

Telekomunikacijų inžinerija T 180

TINKLŲ MODELIAVIMAS IR EMULIAVIMAS NCTUNS APLINKOJE

Antanas Vindašius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: antanas.vindasius@el.vgtu.lt

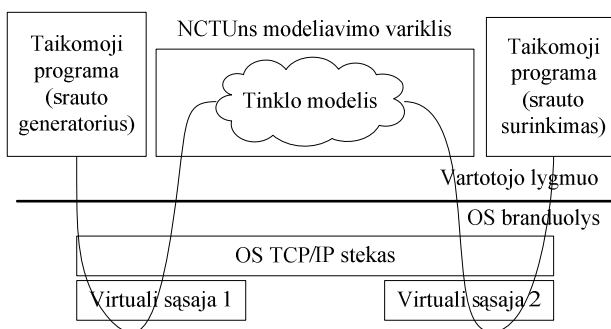
Santrauka. Straipsnyje apžvelgiamos modeliavimo aplinkos NCTUns savybės, sukurtais modeliais atskleidžiami pagrindiniai šio įrankio privalumai. NCTUns savo unikalia architektūra, pagrįsta grįžimo į branduolį algoritmu, suteikia galimybę panaudoti Linux OS TCP/IP steką, taip supaprastinant modelius, paspartinant operacijas ir įgalinant panaudoti modeliavimuose bet kokią UNIX programinę įrangą. Aprašytas perdavimo šuoliais tyrimo modelis, sudarytas NCTUns aplinkoje, gauti paketų vėlinimų pasiskirstymai, esant skirtingam šuolių skaičiui bei radijo kanalo apkrovai. Kitas modelis, sukurtas vaizdo perdavimui tirti, iliustruoja NCTUns galimybes ne tik parametriškai, bet ir gyvai įvertinti tinklo įtaką perduodamoms paslaugoms.

Reikšminiai žodžiai: modeliavimas, emuliacija, NCTUns, TCP/IP.

Įvadas

Telekomunikacijų tinklų modeliavimas plačiai naudojamas mokymo, tinklų planavimo, projektavimo, vystymo, naujų technologijų kūrimo ar kitais tikslais. Visose technikos srityse modeliai padeda susisteminti kompleksinius uždavinius, juos skaidant į elementus ir aprašant elementų tarpusavio sąveiką.

Tradiciniai tinklų modeliavimo įrankiai, kaip ns-2 ir OPNET, gerai žinomi telekomunikacijų tinklų specialistų tarpe ir turi gausias bei gerai išvystytas modelių bibliotekas. Ryškiausias NCTUns (Wang *et al.* 2007) aplinkos išskirtinumas – jos architektūra, pagrįsta unikaliu „grįžimo į branduolį“ algoritmu (1 pav.).



1 pav. NCTUns modeliavimas naudojant OS TCP/IP steką

Fig. 1. TCP/IP stack reuse for NCTUns modeling

Šioje modeliavimo aplinkoje visi modeliuojami tinklo elementai, naudojantys IP, panaudoja operacinės sistemos (OS) TCP/IP steką. Tai atliekama nukreipiant visą generuojamų paketų srautą į OS branduolį ir, naudojantis virtualiomis tinklo sąsajomis, grąžinant atgal į mo-

deliavimo aplinką. Tokia metodika leidžia supaprastinti pačius modelius, kadangi TCP/IP lygmenų modelių kurti nereikia – pasinaudojama tikrais OS protokolais. Ši savybė ir lemia pagrindinius NCTUns privalumus: modeliavime pasiekama daugiau realistiškumo, kadangi darant protokolų modelius jie dažnai paprastinami, taip pat dažnos klaidos dėl skirtingų standarto interpretacijų; modeliavimas yra daug greitesnis, kadangi dalį operacijų atlieka OS branduolys; modelių plėtimas galimas ne tik modeliavimo aplinkoje, bet ir OS – dalį modelio funkcijų galima perkelti OS branduoliui ar išorinėms taikomosioms programoms; modeliavimui gali būti naudojamos bet kokios UNIX komandos ar programos, taip pat tinklo stebėjimo ar konfigūravimo įrankiai; sistemų emuliacija tampa nesudėtingu, kadangi nėra esminio skirtumo tarp tikrų ir virtualių tinklo sąsajų – modeliuojami srautai ir tinklo segmentai gali sąveikauti su tikrais.

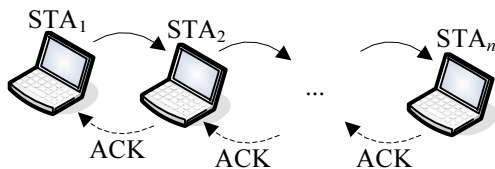
Įvairių perdavimo technologijų fizinis bei kanalo lygmenys NCTUns aplinkoje realizuojami specialiais protokolinais moduliais, kuriuos kombinuojant sudaromi norimos paskirties tinklo mazgai. Standartinės modulių bibliotekos apima populiariausius laidinių ir bevielų tinklų protokolus, įskaitant ethernet, 802.11a/b/e/p šeimą, GPRS, 802.16d/e, maršrutizavimo, QoS diferencijavimo ir daugelį kitų. Visi modeliai gali būti modifikuojami ir perkompilijuojami pritaikant juos savo reikmėms arba kuriami visiškai nauji.

Perdavimo šuoliais modeliavimas

Paketinio perdavimo tinklams perdavimas šuoliais (angl. *multihop*) yra įprastas dėl decentralizuotos IP maršrutizavimo natūros. Kiekvieną šuolį atstoja kelvedžiai

tarp tinklo segmentų, kuriais siunčiami paketai į paskirties vietą. Šiandien plačiai paplitusi IEEE 802.11 technologija yra grįsta decentralizuotam bevieliam perdavimui skirtais algoritmais. Nors didžioji dalis šiandienų IEEE 802.11 taikymų apsiriboja tik radijo prieigos (infrastruktūrinėmis) realizacijomis, tačiau bevielės necentralizuotos *ad-hoc* topologijos poreikis auga atsirandant taikymams sensorių tinkluose, operatyviai specialiųjų tarnybų komunikacijai (vietovėse kur nėra infrastruktūros arba ji sugadinta), taip pat automobilinio ryšio taikymuose.

Kritiniai perdavimo šuoliais tinklo parametrai – paketų vėlinimas ir jų išsibarstymas, kadangi paketas užlaidomas kiekviename tinklo mazge, o naudojama vieno kanalo (pusiau duplexo) technologija įveda neapibrėžtumą prieigos prie radijo kanalo laikui. Todėl kiekvienas šuolis į bendrą paketo vėlinimą įveda savo vėlinimo dedamąją, kuri susideda iš fizinės terpės ir prieigos prie kanalo laukimo laikų.

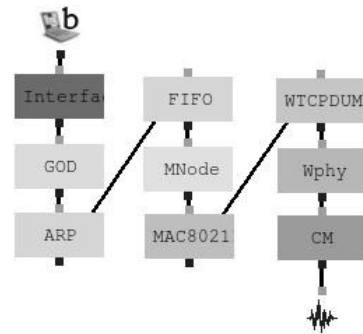


2 pav. Modeliuojama perdavimo šuoliais topologija

Fig. 2. Topology of multihop model

NCTUns 5.0 aplinkoje sudarytas modelis vėlinimo laikams perdavimo šuoliais topologijoje tirti. Tinklo topologija (2 pav.) sudaryta iš IEEE 802.11b protokolo stočių (STA), veikiančių *ad-hoc* režimu, siunčiančių tuo pačiu radijo kanalu ir esančių vienoje aprėpties zonoje (visos modeliuojamos STA turi tiesioginį radijo ryšį viena su kita, palaikoma aukščiausia IEEE 802.11b standartu užtikrinama fizinė sparta – 11 Mb/s). STA₁ įdiegtas paketų generatorius, sukuriantis vienodą norimą tinklo apkrovą ir žymintis paketus laiko žyme, kad juos priėmus būtų galima rasti paketo vėlinimą. Stotyje STA_n įdiegtas paketų surinktuvas, registruojantis kiekvieno paketo keliavimo laiką. Visos tarpinės STA modifikuotos taip, kad STA_i paketus persiųstų pagal griežtas taisykles – tik gretimai stočiai STA_{i+1}, nors radijo ryšio aprėptis pasiekia ir paskutinę stotį STA_n.

IEEE 802.11b stoties modelio struktūra pateikta 3 pav. Šiuo modeliu realizuojami visi OSI lygmenys – nuo taikymų iki fizinio, tačiau beveik visus aukštesnius lygmenis iškelus į OS branduolį, modelyje lieka kanalo ir fizinis lygmuo bei keletas pagalbinių modulių. Pirmasis modulis „Interface“ atlieka jungties su OS branduoliu



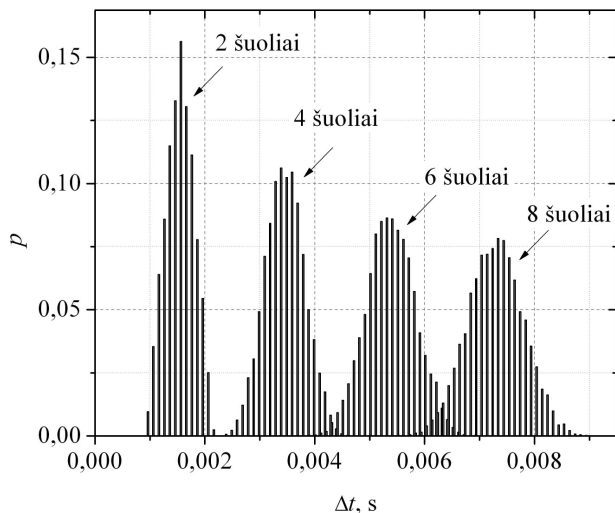
3 pav. IEEE 802.11b stoties NCTUns modelio struktūra

Fig. 3. Structure of IEEE 802.11b node in NCTUns

vaidmenį. Nors IP maršrutizavimą taip pat galima palikti OS, dinaminį maršrutizavimo protokolų tyrimui naudinga tai daryti pačioje NCTUns sistemoje. Galima panaudoti keletą dinaminio maršrutizavimo protokolų, o kadangi šiam uždaviniui maršrutas yra iš anksto žinomas ir nekinantis (perdavimas grandine pagal iš anksto žinomas taisykles), panaudotas „GOD“ modulis (3 pav.).

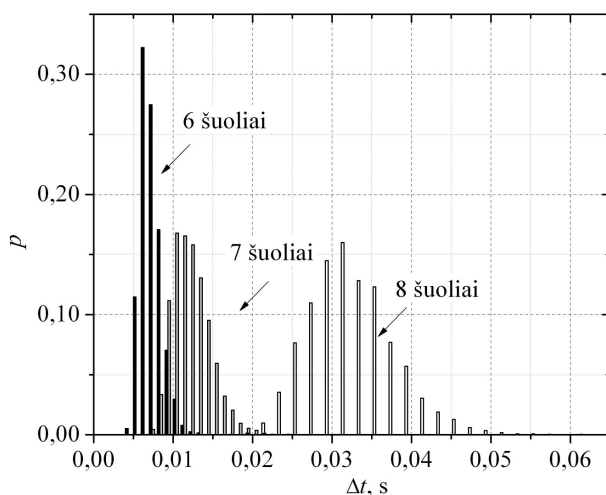
Šis modulis naudojamas kai turima *a priori* informacija apie maršrutus tinkle arba priimant prielaidą, kad visada randamas optimalus maršrutas. Tai teorinis metodas, leidžiantis nepaisyti optimalaus maršrutizavimo kai tiriami žemesni lygmenys. Šiam uždaviniui modulis modifikuojamas taip, kad nebūtų automatiškai renkama informacija apie maršrutą, ji niekada neatnaujinama, o statiniai maršrutai įvedami formuojant sujungimą grandine. Kanalinio lygmens protokolas aprašytas modulyje „MAC802.11“, kur realizuota CSMA/CA prieiga, ji jungiama su fizinio lygmens modulių „Wphy“, aprašančiu fizinę technologijos lygmenį – moduliacijas, kanalo kodavimo principus, fizinės spartas. Galiausiai naudojamas kanalo modelis „CM“, kuriuo imituojamas bevielio perdavimo kanalas. Galimi teoriniai kanalo modeliai, pagrįsti tik signalo slopimu erdvėje, taip pat ir empiriniai – Okumura-Hata, Walfish, COST231 ir kiti. Fizinio kanalo modelis svarbus tiriant stočių judėjimą, modeliuojant ryšio sąlygų kitimus, siekiant sukurti trikdžių radijo ryšio kanale, taip modeliuoti realias bevielio perdavimo sąlygas.

Paketų vėlinimo pasiskirstymai esant skirtingam šuolių skaičiui pateikti histogramomis (4–6 pav.). Kaip matyti grafikuose, auga ne tik vidutinis patirtas vėlinimas, bet ir vėlinimo išsibarstymas. Šį efektą sukelia CSMA/CA prieigos algoritmas – besivaržant daugiau stočių, didėja ilgesnio laukimo tikimybė, taip pat didėja ir kolizijų tikimybė, kurios įveda ne tik vėlavimą dėl paketo persiuntimo, bet ir fizinio kanalo resursų sumažėjimą, kuriu turi dalintis visos stotys.



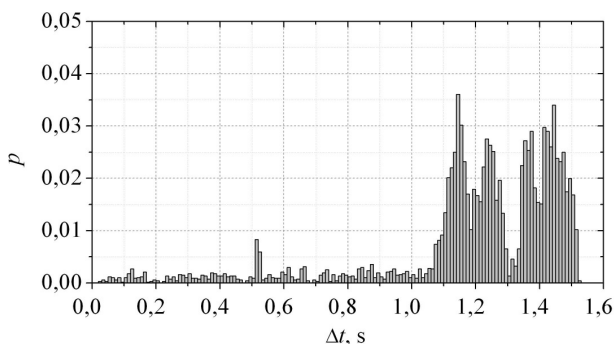
4 pav. Perduodamų šuoliais paketų vėlinimo pasiskirstymas neapkrautame tinkle

Fig. 4. Distribution of packet delays in underutilized multihop network



5 pav. Perduodamų šuoliais paketų vėlinimo pasiskirstymas esant 100 kb/s apkrovai

Fig. 5. Distribution of packet delays in multihop network with 100 kb/s load



6 pav. Perduodamų per 10 šuolių paketų vėlinimo pasiskirstymas esant 100 kb/s apkrovai

Fig. 6. Distribution of packet delays over 10 hops in network with 100 kb/s load

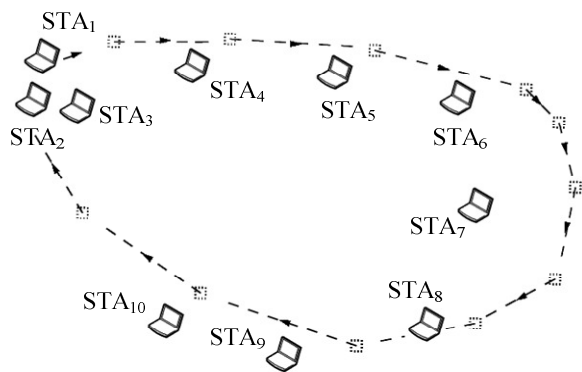
4 pav. pateiktas vėlinimų pasiskirstymas keliuose šuoliuose generuojant srautą, kurio intensyvumas toks mažas, kad vienu metu sistemoje yra ne daugiau kaip vienas siunčiamas paketas, t. y. generuojamame paketu sraute laikas tarp paketų yra didesnis nei laikas, reikalingas paketui perduoti nuo STA_1 iki STA_n . Didinant generuojamą srautą iki 100 kb/s, mažo šuolių skaičiaus vėlinimas nesikeičia, tačiau pasiekus 6 šuolius, matomas CSMA/CA įtakojamas vėlinimo išaugimas (5 pav.). Auginamos vėlinimo variacijos neigiamai įtakos realaus laiko paslaugų veikimą ir TCP persipildymo langą.

Didinant šuolių skaičių pasiekama kanalo talpos fizinė riba, kai viso kanalo resursų nebepakanka tinklo generuojamam srautui aptarnauti. Net ir generuojant nedidelį 100 kb/s srautą, perdavimas per 10 šuolių perpildo kanalą ir paketų vėlinimai drastiškai išauga (6 pav.). Bendrame radijo kanale dirbant n tarpinių mazgų, tinklui prireikia n kartų daugiau resursų, todėl kanalo talpa sumažėja taip pat n kartų. Didelis siunčiančių stočių skaičius didina ir kolizijų bei atsitraukimų tikimybes, todėl kanalo talpa dar labiau sumažinama. Dėl šios priežasties ieškoma būdų taikyti tankinimą erdvėje (Kajackas *et al.* 2004), kad būtų galima sumažinti šuolių, besinaudojančių tais pačiais kanalo resursais, skaičių.

Modeliai paslaugų kokybės tyrimams

Dažnas modelių kūrimo uždavinys – ištirti tinklo ar kanalo įtaką konkrečių charakteristikų srautams – realaus laiko paslaugoms ar įvairiems protokolams. Paprastai toks uždavinys sprendžiamas parametrizuojant srautą (paslaugą) ir nustatant, kokie išraišpimai leidžiami, nustatomas leidžiamas praradimų kiekis ir dėsnis (susigrupavimas ar pan.), vėlinimo išsibarstymų ribos. Tada paslauga imituojama dirbtiniu srautu, kuriuo norima atkurti kuo panašesnes charakteristikas.

Savita NCTUns architektūra leidžia tokius uždavinius spręsti kitu būdu – programinės įrangos generuojamą srautą nukreipti į modeliuojamą tinklą ir stebėti kokius iškraipymus modelis įveda. Kadangi kaip srautų generatorių galima panaudoti bet kokią Linux sistemoje veikiančią programinę įrangą, modeliuojamame tinkle galime operuoti tikrais vaizdo, garso, žiniatinklio programų, p2p programų ir pan. generuojamais srautais. O norint ištirti Linux nepritaikytą programinę įrangą, galima pasitelkti emuliaciją – srautas kuriamas viename kompiuteryje ir patenka į kitame kompiuteryje sukurtą tinklo modelį. Tokiu būdu galima išvengti paslaugos parametrizavimo uždavinio, kuris dažnai įveda paklaidų arba būna sunkiai įmanomas dėl uždaro kodo.



7 pav. Modeliuojamo tinklo topologija

Fig. 7. Topology of modelled network

Modeliuojamame tinkle (7 pav.) perdavimas vyksta šuoliais iš STA₁ į STA₂. STA₂ tolstant (judėjimo trajektorija pažymėta rodyklėmis), perdavimui prireikia vis daugiau ir daugiau šuolių. Be to, keičiantis atstumui, keičiasi ir fizinės perdavimo sąlygos. STA₁ ir STA₂ yra emuliuojamos stotys – fiziškai jos yra atskiri kompiuteriai, kuriuose realizuotas srautinis vaizdo siuntimas (STA₁) bei priėmimas su vaizdavimu ekrane (STA₂). Trečiajame – modeliavimo kompiuteryje – modeliuojamas perdavimas šuoliais ir stočių judėjimas. Toks modelis leidžia ne tik stebėti tinklo įtaką srauto parametrų (fiksuoti vėlinimo išsibarstymus pablogėjus ryšio sąlygoms ar perjungties metu), bet ir vertinti vaizdo kokybę realiu laiku (8 pav.).

Emuliacijai galima panaudoti ne vien tik išorinius kompiuterius, bet ir kitus tinklo elementus, pavyzdžiui,



8 pav. Priimto vaizdo įrašo kadras pablogėjus ryšio sąlygoms modelyje

Fig. 8. Frame of received video record under degraded network conditions in the model

kelvedžius. Tinklo modelyje tikras kelvedys nesiskirs nuo modeliujamo, o visi srautai bus nukreipiami per tikras tinklo sąsajas. Emuliuojant taip pat galima derinti tikrus duomenų srautus su modeliujamais – skirtingų TCP stekų sąveikos tyrimui ar panašioms uždaviniais.

Išvados

1. NCTUns aplinkoje IP tinklų modeliai supaprastinami panaudojant operacinės sistemos TCP/IP steką ir dalį funkcijų perkeliati OS branduoliui.

2. Kuriant daug tinklo elementų turinčius modelius, NCTUns architektūra leidžia modeliavimus atlikti sparčiau ir gauti realistiškesnius rezultatus. Pateiktas perdavimo šuoliais modelis iliustruoja, kaip sudaromi ir tiriami tinklo mazgai.

3. Modeliavimo galimybes išplečia bet kokių UNIX taikomųjų programų bei emuliacijai panaudojimas. Pateiktas vaizdo perdavimo modelis iliustruoja, kaip NCTUns įgalina ne tik parametriškai bet ir gyvai įvertinti tinklu gaunamos paslaugos kokybę.

Literatūra

- Kajackas, A.; Pavilanskas, L.; Šaltis, A. 2004. One radio channel packet implementation interference analysis, in *17th International Wroclaw Symposium on EMC*. Wroclaw.
- Wang, S. Y.; Chou, C. L.; Lin, C. C. 2007. The design and implementation of the NCTUns network simulation engine, *Elsevier Simulation Modelling Practice and Theory* 15: 57–81. doi:10.1016/j.simpat.2006.09.013

SIMULATION AND EMULATION IN NCTUNS

A. Vindašius

Abstract

The features of NCTUns simulation environment are presented along with developed models, showing the advantages of this simulation tool. NCTUns gives the ability to reuse kernel TCP/IP stack and therefore to simplify and speedup the simulations, also to make use of any UNIX commands or programs. Presented wireless multihop transmission model for delay and jitter investigation, also wireless multihop video transmission model. Model, employing emulation, enables to evaluate the impact of simulated network not only on flow characteristics, but also on live application reception.

Keywords: modelling, emulation, NCTUns, TCP/IP.