

SOFTVERSKI ALATI U NASTAVI RAČUNARSKIH KOMUNIKACIJA

Borislav Odadžić, Dalibor Dobrilović
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" – Zrenjanin

Sadržaj: *Pojava i razvoj novih tehnologija u oblasti računarskih komunikacija u velikoj meri nameće važnost obučavanja i edukacije eksperata za njihovu primenu. Ta edukacija se vrši na visokoškolskim ustanovama, a njena efikasnost je određena velikim brojem faktora. Jedan od faktora koji određuju efikasnost tog procesa su i alati koji se koriste za njegovu realizaciju. U radu će biti prezentovani softverski alati koji se koriste za učenje sadržaja u okviru računarskih komunikacija, njihove karakteristike i iskustva u radu sa njima. Prikazani su alati za simulaciju (OPNET IT Guru, OMNET++, GNS3) i emulaciju računarskih mreža kao i virtualne mrežne laboratorije VNLab, VNUML, Netkit i V-NetLab. Zajedno sa prikazom alata i njihovim osobinama, prikazana je i njihova zastupljenost u nastavi na univerzitetima i tehnologije koje one pokrivaju.*

Ključne reči: *simulacija računarskih mreža, emulacija računarskih mreža, virtualne mrežne laboratorije*

1. Uvod

U današnje vreme, koje karakteriše brz razvoj tehnologija u oblasti računarskih komunikacija, sve veća važnost se pridaje edukaciji eksperata koji će se baviti tim tehnologijama. Edukacija eksperata ovih profila se vrši na tehničkim visokoškolskim ustanovama. Efikasnost nastave u najvećoj meri zavisi od laboratorijskih uslova u kojima se izvodi njen praktičan deo. Visoka cena opreme, njen brz razvoj i česte potrebe za nadogradnjom znatno otežavaju održavanje efikasnosti tih laboratorija. Zbog svih ovih uslova, raste i značaj softverskih rešenja u ovoj oblasti. U ovom radu će biti prezentovani softverski alati koji se mogu koristiti u nastavi u predmetima vezanih za računarske komunikacije. U osnovi, ti alati se mogu svrstati u dve grupe: alati za simulaciju računarskih mreža i alati za emulaciju. U grupa alata koji se koriste za simulaciju računarskih mreža postoje mnogi alati: ns-2 (Network Simulator), ns-3, Bosom NetSim, NetSim i dr. U ovom radu su dati primeri upotrebe alata OPNET IT Guru, tj. njegove akademske varijante u nastavi, kao i drugog alata za simulaciju OMNET++.

Druga grupa softverskih alata predstavlja alate za emulaciju računarskih sistema i specifičnu grupu softverskih alata – virtualne mrežne laboratorije. U osnovi, ovde se radi o alatima za virtualizaciju koji danas na tržištu imaju veliku zastupljenost. Alati za virtualizaciju služe za emulaciju jednog ili više virtualnih računara na jednom fizičkom

računaru. Takođe, oni poseduju mogućnost emulacije virtuelnih mrežnih linkova i samim tim virtuelnih mreža na jednom fizičkom računaru. Alati za emulaciju u nastavi računarskih komunikacija imaju veliku primenu u obliku virtuelnih mrežnih laboratorija (VNUML, Netkit, VNLab, Vlab-Net).

U radu će biti prikazani načini upotrebe ovih alata i iskustva u radu sa njima koju su dobijena dugogodišnjom upotrebom ovakvih alata u nastavi na Tehničkom fakultetu "Mihajlo Pupin" – Zrenjanin.

2. Alati za simulaciju računarskih mreža

U osnovi, postoje tri veoma zastupljena softvera za simulaciju računarskih mreža. To su OPNET IT Guru, OMNET++ i GNS3.

