

# DOLOČANJE RADIJSKE VIDLJIVOSTI UPORABNIKOV AIR STORITEV S POMOČJO SIMULACIJSKEGA ORODJA OPNET MODELER IN MODULA 3DNV

Saša Klampfer, Jože Mohorko, Peter Planinšič, Žarko Čučej

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,  
Maribor, Slovenija

**Ključne besede:** OPNET Modeler, radijska vidljivost, model širjenja radijskih valov, TIREM4, karakteristika slabljenja, brezžične storitve, 3DNV, višinska kartografija, virtualni teren.

**Izveček:** Ideja za strokovni prispevek je nastala na podlagi vse večje razširjenosti brezžičnih AIR storitev, katere delujejo na izredno visokih frekvenčnih pasovih, le ti pa pogojujejo direktno radijsko vidljivost uporabniške opreme na posamezen oddajnik. Članek opisuje enega izmed možnih načinov preverjanja radijske vidljivosti uporabnikov AIR storitev z uporabo simulacijskega orodja OPNET in virtualne višinske kartografije DTED za področje Maribora z okolico. Pri tem smo se omejili na gradnike, ki jih AIR sistem vsebuje. V prvem delu članka smo se omejili predvsem na posamezne gradnike, ki se morajo skladati z gradniki realnega sistema, tukaj imamo v mislih predvsem oddajno moč in ostale karakteristike oddajnika, občutljivost sprejemnih enot, modulacije, model širjenja radijskih valov, ki se mora tembolj prilagati realnemu razširjanju radijskega valovanja v odprtem prostoru, natančnost virtualnega terena v simulaciji itd. Opisali smo tri različne principe s pomočjo katerih lahko ugotavljamo ustreznost radijske vidljivosti, kamor spada analiza statistik oddanega in sprejetega prometa (oddajnik pošilja proizvedovalne pakete (ping)), analiza slabljenja oddane moči v odvisnosti od reliefa terena, prevodnosti prenosnega medija in v odvisnosti od oddaljenosti, ter direktna analiza posameznih radijskih povezav na virtualnem 3D terenu, z grafičnim prikazom radijske vidljivosti. Da bi bili rezultati simulacij čimbolj verodostojni podajamo v nadaljevanju še rezultate simulacij pri katerih je upoštevana prevodnost prenosnega kanala po zraku, ki vključuje različne vremenske motnje (dež, sneg,...). Vremenske vplive smo upoštevali v modelu širjenja radijskih valov, kamor smo vnašali poznane vrednosti prevodnosti zraka, kjer se le te spreminjajo od količine vlažnosti v zraku, večjih delcev v zraku itd.

## Defining Radio Visibility of AIR Users with OPNET Modeler Simulation Tool and 3DNV Module

**Key words:** OPNET Modeler, radio visibility, radio propagation model, TIREM4, line attenuation characteristic, wireless services, 3DNV, DTED maps, virtual terrain.

**Abstract:** The main idea is concerned with today well spread wireless AIR services which work on high frequencies and frequency bandwidths, and this is the main reason, why users need direct radio visibility that their AIR equipment can be connected on radio transmitter. In this paper is described one of the many possible radio visibility check approaches where also belongs OPNET Modeler simulation tool with virtual DTED maps of Maribor with neighborhood. At the beginning of this paper we introduce main parts of AIR system which plays important part when defining radio visibility between user equipment and radio transmitter. Those main parts must have similar as possible characteristics as real elements have in real systems. Here we are concentrated on transmitting power, modulations, receiver station density, free space radio propagation model, virtual terrain preciseness etc. During this introduction we give detail description of three possible methods which could give us some conclusions about radio visibility. These three approaches are; received traffic (ping) statistic analysis on the receiver side, line attenuation characteristic analysis considering cross terrain intersection and air interface conductivity, and direct radio visibility analyze on virtual 3D terrain with graphical path loss illustration. To obtain precise as possible results is important to consider weather conditions especially air conductivity (rain, snow, storms...), because such communication occurs on high frequencies (5 GHz upstream and 12 GHz downstream). Such weather conditions are included as appoint parameters in radio propagation model TIREM4.

### 1. Uvod

Sodobni načini telekomunikacijskih infrastruktur, ki smo jih do sedaj poznali samo v tujini, prodirajo z veliko hitrostjo tudi na naše tržišče. Glede na pestro razgibanost reliefnega terena Republike Slovenije se je pojavila ideja o postavitvi brezžičnih sistemov, s katerimi bi lahko zagotavljali sodobne storitve, tako imenovane trojčke (internet, televizija, telefonija), ki jih uporabniki na optičnih povezavah in lokacijah blizu lokalnih central že dlje časa poznajo. Ideja se je tako uresničila, za to pa je zaslužno podjetje GlobTel, ki je razvilo ustrezno opremo za zagotavljanje sodobnih brezžičnih storitev. Zaradi narave delovanja sistema na visokih frekvencah je s tem pogojena tudi direktna radijska vidljivost na glavni oddajnik v kolikor uporabniki želijo spremljati AIR storitve. To sicer zoži nabor potencialnih uporab-

nikov, pa vendarle še venomer ostaja veliko takšnih, ki do sedaj iz različnih razlogov niso imeli dostopa do sodobnih internetnih storitev. Pogoj radijske vidljivosti pa je takoj ponudil idejo o analizi le-te s pomočjo simulacijskih orodij s katerimi razpolagamo. Iz tega razloga smo opravili študijo analize radijske vidljivosti s pomočjo simulacijskega orodja OPNET Modeler in modula 3DNV. Orodje vključuje kvaliteten model širjenja radijskih valov, imenovan TIREM4, kateremu je možno spreminjati številne parametre, ki opisujejo vremenske pogoje (prevodnost zraka ipd.). Model TIREM4 uporablja prav tako ameriška vojska za modeliranje svojih komunikacijskih radijskih povezav na virtualnem terenu. V orodju lahko modeliramo oddajnike (oddajna moč, višina antene, polarizacija antene, modulacija, frekvenčno področje itd.) kakor tudi sprejemnike (uporabniška oprema). Tekom opravljene študije smo uspešnost radijske

vidljivosti s pomočjo orodja OPNET lahko preverili na tri različne načine, le te pa bomo podrobneje predstavili v nadaljevanju. Študija je namenjena potencialnim ponudnikom AIR storitev, kateri še nimajo dorečenih modelov preverjanja vidljivosti, in jim je lahko naš pristop v veliko pomoč pri preverjanju dostopnosti na njihovo brezžično omrežje.

