kojemu se <i>WirelessHost</i> pridružuje.
<i>visualizer</i>	INET Framework može vizualizirati širok raspon događaja i stanja u mreži: padove paketa, povezivanje podatkovnih veza, gubitak bežične putanje signala, prijenosne veze, rute usmjernih tablica i mnoge druge. Vizualizacija je implementirana kao zbirka INET- modulâ koji se mogu konfigurirati i koji se po želji mogu dodati simulacijama.
<i>numApps</i>	Broj aplikacija na klijentima.
<i>Forwarding</i>	Nastavak dijeljenja UDP-paketa s uređaja na uređaj.
<i>Packetname</i>	Naziv paketa.

Za svaki uređaj je posebno zadano razdoblje slanja koje je izraženo u milisekundama. Sada kada su svi parametri postavljeni zajedno s konfiguracijom može se započeti sa simulacijom. Na sljedećoj slici prikazano je prvo ispitivanje u kojem su dva uređaja u lokalnoj mreži u međusobnoj komunikaciji dok su ostali uređaji namjerno stavljeni u nedjelatno stanje bez konfiguracije.



Slika 7. Simulacija prve mreže „Dorijan“



Slika 8. Ispitivanje u prvoj mreži – grafički prikaz primljenih i poslanih paketa

Uspješnom simulacijom Uredaj1 i Uredaj2 su se spojili na prekonfigurirani SSID Dorijan-2.4hgz te se samim tim stvorila prva jednostavna mreža WLAN u simulaciji. U ovoj simulaciji samo su ta dva uređaja bila djelatna te se prema grafičkom prikazu, vidljivom na slici iznad, koji je nastao izvlačenjem podataka iz .anf može vidjeti kako je Uredaj1 uspješno poslao 98% UDP-paketa k Uredaju2. Preciznije poslano je 1333, a primljeno je 1290 UDP-paketa.

6. Simulacija više mreža

U ovom poglavlju su konfigurirane dvije simulacije, točnije dodane su dvije mreže `Wlan1` i `Wlan2` kako bi se ispitala interferencija. Druga simulacija napravljena je između prve mreže iz prethodnog poglavlja `Dorijan` i mreže `Wlan1`, a treća simulacija između mreža `Dorijan`, `Wlan1` i `Wlan2` – odnosno svih triju mreža zajedno.

U sljedećoj datoteci `.ini` je prikaz konfiguracije pod SSID-om `Wlan1-2.4 GHz` koja će biti u bliskom kontaktu s WLAN-om `Dorijan-2.4 GHz`.

