

ՀՀ ԳԱԱ ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈՔԼԵՄՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
Դավիթ Վահանի Բեյբության

**Պատիվ օպտիկական ցանցերի կառուցումը և դինամիկ թողունակության բաշխման
հետազոտումը մուլտիմեդիա ծառայությունների համար**

Ե13.04 – «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի
մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան – 2013

ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И ПРОБЛЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ НАН РА

Давид Ваанович Бейбутян

**Разработка пассивных оптических сетей и исследование распределения динамической
пропускной способности для мультимедиа услуг**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.04 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов,
систем и сетей»

Ереван – 2013

Մասնագիտության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.մաթ.գիտ.դոկտոր Է. Մ. Պողոսյան
տեխ.գիտ.դոկտոր Մ. Վ. Մարկոսյան
տեխ.գիտ.թեկնածու Մ.Ղ.Գյուրջյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական
համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. հունիսի 12-ին, ժ. 16:00-ին ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում գործող 037 «Ինֆորմատիկա և հաշվողական համակարգեր» մասնագիտական խորհրդի նիստում հետևյալ հասցեով՝ Երևան, 0014, Պ. Սևակի 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ինստիտուտի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2013թ. մայիսի 11-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, ֆ.մ.գ.դ.



Հ. Գ. Սարգսյանյան

Тема диссертации утверждена в институте проблем информатики и автоматизации НАН РА

Научный руководитель:

доктор физ.-мат.наук

Э. М. Погосян

Официальные оппоненты:

доктор тех.наук

М.В.Маркосян

кандидат тех.наук

М.К.Гюрджян

Ведущая организация:

Государственный инженерный университет
Армении

Защита состоится 12-го июня 2013г. в 16:00 часов на заседании специализированного совета 037 “Информатика и вычислительные системы” в Институте проблем информатики и автоматизации НАН РА по адресу: 0014, г. Ереван, ул. П. Севака 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.

Автореферат разослан 11-ого мая 2013г.

Ученый секретарь специализированного совета
доктор физ.мат.наук



А. Г. Сарухян

Աշխատանքի հիմնական բնութագիրը Թեմայի արդիականությունը:

Բնտերների միջոցով առաջարկվող ծառայությունների աճին զուգընթաց հիմնական ցանցերում տեղի է ունեցել թողունակության ծավալների վիթխարի աճ՝ բավարարելու ցանցն սպառողների անընդհատ ավելացող թողունակության «պահանջարկը», պայմանավորված ինտերակտիվ խաղերի, վիդեո կոնֆերանսների, բարձր հստակությամբ հեռուստատեսության (HDTV), P2P վիդեո ըստ պահանջի (VoD) համակարգերի և այլ բարձր արագություն պահանջող ծառայությունների օգտագործմամբ: Մուտքային ցանցին առնչվող ընթացիկ տեխնոլոգիաների շարքում պասիվ օպտիկական ցանցի (Passive Optical Network-PON) տեխնոլոգիաները, ամենայն հավանականությամբ, միակ լուծումն են մուտքային ցանցի համակարգի ամբողջական ծառայության համար, քանի որ օպտիկական մանրաթելը կարող է բավարարել թողունակության աճող պահանջարկը: PON սխեման իր մեջ ներառում է կենտրոնացված օպտիկական գծի տերմինալ (Optical Line Terminal-OLT), օպտիկական սալիտեր: Այն իրար է միացնում փոխկապակցված օպտիկական ցանցի տարրերի խումբը (Optical Network Unit-ONUs) կետ-բազմակետ (P2MP-Point-to-Multipoint) տոպոլոգիայի միջոցով լայնաշերտ փաթեթների առաքման և ցանցի տեխնիկական սպասարկման ու հզորության ծախսի կրճատման համար:

Պասիվ օպտիկական ցանցի նախագծման ուսումնասիրության պատճառներից մեկը հանդիսանում է ալիքի երկարության պահպանմամբ բաշխված մուլտիպլեքսավորման տեխնոլոգիայում (Wavelength Division Multiplexing-WDM) նրա առաջընթացային կարգավիճակը: Լայնաշերտ մուտքային համակարգերի հիմնական տեխնոլոգիան մետաղյա համակարգերից անցում է կատարել օպտիկական համակարգերի: Սպառողները ավելի մեծ թողունակության կարիք ունեն բարձր որակի լայնաշերտ ծառայությունների բնագավառում: Էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցը (Ethernet Passive Optical Network-EPON) հանդիսանում է ամենահեռանկարային և լավագույն լուծումը մուտքային ցանցերի համար, քանի որ այն ունի լայնաշերտ թողունակություն, ցածր գին և բազմակի ծառայություններ: Այսպիսով, այս տեխնոլոգիայում կատարվող ցանկացած բարելավում ունի հսկայական գիտական և պրակտիկ հետաքրքրություն: Ներկայումս ձևավորված լայնաշերտ մուտքի տեխնոլոգիաների շարքում պասիվ օպտիկական ցանցերն ունեն մի շարք լուրջ առավելություններ, որոնցից են բարձր արագությունը, արդյունավետությունը, ցածր գինն ու ճկունությունը:

Ատենախոսությունում պասիվ օպտիկական ցանցը դիտարկվում է որպես զուգամիտող «բազմակետ-կետ» (MP2P) ցանց՝ հոսանքն ի վեր ուղղությամբ: Բազմաթիվ օպտիկական ցանցային տարրեր տվյալները փոխանցում են դեպի կենտրոնական գրասենյակ (Central Office-CO)՝ կիսելով նույն փոխանցման կապուղին: Տվյալների ցանկացած տեսակի բախումներից խուսափելու համար միայն մեկ օպտիկական ցանցային տարր կարող է փոխանցել տվյալներ իր ժամանակային կտրվածքում և լիարժեք օգտագործել ցանցային ներուժը: Գենտրոնական գրասենյակում կապի վերահսկողության կենտրոնացման նպատակով ատենախոսությունն առաջարկում է Էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցերում արդյունավետությունը բարձրացնելու ընդգրկուն և արդյունավետ DBA (Dynamic

Bandwidth Allocation) ալգորիթմ: Այդ նպատակով արտոնված տվյալները փոխանցելու համար անհրաժեշտ է օպտիկական ցանցի ամեն մի տարրի (ONU) համար ապահովել հզոր մեխանիզմ ժամանակային ինտերվալները և հոսանքն ի վեր ուղղությամբ թողունակությունը նշանակելու համար: Ատենախոսությունում տեղ են գտել նաև WDM EPON համակարգերի տարբերակված ծառայությունների բարելավման ուսումնասիրության արդյունքները:

Աշխատանքի նպատակներն են

- նոր սխեմաների մոտեցումների մշակում՝ էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցի և մուլտիմեդիա ծրագրերի համար,
- OPNET սիմուլատորով ստուգված և մոդելավորված նոր DBA սխեմաների առաջարկում, որոնց աշխատունակությունը հաստատվել է փորձնականորեն:

Ուսումնասիրության օբյեկտները

Ուսումնասիրության օբյեկտներն են՝ թողունակության հնարավորությունների օգտագործման բարելավումը EPON համակարգում, որը թույլ կտա.