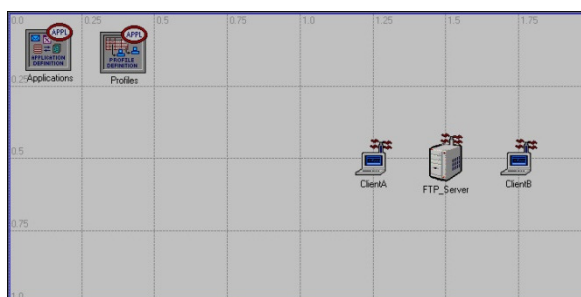
OPNET IT Guru Academic Edition softver pruža mogućnost kreiranja simuliranog okruženja za modelovanje, analizu i predviđanje performansi IKT infrastruktura, uključujući aplikacije, servere, i mrežne tehnologije. Komercijalna verzija ovog softvera dizajnirana je za kompanije i njihovu IT strukturu, dokumentovanje i profesionalnu podršku. OPNET softver se koristi u hiljadama preduzeća i vladinih organizacija širom sveta. Za upotrebu u nastavi koristi OPNET IT Guru – Academic Edition, specijalizovana besplatna verzija softvera koja se koristi na oko 500 univerziteta u nastavi i istraživanju. Ova verzija je bazirana na OPNET IT Guru softveru, a dizajnirana je za dopunu specifičnih laboratorijskih vežbi koje služe za učenje fundamentalnih mrežnih koncepata. To je program za simulaciju diskretnih događaja (eng. discrete event simulator) u računarskim mrežama i za njega je razvijen veliki broj simulacija i simulacionih scenarija koji se koriste u nastavi na univerzitetima. Veliki broj laboratorijskih vežbi objavljen je u formi udžbenika. Određeni broj vežbi se može preuzeti i sa OPNET veb sajta (http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/index.html), a spisak udžbenika i nastavnih materijala dostupnih sa sajta dat je u nastavku:

- Business Data Communications (William Stallings)
- Business Data Communications and Networking (Jerry Fitzgerald & Alan Dennis)
- Business Data Networks and Telecommunications (Raymond R. Panko)
- Computer Networks - A Systems Approach (Larry L. Peterson & Bruce S. Davie) [1]
- Data and Computer Communications (William Stallings)
- OPNET IT Guru Academic Edition – A Tool for Networking Education – Regis Univerzitet, SAD
- Security Labs in IT Guru Academic Edition – Univerzitet Ramon Ljulj, Španija
- Simulacao Computacional para Redes de Computadores (Paulo Dias de Alecrim)

Najbolji izvori za laboratorijske vežbe su priručnik *Network Simulation Experiments Manual* [2], koji se koristi uz knjigu *Computer Networks - A Systems Approach* [1]. Vežbe koje se mogu naći u ovoj knjizi su: Lab 0 Introduction, Lab 1 Ethernet, Lab 2 Token Ring, Lab 3 Switched LANs, Lab 4 Network Design, Lab 5 ATM, Lab 6 RIP: Routing Information Protocol, Lab 7 OSPF: Open Shortest Path First, Lab 8

Border Gateway Protocol (BGP), Lab 9 TCP: Transmission Control Protocol, Lab 10 Queuing Disciplines, Lab 11 RSVP: Resource Reservation Protocol, Lab 12 Firewalls and VPN, Lab 13 Applications, Lab 14 Wireless Local Area Network, Lab 15 Mobile Wireless Network (Slika 1.)

Drugi izvor vežbi za ovo okruženje je veb sajt sa podrškom i materijalima za vežbe uz knjigu *Business Data Networks and Telecommunications* [3]: Lab 1 Evaluating Internet Connection Choices for a small Home PC Network, Lab 2 Evaluating LAN Configuration in a Multistoried Office Building, Lab 3 Evaluating Application Performance across a WAN, Lab 4 Changing Frame Relay PVC Speeds in a WAN Environment, Lab 5 Predicting the Impact of TCP Window Size on Application Performance, Lab 6 Evaluating Firewall Policies to Manage Network Traffic, Lab 7 Troubleshooting and predicting the performance of an Oracle application.