U ovom slučaju konfiguriran je drugi *AccessPoint* te mu je dodan SSID `wlan1-2.4ghz` i dodana su još tri *WirelessHosta* koji su spojeni na taj SSID. Važno je napomenuti da su `Uredaj3`, `Uredaj4` i `Uredaj5` u međusobnoj komunikaciji unutar svoje mreže što je vidljivo na konfiguraciji.

```

[Config Wlan1]
network = MultiWlan
sim-time-limit = 20s

*.Uredaj*.ipv4.arp.typename = "GlobalArp"

*.Uredaj*.bitrate = 1Mbps
**.accessPoint*.wlan[*].mgmt.beaconInterval = 150ms

*.accessPoint.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint.wlan[0].mgmt.ssid = "Dorijan-2.4ghz"

*.Uredaj1.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"
*.Uredaj2.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"

*.accessPoint1.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint1.wlan[0].mgmt.ssid = "Wlan1-2.4ghz"

*.Uredaj3.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"
*.Uredaj4.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"
*.Uredaj5.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"

*.Uredaj1.numApps = 1
*.Uredaj1.app[0].localPort = 2000
*.Uredaj1.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj1.app[0].destAddresses = "Uredaj2"
*.Uredaj1.app[0].destPort = 1000
*.Uredaj1.app[0].messageLength = 1000B
*.Uredaj1.app[0].sendInterval = 15ms
*.Uredaj1.app[0].packetName = "UDP"

*.Uredaj2.numApps = 1
*.Uredaj2.app[0].typename = "UdpSink"
*.Uredaj2.app[0].localPort = 1000

*.Uredaj3.numApps = 1
*.Uredaj3.app[0].localPort = 3000
*.Uredaj3.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj3.app[0].destAddresses = "Uredaj5"
*.Uredaj3.app[0].destPort = 5000
*.Uredaj3.app[0].messageLength = 1000B
*.Uredaj3.app[0].sendInterval = 90ms
*.Uredaj3.app[0].packetName = "UDP2"

*.Uredaj4.numApps = 1
*.Uredaj4.app[0].localPort = 4000
*.Uredaj4.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj4.app[0].destAddresses = "Uredaj3"
*.Uredaj4.app[0].destPort = 3000
*.Uredaj4.app[0].messageLength = 1000B
*.Uredaj4.app[0].sendInterval = 85ms
*.Uredaj4.app[0].packetName = "UDP3"

*.Uredaj5.numApps = 1
*.Uredaj5.app[0].localPort = 5000
*.Uredaj5.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj5.app[0].destAddresses = "Uredaj4"
*.Uredaj5.app[0].destPort = 4000
*.Uredaj5.app[0].messageLength = 1000B
*.Uredaj5.app[0].sendInterval = 25ms
*.Uredaj5.app[0].packetName = "UDP4"

**.numMediumVisualizers = 4
**.displaySignals = true

*.visualizer.mediumVisualizer[0].nodeFilter = "Uredaj1"
*.visualizer.mediumVisualizer[0].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].nodeFilter = "Uredaj2"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].signalColor = "blue"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].interfaceFilter = "wlan[0]"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].interfaceFilter = "wlan[1]"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].signalColor = "blue"

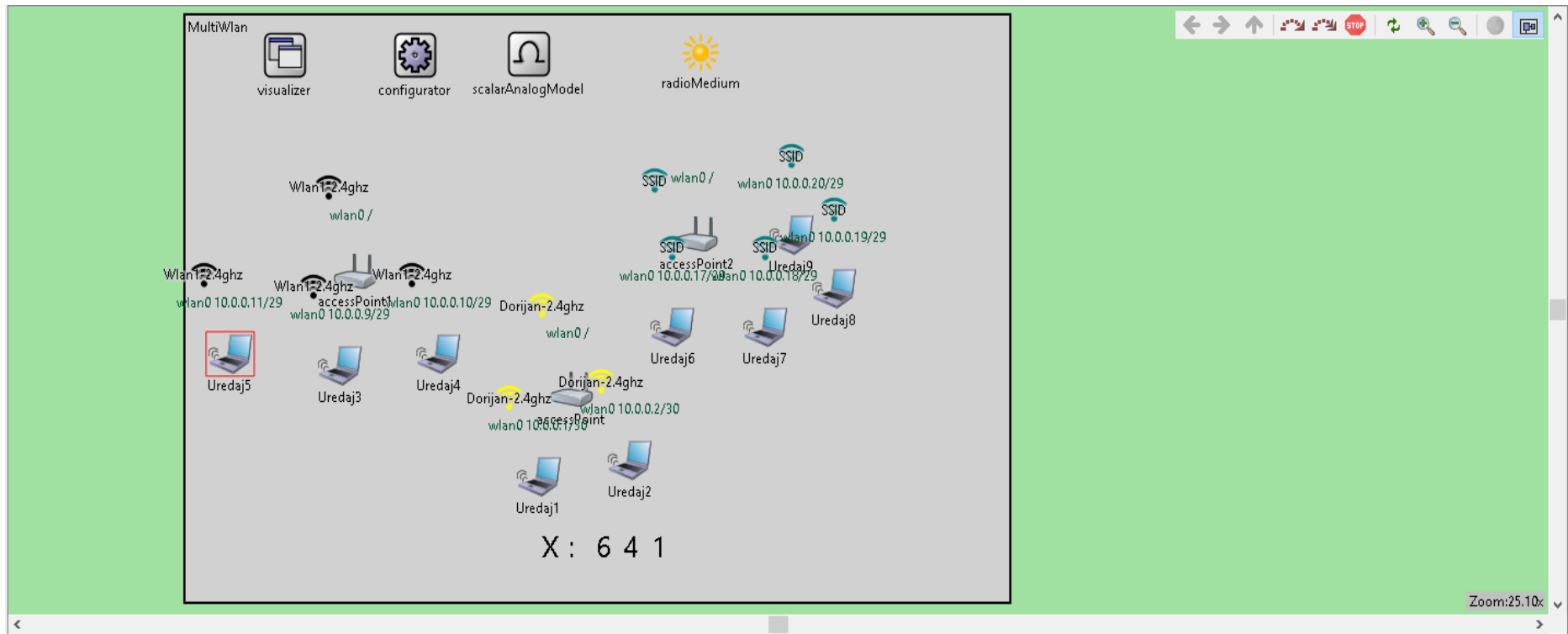
*.visualizer.mediumVisualizer[3].signalColor = "blue"

*.visualizer.numDataLinkVisualizers = 2
*.visualizer.dataLinkVisualizer[*].displayLinks = true
*.visualizer.dataLinkVisualizer[*].activityLevel = "peer"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].nodeFilter = "Uredaj1 or accessPoint"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].lineColor = "red"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[0].labelColor = "red"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].nodeFilter = "accessPoint or host2"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].lineColor = "darkblue"
*.visualizer.dataLinkVisualizer[1].labelColor = "darkblue"

*.visualizer.interfaceTableVisualizer[0].displayInterfaceTables = true
*.visualizer.interfaceTableVisualizer[0].placementHint = "top"
*.visualizer.ieee80211Visualizer[0].displayAssociations = true

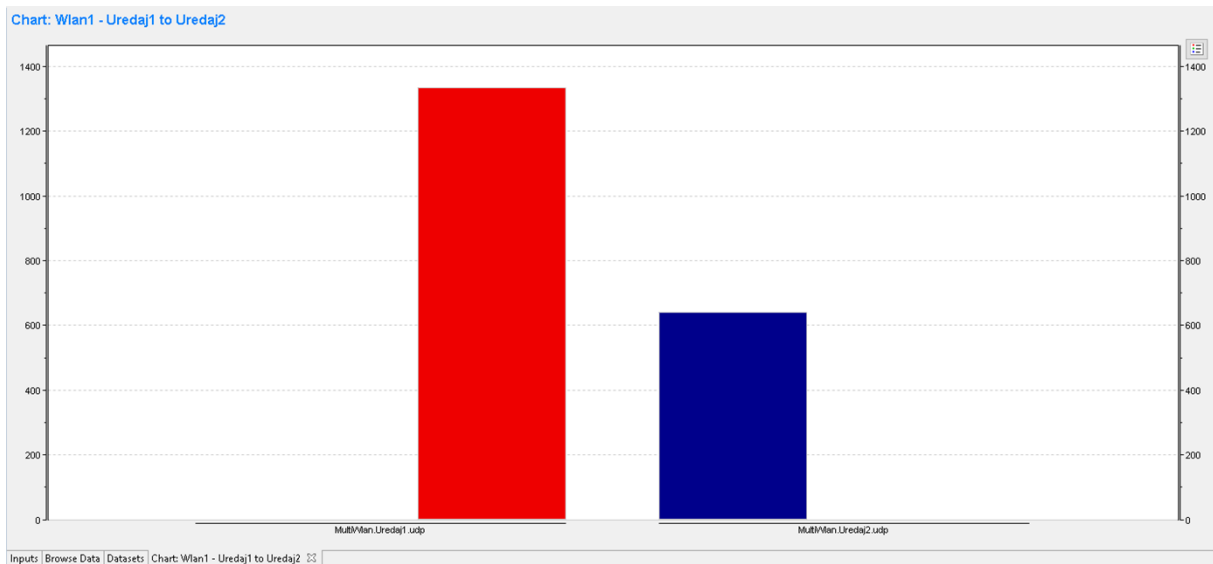
```

Slika 9. Prikaz konfiguracije .ini, druga mreža Wlan1



Slika 10. Simulacija međusobne interferencije mreža Wlan1 i Dorijan

Dodavanje druge mreže, u ovom slučaju wlan1-2.4ghz, uzrokovalo je pad paketa u drugoj mreži za otprilike 50%, preciznije poslano je 1333 UDP-paketa a primljeno ih je samo 641.