V drugem poglavju predstavljamo osrednjo problematiko, iz katere se je razvila naša ideja o preverjanju radijske vidljivosti s pomočjo simulacije. V okviru istega poglavja bomo na kratko podali še kratek pregled nad AIR sistemom, ki je postavljen na Pohorju. V tretjem poglavju opisujemo glavne gradnike, ki smo jih modelirali v simulaciji in kateri so potrebni pri analizi radijske vidljivosti. V četrtem poglavju smo predstavili uporabljen model širjenja radijskih valov TIREM4, ter njegove lastnosti, medtem ko v petem poglavju podajamo kratko predstavitev simulacijskega orodja OPNET Modeler. Šesto poglavje prikazuje testni simulacijski scenarij z uporabljenimi DTED višinsko kartografijo, katerega smo uporabljali za določanje radijske vidljivosti. V sedmem poglavju so predstavljeni rezultati in vsi trije možni načini opazovanja radijske vidljivosti med oddajnikom in posamezno uporabniško enoto. Članek zaključujemo s sklepnim osmim poglavjem.

## 2. Osnovna problematika in ideja

S pojavom in uspešno implementacijo brezžične tehnologije AIR storitev na mariborskem Pohorju, se nam je takoj porodila ideja o preučevanju radijske vidljivosti glede na frekvenčno naravo delovanja samega sistema. Ker gre za frekvenčno področje nad 5GHz, je vidljivost uporabnika na oddajnik ključnega pomena. V razpoložljivem simulacijskem orodju, s katerim razpolagamo, smo uvideli, da lahko radijsko vidljivost ocenimo na tri različne načine, ter hkrati simulacijski sistem modeliramo v potankosti, da se le-ta čimbolj sklada z realnim sistemom. Kot bomo spoznali v nadaljevanju, lahko v orodju modeliramo polarizacijo oddajnika, sevalni kot oddajnika, višino, frekvenčni pas, modulacijo..., ter na uporabnikovi strani občutljivost uporabniške opreme, frekvenčni pas, v katerem naj sprejemnik deluje, način modulacije itd. Vsi omenjeni parametri vplivajo na natančnost modeliranja, le-to pa bo pogojeno tudi z natančnostjo višinske kartografije, ko jo vključimo v simulacijsko orodje. Čimbolj natančna je kartografija, tembolj natančen bo simulacijski model. Ideja kako opazovati vidljivost v simulacijskem okolju je sila preprosta; če upoštevamo, da smo vse gradnike modelirali dovolj natančno, imamo na voljo za preverjanje, ali vidljivost obstaja ali ne, sledeče možnosti: preverimo karakteristiko slabljenja signala med oddajnikom in sprejemnikom v odvisnosti od vpliva terena, pri čemer oddajamo nek simbolni promet (npr. ping). Če le-ta na določeni oddaljenosti (pozicija) pade pod določeno mejo, je to za nas znak, da se uporabniška enota in oddajnik med seboj ne vidita oziroma v nasprotnem primeru karakteristika slabljenja signala ostane v celotnem obsegu nad pred-definirano mejo (ang. threshold). V drugem primeru lahko opazujem statistiko oddanega in sprejetega prometa. V kolikor med postajama ne obstaja direktna

vidljivost, bo oddajnik promet oddajal, sprejemnik pa le tega ne bo sprejemal. Zadnja možnost pa se navezuje na interaktivno spremljanje dogajanja v 3DNV paketu, kjer dogajanje prikazujemo na virtualnem 3D terenu (Slika 1). Ob vsaki enoti se izpisujejo parametri o stanju povezave do oddajnika, iz katerih lahko sklepamo o radijski vidljivosti. Ta način tudi uporabnika obvešča o sami vidljivosti z barvo označenih povezav. Če je povezava do oddajnika označena z rdečo, to simbolizira, da le-ta ne more eksistirati. Vse do sedaj našete možnosti preučevanja radijske vidljivosti bomo predstavili v obliki rezultatov v sedmem poglavju. Tekom študije smo prišli do zaključka, da lahko z našim predlaganim sistemom preverjanja radijske vidljivosti v simulaciji operater preveri, več različnih scenarijev, na katero geografsko pozicijo se mu bolj izplača postaviti oddajnik, da bo pokril čim večji geografski del, na katerem se nahajajo morebitni potencialni uporabniki njegovih storitev.



Slika 1: Višinska karta v 3D prikazu (3DNV)

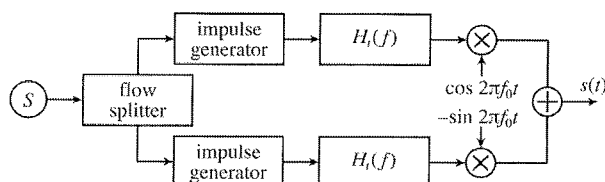
## 3. Osnovni gradniki, kot osnovni sestavni del za preverjanje radijske vidljivosti v simulaciji

Med osnovne gradnike, od katerih zavisi natančnost rezultata simulacije spadajo oddajnik, višina antene, frekvenčni pas oddajanja, modulacija, oddajna moč, geografska pozicija, natančnost virtualne višinske kartografije in občutljivost ter višina antene sprejemne enote /2/.

**Oddajnik:** Večtočkovni oddajnik sprejme signale iz osnovne postaje. Signal se nato pretvori v visoke oddajne frekvence, ki se najprej filtrirajo in ojačijo. Pasovna širina je ekvivalentna tisti, ki jo oddajnik prejme od osnovne enote (ang. main station). Signal se nato distribuira čez omni sektorizirane antene s tipičnim ojačenjem 10dB. Da bo simulacijski model čim bolj precizen, najprej oddajni anteni definiramo njeno višino, ki se sklada z višino, na kateri je nameščena realna antena in tudi sama geografska pozicija v simulacijski strukturi se mora ujemati z geografsko pozicijo realnega oddajnika. Le-to določimo v simulaciji z vnosom koordinat. Tako zadovoljimo kriterij ujemanja. Ključen pomen pri kvaliteti prenosa ima modulacija. Le-ta

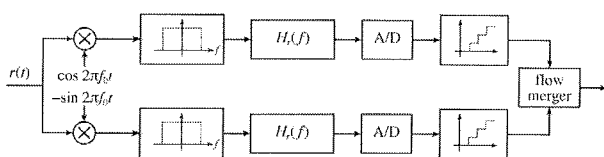
se izbira glede na potrebe robustnosti, v največji meri pa se uporablja kvadraturna amplitudna modulacija QAM-16 /4/. Iz tega razloga podajamo v nadaljevanju še kratek opis omenjene modulacije, ki predstavlja pomemben gradnik prenosa radijskega valovanja.

**QAM modulacija:** Kvadraturna amplitudna modulacija je osnovni predstavnik digitalnih modulacij, kjer se hkrati spreminjata amplituda in faza nosilnega signala. Za lažjo predstavo prikazujemo na sliki 2 blokovno shemo modulatorja na strani oddajnika.



