




Modeliranje in simulacije telekomunikacijskih sistemov in omrežij

doc. dr. Iztok HUMAR
viš. pred. dr. Matevž PUSTIŠEK
prof. dr. Janez BEŠTER

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije



Agenda

- Pristopi k ugotavljanju zmogljivosti
- Model, modeliranje
- Simulacija, simuliranje
- Orodja:
 - COMNET III
 - NS2
 - DES


TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije



Telekomunikacijski inženiring




TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije



Pristopi k ugotavljanju zmogljivosti

- **Zmogljivosti**
 - kapacitete
 - razpoložljivost
 - učinkovitost
 - raba oz. izkoriščenost virov
 - kakovost storitev
- **Analiza realnih omrežij in sistemov**
 - realni sistemi včasih (še) ne obstajajo
 - analize ni mogoče izvesti brez kvarnega posega v delovanje sistema
- **Izdelava in analiza modelov omrežij in sistemov**
 - modeli virov (ang. Workload generator, Source modelling, ...)
 - modeli omrežij in sistemov (ang. Network modeling)


TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije



Analiza realnih sistemov oz. modelov

- **Analiza realnih sistemov**
 - najučinkovitejše, velika natančnost
 - najzahtevnejše, najdražje
 - potek v realnem času
 - draga merilna oprema
 - zamudno odpravljanje napak
 - velikokrat neizvedljivo (npr. novi sistemi)
- **Analično modeliranje**
 - izgradnja matematičnega modela
 - reševanje različnih vrst in sistemov enačb
 - računalnik le kot matematični pripomoček
 - rezultati
 - matematično natančni
 - realno približni, zaradi poenostavitve
 - v primeru velikih omrežij lahko rezultati neuporabni
- **Simulacije**
 - izdelava modela sistema
 - reševanje s pomočjo simulacijskih programov
 - časovni potek običajno ni realen
 - najprimernejša metoda za vrednotenje TK omrežij

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije



Model

- **Model sistema je poenostavljena predstavitev sistema, ki analitiko omogoča razumevanje odziva sistema na spremembe**
- **Model:**
 - mora biti čimbolj podoben realnemu sistemu
 - upoštevati je potrebno ključne lastnosti in parametre sistema
 - mora biti čimbolj enostaven
- **Dober model je kompromis med realnostjo in enostavnostjo**
- **Model je potrebno preizkusiti**
 - simulacije
 - primerjanje rezultatov

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Modeliranje

- Modeliranje je proces izgradnje (matematičnega) modela
- Za simulacije se navadno uporabljajo matematični modeli
- Matematični modeli so:
 - deterministični (vhodni in izhodni podatki so določene vrednosti)
 - stohastični (vsaj ena izmed vhodnih/izhodnih spremenljivk je podana z verjetnostjo (običajno))
 - časovno nespremenljivi – statični
 - časovno spremenljivi – dinamični (običajno)

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Primer: modeliranje TK prometa

```

    graph TD
      A[Zajem prometa] --> B[Identifikacija prometnih tokov]
      B --> C[Beleženje podatkov o tokovih]
      C --> D[Klasifikacija prometnih tokov]
      D --> E[Estimacija parametrov]
      E --> F[Modeliranje prometa]
      A --- G[V živo]
      B --- G
      C --- G
      D --- H[Naknadna obdelava]
      E --- H
      F --- I[Uporaba]
    
```

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Fokus modeliranja

- Različne vidike analiziranega sistema težko hkrati obravnavamo enako podrobno
- Časovna odvisnost
 - μs, ms, s, h, d, y
- Prostorska odvisnost
- Nivojska odvisnost
 - nivo seje oz. povezave
 - nivo PDU
 - fizični nivo
- Namen modeliranja mora biti znan vnaprej. En sam model, ki bi (enako) uspešno pokrival vse vidike, praviloma ne obstaja oz. je prekompleksen.

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Verifikacija in validacija modelov

- Modeli morajo biti verodostojni (ang. credible)
 - verifikacija in validacija modelov
- Validacija: ugotavljanje primernosti
 - model in njegovo obnašanje sta primerna predstavitev realnega sistema in njegovega obnašanja (glede na namen modeliranja)
- Verifikacija: ugotavljanje pravilnosti
 - model je pravilno izdelan
- Primer: zemljevid
 - zemljevid je "model terena".
 - verifikacija potrdi, da je bil pravilno narisano.
 - validacija potrdi, da zemljevid ustreza obravnavanemu terenu
 - npr. da ga nismo obrnili na glavo,
 - da ne uporabljamo zemljevida napačnega kraja.

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Vrste simulacij

- Zvezna simulacija
 - opis stanja sistema z algebrskimi ali diferencialnimi enačbami
 - določajo spremembe na sistemu časovno zvezno, glede na dogodke
 - uporablja se jih predvsem za študijo povratnih vplivov (vpliv izhoda na vhod)
 - primer: letalski simulatorji, vremenske simulacije
- Diskretna simulacija
 - enostavnejše, manj natančne kot zvezne simulacije
 - opis stanja sistema z diskretnimi spremenljivkami
 - izvrševanje po kronološkem redu
 - sistem se spreminja kot odziv na diskretne dogodke
 - v sistemu s čakalno vrsto M/M/1 se sistem spremeni s prihodom novega paketa
 - primer: simulacije v telekomunikacijah

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Glede na čas

- Sinhrona simulacije
 - iteracija - numerične metode
 - za izhodišče vzamemo matematične modele
 - čas povečujemo po vnaprej določenem koraku δt
 - natančnost lahko spreminjamo z velikostjo časovnega koraka
 - primerne za simulacijo prevajanja toplote, pretakanja tekočin, dogajanj v atmosferi ...
- Asinhrona simulacija (Discrete Event)
 - tipično vsebuje naslednje faze:
 - generiranje dogodka:
 - asinhrono, npr. oddaja paketa na linijo
 - simulacijski čas se poveča, računalnik ni obremenjen
 - simulacija odziva omrežja:
 - sinhrono, npr. obdelava glave paketa
 - simulacijski čas stoji, računalnik je obremenjen
 - časovni korak je lahko poljuben, ni določen vnaprej
 - natančnost lahko poljubno spreminjamo, odvisna je od natančnosti opisa modela

TKU www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Simuliranje

- **Simuliranje: uporaba modela nekega sistema**
 - model lahko spreminjamo
 - sistema ne moremo (ni praktično) spreminjati
- **Preučujemo lastnosti, obnašanje dejanskega sistema glede na parametre**
- **Simulacija se uporablja za vrednotenje zmogljivosti različnih konfiguracij sistema**

TKU www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Kdaj je problem primeren za simulacijo?