Slika 11. Grafički prikaz primljenih i poslanih paketa između mreža wlan1 i Dorijan

Uredaj1 ima prekonfigurirano slanje paketa na 15 ms:

```
*.Uredaj1.app[0].sendInterval = 15ms,
```

dok Uredaj3 ima na 90 ms:

```
*.Uredaj3.app[0].sendInterval = 90ms.
```

Jasno je da oba uređaja imaju isto razdoblje slanja na 90 ms ($15 \cdot 4 = 90$ ms) te dolazi do interferencije signala.

Uredaj4 ima razdoblje slanja prekonfiguriran na 85 ms:

```
*.Uredaj4.app[0].sendInterval = 85ms (85 \cdot 6 = 510, 15 \cdot 34 = 510).
```

Do interferencije između Uredaj1 i Uredaj4 dolazi na 510 ms, što znači da svaki 34. UDP-paket koji je poslan ne će biti primljen. Isto tako slijedi s Uredajem5 koji vrijeme slanja ima 25 ms:

```
*.Uredaj5.app[0].sendInterval = 25ms. (25 \cdot 6 = 150, 15 \cdot 10 = 150).
```

U trećoj datoteci .ini dodana je i treća mreža SSID-a wlan2. Ova mreža ima četiri uređaja u međusobnoj komunikaciji te su spojena na wlan2.

```

[Config Wlan2]
network = MultiWlan

*.Uredaj*.ipv4.arp.typename = "GlobalArp"

*.Uredaj*.*.bitrate = 1Mbps
*.accessPoint*.wlan[*].mgmt.beaconInterval = 100ms

*.accessPoint.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint.wlan[0].mgmt.ssid = "Dorijan-2.4ghz"

*.Uredaj1.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"
*.Uredaj2.wlan[0].agent.defaultSsid = "Dorijan-2.4ghz"

*.accessPoint1.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint1.wlan[0].mgmt.ssid = "Wlan1-2.4ghz"

*.Uredaj3.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"
*.Uredaj4.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"
*.Uredaj5.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan1-2.4ghz"

*.accessPoint2.numWlanInterfaces = 1
*.accessPoint2.wlan[0].mgmt.ssid = "Wlan2"

*.Uredaj6.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan2"
*.Uredaj7.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan2"
*.Uredaj8.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan2"
*.Uredaj9.wlan[0].agent.defaultSsid = "Wlan2"

*.Uredaj1.numApps = 1
*.Uredaj1.app[0].localPort = 2000
*.Uredaj1.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj1.app[0].destAddresses = "Uredaj2"
*.Uredaj1.app[0].destPort = 1000
*.Uredaj1.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj1.app[0].sendInterval = 15ms
*.Uredaj1.app[0].packetName = "UDP"

*.Uredaj2.numApps = 1
*.Uredaj2.app[0].typename = "UdpSink"
*.Uredaj2.app[0].localPort = 1000

*.Uredaj3.numApps = 1
*.Uredaj3.app[0].localPort = 3000
*.Uredaj3.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj3.app[0].destAddresses = "Uredaj5"
*.Uredaj3.app[0].destPort = 5000
*.Uredaj3.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj3.app[0].sendInterval = 90ms