Slika 2: Blokovna shema modulatorja na strani oddajnika

V prvi fazi se bitni tok, ki se prenaša, porazdeli v dva ekvivalentna dela, kar zagotavlja dva neodvisna signala, ki se prenašata. Oba signala se nato individualno kodirata. Po postopku kodiranja se en kanal (tisti, ki je v fazi) pomnoži s kosinusno funkcijo, medtem ko je preostali kanal (preostali pravokoten, ang. quadrature) pomnožen s sinusno funkcijo. V takšnem primeru je med obema kanaloma 90° faznega zamika. Oba signala se nato združita in pošljeta preko prenosnega medija. Na prejemnikovi strani se skupen signal demodulira po principu, ki je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Blokovna shema demodulatorja na strani sprejemnika

Na strani sprejemnika ob pogoju poznanih nosilcev naprava najprej skupen sprejeti signal razdruži na 90° fazno zamaknjena signala, ki smo ju spoznali pri modulaciji, nato se izvede A/D pretvorba, bitna kvantizacija, kjer šele nato, po bitni kvantizaciji, ob združitvi obeh bitnih tokov, dobimo skupen bitni tok podatkov, ki jih prenašamo. Demodulacija predstavlja inverzni postopek modulaciji. Ker je QAM način modulacije najpogosteje uporabljen v AIR sistemu (odvisno od zahtev) in ker ima le ta ključno vlogo pri natančnosti modeliranja, smo na kratko podali njen opis /4/.

**Frekvenčni pas /2/:** Kot smo že v uvodu omenili, deluje AIR sistem na precej visokih frekvencah (nekaj GHz). Iz tega razloga je tudi natančnost modela odvisna od natančno definirane frekvenčnega pasu. Le ta pa se v Sloveniji za različne regije razlikuje (glej APEK) /6/. To pomeni, da moramo v simulaciji izbrati takšno opremo, ki omogoča nastavitve frekvenčnega pasu, modulacije, oddajne moči itd. Omenjene parametre vključujejo tako MANET, kot tudi

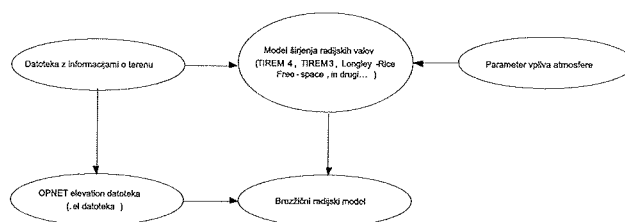
Wireless modeli v simulacijskem okolju. Iz tega razloga lahko s pravilno izbiro simulacijskih elementov zadostimo številnim kriterijem, ki smo si jih pred modeliranjem sistema postavili. Kriterije, ki morajo biti izpolnjeni, pa smo v predhodnem poglavju že spoznali.

**Geografska pozicija in natančnost višinske kartografije:** Z poznavanjem geografskih koordinat na katerih se nahaja realna oprema, lahko identične koordinate vnesemo v simulacijsko strukturo. S tem zagotovimo usklajenost pozicij enot na virtualnem terenu s pozicijami enot na realnem terenu. Za določanje realnih koordinat si lahko pomagamo z GPS sistemom. Na ta način lahko določamo geografske pozicije uporabniške opreme (sprejemne antene), kakor tudi pozicije obstoječih oddajnikov. Usklajenost pozicij enot na virtualnem in realnem terenu ima prav tako ključen vpliv na natančnost simulacijskega modela.

**Oddajna moč, višina antene in občutljivost:** Do tovrstnih parametrov lahko pridemo bodisi z meritvami (mišljeni vsi naštetih parametri) ali s prebiranjem podatkovnih listov proizvajalcev posameznih komponent (oddajna moč in občutljivost). Ker smo že na začetku zadostili pogoju, ki se navezuje na izbiro takšne simulacijske enote, katera omogoča vnos vseh ključnih parametrov, nam preostane zgolj še vnos pridobljenih parametrov v simulacijske postaje.

#### 4. Model širjenja radijskih valov TIREM4

TIREM je kratica izpeljana iz angleške besede *Terrain Integrated Rough Earth Model*, kar v prevodu pomeni integriran razgiban teren zemlje. TIREM vključuje dva modela TIREM3 in TIREM4, ki se v največji meri uporabljata pri modeliranju brezžičnih povezav. TIREM3 izhaja iz oddelka za obrambo Združenih držav Amerike, le tega pa je v zadnjih letih nadomestil izboljšani in natančnejši model razširjanja radijskih valov, ki ponuja hitrejši izračun izgube poti (ang. path loss), še posebej v primerih ko gre za v detajle dodelan 3D teren. TIREM je sposoben predvideti izgubo razširjanja radijskega valovanja (RF) za frekvenčna področja od 1MHz pa vse do 40 GHz, tako za področja kopnega kot tudi za področja na morju. V modelu lahko določimo parametre prevodnosti tal (ang. ground conductivity), relativno permeabilnost (ang. relative permittivity), vlažnost (ang. humidity), lomljenje valov na površini (ang. surface refractivity) in resolucijo, t.j. razdaljo med izohipsami na višinski karti /7/, /8/, /9/.



Slika 4: Povezava kartografije in modela razširjanja radijskih valov z brezžičnim omrežjem