- **Kadar se pojavi potreba po modeliranju in analizi naključnosti v sistemu, moremo uporabiti simulacijo.**
- **Primeri, ko uporabimo simulacije in modeliranje, so naslednji:**
 - kadar je nemogoče ali izjemno drago opazovati nek proces v realnem svetu:
 - vpliv povečanja prometa na obremenjenost komunikacijskih poti
 - statistika raka v prihajajočem letu
 - zmogljivost prihajajočih satelitov
 - učinek oglaševanja na Internetu na prodajo v podjetju
 - problemi, ki jih je mogoče opisati z matematičnim modelom, pa vendar so analitično nerešljivi:
 - problem trgovskega potnika, diferencialne enačbe višjih stopenj, urnik ali pa težko rešljivi:
 - modeli večjih sistemov s čakalnimi vrstami, borzni trg
 - kadar je nemogoče ali izjemno drago preveriti matematične modele, ki opisuje določen sistem (npr. zaradi pomanjkanja podatkov)

TKU www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Namen simulacij

- **Simulacije izvajamo:**
 - pred izgradnjo sistema
 - pred spreminjanjem/nadgradnjo sistema
- **S simulacijami:**
 - zmanjšamo možnost napak
 - preprečimo nepredvidene zamašitve v omrežju
 - preprečimo pre/podobremenjenost omrežnih virov
 - optimiziramo zmogljivosti sistema
- **S simulacijami si odgovorimo na vprašanja, kot npr.:**
 - kako najbolj optimalno izgraditi novo omrežje?
 - kakšne omrežne zmogljivosti potrebujemo?
 - kako se bo omrežje odzvalo, če promet povečamo za 50%?
 - kako bo nov usmerjevalni algoritem vplival na zmogljivost omrežja?
 - kako optimizirati zmogljivost omrežja?
 - vpliv okvare na povezavi na delovanje omrežja.

TKU www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Simulacijska orodja se uporabljajo pri:

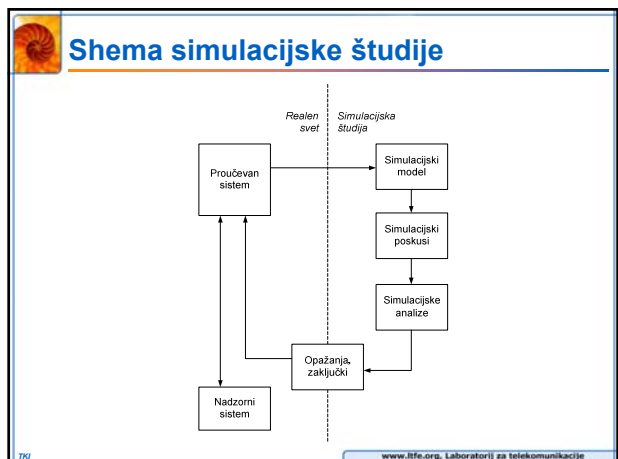
- Telekomunikacijskih sistemih in v računalniških omrežjih
- **Proizvodnji**
- **Prometu (letalski, cestni promet)**
- **Strežbi (banke, trgovine)**
- **Zdravstvu**
- **Ekologiji**
- **Sociologiji**
- **Epidemiologiji**
- **Ekonomiji in poslovnih analizah**

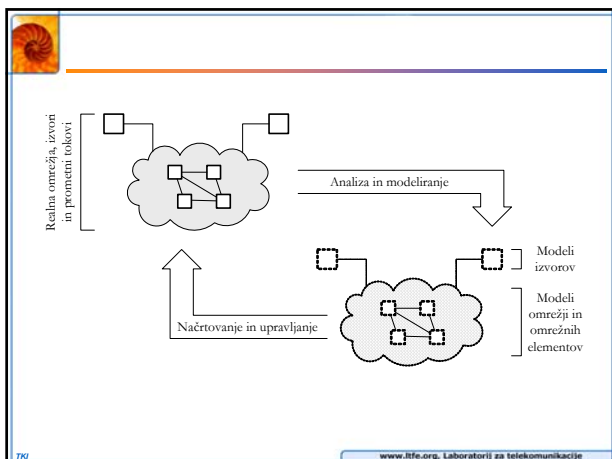
TKU www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Koraki simulacijske študije

1. **Identificiramo problem**
2. **Izoblikujemo problem**
3. **Zberemo in obdelamo podatke iz realnega sistema**
4. **Izoblikujemo in razvijemo model**
5. **Raziščemo veljavnost modela**
6. **Dokumentiramo model za kasnejšo uporabo**
7. **Izberemo primeren načrt za preizkus**
8. **Vzpostavimo primerne pogoje za izvedbo preizkusa**
9. **Izvedemo simulacijo**
10. **Interepretiramo in predstavimo rezultate**
11. **Predlagamo nadaljnje pristope/korake**

TKU www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije





Zaključki na podlagi simulacij

- določitev problematičnih/poddimenzioniranih elementov v omrežju
- spoznavanje situacij v primeru napak, spremembi protokola
- predlog za optimizacijo oz. nadgraditev
 - zvišanje izkoriščenosti omrežja
 - zmanjšanje zakasnitev pri prenosu
 - povečanje zanesljivosti omrežja

Simulacije: prednosti

- Modeliranje, simulacije in analiza se zelo pogosto uporabljajo pri operacijskih raziskavah
- Omogočajo:
 - boljše razumevanje sistema
 - testiranje hipotez o sistemu
 - hitrejše opazovanje počasnih fenomenov in počasnejše opazovanje hitrih fenomenov
 - preizkušanje novih, neznanih situacij
 - identifikacija najbolj pomembnih parametrov v sistemu
 - identifikacija ozkih grl
 - omogočajo razvoj dobro načrtovanega in robustnega sistema
 - skrajšajo čas načrtovanja

