

ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Ստեփան Վահրամի Բաբայանի

«Անբավարար տեսանելիության պայմաններում ստացված պատկերների մշակման համակարգ» թեմայով Ե13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

Ստեփան Բաբայանի ատենախոսական աշխատանքը նվիրված է ժամանակակից ավտոմատացված համակարգերում մթնոլորտային խոչընդոտներով (մառախուղ, մշուշ) և անբավարար գիշերային լուսավորությամբ աղավաղված պատկերների տեսանելիության վերականգնման խնդիրներին: Աշխատանքում ուսումնասիրվում և առաջարկվում են ֆիզիկապես հիմնավորված խորը ուսուցման մոդելներ, որոնք լուծում են սինթետիկ տվյալներից իրական պայմանների ընդհանրացման բացը (synthetic-to-real gap) և ապահովում իրական ժամանակում բարձր լուծաչափի պատկերների մշակում:

Աշխատանքի արդիականությունը

Պատկերների վերլուծության համակարգերը լայն կիրառություն ունեն ինքնավար տրանսպորտային միջոցների նավիգացիայի, խելացի տեսահսկման, անվտանգության և օդային քարտեզագրման ոլորտներում: Այս համակարգերում մուտքային պատկերները հաճախ ենթարկվում են բարդ եղանակային և լուսավորության աղավաղումների, ինչի հետևանքով սովորական համակարգչային տեսողության մոդելների (օրինակ՝ դեմքերի կամ օբյեկտների հայտնաբերման) ճշգրտությունը և հուսալիությունը կարող են կտրուկ անկում ապրել:

Թեև ժամանակակից խորը ուսուցման մեթոդները որոշակի հաջողություններ են գրանցել այս ոլորտներում, դրանց գործնական կիրառումը բխվում է երկու հիմնական արգելքի: Նախ՝ մոդելները հիմնականում ուսուցանվում են սինթետիկ տվյալների վրա, ինչն առաջացնում է դեպի իրական պայմաններ ընդհանրացման լուրջ բաց (synthetic-to-real gap): Երկրորդ՝ առավել ճշգրիտ լուծումները պահանջում են մեծ հաշվողական ռեսուրսներ, ինչը խոչընդոտում է իրական ժամանակում (real-time) բարձր լուծաչափի պատկերների մշակմանը:

Ատենախոսությունում դիտարկվող մոտեցումը կարևոր է նաև այն առումով, որ միայն ներդրային ցանցի չափի մեծացումը կամ արհեստական (սինթետիկ) տվյալների բազաների ընդլայնումը միշտ չէ, որ ապահովում է մոդելի կայունության իրական բարձրացում գործնական պայմաններում: Հեղինակը հիմնավորում է, որ անհրաժեշտ է դետերմինիստիկ ֆիզիկական օրենքները (մթնոլորտային ցրման և Ռեդֆորդի մոդելները) որպես մաթեմատիկորեն մեկնաբանելի նախնական գիտելիք ինտեգրել հավանականային խորը ուսուցման համակարգերում: Այս համադրությունը թույլ է տալիս ստանալ խնդիրն ավելի հարմարվող, անորոշություններին դիմակայող ներկայացումներ՝ միաժամանակ լուծելով արագագործության ապահովման կրիտիկական խնդիրը:

Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը

Ատենախոսությունը շարադրված է 109 էջում և կազմված է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և գրականության ցանկից: Աշխատանքի կառուցվածքը

տրամաբանորեն համապատասխանում է դրված նպատակին. նախ ներկայացվում են խնդրի ֆիզիկական մոդելները, ապա ձևավորվում են վարիացիոն ճարտարապետությունները, և վերջապես՝ կատարվում է մոդելների ինֆորմացիոն սեղմում՝ գիտելիքի դիստիլյացիայի միջոցով:

Ներածությունում հիմնավորվում է թեմայի արդիականությունը, ձևակերպվում են աշխատանքի նպատակը, գիտական նորույթն ու ստացված արդյունքների կիրառական արժեքը:

Առաջին գլուխը նվիրված է պատկերների մշուշազերծման և գիշերային լուսավորության խնդիրների տեսական հիմքերի վերլուծությանը: Դիտարկվում են մթնոլորտային ցրման (ASM) մոդելի բաղադրիչները և Retinex տեսությունը, ինչպես նաև վերլուծվում են տվյալների վրա հիմնված (data-driven) մոտեցումների սահմանափակումները՝ կապված ուսուցանման սինթետիկ պայմաններից դեպի իրական միջավայր անցման խնդիրների հետ:

Երկրորդ գլխում առաջարկվում է մթնոլորտային աղավաղումների հեռացման բազմամակարդակ վարիացիոն բայեսյան շրջանակը: Ֆիզիկական հավանականության (likelihood) վրա հիմնված այս մոդելը թույլ է տալիս կառուցել այնպիսի նախնական (prior) հավանականային բաշխումներ, որոնք զգալիորեն մեծացնում են ցանցի ընդհանրացման ունակությունը անծանոթ իրական պատկերների վրա:

Երրորդ գլուխը նվիրված է գիշերային և ցածր լուսավորությամբ միջավայրերի համար RSD-Net ցանցի մշակմանը: Դիտարկվում են խտերատիվ Ռետինեքս դեկոմպոզիցիայի մեխանիզմները և ներմուծվում է արհեստական լույսի աղբյուրների փայլի (glow) տարրալուծման առանձնացված մոդուլը, որը կանխում է լուսավորության սխալ գնահատումը հետագա շերտերում:

Չորրորդ գլխում ներկայացվում է ատենախոսության հիմնական օպտիմալացման գործիքակազմը՝ ֆիզիկապես հիմնավորված գիտելիքի դիստիլյացիան: Ցուցադրվում է անորոշությամբ կշռված (uncertainty-weighted) կորստի ֆունկցիաների կիրառումը, որոնց միջոցով վարիացիոն ծանրակշիռ մոդելների փորձը արդյունավետորեն փոխանցվում է կոմպակտ (EfficientViT հիմքով) ցանցերին՝ թույլ տալով հասնել իրական ժամանակում գործելու արագությունների:

Ատենախոսության գիտական նորույթը

Ատենախոսության գիտական նորույթը կայանում է՝

- մթնոլորտային ցրման մոդելի (ASM) բաղադրիչների **առաջին անգամ** միասնական վարիացիոն բայեսյան հավանականային տարածությունում մոդելավորման մեջ: Մշակված նոր բազմամակարդակ նախնական բաշխումները հնարավորություն են տալիս սինթետիկ տվյալներով ուսուցանված ցանցին ադապտացվել իրական եղանակային պայմանների կառուցվածքային առանձնահատկություններին:
- Նորույթ է հանդիսանում արհեստական լույսի աղբյուրների փայլի տարրալուծման (DeGlow) վերահսկվող մոդուլի ինտեգրումը խտերատիվ Ռետինեքս ճարտարապետության մեջ, ինչը մեկուսացնում է լույսի աղբյուրների բացասական ազդեցությունը ընդհանուր տեսարանի վերականգնման վրա:

- Գիտական արժեք են ներկայացնում մառախողի հեռացման համար մշակված ֆիզիկականորեն հիմնավորված գիտելիքների դիստիլացիայի եղանակը, ինչպես նաև Ռ-ետիներս տեսության վրա հիմնված լուսավորության վերականգնման մեթոդի լուսավորության կոմպոնենտների հարաբերակ-ցությունից անալիտիկորեն դուրս բերված՝ $1 / \sigma^2(x)$ անորոշության գործակցով կշռված կորստի ֆունկցիան: Այն գործակցով ստացվող գրադիենտը ուսուցման գործընթացը նպատակաուղղում է պատկերի վստահելի պիքսելների վրա՝ ապահովելով «ուսուցից» դեպի «աշակերտ» մոդել գիտելիքի առավել արդյունավետ փոխանցում:

Ատենախոսության կիրառական արժեքը

Աշխատանքի գործնական արժեքը պայմանավորված է ստացված «աշակերտ» մոդելների տպավորիչ արագագործությամբ և հաշվողական ցածր ծախսով, ինչը հնարավորություն է տալիս այս բարդ մաթեմատիկական մոդելները տեղակայել իրական համակարգերում: EfficientViT-ի վրա հիմնված լուծումներն ապահովում են գերբարձր թողունակություն (4K լուծաչափի համար՝ 76 FPS, իսկ ավելի փոքր չափերի համար՝ մինչև 479 FPS)՝ անմիջապես հանգեցնելով օբյեկտների հայտնաբերման և դեմքերի ճանաչման ալգորիթմների ճշգրտության կտրուկ աճի:

Արդյունքների կիրառելիությունը հաստատվում է նաև այն փաստով, որ մշակված ալգորիթմներն արդեն իսկ ինտեգրվել են «ՕԿՈՒԹԵԶ ՄՊԸ»-ի ֆոտոգրամետրիայի ավտոմատացման և «ԱՅԱՏԵԽ ՄՊԸ»-ի անվտանգության տեսահսկման համակարգերում:

Հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով հեղինակի կողմից հրապարակված են 4 գիտական աշխատանքներ հեղինակավոր միջազգային և տեղական գիտական պարբերականներում: Հրապարակումներն արտացոլում են հետազոտության հիմնական դրույթները, մաթեմատիկական ապարատը և փորձարարական արդյունքները:

Դիտողություններ

Աշխատանքի որակը և գիտական արժեքը դրական գնահատելով՝ կարելի է նշել հետևյալ նկատառումները, որոնց հաշվառումը կարող է օգտակար լինել հետագա հետազոտությունների տեսանկյունից:

- Արդյունքների վիճակագրական և գործնական հիմնավորվածությունը ավելի ամբողջական կլիներ, եթե կատարվեր առաջարկվող հավանականային մոդելների գնահատում անընդմեջ վիդեոհոսքերի (video streams) մշակման ժամանակ: Քանի որ համակարգերը նախատեսված են ինքնավար նավիգացիայի և տեսահսկման համար, կադրից-կադր (frame-to-frame) ժամանակային կապակցվածության ուսումնասիրությունը թույլ կտար պարզել՝ արդյոք գեներատիվ և վարիացիոն մոդելները չեն առաջացնում արհեստական թաքթումներ (flickering), ինչը կարևոր է շարժվող օբյեկտների հետագծման (tracking) խնդիրներում կայունություն ապահովելու համար:
- Չորրորդ գլխում ներկայացված գիտելիքի դիստիլացիայի մեխանիզմը հենվում է անորոշությամբ կշռված $1 / \sigma^2(x)$ կորստի ֆունկցիայի վրա: Տեսական և վիճակագրական առումով խիստ արժեքավոր կլիներ ուսումնասիրել այդ

անորոշության գնահատականների կալիբրացիան (օրինակ՝ Expected Calibration Error կամ նմանատիպ ցուցանիշով): Սա ցույց կտար, թե որքանով է ստացված մոդելը «վստահելի» իր իսկ կանխատեսած սխալների հարցում, ինչը կրիտիկական նշանակություն ունի ինքնավար կառավարման համակարգերում որոշումների կայացման մեջ:

- Ատենախոսությունում կիրառված մթնոլորտային ցրման մոդելը (ASM) և դրա վրա կառուցված Բայեսյան շրջանակը հիմնականում ենթադրում են լույսի միակի ցրում (single scattering): Ցանկալի կլիներ աշխատանքում տեսնել գնահատական կամ վերլուծություն այն մասին, թե ինչպես է առաջարկվող մոդելի արդյունավետությունը փոխվում խիստ խիտ և խիստ անհամասեռ մառախուղի պայմաններում, որտեղ տեսականորեն սկսում են գերիշխել լույսի բազմակի ցրման (multiple scattering) ֆիզիկական էֆեկտները:

Նշված նկատառումները, սակայն, չեն նվազեցնում ատենախոսության գիտական արդյունքների նշանակությունն ու կարևորությունը: Դրանք առավելապես վերաբերում են դինամիկ և ծայրահեղ պայմաններում մոդելների գնահատման վերլուծական շրջանակի հետագա ընդլայնմանը:

Եզրակացություն

Ամփոփելով ներկայացվածը՝ կարելի է նշել, որ Ստեփան Վահրամի Բաբայանի ատենախոսությունը հանդիսանում է ավարտուն գիտական հետազոտություն, որն ունի հստակ ձևակերպված նպատակ, գիտական նորույթ, լայնածավալ փորձարարական հիմնավորում և լուրջ գործնական նշանակություն:

Հաշվի առնելով աշխատանքի գիտական արժեքը, տեսական և գործնական արդյունքների հիմնավորվածությունը, հրապարակումների առկայությունը և արդյունքների արդյունաբերական ներդրումը՝ գտնում են, որ **Ստեփան Վահրամի Բաբայանի** «Անբավարար տեսանելիության պայմաններում ստացված պատկերների մշակման համակարգ» թեմայով ատենախոսությունը բավարարում է ՀՀ ԿԳՄՄՆ բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակն արժանի է Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Ատենախոսության պաշտոնական ընդդիմախոս՝
տ. գ. դ., պրոֆեսոր
28 հունիս, 2026թ.



Դ. Գ. Ասատրյան

Դ. Գ. Ասատրյանի ստորագրությունը հաստատում են՝
ԻԱՊԻ կադրերի բաժնի վարիչ՝



Լ. Մ. Հայրապետյան