Slika 1. Prikaz simulacije bežičnih mreža u OPNET IT Guru Academic Edition softveru

OMNET++

OMNeT++ je proširiva, modularna, na komponentama bazirana simulaciona biblioteka i framework koja je namenjena za razvoj simulatora mreža [2]. "Mreža" se ovde koristi u širem smislu jer framework obuhvata žične i bežične komunikacione mreže, on-chip mreže, mreže sa redovima čekanja, itd. U vidu framework modela, takođe su podržane i specifične funkcionalnosti kao što je podrška za senzorske mreže, bežične ad-hoc mreže, Internet protokole, modelovanje performansi, fotonske mreže, itd. OMNeT++ uključuje Eclipse IDE grafičko razvojno okruženje, kao i mnoštvo drugih alata. Postoje ekstenzije za simulacije u realnom vremenu, mrežne emulacija, podrška za programske jezike Java i C# itd. OMNET++ je proširen sledećim projektima i simulacionim modelima:

INET Framework podržava modele za IP, TCP, UDP, PPP, Ethernet, MPLS sa LDP i RSVP-TE signalizacijom i druge protokole. Takođe ima podršku za mobilne i bežične komunikacije (<http://inet.omnetpp.org>).

INETMANET sadrži nekoliko implementacija ad-hoc protokola za rutiranje u okviru INET Framework-a.

MiXiM je OMNeT++ framework za mobilne i fiksne mreže (wireless sensor networks, body area networks, ad-hoc networks, vehicular networks, itd.). MiXiM je orijentisan ka nižim slojevima steka protokola i daje detaljne modele propagacije radio talasa, procene interferencije, potrošnje radio predajnika i bežične MAC protokole. MiXiM objedinjuje nekoliko ranijih framework-a: ChSim (Universitaet Paderborn), Mac

Simulator (Technische Universiteit Delft), Mobility Framework (Technische Universiteit Berlin), Telecommunication Networks Group, Positif Framework (Technische Universiteit Delft).

Castalia je simulator za Wireless Sensor Networks (WSN), Body Area Networks (BAN) i generalno za mreže za embedded uređaje. Castalia se koristi za testiranje distribuiranih algoritama i protokola u realističnim modelima bežičnih i radio sistema.

xMIPv6 je veoma precizan i proširiv simulacioni model Mobile IPv6 sisteme i predstavlja deo INET Framework-a.

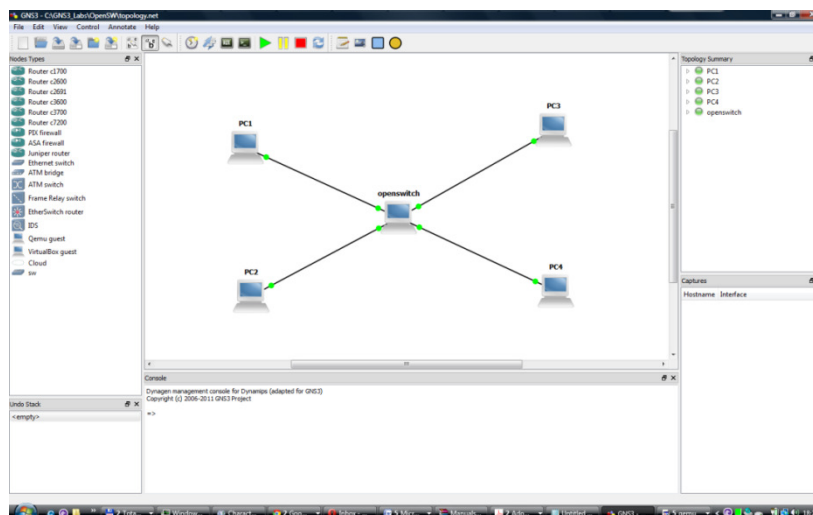
Ostali simulacioni modeli su **ReaSE**, **OverSim**, **Mobility Framework (MF)** i mnogi drugi.

GNS3 (Graphical Network Simulator)

GNS3 je grafički simulator koji omogućava simulaciju kompleksnih mreža [4]. Da bi omogućio okruženje za simulaciju složenih komunikacionih sistema (Slika 2.), GNS3 je integrisan sa sledećim programskim paketima:

- Dynamips - Cisco IOS emulator,
- Dynagen – tekstualno bazirani interfejs za Dynamips,
- Qemu – generički i open source emulator i virtualizer,
- VirtualBox – vesplatni softver za virtualizaciju,
- Wireshark - open-source program za analizu paketa.

GNS3 je odličan alat za kreiranje laboratorijskih vežbi za inženjere, administratore i za pripremu ispita za sledeće sertifikate: Cisco (CCNA, CCNP, CCIP i CCIE), Juniper (JNCIAm, JNCIS i JNCIE) Redhat (RHCE, RHCT), Microsoft (MSCE, MSCA) i Novell (CLP). Može se koristiti za eksperimentisanje i rad sa Cisco IOS i Juniper JunOS operativnim sistemima [4].