*.Uredaj3.app[0].packetName = "UDP2"

*.Uredaj4.numApps = 1
*.Uredaj4.app[0].localPort = 4000
*.Uredaj4.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj4.app[0].destAddresses = "Uredaj3"
*.Uredaj4.app[0].destPort = 3000
*.Uredaj4.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj4.app[0].sendInterval = 85ms
*.Uredaj4.app[0].packetName = "UDP3"

*.Uredaj5.numApps = 1
*.Uredaj5.app[0].localPort = 5000
*.Uredaj5.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj5.app[0].destAddresses = "Uredaj4"
*.Uredaj5.app[0].destPort = 4000
*.Uredaj5.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj5.app[0].sendInterval = 125ms
*.Uredaj5.app[0].packetName = "UDP4"

*.Uredaj6.numApps = 1
*.Uredaj6.app[0].localPort = 6000
*.Uredaj6.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj6.app[0].destAddresses = "Uredaj7"
*.Uredaj6.app[0].destPort = 7000
*.Uredaj6.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj6.app[0].sendInterval = 185ms
*.Uredaj6.app[0].packetName = "UDP4"

*.Uredaj7.numApps = 1
*.Uredaj7.app[0].localPort = 7000
*.Uredaj7.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj7.app[0].destAddresses = "Uredaj6"
*.Uredaj7.app[0].destPort = 6000
*.Uredaj7.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj7.app[0].sendInterval = 225ms
*.Uredaj7.app[0].packetName = "UDP4"

*.Uredaj8.numApps = 1
*.Uredaj8.app[0].localPort = 8000
*.Uredaj8.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj8.app[0].destAddresses = "Uredaj9"
*.Uredaj8.app[0].destPort = 9000
*.Uredaj8.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj8.app[0].sendInterval = 325ms
*.Uredaj8.app[0].packetName = "UDP4"

*.Uredaj9.numApps = 1
*.Uredaj9.app[0].localPort = 9000
*.Uredaj9.app[0].typename = "UdpBasicApp"
*.Uredaj9.app[0].destAddresses = "Uredaj8"
*.Uredaj9.app[0].destPort = 8000
*.Uredaj9.app[0].messageLength = 10000
*.Uredaj9.app[0].sendInterval = 25ms
*.Uredaj9.app[0].packetName = "UDP4"

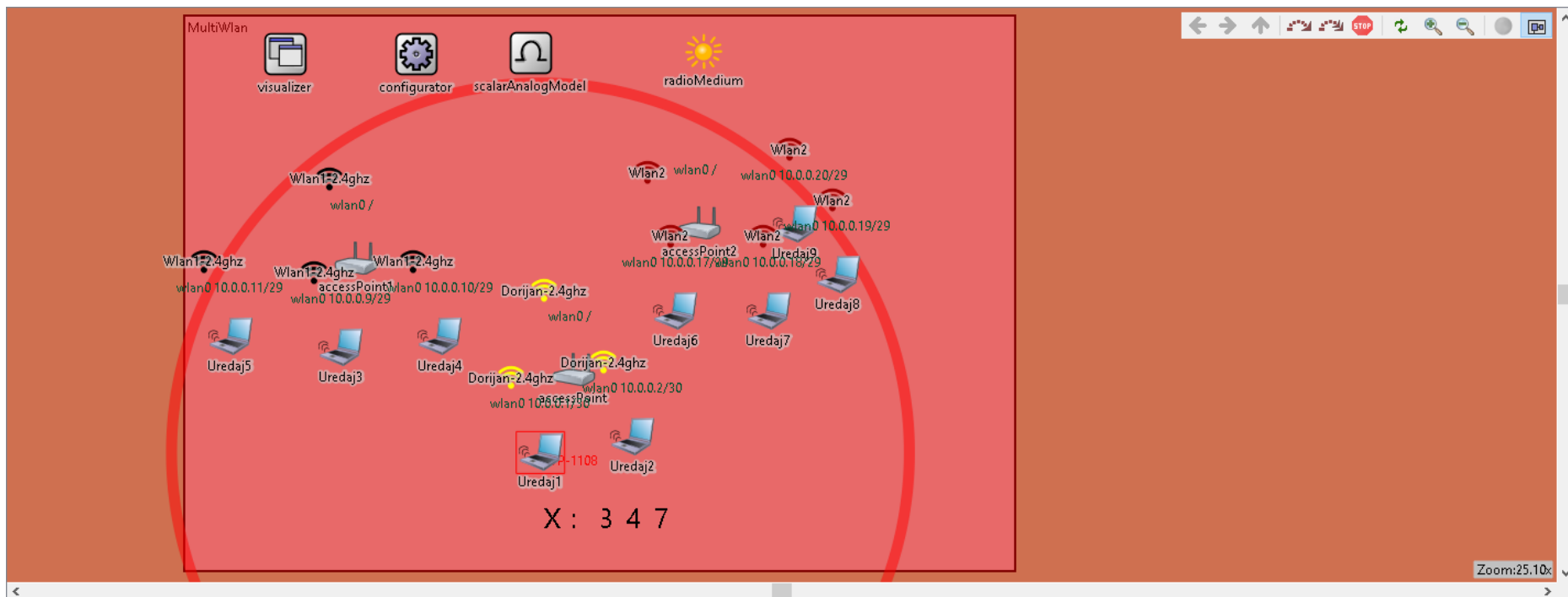
**.numMediumVisualizers = 4
**.displaySignals = true

*.visualizer.mediumVisualizer[0].nodeFilter = "Uredaj1"
*.visualizer.mediumVisualizer[0].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].nodeFilter = "Uredaj2"
*.visualizer.mediumVisualizer[1].signalColor = "blue"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].interfaceFilter = "wlan[0]"
*.visualizer.mediumVisualizer[2].signalColor = "red"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].nodeFilter = "accessPoint"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].interfaceFilter = "wlan[1]"
*.visualizer.mediumVisualizer[3].signalColor = "blue"

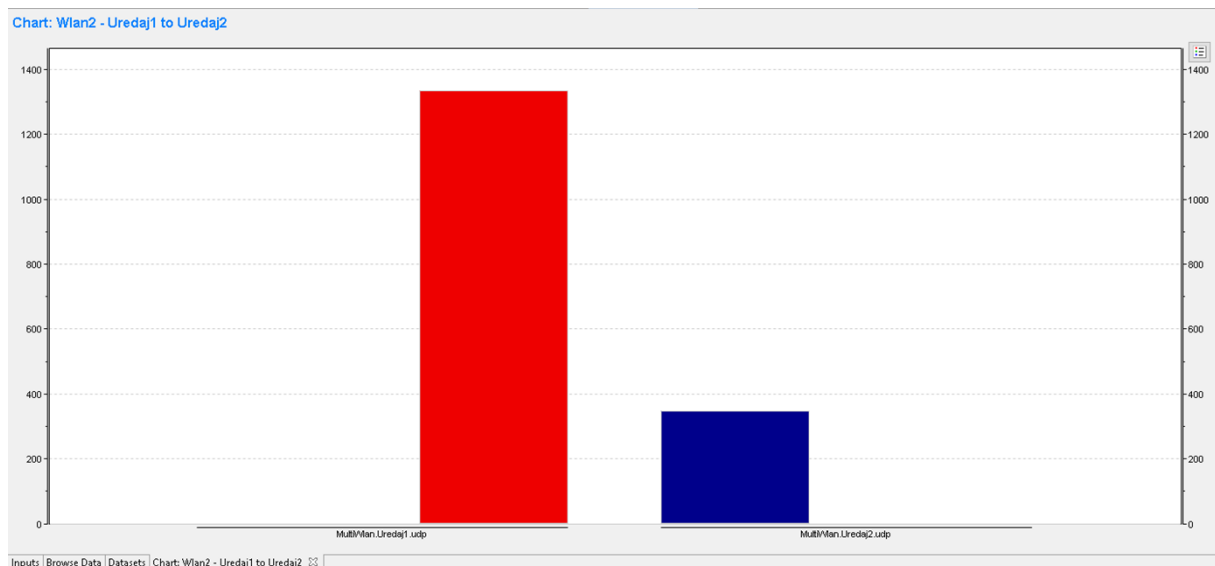
*.visualizer.numDataLinkVisualizers = 2

