

SIMULACIJA KOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV V REALNEM ČASU Z REALNO KOMUNIKACIJSKO OPREMO V SIMULACIJSKI ZANKI

Matjaž Fras, Jože Mohorko

Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija

Ključne besede: simulacija, taktična omrežja, realni čas, radijska vidljivost

Izveček: V članku smo predstavili nov pristop k simulacijam komunikacijskih omrežij, ki omogoča simulacije v realnem času z realno komunikacijsko opremo v simulacijski zanki. Pri tem pristopu je mogoče v simulacijsko okolje priključiti realne komunikacijske naprave, ki lahko komunicirajo s simuliranimi napravami ali pa z drugimi realnimi napravami preko simuliranih povezav ali omrežij. Tovrstne simulacije omogoča simulacijsko okolje OPNET Modeler z dodatnim novim modulom SITL (System-in-the-Loop), ki omogoča povezavo med realnimi in simuliranimi napravami. Uporabnost tovrstnih simulacij smo predstavili na primeru »real-sim-real« tipa simulacije, kjer realne komunikacijske naprave komunicirajo preko simuliranega omrežja v realnem času. V tem primeru smo, preko simuliranega brezžičnega omrežja na virtualnem terenu, prenašali realen promet digitalne telefonije (VoIP).

Real time communication systems' simulation with real communication devices in simulation loop

Key words: simulation, tactical network, real time, radio visibility

Abstract: This paper presents the new concept of the communication networks' simulations, which enable real time simulations, with the real communication equipment in the simulation loop. In the context of project »Modeling of Command and Control information systems« we develop the simulation system, which can be used in the tactical network's planning and evaluation process. This simulation system is based on the OPNET Modeler simulation tool, which is combined by our utilities (TPGen, ModCom), that enables traffic modeling of Command and Control information system (C2IS) used in Slovenian army /1, 2/. We developed also the expert system for automatic simulation results analysis to evaluate tactical networks' performances /3, 4/. In the context of this project we also research the possibilities for real time tactical network simulations, where real tactical units' computers with installed C2IS communication are connected to the simulated wireless communication infrastructure on virtual terrain. The first such simulator is *Battlespace communication network planner and simulator*, which are described in /5, 6/. This simulator is based on special hardware communication equipment controlled by OPNET simulation tool, where real traffic is influenced by simulation results in real time. In our research we used, instead to the special hardware, the new OPNET Modeler's software module *System-in-the-Loop* (SITL) /7, 8/. This module allows interconnections and packets exchange between real and simulated communication devices or networks. This simulation concept is one of the most important novelties, in the last years and it was also presented in the OPNET conference OPNETWORK 2007 in Washington /10/.

Figure 1 shows all possible types of the SITL simulations. Figure 2 shows the example of the real-sim-real SITL simulation type, where real computers communicate through the simulated network. The mechanisms of real time SITL simulations with required software and hardware equipment are shown on the block scheme from Figure 3. In our SITL simulation test case of transmitting voice over IP (VoIP), we connect two external laptop computers across the simulated network as shown in Figure 4. The simulated network, which was modeled in OPNET simulation tool, is more detailed shown in Figure 5. The connectivity between external laptops was tested using ping utility as shown in Figure 6. As VoIP application /15/ we used freeware D-Voicer /12/ installed on real laptop computers. Figure 7 shows the user interface of active D-Voicer application on both, client and server, side. The results of SITL simulation, where real digital voice stream is transmitted through simulated network are shown in Figures 8 and 9.

In the third part we present the proposed concept of real time SITL tactical wireless networks' suitable for Slovenian army. The simulation concept is similar as in VoIP example case, described in previous section. The main difference is in the used communication applications, which are for this case Command and Control Information System (C2IS). In Slovenian case this C2IS consists from Iris Replication Mechanism (IRM) in conjunction with Sitaware graphical interface /1, 2, 16/ as shown in Figure 10. Tactical radios of military units we modeled, in OPNET Modeler simulation tool, using standard wireless routers connected over SITL gateway to the real tactical computers. Communication parameters of wireless routers are defined according to communication parameters of real tactical radios and modems. In OPNET Modeler simulation tools are considered influences modeled virtual terrain on wireless links using different radio wave propagation models /13, 19-22/. Simulated tactical network can be very realistically visualized using 3DENV visualization tool as shown in Figure 11.

1. Uvod

Visoka kompleksnost sodobnih komunikacijskih sistemov in kratek čas, ki je na voljo za iskanje kakovostnih rešitev, narekujejo potrebo po simulacijskih orodjih, ki so namenjeni simulacijam telekomunikacijskih omrežij, naprav, protokolov. Takšno potrebo je začutila tudi slovenska vojska ko je razpisala projekt¹ »Modeliranje taktičnih informaci-

jskih sistemov poveljevanja in kontrole (TISPINK)« v okvirju katerega smo razvili simulacijski sistem, ki omogoča kakovostno načrtovanje, ovrednotenje in optimizacijo taktičnih komunikacijskih omrežij. Simulacijski sistem /1, 2/ temelji na simulatorju OPNET Modeler, ki smo ga nadgradili z aplikacijami TPGen, za avtomatsko modeliranje prometa med vozlišči omrežja v TISPINK, ModCom za avtomatsko modeliranje taktičnih radijskih naprav za prenos podatkov, Ek-