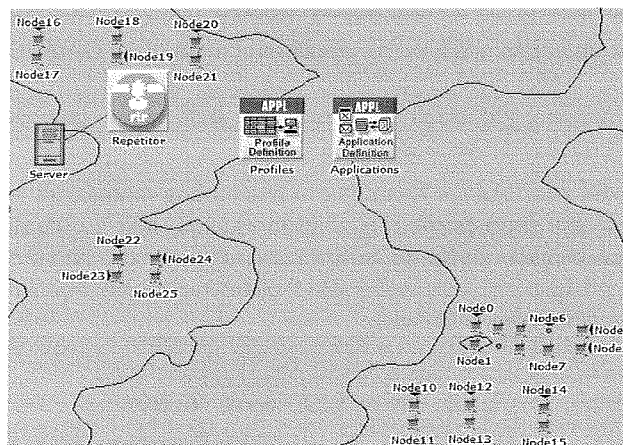
## 5. Simulacijsko orodje OPNET Modeler

OPNET Modeler je vodilno simulacijsko okolje v komunikacijski industriji. Omogoča konstruiranje in študije telekomunikacijskih infrastruktur, posameznih naprav, protokolov, aplikacij ipd. Orodje stremi k objektno orientiranemu modeliranju. Ustvarjeni modeli predstavljajo zrcalo strukture dejanskih omrežij in omrežnih komponent. Prisotna je podpora za vse tipe komunikacijskih mrež z naprednimi tehnologijami kot so fast ethernet, WiFi, UMTS, GSM, itd. Simulacijski jezik bazira na seriji hierarhičnih urejevalnikov, ki vzporedno ponazorijo strukturo protokolov, opreme, mreže. Omogočena je tudi animacija dogajanja v omrežjih, kar še dodatno poenostavi razumevanje delovanja posameznega elementa. Nudi možnost ustvarjanja povsem novih enot oziroma preurejanja že obstoječih. Preureditev že obstoječe enote je možna celo na kodnem nivoju, ki je izveden s C/C++ programskim jezikom. Orodje omogoča tudi simulacije na virtualnem terenu z uporabo višinskih DTED kart, ki jih lahko prikažemo v 3D obliki z modulom 3DNV. Z natančnostjo višinske kartografije je pogojen realističen prikaz na 3D virtualnem terenu. Da bi 3D relief čimbolj ustrezal realnemu, kjer imamo v mislih predvsem ceste in ključne objekte, lahko le te v obliki ustreznih slik po plasteh uvozimo na zeleno kartografijo. V zadnjem času se v OPNET orodju zelo uveljavlja modul SITL, ki omogoča povezavo simuliranih omrežij, elementov, naprav, z zunanjimi realnimi omrežji, elementi oziroma napravami. To pomeni, da nam v simulaciji ni več potrebno modelirati prometa, temveč lahko le tega zajamemo iz realnega omrežja, elementa, naprave, in ga pretočimo čez simulirano omrežje, nato pa ga vrnemo nazaj v realno omrežje. Na ta način nam orodje omogoča opazovanje stanja v omrežju, če nanj na primer »virtualno« v simulaciji priključimo dodatne uporabnike itd. Zadnja različica simulacijskega orodja vsebuje še zelo natančen model razširjanja radijskih valov imenovan TIREM4, ki velja za enega izmen najbolj natančnih modelov in ga v simulacijah uporablja celo ameriška vojska. Omenjen model smo pri analizi radijske vidljivosti s pridom izkoristili tudi mi /1/, /3/, /5/.

## 6. Simulacijska struktura preverjanja radijske vidljivosti

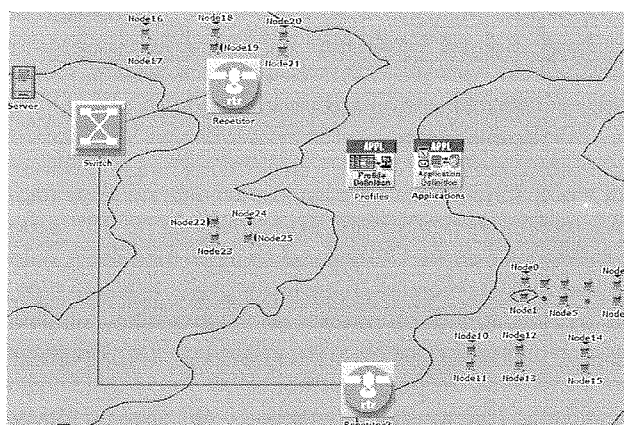
V simulacijsko strukturo smo vključili vse do sedaj omenjene ključne elemente, ki vplivajo na potek komunikacije med oddajnikom in sprejemnikom (slika 5).

V prvem scenariju smo na virtualni teren naključno postavili sprejemne enote, le-te pa se nahajajo na različnih geografskih pozicijah (hrabi, doline...) in na različnih oddaljenostih. Namen tega scenarija je pokazati končnemu uporabniku, kako lahko predvidi področje pokritosti s signalom. Testni promet, ki smo ga pretakali čez omrežje zagotavlja *http* strežnik, ki v kratkih časovnih intervalih pošilja testni promet do končnih uporabnikov, seveda tistih, ki so v dosegu oddajnika in imajo direktno radijsko vidljivost. Z



Slika 5: Scenarij postavitve enot na virtualnem terenu z višinsko DTED kartografijo z enim oddajnikom

blokom '*Applications*' definiramo aplikacije za katere želimo, da so prisotne v simuliranem omrežju (za naš primer samo *http*), medtem ko z blokom '*Profiles*' določimo uporabniške profile, ki jih nato priredimo uporabnikom. Strežnik in oddajnik sta med seboj povezana z 100BaseT ožičeno povezavo. Rezultati simulacij, ki jih bomo spoznali v sedmem poglavju bodo nazorno prikazali pomanjkljivosti takšnega scenarija, saj bo večina enot izven radijske vidljivosti. Iz tega razloga smo ustvarili še drugi scenarij, v katerem smo dodali še en dodaten oddajnik, ki pokriva JV sektor (slika 6), s čimer pokrijemo še dodatna področja, katera prej niso imela direktne radijske vidljivosti. Kljub temu, pa tudi na ta način ne moremo zagotoviti vidljivosti vsem uporabnikom, saj je narava razgibanosti terena v Sloveniji preveč pestra.



Slika 6: Scenarij postavitve enot na virtualnem terenu z višinsko DTED kartografijo z dvema oddajnikoma

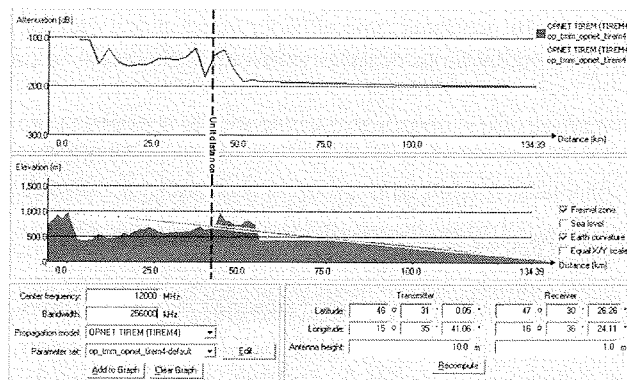
V drugem scenariju povezavo razdelimo na dva dela s pomočjo omrežnega stikala, kjer vsako izmed obeh povezav priključimo na posamezen oddajnik. Drugi scenarij je prav tako pripravljen na tako imenovane 'roaming' eksperimente, ki bi prišli v poštev v primeru uporabe mobilnih postaj z definiranimi trajektorijami na terenu. Za oba scenarija so

enote, ki predstavljajo uporabniško opremo fiksne. Predstavljeni rezultati drugega scenarija v sedmem poglavju bodo nazorno pokazali, da smo z JV oddajnikom pokrili dodatne postaje.

