

# ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

## Գոռ Արթուրի Ղարազյոզյանի

*«Ինֆորմացիայի տեսության գործիքակազմի ներդրումը խորքային նեյրոնային ցանցի ճարտարապետությունում՝ պատկերների դասակարգման արդյունավետության բարձրացման նպատակով»* թեմայով Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

**Գոռ Ղարազյոզյանի** ատենախոսությունը նվիրված է ժամանակակից պատկերների դասակարգման համակարգերում խորքային կոնվոլյուցիոն նեյրոնային ցանցերի արդյունավետության, ընդհանրացման ունակության, հավանականային կալիբրացման և մուտքային պատկերների աղավաղումների նկատմամբ կայունության բարձրացման խնդիրներին: Աշխատանքում ուսումնասիրվում և առաջարկվում է PDE-CNN-VIB հիբրիդային ճարտարապետությունը, որը համադրում է մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված տարածական կանոնակարգումը և Variational Information Bottleneck մեխանիզմը:

### 1. Աշխատանքի արդիականությունը

Պատկերների դասակարգման համակարգերը լայն կիրառություն ունեն բժշկական ախտորոշման, ինքնավար համակարգերի, հեռահար զոնդավորման, տեսահսկման, երթևեկության մոնիտորինգի, արդյունաբերական տեսողական վերահսկման և այլ կիրառական ոլորտներում: Այդ համակարգերում մուտքային պատկերները հաճախ ենթարկվում են աղմուկի, պղտորման, սեղմման, լուսավորության փոփոխության, եղանակային ազդեցությունների կամ սենսորային աղավաղումների, ինչի հետևանքով սովորական CNN մոդելների ճշտությունը և կանխատեսումների հուսալիությունը կարող են զգալիորեն նվազել:

Ատենախոսությունում դիտարկվող մոտեցումը կարևոր է նաև այն առումով, որ միայն մոդելի չափի մեծացումը միշտ չէ, որ ապահովում է հուսալիության և կայունության իրական բարձրացում: Հեղինակը հիմնավորում է, որ անհրաժեշտ է համադրել տարածական կառուցվածքի նկատմամբ մաթեմատիկորեն մեկնաբանելի նախնական գիտելիքը և ներկայացումների ինֆորմացիոն սեղմման մեխանիզմը: Այս համադրությունը թույլ է տալիս ստանալ ավելի կայուն և խնդրին վերաբերվող հատկանիշներ պահպանելով մոդելի հաշվարկային ծախսը չափավոր մակարդակում:

### 2. Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը

Ատենախոսությունը շարադրված է 125 էջում և կազմված է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և 86 անուն գրականության ցանկից: Աշխատանքի կառուցվածքը տրամաբանորեն համապատասխանում է հետազոտության նպատակին. նախ ներկայացվում են տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը, ապա՝ առաջարկվող ճարտարապետությունը, փորձարարական գնահատումը և ստացված արդյունքների վերլուծությունը:

**Ներածությունում** հիմնավորվում է ընտրված թեմայի արդիականությունը, ձևակերպվում են աշխատանքի նպատակը և լուծվող խնդիրները, ներկայացվում են հետազոտության օբյեկտը, կիրառված մեթոդները, գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը, ինչպես նաև արդյունքների փորձարկման և քննարկման տվյալները:

**Առաջին գլուխը** նվիրված է խորքային կոնվոլյուցիոն նեյրոնային ցանցերի, պատկերների դասակարգման խնդրի, հենքային տվյալների հավաքածուների և ինֆորմացիայի տեսության հիմնական գործիքների ներկայացմանը: Գլխում քննարկվում են CNN-ների կառուցվածքային բաղադրիչները, CIFAR-10, CIFAR-100, CIFAR-10-C և CIFAR-100-C հավաքածուների դերը, ինչպես նաև էնտրոպիայի, փոխադարձ ինֆորմացիայի, Կուլբակ-Լեյբլերի տարամիտության, Information Bottleneck և Variational Information Bottleneck մոտեցումների տեսական հիմքերը:

**Երկրորդ գլուխը** նվիրված է մեքենայական ուսուցման մեջ ինֆորմացիայի տեսության մեթոդների կիրառությունների վերլուծությանը: Դիտարկվում են էնտրոպիայի, փոխադարձ ինֆորմացիայի, Կուլբակ-Լայբլերի տարամիտության, խաչաձև էնտրոպիայի, Information Bottleneck և Variational Information Bottleneck մոտեցումների դերը հատկանիշների ընտրության, չափողականության կրճատման, կանոնակարգման և խորը ներկայացումների ուսուցման խնդիրներում: Այս վերլուծությունը ծառայում է որպես հիմք հաջորդ գլուխներում առաջարկվող մոդելային կառուցվածքների համար:

**Երրորդ գլխում** առաջարկվում են մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված նախասահմանված կոնվոլյուցիոն շերտեր, որոնց միջոցով պարաբոլիկ և հիպերբոլիկ մասնակի դիֆերենցիալ հավասարումների (PDE) վերջավոր տարբերությունների մոտարկումները ներառվում են CNN ճարտարապետությունների մեջ՝ որպես ցածր մակարդակի տարածական հատկանիշների ստացման նախնական մեխանիզմ: Կատարված փորձարարական գնահատումները ցույց են տալիս, որ PDE-հիմնված շերտերը կարող են ազդեցություն ունենալ տարբեր հիմքային ճարտարապետությունների՝ մասնավորապես ResNet, VGG և DenseNet ընտանիքների մոդելների աշխատանքի վրա:

**Չորրորդ գլխում** ներկայացվում է ատենախոսության հիմնական մեթոդական արդյունքը՝ PDE-CNN-VIB ճարտարապետությունը: Այն ներառում է դիֆուզիոն PDE-հիմնված կարգավորման բլոկ, կոնվոլյուցիոն հատկանիշների ադապտացիայի փուլ, Variational Information Bottleneck մոդուլ, ալիքային վերակառուցման և մնացորդային խարնուրդի մեխանիզմներ: Մոդելը գնահատվում է ինչպես մաքուր CIFAR-10 և CIFAR-

100 տվյալների, այնպես էլ CIFAR-10-C և CIFAR-100-C աղավաղված հենանիշների վրա: Արդյունքները վերլուծվում են դասակարգման ճշտության, Negative Log-Likelihood-ի, Expected Calibration Error-ի, միջին աղավաղման ճշգրտության և հաշվարկային ծախսի տեսանկյունից:

### **3. Գիտական նորույթը**

Ատենախոսության գիտական նորույթը կայանում է մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված կոնվոլյուցիոն նախնական (prior) շերտերի մշակման մեջ՝ CNN-ի վրա հիմնված պատկերների դասակարգման ընթացքում ցածր մակարդակի տարածական աբստրակցիաների ուսուցման համար, ինչպես նաև դրանց փոխակերպման մեջ՝ դեպի թեթև, դիֆուզիայի վրա հիմնված ուսուցանելի նախամաս: Առաջարկվող նախամասն օգտագործում է կրկնվող մնացորդային Լապլասյան դիֆուզիոն թարմացումներ՝ ուսուցանելի ոչ բացասական, ըստ ալիքների դիֆուզիոն գործակիցներով, ինչը հնարավորություն է տալիս տարածական կառուցվածքային կարգավորումը ինտեգրել ամբողջական ուսուցանելի ներդրնային ճարտարապետության մեջ: Այս կառուցվածքը պահպանում է մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված հարթեցման մեկնաբանելիությունը՝ միաժամանակ այն դարձնելով համատեղելի կոնվոլյուցիոն հատկանիշների ադապտացիայի, VIB սեղմման, ալիքների վերակառուցման և մնացորդային խառնման հետ:

Նոր մշակված հիբրիդային PDE-CNN-VIB ճարտարապետությունը համակցում է ադապտացված, դիֆուզիայի վրա հիմնված PDE նախամասը VIB մոդուլի հետ: Ճարտարապետությունը ներառում է նաև ալիքների վերակառուցում և ուսուցանելի մնացորդային հատկանիշների խառնում, ինչը հնարավորություն է տալիս դետերմինիստական PDE-ով հարստացված հատկանիշները և ստոխաստիկ VIB-ով սեղմված հատկանիշները միավորել մինչ դասակարգումը: Սա ձևավորում է նոր մոդուլային մոտեցում՝ CNN-ի վրա հիմնված պատկերների կայուն դասակարգման համար, որը կիրառելի է տարբեր CNN backbone-ների նկատմամբ, այլ ոչ թե միայն մեկ կոնկրետ ցանցի:

### **4. Գործնական արժեքը**

Աշխատանքի գործնական արժեքը պայմանավորված է մշակված ծրագրային և փորձարարական միջավայրով, որը հնարավորություն է տալիս նույն պայմաններում կառուցել, ուսուցանել և համեմատել բազային CNN, PDE-CNN և PDE-CNN-VIB մոդելները: Ծրագրային իրականացումը հիմնված է Python, PyTorch և Torchvision գործիքների վրա և նախատեսված է տարբեր CNN հիմքերի հետ օգտագործման համար:

Մշակված միջավայրը թույլ է տալիս հաշվարկել ոչ միայն դասակարգման ստանդարտ ճշտությունը, այլև ուսուցման-թեստավորման ընդհանրացման բացը, Negative Log-Likelihood, Expected Calibration Error, չճշգրտությունը աղավաղումների համար, միջին աղավաղման ճշգրտությունը, ինչպես նաև հաշվարկային ծախսի

ցուցանիշներ՝ պարամետրերի քանակ, մեկ սերնդի ուսուցման ժամանակ և եզրակացության հետաձգում: Այս հանգամանքը կարևոր է հատկապես այն դեպքերում, երբ առաջարկվող մոդելը նախատեսվում է կիրառել ռեսուրսներով սահմանափակ կամ աղավաղված մուտքային տվյալներով աշխատող տեսողական համակարգերում:

Ատենախոսությունում ներկայացված հաշվարկային գնահատումները ցույց են տալիս, որ առաջարկվող PDE-CNN-VIB ճարտարապետությունը կարող է ապահովել բարելավումներ մոդելի պարամետրերի շատ փոքր աճի և եզրակացության ժամանակի համեմատաբար չափավոր ավելացման պայմաններում: Այսպիսով, առաջարկված մոտեցումը կարող է հիմք հանդիսանալ ավելի հուսալի պատկերների դասակարգման համակարգերի հետագա մշակման համար՝ բժշկական պատկերների վերլուծության, հեռահար զոնդավորման, ինքնավար համակարգերի, տեսահսկման և արդյունաբերական տեսողական վերահսկման ոլորտներում:

## 5. Հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով հեղինակի մասնակցությամբ հրապարակված են 5 գիտական աշխատանքներ, որոնցում արտացոլված են հետազոտության հիմնական դրույթները և փորձարարական արդյունքները: Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են նաև Computer Science and Information Technologies (CSIT 2025) միջազգային գիտաժողովում և քննարկվել ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի գիտական սեմինարում: Հրապարակումները համապատասխանում են ատենախոսության թեմային և հավաստում են ստացված արդյունքների գիտական շրջանառության մեջ դրված լինելը:

## 6. Դիտողություններ

Աշխատանքը դրական գնահատելով՝ կարելի է նշել հետևյալ նկատառումը, որի հաշվառումը կարող է օգտակար լինել հետագա հետազոտությունների և արդյունքների ներկայացման կատարելագործման տեսանկյունից:

Արդյունքների վիճակագրական հիմնավորվածությունը ավելի ուժեղ կլիներ, եթե նույն փորձերը կատարվեին մի քանի տարբեր պատահական սկզբնական արժեքներով, և ներկայացվեին միջին արժեքներ ու շեղումներ: Դա թույլ կտար ավելի հստակ գնահատել արդյոք ստացված բարելավումները կայուն են տարբեր սկզբնական պայմաններում:

Նշված նկատառումը, սակայն, չի նվազեցնում ատենախոսության գիտական արդյունքների նշանակությունն ու գործնական արժեքը: Այն առավելապես վերաբերում է փորձարարական գնահատման վիճակագրական ներկայացման հետագա ընդլայնմանը, մինչդեռ աշխատանքի հիմնական եզրակացությունները հիմնավորվում են մի քանի տվյալների հավաքածուների, տարբեր CNN հիմքերի, ինչպես նաև ճշգրտության, կալիբրացման և կայունության չափումների համադրված վերլուծությամբ:

## 7. Եզրակացություն

Ամփոփելով ներկայացվածը՝ կարելի է նշել, որ **Գոռ Արթուրի Ղարազյոզյանի** ատենախոսությունը հանդիսանում է ավարտուն գիտական հետազոտություն, որն ունի հստակ ձևակերպված նպատակ, գիտական նորույթ, գործնական նշանակություն և փորձարարականորեն հիմնավորված արդյունքներ: Աշխատանքի բովանդակությունը համապատասխանում է **Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ»** մասնագիտության շրջանակին:

Հեղինակի կողմից առաջարկված **PDE-CNN-VIB** ճարտարապետությունը հիմնավորված է տեսականորեն և ստուգված է փորձարարական եղանակով՝ մաքուր և աղավաղված պատկերների դասակարգման խնդիրներում: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված տարածական կանոնակարգման և **VIB-հիմնված ինֆորմացիոն սեղմման** համադրությունը կարող է նպաստել **CNN մոդելների ընդհանրացման, կալիբրացման և աղավաղումների նկատմամբ կայունության բարելավմանը՝ պահպանելով հաշվարկային ծախսը գործնականում ընդունելի մակարդակում:**

Հաշվի առնելով աշխատանքի գիտական նորույթը, տեսական և գործնական արդյունքների հիմնավորվածությունը, հրապարակումների առկայությունը և ատենախոսության բովանդակության համապատասխանությունը մասնագիտությանը՝ գտնում եմ, որ **Գոռ Արթուրի Ղարազյոզյանի** «Ինֆորմացիայի տեսության գործիքակազմի ներդրումը խորքային նեյրոնային ցանցի ճարտարապետությունում՝ պատկերների դասակարգման արդյունավետության բարձրացման նպատակով» թեմայով ատենախոսությունը բավարարում է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման աշխատանքներին ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակը արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը **Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ»** մասնագիտությամբ:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

տեխն. գիտ. դոկտոր

**Դ. Գ. Ասատրյան**

23 հունիսի 2026 թ.

տ.գ.դ., պրոֆ. **Դ. Գ. Ասատրյանի** ստորագրությունը

հաստատում եմ՝

ԻԱՊԻ կադրերի բաժնի վարիչ



**Լ. Հայրապետյան**