Slika 2. Prikaz simulacije virtuelnihi privatnih mreža sa Microcore Linux operativnim sistemom i Open vSwitchpaketom u GNS3

3. Alati za emulaciju računarskih mreža i virtuelne mrežne laboratorije

U osnovi virtuelnih mrežnih laboratorija nalazi se tehnologija za virtuelizaciju [5]. Uprkos velikoj popularnosti ove tehnologije u današnje vreme, radi se o veoma staroj tehnologiji. Nastanak ove tehnologije vezuje se sa ranim 70-im godinama prošlog veka [6]. Virtuelizacija omogućava kreiranje većeg broja virtuelnih računara sa različitim operativnim sistemima na jednom fizičkom računaru. Ti virtuelni računari mogu imati ulogu servera, radne stanice, a po potrebi i mrežnih uređaja kao što je ruter. Uloga rutera se u potpunosti može emulirati računalom, tj. virtuelnom mašinom uz upotrebu odgovarajućeg softvera. Svaki virtuelni računar, tj. virtuelna mašina (VM), koristi postojeći hardver fizičke mašine na kojoj se nalazi. Budući da se sve hardverske komponente host računara emuliraju, emulira se i njegova mrežna kartica (NIC). Svaka virtuelna mašina može da emulira više mrežnih kartica na osnovu jedne fizičke. Između virtuelnih mašina može se uspostaviti virtuelna mrežna konekcija tako da se virtuelne mrežne kartice povezuju u virtuelnu mrežu ili mrežni segment.

Softver za virtuelizaciju pokazao se kao dovoljno efikasan za kreiranje virtuelnih laboratorija. Te laboratorije imaju višestruku primenu. Njihova osnovna primena jeste stvaranje okruženja za eksperimentisanje u oblasti novih mrežnih tehnologija, testiranje i razvoj mrežnog softvera. Njihova druga, ali ne manje značajna namena je upotreba u obuci i obrazovanju IT eksperata, tj. u oblasti inženjerske edukacije (eng. *engineering education*). Primena ovih laboratorija se može ostvariti u oblasti operativnih sistema, sistem administracije i sigurnosti mreža, razvoju serverskog i klijentskog softvera, bazama podataka i za distribuirane i mrežne platforme kao i u ostalim oblastima. Takođe, postoji primena ovih laboratorija u oblasti edukacije iz računarskih mreža i ta primena je najpopularnija. To se može zaključiti i po broju različitih platformi koje su razvijene posebno za tu svrhu ili su primarno razvijene za eksperimentisanje i razvoj ali su ipak prilagođene za učenje koncepata računarskih mreža. Te platforme su: VNUML, Netkit i V-NetLab i VNetLab.

VNUML (Virtual Network User Mode Linux)

VNUML je open-source alat opšte namene baziran na mrežnim scenarijima. Ovaj alat je prvobitno razvijen zbog simulacije rada računarskih mreža i kao sredstvo za kreiranje test poligona za virtuelne mreže. Baziran je na User-mode Linux-u (UML) tehnologiji. Razvijen je 2004. god. na Odseku Telematics Engineering Department - DIT na Tehničkom univerzitetu Madrid (Technical University of Madrid – UPM). VNUML je razvijen kao deo Euro6IX istraživačkog projekta za eksperimentisanje u oblasti IPv6 mrežnih sistema. Kao rutinng softver u okruženju se koristi Zebra/Quagga open-source softver za rutiranje [7].

VNUML se sastoji iz dve komponente: XML-baziranog jezika koji omogućava opis mrežnog scenarija. Taj jezik se naziva VNUML jezik za specifikaciju. Druga komponenta sistema je interpreter jezika koji kreira i pokreće scenarija - VNUML parser. Ova komponenta omogućava definisanje i pokretanje mrežnog scenarija sa GNU/Linux virtuelnim mašinama. Sve virtuelne mašine su međusobno povezane u okviru virtuelnih mrežnih segmenata na jednom fizičkom računaru – serveru virtuelne mreže. VNUML se koristi i na univerzitetu Koblenc-Landau (Nemačka) na Institutu za računarske nauke

(eng. *Institute for Computer Science*) u okviru Radne grupe Steigner (eng. *Working Group Steigner*) kao okruženje za eksperimente sa računarskim mrežama.