¹ Rezultati, predstavljeni v tem članku so rezultat raziskav narejenih v okvirju CRP projekta "Modeliranje informacijskih sistemov poveljevanja in kontrole", financiranega s strani Slovenskega ministrstva za obrambo.

spertnim sistemom /3, 4/ za avtomatsko analizo in vrednotenje simulacijskih rezultatov, ter Taktičnim predvajalnikom /23/ za nazorno vizualizacijo rezultatov ekspertnega sistema. V takšnem simulacijskem sistemu je najtežavnejši problem natančno modeliranje kompleksnih aplikacij, kakršne so uporabljene tudi v TISPNK. V opisanem simulacijskem sistemu smo ta problem poenostavili s statističnim modeliranjem podatkovnih izvorov.

V tem članku bomo pokazali drugačen pristop, kjer se izognemo modeliranju na aplikacijskem nivoju tako, da v simulacijsko zanko, v realnem času, povežemo realno komunikacijsko opremo. Eden prvih takšnih simulatorjev je predstavljen v člankih /5, 6/, kjer so avtorji predstavili simulator taktičnih omrežij v realnem času z imenom »Battle-space communication network planner and simulator«. Izdelan simulator temelji na simulacijskem okolju OPNET v povezavi s specialno v ta namen razvito komunikacijsko opremo, ki omogoča emulacijo vplivov simuliranih radijskih naprav na podatkovne prenose med realnimi komunikacijskimi napravami in aplikacijami.

V naši raziskavi smo za tovrstne simulacije uporabili namesto specialne emulacijske strojne opreme programsko rešitev, ki jo ponuja najnovejši OPNET modul System-in-the-Loop (SITL) /11/, katerega smo že na kratko opisali v /9/. Modul SITL omogoča izmenjavo paketov med realnimi in simuliranimi napravami ter predstavlja zadnjo večjo novost na področju simulacij komunikacijskih omrežij, ki je bila predstavljena na konferenci OPNETWORK 2007 /10/. V članku bomo predstavili nekaj rezultatov, ki smo jih pridobili v fazi testiranja tega koncepta, pri načrtovanju simulatorja TISPINK.

V fazi testiranja smo izvedli »real-sim-real« tip simulacij, kjer realne komunikacijske naprave komunicirajo preko simuliranega omrežja. Preko simulatorja (računalnik z nameščenim simulacijskim okoljem OPNET Modeler in dodatnim SITL modulom) smo povezali dva realna prenosna računalnika. Komunikacijo med priključenima prenosnikoma smo najprej testirali s pomočjo ICMP ping aplikacije, nato pa smo izvedli še prenos digitalnega govora (VoIP). Kot VoIP aplikacijo smo uporabili D-Voicer /12/, ki omogoča prenos digitalnega govora z uporabo širokopasovne internetne povezave.

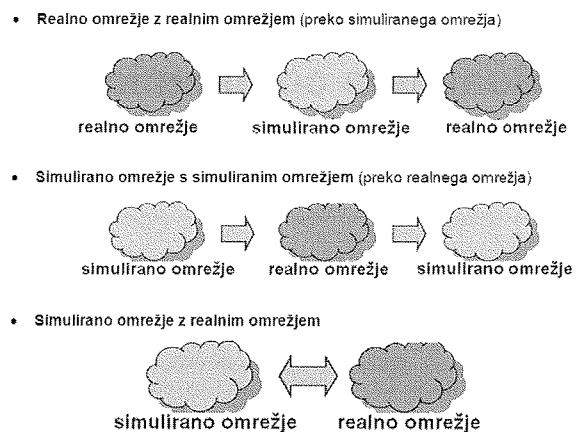
V drugem delu tega članka smo predstavili zasnovo sistema za simulacijo taktičnih omrežij slovenske vojske. V tem primeru so preko simulatorja povezani realni taktični računalniki, z nameščeno specialno programsko opremo za sisteme poveljevanja in kontrole, kot je npr. replikacijski mehanizem IRM /1, 2/. V simulatorju je modelirano brezžično radijsko omrežje na virtualnem terenu, kjer je upoštevan vpliv terena na širjenje radijskih valov /13/. Takšen simulacijski sistem omogoča zelo realistično urjenje poveljniškega kadra.

Članek je sestavljen iz naslednjih poglavij. Drugo poglavje opisuje modul SITL. Tretje poglavje opisuje »real-sim-real« tip simulacije, kjer realne komunikacijske naprave komunicirajo preko simuliranega omrežja. Uporabnost tega kon-

cepta smo prikazali na primeru prenosa digitalnega govora (VoIP) preko preprostega simuliranega omrežja. V četrtem poglavju je predstavljena zasnova trenažnega sistema poveljevanja in kontrole Slovenske vojske. V zaključku so podani predlogi za možnosti uporabe tovrstnih simulacij.

2. Modul SITL

Simulacijo v realnem času z realnimi napravami v simulacijski zanki smo izvedli s pomočjo OPNET modula System-in-the-Loop (SITL) /9, 11/. Modul SITL omogoča povezavo in izmenjavo paketov med realnimi omrežnimi napravami in simuliranimi omrežnimi napravami v realnem času. Obstajajo tri tipične konfiguracije povezovanja zunanjimi omrežnimi napravami, ki jih prikazuje slika 1.