Simulacije: slabosti

- Simulacije so časovno potratne in komplicirane naloge
- Pri načrtovanju modela in analizi rezultatov mora so potrebne strokovne izkušnje
- Pri simulacijah lahko naletimo na naslednje težave:
 - nejasno definirani cilji
 - uporaba simulacij, kadar obstaja analitična rešitev
 - napačno izdelan model
 - simulacijski model je preveč kompleksen ali preveč preprost
 - napačne predpostavke
 - nedokumentirane predpostavke
 - uporaba napačnih verjetnostnih porazdelitev za vhodne podatke
 - nadomestitev stohastične porazdelitve s povprečno vrednostjo
 - uporaba napačnih meritev zmogljivosti
 - napake v simulacijskem programu
 - uporaba napačnih statističnih metod/enačb

Drugi načini analize zmogljivosti

- Emulacije
 - souporaba modelov in realnih sistemov
- Tomografija
 - aktivno merjenje

Simulacijskega orodja

- Model je lahko zgrajen v kateremkoli programskem jeziku (splošno)
- Simulacijski paketi:
 - potrebno manj programerskega dela
 - okvir za modeliranje in simuliranje
 - avtomatsko zbirajo statistične podatke
 - grafični simboli za vnos modela
 - animacije
- Simulacijski jeziki
 - bolj prilagodljivi
 - zahtevajo več programerskega znanja
- Aplikacijsko orientirani simulatorji
 - enostavnejši za učenje
 - vsebujejo gradnike modelov, ki so bližje aplikacijam
- Orodja za naknadno obdelavo rezultatov

Tip simulacijskega paketa	Primer
Simulacijski jeziki	NI2, Arena, AweSim, Extend, GPSS, Micro Saint, SIMSCRIPT, SLX
Aplikacijsko orientirani simulatorji	COMNET III, NETWORK II.5, OPNET Modeler, OPNET Planner, SES/Strategizer

Primeri simulacijskih orodij

- CACI COMNET III
- The Network Simulator: NS2
 - <http://isi.edu/nsnam/ns/>
- DESSP
 - prototip diskretnega paketnega simulatorja
- Cisco Packet Tracer
 - omrežni simulator, podpira vključevanje modelov resničnih omrežnih elementov
- GNS3 – Graphical Network Simulator
 - podpira vključevanje modelov resničnih omrežnih elementov
 - <http://www.gns3.net/>
- OPNET Modeler
 - načrtovanje in analiza omrežij, naprav, protokolov in aplikacij
 - http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html



TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Simulator CACI COMNET III

TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Uvod v COMNET III

- Uporaba in značilnosti
 - deluje v Windows okolju
 - na voljo obsežna dokumentacija
 - preprosta uporaba s intuitivnim uporabniškim vmesnikom
 - uporabnost predvsem v simulaciji manjših in srednje velikih mrež s poudarkom na testiranju obremenjenosti povezav in morebitne nadaljnje širitve uporabnikov
 - tekstoven in grafičen prikaz rezultatov, možnost nadaljnje obdelave rezultatov v drugih programih


TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Uporabnost COMNET III

- Najpogostejši primeri simuliranja
 - študije največje obremenjenosti omrežja
 - upoštevanje širjenja omrežja v fazi načrtovanja
 - testiranje redundance omrežja v primeru odpovedi raznih elementov (časovno proženje dogodkov)
 - predvidevanje novih uporabnikov/aplikacij v obstoječem omrežju in odpravljanje težav preden se pojavijo
 - simulacija nadgradnje obstoječega omrežja ter študija upravičenosti investicije

TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Elementi simulatorja

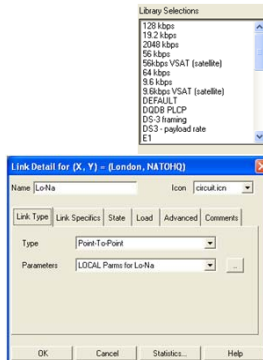


- Povezave
 - CSMA/CD, Ethernet, TokenRing, ISDN, FDDI, Aloha, SONET, satelitska povezava
- Omrežja
 - podomrežja, prehodna omrežja, WAN oblaki
- Vozlišča
 - procesno vozlišče, skupina računalnikov, omrežni elementi
- Izvori prometa
 - izvor sporočil in seje sporočil, aplikacijski izvor in odgovor, klični izvor, zunanji izvori prometa (Baseliner)
- Prikaz rezultatov
 - grafičen prikaz, tekstoven prikaz, izvoz v Excel za nadaljnjo obdelavo

TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Posamezni elementi - povezave

- Možne nastavitve
 - tip povezav (Aloha, ethernet, CSMA, satelitska PPP, modem, ...)
 - lastnosti povezav (propagacijska zakasnitev, verjetnost in vrsta napak, dinamičnost dogodkov na povezavi)
 - nastavljanje specifičnih lastnosti posameznega tipa povezave



TK1 www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

LTFE - Laboratorij za telekomunikacije, Fakulteta za elektrotehniko Telekomunikacijski inženiring

Posamezni elementi - vozlišča

- Možne nastavitve**
 - vrsta vozlišča (Processing node, Computer Group, HOL Blocking Switch, Network Device)
 - lastnosti vozlišč (število procesorjev, procesni cikli, zakasnitve na vratih, čas procesiranja posameznega paketa)
 - dinamičnost agenta (čas napake in ponovne vzpostavitve, zaporedje dogodkov)
 - ročna izdelava usmerjevalne tabele