Netkit

Netkit [8] predstavlja drugi najznačajniji sistem za emulaciju mreža, baziran na istoj tehnologiji za virtuelizaciju. Sistem je u potpunosti razvijen na open-source softveru. Sastoji se od četiri komponente: kernela, imidž datoteka sistema, softvera za virtuelni hub i skupa definisanih korisničkih komandi. Okruženje je razvijeno za eksperimentalnu upotrebu u domenu računarskih mreža. Projekat je započet 2005. god. u okviru Grupe za istraživanja u računarskim mrežama (eng. *Computer Networks Research Group*) na Univerzitetu Roma Tre kao deo Linux User Group LUG Roma 3 projekta sa namerom da se kreira jeftino okruženje za edukaciju. Projekat je proširen XML – baziranim jezikom koji je nazvan NetML. NetML je dizajniran sa ciljem da opiše mrežne topologije koje se koriste u mrežnom scenariju tog okruženja. Mrežni čvorovi u okviru Netkit sistema emuliraju se upotrebom User-mode Linux-a koji se koristi zajedno sa Debian GNU/Linux operativnim sistemom. Bilo koja virtuelna mašina može se pretvoriti u određeni mrežni uređaj (npr. ruter) pokretanjem određenog softvera za tu svrhu (u ovom okruženju se koriste Quagga ili XORP).

Vežbe koje su obuhvaćene ovom laboratorijom grupisane su na sledeći način. Prva grupa vežbi predstavlja osnovne teme, a to su: rad na konfiguraciji jednog i dva hosta, statičko rutiranje, ARP i RIP protokoli. Druga grupa vežbi se zove aplikacioni nivo i obuhvata rad sa DNS i e-mail protokolima (SMTP, POP, IMAP). Napredne teme obuhvataju: bridging, STP protokol i MPLS. Na kraju, grupa vežbi obuhvata teme rutiranja između domena. Postoji 10 vežbi: Simple peering, simple announcement, prefix filtering, Stub AS, Stub AS (static routes), Multi homed stub AS, Large multi homed stub AS, Multi homed AS, Small Internet, Transit AS. Cela grupa vežbi se odnosi na rad sa autonomnim sistemima i BGP protokolom, u osnovnim i naprednim konfiguracijama.

Netkit se koristi na velikom broju univerziteta kao sredstvo za nastavu: Roma Tre univerzitet, Univerzitet Kalabrija, Univerzitet Piza, Univerzitet kralj Huan Karlos, Univerzitet San Pablo CEU, Moskovski državni tehnički univerzitet, INSA Ruen, Ukrajinska računarska akademija SHAG, De Montfort univerzitet, Leičester, La Sapiencia univerzitet, Univerzitet Sao Paulo, Univerzitet Limož.

V-NetLab

Ovo okruženje predstavlja kompleksnu strukturu koja se sastoji od nekoliko komponentata. NFS server se koristi za smeštaj virtuelnih mašina i njihove disk imidže. Druga komponenta sistema jeste devet radnih stanica sa Linux operativnim sistemom i instaliranim VMware softverom za virtuelizaciju. Treća komponenta sistema jeste gejtvej ili mrežni prolaz, koji omogućuje korisnicima pristup virtuelnom mreži i interfejsu za upravljanje [9].

Sistem se sastoji od jednog NFS servera. Server omogućava smeštaj za imidž datoteke diskova virtuelnih mašina. Server koristi RAID sistem i ima kapacitet od 600GB, što je dovoljno za 200 do 500 virtuelnih mašina. Pored servera u sistemu se nalazi i 9 radnih stanica. Svaka ima 3 do 4 GB RAM-a i 2.8 ili 3.0 GHz Intel dual-procesore pod Linux operativnim sistemom. Kao softver za virtuelizaciju koristi se

