

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 Արթուրի Ղարազյոզյանի ատենախոսությունը վերաբերում է խորքային փաթուփային (convolutional) նեյրոնային ցանցերի ոլորտին և ուղղված է ժամանակակից պատկերների դասակարգման համակարգերում դրանց արդյունավետության, ընդհանրացման ունակության, հավանականային կալիբրացման և աղավաղված մուտքային տվյալների նկատմամբ կայունության բարձրացմանը: Աշխատանքում առաջարկվում է ինֆորմացիայի տեսության մեթոդների և մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված կառուցվածքային մոտեցումների համատեղ կիրառում՝ CNN ճարտարապետությունների աշխատանքն ավելի հուսալի դարձնելու նպատակով:

Հետազոտության արդիականությունը պայմանավորված է նրանով, որ պատկերների դասակարգման համակարգերը լայնորեն կիրառվում են բժշկական պատկերների վերլուծության, ինքնավար և շարժական տեսողական համակարգերի, հեռահար զոնդավորման, տեսահսկման, երթևեկության մոնիտորինգի և արդյունաբերական տեսողական վերահսկման ոլորտներում: Այդպիսի կիրառություններում մուտքային պատկերները հաճախ պարունակում են աղմուկ, լրդում, սեղմման արտեֆակտներ, լուսավորության փոփոխություններ կամ այլ աղավաղումներ, որոնց պայմաններում միայն մաքուր տվյալների վրա ստացված բարձր ճշգրտությունը բավարար չէ մոդելի հուսալիությունը գնահատելու համար:

Ատենախոսության կարևոր կողմերից է այն, որ հեղինակը պատկերների դասակարգման խնդիրը դիտարկում է ոչ միայն որպես դասակարգման ճշգրտության բարձրացման խնդիր, այլև որպես մոդելի կայունության, կալիբրացման և ինֆորմացիոն ներկայացումների վերահսկման խնդիր: Այդ տեսանկյունից առաջարկված PDE-CNN-VIB մոտեցումը միավորում է երկու փոխլրացնող գաղափար՝ մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված տարածական կանոնակարգումը և Variational Information Bottleneck մեխանիզմի միջոցով ներկայացումների ինֆորմացիոն սեղմումը:

Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և գրականության ցանկից: Աշխատանքը շարադրված է 125 էջում:

Ներածական մասում հիմնավորվում է ընտրված թեմայի արդիականությունը, ձևակերպվում են հետազոտության հիմնական նպատակը և դրանից բխող խնդիրները, ներկայացվում են հետազոտության օբյեկտը, կիրառված մեթոդները, գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը, ինչպես նաև աշխատանքի արդյունքների փորձարկման և քննարկման տվյալները:

Առաջին գլխում ներկայացվում են պատկերների դասակարգման խնդրի, խորքային փաթութային նեյրոնային ցանցերի և հենանիշների տվյալների հավաքածուների տեսական հիմունքները: Հեղինակը հիմնավորում է, որ ժամանակակից CNN մոդելների գնահատման համար անհրաժեշտ է դիտարկել ոչ միայն CIFAR-10 և CIFAR-100 մաքուր տվյալների հավաքածուները, այլ նաև դրանց աղավաղված տարբերակները՝ CIFAR-10-C և CIFAR-100-C, որոնք հնարավորություն են տալիս գնահատել մոդելների վարքն աղմուկի, լղղման, կոնտրաստի փոփոխության, պիքսելացման և այլ ընդհանուր աղավաղումների պայմաններում:

Երկրորդ գլխում համակարգված ձևով ուսումնասիրվում են ինֆորմացիայի տեսության գործիքների կիրառությունները մեքենայական ուսուցման մեջ: Քննարկվում են էնտրոպիայի, փոխադարձ ինֆորմացիայի, Կուլբակ-Լեյբլերի տարամիտության, Information Bottleneck և Variational Information Bottleneck սկզբունքների դերը հատկանիշների ընտրության, ներկայացման ուսուցման, նեյրոնային ցանցերի, ընդհանրացման, և կայունության խնդիրներում: Գլուխը կարևոր է աշխատանքի հետագա մեթոդական կառուցումների համար, քանի որ այստեղ հիմնավորվում է ինֆորմացիոն սեղմման անհրաժեշտությունը խորքային նեյրոնային ցանցերի ներկայացումներում:

