

Կոտրված ապակի, անհաջող տեսախցիկներ: Ֆիզիկայի վրա հիմնված հակառակորդական նմուշների սիմուլացիա ինքնավար վարորդական համակարգերի համար

**Manav Prabhakar, Jwalandhar Girnar, Arpan Kusari\*** Միջիզանի  
համապատասխան տրանսպորտային հետազոտությունների ինստիտուտ 2901  
Baxter Road, Սենյակ 202, Էն Արքոր, MI-48103 {prmanav, jwala, kusari}  
@umich.edu

Ամփոփում

Հայալած վերջերս շատ հետազոտություններ կենսորոնացի են ֆիզիկայի վրա հիմնված հակառակորդական նմուշների ատենախն վրա, մի կարևոր, բայց հաճախ անտեսված կատեղորիա ծագում է հնընավար տափանապրատիկների միջոցների ընկապանն համակարգերի համար կարևոր բաղադրիչ հանդիսացող ներկառուցված տեսափայկելու համար կամ հայալանումներից: Տեսախցիկն համախնամները, ինչ որ արտաքին բրենդների հետևանքով պահաժամական սարքավորման համախնամների կամ ներինի բարտարիչների համախնամների պահաժամով, կարող են ոլորզակիրեն վայսագի հնընավար վարդրայան համակարգերի ավելանաբուրդունն ու հուսափելուրներ: Նաև, մենք մոտիվացնում ենք ուսումնավորությունը երկու ասպամերի հրական փորձարկումներով՝ որոց տպար համար, որ ապակի համախնամները կարող են հանգեցնել ներդուախն անցնելու մոդելների համախնամնամաս: Երկրորդ, մենք մշակում ենք սիմուլացիայի վրա հիմնված ուսումնավորություն՝ օգտագործելով ապակի կորուսներ ֆիզիկական գործնարկություն՝ ստեղծելու համագործակա սցենարներ, որոնք ներկայացնում են ֆիզիկայի վրա հիմնված հակառակորդական նմուշների հրական պահաժամունքը: Կերպարու տարրերի մոդել (FEM)՝ ի վրա հիմնված մուտքամամար, մենք ստեղծում ենք նաև կերեսային ճարեր տեսախցիկի պատկերով՝ կիրատելու մասնակիններով սահմանված սրբն դաշտ եռանկյուն անցնում: Կերպար, մենք օգտագործում ենք ֆիզիկապես հիմնված պատկերով (PBR) տեխնիկաներ՝ այս ֆիզիկապես հավանական կորպորացների հրականինություն պահպանումնը սպահովելու համար: Անվտանգության հետևանքներու գնահատելու համար մենք փրկարան ենք սիմուլացիա կրորված ապակու էֆեկներու որպես պատկերային ֆիլտրեր երկու հնքանավար վարդրայան ստվաների հավաքածուներ՝ KITTI և BDD100K, ինչպես նաև մեծածավալ պատկերային հայտնաբերման MS-COCO տվյալների համարածովի վրա: Այնուհետև մենք գնահատում ենք հայտնաբերման համախնամն ոլորզակայությունը կայսեր օրբելյանին սատերի համար՝ օգտագործելով CNN-ի վրա հիմնված օբյեկտային հայտնաբերման մոդելերի (YOLOv8 և Faster R-CNN) և տափանքորներային ճարտարապետություն՝ Pyramid of Vision Transformers-ով: Այս տեսանկար հետեւյունների բաշխման աղղողությունը հետաքանակ ուսումնավորությունների համար մենք հաշվարկում ենք Կորպակ-Լեյբերի (K-L) չեղողությունը երեք տարրեր տվյալների բաշխմանների միջև՝ կրութայի տարրեր կորպակ ապակու ֆիլտրեր հասուն տվյալների հավաքածուի վրա (նկարահանված կորպակ դիմապակու միջոցով), ինչպես նաև KITTI և Kaggle Cats and Dogs տվյալների համարածուների վրա: K-L չեղման վերլուծությունը որոց է տպար, որ այս կորպակ ապակու ֆիլտրեր են ականա բաշխման փոփոխություններ չեն առաջանան: Մեր հապատակն է ապակուն ֆիզիկայի վրա հիմնված մեթոքարանայություն՝ ստեղծելու հակառակորդական նմուշներ, որոնք արտադրում են իրական աշխարհի տեսախցիկի համախնամները՝ նպաստու ունենալով բարելավել ինքնավար վարդրայան համակարգերի դիմապակուածությունն ու անվանագույնությունն անման ֆիզիկական սպասանահների ունենալու:

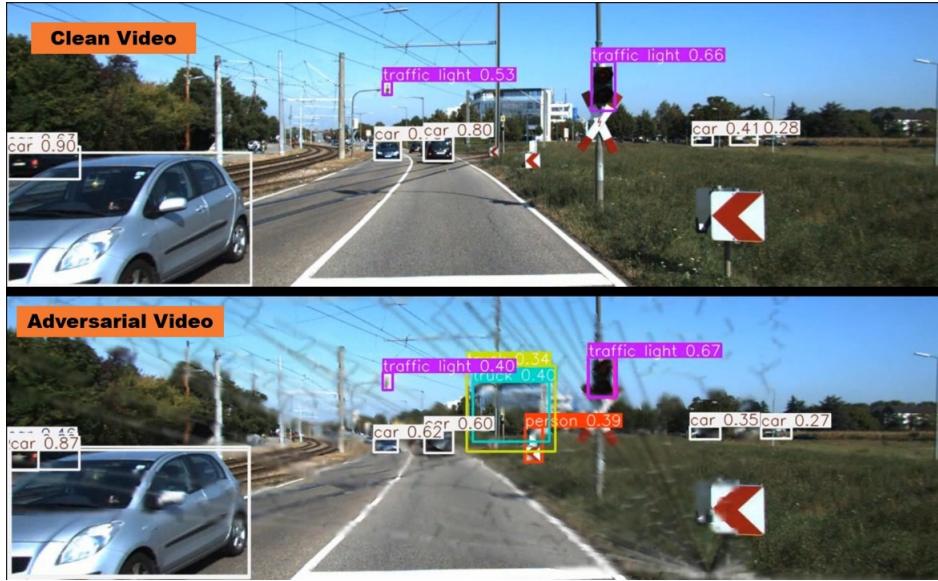
Ներածություն  
Տեսախցիկները ամենուր են որպես հեռավոր սենսորներ, հավաքելով տվյալներ չկառուցված և դինամիկ արտաքին միջավայրից, հաճախ կոչու պայմաններում: Սենսորի խափանումը կամ սխալ հանակագիր առնվազն մենց տրված պարամետրի ֆունկցիոնալ վիճակի շեղում է (van Schrick 1997): Այս սխալները կարող են առաջանալ ներքին (օրինակ՝ մաշվածություն) կամ արտաքին (գերմաստիճան, խոնավություն և այլն) պատճառներով: RGB տեսախցիկների համար ներքին պատճառները ներառում են մեռած պիտույքներ, իսկ արտաքին պատճառները՝ կոտրված պատշաճներ կամ արտաքին ոսպնյակներ և խտացում: Այս հանկարծակի խափանումները դժվար է հայտնաբերել և բացասաբար են ազդում օբյեկտի հայտնաբերման ալգորիթմների վրա՝ նվազեցնելով ճշգրտությունը և հաճախ հանգեցնելով հայլոցինացիայի, հնավա ցույց է տրված նկար 1-ում: Օրինակ՝ ավտոմատացված տրանսպորտային միջոցում (AV) տեղի ունեցող խափանումները կարող են հանգեցնել անվտանգության լուրջ խնդիրների, որոնք կարող են հանգեցնել վթարների և որոշ դեպքերում՝ մահվան:

Ներկայում, ըստ հեղինակների լավագույն գիտելիքների, չկան խիստ մերողներ տեսախցիկների վրա հմանված սենսորների ձախողումների գեներացման համար (Ceccarelli և Secci 2022):