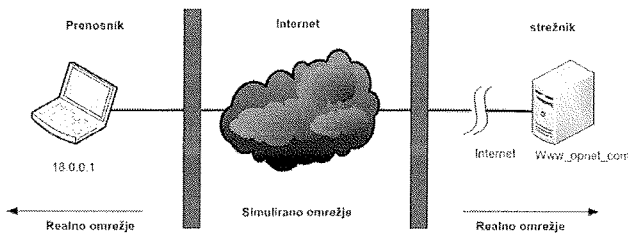


Slika 1: Možnosti povezav realnih in simuliranih naprav ali omrežij s pomočjo modula System-in-the-Loop /10/.

Najzanimivejši primer povezav predstavlja prvi tip simulacije (»real-sim-real«), kjer povežemo realne komunikacijske naprave preko simuliranega omrežja. Simulirano omrežje vpliva na realne pakete v obliki zakasnitev, izgub, podvojitev, itd. SITL omogoča, s pomočjo prevajalnih funkcij, povezavo med simulacijskim okoljem z OPNET Modelerjem ter Ethernet fizičnimi vmesniki gostujočega računalnika. S pomočjo prevajalnih funkcij se realni paketi pretvorijo v simulacijske pakete (in obratno). V primerih uporabe protokolov, ki s SITL niso podprti, pa lahko tudi sami napišemo svojo prevajalno funkcijo/11/. V verziji OPNET Modeler 14.5 so, v kombinaciji s SITL, podprti naslednji protokoli: Ethernet, IPv4 in IPv6, ICMP, ICMPv6, OSPFv2, RIPv1, RIPv2, TCP, UDP, okrnjen FTP.

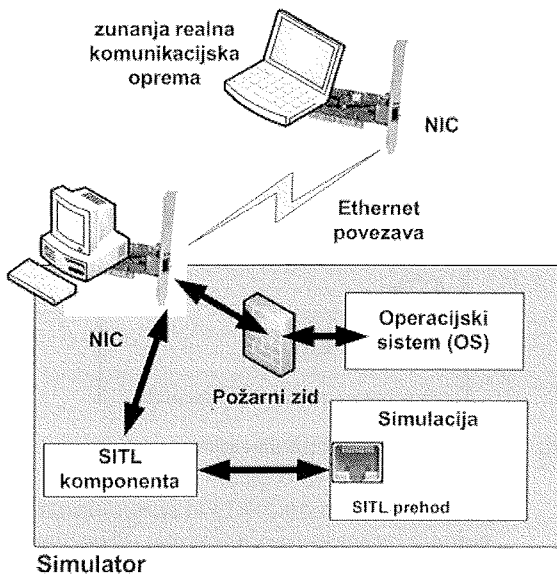
V primeru tipa simulacij, kjer realna omrežja komunicirajo preko simuliranega omrežja, SITL praktično podpira vse potrebne protokole, saj simulirano omrežje uporabimo le kot transportno omrežje. Primer takega simulacijskega scenarija je prikazan na sliki 2, kjer realni klient dostopa do realnega strežnika preko simuliranega omrežja, predstavljenim z internetnim oblakom. Na SITL vmesniku, kjer je priključen na simulacijo realni prenosni računalnik, se paketi preoblikujejo v simulacijske, ti paketi potujejo preko

simuliranega interneta, nato se pri drugem SITL vmesniku, ponovno pretvorijo v realne pakete, ki potujejo do realnega strežnika.



Slika 2: Primer uporabe »real-sim-real« tip simulacij, kjer realni gostitelj in strežnik komunicirata preko simuliranega omrežja v simulacijskem okolju OPNET.

Slika 3 prikazuje obravnavanje paketov na simulacijskem računalniku v primeru uporabe v SITL modula. Realne pakete, ki prispejo na Ethernet vmesnik (mrežne kartica NIC) in so namenjeni za simulacijo, blokira na poti do lokalnega operacijskega sistema požarni zid. Hkrati se ti paketi, s pomočjo gonilnikov WinPCap /14/ zajamejo, filtrirajo in preusmerijo preko SITL prehoda v simulirano omrežje.



Slika 3: Blokorna shema simulacijskega sistema z nameščeno programsko opremo OPNET in SITL, kjer se izvaja simulacija v realnem času.