```

Slika 12. Prikaz konfiguracije .ini, treća mreža wlan2



Slika 13. Simulacija međusobne interferencije mreža wlan1, wlan2 i Dorijan



Slika 14. Grafički prikaz primljenih i poslanih paketa između wlan1, wlan2 i Dorijan

Dodavanje treće mreže uzrokovalo je pad paketa za 70%. Sve simulacije su bile postavljene na 20 ms.

Uredaj5:

*.Uredaj5.app[0].sendInterval = 125ms (125 • 3 = 375, 15 • 25 = 375)

Uredaj6:

*.Uredaj6.app[0].sendInterval = 185ms (185 • 3 = 555, 15 • 37 = 555)

Uredaj7:

*.Uredaj7.app[0].sendInterval = 225ms (225 • 2 = 450, 15 • 30 = 450)

Uredaj8:

*.Uredaj8.app[0].sendInterval = 325ms (325 • 3 = 975, 15 • 65 = 975)

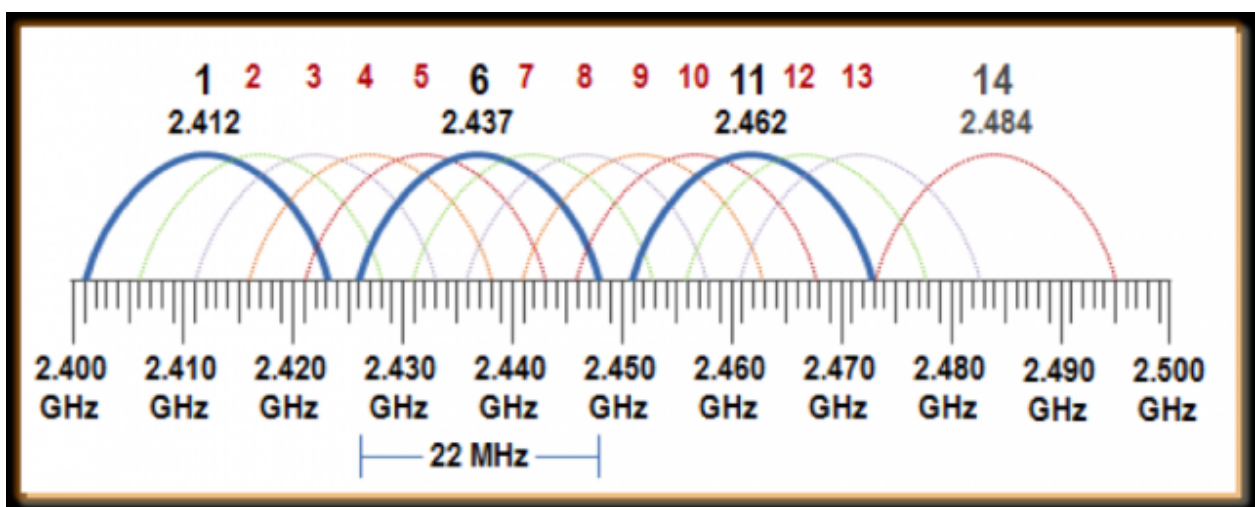
Uredaj9:

*.Uredaj9.app[0].sendInterval = 25ms (25 • 6 = 150, 15 • 10 = 150).

Iz navedenoga slijedi da kako bi ove tri mreže funkcionirale u neposrednoj blizini potrebno je odabrati neku vrstu mehanizma za smanjivanje interferencije.

7. Odabir mehanizma za smanjivanje interferencije

Kao mehanizam za smanjivanje interferencije odabrani su Wi-Fi-kanali. Na primjer, frekvencijski raspon od 2,4 GHz u 802.11g može rabiti ograničen broj kanala (13 u EU). Propusna širina prijenosa u 802.11g je 20 MHz, a kanali su razmaknuti 5 MHz. Tako se susjedni kanali preklapaju, a prijenos na tim kanalima može se međusobno ometati. Može postojati nekoliko neovisnih kanala, gdje nema međukanalnih smetnjâ, npr. Kanali 1, 6 i 11, kako je dolje ilustrirano.



Slika 15. Popis Wi-Fi-kanala u spektru 2,4 Ghz (Izvor: imgur)

Izrađena je simulacija treće mreže s trima datotekama .ini u kojoj svaka ima različite kanale kako bi se što bolje ispitao mehanizam za smanjivanje interferencije.

```
i *.accessPoint*.wlan[*].radio.radioMediumModule = "radioMedium"
i *.accessPoint.wlan[0].radio.channelNumber = 0
*.accessPoint1.wlan[1].radio.channelNumber = 6
*.accessPoint2.wlan[2].radio.channelNumber = 11
```

Slika 16. Dodavanja neovisnih kanala 1, 6, 11 u datoteci .ini

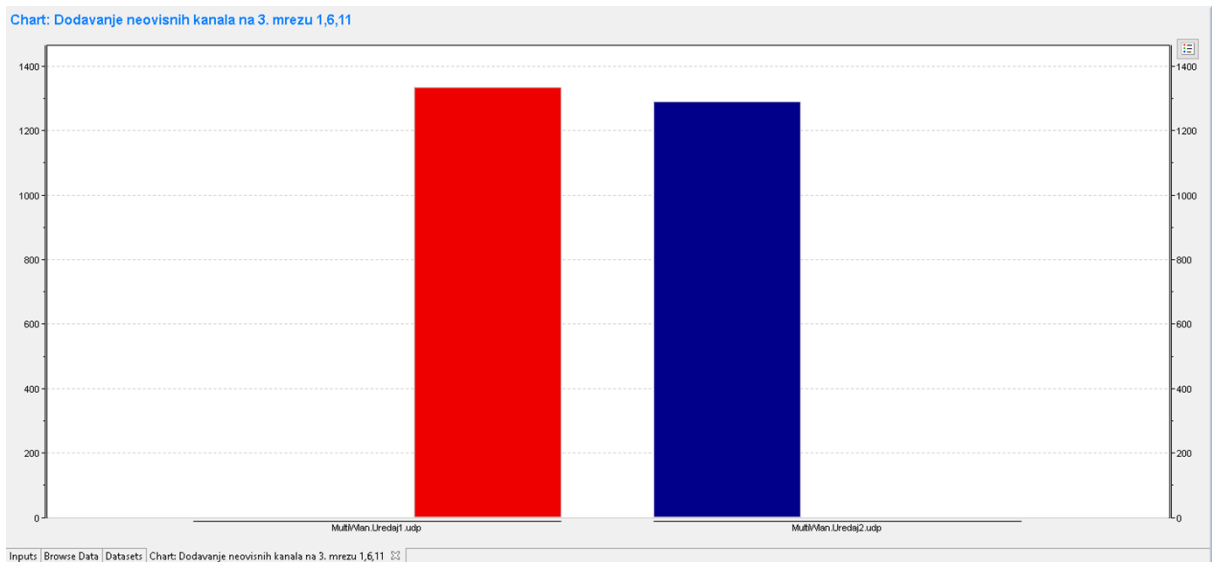
U ovom slučaju, uveden je jedan kanal za svaku mrežu, te su namješteni na neovisne kanale 1, 6, 11 jer je neophodno da ne dolazi do ikakve interferencije iz razloga što su mreže u neposrednoj blizini. U OMNeT++-u se početni kanal 1 obilježava 0, pa je zato jedinica zamijenjena ničicom na Sl.16.

