

# ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Նարեկ Լևոնի Նալթակյանի

«Մառախլապատ հաշվարկային միջավայրի կազմակերպման մեթոդների և միջոցների մշակում» թեմայով Ե.13.04 «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

Սույն գիտական աշխատանքը նվիրված է մառախլապատ հաշվարկային համակարգերի կառուցվածքային կազմակերպմանը: Հետազոտության առանցքում ընկած են երեք հիմնախնդիրներ. բազմաշերտ ճարտարապետության մշակում՝ ուղղված խափանումների նկատմամբ կայունության բարձրացմանը, ռեսուրսների բեռնվածության դինամիկ բաշխում և տեղեկատվական հոսքերի հիբրիդային կառավարում: Ատենախոսությունն առանձնանում է խնդրի նկատմամբ համալիր մոտեցմամբ և բարձր գործնական նշանակությամբ:

## 1. Աշխատանքի արդիականություն

Ուսումնասիրության մեջ ընդգծվում է ներկայիս հաշվարկային ճարտարապետություններում առկա լրջագույն խնդիրը. մի կողմից հսկայական արագությամբ աճում է IoT սարքերի գեներացրած տվյալների ծավալը, մյուս կողմից՝ ամպային (Cloud) պահոցներն ունեն օբյեկտիվ սահմանափակումներ՝ կապված ցանցային թողունակության և տվյալների փոխանցման հապաղումների (latency) հետ: Քանի որ մինչև 2030 թվականը IoT սարքերի քանակը կանցնի 39 միլիարդը, ատենախոսը հիմնավորապես ցույց է տալիս, որ սույն կենտրոնական կապուղիների ընդլայնումը հարցի լուծում չէ: Որպես էլք՝ առաջարկվում է ապակենտրոնացված մառախլապատ (Fog) ճարտարապետության և ռեսուրսների բաշխման դինամիկ մոտեցումների կիրառումը, ինչն աշխատանքի թեման դարձնում է արդիական և անհրաժեշտ ոլորտի հետագա զարգացման համար:

Թեև մասնագիտական գրականության մեջ առկա են բազմաթիվ հետազոտություններ, որոնք լուծում են ցանցային հապաղումների, էներգասպառման, խափանումների նկատմամբ կայունության կամ ռեսուրսների բեռնվածության խնդիրները, այս բոլոր գործոնները մեկ միասնական, հավասարակշռված և կիրառելի դինամիկ մոդելի շրջանակներում միավորող մոտեցումները գրեթե բացակայում են: Աշխատանքի կարևորագույն ձեռքբերումներից է այն, որ հեղինակի մշակված ալգորիթմները սահմանափակված չեն զուտ տեսական շրջանակներով. դրանք հաջողությամբ տեղայնացվում են տարասեռ հարթակներում և մառախլապատ հանգույցներում (fog nodes)՝ երաշխավորելով ռեսուրսների օպտիմալացում իրական տեղակայման սցենարներում:

Առանձնահատուկ ուշադրության է արժանի դինամիկ հավասարակշռման (Dynamic Load Balancing) բազմամակարդակ մոդելը, որի միջոցով հեղինակին

հաջողվել է համադրել կենտրոնացված կառավարումը, ապակենտրոնացված համակարգերի կայունությունն ու QoS-ի խիստ չափորոշիչները: Հաշվի առնելով, որ իրական ցանցերում տվյալների ակտիվ շրջանառությունը մշտապես հանգեցնում է խոցելի «թեժ կետերի» ձևավորման՝ առաջարկվող մոդելը լիովին արտացոլում է գործնական խնդիրների լուծման ողջ բարդությունը: Ավելին, քաշային պարամետրերի կիրառման շնորհիվ ալգորիթմը ձեռք է բերել անհրաժեշտ ձկունություն՝ ունակ լինելով ինքնուրույն հարմարվել ցանցային տարբեր սցենարներին:

Աշխատանքի շրջանակներում մշակվել է մառախլապատ հանգույցների համակարգման մեթոդ, որը հենվում է ֆեդերատիվ բազմակլաստեր ճարտարապետության վրա: Այս մոտեցումն աչքի է ընկնում ոչ միայն իր տեխնիկական առավելություններով, այլև ռազմավարական հեռատեսությամբ: Ատենախոսությունում վերլուծված ցուցանիշները հիմնավորում են, որ կառավարման միակենտրոն մոդելի (SPOF) բացառումն ու անցումը դեպի ապակենտրոն համակարգ էականորեն բարելավում են և՛ ցանցի խափանումների նկատմամբ կայունությունը, և՛ գործառնական պրոցեսների արդյունավետությունը:

Ուշադրության է արժանի նաև բեռնվածության բաշխման հիբրիդային մոտեցումը: Ներկայումս ամպային (Cloud) և եզրային (Edge/Fog) համակարգերի ինտեգրման հարցերը մասնագիտական շրջանակներում ակտիվ բանավեճերի առարկա են, ուստի ատենախոսի կողմից հիբրիդային մոդելի ընտրությունը արդարացված է: Հատկանշական է, որ հեղինակը չի սահմանափակվել ապակենտրոնացման գաղափարի ընդհանրական հոչակմամբ. փոխարենը նա հստակ սահմանել է այն հաստակ կոնֆիգուրացիաներն ու տվյալների ծավալները, որոնց պարագայում չձանրաբեռնված (պարապուրդի մեջ գտնվող) հարևան կլաստերների ռեսուրսների ներգրավումը դառնում է նպատակահարմար և հիմնավորված:

Հետազոտության շրջանակներում ցուցադրված է դինամիկ երթուղավորման և ռեսուրսների բաշխման ալգորիթմների պրակտիկ կիրառությունը սահմանափակ հնարավորություններով օժտված մառախլապատ (Fog) միջավայրերում: Ատենախոսի մշակած լուծումը դուրս է գալիս զուտ ինժեներական իրագործման շրջանակներից. այն ժամանակակից բազմաշերտ ճարտարապետությունների հաջողված գործնական իմպլեմենտացիա է: Ինչպես հիմնավորում է հեղինակը, նման բարձր մակարդակի խափանումների նկատմամբ կայունություն և հապաղումների նվազեցում նախկինում այս ծավալով չեն ապացուցվել գործնական պայմաններում:

## **2. Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը**

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացություններից և օգտագործված գրականության ցանկից: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը 117 էջ է՝ ներառելով բոլոր աղյուսակները, գծապատկերներն ու նկարները:

Ատենախոսության ներածական հատվածում հանգամանալից փաստարկված է ընտրված թեմայի արդիականությունը՝ Իրերի համացանցի (IoT) և մառախլապատ հաշվարկների տեխնոլոգիաների էվոլյուցիայի համատեքստում: Բաժնում հստակորեն սահմանված են աշխատանքի նպատակակետերն ու առաջադրված հիմնախնդիրները, արձանագրված է հետազոտության գիտական նորույթը, ինչպես նաև պարզաբանված են պաշտպանության հանձնվող հիմնարար դրույթներն ու ստացված լուծումների գործնական արժեքը:

Առաջին գլխում իրականացված է մառախլապատ հաշվողական համակարգերի արդի վիճակի, գործող ճարտարապետական մոտեցումների և ոլորտային հիմնախնդիրների համապարփակ վերլուծություն: Ատենախոսության այս բաժնում բացահայտված են դասական կենտրոնացված (եռաշերտ) ցանցերի թույլ կողմերն ու սահմանափակումները գերբեռնված ռեժիմներում աշխատելիս: Դրա հիման վրա գիտականորեն փաստարկվում է նոր՝ ապակենտրոնացված և հարմարվողական (ադապտիվ) ճարտարապետական մոդելների նախագծման խիստ անհրաժեշտությունը:

Երկրորդ գլխում առաջարկվում և մանրամասն նկարագրվում է մառախլապատ հաշվարկների կազմակերպման նորարարական քառաշերտ հիերարխիկ մոդել, որն ընդգրկում է IoT, կլաստերային, տարածաշրջանային և զլոբալ մակարդակները: Մշակված ճարտարապետությունը երաշխավորում է շերտերի միջև արդյունավետ հաղորդակցություն և հանգույցների դինամիկ կլաստերավորում: Adaptive Polling ալգորիթմի և Raft կոնսենսուսի մեխանիզմի ներդրման շնորհիվ՝ համակարգը հաջողությամբ չեզոքացնում է խափանման եզակի կետի (SPOF) առաջացման վտանգը:

Երրորդ գլխում ներկայացված են ռեսուրսների ճկուն հատկացման և ցանցային բեռնվածության հավասարակշռման մի շարք փոխկապակցված մոտեցումներ: Այս մեթոդների համալիր կիրառումն ապահովում է հանգույցների միգրացիայի և ռեսուրսների ավտոմատացված կառավարման խնդիրների արդյունավետ լուծումը: Միաժամանակ, էներգաարդյունավետության բարձրացման և կրիտիկական իրավիճակներում տվյալների կորուստը կանխելու նպատակով՝ աշխատանքում մշակվել են հանգույցների պասիվացման և ակտիվացման հատուկ ադապտիվ ալգորիթմներ:

Չորրորդ գլուխը նվիրված է ատենախոսության մեջ առաջ քաշված մեթոդների և ճարտարապետական մոդելների փորձարարական հիմնավորմանը: iFogSim2 սիմուլյացիոն միջավայրում իրականացված համեմատական վերլուծությունը դասական լուծումների հետ արձանագրել է բարձր արդյունավետություն: Մասնավորապես, փորձարկումները հաստատել են, որ գերբեռնվածության ռեժիմներում նոր նախագծված ճարտարապետությունը նվազեցնում է ցանցային հապաղումները շուրջ 45.8%-ով՝ զուգահեռաբար երաշխավորելով ռեսուրսների խորքային օպտիմալացում:

### 3. Գիտական ներդրումը

Որպես առաջին գիտական նորույթ՝ աշխատանքում նախագծվել է հաշվարկների կազմակերպման նոր հիերարխիկ համակարգ՝ բաղկացած չորս հիմնական շերտերից (Իրերի համացանց, կլաստեր, տարածաշրջան և գլոբալ): Ի տարբերություն կենտրոնացված կառավարում ունեցող գործող համակարգերի՝ այս մոդելն ունակ է պահպանել կայունությունն անգամ առանձին հատվածների շարքից դուրս գալու պարագայում: Համակարգային մոնիթորինգն ապահովելու և SPOF խոցելիությունը չեզոքացնելու համար ճարտարապետության հիմքում դրվել են Raft կոնսենսուսի, Phi կուտակային հայտնաբերման ու վերահարմարվող (Adaptive Polling) մեթոդները: Ինչպես վկայում են սիմուլյացիոն փորձարկումները, նման համադրությունը լիովին արդարացված է, քանի որ ապահովում է շերտերի ինքնավարությունն ու պահպանում համակարգի կենսունակությունը մասնակի վթարների ժամանակ:

Աշխատանքի երկրորդ գիտական արժեքը մառախլապատ միջավայրերի համար ստեղծված դինամիկ հավասարակշռման մեթոդն է: Այս լուծումը հրաժարվում է ստատիկ բաշխման խոցելի մոտեցումներից՝ ակտիվորեն շահագործելով պակաս ծանրաբեռնված հանգույցները և երաշխավորելով ռեսուրսների խելամիտ սպառում: Հատկանշական է համակարգի վիճակի գնահատման նոր ինդեքսի ներդրումը, որն իր մեջ խտացնում է ինչպես CPU-ի, հիշողության և հերթի զբաղվածությունը, այնպես էլ հարցումների արտաքին պահանջարկը: iFogSim2 ծրագրով իրականացված վերլուծությունները հաստատում են, որ նոր մոդելը գերբեռնված իրավիճակներում կրճատում է հապաղումները 67.8%-ով, իսկ ծայրահեղ կրիտիկական պահերին՝ 45.8%-ով: Միաժամանակ, հանգույցների ադապտիվ միացման ու անջատման ֆունկցիոնալի շնորհիվ հնարավոր է դառնում հասնել մինչև 41.8% էներգախնայողության:

Հետազոտության երրորդ նորույթը IoT շերտում ստեղծվող տվյալների ագրեգացիայի և ամպային տիրույթ արտահանման նոր մոտեցումն է, որը միտված է ռեսուրսների օպտիմալացմանն ու տվյալների կորստի նվազեցմանը: Առաջարկվող լուծումը հիմնված է հիբրիդային հաղորդակարգային մոդելի վրա (օրինակ՝ CoAP/UDP → MQTT/TCP), ինչը ենթադրում է տվյալների նախնական փոխանցում մառախլապատ կլաստերին, ապա՝ ավելի կայուն և հուսալի կապով դեպի ամպ: Ինչպես վկայում են փորձարկումները, ցանցի բարձր խցանումների պարագայում այս հիբրիդային ռազմավարությունը կրճատում է փաթեթների կորուստը 25.2%-ով՝ գերազանցելով ամպի հետ ուղիղ (UDP) հաղորդակցման ավանդական մեթոդին:

### 4. Գործնական արժեքը

Մշակված ալգորիթմների կիրառական արժեքը հիմնավորվում է դրանց հաջող ներդրման ակտերով. «ԴատաԱրտ.ԱՄ» ՍՊԸ-ում՝ բարձր բեռնվածության պայմաններում ռեսուրսների օպտիմալացման, իսկ «Դատալարգ» ՍՊԸ-ում՝ տվիչների ինֆորմացիայի անխափան հավաքագրման ուղղություններով: Այս լուծումները խիստ պահանջված են նաև առողջապահության, արդյունաբերության

և «խելացի քաղաք» նախագծերում: Տնտեսական տեսանկյունից համակարգի արդյունավետությունն ապացուցվում է 41.8% էներգախնայողությամբ, ինչն ապահովվում է հանգույցների ադապտիվ կառավարման հաշվին: Միննույն ժամանակ, առաջարկվող քառաշերտ մոդելն ու հիբրիդային պրոտոկոլները նվազագույնի են հասցնում տվյալների կորուստն ու ապահովում տասնյակ հազարավոր IoT սարքերի սպասարկում, ինչը բազմապատկում է ցանցի աշխատանքի ընդհանուր արդյունավետությունը:

## 5. Հրապարակումներ

Ատենախոսն ունի հրատարակված 6 գիտական աշխատություն, ընդ որում՝ հրատարակությունների ցանկն ընդգրկում է ինչպես հայաստանյան, այնպես էլ ճանաչված միջազգային հարթակներ. KMIS 2025 կոնֆերանսը, «Programming and Computer Software» ամսագիրը, ACDSA 2026 կոնֆերանսը, IEEE EWDTs 2025 սիմպոզիումը, CSIT 2025 կոնֆերանսը: Հիմնական արդյունքների հրապարակումն այս հեղինակավոր հարթակներում ապահովում է միջազգային գիտական հանրության կողմից վերանայված և ճանաչված ներդրում:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքները և սեղմագիրը լիովին արտացոլում են ատենախոսության հիմնական բովանդակությունն ու արդյունքները:

## 7. Դիտողություններ

1. Աշխատանքում օգտագործվող «ակտիվ» և «պասիվ» հանգույցների կառավարման մեխանիզմները հետաքրքիր են, սակայն բավարար չափով չեն ուսումնասիրվել դրանց ակտիվացման/պասիվացման որոշման շեմերի ընտրության սկզբունքները: Ցանկալի կլիներ ներկայացնել շեմերի ընտրության օպտիմալացման մոտեցումներ:

2. Որոշ բանաձևերում օգտագործված գործակիցները օգտագործված են առանց բավարար բացատրության, ինչը դժվարեցնում է նյութի ընկալումը:

## 8. Եզրակացություն

Սույն աշխատանքն աչքի է ընկնում իր ամբողջականությամբ և հստակ կառուցվածքով. այն ներկայացնում է մառախլապատ ցանցերի կազմակերպման համալիր մոտեցում: Ատենախոսության մեջ համակարգի վիճակի ինդեքսը կիրառվում է որպես դինամիկ հավասարակշռման մաթեմատիկական հիմք, իսկ բազմաշերտ ճարտարապետությունը թելադրում է հիբրիդային փոխանցման ռազմավարությունը: Բոլոր գլուխները սերտորեն փոխկապակցված են՝ ապահովելով հետազոտության անթերի միասնականությունը: Կարևորագույն ձեռքբերումն այն է, որ հեղինակը հրաժարվել է ստանդարտ «ամպային-կենտրոնացված» կամ «եզրային-ստատիկ» մոդելներից՝ նախագծելով ռեսուրսների կառավարման այնպիսի փոխկապակցված համակարգ, որտեղ մաթեմատիկական հաշվարկները, ճարտարապետական լուծումներն ու դինամիկ ալգորիթմները սինխրոնացված են որպես մեկ ընդհանուր մեխանիզմ:

Հաշվի առնելով աշխատանքի գիտական նորույթը, տեսական և փորձարարական արդյունքների հիմնավորվածությունը, արդյունքների գործնական ներդրումը և հրապարակումների որակը, գտնում եմ, որ Նարեկ Լևոնի Նալբախյանի ատենախոսությունը լիովին բավարարում է Ե.13.04 «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակը արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

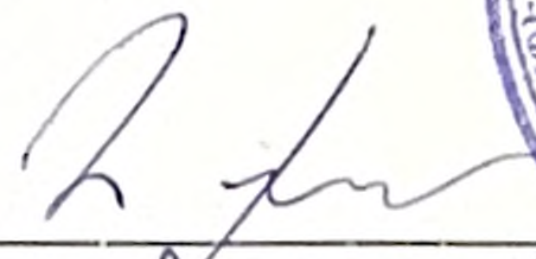
Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

տ.գ.թ., ղոցննտ

20-05 2026թ.

Լ.Հարությունյան

Գիտական քարտուղար՝

  
20.05 2026թ.