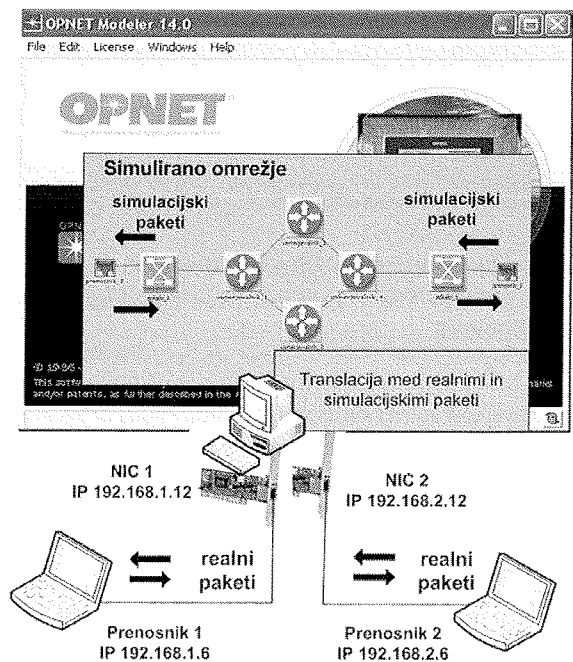
Modul SITL je primeren za uporabo v naslednjih primerih /10/:

- opazovanje vplivov simuliranega omrežja na realno omrežje in obratno.
- simuliranje vpliva obremenjevanja realnega omrežja s pomočjo simuliranega generatorja prometa.
- razvoj in preizkušanje prototipov novih protokolov in naprav z povezavo realnih naprav ali protokolov z simuliranimi.

- zunanje krmiljenje simuliranih naprav v realnem času
- testiranje zmogljivosti novih komunikacijskih protokolov.
- testiranje skalabilnosti s povečanjem števila realnih naprav v omrežju s pomočjo dodatnih simuliranih naprav
- itd.

3. Prenos realnega digitalnega govora preko simuliranega omrežja

Metodologijo simulacij tipa »real-sim-real« bomo pokazali najprej na primeru prenosa digitalnega govora preko simulirane omrežne infrastrukture. Na simulacijski računalnik smo priključili dva prenosnika (Prenosnik 1 in Prenosnik 2) preko dveh mrežnih vmesnikov (NIC1 in NIC2). Princip priključitve zunanjih prenosnikov na simulator s potrebnimi nastavitvami prikazuje slika 4.

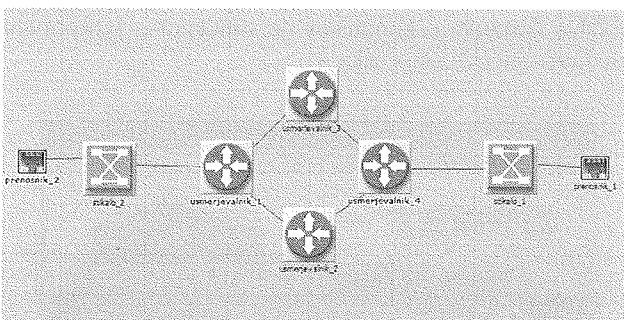


Slika 4: Povezava zunanjih realnih prenosnikov (Prenosnik 1 in Prenosnik 2) na simulator, kjer se izvaja simulacija komunikacijske infrastrukture.

Konfiguracija z dvema mrežnima karticama na simulacijskem računalniku je nujna v primeru, ko so internetni naslovi obeh računalnikov iz istega podomrežja. V nasprotnem primeru bi zadostoval, na simulacijskem računalniku, en sam vmesnik, na katerega bi priključili oba prenosnika preko zvezdišča. S temi ukrepi zagotovimo, da med zunanjimi napravami ni direktne komunikacije.

Potem, ko smo povezali zunanje računalnike na simulator in nastavili komunikacijske parametre (IP naslovi, nastavitve požarnih zidov, itd.), smo se lotili še modeliranja simu-

liranega omrežja, preko katerega bo potekala komunikacija z realnimi zunanji računalniki. V simulacijskem okolju OPNET imamo na voljo posebno knjižnico s SITL gradniki kot sta SITL prehod (SITL_Gateway) in SITL povezavo (SITL_link). SITL prehod omogoča prehod paketov med simuliranimi in realnimi komunikacijskimi napravami. Na SITL prehodu lahko izbiramo prevajalne funkcije za pretvorbo paketov ter definiramo filter za zajem paketov na mrežni kartici. S tem lahko določimo katere pakete bomo usmerili v simulacijo in katere blokirali. Pomembna je tudi definicija izvora IP paketov, kjer določimo, s katere mrežne kartice bodo zajeti realni paketi. SITL povezava se uporablja za povezavo med SITL prehodom in prvo simulacijsko napravo. Slika 5 prikazuje simulirano omrežje, ki smo ga uporabili v našem primeru za prenos digitalnega govora med realnima prenosnima računalnikoma (Laptop 1 in Laptop 2). Simulirano omrežje je sestavljeno iz dveh stikal ter štirih usmerjevalnikov.



Slika 5: Simulirano omrežje uporabljeno v simulacijskem primeru za prenos digitalnega govora.

Povezljivost med prenosnikoma preko simuliranega omrežja smo najprej testirali s pomočjo ICMP aplikacije ping, ki smo jo izvedli na enem izmed obeh prenosnikov. Komunikacija med realnima računalnikoma je možna le v primeru, da je simulacija aktivna in so vsi komunikacijski parametri pravilno nastavljeni. Na sliki 6 je prikazan primer uspešnega testa povezljivosti.