Posamezni elementi – izvori prometa

- Vrste prometnih izvorov**
 - izvor sporočil in seje sporočil:
 - porazdelitvena funkcija prihajanja sporočil, velikost, izvor in cilj, prenosni protokol (UDP, TCP, ...), zakasnitev pri tvorbi sporočil
 - odgovori na sporočila:
 - velikost, prenosni protokol (UDP, TCP, ...), zakasnitev pri tvorbi sporočil
 - aplikacijski izvor:
 - predstavlja kompleksnejši izvor prometa s že vnaprej pripravljenimi modeli najpogostejše uporabljenih aplikacij (File Read / Write, MS Office Processing / Wait, ...)
 - število ponovitev aplikacijskih akcij
 - kompleksnejši aplikacijski konstrukti s pogojnimi stavki (IF-THEN-ELSE, WHILE, REPEAT-UNTIL)
 - ključni izvori / uvažanje zunanjega prometa v simulator (Baseliner)

Posamezni elementi - podomrežja

- Vrste podomrežij**
 - prehodna omrežja,
 - podomrežja,
 - network clouds
- prehodno omrežje predstavlja abstrakten model, ki se lahko obnaša kot navadna povezava ali kot podomrežje.
- v njih lahko nastavljamo lastne usmerjevalne algoritme, neodvisno od ostalega omrežja.
- podomrežja lahko uporabimo zaradi večje preglednosti nad simulacijskim scenarijem
- podomrežjem določimo drugačne lastnosti od preostalega omrežja
- sem spadajo predvsem usmerjevalni algoritmi z vsemi pripadajočimi nastavitvami.
- WAN oblak predstavlja abstrakcijo pri modeliranju WAN storitev v smislu dostopnih točk in navideznih povezav.
- ključna nastavitve je kontrola zamašitve (congestion control) in definicija parametrov, kamor spadajo Frame Relay, ATM, X.25, IP, popoln časoven nadzor nad zgoštvami.

Globalni parametri simulacije

- Nastavitve usmerjevalnega algoritma**
 - nastavitve velja za celotno omrežje, razen če za podomrežja določimo drugačne parametre
- Vsi parametri agentov, povezav, aplikacij in protokolov**
- Dolžina simulacije, oblika izhodnih rezultatov**
 - na katerih elementih bi radi zajemali izhodne podatke
 - v kakšni obliki bi zajete podatke radi prikazali

Rezultati simulacije (I)

- Oblika izpisa rezultata**
 - tekstovna datoteka
 - Excelov format
 - neposreden izris grafa med simulacijo
- Katere podatke lahko opazujemo?**
 - na vozliščih, povezavah, agentih, ...
 - obremenjenost povezave:
 - zaradi aplikacije
 - glede na protokole
 - kolizije
 - število uspešnih / zavrnjenih ključev
 - obremenjenost procesorskih in pomnilniških zmogljivosti vozlišča, ...

Rezultati simulacije (II)

- Primer tekstovnega izpisa rezultatov simulacije**

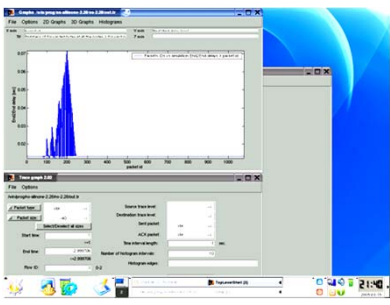
Pristop k simulaciji

- **Gradnja topologije**
 - postavitve izvorov prometa, agentov, vozlišč, povezav, ponorov, ...
- **Nastavitve globalnih parametrov**
 - čas trajanja, število ponovitev, prenosni protokoli, usmerjevalni algoritmi, ...
- **Verifikacija modela**
 - ali je model pravilen?
 - so vsi elementi povezani med sabo?
- **Nastavitve izpisa rezultatov**
 - omejimo se samo na izpis rezultatov, ki nas zanimajo
- **Interpretacija rezultatov**
 - grafičen prikaz rezultatov
 - primerjava z drugimi (enostavnejšimi in lažje razumljivimi modeli) omogoča lažjo interpretacijo

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Pregled rezultatov s ostalimi programi

- Excel
- Matlab
- Tracegraph
- Xgraph



TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Simulator paketnih omrežij NS2

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Vsebina

- NS2, simulator TK omrežij
- Struktura simulatorja
- Osnovni postopki za opis scenarija
- Struktura posameznih objektov
- Razno

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

NS2, simulator TK omrežij

- Uporablja metodo simulacije diskretnih dogodkov
- Napisan je bil predvsem zaradi simulacije IP omrežij, uporaben pa je tudi za študije drugih vključenih omrežij
- Podpira različne omrežne protokole, usmerjanja, povezave in promet
 - TCP, UDP
 - multicast, unicast
 - žične povezave, brezžične povezave, satelitske povezave
 - cbr, web, telnet, ftp
- Razvit leta 1989 kot različica simulatorja "Real network simulator"

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Komponente simulatorja NS2

- NS – osnovna struktura simulatorja
- Orodja za prikaz simulacije
 - Nam - Network Animator
 - za prikaz ožičenih simulacij
 - GUI za vnos enostavnih scenarijev
 - Ad-Hockey
 - za prikaz brezžičnih simulacij
- Pred-procesiranje
 - generatorji prometa in topologije
- Post-procesiranje
 - enostavne analize sledilnih datotek (Awk, Perl, Tcl)

TKI www.lfte.org, Laboratorij za telekomunikacije

Programska struktura simulatorja NS2

- **Uporablja dva programska jezika: C++ in OTcl**
 - C++
 - natančen opis protokolov
 - hitro izvajanje izračunov
 - OTcl
 - načrtovanje topologije
 - primeren za hitre spremembe scenarijev
- +
 - kompromis med sestavljanjem scenarija in hitrost izvajanja
- -
 - razumevanje dveh jezikov in odpravljanje napak

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Dualnost C++ in OTcl

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Primerjava kompleksnosti

visoka Dolžina programa, kompleksnost nizka

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Potek simuliranja v NS2

- **Topologijo omrežja opišemo v OTcl skripti**
 - določitev vozlišč, povezav, izvorov prometa
- **Postavimo ukaze za nadzor dogajanja**
 - sledilna datoteka (trace file)
 - nadzor pretoka (število prispelih, zavrnjenih, odhodnih paketov)
- **Podati moramo časovni razpored dogodkov**
- **Zagon simulacije in uporaba rezultatov**