Uvođenje kanala se je pokazalo uspješno, primljeni paketi popeli su se natrag na oko 98%. Uredaj1 poslao je 1333, a zaprimljeno ih je 1290 od Uredaja2.

U drugom slučaju, uvedeni su kanali (1, 1) za mrežu *Dorijan* te *Wlan2*, dok je *Wlan1* stavljen na posebni kanal (5).



Slika 17. Prva simulacija s dodanim neovisnim kanalima (1, 6, 11)



Slika 18. Ispitivanje nakon dodanih kanala – grafički prikaz primljenih i poslanih paketa

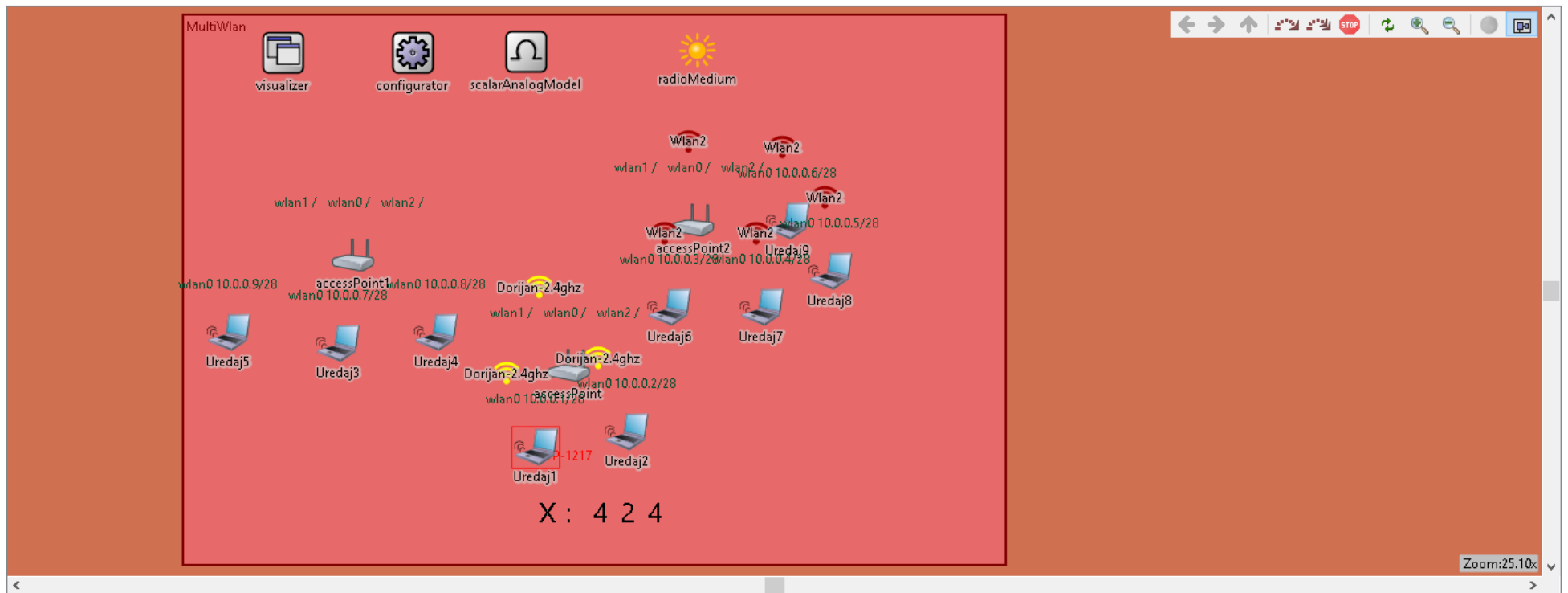
```

i *.accessPoint*.wlan[*].radio.radioMediumModule = "radioMedium"
i *.accessPoint.wlan[0].radio.channelNumber = 0
i *.accessPoint1.wlan[1].radio.channelNumber = 5
i *.accessPoint2.wlan[2].radio.channelNumber = 0

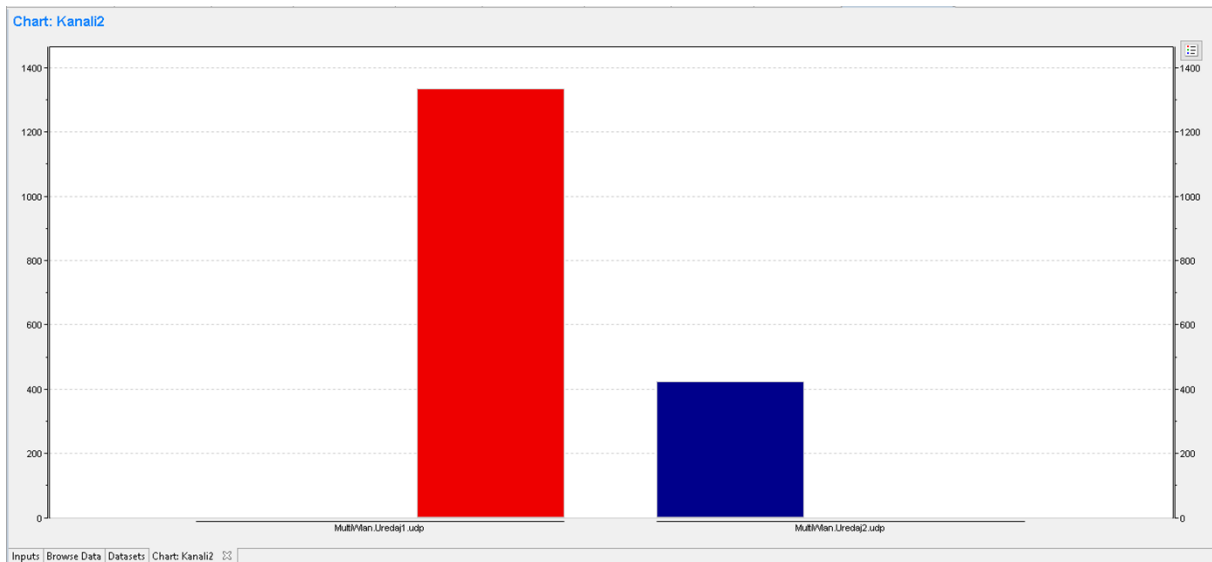
```

Form Source

Slika 19. Dodavanja kanala 1, 5, 1 u datoteci .ini



Slika 20. Druga simulacija s dodanim neovisnim kanalima (1, 5, 1)



Slika 21. Ispitivanje nakon dodanih kanala – grafički prikaz primljenih i poslanih paketa

Konfiguriranjem mreža na isti kanal i jedan zasebni uzrokovalo je pad paketa. Uredaj1 poslao je 1333 UDP-paketa, ali primljeno ih je samo 424.