Երրորդ գլխում առաջարկվում են մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված նախասահմանված կոնվոլյուցիոն շերտեր, որոնք հիմնված են պարաբոլիկ և հիպերբոլիկ հավասարումների վերջավոր տարբերությունների մոտարկումների վրա: Այս շերտերը դիտարկվում են որպես CNN մոդելների նախնական բաղադրիչներ, որոնց նպատակն է ցածր մակարդակի տարածական հատկանիշների կայունացում և տեղային կառուցվածքի ավելի արդյունավետ ընդգծում: Կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ նման շերտերի ներմուծումը կարող է բարելավել տարբեր CNN հիմքերի արդյունքները՝ մոդելի պարամետրերի էական աճ չառաջացնելով:

Չորրորդ գլխում ներկայացվում է 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, որոնցից հետո կիրառվում է CNN backbone-ը: Ճարտարապետության արդյունավետությունը գնահատվել է CIFAR-10, CIFAR-100, CIFAR-10-C և CIFAR-100-C տվյալների հավաքածուների վրա՝ օգտագործելով ճշտությունը, ուսուցման-թեստավորման ընդհանրացման բացը, Negative Log-Likelihood, Expected Calibration Error, corruption-wise accuracy և mean corruption accuracy չափիչներ ճշգրտությունը աղավաղումների համար, միջին աղավաղման ճշգրտությունը: Գլխում ներկայացված են նաև հաշվարկային ծախսի և գործնական կիրառությունների վերաբերյալ դիտարկումներ:

Եզրակացությունում ամփոփվում են աշխատանքի հիմնական արդյունքները և նշվում են հետագա հետազոտությունների հնարավոր ուղղությունները: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ PDE-հիմնված տարածական կանոնակարգման և VIB-հիմնված ինֆորմացիոն սեղմման համատեղումը կարող է նպաստել ինչպես մաքուր տվյալների վրա դասակարգման ճշգրտության և

կալիբրացման, այնպես էլ աղավաղված մուտքերի նկատմամբ կայունության բարելավմանը:

Ամփոփելով ատենախոսության գլուխներում ներկայացված արդյունքները՝ կարելի է առանձնացնել հետևյալ հիմնական գիտական արդյունքները.

1. Կատարվել է մեքենայական ուսուցման մեջ ինֆորմացիայի տեսության գործիքների ու մեթոդների ներկայիս կիրառությունների համապարփակ վերլուծություն, որը ընդգծել է դրանց կարևոր դերը՝ ներկայացման որակի վերահսկման, ավելորդության նվազեցման և ընդհանրացման բարելավման գործում, սակայն միաժամանակ բացահայտել է, որ նման մեթոդներն ինքնին բացահայտորեն չեն պարտադրում տարածական կառուցվածք տեսողական ներկայացումների վրա:

2. Պատկերների դասակարգման համար ներդրվել է մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված նախահայտարարված նախաշերտ, որը մի շարք ճարտարապետություններում ցուցաբերել են ճշգրտության բարելավումներ, ցածր պահելով հաշվողական բարդությունը:

3. Մշակվել է նոր հիբրիդային PDE-CNN-VIB ճարտարապետություն, որը համատեղում է ադապտացված դիֆուզիոն PDE նախաշերտը, կոնվոլյուցիոն հատկանիշների հարմարեցումը և VIB մոդուլը: Ճարտարապետությունը համատեղում է վաղաժամ տարածական առանձնահատկությունների PDE կանոնավորումը և ինֆորմացիոն-տեսական սեղմումը՝ ավելորդ և ոչ համապատասխան տեղեկատվությունը ճնշելու նպատակով:

4. Նոր ճարտարապետության արդյունավետությունը հաստատվել է փորձարկումներով՝ օգտագործելով տարբեր տվյալների հավաքածուներ և CNN հիմքեր: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ նոր մոդելը կախված չէ կոնկրետ տվյալների հավաքածուից կամ CNN հիմքից: Փորձարկումները ցույց են տվել բարելավում մաքուր տվյալների վրա ճշգրտությունում, կալիբրացիայի գործընթացում, ընդհանրացման ունակությունում և աղավաղումների նկատմամբ կայունությունում, մինչդեռ հաշվարկային բարդությունը մնացել է գրեթե անփոփոխ համեմատած հիմնական մոդելների

Աշխատանքի հետագա զարգացման և արդյունքների առավել ամբողջական ներկայացման տեսանկյունից կարելի է նշել հետևյալ նկատառումները.