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Odpravnik dogodkov

- **Postavitev odpravnika dogodkov**
 - set ns [new Simulator]
- **Razvrščanje dogodkov**
 - \$ns at <čas> <dogodek>
 - <dogodek>: ustrezen ns/tcl ukaz
 - primer:
 - \$ns at 0.1 "\$cbr start"
 - \$ns at 4.0 "\$ftp stop"
 - primer prekinitve linije:
 - \$ns rtmodel-at 1.0 down \$vozišče1 \$vozišče2
 - \$ns rtmodel-at 2.0 up \$vozišče1 \$vozišče2
- **Zagon odpravnika dogodkov**
 - \$ns run

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Postavitev omrežja

- **Vozlišča**
 - set n0 [\$ns node]
 - set n1 [\$ns node]
- **Povezave in čakalne vrste**
 - \$ns duplex-link \$n0 \$n1 <pasovna širina> <zakasnitev> <čakalna vrsta>
 - <čakalna vrsta>: DropTail, RED, CBQ, FQ, SFQ, DRR
- **primer:**
 - \$ns duplex-link \$n0 \$n2 2Mb 10ms DropTail
 - \$ns duplex-link \$n1 \$n2 1Mb 5ms RED

TKU
www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije

Opis usmerjanja prometa

- **Enouporabniško usmerjanje**
 - \$ns rtrproto <vrsta usmerjanja>
 - < vrsta usmerjanja >: Static, Session, DV, cost, multi-path
- **Večuporabniško usmerjanje**
 - set ns [new Simulator -multicast on] ali
 - set ns [new Simulator]
 - \$ns multicast

 - \$ns mrtproto < vrsta usmerjanja >
 - < vrsta usmerjanja >: CtrMcast, DM, ST, BST

www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Postavitev prometa

- **Promet določimo na dveh nivojih:**
 - transportnem
 - aplikacijskem
- **Transportni nivo**
 - TCP, UDP
- **Aplikacijski nivo**
 - cbr, ftp, telnet
- **UDP**
 - izvor in ponor
 - set udp [new Agent/UDP]
 - set sink [new Agent/Null]
 - povezava izvora in ponora na vozlišče
 - \$ns attach-agent \$n0 \$udp
 - \$ns attach-agent \$n1 \$sink
 - \$ns connect \$udp \$sink
- **TCP**
 - izvor in ponor
 - set tcp [new Agent/TCP]
 - set sink [new Agent/TCPSink]
 - povezava izvora in ponora na vozlišče
 - \$ns attach-agent \$n0 \$tcp
 - \$ns attach-agent \$n1 \$sink
 - \$ns connect \$tcp \$sink

www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Postavitev prometa

- **Nad TCP agentom**
 - FTP
 - set ftp [new Application/FTP]
 - \$ftp attach-agent \$udp
 - \$ns at <time> "\$ftp start"
 - Telnet
 - set telnet [new Application/Telnet]
 - \$telnet attach-agent \$udp
- **Nad UDP agentom**
 - CBR
 - set cbr [new Application/Traffic/CBR]
 - Exponential or Pareto on-off
 - set expo [new Application/Traffic/Exponential]
 - set expo [new Application/Traffic/Pareto]
- **Primer postavitve in nastavljanja CBR prometa**

```

set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $node0 $udp0
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $node1 $null0
set cbr [new
Application/Traffic/CBR]
$cbr set packetSize_ 512
$cbr set interval_ 4.0
$cbr set random_ 1
$cbr set maxpkts_ 10000
$cbr attach-agent $udp0
$ns connect $udp0 $null0
$ns at 127.45 "$cbr start"
          
```

www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Vstavljanje napak

- **Postavitev modula za napake**
 - set loss_module [new ErrorModel]
 - \$loss_module set rate_ 0.01
 - \$loss_module unit pkt
 - \$loss_module ranvar [new RandomVariable/Uniform]
 - \$loss_module drop-target [new Agent/Null]
- **Vstavljanje modula za napake**
 - \$ns lossmodel \$loss_module \$n0 \$n1