## 7. Simulacijski rezultati in možni načini preverjanja vidljivosti

Simulacijsko orodje omogoča več možnih načinov preverjanja radijske vidljivosti. Prvi in tudi najenostavnejši način se navezuje na analizo karakteristike slabljenja oddanega signala v odvisnosti od razdalje in v odvisnosti od oblike terena. Pri vseh načinih analiz je bil v simulaciji uporabljen TIREM4 model razširjanja radijskih valov, ki je opisan v četrtem poglavju. Analiza slabljenja oddanega signala v odvisnosti od terena je prikazana na sliki 7. Gre za analitično orodje, ki v prečnem prerezu predstavi obliko terena med oddajnikom in sprejemnikom (vrhovi, doline, ovire) in v navezi z reliefom izračuna model slabljenja signala. Tako imamo na sliki 7 prikazan prečni prerez terena, ki se nahaja med oddajnikom ('Repetitor' na sliki 5) in sprejemnikom ('Node15' na sliki 5). Iz prečnega prereza lahko direktno opazimo, da komunicirajoči enoti nimata med seboj radijske vidljivosti, saj se med njima nahajajo vmesne ovire. S številnimi empiričnimi poizkusi smo tudi določili mejno območje slabljenja, kjer komunikacija pade. To mejno območje znaša -95dB. Zgornji graf na sliki 6 prikazuje karakteristiko slabljenja oddanega signala v odvisnosti od terena za dve različni frekvenčni področji. Zgornja krivulja prikazuje slabljenje za frekvenco 1MHz in pasovno širino 100kHz, medtem ko spodnja krivulja ponazarja frekvenco 12GHz in pasovno širino 296MHz. Iz prvega rezultata je lepo opazna večja občutljivost visokofrekvenčnega signala v odvisnosti od terena v primerjavi z manjšo občutljivostjo nižje frekvenčnega signala. Za obe frekvenčni področji pa v tem scenariju ne moremo zagotoviti radijske vidljivosti, saj se med komunicirajočima enotama nahajajo vmesne ovire. Iz karakteristike slabljenja vidimo, da je slabljenje med -100 in -200dB, kar avtomatsko pomeni, da je takšna vrednost pod mejo -95dB, to pa pomeni, da komunikacija pri takšnem slabljenju ne more eksistirati. Z navpično črtkano črto je označen položaj enote na terenu, ki hkrati določa še vrednost slabljenja za to pozicijo. Vmesnik nam ponudi še številne druge parametre, ki jih lahko spreminjamo, sem pa spadajo lega oddajnika in sprejemnika po zemljepisni dolžini in zemljepisni širini, višina oddajne antene, višina sprejemne antene, nastavev centralne frekvence, nastavev pasovne širine in izbira modela širjenja radijskih valov (Longley-Rice, TIREM3, TIREM4...). V modelu smo nastavili višino oddajne antene na 10 metrov, sprejemne pa 1 meter.

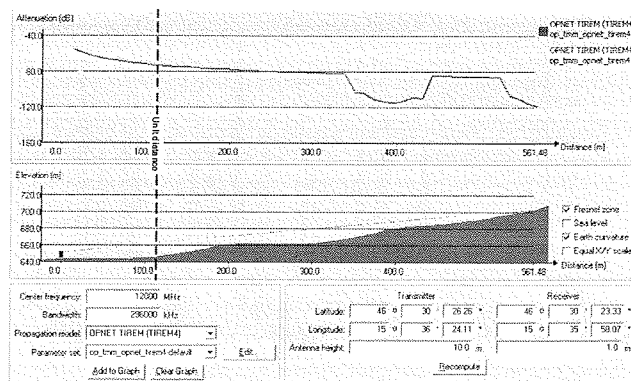
Za vse vnesene podatke se izvrši izračun karakteristike slabljenja. V kolikor želimo prestaviti sprejemno enoto na drugo geografsko pozicijo, vnesemo nove vrednosti zemljepisne dolžine in širine ter poženemo analizo, ki nam nakaže, ali ima nova pozicija radijsko vidljivost ali ne, pri čemer se tudi avtomatično osveži prerez terena. Podobno



Slika 7: Karakteristika slabljenja signala v odvisnosti od terena in oddaljenosti za scenarij na sliki 5.

lahko spremljamo karakteristiko slabljenja za vsak posamezen parameter, ki ga spremenimo. Ob spremembi parametra in opravljeni analizi se nova karakteristika slabljenja doda na isti graf, s čimer imamo omogočeno spremljanje morebitnih izboljšav/poslabšanj glede na predhodne nastavitve.

Podobno analizo smo izvedli še za drugi scenarij na sliki 6, kjer smo zagotovili dodatno pokritost s signalom z dodatnim oddajnikom. S takšnim scenarijem smo pokrili večji del JV sektorja (glej sliko 6) in s tem tudi enoto 'Node15', ki v prvem scenariju ni imela radijske vidljivosti. S takšno postavitvijo oddajnika imajo enote v JV sektorju, vključno z 'Node15' direktno radijsko vidljivost na ta oddajnik, kar je tudi razvidno iz prečnega prereza terena na sliki 8.

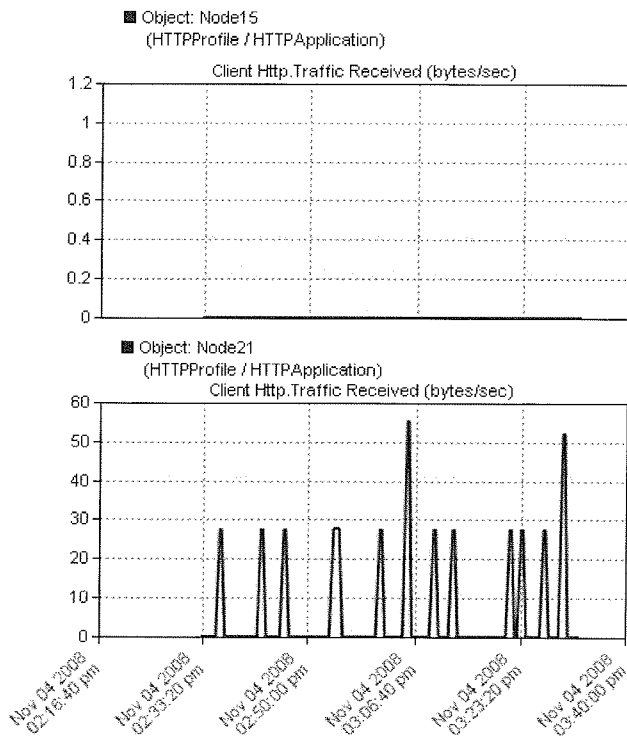


Slika 8: Karakteristika slabljenja signala v odvisnosti od terena med oddajnikom in enoto 'Node15' za scenarij na sliki 6.

V tem primeru je iz karakteristike slabljenja razvidno, da ima uporabnikova enota za obe frekvenčni področji na točki kjer se nahaja (navpično črtkana črta) zadovoljiv signal, saj slabljenje ne pade pod mejo -95dB.

Na enak način lahko preverimo vidljivost za vse ostale enote. Geografsko pozicijo lahko spreminjamo kar v vmesniku, ali pa dejansko prestavimo enoto na virtualni kartografiji na drugo pozicijo.