VMware Inc. U sistemu se 6 radnih stanica koristi u tzv. „modu za kurseve“, tj. na njima se izvode kursevi, a 3 radne stanice su u „modu za razvoj“ i koriste se za razvoj i testiranje V-NetLab softvera. Gejtvej host se koristi za logovanje korisnika na sistem sa spoljne mreže. Taj host ima na sebi upravljački sistem koji omogućava studentima i drugim korisnicima pristup V-NetLab-u i izvođenje vežbi. U realnom radu ova platforma koristi od 130 do 300 virtuelnih mašina istovremeno. To omogućava istovremeni pristup od 30 do 60 studenata. Svaki od tih studenata ima svoju posebnu virtuelnu mrežu sa kojom radi. Vežbe koje se izvode u ovakvom okruženju su: konfiguracija sistema mreženih barijera (eng. *firewall*) uz upotrebom *iptables* softvera, analiza rada mreže i saobraćaja uz pomoć alata kao što su *ping*, *traceroute* i *nmap* i otkrivanje napada na mrežu (Network Intrusion Detection) uz pomoć alata *snort*.

VNLab

VNLab je onlajn edukativni sistem namenjen za obrazovanje inženjera iz oblasti informacionih tehnologija koji distribuira materijal i sredstva za učenje posredstvom mrežnih tehnologija. VNLab je ujedno i emulirana računarska mreža koja se sastoji od virtuelnih mašina. Pristup ovom sistemu omogućen je kroz TCP/IP mrežu, tj. kroz postojeću infrastrukturu ustanove. VNLab je razvijen na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ – Zrenjanin, Univerziteta u Novom Sadu i koristi se u nastavi od 2007. [10,11,12].

VNLab je hardversko-softverski model virtuelne mrežne laboratorije koji je struktuiran na sledeći način. Softverske komponente modela sastoje se od nekoliko elemenata koje omogućavaju funkcionisanje sistema. U hardverske komponente modela, spadaju server, radne stanice i mrežna infrastruktura koja omogućava upotrebu laboratorije i pristup VNLab serveru. VNLab je baziran na Microsoft Virtual Server 2005 R2 softveru za virtuelizaciju. VNLab se hostuje na računaru sa host operativnim sistemom MS Windows 2003 i veb serverom Microsoft IIS 6.0 (Internet Information Server). U skorije vreme VNLab je portovan na server jačih performansi pod operativnim sistemom Windows 2008, a ekperimentiše se sa uvođenjem VirtualBox softvera za virtuelizaciju.

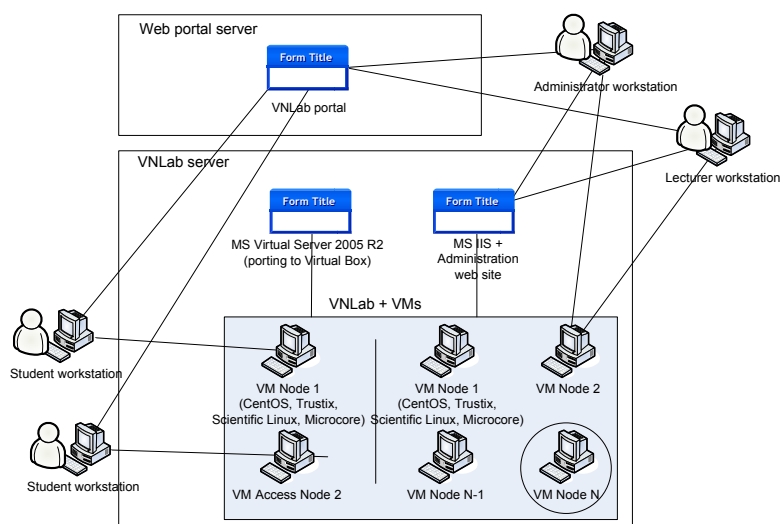
Arhitektura VNLab modela prikazana je na slici 3. Microsoft Virtual Server 2005 R2 sa IIS 6.0 veb serverom čini osnovu za stvaranje virtuelne mreže i omogućava efikasnu infrastrukturu za pokretanje, rad i administraciju virtuelne laboratorije. Virtual Server 2005 R2, pored kreiranja i pokretanja virtuelnih mašina, omogućava i emulaciju virtuelne mreže podrškom za virtuelne mrežne konekcije između virtuelnih mašina. Emulirana mreža se sastoji od velikog broja virtuelnih mašina. Broj od 40 virtuelnih mašina je dovoljan za kreiranje mrežnih scenarija i za izvođenje laboratorijskih vežbi. Virtuelne mašine emuliraju hardver i softver fizičkih računara zajedno sa njihovim mrežnim interfejsima. Svaka virtuelna mašina može da emulira do 4 mrežne kartice.