- ինտերնետային ընկերություններին հնարավորություն տալ ապագայում հաճախորդներին «True» և «Near» VOD ծառայություններ մատուցել առանց երկարատև սպասեցումների,
- ապահովել թողունակության արդյունավետությունը EPON համակարգում,
- ընդլայնել ծառայության որակը (QoS), այդ թվում նոր դինամիկ թողունակության բաշխման սխեմաների առաջարկում, որոնք կբարելավեն ինչպես կապի պաշտպանական, այնպես էլ սնուցող մանրաթելում վերականգնման ֆունկցիաները:

Ուսումնասիրության մեթոդներ

Ուսումնասիրության մեթոդները հիմնված են պասիվ օպտիկական ցանցերի, ինչպես նաև նրանց կառուցման սկզբունքների վրա՝ մասնավորապես ինչպես նախագծել լայնամասշտաբ P2P VoD համակարգեր, նոր DBA ալգորիթմեր և նոր մուլտի OLT EPON համակարգեր:

Արդյունքների գիտական նորույթ

1. Առաջարկվել և զարգացվել է նոր սխեմա, որում օգտագործվել են միմյանց հետ մալուխներով կապված բազմաթիվ OLT-ներ:
2. Համակարգի մոդելը ստեղծվել է OPNET սիմուլատորում և մոդելավորումները իրականացվել են երկու նոր OLT-երի օգտագործմամբ առավելագույնը 32 ONU-ներով:
3. Էթերնետ շրջանակների ստեղծման համար գոյություն ունեցող ավանդական DBA-ի փոխարեն առաջարկվել և ստեղծվել է նոր ալգորիթմ, այսպես կոչված, «Վերահսկվող դինամիկ թողունակության բաշխումը» (Controlled-CDBA):
4. Ստեղծվել է նոր մեխանիզմ հաշտեցման ենթամակարդակի (Reconciliation Sublayer) IEEE 802.3ah չափորոշիչի հիման վրա, որը EPON համակարգի բարելավման հիմքն է:

5. Առաջարկվել է EDDBA (Early Dynamic Bandwidth Allocation) մեխանիզմը, որը PFEBA ալգորիթմի հետ միասին ինտեգրում է արդյունավետ DBA սխեմա՝ բարելավելու ONU-երի անհավասարակշռված տրաֆիկի կանխագուշակման ճշտությունը:
6. Առաջարկվել է մշակվել է նորաստեղծ IPACT_NEW_FRAMES-ը, որը նոր համակարգի հետ միասին գործածում է ավելի մեծ թվով փաթեթներ, քան դա հնարավոր էր իրագործել ավանդական IPACT համակարգերում:

Արդյունքների ներդրում

Ատենախոսությունում ներկայացված արդյունքները հաշվարկվել են OPNET սիմուլատորի միջոցով Թայվանի Յուան Ջե Համալսարանի Գերարագ Օպտիկական Ցանցերի Լաբորատորիայում և կիրառվել են ՎՏԲ-Հայաստան Բանկ ՓԲԸ-ում: Ստորև ներկայացված են մանրամասները.

- Նոր DBA, PFWBA (Prediction-based Fair Wavelength and Bandwidth Allocation) և PFEBA (Prediction-based Fair Excessive Bandwidth Allocation) ալգորիթմերը թույլ են տալիս կառավարել P2P VoD համակարգերի համար AF, EF և BE տրաֆիկ դասակարգերը: Ձեռք բերված արդյունքները կօգնեն EPON համակարգի ավելի շատ փաթեթների կիրառում՝ նույնիսկ համակարգի ծանրաբեռնվածության դեպքում:

Ապրոքացիա

Ատենախոսության արդյունքները զեկուցվել են՝

- Համակարգչային գիտություններ և տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ (Հայաստան, ք. Երևան, 2011թ.), Օպտիկա և Ֆոտոնիկա, (Թայվան, ք. Թայպեյ, 2012թ.), ինչպես նաև ՀՀԳԱԱ ԻԱՊԻ ընդհանուր սեմինարներում:

Հրապարակումներ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակվել են [1-4] ում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունն իր մեջ ներառում է ներածություն, 4 գլուխներ իրենց ամփոփումներով, գրականության ցանկն իր 67 հղումներով և երկու հավելվածներով: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը 109 էջ՝ 9 աղյուսակներով և 73 պատկերներով:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Ներածական մասը նկարագրում է աշխատանքի արդիականությունը, նպատակները, գիտական նորարարությունն ու պրակտիկ կարևորությունը, ինչպես նաև հիմնական տեղեկատվություն է տալիս ստացված արդյունքների գործնական փորձարկումների իրականացման մասին:

Գլուխ 1-ը նվիրված է լայնաշերտ մուտքային ցանցերի վաղ զարգացումների դիտարկմանը: **Գլխում** բերված է լայնաշերտ մուտքային ցանցերում տարբեր տեխնոլոգիաների համառոտ համեմատությունը, ինչպես նաև բնութագրված և մանրամասն

վերլուծված են պասիվ օպտիկական ցանցերի տեխնոլոգիաների կառուցվածքը և ստանդարտները: Համառոտ ներկայացված են P2P VoD համակարգերն ու դրանց կարևորությունը PONs-ում: Վերջապես, ձեռնարկված հետազոտության ակնհայտ ներդրումը էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցերում, WDM EPON-ում, ինչպես նաև սխալի հանդուրժողականությունը EPONs-ում անալիտիկ տեսքով ներկայացված են աստենախոսությունում:

Բաժին 1.1-ում քննարկվում են վաղ զարգացումները PON համակարգերում, ներառյալ PONs-ի ստանդարտներն ու կատեգորիաները՝ սխալի հանդուրժողականության վերլուծության հետ միասին: **Բաժին 1.2-ը** դիտարկում է P2P VoD համակարգերը՝ որպես օպտիկական համակարգերի հաջորդ սերնդի համար ամենակարևոր և ամենագրավիչ ծառայություններից մեկը: **Բաժին 1.3-ը** տալիս է սեղմ նկարագրություն IP արձանագրության ձայնային կապի և ռեալ ժամանակային վիդեոյի մասին: **Բաժին 1.4-ում** ցույց է տրված OPNET մոդելի վրա ցանցային սիմուլացիոն մոդելավորման գրաֆիկական ինտերֆեյսը և համառոտ ներկայացված է արդյունաբերական ստանդարտ սիմուլացիոն փաթեթի կիրառումը՝ OPNET Մոդելերը: OPNET սիմուլատորն օգտագործվում է տիպիկ PON լոգիկ ենթակառուցվածքների մոդելավորման համար: Այնուհետև MAC ալգորիթմի սիմուլացիաների իրականացման միջոցով գնահատում է դրանք քանակապես GPON ձևափոխված տրաֆիկի ներկայությամբ: OPNET-ը աստենախոսության համար ընտրված է եղել որպես սիմուլացիոն միջավայր: EPON-ը նոր տեխնոլոգիա է, որի ստանդարտը դեռևս գտնվում է զարգացման փուլում, և մոդելավորման պատրաստի որևէ մոդուլներ գոյություն չեն ունեցել: Մշակվել և իրագործվել է նոր միջավայր և մոդուլների հավաքածու: Վերջապես, **բաժին 1.5-ում** ուսումնասիրվում է աշխատանքի կառուցվածքը, որը հանդիսանում է դինամիկ թողունակության բաշխման ալգորիթմ և EPONs-ի վրա սխալի հանդուրժողականության կառույց: Սրանք այն երկու կարևոր հարցերն են, որոնք հնարավորություն են տալիս ապագա կազմակերպություններին ապահովել իրենց անհատական ծառայությունները P2P VoD համակարգերում:

Աստենախոսության հիմնական կառուցվածքը բերված է **բաժին 1.6-ում**:

Գլուխ 2-ում նկարագրվում է էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցերում գոյություն ունեցող ներկայիս հիմնական խնդիրները: **Բաժին 2.1-ում** խոսվում է EPON համակարգերի արդյունավետության մասին: Բացի այդ, **ենթաբաժին 2.1.1-ում** քննարկվում է անվտանգության խնդիրները EPON համակարգերում, այդ թվում նաև ծառայությունից անօրինական ճանապարհով օգտվելու և գաղտնալսման խնդիրները: **Բաժին 2.2-ում** տրված են նախնական համաձայնության կառավարման բազմաթիվ հարցերի օրինակներ: Վերջինս OLT-ին թույլ է տալիս բացահայտել հակասությունները և իրազեկել ONU-ներին՝ ուղարկելով «նեղ անցքի» (bottleneck) ազդանշան: MPCP-ն կապված չէ կոնկրետ DBA ալգորիթմի հետ: Դրա փոխարեն այն հանդիսանում է օժանդակող մեխանիզմ, որը նպաստում է EPON համակարգերում թողունակության բաշխման տարբեր սխեմաների իրագործմանը: Բացի այդ, MPCP-ն իր մեջ ներառում է երկու *GATE* և *REPORT* հաղորդագրությունները: **Բաժին 2.2-ը** ցույց է տալիս զարգացումների արդյունքները, որոնք հիմք են հանդիսանում AF, EF և BE տրաֆիկ դասերի մոդուլների ֆունկցիոնալ զարգացման

համար: **Բաժին 2.3-ը** արտահայտում է թողունակության բաշխումը, այդ թվում՝ գրանտ (grant) չափերի սկզբունքները և գրանտ պլանավորման ստանդարտները: **Բաժին 2.4-ը** նկարագրում է անցումը էթերնետ պասիվ օպտիկական ցանցերից դեպի ակտիվ երկարության մասնատման բազմամուտք ցանցերի:

Սահուն անցումը EPON-ից դեպի WDMA, ամենայն հավանականությամբ, հանդիսանում է հեռանկարային լուծում օպտիկական ցանցի հասանելիության տեխնոլոգիայի հաջորդ սերնդի համար:

WDM EPON-ը ապահովում է ինֆորմացիայի հաղորդում երկու ուղղություններով՝

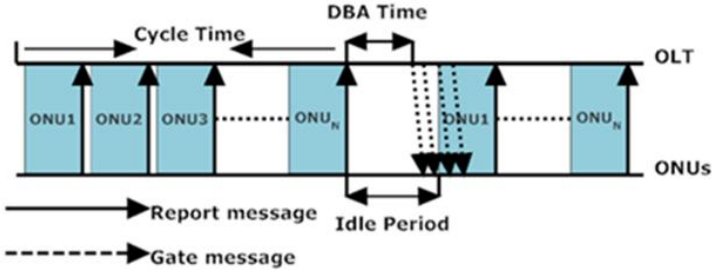
1. Հոսանքն ի վար ուղղությամբ (Downstream direction),
2. Հոսանքն ի վեր ուղղությամբ (Upstream direction):

Բաժին 2.5-ում քննարկում են պասիվ օպտիկական ցանցերում սխալներից պաշտպանության ցանցային կառուցվածքի մոդելները: ITU-T G.983.1 երաշխավորագրում քննարկվում են պասիվ օպտիկական ցանցերի չորս պաշտպանողական կառուցվածքներ: Շրջանային տոպոլոգիաներում (Ring Topologies) պաշտպանողական սխեման ունի շատ մեծ պայմանական շրջան, սառը ռեգերվային հաղորդիչ-ընդունիչ և ընդունիչ մեկ կետի ձախողման պաշտպանության համար: Շրջանային տոպոլոգիաները ունեն որոշակի թերություններ՝ մանրաթելի մեծ ծախս, ազդանշանների թուլացում և ուրիշ խնդիրներ: Այս տեսակի խնդիրների վերանայման և լուծման համար օգտագործել է հիբրիդ փոքր շրջանով երկակի սնուցող մանրաթել: Առաջարկված սխեման նվազագույնի է հասցնում մանրաթելի օգտագործումը և ապահովում է փաթեթի գրոյակական կորուստ՝ տաք ռեգերվային բաղադրիչների օգտագործման շնորհիվ: ONU-ն ունի ավելի բարդ կառուցվածք: 1+1 տիպի պաշտպանողական սխեմաներն ունեն ցածր շուկայական կիրառելիություն, քանի որ բարդ կառուցվածքի պատճառով ունեն բարձր գին: Այդ նպատակով ներկա աշխատանքում առաջարկվում է պաշտպանության ընդհանրացված (համատեղված, բաշխված) սխեմա: EPON-ների բարդացումից խուսապելու համար հարևան PON-երը իրար են միացվում Կամրջակային ONU-ների (Bridge ONUs) միջոցով: Ավելին, տվյալ աշխատանքում առաջարկվող մեթոդը լիազորում և օգնում է P2P VoD համակարգերի կիրառությանը, առավել ևս որ այն ունի ավելի ցածր գին:

Գլուխ 3-ում նկարագրվում և արժեքավորում է դինամիկ թողունակության բաշխման կարևորությունը: Ցանցից անջատ ռեժիմում առաջարկվել են որոշ կատարելագործված DBA սխեմաներ, որոնց նպատակն է բարելավել համակարգի աշխատունակությունն ու հոսքային շերտի թողունակությունը: DBA-ի սովորական գործընթացը կազմված է երկու գուգահեռ, բայց պոտենցյալ իրար հետ փոխկապակցված խնդիրներից՝ գրանտ պլանավորումից և գրանտ մասնատումից: **Բաժին 3.1-ը** և **3.2-ը** նկարագրում են գրանտ պլանավորման և գրանտ մասնատման գծագրումները: Ժամանակակից DBA սխեման ցույց է տրված նկար 1-ում:

Թողունակության բաշխման մեջ առաջնահերթության հարցն առաջ է գալիս այն բանից հետո, երբ բոլոր «REPORT» հաղորդագրությունները հավաքվում են, քանի որ փիգիբեքները (piggybacks) հաղորդագրություններն ուղարկում են տվյալների ժամանակային կտրվածքների մեջ: OLT-ի և ONU-ների միջև ստեղծման ժամանակահատվածն ու DBA-ի

հաշվարկված ժամանակը միասին կազմում են դադարի ժամանակահատված: Հիմնականում համակարգի արտադրողականությունը և թողունակության օգտագործումը կարող են բարելավվել և արդիականացվել վատնվող դադարի ժամանակի կրճատման հաշվին:



Նկար 1. DBA մեխանիզմը

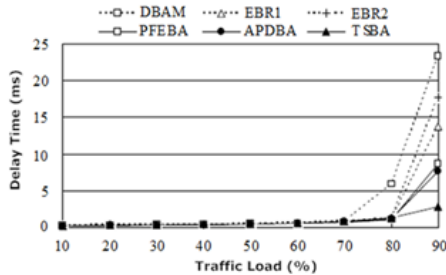
3.1 և 3.2 բաժիններում բացատրվում են Early DBA (EDBA) մեխանիզմի ընթացքը, որը կարող է DBA մեխանիզմի վաղ օպերացիայի միջոցով բարելավել փաթեթի հետաձգման ժամանակը՝ կրճատելով վատնվող ժամանակը, ինչպես նաև կարող է կառավարել ավելի մեծ թվով փաթեթներ: Համաձայն չհաշվեկշռված աստիճանի նվազող կանոնի, EDBA մեխանիզմում թողունակությունը բաժանվում է բոլոր ONU-երի միջև: Այս փաստի հետևում ընկած է այն, որ սպասման ժամանակի ընթացքում ավելի շատ տեղեկատվություն կարող է հասանելի լինել փոփոխական ONU-երի տրաֆիկի համար, որի հիման վրա էլ կանխատեսումը կարող կլինի ավելի ճշգրիտ: Բացի այդ, EDBA մեխանիզմը կարող է դառնալ նորարարություն աղբյուր վաղ VoD համակարգերի բնագավառում: Ներկայումս P2P VoD համակարգերում ավելի շատ թողունակություն է պահանջվում՝ ապահովելու արդյունավետ և ավելի հավաստի VoD-ի հոսք: Այդ իսկ պատճառով անհրաժեշտ է դիտարկել էական գործոնների մի ամբողջական շարք, մասնավորապես թողունակության խնայողությունների համար արդյունավետ հոսքի սխեման, տեղակայված թողունակության ցանցի օպտիմալ օգտագործումը, սերվերի թողունակությունը, օգտագործողի պահպանման ակտիվ օգտագործումը, օգտվողի պահեստի ակտիվ օգտագործումը, հաճախորդի թողունակությունը (disk I/O և ցանց), հաճախորդի պահանջները և ստարտի հետաձգումը¹:

Բաժին 3.3-ում քննարկվում են համակարգի արդյունավետության գնահատականները առաջարկվող մեխանիզմների համար: **Բաժին 3.4-ում** բերված են QoS-ի **care** (խնամքին) վերաբերող մոդելավորման արդյունքները և մատնանշված են այն ապագա խնդիրները, որոնք պետք է լուծվեն QoS համակարգերում: Նույն բաժնում ամբողջությամբ ներկայացվել են մոդելավորման արդյունքները, որոնք հանդիսանում են հիմնական արդյունավետ շարժառիթները QoS **խնամքի** համար: Բացի այդ, ներառված է նաև համեմատությունը վերջ-դեպի-վերջ հետաձգման տեսակի տրաֆիկի ծանրաբեռնվածության և առաջարկվող

¹ C. Joonho, Y. Myungsik, and B. Mukherjee, “Efficient VoD streaming for broadband access networks,” in IEEE Global Telecommunications Conference, 2008, pp. 1-6.

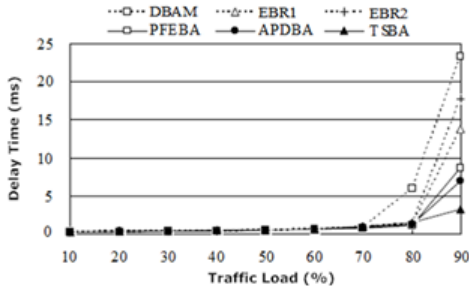
PFEBFA (Prediction-based Fair Excessive Bandwidth Allocation), APDBA (Advanced Prediction-based Dynamic Bandwidth Allocation) և TSBA (Two Stage Bandwidth Allocation) ալգորիթմի, EF (Expedite Forwarding) և BE (Best Effort) վերջնական տրաֆիկ դասերի EBR1 (Excessive Bandwidth Reallocation), EBR2 և DBAM-ի (Dynamic Bandwidth Allocation with Multiple services) հետ:

Առաջարկվող PFEBFA, APDBA և TSBA կանոնները հասնում են միջին վերջ-դեպի-վերջ (End-to-end delay) հետաձգման երեք այլ համակարգերի, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը չափազանց բարձր է: Առաջարկվող APDBA-ն ունի վերջ-դեպի-վերջ հետաձգման ավելի փոքր միջին, քան PFEBFA-ն, որովհետև UDLC-ն (Unstable Degree List Control) APDBA-ում ձեռք է բերում միանգամայն ճիշտ կանխագուշակելու λ -ի օպտիմալ արժեք: Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ ցանկացած տեսակի տրաֆիկում առաջարկվող TSBA-ը գերազանցում է այլ սխեմաներին: TSBA ալգորիթմը հանդիսանում է թողունակության արդյունավետության հիմնական բանալին վիդեո ծրագրերում և կիրառվում է P2P VoD համակարգերում: Նկար 2-ը ցույց է տալիս վերջ-դեպի-վերջ հետաձգման նշանակությունը DBA սխեմաների համար:



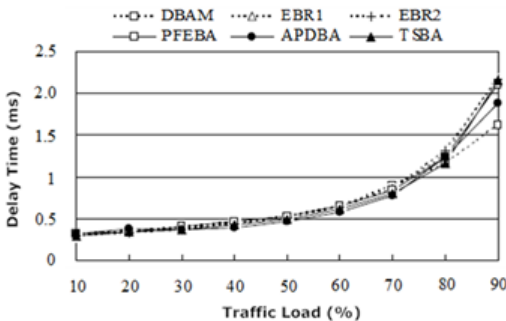
Նկար 2. End-to-end հետաձգման դիագրամը

Առաջարկվող PFEBFA, APDBA և TSBA ալգորիթմերը կարող են ղեկավարել տրաֆիկի տատանումները, մասնավորապես AF (Assured Forwarding) և BE տրաֆիկ դասերը: Բացի այդ, EF տրաֆիկի թողունակության բաշխումը սահմանափակվում է PFEBFA, APDBA և TSBA ալգորիթմների հաշվարկման սխեմայի միջոցով: Վերջինս ցույց է տրված նկար 3-ում: Երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը չափազանց բարձր է, EF տրաֆիկ դասի արդյունքը այնքան էլ լավը չէ, որքան DBAM-ինը: EBR1 և EBR2-ները կարող են կարգավորել թույլատրվածից ավել թողունակությունը, բայց չեն կարող խուսափել ավելորդ թողունակության խնդրից, որը տանում է ավելի երկար վերջ-դեպի-վերջ հետաձգման (նկար 3):



Նկար 3. End-to-end հետաձգումը BE տրաֆիկ դասի համար

Բոլոր ենթադրված սխեմաներից DBAM-ի արդյունքը ամենավատն է ոչ ճշգրիտ հաշվարկման պատճառով, քանի որ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը ունի բարձր տատանումներ: Այնուամենայնիվ DBAM-ն ավելի հարմար է հաստատուն EF տրաֆիկի դասերի համար: ITU-T G.114 երաշխավորագրում պահանջվում է ձայնային տրաֆիկի հետաձգում մուտքային ցանցում (1.5 միլիվայրկյանում): EF տրաֆիկ դասի վերջ-դեպի-վերջ հետաձգումը առաջարկված PFEBA, APDBA և TSBA ալգորիթմներում ցածր է 1.5 միլիվայրկյանից, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը ցածր է 80%-ից և չնչին է 1.5 միլիվայրկյանի համեմատ, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը 90%-ից ավելի է: Նշված ալգորիթմը ցույց է տրված նկար 4-ում:



Նկար 4. End-to-end հետաձգումը EF տրաֆիկ դասի համար

Բաժին 3.5-ում տրված է **գլուխ 3-ի** արդյունքների ամփոփումը:

Գլուխ 4-ում ներկայացված են բազմաթիվ EPON համակարգերում թողունակության դինամիկ բաշխման պահանջներն ու ֆունկցիաները: Յուրաքանչյուր ONU-ի համար հոսանքն ի վար ալիքի բաժանման հնարավոր մեթոդը WDMA-ի կիրառումն է: WDMA PON համակարգերում ամեն ONU ուղարկում է տարբեր ալիքի երկարություն: WDM PON

կառուցվածքը ենթադրում է WDMA, որպեսզի պահեստավորի բազմաթիվ ալիքների երկարություններ երկու ուղղություններով հոսանքն ի վար և հոսանքն ի վեր:

WDMA տեխնոլոգիա ստեղծելու համար պասիվ AWG-ն տեղակայվում է WDM PON կառուցվածքում: Arrayed Waveguide Grating (AWG)-ն օգտագործվում է մեծ թվով ալիքների երկարությունների մուտիպլեքսավորման բաժանման համար և թույլ է տալիս ալիքների ալիքային երկարության տարածական օգտագործումը: OLT-ի կողմից օգտագործվում է բազմաալիք աղբյուր որոշ ONU-ների վրա փոխանցման համար²:

Բաժին 4.1-ը նկարագրում է նախորդ ալիքի երկարությունը և թողունակության բաշխման կառուցվածքները WDM EPON համակարգերում: **Բաժին 4.2-ը** քննարկում է բարելավումները EPON համակարգում՝ ներառելով այդ թվում **4.2.1** և **4.2.2 ենթաբաժինները**: Հաջորդող ենթաբաժիններում նկարագրվում է ատենախոսության հիմնական աշխատանքը՝ առաջարկելով մեխանիզմի արտադրողականության գնահատումը:

EPON համակարգը P2MP ցանցային տոպոլոգիա է, որտեղ ակտիվ են նաև պասիվ օպտիկական սպլիտերները կամ միավորումները: EPON համակարգը հստակ սահմանվում է IEEE 802.3ah ստանդարտի միջոցով և ձևավորվում, այսպես կոչվող MPCP-ի սարքով, որն օգտագործում է հավաստի հաղորդագրություններ և սարքավորումներ: Մուտքը դեպի P2MP տոպոլոգիա կառավարվում է ժամանակաչափերի օգնությամբ: EPON համակարգերում թողունակության արդյունավետությունը և դրա կիրառումը հենված են մի քանի գործոնների վրա, մասնավորապես՝ էնկապտուլացիոն և պլանավորման ծախսերի (հաղորդագրության կառավարում, պաշտպանիչ խումբ, բացահայտում և շրջանակի նկարագրություն):

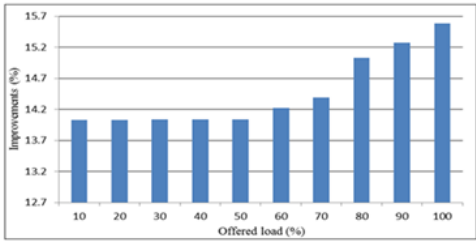
Այս հարցերը մեծ դեր են խաղում EPON համակարգում թողունակության օգտագործման անկման մեջ: **Layer 2-ը** (L2) կապող դեր է խաղում՝ սկան անելով բոլոր ստացված փաթեթների **Source Address** (SA)-ը և **Destination Address** (DA)-ը էթերնետ միջավայրում: Թողունակության արդյունավետության, օգտագործման բարելավման և QoS-ի համար EPON համակարգերում առաջարկվում է նոր Reconciliation Sublayer (RS) շաշտեցման ենթամակարդակ:

Էթերնետ ցանցերը, որտեղ սարքերը կապված են PON-ի միջոցով և իրականացնում են լոգիկ տոպոլոգիական էմուլացիոն (LTE) ֆունկցիաները, կարող են հետևել ամբողջական միջին կամ P2P միջինի օրինակին՝ կախված դրա կառուցվածքից: IEEE 802.3 ստանդարտում գոյություն ունեցող էթերնետ MAC օպերացիայի պահպանման համար, որն որոշում է LTE ֆունկցիան, այն պետք է իր տեղը գտնի RS-ում՝ համաձայն MAC ստանդարտի: Այս ֆունկցիայի խնդիրը հիմնված է էթերնետ շրջանակների հատկորոշման վրա՝ յուրաքանչյուր ONU-ի համար եզակի լոգիկ կապի իդենտիֆիկատորներով (Logical Link Identifiers-LLID):

² K.E. Han, W.H. Yang, D. Datta and Y.C. Kim, “An AWG-based WDM-PON architecture employing WDM/TDMA transmission for upstream traffic with dynamic bandwidth allocation,” Photonic Network Communications, vol. 15, no. 3, June 2008, pp. 191-202.

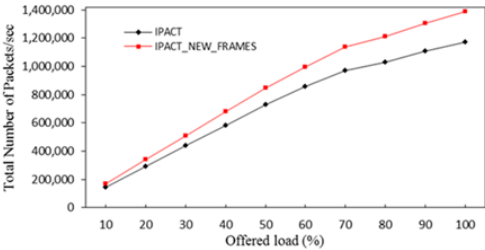
Նոր մեխանիզմը առաջարկում է կրճատել Էթերնետ շրջանակի ծախսը OLT-ի և ONU-երի միջև՝ պահպանելով թողունակությունը սնուցող մանրաթելում: Մինչ ուղարկվելը դեպի OLT RS՝ շրջանակը (frame) ձևափոխվում է: Այն բանից հետո, երբ շրջանակը ստացվում է ONU RS շերտում, այն ձևափոխվում և նորից բերվում է նորմալ Էթերնետ շրջանակի:

Առաջարկվող մեխանիզմը բարելավում է թողունակության օգտագործումը ավելի քան 14%-ով, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը ցածր է 50%-ից: Այն բանից հետո, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը բարձր է, բարելավումն աճում է մինչև 15,5%: Վերացնելով ծախսը OLT RS շերտի և ONU RS շերտի միջև՝ թողունակության արդյունավետությունը մոդերնիզացվում և բարելավվում է: Թողունակության օգտագործման բարելավումը կախված տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունից ցույց է տրված նկար 5-ում:



Նկար 5. Թողունակության օգտագործման բարելավումները

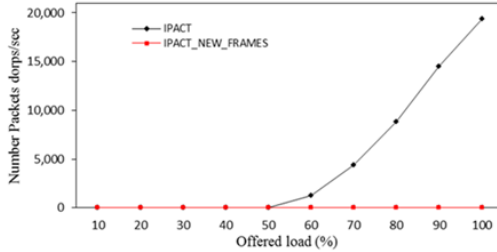
Նկար 6-ում համեմատված են IPACT-ի և առաջարկված մեխանիզմի համար վայրկյանում ուղարկված փաթեթների թվի կախվածությունները տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունից: Մոդելավորման արդյունքը ցույց է տալիս, որ վայրկյանում ուղարկված փաթեթների թիվն ինտենսիվ աճում է: Այն նաև կրճատում է հետաձգման ժամանակը և աջակցում QoS-ի բարելավմանը:



Նկար 6. Ընդհանուր փաթեթների թիվը

Նկար 7-ում ցույց է տրված տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունից կախված փաթեթների ընդհանուր թվի անկումը IPACT-ի և IPACT_NEW_FRAMES-ի միջև: Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ IPACT-ը սկսում է կրճատել փաթեթների թիվը, երբ

տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը անցնում է 50%-ից: Այնուամենայնիվ, առաջարկվող մեխանիզմը կարող է խուսափել փաթեթների նվազեցումից: Դա տեղի է ունենում այն պատճառով, որ յուրաքանչյուր փաթեթի ծախսը սնուցող մանրաթելում նվազում է, և համակարգը վայրկյանում կարողանում է կառավարել ավելի շատ փաթեթներ:



Նկար 7. Ամբողջական փաթեթի անկումը

Բաժին 4.3-ը իր մեջ ներառում է նաև ենթաբաժիններ, որտեղ նկարագրվում է WDM EPON նախագծի հիման վրա սխալի հանդուրժողականության դրույթյան մեջ ստանդարտը և սխալի դրույթունը:

Բաժին 4.4-ում ուսումնասիրվում են DBA-ի նախագծումը և դինամիկ ալիքի երկարությունը: Ճիշտ ալիքի երկարության և թողունակության բաշխման սխեմայի հիման վրա այս ուսումնասիրությունն առաջարկում է նոր մոտեցում, որը պարունակում է PFEBA սխեմայի DBA և EDDBA մեխանիզմներ: Նշված առաջարկը համապատասխանաբար քննարկվել է **բաժին 3.1-ում** և **բաժին 3.2-ում**³: Բացի այդ, այն առաջարկում է նոր մեխանիզմներ EPON համակարգի բարելավման համար հիմնված RS-ում IEEE 802.3ah ստանդարտի վրա, որը ներկայացվել է **բաժին 4.2-ում**:

- Առաջարկվող EDDBA մեխանիզմը DBA սխեմայի նվազ իրագործման միջոցով բարելավում է փաթեթի հետաձգման ժամանակը՝ նվազեցնելով վատնվող ժամանակը;
- DBA մեխանիզմը ընտրում է ալիքի երկարությունը յուրաքանչյուր ONU-ի համար հասանելի ժամանակում՝ կրճատելով հետաձգման միջին ժամանակը;
- Երկար սպասման ժամանակի արդյունքում, կրճատելով ոչ հավաստի կանխագուշակումը, DBA-ը բաժանում է բոլոր ONU-ները երեք խմբերի՝ կախված չհավասարակշռված մակարդակի ցանկից;
- առաջարկվող մեխանիզմները՝ հիմնված IEEE 802.3ah ստանդարտի վրա, բարելավում են թողունակության օգտագործումը ոչ ավել քան 14%-ով, այն դեպքում, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը ցածր է 50%-ից;

³ A.R. Dhaini, C.M. Assi, M. Maier and A. Shami, “ Dynamic wavelength and bandwidth allocation in hybrid TDM/WDM-EPON networks,” IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 25, no. 1, Jan. 2007, pp. 277-286.

- թողունակության արդյունավետությունը բարելավվում և թարմացվում է OLT RS և ONU RS շերտերի միջև ծախսերի վերացման միջոցով;
- մոդելավորման արդյունքը ցույց է տալիս, որ մեկ վայրկյանում ուղարկված որոշ թվով փաթեթներ ծայրաստիճան արագ են աճում, և նվազում է հետաձգման ժամանակը՝ օգնելով բարելավել QoS-ը;
- IPACT-ը սկսում է «նետել» (drop) փաթեթները, երբ տրաֆիկի ծանրաբեռնվածությունը բարձր է 50%-ից: Այնուամենայնիվ, առաջարկվող մեխանիզմի փաթեթների նվազումները կարող են չօգտագործվել և համակարգը մեկ վայրկյանում կարող է կառավարել ավելի շատ փաթեթներ:

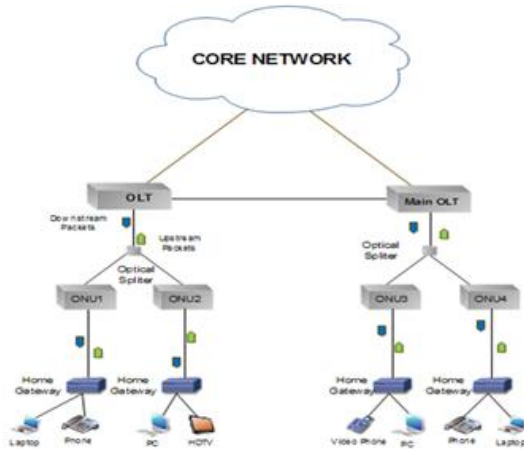
Բաժին 4.5-ում քննարկվում է առաջարկվող PFWBA մեխանիզմի իրագործման համեմատությունը DWBA-ի և WDM IPACT-ի հետ՝ դողացողե (jitter) արտադրողականության, փաթեթի հետաձգման, կորցված թողունակության և փաթեթի կորստի ձեռք բերվող հարաբերության պայմաններում: Տարբեր բուֆերային իրավիճակներում արտադրողականության հաշվարկը ստուգվում և վերջնական տեսքի է բերվում OPNET ցանցի սիմուլացիոն սարքի միջոցով: OPNET-ում սիմուլացիոն ժամանակահատվածը նախատեսում է 15 վայրկյան: Փաթեթի ռազմավարությունը ընտրված է որպես First-In-First-Out (FIFO): **Բաժին 4.6-ն** առաջարկում է նոր կառուցվածք EPON համակարգերում: VoD ծառայությունների բովանդակության մեծ մասը հասանելի է այն հաճախորդներին, որոնց տվյալ պահին հասանելի չեն նշված բովանդակությամբ տեղեկատվությունը, և այն արդեն չի հանդիսանում որպես լուծում: Ինֆորմացիան առաջարկվում է ըստ պահանջի: Կախված օգտագործողի փորձից ցանցի արտադրողականությունը ներգործվում է ինչպես օգտագործող տրաֆիկ պրոֆիլների փոփոխականությունից, այնպես էլ վիդեոսերվերի տեղակայումից: Հաճախորդի մուտքային ցանցից հեռու վիդեոսերվերները և օգտագործողների մեծ խմբի կողմից պահանջվող վիդեոները կհանգեցնեն երկար սպասման հետաձգումների և օգտագործողի համար վատ փորձի, որը կարող է դարձնել այս նոր ծառայությունն անհետաքրքիր:

Ցանցային օպերատորները դիմակայում են հսկայական կենտրոնական տվյալների տեղափոխման տրաֆիկին՝ ընդարձակելով գործող ցանցային ենթակառուցվածքները ժամանակային խիստ սահմանափակումների և QoS-ի պահանջների առկայության պայմաններում⁴: P2P մուլտիմեդիա ծառայության արդյունավետ օժանդակման համար առաջարկվում է նոր սխեմա: Նկար 8-ը ցույց է տալիս առաջարկվող նոր կառուցվածքը երկու OLT-երի հետ՝ միացված հիմնական ցանցին:

Քանի որ սա արդեն ընդունված է միայնակ OLT համակարգում, մի խումբ ONU-ներ կիսում են հոսանքն ի վեր ուղղությամբ թողունակությունը, մինչև միակ OLT-ն օգտագործում է ամբողջական հոսանքն ի վար ուղղությամբ թողունակությունը: Այսպիսով, թողունակության բաշխման ալգորիթմները զարգացվում են միայն ONU-ների միջև՝

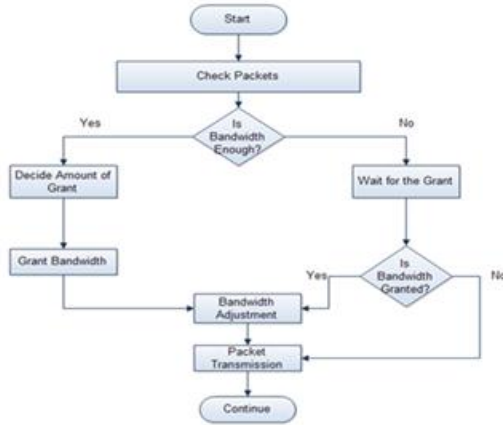
⁴ I. Tomkos, L. Kazovsky, and K.I. Kitayama, “Next-Generation Optical Access Networks: Dynamic Bandwidth Allocation, Resource Use Optimization, and QoS Improvements,” IEEE Network, vol. 26, issue 2, March/April 2012, pp. 4-6.

հոսանքն ի վեր ուղղությամբ թողունակության բաշխման համար: Մուլտի OLT PON կառուցվածքը իրենից ներկայացնում է ավելի բարդ կառույց, քան ներկայիս միակ OLT-ով PON-ինը: Առաջարկվող մուլտի OLT PON կառուցվածքում հոսանքն ի վար ուղղությամբ թողունակությունը բաժանելու համար անհրաժեշտ է ունենալ մի քանի OLT-ներ: Քանի որ առաջարկվող կառուցվածքն արդեն ունի մուլտի OLT-ներ, ապա այս իրավիճակում հոսանքն ի վար ուղղությամբ թողունակության բաշխման սխեման նույնպես դառնում է անհրաժեշտ:



Նկար 8. Նոր մուլտի-OLT-ի կառուցվածքը

Ներկայիս FBA (Fixed Bandwidth Allocation) սխեման պիտանի չէ մի քանի OLT-երի միջև թողունակության ճկուն պահպանման համար: FBA-ն հարմար է միայն այն կառուցվածքների համար, որոնք ունեն միայնակ OLT և մի քանի ONU-ներ: FBA-ն միշտ կապահովի թողունակության ֆիքսված տոկոս, որը նշանակում է ունակության հսկայական վատնում, երբ OLT-երի ստեղծած տրաֆիկը շատ է տարբերվում գնահատված արժեքներից: Այդ նպատակով ատենախոսությունում առաջարկվում է նոր DBA, այսպես կոչվող Վերահսկվող դինամիկ թողունակության բաշխման սխեմա (CDBA)՝ հոսանքն ի վար ուղղությամբ ինֆորմացիայի հաղորդման համար: Այն անվանել ենք CDBA, որովհետև այն երաշխավորում է սահմանված թողունակությունը յուրաքանչյուր OLT-ի համար և մինչև ժամանակ թույլ է տալիս մեկ OLT-ի կողմից չօգտագործված թողունակությունը օգտագործել մյուս OLT-երի կողմից: Այսպիսով, այն կարող է մեծացնել առաջարկվող կառուցվածքի արդյունավետությունը՝ չկորցնելով չօգտագործվող թողունակությունը: Մատակարարման ծավալը այնպես է սահմանափակված, որ յուրաքանչյուր OLT-ում սահմանված թողունակությունը կառավարվում է: Նկար 9-ը ցույց է տալիս CDBA-ի պրոցրիթը:



Նկար 9. CDBA-ի ալգորիթմը

Համակարգի մոդելը ստեղծվում է OPNET սիմուլատորում՝ 2 OLT-ների և 16 կամ 32 ONU-ների հետ: Աղյուսակ 1-ում ներկայացված են համակարգի պարամետրերը, որոնք օգտագործվել են ատենախոսությունում: OLT-ից դեպի ONU հեռավորությունը 10-20 կմ է, հոսանքն ի վար ուղղության և հոսանքն ի վեր ուղղության ուղեցույցերի կարողությունը հավասար է 1 Գբիտ-ի, և յուրաքանչյուր ONU ունի 10 Մբ բուֆերային չափս: Միմուլացիոն տեղափոխման առավելագույն ցիկլային ժամանակը 2 միլիվայրկյան է՝ 5 միկրովայրկյան գվարդ ժամանակով:

Parameter	Value
Number of OLTs in the system	2
Number of ONUs in the system	16 or 32
Downstream/upstream link capacity	1 Gbps
OLT-ONU distance	10-20 km
Buffer size	10 MB
Maximum transmission cycle time	2ms
Guard time	5ps
Computation time of DBA	10ps
Control message length	0.517ps

Աղյուսակ 1. Համակարգի պարամետրերը

Բաժին 4.7-ում բերված է **գլուխ 4-ի** ամփոփումը:

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները

- Էթերնետ շրջանակների ստեղծման համար առաջարկվել և ստեղծվել է նոր ալգորիթմ, այսպես կոչված Վերահսկվող դինամիկ թողունակության բաշխումը [4]:

- Հաշտեցման ենթամակարդակի IEEE 802.3ah չափորոշիչի հիման վրա ստեղծվել է նոր մեխանիզմ, որը EPON համակարգի բարելավման հիմքն է [2]:
- Առաջարկվել և զարգացվել է նոր սխեմա, որում օգտագործվել են միմյանց հետ մալուխներով կապված բազմաթիվ OLT-եր [4]:
- Առաջարկվող EDBA մեխանիզմը PFEBA ալգորիթմի հետ միասին ինտեգրում է արդյունավետ DBA սխեմա՝ բարելավելու ONU-երի անհավասարակշռված տրաֆիկի կանխագուշակման ճշտությունը, ինչպես նաև օգնում է բարելավել P2P VoD ծառայությունների որակը [1 և 3]:
- Նորաստեղծ IPACT_NEW_FRAMES-ի հետ միասին նոր համակարգը կարող է գործածել ավելի մեծ թվով փաթեթներ, քան դա հնարավոր էր իրագործել ավանդական IPACT համակարգերում [2]:
- Համակարգի մոդելը ստեղծվել է OPNET սիմուլատորում, և մոդելավորումները իրականացվել են երկու նոր OLT-երի օգտագործմամբ՝ առավելագույնը 32 ONU-ներով [4]:

Հրատարակված աշխատությունների ցանկ

[1] I. S. Hwang and D. Beybutyan, “Video-on-Demand: State of Art,” CSIT 2011: Proceedings of International Conference in Computer Science and Information Technologies, Yerevan 2011, pp. 111-113.

[2] A. Nikoukar, I. S. Hwang, D. Beybutyan and A.T. Liem, “New Mechanisms Based on IEEE 802.3ah Standard in Reconciliation Sublayer for the Improvement of EPON System”, Proceedings of International Conference “Optics and Photonics Taiwan,” OPTICS 2012, December 6-8, Taiwan 2012, pp. 124.

[3] D. Beybutyan, “Novel DBA Schemes for Improving Bandwidth Utilization and QoS in EPON System,” Transactions of IIAP of NAS of RA, Mathematical Problems of Computer Science, vol. 39, 2013, pp. 13-20.

[4] D. Beybutyan, “Proposing Novel Schema for Downstream Using Multiple OLTs in EPON System,” Transactions of IIAP of NAS of RA, Mathematical Problems of Computer Science, vol. 39, 2013, pp. 40-47.

Д. В. Бейбутян

Разработка пассивных оптических сетей и исследование распределения динамической пропускной способности для мультимедиа услуг

РЕЗЮМЕ

Параллельно с ростом предлагаемых интернет-услуг, в основных сетях произошел огромный рост пропускной способности, обеспечивающий постоянный растущий спрос пользователей в пропускной способности, связанный с использованием интерактивных игр, видео конференций, телевидения с высоким разрешением (HDTV), систем P2P видео по требованию (VoD) и других высокоскоростных сервисов. В настоящее время среди технологий доступа сети, технология пассивных оптических сетей (PON) вероятно является единственным решением для полноценного доступа к сервисам сетевой системы, потому что оптическое волокно может удовлетворить растущий спрос пропускной способности. PON архитектура включает в себе централизованный оптический линейный терминал (OLT), оптический сплиттер и соединяет группу взаимосвязанных элементов оптической сети (ONUs) с помощью P2MP-топографии (Point-to-Multipoint). Такая архитектура позволяет отправлять широкополосные пакеты снижая затраты на обслуживание и потребляемую энергию.

Одной из причин изучения архитектуры пассивных оптических сетей являются их преимущества в технологии спектрального уплотнения каналов (WDM - wavelength-division multiplexing). Основная технология систем широкополосного ввода перешла от металлических систем к оптическим системам. С расширением сетевых услуг пользователи нуждаются в большей пропускной способности в области услуг высокого качества. Ethernet пассивная оптическая сеть (EPON) является лучшим и самым многообещающим решением для широкополосных сетей с высокой пропускной способностью, низкой стоимостью и с большим числом предлагаемых услуг. Поэтому любое улучшение в этой технологии имеет как важное научное, так и большое практическое значение. Среди используемых в настоящее время широкополосных технологий ввода пассивные оптические сети имеют ряд серьезных преимуществ: высокую скорость и эффективность, низкую цену и гибкость, большую дальность. Поэтому использование пассивных оптических сетей фактически превратили проблему “последней мили” в предмет насмешек.

В диссертации пассивные оптические сети рассматриваются как децентрализованные P2P-сети (MP2P) по направления потока. Данные из множества оптических сетевых элементов передаются в центральный офис (CO) разделяя единый канал передачи. Чтобы избежать коллизии данных каждый оптической сетевой элемент может передавать информацию только во время своего временного интервала. Таким образом, для передачи лицензированных данных было необходимо создать мощный механизм регистрации временных интервалов и полосы пропускания для каждого элемента оптической сети. Для исключения коллизии любых данных и полноценного использования возможностей сети, с точки зрения осуществления централизованного контроля коммуникации в центральном офисе, в диссертации предложены новые и эффективные DBA алгоритмы, которые могут повысить эффективность этернет пассивных оптических сетей (EPON). В работе также приведены результаты исследований по улучшению дифференцированных услуг в технологии спектрального уплотнения каналов EPON систем.

Ниже перечисляются основные результаты работы:

- Для создания этернет кольца, разработан и предложен новый алгоритм, так называемое “Контролируемое Динамическое Распределения Пропускной Способности” (CDBA).
- На основе стандарта IEEE 802.3ah в подуровне реконсолидации создан новый механизм, направленный на улучшение EPON систем.
- Предложена и разработана новая сетевая архитектура, в котором используются многочисленные оптические терминалы, соединенные друг с другом с помощью волокон.
- Предложенный EDVA механизм с PFEBVA алгоритмом интегрирует эффективную DBA схему для улучшения точности предсказания несбалансированности трафика элементов оптической сети.
- Новая система с разработанным IPACT_NEW_FRAMES-ом может поддерживать большее число пакетов, чем это было возможно осуществить с помощью традиционных IPACT систем.
- Модель системы был введен в симулятор OPNET и моделирования была осуществлены с использованием двух новых оптических линейных терминалов, максимум с 32 оптическими сетевыми единицами

D. V. Beybutyan

**Design of Passive Optical Networks and Research of Dynamic Bandwidth Allocation for
Multimedia Services
Summary**

With the bog growth of services offered over the Internet, such as interactive games, video conference, high-definition television (HDTV), P2P VoD services and other high speed services, the backbone networks have experienced tremendous growth in bandwidth capacity to meet the ever-increasing bandwidth demand of network users. Related with the current access network technologies, the passive optical network (PON) technologies are expected as one likely solution for the full service access network because the optical fiber can please the increasing bandwidth demand. The PON architecture includes a centralized optical line terminal (OLT), optical splitter and connects a group of associated optical network units (ONUs) over point-to-multipoint (P2MP) topologies for delivering broadband packets and reducing the cost respective for maintenance and power.

One of the reasons for investigating the passive optical network architectures is their advances in wavelength-division multiplexing (WDM) technology. The core technology of broadband access systems had moved from metallic systems to optical systems. Users need more bandwidth for high quality services with the distension of broadband services. Ethernet passive optical network (EPON) is the most promising and the best solution for the access networks with broad bandwidth, low-cost and multiple services. Thus any improvements in this technology are of a great scientific and practical interest. Associated with currently organized broadband access technologies, the passive optical networks (PONs) have many serious advantages such as high rate, low cost, long distance, high efficiency, and flexibility. Therefore, PON becomes the detracting issues in the “last mile” difficulty.

In the thesis the PON is observed as a multipoint-to-point (MP2P) network in the upstream direction. Numerous optical network units (ONUs) transfer the data to the central office (CO) and share the same transmission channel. Only a single ONU may transmit the data in its time slots for avoiding any data collisions. In order for avoiding any data collisions and fully utilizing the network potential in

the sense of centralized communication control in the CO, the thesis proposes inclusive and efficient DBA algorithms for improving the performance in EPONs. For this reason, a strong mechanism is required for assigning time slots and upstream bandwidth for each ONU for transmitting the favored data. Furthermore, this thesis also spreads the research results for improving the differentiated services for WDM EPON systems.

Below are listed the main results obtained in this work:

- For generating Ethernet frames a new algorithm, so-called Controlled Dynamic Bandwidth Allocation, is suggested and developed.
- Based on IEEE 802.3ah standard in Reconciliation Sublayer a new mechanism is created, which is upright for the improvement of EPON systems.
- A new architecture is proposed and developed in which multiple-OLTs, connected to each other with a cable, are used.
- The proposed EDDBA mechanism with the PFEBA algorithm integrates an efficient DBA scheme for improving the prediction accuracy of unbalanced traffic of ONUs and also improves P2P VoD services.
- The new system can handle more packets with the new developed IPACT_NEW_FRAMES than it can be done in the traditional IPACT systems.
- The system model is set up in the OPNET simulator and the simulations have been completed using novel two OLTs with the maximum number of 32 ONUs.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. G. P.', located in the lower right quadrant of the page.