

«Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ տնօրեն
Քաջիկ Էդուարդի Լազարյան



ԿԱՐԾԻՔ ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ

Վահագն Սուրենի Պողոսյանի

«Ճշգրիտ լուծվող անհավասարակշիռ ցանցային մոդելներ, ալգորիթմներ և
ինֆորմացիայի օպտիմալ տարածման սխեմաներ ինքնակազմակերպվող
բազմաագենտային համակարգերում» թեմայով Ե.13.05

«Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի
համալիրներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների
դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման
գիտական զեկույցի ձևով ատենախոսության վերաբերյալ

Թեմայի արդիականությունը և աշխատանքի գիտական նորույթը

Վահագն Պողոսյանի ատենախոսությունն ընդգրկում է ճշգրիտ լուծվող
անհավասարակշիռ ցանցային մոդելների հետազոտման և ինքնակազմակերպվող
բազմաագենտային համակարգերի կառուցման խնդիրների լայն շրջանակ:
Հետազոտության առանցքային ուղղություններն են ինքնակազմակերպված
կրիտիկականությունը, քվադրատահական դեգերումները, ցանցերում
ինֆորմացիայի օպտիմալ ու կապի խափանումների նկատմամբ կայուն տարածումը և
այդ մեխանիզմների կիրառումն ինքնավար ԱԹՍ-ների ապակենտրոնացված
երամներում:

Հետազոտվել են Փոթսի մոդելը, դայմերների խիտ դասավորության մոդելները,
ջնջված ցիկլերով դեգերումը, լրիվ ասիմետրիկ պարզ բացառման պրոցեսը,
ավագահատիկների արելյան մոդելը, rotor-router մոդելը և դրանց հետ կապված
դեգերման մոդելներ: Ստացվել են ճշգրիտ արդյունքներ դիտարկելի մեծությունների և
նրանց միջև կորելյացիոն ֆունկցիաների վերաբերյալ: Մշակվել են մաթեմատիկական
հաշվարկների և հետազոտման նոր մեթոդներ, որոնք արմատապես ընդլայնել են
նման մոդելների հետազոտման հնարավորությունները:

Գերհամակարգիչների վրա բարձր արդյունավետությամբ հաշվարկների, թվային
մոդելավորում իրականացնելու համար մշակված զուգահեռ ալգորիթմների և
մեծածավալ թվային սիմուլյացիաների կիրառմամբ ուսումնասիրվել են այնպիսի
համակարգեր, որոնց համար ճշգրիտ անալիտիկ լուծումները հայտնի չէին կամ

գործնականում անհասանելի էին: Ստացված թվային արդյունքներն օգտագործվել են ոչ միայն ստացված անալիտիկ արդյունքների ստուգման և դրանց կիրառելիության սահմանների գնահատման, այլև նոր օրինաչափությունների բացահայտման և նոր հիպոթեզների ձևակերպման համար:

Աշխատանքում ընդգրկված ճշգրիտ անալիտիկ և թվային մեթոդների համադրությունն իրականացվել է ժամանակակից միջոցիսցիպլինար հետազոտությունների շրջանակներում (տեսական ֆիզիկա, կիրառական մաթեմատիկա և համակարգչային գիտություն):

Հեղինակի կողմից ստացվել են բազմաթիվ նոր արդյունքներ վիճակագրական մեխանիկայի մի շարք ճշգրիտ լուծվող ցանցային մոդելների մաթեմատիկական հատկությունների, ինքնակազմակերպված կրիտիկականության, քվադրատահական դեգերման և ինֆորմացիայի տարածման պրոցեսների օրինաչափությունների վերաբերյալ: Ստացված տեսական արդյունքները հիմք են հանդիսացել որպես գիտական նորույթ հանդիսացող բազմաազենտային համակարգ ներկայացվող ինքնավար անօդաչու թռչող սարքերի (ԱԹՍ) ապակենտրոնացված ինքնակազմակերպվող երամի կառավարման և տարածքի մոլտիէլեկտրոնային ծածկույթի ալգորիթմների ու ծրագրային հարթակների մշակման և իրականացման համար:

Թեմայի արդիականությունը, գիտական նորույթը և ստացված հիմնական արդյունքները շարադրված են ատենախոսության առաջին և երկրորդ բաժիններում: Ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը և դրանց ներդրումները նկարագրված են երրորդ բաժնում, որտեղ ներկայացված են հետազոտությունների շրջանակներում ստեղծված թվային հաշվարկների ու մոդելավորման ծրագրային փաթեթները, ինչպես նաև ինքնավար ԱԹՍ-ների ինքնակազմակերպվող ապակենտրոնացված երամների համար մշակված ալգորիթմներն ու ծրագրային ապահովման ամպային ցանցային հարթակները:

Տեսական արդյունքները լրացվել են ինժեներական լուծումներով, որոնք ուղղված են ինքնակազմակերպվող բազմաազենտային համակարգերի նախագծմանը: Մշակվել են սիմուլյացիոն ալգորիթմներ և ծրագրային հարթակներ, որոնք իրականացվել են բազմաօգտատեր միջավայրերում՝ ամպային տեխնոլոգիաների կիրառմամբ: Սա հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրել խոշորամասշտաբ համակարգերի վարքը և իրականացնել համատեղ փորձարկումներ:

Առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվել ԱԹՍ-ների երամների համակարգմանը: Այստեղ շարժման և հաղորդակցության խնդիրները լուծվում են rotor-router դետերմինիստական մեխանիզմի և gossip սխեմաների համադրմամբ, ինչն ապահովում է ապակենտրոն կառավարում, առաջադրանքների հավասարակշռված բաշխում և վթարակայուն ինֆորմացիոն փոխանակում:

Զարգացվել է բամբասանքների տարածման (gossip/broadcast) սխեմաների տեսությունը և ստացվել են հաղորդակցման հիմնական բնութագրիչների համար վերին գնահատականներ: Բնութագրիչների նվազագույն արժեքների համար

առաջադրվել են հիպոթեզներ, որոնք ստուգվել են թվային մեթոդներով, իսկ մի շարք դեպքերում ներկայացվել են անալիտիկ ապացույցներ:

Ստացված տեսական արդյունքները վերածվել են տարածքի ծածկման, առաջադրանքների բաշխման, դրոնների միջև ինֆորմացիայի փոխանակման և առաքելության կատարման վերահսկման ալգորիթմների ու ծրագրաապարատային լուծումների: Ատենախոսության կիրառական արդյունքների շարքում առանձնանում են ԱԹՍ-ների փորձարարական երամի կառուցումը, սարքերի միջև կայուն կապի ապահովումը, կապի խափանումների պայմաններում համակարգի վերակազմաձևումը:

ԱԹՍ-ների երամային համակարգերի ստեղծումն արդիական գիտատեխնիկական խնդիր է: Առանձին ԱԹՍ-ի հնարավորությունները սահմանափակվում են նրա թռիչքային տևողությամբ, օգտակար բեռով, սենսորների տեսադաշտով, հաշվարկային ռեսուրսներով և կապի հասանելիությամբ: Մի քանի փոխկապակցված ԱԹՍ-ներից կազմված երամը հնարավորություն է տալիս մեծացնել դիտարկվող տարածքը, զուգահեռացնել ու վերաբաշխել առաջադրանքների կատարումը, ինչպես նաև առանձին սարքերի կամ նրանց միջև կապերի խափանման դեպքում շարունակել ընդհանուր առաքելությունը: Սակայն այդ առավելությունները հնարավոր է իրացնել միայն այն դեպքում, երբ երամի անդամների միջև ապահովվում են համաձայնեցված վարք, տեղեկատվության հուսալի փոխանակում, դիրքային փոխադարձ իրազեկվածություն և փոփոխվող պայմաններին հարմարվելու կարողություն: Այդ խնդիրների նորովի լուծումները տրված են հեղինակի մի շարք գիտական հոդվածներում:

Ատենախոսությունում առաջարկված մոտեցման հիմքում ընկած են rotor-router մոդելը և gossip/broadcast տիպի ինֆորմացիոն փոխանակման սխեմաները: Rotor-router մոդելի կիրառմամբ առաքելության տարածքը ներկայացվում է որպես վերջավոր ուժեղ կապակցված գրաֆ, որի գագաթները համապատասխանում են թույլատրելի կանգառի դիրքերին, իսկ կողերը՝ հնարավոր տեղաշարժերին: Գրաֆի յուրաքանչյուր գագաթում սահմանված ռոտորային վիճակը որոշում է ԱԹՍ-ի հաջորդ անցումը: Այդ կանոնը դետերմինիստական է, վերարտադրելի և չի պահանջում յուրաքանչյուր քայլի համար կենտրոնական կառավարման հանգույցից նոր հրահանգի ստացում:

Կարևոր կիրառական նշանակություն ունի rotor-router դինամիկայի աբելյան հատկությունը: Երամի անդամները կարող են շարժվել տարբեր արագություններով, ժամանակավորապես կորցնել կապը, ուշանալ կամ դադարեցնել աշխատանքը: Սակայն պատշաճ սկզբնական պայմանների դեպքում նրանց գործողությունների ընդհանուր արդյունքը կախված չէ առանձին քայլերի կատարման հերթականությունից: Սա թույլ է տալիս մեկ սարքի համար նախատեսված էլեկտրոնային ծածկման գործընթացը բաժանել մի քանի ԱԹՍ-ների միջև և իրականացնել մոլտիէլեկտրոնային ծածկում՝ առանց յուրաքանչյուր քայլից հետո ամբողջ երամի գլոբալ համաժամեցման: Մեխանիզմը նաև հնարավորություն է տալիս պահպանել

առաքելության կատարելիությունն ԱԹՍ-ների կազմի փոփոխության դեպքում: Եթե որևէ ԱԹՍ խափանվում է կամ ստիպված է լքել երամը, նրա չկատարված առաջադրանքներն ավտոմատ փոխանցվում են մյուս սարքերին: Եթե երամին միանում է լրացուցիչ ԱԹՍ, այն կարող է աշխատանքը սկսել դեռևս ամբողջ պտույտ չկատարած ռոտոր պարունակող եզրային գազաթից կամ տարածքը լքած ԱԹՍ-ի վերջին դիրքից: Այդ կերպ երամը ստանում է դինամիկ վերակազմաձևման և առաջադրանքների վերաբաշխման հնարավորություն:

Ստեղծվել է ԱԹՍ-ների երամի նախագծման, սիմուլյացիայի, կառավարման և մշտադիտարկման բազմաօգտատեր ծրագրային հարթակ: Համակարգը ներառում է առաքելության տարածքի ընտրության, գրաֆային մոդելի կառուցման, խոչընդոտների նշման, ԱԹՍ-ների սկզբնական դիրքերի և դերերի որոշման, պլանի նախնական սիմուլյացիայի, հեռաչափական տվյալների ընդունման և իրական կատարման վերահսկման միջոցներ:

Ատենախոսությունում առանձին ուշադրություն է դարձված երամի անդամների միջև կապի կազմակերպմանը: Ինֆորմացիայի փոխանակման տեսական հիմքը կազմում են օպտիմալ և վթարակայուն gossip սխեմաները: Այդ սխեմաներում կապերի ժամանակային հերթականությունը և փոխանակման ուղիներն ընտրվում են այնպես, որ վերջնական փուլում յուրաքանչյուր հանգույց տիրապետի ամբողջ անհրաժեշտ տեղեկատվությանը: Վթարակայուն տարբերակում պահանջվում է պահպանել լրիվ ինֆորմացիոն փոխանակումը նաև որոշակի թվով կապերի կամ հաղորդման գործողությունների ձախողման դեպքում: Մշակված լոկալ փոխատեղման մեթոդի կիրառման արդյունքում Քնյոդելի գրաֆների հիման վրա ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս կառուցել այնպիսի ժամանակային հաղորդակցական սխեմաներ, որոնցում առանձին կապերի խափանումը չի հանգեցնում երամի տեղեկատվական մասնատման:

Տրամաբանական սխեմաների ֆիզիկական իրականացման նպատակով օգտագործվել է Mesh LoRa կապը, ուրի տեխնոլոգիան բնութագրվում է բարձր ընդունման զգայունությամբ, համեմատաբար փոքր էներգասպառմամբ և ենթա-GHz հաճախականային տիրույթի տարածման բարենպաստ հատկություններով: Այն հարմար է ԱԹՍ-ների միջև ծառայողական տվյալների՝ դիրքի, վիճակի, մարտկոցի մակարդակի, առաջադրանքի կատարման ընթացքի, համաժամեցման ազդանշանների, խափանման ծանուցումների և կառավարման կարճ հաղորդագրությունների փոխանցման համար: Երամի մասնակիցների միջև մեծ ծավալի ինֆորմացիայի(նկարահանված պատկերների) փոխանակման նպատակով ներբեռնված է մշակված Gossip վթարակայուն նոր ալգորիթմների ծրագրային իրականացված ենթահամակարգ:

Ատենախոսությունում ներկայացված լուծումները ստացել են նաև փորձարարական զարգացում: Սկզբնական փուլում ձևավորվել է Holybro X500 հարթակի վրա հիմնված չորս ԱԹՍ-ներից կազմված փորձարարական երամ:

Հետագայում նախագծվել և հավաքվել է տասը քվադրոկոպտերներից կազմված համակարգ: Ներբեռնված ծրագրային համակարգի աշխատանքը իրականացնում է ԱԹՍ-ներում տեղադրված Raspberry Pi միասալիկ համակարգիչը: Համակարգի աշխատանքի արդյունքները զեկուցվել են մի շարք միջազգային կոնֆերանսներում , հրատարակվել են հոդվածներ: Ներկայացված են ԱԹՍ-ների թռիչքային տևողության և օգտակար բեռի բնութագրերը, տարածքի զննման, մշտադիտարկման, պատկերային տվյալների հավաքման և բեռների տեղափոխման հնարավորությունները: Երրորդ փուլում Կրետ-1 մոդելի չորս ԱԹՍ-ների վրա տեղադրվել է արբանյակային տեղորոշման ազդանշանի պաշտպանված ընդունիչ մոդուլ: Դաշտային պայմաններում կատարվել են թռիչքներ արբանյակային ազդանշանի միտումնավոր ակտիվ խլացման պայմաններում: Տեսողական նավիգացիան կազմակերպվել է Կրետ-1 ԱԹՍ-ի վրա տեղադրված ցածր լուծողականությամբ տեսախցիկի և Raspberry Pi փոքր չափսերի համակարգչի միջոցով:

Ատենախոսության գիտական նորույթն ու կիրառական արժեքը պայմանավորված են հետևյալ հիմնական արդյունքներով.

- մշակվել են ինքնակազմակերպվող ԱԹՍ-ների երամի տարածքի դետերմինիստական և մուլտիէլեյրյան ծածկման ալգորիթմներ,

- առաջարկվել են երամի կազմի փոփոխության և առանձին ԱԹՍ-ների խափանման դեպքում առաջադրանքների վերաբաշխման մեխանիզմներ,

- մշակվել են լրիվ ինֆորմացիոն փոխանակման օպտիմալ և վթարակայուն gossip սխեմաներ,

- ստեղծվել է ԱԹՍ-ների առաքելությունների նախագծման, սիմուլյացիայի, իրական ժամանակի վերահսկման և հետառաքելական վերլուծության բազմաօգտատեր հարթակ,

- իրականացվել են ԱԹՍ-ների վրա գործող լոկալ ծրագրային գործակալներ, որոնք կարող են շարունակել առաքելությունը կենտրոնական կապի ժամանակավոր բացակայության դեպքում,