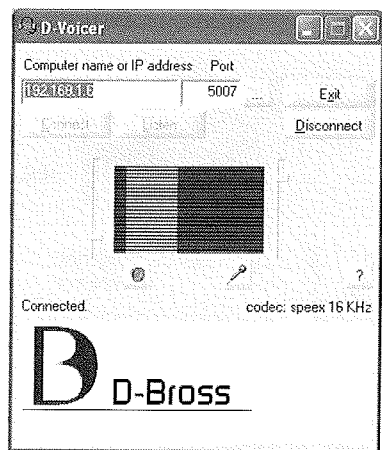
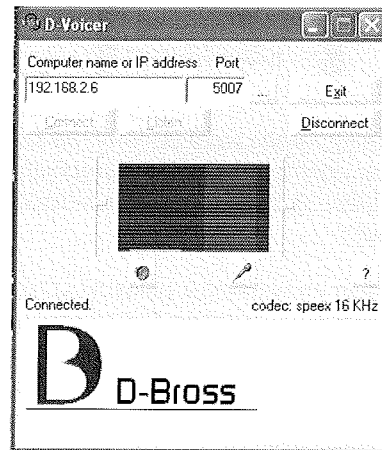
```

Visual Studio 2005 Command Prompt
Iztekla se je časovna omejitev za zahtavo.
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 54ms TTL=125
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 23ms TTL=125
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 23ms TTL=125
Statistika preverjanja dosegljivosti za 192.168.1.6:
Paketov: Poslanih = 4, Prejetih = 3, Izgubljenih = 1 (25% izguba),
Povprečni čas v milisekundah:
Minimum = 23ms, Maksimum = 54ms, Povprečje = 33ms
C:\>ping 192.168.1.6
Preverjanje dosegljivosti 192.168.1.6 z 32 B podatkov:
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 57ms TTL=125
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 29ms TTL=125
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 29ms TTL=125
Odgovor od 192.168.1.6: bajtov=32 čas = 29ms TTL=125
Statistika preverjanja dosegljivosti za 192.168.1.6:
Paketov: Poslanih = 4, Prejetih = 4, Izgubljenih = 0 (0% izguba),
Povprečni čas v milisekundah:
Minimum = 29ms, Maksimum = 57ms, Povprečje = 29ms
C:\>
    
```

Slika 6: Preverjanje povezljivosti med realnima računalnikoma (Prenosnik 1 in prenosnik 2) povezanimi preko simuliranega omrežja.

Ko smo vzpostavili povezavo med obema računalnikoma, smo izvedli še preizkus prenosa digitalnega govora preko simuliranega omrežja. Na prenosna računalnika (Prenos-

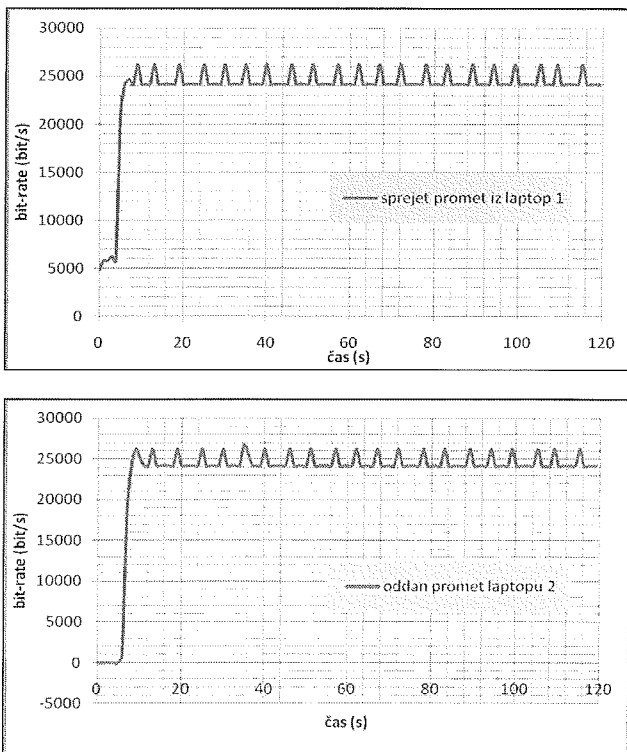
nik 1 in Prenosnik 2) smo namestili Voice over IP (VoIP) aplikacijo D-Voicer / 12, 15/. D-Voicer je preprosta aplikacija, ki omogoča prenos govora z uporabo širokopasovne internetne povezave. Uporabniški vmesnik te aplikacije je prikazan na sliki 7. VoIP storitve pretvorijo analogni govor iz mikrofona v digitalni signal, katerega nato prenašamo po omrežju. Na drugi strani omrežja se digitalni signal ponovno pretvori v govor in reproducira na slušalkah.