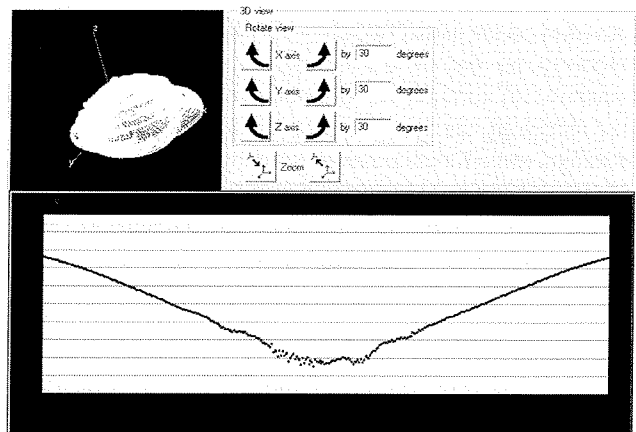
Kot smo že uvodoma omenili je to eden izmed številnih načinov ugotavljanja radijske vidljivosti v simulaciji ni pa edini, zato bomo v nadaljevanju predstavili še dva načina. Prvi izmed njiju je opazovanje karakteristike sprejetega prometa. To pomeni, da iz strežnika na oddajnik pošiljamo testni minimalni promet (ang. ping), ki služi zgolj za indikacijo dosega/nedosega uporabniških postaj, pri tem pa minimalno vpliva na zasedenost prenosnih kanalov. Na osnovi analize statistike sprejetega prometa lahko sklepamo, katera postaja je v vidnem dosegu oddajnika in katera ne. Da bi se prepričali v verodostojnost analize rezultata sprejetega prometa, smo vpeljali še dodaten ukrep analize bitnih napak, t.i. BER (ang. Bit Error Rate). Znano je dejstvo, da v primeru odpovedi sprejemne enote, ali da le-ta ni v radijskem dosegu, se karakteristika bitne napake strmo povzpne, saj sprejemnik ne sprejema ACK potrjevalnih okvirjev, okvirji, ki pa so poslani pa ne prispejo na cilj, kar je povod, da se zavržejo, nekateri popačijo, BER pa začne strmo naraščati.



Slika 9: Analiza karakteristik sprejetega prometa enot 'Node15' in 'Node21' za prvi scenarij na sliki 5

V prvi fazi predstavljamo zgolj analizo sprejetega prometa prvega scenarija z enim oddajnikom, kjer opazujemo enoti 'Node21' in 'Node15' v dveh različnih sektorjih (glej sliko 5). Kot smo že iz prve metode ugotovili 'Node15' ni v vidnem polju oddajnika zato prometa ne more sprejemati (slika 9, gornji graf) in je iz tega razloga tudi karakteristika sprejetega prometa venomer na vrednosti 0. Obratno je z enoto 'Node21', katera se nahaja v vidnem polju oddajnika in skladno s tem tudi lahko sprejema promet (slika 9, spodnji graf). V prvem scenariju je ostal celoten JV sektor brez direktne vidljivosti. Da bi lahko pokazali še primer pokritosti področij z več oddajniki, smo v drugi scenarij vključili

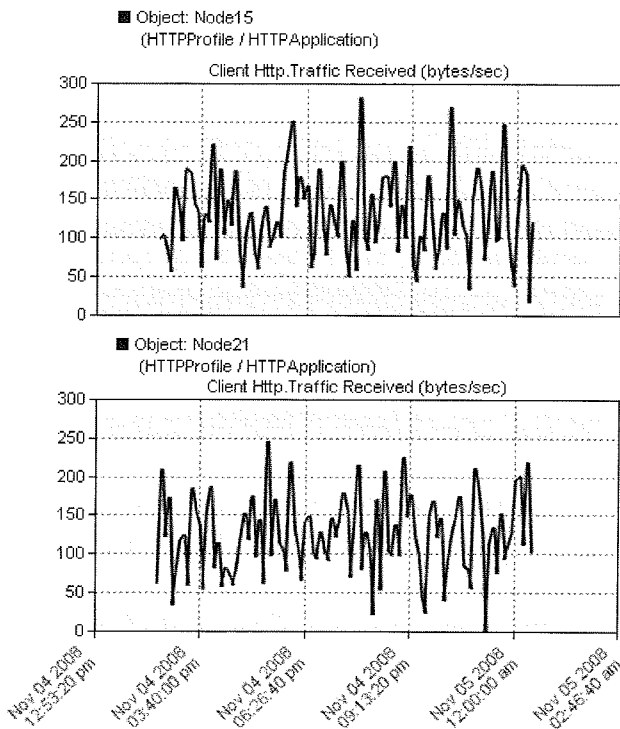
dodatno oddajno enoto (slika 6). Z dodatnim oddajnikom smo dosegli še dodatno območje pokritosti, vendar se je potrebno zavedati, da tudi z več deset oddajniki, ne moremo zagotoviti 100% pokritosti. Iz grafov na sliki 11 za 'Node15' in 'Node21' se lepo vidi, da je tokrat tudi 'Node15' v obsegu vidljivosti drugega oddajnika, in lahko promet sprejema, za razliko od prvega scenarija. Pri uporabi dveh oddajnikov smo uporabili sektorske antene, saj smo s tem zagotovili sevalne kote, ki se med seboj ne pokrivajo, ob tem pa se izognemo raznim interferencam in drugim pojavom, ki lahko vplivajo na kakovost komunikacije. Orodje omogoča celo modeliranje anten in antenskih sistemov, ki jih lahko nato uporabimo na že obstoječih elementih namenjenih brezžični komunikaciji ipd. Na ta način smo modelirali anteno z 270° kotom pokritosti. Sevalni diagram se lahko v 3D prikazu spremlja že med samo fazo načrtovanja, kar je načrtovalcu v veliko pomoč. Kot pokritosti in karakteristika sevanja sta še dodatno prikazani v posebnem grafu, ki je prikazan na sliki 10.



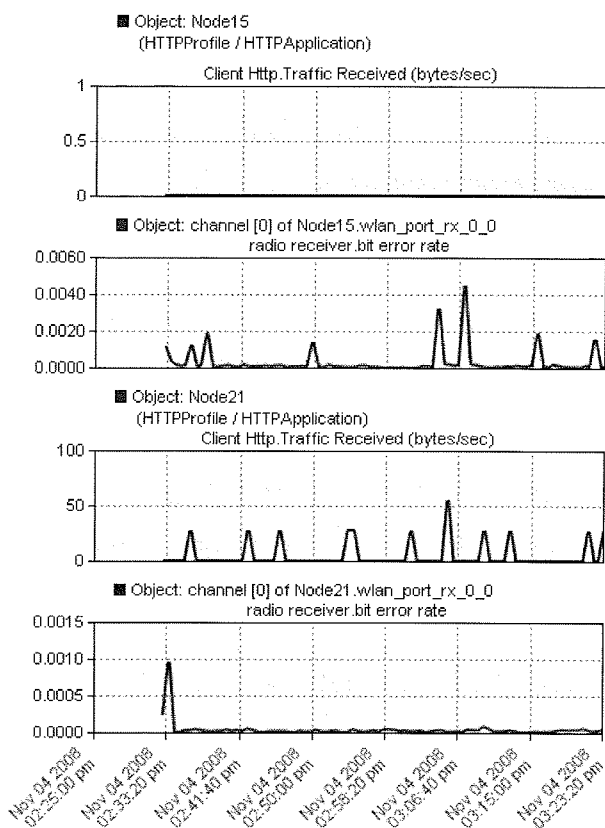
Slika 10: Modeliranje antene in prikaz sevalnega diagrama v 2D in 3D pogledu