1. Աշխատանքում վերջնական PDE-CNN-VIB ճարտարապետության մեջ հիմնականում օգտագործվում է դիֆուզիոն/Laplacian բնույթի մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների վրա հիմնված բլոկ: Ցանկալի կլիներ փորձարկել նաև այլ PDE ձևակերպումներ կամ ավելի ադապտիվ դիֆուզիայի մեխանիզմներ՝ պարզելու համար, թե արդյոք տարբեր PDE մոտեցումները կարող են լրացուցիչ բարելավում տալ տարբեր տեսակի աղավաղումների դեպքում:

2. Աշխատանքում ներկայացված են պարամետրերի քանակի, մեկ շրջանի (epoch) ուսուցման ժամանակի և եզրակացության հետազման գնահատականներ, սակայն օգտակար կլիներ ավելի մանրամասն դիտարկել նաև GPU/edge-device միջավայրերում աշխատանքի արագությունը, հիշողության ծախսը կամ էներգասպառումը, հատկապես եթե մեթոդը նախատեսվում է գործնական կիրառությունների համար:

3. Աշխատանքում կայունության գնահատումը CIFAR-10-C և CIFAR-100-C աղավաղված տվյալների հավաքածուների վրա հիմնականում իրականացվել է միջին բարդության՝ severity level 3 պայմաններում: Հաշվի առնելով, որ նշված benchmark-ներում աղավաղումները ներկայացված են տարբեր բարդության մակարդակներով, ցանկալի կլիներ լրացուցիչ ներկայացնել նաև ավելի բարձր բարդության՝ օրինակ severity level 4 և severity level 5 պայմաններում ստացված արդյունքները: Դա հնարավորություն կտար առավել ամբողջական գնահատել առաջարկված PDE-CNN-VIB ճարտարապետության կայունությունը ավելի խիստ և իրական պայմաններին մոտեցված տեսողական աղավաղումների դեպքում:

Նշված նկատառումները, սակայն, չեն նվազեցնում ատենախոսության գիտական և գործնական արդյունքների արժեքը: Դրանք առավելապես վերաբերում են առաջարկված մեթոդի հետագա ընդլայնմանը, լրացուցիչ փորձարարական գնահատմանը և կիրառական միջավայրերում տեղակայման փուլում կատարվելիք ուսումնասիրություններին: Աշխատանքի հիմնական արդյունքները հիմնավորված են տեսականորեն և հաստատված են մաքուր ու աղավաղված տվյալների հավաքածուների վրա կատարված փորձարարական վերլուծությամբ, տարբեր CNN հիմքերի համեմատությամբ, ինչպես նաև ճշգրտության, կալիբրացման, կայունության և հաշվարկային բարդության ցուցանիշների համադրված գնահատմամբ:

Ատենախոսության թեմայով հեղինակի մասնակցությամբ հրապարակված են 5 գիտական աշխատանքներ, որոնցում արտացոլված են հետազոտության հիմնական դրույթներն ու արդյունքները: Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են նաև International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT 2025) գիտաժողովում և քննարկվել են ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի գիտական սեմինարում:

Սեղմագրի բովանդակությունը համապատասխանում է ատենախոսության հիմնական դրույթներին: Դրանում պատշաճ կերպով ներկայացված են աշխատանքի արդիականությունը, նպատակը, գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը, հիմնական արդյունքները և եզրակացությունները:

Գոռ Արթուրի Ղարազյոզյանի «Ինֆորմացիայի տեսության գործիքակազմի ներդրումը խորքային նեյրոնային ցանցի ճարտարապետությունում՝ պատկերների դասակարգման արդյունավետության բարձրացման նպատակով» թեմայով ատենախոսությունը հանդիսանում է ավարտուն գիտական հետազոտություն: Աշխատանքը համապատասխանում է Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի համալիրներ» մասնագիտությանը և բավարարում

