

ԸՆԴԴԻՍԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Զավեն Գեղամի Խանամիրյանի «Արհեստական բանականության կիրառմամբ էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակումը և հետազոտումը» թեմայով՝ Ե.13.01 «Կառավարում, կառավարման համակարգեր և դրանց տարրերը» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված ատենախոսության վերաբերյալ

Ատենախոսությունը նվիրված է ստորին վերջույթի վերականգնողական էկզոկլմախքի (ՍՎՎԷ) կառավարման համակարգի մշակմանը՝ օբյեկտի ոչ գծային դինամիկայի, օգտագործողի փոփոխվող պարամետրերի և մարդ-էկզոկլմախք փոխազդեցության հաշվառմամբ: Աշխատանքում համադրվել են մաթեմատիկական մոդելավորումը, ադապտիվ կառավարումը, ամրապնդման ուսուցումը և փորձանմուշային իրագործումը:

Թեմայի արդիականությունը

Ժամանակակից կառավարման համակարգերն ունեն բազմաթիվ հետազոտման ենթակա խնդիրներ՝ կապված ոչ գծային, բազմաչափ և դինամիկ պարամետրական անորոշությունների հետ: Կրելի ռոբոտները և աջակցող սարքավորումները, ինչպիսիք են ստորին վերջույթի էկզոկլմախքները, նախատեսված են հաշմանդամություն ունեցող կամ վերականգնողական կարիքներ ունեցող անձանց շարժունակության վերականգնման և կյանքի որակի բարելավման համար: Այս համակարգերում յուրաքանչյուր օգտագործողի ֆիզիկական պարամետրերի և արտաքին միջավայրի փոփոխություններն անկանխատեսելի են, ինչի պատճառով դասական կառավարման համակարգերը չեն կարողանում ապահովել անհրաժեշտ կայունություն և հարմարվողականություն:

Այդ իսկ պատճառով արհեստական բանականության՝ մասնավորապես նեյրոնային ցանցերի և ամրապնդման ուսուցման (Reinforcement Learning) կիրառմամբ բազմաչափ ոչ գծային ադապտիվ կառավարման նոր մեթոդների մշակումը խիստ արդիական է: Հետևաբար աշխատանքը արդիական է և ունի ինչպես գիտահետազոտական, այնպես էլ կիրառական մեծ պահանջարկ տվյալ ոլորտում:

Հետազոտության նպատակն է կառավարման տեսության և արհեստական բանականության (AI) ժամանակակից մեթոդների համատեղմամբ մշակել և հետազոտել կառավարման նոր ալգորիթմներ, որոնք կնպաստեն էկզոկլմախքների նախագծման և օգտագործման արագագործության բարձրացմանը, ինչպես նաև կապահովեն դրանց իրագործելիությունը իրական սարքավորումներում:

Այդ նպատակի իրագործման համար ատենախոսության մեջ առաջադրվել և լուծվել են ստորև ներկայացված խնդիրները՝

1. Իրականացվել է էկզոկլմախքի ժամանակակից կառավարման համակարգերի և մեթոդների հետազոտություն,
2. Ուսումնասիրվել են էկզոկլմախքի կինեմատիկայի և դինամիկայի հավասարումները, մշակվել և վավերացվել են մաթեմատիկական մոդելներ, կատարվել է համակարգչային մոդելավորում,
3. Հետազոտվել է էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային համակարգը և իրականացվել է քայլքի դասական կառավարման համակարգերի համեմատական վերլուծություն,
4. Մշակվել է վերին մակարդակի կառավարման համակարգ՝ շարժումների դասակարգմամբ՝ էլեկտրոմկանաչափ (EMG) տվիչների և արհեստական բանականության տարրերի կիրառմամբ,
5. Ձևակերպվել և մշակվել է արհեստական բանականության տարրերով ժամանակակից կառավարման համակարգ,
6. Նախագծվել և լավարկվել է էկզոկլմախքի ֆիզիկական նախատիպը, որի վրա փորձարկվել է քայլքի կառավարման համար մշակված համակարգը:

Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրահանգումներից, 102 աղբյուր պարունակող գրականության ցանկից և հավելվածից: Ծավալը 133 էջ է:

Առաջին գլխում վերլուծված են էկզոկլմախքների տեսակները, մարդու քայլքի փուլերը և ՄՎՎԷ-ի կառավարման մակարդակներում կիրառվող մեթոդները:

Հիմնավորվել է ամրապնդման ուսուցման և ադապտիվ կառավարման համատեղ կիրառման նպատակահարմարությունը:

Երկրորդ գլխում Դենսվիթ–Հարթենբերգի և Էյլեր–Լագրանժի մեթոդներով ստացվել են ՄՎՎԷ-ի կինեմատիկական ու դինամիկական մոդելները՝ մարդ–էկզոկմախք կապերի և հավասարակշռության պայմանների հաշվառմամբ:

Երրորդ գլխում նախագծվել և համեմատվել են ՀԻԴ, գործակիցների պլանավորմամբ ՀԻԴ, նմուշային մոդելով ու գործակիցների պլանավորմամբ ադապտիվ և կանխորոշիչ մոդելով կարգավորիչներ: Հավասարակշռության համար կիրառվել է կասկադային ՀԻԴ կառուցվածք, մշակվել են համակարգչային ու ֆիզիկական մոդելներ:

Չորրորդ գլխում DDPG գործակալը համակցվել է նմուշային մոդելով ադապտիվ կառավարման հետ՝ ստեղծելով «DAM» (DDPG-Augmented MRAC) կարգավորիչը: Համեմատական փորձարկումներում, այդ թվում՝ 50 կգ բեռի դեպքում, այն ապահովել է ինտեգրալային բացարձակ սխալանքի լավագույն արժեքը: Մշակվել է նաև ԷՄԳ ազդակներով քայլքի վիճակը ճանաչող նեյրոնային ցանց՝ 92 % ճշտությամբ:

Գիտական եզրահանգումների և դրույթների հավաստիությունը

Աշխատանքում տեսական և գործնական մշակումները կատարված են ռոբոտատեխնիկայի, տեսական մեխանիկայի, ավտոմատ կառավարման համակարգերի տեսության, արհեստական բանականության և մեքենայական ուսուցման ժամանակակից մեթոդների կիրառմամբ և հիմնավոր են: Նախագծման և մոդելավորման աշխատանքները կատարված են ժամանակակից ծրագրային գործիքների՝ MATLAB/Simulink միջավայրի և NI LabVIEW-ի կիրառմամբ և ճշգրիտ են:

Ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և հիմնավորման աստիճանը

Ատենախոսությունում ներկայացված են հետևյալ հիմնական գիտական արդյունքները.

1. Մշակվել է ՄՎՎԷ-ի դինամիկական մոդել՝ մարդ–էկզոկմախք փոխազդեցության և հավասարակշռության հաշվառմամբ:
2. Նախագծվել է փոփոխվող պարամետրերով ոչ գծային օբյեկտի նեյրոնային կառավարման համակարգ:

3. Առաջարկվել է DDPG գործակալը նմուշային մոդելով ադապտիվ կարգավորիչի հետ միավորող «DAM» հիբրիդային կարգավորիչ:
4. Մշակվել է ԷՄԳ տվիչներով օգտագործողի շարժման մտադրությունը կանխատեսող իրական ժամանակում կիրառելի ալգորիթ,
5. MATLAB/Simulink միջավայրերում նախագծվել է արհեստական բանականությամբ օժտված և նեյրոնային կարգավորիչի կիրառմամբ նոր ավտոմատ կառավարման համակարգ, որը լուծում է դինամիկ պարամետրական անորոշության և հարմարվողականության խնդիրը ՄՎՎԷ-ում:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը

Արդյունքները կարող են կիրառվել կրելի ռոբոտների կառավարման համակարգերի նախագծման և փորձարկման համար: Մշակված մոդելներն ու փորձանմուշը հնարավորություն են տալիս գնահատել կարգավորիչների աշխատանքը տարբեր բեռների դեպքում: Արդյունքները կիրառվում են №21DP-2B003 նախագծում, «Քայլտեք» ՍՊԸ-ում և ՀԱՊՀ կրթական գործընթացում:

Հիմնական արդյունքներն արտացոլված են տասը գիտական հրապարակումներում և ներկայացվել են գիտաժողովներում ու սեմինարներում: Աշխատանքը համապատասխանում է Ե.13.01 մասնագիտության ուղղվածությանը:

Ատենախոսության դրական և բացասական կողմերը

Աշխատանքի դրական կողմերը

1. Սեղմագիրը հստակ արտացոլում է ատենախոսության բովանդակությունը,
2. Ատենախոսությունը կատարված է պատշաճ կերպով և բարձր մակարդակով,
3. Աշխատանքում ստացված արդյունքները ստուգվել են ինչպես համակարգչային մոդելի, այնպես էլ փորձանմուշային մոդելով և NI LabVIEW/NI myRIO ծրագրային իրագործմամբ իրական ֆիզիկական նախատիպի վրա, ինչը զգալիորեն բարձրացնում է դրանց արժանահավատությունը և գործնական արժեքը,
4. Էկզոկլմախքի կառավարումը դիտարկվել է ամբողջական բազմամակարդակ համակարգի տեսքով,

5. Սողելում հաշվի են առնվել մարդ-էկզոկմախք կապերը և հավասարակշռության պայմանները,
6. Տարբեր դասի կարգավորիչների ուսումնասիրությունը նույն հարթակում ապահովել է արդյունքների համադրելիություն,
7. «DAM» կառուցվածքը համատեղում է նախապես ուսուցված գործակալի և ընթացիկ փոփոխություններին հարմարվող կարգավորիչի առավելությունները,
8. ԷՄԳ ազդակների մշակումից մինչև նեյրոնային ցանցի վավերացում իրականացվել է ամբողջական կիրառական շղթա:

Աշխատանքում առկա են ստորև ներկայացված թերությունները՝

1. Ատենախոսությունում առկա են որոշ տեխնիկական և լեզվական բնույթի բացթողումներ,
2. Թեև մշակվել է էլեկտրոմկանաչափ (EMG) տվիչների ազդակների վրա հիմնված շարժման մտադրության կանխատեսման համակարգ, ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն դիտարկել դրա աշխատանքի հուսալիությունը արտաքին ինտենսիվ աղմուկների կամ տվիչի դիրքի աննշան տեղաշարժման պայմաններում,
3. Աշխատանքում մանրամասն վերլուծված է «DAM» (DDPG-Augmented MRAC) հիբրիդային կարգավորիչի ճշգրտությունը, սակայն նպատակահարմար կլիներ ներկայացնել նաև դրա հաշվողական ծախսերի (computational cost) համեմատությունը դասական ադապտիվ համակարգերի հետ, հատկապես՝ այն ներկառուցված (embedded) միկրոկարգավորիչների վրա իրագործելիս,
4. «DAM» կարգավորիչի համար ցանկալի կլիներ լրացուցիչ հիմնավորել փակ համակարգի կայունության և գործողությունների անվտանգ սահմանափակման պայմանները,
5. Նպատակահարմար կլիներ մանրամասնել ֆունկցիոնալ անվտանգության միջոցները՝ անկյան, արագության ու մոմենտի սահմանափակումները, վթարային կանգառը և խափանման դեպքում անվտանգ վիճակին անցումը,
6. Արդյունքների ընդհանրացման համար օգտակար կլիներ փորձարկումներն իրականացնել ավելի մեծ թվով մասնակիցների, քայլքի

տարբեր արագությունների և հենման մակերևույթների դեպքում՝
ներկայացնելով վիճակագրական ցուցանիշներ:

Ամփոփիչ եզրակացություն

Հաշվի առնելով վերոնշյալ դրական կողմերը և դիտարկումները՝ գտնում եմ, որ Զավեն Գեղամի Խանամիրյանի «Արհեստական բանականության կիրառմամբ էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակումը և հետազոտումը» թեմայով ատենախոսությունը բարձր գիտական մակարդակով իրականացված ավարտուն գիտահետազոտական աշխատանք է, արդիական է, ունի կարևոր գիտահետազոտական և կիրառական նշանակություն և համապատասխանում է ՀՀ գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգով թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին: Իսկ հեղինակը՝ Զավեն Գեղամի Խանամիրյանը, արժանի է Ե.13.01 «Կառավարում, կառավարման համակարգեր և դրանց տարրերը» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

«ԻՄՊՐՈՎԻԶ ԷՅՐՈՍՓԵՅՍ ԸՆԴ ԴԻՖԵՆՍ» ՍՊԸ

տնօրեն, տ.գ.թ.



Ա.Հ. Բադիյան



31.07.2026թ.