V drugem scenariju smo tekom testiranj preizkusili tudi mobilne enote z definiranimi trajektorijami. Ker gre za dva oddajnika (dve bazni postaji), smo v simulacijo vpeljali tako imenovani 'roaming' ali gostovanje. S tem pristopom omogočimo prehajanje enot iz sektorja ene bazne postaje v sektor druge bazne postaje. Pristop nakazuje, da lahko preizkušamo tudi variante mobilnosti, določamo trajektorije poti oziroma odseke, kjer ima uporabniška oprema vidno polje na oddajnik itd., prav tako smo preizkusili scenarij, kjer je lahko posamezna uporabniška postaja z direktno vidljivostjo zastopana kot dostopna točka, preko katere se okoliške enote v njeni vidljivosti preko nje povezujejo na glavni oddajnik, vendar je to že obstranska tematika, ki se ne navezuje na ta članek.

Da bi bila informacija o nezadostni radijski vidljivosti tem bolj točna smo k vzporedni analizi vključili še analizo parametra BER. Z dodatno informacijo BER bomo lahko z veliko gotovostjo potrdili sklep iz predhodne metode. Rezultati vzporedne analize karakteristike sprejetega prometa in karakteristike BER za enoti 'Node15' in 'Node21' prvega scenarija so prikazani na sliki 12.



Slika 11: Analiza karakteristik sprejetega prometa enot 'Node15' in 'Node21' za drugi scenarij na sliki 6.

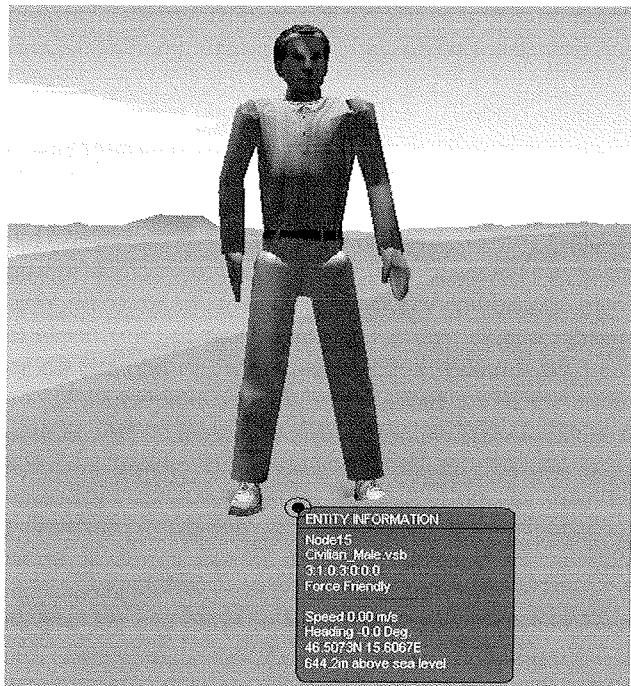


Slika 12: Prikaz vzporedne analize karakteristik BER in sprejetega prometa za enoti 'Node15' in 'Node21' prvega scenarija.

Prvi in drugi graf na sliki 12 (od zgoraj navzdol) prikazujeta sprejeti promet in BER na enoti 'Node15', medtem ko preostala dva (tretji in četrti) prikazujeta identični karakteristiki za enoto 'Node21'. Kot smo že v uvodu tega poglavja za prvi scenarij spoznali, 'Node15' nima vidnosti na oddajnik zato ne more sprejemati nobene prometa. Tej enoti je oddajnik namenil v določenem simulacijskem intervalu, določeno število paketov. Ker enota ne vidi oddajnika teh paketov ne more sprejeti, in ker jih ne more sprejeti tudi ne more odgovoriti z ACK potrditvenimi okvirji. Ko se obdobje obstoja paketa izteče TTL (ang. Time-To-Live), se le ta zavrže in zabeleži kot izgubljen, v veliko primerih pa se deformira zaradi česar, ga več ni moč prepoznati, kar se smatra kot bitna napaka. Iz drugega grafa na sliki 12 opazimo, da se v določenih primerih BER sunkovito poveča (konice), kar ob pogoju nič sprejetih podatkov iz prvega grafa na sliki 12 jasno nakazuje na problematičnost direktne vidljivosti na oddajnik. Kot smo že zgoraj omenili, enota 'Node21' sprejema promet, kar iz prvega pogoja nakazuje na direktno vidljivost. Da je takšen sklep tem bolj popoln se v to prepričamo še z analizo četrtega grafa na sliki 12, ki prikazuje tekom celotne simulacije praktično ničelno vrednost bitne napake. Na osnovi vzporedne analize lahko z veliko verjetnostjo potrdimo, da se opazovani postaji med seboj vidita. S tem smo opisali drugo metodo analize kjer smo z vzporedno analizo povečali verjetnost veljavnosti izraza, da se določeni komunicirajoči postaji vidita med seboj. Obe do sedaj predstavljeni metodi z opisanimi rezultati sta dokaj hitri in enostavni za uporabo.

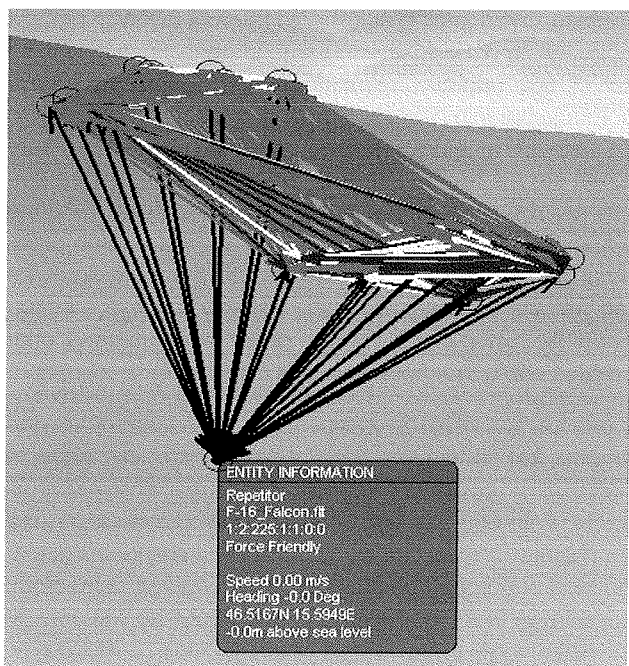
Tretja možnost analize s pomočjo modula 3DNV in prikaza vidljivosti na 3D virtualnem terenu je nekoliko zahtevnejša kar se tiče priprave, rezultati pa so prikazani vizualno s pomočjo barvnih povezav in njim pripadajočih parametrov. Za simboliziranje povezave se uporablja pet osnovnih barv (črna, modra, rdeča, zelena in rumena). Za nas je pomembna predvsem rdeča barva povezave, ki simbolizira, da je s komunikacijo nekaj narobe. Metoda ima številne prednosti, saj si lahko v 3D načinu iz različni perspektiv ogledamo položaj posameznih enot, reliefno pozicijo, okolico enote itd. Eden izmed možnih prikazov perspektive opazovanja enote je prikazan na sliki 13.