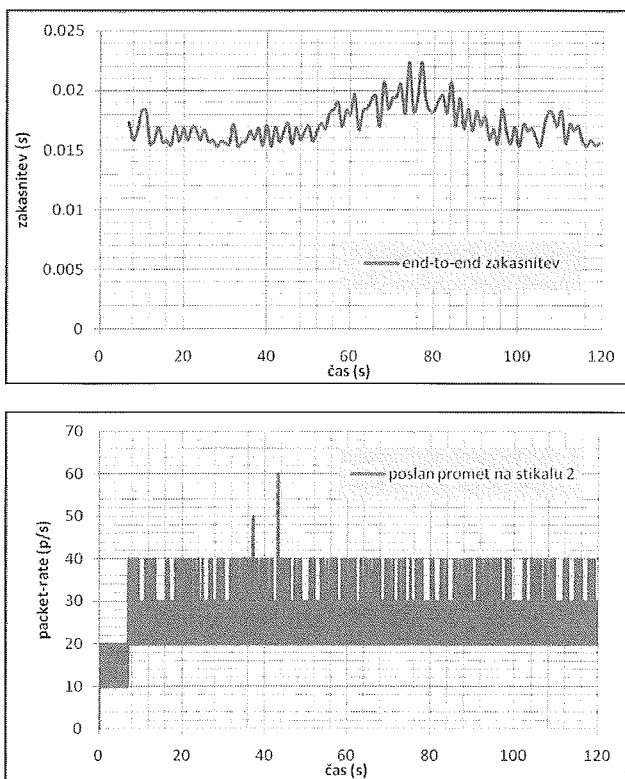
Slika 7: Uporabniški vmesnik aplikacije D-Voicer za primer oddajanje digitalnega govora na prenosniku (Prenosnik 1) in sprejemanje tega signala na drugem prenosniku (Prenosnik 2) preko simuliranega omrežja.

Po izvedeni simulaciji lahko na podlagi zajetih statistik, v OPNET Modelerju, opravimo podrobno analizo rezultatov. Slika 8 prikazuje realni promet digitalnega govora izmerjenega na SITL prehodih, ki predstavljajo točko vstopa podatkov digitalnega govora v simulirano omrežje (zgornji graf) ter točko izstopa (spodnji graf).

Iz rezultatov simulacij vidimo, da je promet, ki ga oddaja prenosnika 1 enak tistemu, ki ga sprejema prenosnik 2, kar pomeni, da ni bilo izgubljenih podatkov. Slika 9 prikazuje izmerjene zakasnitev (zgornji graf), ki nastajajo v simuliranem omrežju pri prenosu digitalnega govora, ter promet izražen v paketih/s, ki smo ga izmerili na simuliranem stikalu 2.



Slika 8: Promet digitalnega govora v bit/s izmerjen na SITL prehodih pri vходу in izhodu iz simuliranega omrežja.



Slika 9: Prvi graf prikazuje zakasnitve digitalnega govora pri prenosu preko simuliranega omrežja. Drugi graf prikazuje poslan promet v paketih/s preko drugega stikala v simuliranem omrežju.

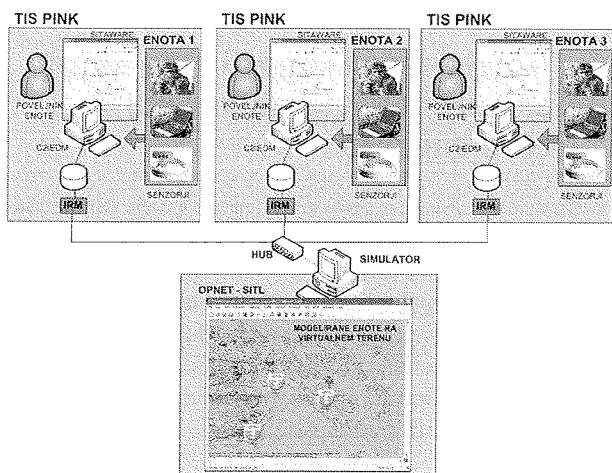
Iz rezultatov na sliki 9 vidimo, da so zakasnitve v simuliranem omrežju pri prenosu digitalnega govora minimalne. To je tudi za pričakovati, saj so bile uporabljene simulirane povezave s kapaciteto 100Mb/s minimalno obremenjene.

4. Načrtovanje lastnosti sistema za simulacije taktičnih omrežij v realnem času

V zadnjih letih se je vse bolj pojavila potreba po simulacijah v realnem času z realno opremo v simulacijski zanki. Ta trend je še posebej izražen na vojaškem področju. Eden prvih eksperimentov na tem področju je »Battlespace communication network planner and simulator« /5, 6/, kjer je bila razvita namenska programska in strojna komunikacijska oprema, ki je omogočila povezavo med realnim in simuliranim komunikacijskimi napravami.