www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Slednje prometu

- Slednje paketov s sledilno datoteko tr.out
- \$ns trace-all [open tr.out w]

```

event time from node to node pkt type flags fid src addr dst addr seq num pkt id
r : receive (at to_node)
+ : enqueue (at queue) src_addr : node.port (3.0)
- : dequeue (at queue) dst_addr : node.port (0.0)
d : drop (at queue)

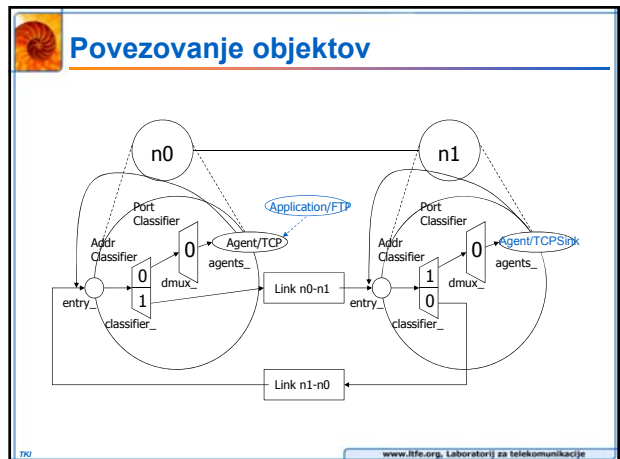
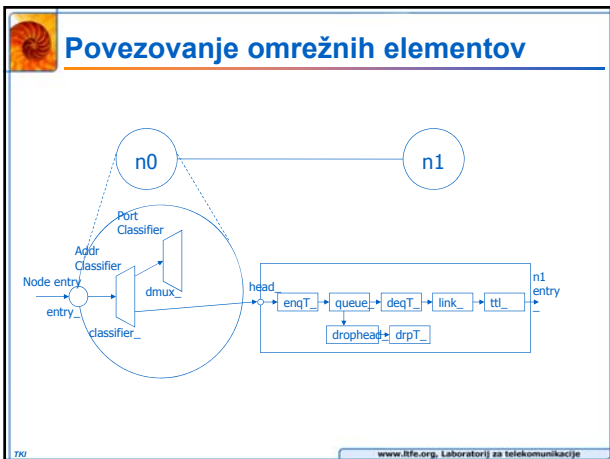
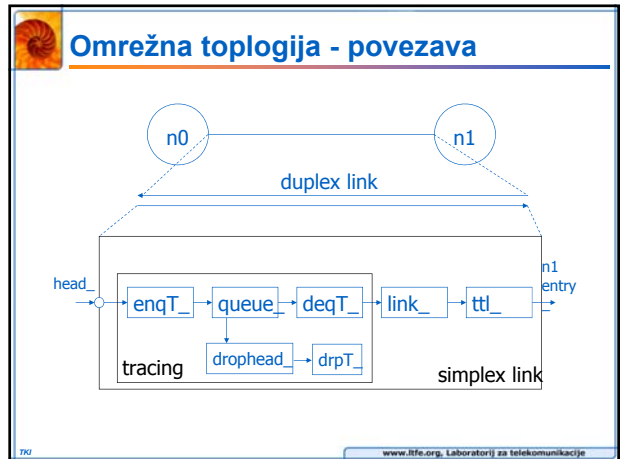
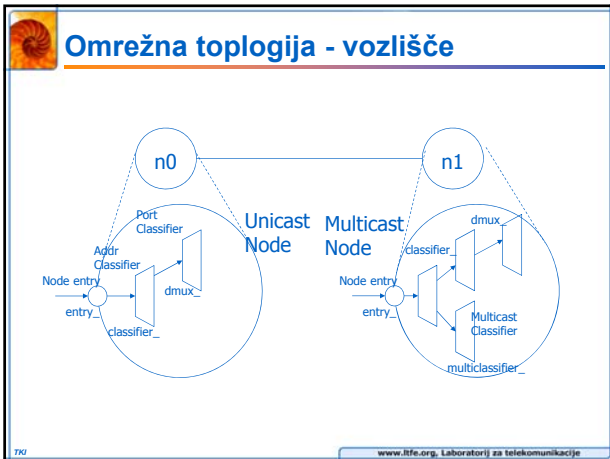
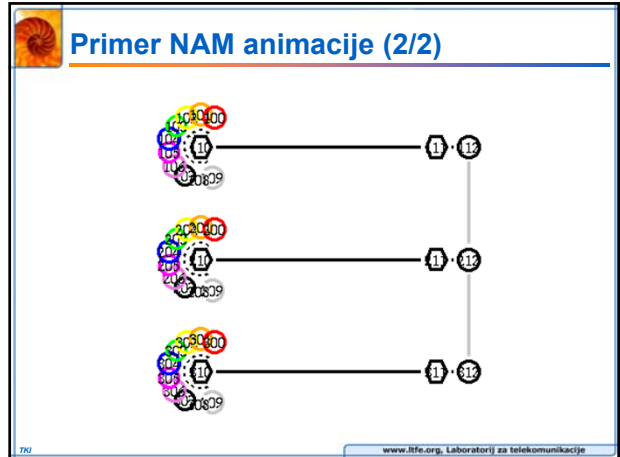
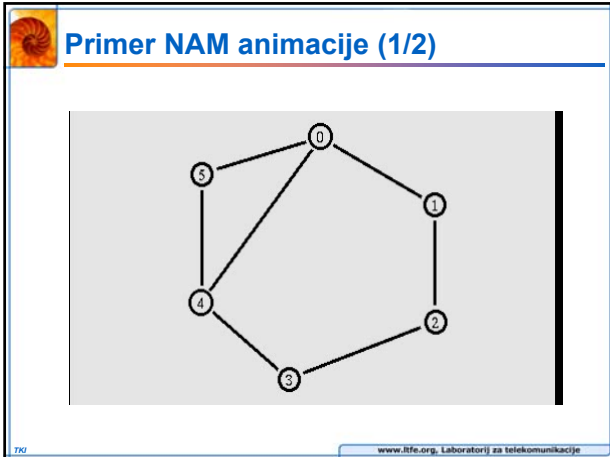
r 1.3556 3 2 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
+ 1.3556 2 0 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
- 1.3556 2 0 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
r 1.35576 0 2 tcp 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
+ 1.35576 2 3 tcp 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
d 1.35576 2 3 tcp 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
+ 1.356 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.1 157 207
- 1.356 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.1 157 207
          
```

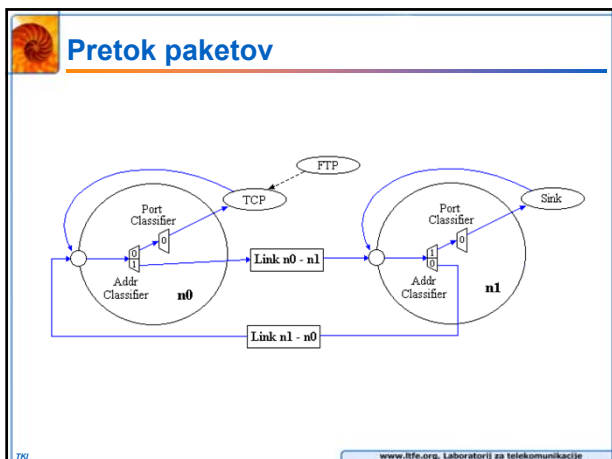
www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Uporaba rezultatov

- Sledenje paketov z Nam-om
- \$ns namtrace-all [open tr.nam w]

www.lfpe.org, Laboratorij za telekomunikacije





Instalacija in dokumentacija NS2

- <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
 - prenos datoteke "ns-allinone"
 - Vsebuje celoten sklop: Tcl, OTcl, TclCL, Ns, Nam, itd.
- mailling lista: ns-users@isi.edu
- dokumentacija (glej zgornji naslov)
 - Marc Gries tutorial
 - Ns dokumentacija