Emulirana mreža se sastoji od dva tipa virtuelnih mašina. Prvi tip virtuelnih mašina ima ulogu računara i rutera koji čine jegro mreže. To su prethodno konfigurisani čvorovi koji omogućavaju postojanje funkcionalne mreže koja u potpunosti odgovara realnim sistemima. Ti čvorovi su prikazani na slici 3. kao VM Node 1, VM Node 2, itd. Emulirani čvorovi konfigurisani su tako da omoguće stvaranje jezgra virtuelne mreže koja pruža mogućnost studentima da primenjuju stečenja znanja i unapređuju svoje veštine praktičnim radom u sistemima koji su slični realnim okruženjima. Nivo realnosti

mrežnih scenarija i funkcionisanje svih studentskih vežbi direktno zavisi od konfiguracije ovih čvorova. Ako ti čvorovi nisu dobro konfigurisani, ni okruženje za učenje mrežnog koncepta (mrežni scenario) neće biti dobro konfigurisano i prilagođeno potrebama nastave.

Drugi tip računara su oni koji imaju ulogu mrežnih čvorova koje je potrebno konfigurisati, a to je deo posla koji obavljaju studenti u cilju praktične primene naučenog i sticanja novih veština. Ti čvorovi su prikazani na slici 3. kao VM AccessNode1, VM AccessNode2 itd., i oni se dodeljuju studentima koji ih koriste za vreme nastave i pomoću kojih uče mrežne koncepte konfigurisanjem virtuelnih mašina sa ciljem da svaku virtuelnu mašinu učine funkcionalnim delom postojeće mreže. Jezgro mreže se mora konfigurisati tako da se svim studentima omogući ravnopravan pristup i nivo funkcionalnosti za vreme upotrebe pristupnih čvorova (VM AccessNode1, VM AccessNode2 itd.).

Udaljeni pristup na pristupne čvorove je omogućen upotrebom Microsoft software Virtual Machine Remote Console (VMRC), softvera koji ide u paketu sa Virtual Server 2005 R2. Ovaj softver koristi VMRC protokol za udaljeni pristup postojećoj virtuelnoj mašini na VNLab serveru.



Slika 2. Arhitektura VNLab-a

VNLab je dizajniran za predmet Računarskih mreža na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ – Zrenjanin. Trenutno je implementirano 12 vežbi koje se mogu podeliti u 5 grupa. Prva grupa vežbi se sastoji od jedne uvodne vežbe koja služi za upoznavanje sa VNLab okruženjem i Linux operativnim sistemom. Druga grupa vežbi su tri vežbe koje se odnose na IPv4 i IPv6 adresiranje i statičko rutiranje. Treća grupa vežbi su 4 vežbe sa RIPv2, OSPFv2 i BGP-4 protokolom. Četvrta grupa vežbi su dve vežbe koje se odnose na socket programiranje i instalaciju serverskih programa. Peta grupa su 3 vežbe koje se odnose na filtriranje paketa, NAT i prosleđivanje portova u IPv4 okruženju i

filtriranje paketa u IPv6 okruženju. VNLab se koristi u nastavi od 2007. godine i konstantno se razvija.

4. Zaključci

U radu su prikazani softverski alati za simulaciju i emulaciju računarskih mreža, kao i virtuelne mrežne laboratorije. Presentovani alati prikazani su sa osvrtom na modele njihove upotrebe u nastavi sa stanovišta tehnologija koje podržavaju. U manjoj meri su opisane i osnovne karakteristike presentovanih alata. Presentovani sadržaj je u velikoj meri rezultat dugogodišnje upotrebe ovih alata na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ – Zrenjanin u nastavi iz predmeta Računarske mreže, kao i istraživanja i eksperimentisanja u ovoj oblasti na istoj ustanovi. Kao rezultat tog istraživanja nastala je i virtuelne mrežna laboratorija VNLab, koja je takođe prikazana u ovom radu. VNLab se koristi u nastavi od 2007. godine i konstantno se razvija. Trenutno je za to okruženje dizajnirano 12 laboratorijskih vežbi.