Koncept, ki ga bomo predstavili tukaj, temelji na programski rešitvi, kjer smo namesto posebej razvite strojne opreme uporabili v prejšnjih poglavjih predstavljen OPNET modul SITL. Na osnovi tega koncepta želimo zasnovati trenažer taktičnih informacijskih sistemov poveljevanja in kontrole (TISPINK) (C2IS – Command and Control Information Systems), ki bo omogočal zelo realistično urjenje poveljniškega kadra. V takšnem sistemu bi povezali realne taktične računalnike, na katerih je nameščena TISPINK programska oprema (IRM in Sitaware), s simuliranim taktičnim radijskim omrežjem na virtualnem terenu. Na sliki 10 je predstavljena zasnova takšnega simulacijskega sistema. Vsaka taktična enota ima vsaj en taktični računalnik, ki se povezuje z ostalimi enotami preko TISPINK sistema. V trenažnem sistemu smo vse taktične računalnike povezali v Ethernet lokalno omrežje preko zvezdišča. Osnovo TISPINK programske opreme slovenske vojske predstavljata grafični vmesnik Sitaware in replikacijski mehanizem IRM /1, 2/, ki skrbi za izmenjavo podatkov med podatkovnimi bazami enot. Obe programski opremitvi sta produkta Danskega proizvajalca Systematic /16/. V isto lokalno omrežje povežemo tudi računalnik, na katerem je nameščena simulacijska programska oprema OPNET Modeler z dodatnim modulom SITL. V simulacijskem okolju OPNET na virtualen teren postavimo komunikacijske modele taktičnih enot (za vsak taktični računalnik po en model). Taktične radijske postaje so modelirane z brezžičnimi usmerjevalniki, katerim lahko nastavljamo parametre, kot so oddajna moč, tip antene, modulacija, frekvenca kanala, kapaciteta kanal, itd. Trenažni sistem temelji na že predstavljenem tipu »real-sim-real« SITL simulacij. V takšnem trenažnem sistemu se bodo realni TISPINK podatki replicirali preko simuliranega brezžičnega omrežja v simulatorju. Simulator bo zelo realistično vplival na realne pakete v obliki zakasnitve, izgube podatkov zaradi radijskih motilnikov (jamerjev), izgube radijske vidljivosti, itd. TISPINK operaterji bodo komunikacijske probleme zaznali na enak način, kot da bi bili na realnem terenu z realno komunikacijsko opremo. Takšen sistem omogoča, zraven realističnega treninga poveljnikov in TISPINK operaterjev, tudi kakovostno

načrtovanje radijskih omrežij in razvoj taktičnih strategij, saj je mogoče že v laboratoriju predvideti velik del komunikacijskih problemov, ki bi se drugače pokazali šele na terenu.



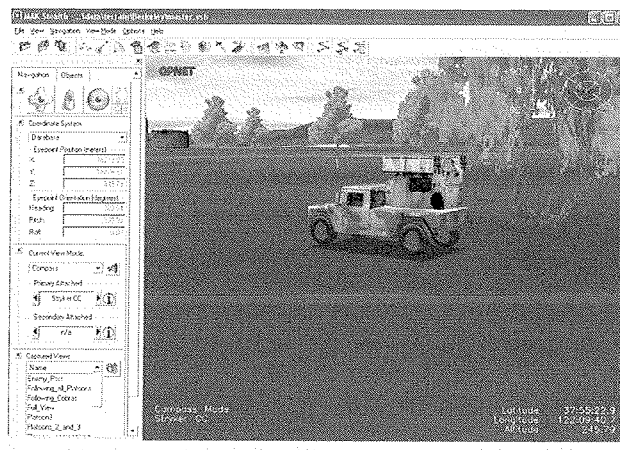
Slika 10: Trenažer taktičnih informacijskih sistemov poveljevanja in kontrole.

Za zagotovitev takšnih simulacij so potrebni zraven OPNET Modelerja še naslednji moduli:

- TMM (Terrain Modelling Module) je modul, ki omogoča upoštevanje vpliva terena na širjenje radijskih valov. Virtualni teren je modeliran v obliki višinskih zemljevidov formata DTED (Digital Terrain Elevation Data) in USGS (U.S. Geological Survey).
- Paket za simulacijo brezžičnih omrežij (Wireless Suite) omogoča simulacijo brezžičnih omrežij različnih tipov in tehnologij kot so MANET, 802.11, 3G/4G, Ultra Wide Band, WiMAX, Bluetooth, Satelitski linki, itd. /11, 17, 18/. Imamo na voljo tudi več različnih modelov širjenja radijskih valov kot so Free-space/19/, Longley-Rice/20, 21/ ali pa model TIREM /22/, ki ga uporablja tudi ameriška vojska.
- 3D vizualizacija omrežij (3DNV) /9, 11/ omogoča prikazovanje 3D animacij simuliranih omrežij na virtualnem terenu. Takšna vizualizacija je uporabna predvsem za ponazoritev vpliva terena na brezžično komunikacijo ali vpliv premikanja mobilnih enot na brezžično komunikacijo. 3DNV omogoča ponazoritev komunikacijskih enot z 3D modeli vojaških vozil, ljudi, letal, vojaških baz, ... na v 3D modeliranem terenu. Slika 11 prikazuje primer ponazoritve taktične radijske postaje z vojaškim vozilom.

5. Zaključek

V članku smo predstavili nov princip simulacije komunikacijskih omrežij in sicer simulacije v realnem času z realno komunikacijsko opremo v simulacijski zanki. V našem primeru smo za tovrstne simulacije uporabili modul SITL programskega paketa OPNET Modeler. V prvem delu član-



Slika 11: Realistična 3D vizualizacija simulirane komunikacijske opreme na virtualnem terenu.

ka smo tovrstne simulacije prikazali na primeru prenosa realnega digitalnega govora (VoIP) preko preprostega simuliranega omrežja. Priloženi simulacijski rezultati, za oddani in sprejet promet, zakasnitve itd., nakazujejo nekaj možnosti, ki ji takšne simulacije nudijo. V zadnjem delu članka smo predstavili zasnovo trenažerja taktičnih informacijskih sistemov poveljevanja in kontrole (TISPINK), ki je zasnovan na enakem konceptu, ki smo ga pokazali na primeru prenosa govora. V tem primeru bodo realni taktični računalniki s TISPINK programsko opremo, komunicirali preko simuliranega radijskega omrežja na virtualnem terenu. Takšen sistem bo omogočal realističen trening poveljnikom enot, po drugi strani pa bo omogočal tudi kakovostno načrtovanje taktičnih komunikacijskih omrežij in taktičnih vojaških aktivnosti.