Primerjava: COMNET III in NS2

- Lastnosti COMNET**
 - enostaven
 - celotno upravljanje z uporabo grafičnega uporabniškega vmesnika
 - že zgrajeni modeli realnih (komercialno dostopnih) elementov (3Com stikala, ...)
 - vsebuje skoraj vse potrebne elemente, protokole, usmerjevalne algoritme
 - možnost prilagajanja aplikacijskih izvorov s kompleksnejšimi konstrukti
- Lastnosti NS2**
 - brezplačen
 - popoln vpogled v izvorno kodo
 - možnost spreminjanja / dodajanja poljubnih elementov
 - neomejene možnosti pri simulacijah
 - potrebno veliko znanja in zelo podrobno poznavanje celotne izvorne kode simulatorja

Simulator diskretnih dogodkov DES

LTFE
Laboratorij za telekomunikacije
Fakulteta za elektrotehniko

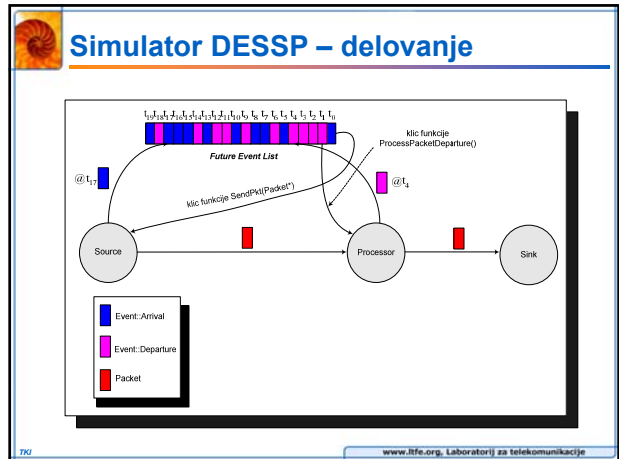
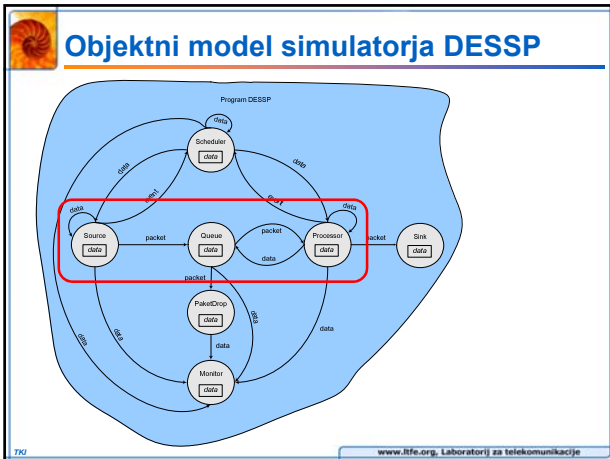
Simulator diskretnih dogodkov (DES)

- Konfiguracija oz. sestavljanje modelov
- Izvajanje simulacij (ang. Engine)
- Zajem rezultatov
 - sledilne datoteke
- Post-obdelava rezultatov
 - statistična analiza, ...
- Prikaz rezultatov
 - tekstovno, grafično, animacije

Zasnova modela

- Simulacija sistema M/D/1

The diagram shows an M/D/1 queue system. It consists of an arrival process of packets with rate λ , a queue (čakalna vrsta) represented by three vertical bars, a server (strežnik) represented by a circle with service rate μ , and a departure process of served packets (postreženi paketi). The system is labeled 'Sistem M/D/1'.

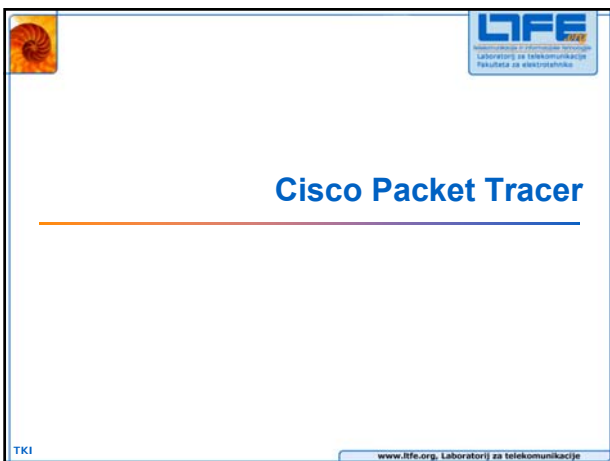
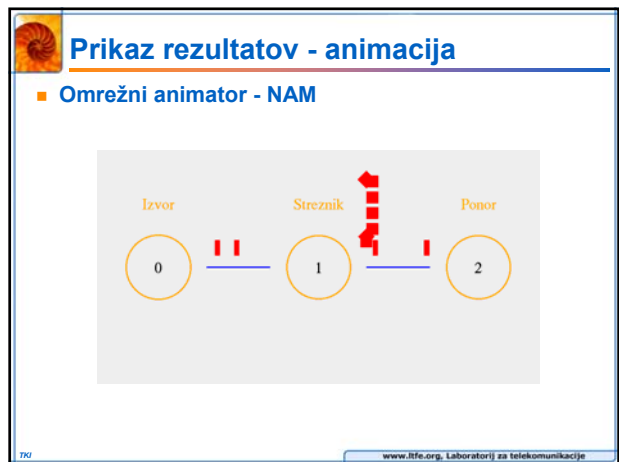


Zajem rezultatov

- Sledilne (ang. trace) datoteke

+	1.84375	0	2	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
-	1.84375	0	2	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
r	1.84471	2	1	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	195	600
r	1.84566	2	0	ack	40	-----	2	3.2	0.1	82	602
+	1.84566	0	2	tcp	1000	-----	2	0.1	3.2	102	611


TKI www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



- ### Packet Tracer
- http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/PacketTracer.html
 - <http://www.packettracertrivia.com/>
 - http://www.cisco.com/web/learning/netacad/packet_tracer/packet_tracer_03-4_web.html
- TKI www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

LTFE - Laboratorij za telekomunikacije, Fakulteta za elektrotehniko Telekomunikacijski inženiring

Cisco Networking Academy®
Mind Wide Open!