U trećem slučaju sve tri mreže su stavljene na isti kanal (5).

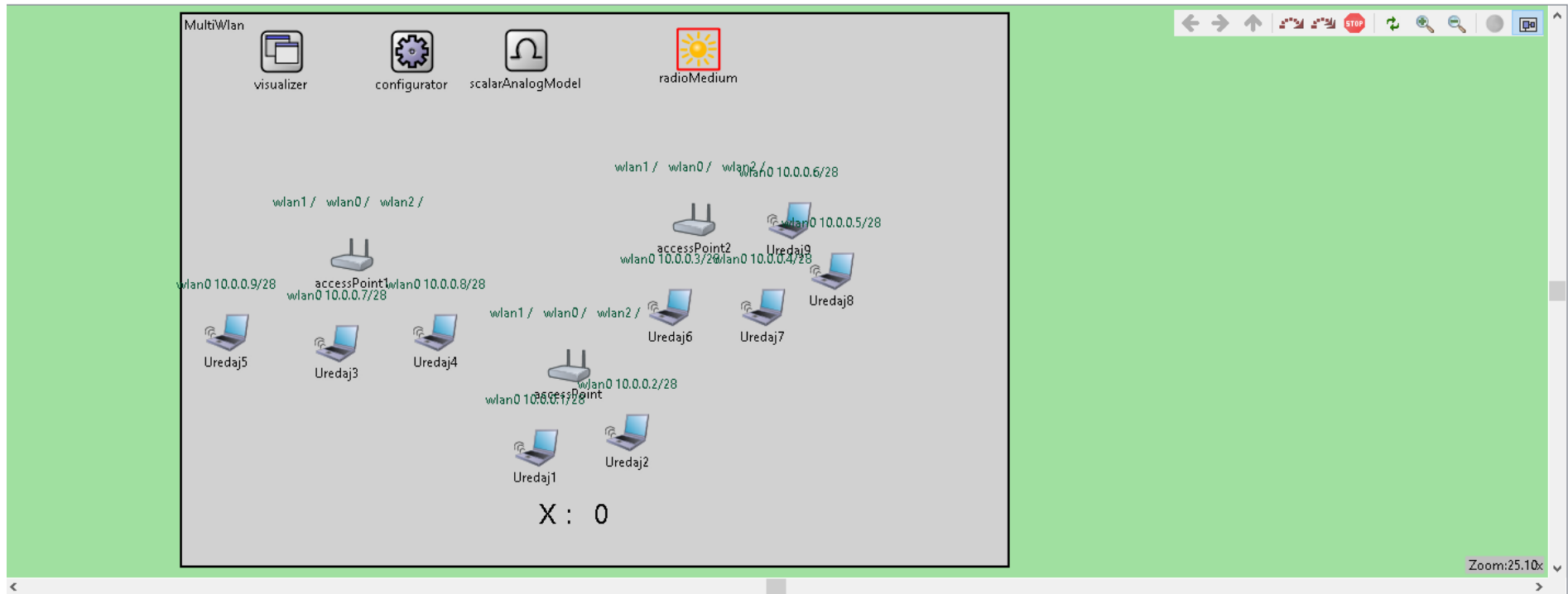
```

i *.accessPoint*.wlan[*].radio.radioMediumModule = "radioMedium"

*.accessPoint.wlan[0].radio.channelNumber = 5
*.accessPoint1.wlan[1].radio.channelNumber = 5
*.accessPoint2.wlan[2].radio.channelNumber = 5

```

Slika 22. Dodavanja svih istih kanala 5, 5, 5 u datoteci .ini



Slika 23. Treća simulacija s dodanim neovisnim kanalima (5, 5, 5)

Ni jedan UDP-paket nije prošao u simulaciji kada su sve tri mreže stavljene na iste kanale. Uređaji su se međusobno borili za prevlast na kanalu te nisu uspjeli poslati niti jedan UDP-paket.

8. Zaključak

Znano je da se u bežičnim mrežama radiovalovi rabe kao medij za širenje signala, a rad uređaja i prijenos podataka u mreži odvija se bez porabe kablskih veza. Zbog toga različite vrste smetnjâ utječu na bežične mreže.

Bežične smetnje nastaju kada nešto poremeti ili oslabi Wi-Fi-signal koji dolazi s bežičnoga usmjernika. Najtipičniji kanal za Wi-Fi-veze danas je u pojasu 2,4 GHz. Zapravo, smetnje mogu uzrokovati gotovo svi uređaji koji odašilju elektromagnetski signal. U praktičnom dijelu težište je bilo usmjereno na interferenciju između uređaja u lokalnoj mreži između triju neposredno bliskih mreža u funkciji. Pokazalo se je da što više uređaja odašilje u manjem pojasu dolazi do golemih interferencija između poslanih paketa. Kao moguće rješenje priložen je jedan od mehanizama bežičnih kanala – radiofrekvencijski (RF) spektar koji je od vitalne važnosti za bežičnu komunikacijsku infrastrukturu. Vele je pomogao smanjivanju interferencije u međusobno bliskim mrežama i smanjivanju izgubljenih paketa. Pokazalo se je da ako se žele maksimalna propusnost i minimalne smetnje, kanali 1, 6 i 11 su najbolji izbor jer ove postavke kanala neće dopustiti gotovo nikakvo preklapanje u Wi-Fi-signalu. Mnogi usmjernici po podrazumijevanim postavkama rabe isti kanal. Dakle, ako se ne promijeni Wi-Fi-kanal, usmjernik će vjerojatno rabiti iste kanale kao i svi drugi, što će omesti Wi-Fi-signal. Promjena Wi-Fi-kanala može se ostvariti pristupom usmjerniku.

Popis literature

Abramson, N. (2010) The Alohanet – surfing for wireless data. *IEE Communications Magazine*, 47(12): 21-25.