Uporabnost tovrstnih simulacij je mogoče najti tudi na civilnih področjih komunikacij, kot na primer pri razvoju in testiranju novih komunikacijskih protokolov in naprav (na primer za področje VoIP).

Reference

- /1/ J. Mohorko, M. Fras and Ž. Čučej, Modeling of IRIS Replication Mechanism in a Tactical Communication network, using OPNET, Communication Network (accepted but not published yet).
- /2/ J. Mohorko, M. Fras and Ž. Čučej: "Modeling of IRIS replication mechanism in tactical communication network with OPNET", OPNETWORK 2007 - the eleventh annual OPNET technology Conference, August 27th-31st, Washington, D.C., 2007.
- /3/ Jože Mohorko, Saša Klampfer, Žarko Čučej, Ekspertni sistem za analizo rezultatov simulacij taktičnih radijskih omrežij, Inf. MIDEEM, 2008, ????
- /4/ J. Mohorko, S. Klampfer, "A system for expert analysis of tactical networks' performances", SoftCOM 2008, Sep-tember 25-27, 2008, Split - Dubrovnik, Croatia.
- /5/ L. B. H. Ernest and L. C. W. Clement, BattleSpace Communications Network Planner and Simulator (BCNPS), OPNETWORK 2004 - Aug 30th - Sept 3rd - Washington, D.C.
- /6/ L. J. Phang, A. Y. P. Chua, T. H. Beck and E. B. H. Lee, Battle Space Communications Network Planner and Simulator (BCNPS), Proceedings to 10th International Command and Control

- Research and Technology Symposium: The Future of Command and Control, June 13-16, McLean, VA. Command and Control Research Program (CCRP), Washington, D.C, 2005.
- /7/ M. Fras, J. Mohorko, Ž. Čučej, Analiza, modeliranje in simulacija vpliva prometa aplikacij za izmenjavo datotek P2P na zmogljivost omrežij, Inf. MIDEEM, 2008, ????.
- /8/ M. Fras, J. Mohorko, Ž. Čučej, "Estimating the parameters of measured self similar traffic for modeling in OPNET", in: Proceedings of IWSSIP2007 Conference, Maribor, Slovenia, 2007.
- /9/ M. Fras, G. Globačnik in J. Mohorko, Advanced method of network simulations with OPNET Modeler, Zbornik radova, Novi Sad, Serbia, 2008, str. 215-218.
- /10/ OPNET Technologies, Inc, Session 1933: Developmental and Interoperability Testing with OPNET System-in-the-Loop, Proceedings, OPNETWORK 2007 - the eleventh annual OPNET technology Conference, August 27th-31st, Washington, D.C., 2007.
- /11/ OPNET 14.5 PL5 dokumentacija.
- /12/ <http://www.d-voicer.com/>.
- /13/ M. Fras, J. Mohorko, Ž. Čučej, Simuliranje taktičnih omrežij z upoštevanjem modela širjenja radijskih valov. ERK 2007, 24. - 26. September 2007, Portorož, Slovenija.
- /14/ <http://www.winpcap.org/>.
- /15/ T. Wallingford, Switching to VoIP, O'Reilly Media, Inc., CA, USA, 2005.
- /16/ <http://www.systematic.dk/>.
- /17/ B. Vujičić, Modeling and Characterization of Traffic in Public Safety Wireless Networks, Master of Applied science, Simon Fraser University, Vancouver, Canada, 2006.
- /18/ M. Z. Jiang, Analysis of wireless data network traffic, Master of Applied Science, Simon Fraser University, Vancouver, Canada, 2000.
- /19/ S. R. Robinson and P. S. Idell, Free-space propagation model for coherence-separable broadband optical fields, Optical Society of America, Journal, vol. 70, Apr. 1980, p. 432-437.
- /20/ K. A. Chamberlin and R. J. Luebbers, An Evaluation of Longley-Rice and GTD Propagation Models, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-30, Nov. 1982, p. 1093-1098.
- /21/ M. M. Weiner, Use of the Longley-Rice and Johnson-Gierhart Tropospheric Radio Propagation Programs: 0.02-20 GHz, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, VOL. SAC-4, No. 2, March 1986.
- /22/ D. Eppink and W. Kuebler, TIREM/SEM Handbook, Department of defense, Electromagnetic compatibility analysis center, Annapolis, Maryland, 1995.
- /23/ G. Globačnik, J. Mohorko, Ž. Čučej, Result visualization in tactical network simulations, International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks -SoftCOM 2008, September 25-27, 2008 Split - Dubrovnik, Croatia.

*Matjaž Fras, Jože Mohorko
Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko
Univerza v Mariboru, Smetanova 17,
2000 Maribor, Slovenija
Tel: (+386 2) 220-7120 Email: matjaz.fras1@uni-mb.si*

Prispelo (Arrived): 29.10.2008 Sprejeto (Accepted): 09.06.2009