Razvoj okruženja traje i dalje. On obuhvata portovanje na drugu softversku platformu (Oracle VirtualBox), uvođenje više varijanti operativnis sistema na virtuelnim mašinama (Scientific Linux, Microcore, Tinycore, Vyatta), proširenje skupa laboratorijskih vežbi, integrisanje sistema za evaluaciju znanja studenata u isto okruženje, kao i proširenje namene ovog sistema na druge kurseve kao što su: Zaštita podataka računarskih mreža, Operativni sistemi i dr. Rad laboratorije se konstanto analizira da bi se povećala njena efikasnost.

Literatura

- [1] Larry L. Peterson, Bruce S. Davie, *Computer networks: a systems approach*, Morgan Kaufmann, 2007.
- [2] E. Abolela, *Network Simulation Experiments Manual*, 3ed., Elsevier Science Ltd , USA, 2003.
- [3] R. Panko, J. Panko, *Business Data Networks and Telecommunications*, 8ed, Prentice Hall, 2011.
- [4] Varga, A., "Using the OMNeT++ discrete event simulation system in education", *IEEE Transactions on Education*, 42, 4: 11, 1999.
- [5] <http://www.gns3.net/gns3-introduction/>, preuzeto septembra 2012.
- [6] R. Danielle, R. Nelson, *Virtualization: A Beginner's Guide*, Mc Graw Hill, USA, 2009.
- [7] R. P. Goldberg, „Survey of Virtual Machine Research“, *IEEE Computer*, pp 34–45, June, 1974.
- [8] Galán F., Fernández D., „Distributed Virtualization Scenarios Using VNUML“, *Proceedings of the First System and Virtualization Management Workshop (SVM'07)*, Toulouse, France, October 2007.
- [9] Pizzonia M, Rimondini M, „Netkit: easy emulation of complex networks on inexpensive hardware“, *Proceedings of the 4th International Conference on Testbeds and research infrastructures for the development of networks & communities (TridentCom2008)*, Innsbruck, Austria, March 2008.
- [10] K. Krishna, W. Sun, P. Rana, T. Li, R. Sekar, „V-NetLab: A Cost-Efective Platform to Support Course Projects in Computer Security“, *Proceedings of 9th Annual*

Colloquium for Information Systems Security Education (CISSE 05), Atlanta, USA, Jun, 2005.

- [11] D. Dobrilovic, V. Brtko, I. Berkovic, B. Odadzic, "Evaluation of the virtual network laboratory exercises using a method based on the rough set theory", *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 20 No. 1, doi: 10.1002/cae.20370, 2012, pp. 29-37.
- [12] D. Dobrilovic, V. Jevtic, Z. Stojanov, B. Odadzic, "The Design Guidelines for Virtual Network Laboratories", *Proceedings of IX IEEE International Symposium on Telecommunications*, October 25-27, Sarajevo, Bosnia & Herzegovina, 2012.
- [13] D. Dobrilovic, V. Jevtic, Z. Stojanov, B. Odadzic, "Usability of virtual network laboratory in engineering education and computer network course", *Proceedings of joined 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning and 41st IGIP International Conference on Engineering Pedagogy*, September 26-28, Villach, 2012.

Abstract: *The appearance and development of new technologies in the field of computer communications largely impact the importance of training and education of experts for their application. The training is conducted in higher education institutions and their efficiency is determined by a number of factors. One of the factors that determine the efficiency of the educational process are the tools used for its implementation. With the software tools used for teaching computer communications, their characteristics and experiences in dealing with them will be presented in this paper. The simulation tools (OPNET IT Guru, OMNET++, GNS3) and emulation tools for computer network as well as the virtual network laboratories such as VNLab, VNUML, Netkit and V-NetLab will be also described. Along with the presentation of tools and their features, their utilization in teaching at universities and their coverage in communication technology courses will be presented as well.*

Keywords: *computer network simulation, computer network emulation, virtual network laboratories*

SOFTWARE TOOLS IN COMPUTER COMMUNICATION COURSES

Borislav Odadžić, Dalibor Dobrilović
Technical faculty "Mihajlo Pupin" – Zrenjanin