V tem načinu, lahko za vsako enoto pogledamo njene parametre, kot so višinska pozicija, koordinate, ime enote in nenazadnje, če gre za mobilno enoto še njeno hitrost premikanja po terenu. Na sliki 14 imamo prikazane vse možne poti komuniciranja, tudi med uporabniškimi enotami direktno med seboj, pri upoštevanju parametrov oddajne moči, sprejemne moči, občutljivosti, modulacije itd., ki smo jih za vsako enoto posebej nastavili v simulaciji. Z rdečo povezavo so prikazane vse relacije med katerimi komunikacija ne more obstajati, bodisi zaradi oddaljenosti, bodisi zaradi vmesnih ovir na terenu. Z modro, črno in zeleno so prikazani zadovoljivi komunikacijski pogoji, medtem ko rumena barva ponazarja mejno-kritične povezave. V primeru tako imenovanega 'online' opazovanja dogajanja na virtualnem 3D terenu med samo simulacijo, se na vsaki barvni označeni povezavi izpišejo še karakteristike same povezave, ki jih



Slika 13: Prikaz položaja enote 'Node15' na virtualni 3D višinski kartografiji

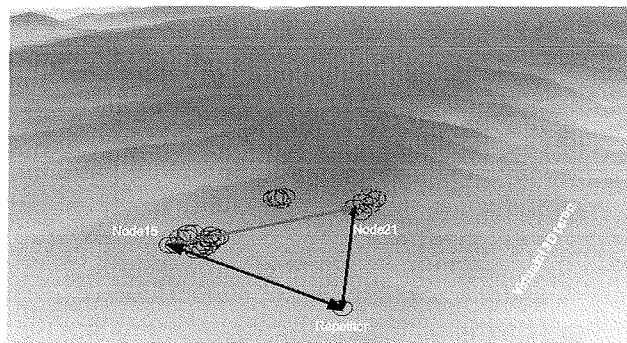
lahko spremljamo tako, da se prestavimo v detajlni pogled posamezne enote, t.j. v perspektivo kot je prikazana na sliki 13.



Slika 14: Prikaz vseh možnih povezav ki lahko ali pa ne morejo eksistirati za vse možne kombinacije med postajami

Zaradi lažje preglednosti smo priložili sliko 15, na kateri so vizualizirane komunikacijske poti do oddajnika in med obeh opazovanima enotama 'Node15' in 'Node21', s pogle-

dom iz ptičje perspektive. V osnovi gre za enak prikaz kot na sliki 14, vendar samo s tremi opazovanimi enotami.



Slika 15: Prikaz enot 'Repetitor', 'Node15' in 'Node21' prvega scenarija na virtualnem 3D terenu

Tudi na virtualnem terenu z opazovanjem stanja povezav pridemo do enakih zaključkov, kot smo prišli z obema predhodnima metodama. Ker se slika 15 navezuje na prvi scenarij, je iz slike lepo opazno, da se enota 'Node15' ne vidi z oddajnikom, komunikacija torej ne eksistira, prav tako pa ne more eksistirati komunikacija med enotama 'Node15' in 'Node21'. Obe komunikacijski povezavi sta na sliki 14 označeni z rdečo barvo. Komunikacijska pot, ki pa lahko obstaja, in je bila tudi potrjena z obema predhodno predstavljenima metodama, pa je pot med oddajnikom in enoto 'Node21'. V kolikor bi se s perspektivo prestavili v položaj enote, kot je prikazan na sliki 13, bi se ob vsaki enoti prikazali povezavi, kot jih vidimo na sliki 15, od katerih bi vsaka imela izpisane svoje parametre slabljenja linije, ki smo jih spoznali že pri prvi metodi.

## 8. Sklep

Tekom članka smo predstavili študijo analize radijske vidljivosti s pomočjo simulacijskega okolja OPNET Modeler, modula 3DENV in višinske kartografije DTED. S takšnim pristopom lahko dovolj natančno ocenimo parameter radijske vidljivosti do posamezne uporabniške enote, brez, da bi se fizično podajali na teren in opravljali meritve vidljivosti. Natančnost modela vsekakor zavisi od natančnosti modeliranja gradnikov, ki smo jih spoznali v predhodnih poglavjih, vendarle, pa je modeliranje ob pogoju poznanih parametrov enostavno in hitro. Da je vizualizacija na 3D terenu bolj pristna se lahko v orodje uvozijo še številne kartografije s cestami in objekti. Uvažanje poteka v več plasteh, kjer lahko eno izmed plasti predstavljajo ceste, drugo plast npr. objekti itd. Rezultati, ki smo jih prejeli so zadovoljivi, in pridobljeni na hiter ter predvsem enostaven način.

## 9. Literatura

- /1/ Mohorko Jože, Matjaž Fras, Žarko Čučej, Modeling of IRIS Replication Mechanism in Tactical Communication Network with OPNET
- /2/ <http://www.air-tv.net/>



- /3/ J. Mohorko, M. Fras, Ž. Čučej, Modeling methods in OPNET simulations of Tactical Command and Control Information Systems
- /4/ [http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation)
- /5/ Saša Klampfer, Jože Mohorko, Žarko Čučej, Simulation tools in telecommunications education process
- /6/ [http://www.apek.si/en/operators\\_register?imetnik=272&storitev=-1](http://www.apek.si/en/operators_register?imetnik=272&storitev=-1)
- /7/ M. Fras, J. Mohorko, Ž. Čučej, A new approach to the modeling of network traffic in simulations, Informacije MIDEM 2008 (Junij)
- /8/ M. Fras, J. Mohorko, Simulacija komunikacijskih sistemov v realnem času z realno komunikacijsko opremo v simulacijski zanki, Informacije MIDEM 2008 (Junij)
- /9/ Opnet Documentation

*Saša Klampfer, Jože Mohorko,  
Peter Planinšič, Žarko Čučej*

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko,  
računalništvo in informatiko  
Smetanova 17, Maribor, 2000, Slovenija  
Epošta: [sasa.klampfer@uni-mb.si](mailto:sasa.klampfer@uni-mb.si)*

*Prispelo (Arrived): 23.02.2009 Sprejeto (Accepted): 09.09.2009*