Androić, D. (2010) *Osnovna mrežna terminologija*. Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb

CARNet (2008) *Wierless forenzika*. Preuzeto 12.07.2021. s

<https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2008-04-225.pdf>

Dell (2021) *Elektromagnetska interferencija*. Preuzeto 20.07.2021. s

https://i.dell.com/sites/doccontent/shared-content/solutions/en/Documents/intro_emc_croatian_us.pdf

Hadimović, H. (2009) *WLAN bežične lokalne računalne mreže: Priručnik za brzi početak*, Zagreb: Impresum, Info press

Henry, A. (2013) *What Is 802.11ac and Will It Make My Wi-Fi Faster?*. Preuzeto 13.07.2021.

s <https://lifelifehacker.com/what-is-802-11ac-and-will-it-make-my-wi-fi-faster-5988340>

Jeren, B. i Pale, P. (2015) *Sustavi za vođenje i praćenje procesa*. Preuzeto 20.07.2021. s

<http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja/skripta/osi.pdf>

Keenetic (2021) *What affects Wi-Fi networks? The possible sources of interference*. Preuzeto 11.07.2021. s

<https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/213968709-What-affects-Wi-Fi-networks-The-possible-sources-of-interference>

Mitchell, B. (2020) *Objašnjeno je bežično lokalno umrežavanje*. Preuzeto 10.07.2021. s

<https://hr.eyewated.com/objasnjeno-je-bezicno-lokalno-umrezavanje/>

Mitchell, B. (2020) *Što je mrežno povezivanje i kako funkcionira*. Preuzeto 10.07.2021. s

<https://hr.eyewated.com/sto-je-mrezno-povezivanje-i-kako-funkcionira/>

OMNeTT++ (bez dat.) *INET Framework*. Preuzeto 10.07.2021. s

<https://doc.omnetpp.org/inet/api-current/neddoc/index.html>

OMNeTT++ (bez dat.) *Networks*. Preuzeto 01.07.2021. s

<https://inet.omnetpp.org/docs/users-guide/ch-networks.html>

OMNeTT++ (bez dat.) *Packages*. Preuzeto 01.07.2021. s

<https://doc.omnetpp.org/inet/api-current/neddoc/packages.html>

OMNeTT++ (bez dat.) *Simulation Manual* (Version 5.6.1). Preuzeto 01.07.2021. s

<https://doc.omnetpp.org/omnetpp/manual/>

OMNeTT++ (bez dat.) *Using CSMA to better utilize the medium*. Preuzeto 01.07.2021. s <https://inet.omnetpp.org/docs/tutorials/wireless/doc/step6.html>

OMNeTT++ (bez dat.) *What is OMNeT++?*. Preuzeto 10.07.2021. s <https://omnetpp.org/intro/>

Padarić, D., Kušec, M. (2009) WiMAX 802.16 standard. *Tehnički glasnik*, 3: 54-57.

Phalguni, M. (2020) Electromagnetic Interference (EMI): Measurement and Reduction Techniques. *Journal of Electronic Materials*, 49 (5): 1-24

Pralas, T. (2008) *Računalne mreže – OSI referentni model*. Preuzeto 20.07.2021. s <https://sysportal.carnet.hr/node/352>

Pralas, T. (2008) *Računalne mreže – razvoj i značajke*. Preuzeto 10.07.2021. s <https://sysportal.carnet.hr/node/343>

Rabbit (2008) *An Introduction to Wi-Fi*. Preuzeto 15.07.2021. s www.rabbit.com

Radovan, M. (2018) *Računalne mreže*. Preuzeto 10.07.2021. s https://www.researchgate.net/publication/349029519_Racunalne_mreze

Restović, A., Stojan, I., Čubić, I. (2005) Bluetooth bežične tehnologije i njezine primjene. *Ericsson Nikola Tesla Revija*, 18 (1): 59-73.

Popis slika

Slika 1. Prikaz LAN-mreže (Izvor: Local Area Network Lan)	4
Slika 2. Slojevi OSI-modela	6
Slika 3. Project Explorer u OMNeT++-u	14
Slika 4. Prikaz datoteke .ned u design modeu.....	16
Slika 5. Prikaz datoteke .ned u <i>source modeu</i>	17
Slika 6. Prikaz konfiguracije .ini, prva mreža	19
Slika 7. Simulacija prve mreže „Dorijan“	21
Slika 8. Ispitivanje u prvoj mreži – Grafički prikaz primljenih i poslanih paketa	22
Slika 9. Prikaz konfiguracije .ini, druga mreža Wlan1	24
Slika 10. Simulacija međusobne interferencije mreža Wlan1 i Dorijan.....	25
Slika 11. Grafički prikaz primljenih i poslanih paketa između Wlan1 i Dorijan.....	26
Slika 12. Prikaz konfiguracije .ini, treća mreža Wlan2	27
Slika 13. Simulacija međusobne interferencije mreža Wlan1, Wlan2 i Dorijan.....	28
Slika 14. Grafički prikaz primljenih i poslanih paketa između Wlan1, Wlan2 i Dorijan.....	29
Slika 15. Popis Wi-Fi-kanala u spektru 2,4 Ghz (Izvor: imgur)	30
Slika 16. Dodavanja neovisnih kanala 1 ,6, 11 u datoteci .ini.....	30
Slika 17. Prva simulacija s dodanim neovisnim kanalima (1, 6, 11)	32
Slika 18. Ispitivanje nakon dodanih kanala – grafički prikaz primljenih i poslanih paketa	33
Slika 19. Dodavanja kanala 1, 5, 1 u datoteci .ini	33
Slika 20. Druga simulacija s dodanim neovisnim kanalima (1, 5, 1).....	34
Slika 21. Ispitivanje nakon dodanih kanala – grafički prikaz primljenih i poslanih paketa	35
Slika 22. Dodavanja svih istih kanala 5, 5, 5 u datoteci .ini	35
Slika 23. Treća simulacija s dodanim neovisnim kanalima (5, 5, 5)	36

Popis tablica

Tablica 1. Nazivlje pojmova	2
Tablica 2. Uloge slojeva OSI-modela	7
Tablica 3. Objašnjavaње konfiguracijskih pojmova u OMNeT.ini	22