- առաջարկվել է Mesh LoRa ցանցի և ծրագրային-ադապտիվ ռադիոկապուղու կառավարման կիրառում՝ հաճախականային և երթուղային պահուստավորմամբ,

- ստեղծվել և փորձարկվել են չորս և տասը ԱԹՍ-ներից կազմված փորձարարական ծրագրաապարատային համակարգեր:

Աշխատանքի արդյունքների հավաստիությունն ապահովվում է մաթեմատիկական մոդելների խիստ հատկությունների, հաշվարկային սիմուլյացիաների, ծրագրային իրականացման և փորձարարական սարքավորումների վրա կատարված ստուգումների համակցմամբ: Աշխատանքի արդյունքները ներկայացված են գիտական հրապարակումներում և զեկուցվել են հանրապետական ու միջազգային գիտաժողովներում:

Եզրակացություն

Վ. Ս. Պողոսյանի «Ճշգրիտ լուծվող անհավասարակշիռ ցանցային մոդելներ, ալգորիթմներ և ինֆորմացիայի օպտիմալ տարածման սխեմաներ ինքնակազմակերպվող բազմաազենտային համակարգերում» թեմայով ատենախոսությունը հանդիսանում է ավարտուն, գիտական նորույթ պարունակող տեսական ու փորձարարական բարձր արժեք ունեցող հետազոտություն: Դրանում մշակված են մաթեմատիկական մոդելներ, հաշվարկային ալգորիթմներ, ծրագրային միջոցներ և փորձարարական ծրագրաապարատային լուծումներ, որոնք համատեղ ուղղված են ինքնակազմակերպվող ԱԹՍ-ների ապակենտրոնացված և վթարակայուն երամների ստեղծմանը:

Աշխատանքի արդյունքները կարող են կիրառվել տարածքների մշտադիտարկման, որոնողափրկարարական աշխատանքների, կարևոր օբյեկտների վերահսկման, արտակարգ իրավիճակների գնահատման, քարտեզագրման, բեռների տեղափոխման և կապի սահմանափակ հասանելիությամբ միջավայրերում գործող ռոբոտային համակարգերի ստեղծման համար: Հատկապես արժեքավոր է մաթեմատիկական մոդելավորման, կապի վթարակայուն սխեմաների, Mesh LoRa ռադիոցանցի և իրական ԱԹՍ-ների վրա կատարված ծրագրաապարատային իրականացման համադրումը:

Վահագն Պողոսյանի աշխատանքում ներկայացված է երկարամյա և հետևողական հետազոտությունների ամբողջություն: Գիտական զեկույցը ներառում է երեք հիմնական բաժին: Արդյունքները հրապարակված են 63 ամսագրերում, որոնցից հինգը՝ անհատական: Հրապարակումներից 40-ը ինդեքսավորված են Scopus և Web of Science տվյալների շտեմարաններում:

Ատենախոսության բովանդակությունը համապատասխանում է Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ» մասնագիտությանը և տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին: Հեղինակը՝ Վահագն Սուրենի Պողոսյանը, արժանի է տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի շնորհմանը Ե.13.05 մասնագիտությամբ:

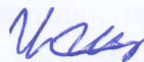
ԵրԿՄԳՀԻ գլխավոր կոնստրուկտոր,
տ.գ.դ., պրոֆեսոր



Մհեր Վարդգեսի Մարկոսյան

ԵրԿՄԳՀԻ Գերբարձր հաճախականային ազդանշանների մշակման

լաբորատորիայի ղեկավար, տ.գ.թ., դոցենտ



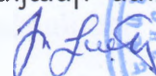
Ահարոն Կամոյի Ահարոնյան

ԵրԿՄԳՀԻ առաջատար ճարտարագետ



Յզատ Լիպարիտի Սմբատյան

Մ.Վ. Մարկոսյանի, Ա.Կ. Ահարոնյանի և Ա.Լ. Սմբատյանի ստորագրությունները հաստատում են ԵրԿՄԳՀԻ ՓԲԸ կադրերի բաժնի պետ



Ի. Վանդունց