Packet Tracer complements the Networking Academy curricula, allowing instructors to easily teach and demonstrate complex technical concepts and networking system design. With Packet Tracer, instructors can customize individual or multistep activities, providing hands-on lessons for students that offer value and relevance in their classrooms. Students can build, configure and troubleshoot networks using virtual equipment and simulated connections, alone or in collaboration with other students. Most importantly, Packet Tracer helps students and instructors create their own virtual "network world" for exploration, experimentation, and exploration of real-world concepts and technologies.

Features

- Cisco Packet Tracer includes the following features:
 - Makes teaching easier by providing a free, multistep environment for instructors to easily teach complex technical concepts
 - Makes learning easier by providing a realistic network simulation and visualization environment
 - Provides autonomy of learning activities, tasks, labs, and complex assessments
 - Supports lectures, group and individual labs, homework, assessments, case studies, games, and competitions
 - Supplements real equipment and enables extended learning opportunities beyond physical classroom limitations
 - Simulates continuous real-time updates of underlying network logs and activities
 - Empowers students to explore concepts, conduct experiments, and test their understanding
 - Promotes social learning through a network-capable, peer-to-peer application with opportunities for multi-user competition, remote instructor-student interactions, social networking, and gaming
 - Supports the majority of protocols and technologies taught in the following Networking Academy curricula: Cisco CCNA® Discovery, CCNA® Exploration, and CCNA® Security, and can also be used to teach concepts from IT Essentials and Cisco CCNP courses.

Cisco Packet Tracer

Cisco Packet Tracer is a powerful network simulation program that allows students to experiment with network behavior and ask "what-if" questions. As an integral part of the Networking Academy comprehensive learning experience, Packet Tracer provides simulation, visualization, authoring, assessment and collaboration capabilities, and facilitates the teaching and learning of complex technology concepts.

Packet Tracer supplements physical equipment in the classroom by allowing students to create a network with an almost unlimited number of devices, encouraging practical discovery and troubleshooting. The simulation-based learning environment helps students develop 21st century skills such as decision making, creative and critical thinking, and problem solving.

Layer Cisco Packet Tracer Supported Protocols

Layer	Supported Protocols
Application	- HTTP, FTP, Telnet, SSH, DNS, DHCP, SMTP, SNMP, AAA
Transport	- TCP, UDP, ICMP, IGMP, RIPv1, RIPv2, OSPF, BGP, EIGRP, HSRP, PIM, L2TP, L2TPv3, GRE, MPLS, IS-IS
Network	- IPv4, IPv6, ICMPv4, ICMPv6, Ping, Traceroute, Multicast, OSPF, BGP, EIGRP, HSRP, PIM, L2TP, L2TPv3, GRE, MPLS, IS-IS, RIPv1, RIPv2, RIPv3, RIPv3v2, RIPv3v3, RIPv3v4, RIPv3v5, RIPv3v6, RIPv3v7, RIPv3v8, RIPv3v9, RIPv3v10, RIPv3v11, RIPv3v12, RIPv3v13, RIPv3v14, RIPv3v15, RIPv3v16, RIPv3v17, RIPv3v18, RIPv3v19, RIPv3v20, RIPv3v21, RIPv3v22, RIPv3v23, RIPv3v24, RIPv3v25, RIPv3v26, RIPv3v27, RIPv3v28, RIPv3v29, RIPv3v30, RIPv3v31, RIPv3v32, RIPv3v33, RIPv3v34, RIPv3v35, RIPv3v36, RIPv3v37, RIPv3v38, RIPv3v39, RIPv3v40, RIPv3v41, RIPv3v42, RIPv3v43, RIPv3v44, RIPv3v45, RIPv3v46, RIPv3v47, RIPv3v48, RIPv3v49, RIPv3v50, RIPv3v51, RIPv3v52, RIPv3v53, RIPv3v54, RIPv3v55, RIPv3v56, RIPv3v57, RIPv3v58, RIPv3v59, RIPv3v60, RIPv3v61, RIPv3v62, RIPv3v63, RIPv3v64, RIPv3v65, RIPv3v66, RIPv3v67, RIPv3v68, RIPv3v69, RIPv3v70, RIPv3v71, RIPv3v72, RIPv3v73, RIPv3v74, RIPv3v75, RIPv3v76, RIPv3v77, RIPv3v78, RIPv3v79, RIPv3v80, RIPv3v81, RIPv3v82, RIPv3v83, RIPv3v84, RIPv3v85, RIPv3v86, RIPv3v87, RIPv3v88, RIPv3v89, RIPv3v90, RIPv3v91, RIPv3v92, RIPv3v93, RIPv3v94, RIPv3v95, RIPv3v96, RIPv3v97, RIPv3v98, RIPv3v99, RIPv3v100
Network Access	- PPP, HDLC, Frame Relay, ATM
Interface	- Ethernet, Serial, Wireless, ATM, ISDN, USB, FireWire, Fibre Channel

Cisco Networking Academy

In partnership with schools and organizations around the world, the Cisco Networking Academy program delivers a comprehensive learning experience to help students develop ICT skills for entry-level career opportunities, continuing education, and globally recognized career certifications. The curricula also help students build 21st century skills such as collaboration and problem solving by encouraging practical application of knowledge through hands-on activities and network simulations.


Networking Academy teaches ICT skills to students from virtually every socioeconomic background and region of the world. Students gain the skills needed to pursue networking careers in a variety of industries such as technology, healthcare, financial services, fashion, entertainment, and more. Students also gain access to a global support group, career development tools, and social networking resources to help them become architects of the human network.

For More Information

Cisco Networking Academy: www.cisco.com/go/cna
 Course Catalog: www.cisco.com/go/cna/courses
 Locate an academy: www.cisco.com/go/cna/locate
 Certifications: www.cisco.com/go/cna/cert

TKI

www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije





Teme za seminarsko nalogo

- **Comnet III**
 - Simulacija ADSL omrežja
- **NS2**
 - Mehanizmi QoS, multicast video odjemci, zajem realnega prometa, VoIP, brezžična omrežja, ...
- **Orodja za prikaz rezultatov simulacije in njihova interpretacija**

TKI

www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

Hvala za pozornost. Vprašanja?

TKI

www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije