

ՀՏԴ 530.15

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ ԵՎ
ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

Ս.Ա. ՄԻՐԱԴԵՂՅԱՆ, Ռ.Գ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ
ՄԻՍՈՒԼՑԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ, ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ
ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ

Հետազոտվել են ns-3 և OMNeT++ ժամանակակից ցանցային սիմուլյատորները, որոնք ապահովում են քոմփյուտերային ցանցերի նախագծումը և ուսումնասիրումը: Կատարվել է դրանց համեմատական գնահատում: Միմուլյատորի միջոցով իրականացվել է ընկերության ցանցի տարբեր կառուցվածքների սիմուլյացիա:

Առանցքային բառեր. քոմփյուտերային ցանց, ցանցային սիմուլյացիա, դիսկրետ-իրադարձային սիմուլյատոր, ns-3, OMNeT++:

Ներածություն. Քոմփյուտերային ցանցերում կատարվող հետազոտությունների մեջ մեծ մաս են կազմում նոր արձանագրությունների մշակումը կամ եղածների կատարելագործումը, ցանցի անվտանգության կամ ճարտարապետության հիմնահարցերը և այլն: Թվարկված հարցերն ուսումնասիրելիս կարևոր է հասկանալ ցանցի հանգույցների արագագործությունը և առանձին բաղադրիչների վարքը: Ուսումնասիրության համար կարելի է օգտվել հետևյալ երեք եղանակներից.

1. սիմուլյացիա,
2. փորձարկումներ գոյություն ունեցող համակարգում,
3. մաթեմատիկական մոդելավորում:

Ցանցային սիմուլյատորները լայն հնարավորություններ են ընձեռում՝ կատարելու հետազոտություններ տարբեր կառուցվածքով ու կազմակերպմամբ նախագծվող քոմփյուտերային ցանցերի վրա՝ առանց ապարատային սարքերի օգտագործման: Դա թույլ է տալիս վիրտուալ պայմաններում նախագծել և հետազոտել տարբեր բարդությամբ քոմփյուտերային ցանցեր, դրանց վրա կիրառել տարբեր կարգավորումներ և ստանալ անհրաժեշտ բնութագրեր՝ ձեռքի տակ չունենալով իրական կառուցված ցանց, և խնայել հսկայական ֆինանսական միջոցներ:

Ցանցային սիմուլյատորները կարող են կիրառվել քոմփյուտերային ցանցերի տարատեսակ տոպոլոգիաների, դրանցով փոխանցվող թրաֆիկի, արձանագրությունների հետազոտման և վիճակագրության հավաքագրման համար:

Իրական ցանցի վրա փորձարկումներ կատարելը ոչ միշտ է հնարավոր: Նախ, արդյունքների ճշգրտությունն ապահովելու համար անհրաժեշտ է, որ ցանցը չօգտագործվի: Տարաբնույթ թրաֆիկի համար անհրաժեշտ է, որ փորձարկմանը

մասնակցող քոմփյութերներից յուրաքանչյուրի վրա լինի թրաֆիկի գեներացիայի աղբյուր: Նոր հանգույցների ավելացումը պահանջում է ֆինանսական ներդրումներ, իսկ ճարտարապետության փոփոխման դեպքում կարող է անհրաժեշտություն առաջանալ փոխելու ցանցի հանգույցների դասավորվածությունը: Կորպորատիվ ցանցերի դեպքում, երբ կան նաև մասնաճյուղեր, աշխատանքներն էլ ավելի են բարդանում: Հաճախ հանրավոր չէ միաժամանակ դադարեցնել բոլոր մասնաճյուղերի աշխատանքը, քանի որ դրանք կարող են գտնվել տարբեր ժամային գոտիներում և աշխարհագրական տարբեր վայրերում: Այդ դեպքում մասնագետների անհրաժեշտություն կառաջանա նաև այդ մասնաճյուղերում: Հետազոտական աշխատանքները պետք է անցկացվեն միայն ոչ աշխատանքային օրերին: Վերը թվարկվածները զգալի սահմանափակումներ են դնում աշխատանքների վրա՝ հաճախ դրանք դարձնելով անհնար:

Նոր նախագծվող ցանցերի դեպքում այս մեթոդը կիրառելի չէ, քանի որ չկա ցանց, որի վրա կատարվեն ուսումնասիրությունները:

Վերջին ուսումնասիրված եղանակը մաթեմատիկական մոդելավորումն է: Այստեղ անհրաժեշտ է համակարգը բաժանել առանձին մոդելների և տալ դրանցից յուրաքանչյուրի մաթեմատիկական նկարագրությունը: Դա այս մեթոդի ամենաբարդ մասն է, քանի որ մոդելը պետք է առվելագույնս ճիշտ նկարագրություն տա: Խոր ուսումնասիրություններ կատարելու համար անհրաժեշտ են բարդ կառուցվածքով մոդելներ, ինչը բարդացնում է հաշվարկները:

1. Խնդրի դրվածքը. Ներկայումս արդիական է դիտարկել տարաբնույթ թրաֆիկով կորպորատիվ քոմփյութերային ցանցերի կառուցվածքների տարբերակների և օգտագործվող արձանագրություններից արդյունավետների ընտրությունը: Դա թույլ կտա բարձրացնել քոմփյութերային ցանցի ինֆորմացիոն թողունակությունը: Դրա իրականացման համար անհրաժեշտ է դիտարկել քոմփյութերային ցանցի տարբեր տոպոլոգիաներ, կիրառել բազմապիսի արձանագրություններ և մշակելով ստացված արդյունքները՝ ընտրել տոպոլոգիա և արձանագրությունների խումբ:

Նախագծվող քոմփյութերային ցանցերի աշխատանքի հետազոտությունները նպատակահարմար է իրականացնել ցանցային սիմուլյատորների միջոցով, քանի որ միշտ չէ, որ հնարավոր է գտնել պահանջները բավարարող ցանց, իսկ գտնելու դեպքում էլ դրա ձևափոխությունները կարող են պահանջել ֆինանսական մեծ ներդրումներ:

Լայն տարածում ունեցող ցանցային սիմուլյատորներից են ns-3-ը, OMNeT++-ը, OPNET Modeler-ը, NetSim-ը, OpenWNS-ը, GNS3-ը և այլն, որոնք ապահովում են տարբեր տեսակի՝ լարային և անլար, քոմփյութերային ցանցերի նախագծման ու հետազոտման արդյունավետ իրականացումը [1, 2]:

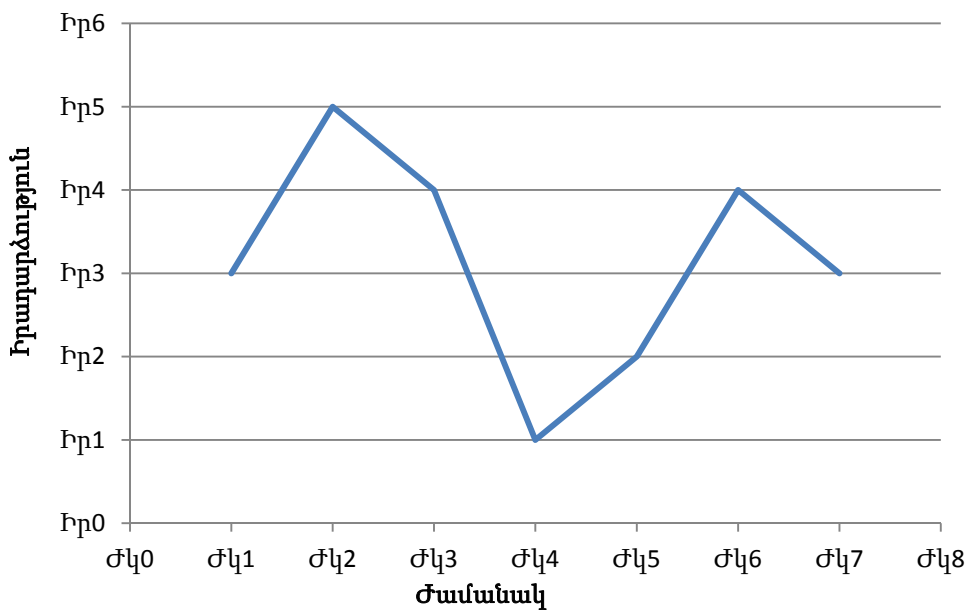
Ուստի արդիական խնդիր է քոմփյութերային ցանցերի նախագծման և վերակառուցման համար օգտագործվող ժամանակակից սիմուլյատորների հետազոտումը,

դրանց համեմատական գնահատումը և կիրառման հնարավորությունների դիտարկումը:

2. Ցանցային սիմուլյացիա. Միմուլյատորները բաժանվում են մի քանի դասի: Դրանցից են.

- շարունակական,
- Մոնտե Կարլոյի,
- դիսկրետ-իրադարձային:

Ցանցային սիմուլյատորների մեծ մասը պատկանում են դիսկրետ-իրադարձային դասին: Նրա գլխավոր առանձնահատկությունն այն է, որ մոդելի վիճակը փոխվում է միայն ժամանակի դիսկրետ պահերին՝ իրադարձությունների ի հայտ գալու հետևանքով: Ենթադրվում է, որ երկու իրար հաջորդող իրադարձությունների միջև ընկած ժամանակահատվածում մոդելը չի փոխում իր վիճակը: Նկ.-ում բերված է ժամանակի ընթացքում իրադարձությունների ի հայտ գալը: Ժամանակի Ժկ1 պահից սկսում են ի հայտ գալ Իր3, Իր5, Իր4, Իր1, Իր2, Իր4 և Իր3 իրադարձությունները: Հարկ է նշել, որ ժամանակի Ժկx և Ժկx+1 պահերի միջև ընկած ժամանակահատվածը հաստատուն չէ և կարող է ընդունել տարբեր արժեքներ:



Նկ. Իրադարձությունների ի հայտ գալը ժամանակի ընթացքում

Բոլոր դիսկրետ-իրադարձային սիմուլյատորները բաղկացած են բաղադրիչներից: Դրանցից են [3].

- Ժամացույց. սիմուլյացիայի ընթացիկ ժամանակի հաշվարկի համար:
- Իրադարձությունների ցուցակ. սիմուլյացիայի հիմքում ընկած են իրադարձությունները, որոնք ի հայտ են գալիս ժամանակի կոնկրետ պահերին: Կարող են նաև լինել իրադարձություններ, որոնք պահվում են հետագայում ի հայտ գալու համար: Ժամանակի ցանկացած պահին կարող են ի հայտ գալ ցանկացած քանակի իրադարձություններ:
- Ավարտի պայման. քանի որ սիմուլյացիան կարող է շարունակվել անվերջ (նույնիսկ իրադարձությունների բացակայության դեպքում), ուստի անհրաժեշտ է պայման, որի դեպքում այն կավարտվի: Նման պայմանների տիպիկ օրինակներ են «Ժամանակի t պահին», «X քանակությամբ իրադարձություն մշակելուց հետո» և այլն:
- Պատահական թվի գեներատոր. կախված համակարգի մոդելից, սիմուլյացիայի ընթացքում կարող է պատահական թվի գեներացիայի պահանջ առաջանալ: Նման դեպք կարող է առաջանալ, օրինակ, HTTP (Hypertext Transfer Protocol, հիպերտեքստերի փոխանցման արձանագրություն) թրաֆիկի գեներացիայի ժամանակ, որը պետք է ունենա պատահական երկարություն:

3. Ցանցային սիմուլյատորների հետազոտումը. Ցանցային սիմուլյատորի ընտրության համար անհրաժեշտ են որոշակի չափանիշներ: Պետք է հնարավոր լինի սիմուլյատորն անվճար կիրառել հետազոտական և ուսումնական նպատակներով, տարածվի բաց կոդով, որպեսզի անհրաժեշտության դեպքում հնարավոր լինի նրա աշխատանքում կատարել փոփոխություններ, ունենա աշխատանքային խումբ, որոնք աշխատանքներ են վարում նոր տարբերակի մշակման և եղածների լրամշակման, գտնված սխալների շտկման ուղղությամբ:

Հաշվի առնելով վերը նշված չափանիշները, որպես հետազոտման առարկա ուսումնասիրվել են հետևյալ երկու դիսկրետ-իրադարձային ցանցային սիմուլյատորները՝

- ns-3,
- OMNeT++:

3.1. Ցանցային սիմուլյատոր ns-3. Ցանցային արձանագրությունների հետազոտություններ կատարելու համար ns-2 ցանցային սիմուլյատորը երկար տարիներ եղել է ամենակիրառվողը և փաստացի ստանդարտ դարձած գործիքային միջոցը: Բազմաթիվ հետազոտական աշխատանքներ կատարվել են՝ օգտագործելով ns-2 ցանցային սիմուլյատորը: Նրա համար գրվել են հարյուրավոր մոդուլներ, որոնք թույլ են տալիս կատարել տարբեր արձանագրությունների և տեխնոլոգիաների հետազոտում: ns-3-ը մշակվել է որպես ns-2-ի փոխարինող [4]: Հիմնական նպատակ-

ներից մեկը մոդելների կատարելագործումն է՝ դրանց ծրագրային իրականացումը մոտեցնելով իրականին: ns-3-ն ամբողջությամբ նոր ստեղծված սիմուլյատոր չէ: Այն արդեն իսկ գոյություն ունեցող գործիքային միջոցների միաձուլում է: Ներառում է ns-2, Georgia Tech Network Simulator և YANS սիմուլյատորները: Նոր մոդուլների ստեղծման համար օգտագործվում է ծրագրավորման C++ լեզուն: Դա թույլ է տալիս հեշտությամբ օգտագործել ns-2-ում գոյություն ունեցող ծրագրավորման C լեզվով գրված մոդուլները:

Ns-3-ի կոմերցիալ տարբերակ չկա, և նախագծի ընդլայնման, գտնված սխալների շտկման համար կա սահմափակ ռեսուրս:

ns-3-ի միջոցով սիմուլյացիա իրականացնելու համար անհրաժեշտ է գրել C++ ծրագիր և այնտեղ ցանցի մոդելը նկարագրել՝ օգտագործելով պատրաստի մոդուլների հավաքածուն: Ծրագիրը կոմպիլացվում է և կապվում օգտագործված մոդուլների գրադարանների հետ, որոնք գալիս են ns-3-ի հետ:

3.2. Ցանցային սիմուլյատոր OMNeT++. OMNeT++-ն (Objective Modular Network Testbed in C++) ընդարձակվող, մոդուլային բաղադրիչներից բաղկացած սիմուլյացիայի C++ գրադարան և հարթակ է [5], որը ներառում է նաև մշակման և գրաֆիկական գործարկման միջավայրեր: Ունի իրական ժամանակի սիմուլյացիայի, ցանցի էմուլյացիայի ընդլայնումներ: OMNeT++-ը ստեղծվել է ցանցերի և բաշխված համակարգերի սիմուլյացիայի նպատակով: Մասնագիտացված լինելու փոխարեն ստեղծվել է հնարավորինս ընդհանրացված: Շնորհիվ դրա, OMNeT++-ն օգտագործվում է բազմաթիվ բնագավառներում՝ անլար, միառանգ ցանցերի, օպտիկական հանգույցների և տվյալների պահպանման ցանցերի սիմուլյացիա և այլն:

OMNeT++-ն ապահովում է ընդհանրացված բաղադրիչային կառուցվածք: Մոդելների նախագծողն ինքն է որոշում, թե ինչպես արտապատկերել իրական բաղադրիչները մոդելների տեսքով: Ստեղծված բաղադրիչները կարող են միավորվել և ստեղծել մեկ մեծ բաղադրյալ մոդել: Դրանք իրար հետ հիմնականում հաղորդակցվում են հաղորդագրությունների միջոցով:

Գրաֆիկական մասը հիմնված է Eclipse ծրագրի վրա:

Ցանցային սիմուլյատոր OMNeT++-ը ներառում է այնպիսի մոդուլներ, ինչպիսիք են OSI մոդելի կիրառական և ներկայացուցչական մակարդակների մոդուլները, MAC մակարդակը և այլն: Այն ունի մի քանի առանցքային հարթակներ, որոնք լայնորեն կիրառվում են տարբեր տիպի սիմուլյացիաների դեպքում: Դրանցից են [5].

- INET հարթակ. պարունակում է որոշ ինտերնետային արձանագրությունների մոդելները, ինպիսիք են UDP, TCP, IP, IPv6, Ethernet, IEEE 802.11, OSPF, MPLS, SCTP և այլն,
- INETMANET. INET-ի լրացում է, որն ունի մի շարք շարժական մոդուլների մոդելներ,
- MiXiM. ապահովում է անլար և շարժական սիմուլյացիա,

- Castalia. անլար սենսորային ցանցի (Wireless Sensor Network), մարմնի մասերի ցանցեր (Body Area Network) և հոսանքի ցածր սպառում ունեցող ներկառուցվող սարքավորումների սիմուլյացիայի համար:

Նոր բաղադրիչները գրվում են C++-ով: Առանձին փոքր բաղադրիչները միավորվում են բարձր մակարդակի NED(Network Description) լեզվի միջոցով:

4. Ցանցային սիմուլյատորների կիրառումը. Դիտարկված երկու ցանցային սիմուլյատորներից ընտրվել է OMNeT++-ը, քանի որ այն ունի ընդլայնելիության ավելի մեծ հնարավորություններ, իսկ Eclipse գործիքային միջոցի առկայությունը հեշտացնում է սիմուլյացիայի իրականացումը:

Սիմուլյացիայի համար ընտրվել է «Արդիոտեխ» ՍՊ ընկերության ցանցը, որը բաղկացած է 30 քոմպյուտերներից: Քոմպյուտերներն իրար միացված էին WiFi երթուղավորիչի միջոցով: Ընկերության գրասենյակը զբաղեցնում է 2 հարկ: Երեկոյան ժամերին VoIP (Voice over Internet Protocol, ձայնը ինտերնետ արձանագրության միջոցով) կոնֆերանսներին մասնակցում են մինչև 20 քոմպյուտեր, ինչի արդյունքում ցանցով անցնում է թրաֆիկի մեծ հոսք: Դա հանգեցնում էր ձայնի որակի կտրուկ անկման, հաճախ նաև կապի ընդհատման:

Ցանցի ճարտարապետության կատարելագործման համար կիրառվել է OMNeT++ դիսկրետ-իրադարձային սիմուլյատորը: Ձայնի որակի չափանիշ ընտրվել է MOS (Mean Opinion Score, գնահատականի միջին թիվ)-ը, իսկ դրա ստացման համար կիրառվել է ITU (Internet Telecommunication Union, Ինտերնետային Հեռահաղորդակցության Միություն)-ի կողմից մշակված գործիքային միջոցները [6]: Ըստ MOS-ի սանդղակի ձայնի որակի համար կա 5 աստիճան՝ 1-ից 5, որտեղ ամենացածր որակին համապատասխանում է 1-ը, իսկ ամենաբարձրին՝ 5:

Նախ՝ կառուցվել է գոյություն ունեցող ցանցի մոդելը, և կատարվել է VoIP թրաֆիկի սիմուլյացիա: 20 քոմպյուտերների միաժամանակյա աշխատանքի դեպքում ստացված MOS արժեքներից ամենացածրը 1.987 էր, իսկ ամենաբարձրը՝ 2.115: Երկու արժեքներն էլ համապատասխանում են ձայնի ցածր որակին:

Դիտարկվել է կատարելագործման երկու տարբերակ: Յուրաքանչյուրի համար կառուցվել է մոդել և իրականացվել սիմուլյացիա:

Առաջինի դեպքում յուրաքանչյուր հարկում տեղադրվել է մեկական WiFi երթուղավորիչ: Արդյունքում՝ թրաֆիկը բաժանվել է երկու երթուղավորիչների միջև: Սիմուլյացիայի արդյունքում ստացված MOS արժեքներից ամենացածրը 2.403 էր, իսկ ամենաբարձրը՝ 2.625: Դա ձայնի բավարար որակ է:

Երկրորդ դեպքում անլար ցանցը փոխարինվել է Ethernet ցանցով: Ամեն հարկում տեղադրվել է մեկական կոմուտատոր: Այս դեպքում MOS արժեքներից ամենացածրը 4.213 էր, իսկ ամենաբարձրը՝ 4.439: Այս արժեքները համապատասխանում են ձայնի գերազանց որակին:

Հիմնվելով սիմուլյացիայի հետևանքով ստացված արդյունքներին, ինչպես նաև հաշվի առնելով ընկերության աշխատողների թվաքանակի ավելացման հեռանկարը, նպատակահարմար է կրառել Ethernet տեխնոլոգիան:

Բոլոր սիմուլյացիաների արդյունքները բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

MOS արժեքը սիմուլյացիայի տարբեր սցենարների դեպքում

Սիմուլյացիայի սցենար	MOS նվազագույն արժեք	MOS առավելագույն արժեք
WiFi 1 երթուղավորիչով	1.987	2.115
WiFi 2 երթուղավորիչով	2.403	2.625
Ethernet	4.213	4.439

Եզրակացություն. Քոմփյուտերային ցանցերի մեծացման և դրանցով անցնող թրաֆիկի ավելացմանը զուգահեռ շատ հաճախ գոյություն ունեցող ցանցերի թողունակությունը սկսում է չբավարարել: Նման դեպքերում անհրաժեշտություն է առաջանում կատարել ցանցի վերակառուցում:

Ցանցային սիմուլյատորները լինում են տարբեր տեսակի և ունեն կիրառման տարբեր բնագավառներ: Սիմուլյատորների միջոցով հնարավոր է իրականացնել միևնույն ցանցի տարբեր կառուցվածքների սիմուլյացիա, հետազոտել արդյունքները և դրա հիման վրա ընտրել արդյունավետ կառուցվածքը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Wehrle K., Güne M. , Gross J.** Modeling and Tools for Network Simulation.- Springer, 2010 – 545 p.
2. **Lessmann J., Janacik P., Lachev L., Orfanus D.** Comparative Study of Wireless Network Simulators. The Seventh International Conference on Networking. – 2008. – P. 517-523.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_event_simulation
4. <http://www.nsnam.org/>
5. <http://www.omnetpp.org/>
6. <http://www.itu.int>

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացված է խմբագրություն 11.04.2013:

С.А. СИРАДЕГЯН, Р.Г. КИРАКОСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ, СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ПРИМЕНЕНИЕ
СОВРЕМЕННЫХ СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

Исследованы современные сетевые симуляторы ns-3 и OMNeT++, которые обеспечивают проектирование и изучение компьютерных сетей. Проведена их сравнительная оценка. С помощью симуляторов проведена симуляция различных построений реальной сети.

Ключевые слова: компьютерная сеть, сетевая симуляция, симулятор, дискретно-событийный симулятор, ns-3, OMNeT++.

S.A. SIRADEGHYAN, R.G. KIRAKOSSIAN

**RESEARCH, COMPARATIVE ASSESSMENT AND APPLICATION OF MODERN
SIMULATORS FOR DESIGNING COMPUTER NETWORKS**

Modern network simulators ns-3 and OMNeT++ providing the projection and investigation of computer networks are studied. Their comparative assessment is carried out. Simulation of different structures of a real network is accomplished.

Keywords: computer network, network simulation, simulator, discrete event simulator, ns-3, OMNeT++.