Այս աշխատանքրում մենք կենտրոնանում ենք սենսորների խսկանումների վրա, որոնք առաջանում են տեսահցիկի (կամ տեսահցիկի պատյանի) ապակու ճարերի պատճառով, թեև այս հողագոտին մանրամասնված գործիքացը կարող է օգտագործվել (Ceccarelli և Secci 2022) նշված տեսահցիկի խսկանումներից ցանկացած համար: Տեսահցիկի ապակու ճարերի ազդեցությունները կարող են առաջանալ արտաքին օբյեկտի հարցածից կամ պատյանի ներում հանկարծակի զարգացող չեմոնիքային և/կամ ճնշման հետևանքով: Ներողնային ցանցերի լեզվով, նման պայմաններում նկարահանված պատկերը համարվում է հակառակորդական նմուշ՝ նախորդ հետազոտությունները (Akhtari և Mian 2018; Carlini և Wagner 2017; Szegedy և այլը 2013) ցուց են տալիս, որ նույնինք փոքր քանակությամբ աղավաղումներո, որոնք երեսն ժժվագ է տեսնել մարդկային աշջործ բավական են ներողնային ցանցերը ամբողջութամբ հարելու համար, որտեղ մուտքերի փոքր փոփոխությունը կարող է հանգեցնել երերի կտրուկ փոփոխության: Մենք ցանկանում ենք նշել, որ (Li, Schmidt և Kolter 2019) ներկայացրել են ֆիզիկական տեսահցիկի վրա հիմնված հակառակորդական հարճակման պարագագմ, որը ծախալում է որպես այս ոլորտում մեծանանու հարակի աշխատանք: Նրանք ներկայացրել են պատկերի փոփոխություն՝ օգտագործելով կիսաթափանցիկ հիմնածով մշակված կազոնի ծավորությա, որը հանգեցրել է սխալ դասակարգման:

Այս ներքերի ազդեցությունը տևականիկ ստացված պատկերների վրա համապատասխան համար մենք իրականացրեցինք երկու տարբեր փորձարկումներ՝ մեկը

\*Համապատասխանող հեղինակ Հեղինակային իրավունք © 2026,  
Արհեստական բանականության առաջինադասման  
ասոցիացիա (www.aaai.org): Բոլոր իրավունքները պաշտպանված են:



Նկար 1: Մարութ և հակառակորդային տեսանյութերի դրակական համեմատություն, որոնք ստեղծվել են մեր սիմուլացիայի և պատկերման մեթոդի միջոցով KITTI-ի վրա: Այս կադրը ցուց է տակած կեղծ դրականներ և վստահության մակարդակի նվազում իրական դրականների համար: Լրիվ տեսանյութի համար դիմեր հավելվածին:

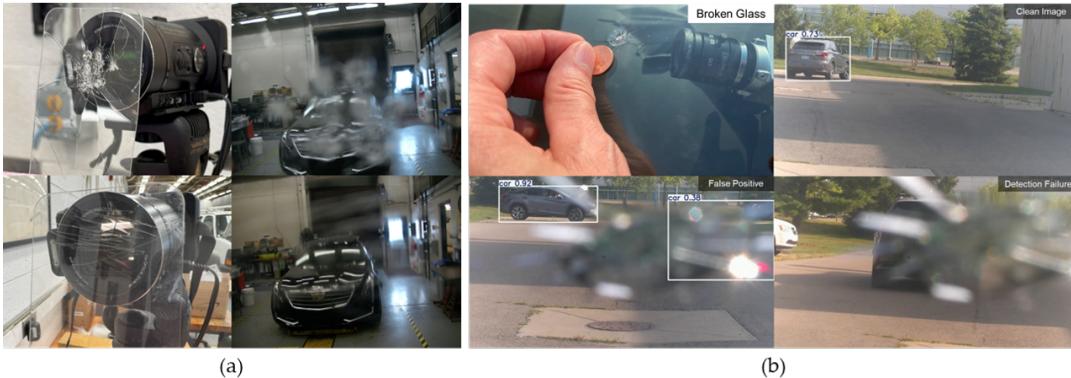
Ներսի ստատիկ միջավայրում և մյուսը դինամիկ արտաքին միջավայրում: Առաջնային ներառում է տեմպերացված ապակու ներումը և այն տեսախցիկի առջև տեղադրելը (տես նկ. 2(a))՝ տեսարանի մեջ ստատիկ ավտոմեքենայի հետ, որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես են տարրեր ճեղքագծի նախշերը ազդում տեսարանի դրական և տեսքի վրա: Մենք նկարահանել ենք պատկերներ տարրեր ֆոկուս երկարություններով՝ գնահատելու նման աղյօնական փոփոխանություններ: Սա մեզ օգնեց պատահանել դոր դրակական հարցերի այս ճեղքերի տեսողական տեսքի վերաբերյալ՝ կապված դրանց տարածման և ինտենսիվության հետ, ինչը խթանեց մեր մոտեցումը ֆոկալ հարթություն և Ֆիֆլական հարձակման սիմուլացիա բաժնում: Փորձական կազմակերպությունը և մանրամասն փորձական արդյունքները տրված են Հավելվածի Ստատիկ փորձարկում բաժնում: Երկրորդ փորձարկումը (նկ. 2(b)) ներառում էր ինչնամիկ պատճեններների հետ բացօրին տեսանյութի նկարահանումը ցերեկային պայմաններում՝ MobileEye տեսահիշիկը տեղադրելով առօսի ապակու ճեղքի կողքին, որը ներկայացված է նկ. 2-ում (ցուցադրված է վերին ձախում) և YOLOv8 (Jocher, Chaurasia, and Qin 2023) օգտագործելով կանխատեսում կատարելով՝ նման սցենարների ազդեցությունը օրինակություն հայտնաբերման վրա նախնական համարակալու համար: Մենք նկատեցինք, որ մոդելը հեշտությամբ կարող է հայտնաբերել ավտոմեքենան մաքրությունը կապերում, միշտես այն տառապանում է հայտնաբերման ձախողությունը (ներքին աջում) կամ ստեղծում է կեղծ դրականներ (ներքին ձախում): Հետաքրքիր է, որ ճեղքի առկայությունը կարող է նաև անսպասելիորեն բարձրացնել ավտոմեքենայի կանխատեսում վստահությունը՝ ներկայացնելով հստակ սահմանված եզրը (0.92 ներքին ձախում ընդունելով 0.75 վերին ձախում): Մարդամասն կանխատեսման արդյունքները ավտոմեքենայի և անձի դասի հետ տրված են Հավելվածի Դինամիկ փորձարկում բաժնում:

Այնուհետև մենք փորձեցինք գտնել իրական կոտրված ապակու պատկերներ առցանց (Հավելվածի իրական ապակու կոտրվածի պատկերներ բաժնում), բայց չկարողացանք ստեղծել բավարար մեծ տվյալների հավաքածու, որը թույլ կտար տվյալների վրա հիմնված մոտեցում մշակել այս պայմանների համար հակառակորդային պատշաճանության համար: Բայց այս, մենք փորձարկեցինք CGI գործիքներ, ինչպիսիք են Maya-ն և Blender-ը՝

այսպիսի էֆեկտներ ստեղծելու համար, բայց դրանք չունեն ճկունություն, վերանվողություն, մասշտաբ և ֆիզիկա՝ այս պայմանները մոնթեավորման տարբեակը ArcSsim-ն է (Praff et al. 2014): Սակայն, նրանց բարձր թուաքանում մոդելավորման արդյունքները չափանանց դանուած են ( $\approx 20$  ժամ), ինչը դժվարացնում է մասշտաբավորման: Արդյունքում, մենք մեր շանթերը ուղղեցինք կոտրվածքներ ստեղծելու մասշտաբային մոդելավորման վրա հիմնված խորվակաշար ստեղծելու ուղղությամբ, որը կարող է օգտագործել ընկալման համակարգի զարգացման համար:

Ապակու կոտրվածքի դեպքում հիմնական կետը, ուժը և անկյունը կարող են լինել պատահական, բայց տարածումը և արդյունքում առաջացող նախշը հետևում է նորոշ ֆիզիկական գործնակացին (իներու գայլի կամ ճառագայթյան): Ուստի մենք կոտրում ենք կոտրվածքի մինիլյացիա, որը հիմնված է պատահականորեն գեներացված եռանկյուն ցանցի մասնիկների վրա և կատարում ենք լարվածության տարածում ցանցի միջոցով: Մեր սիմուլացիան թույլ է տակած մեզ ստեղծել կոտրվածքներ եռանկյուն ցանցի ներսում յուրաքանչյուր դիսկրետ ժամանակային վիճակում ծ: Մենք օգտագործում ենք OpenCV տրված ցանցը համապատասխան կորուված ապակու նախշի պատկեր վերածելու համար: Այնուհետև մենք օգտագործում ենք ֆիզիկական հիմնված պատկերում (PBR) (Pharr, Jakob, and Humphreys 2023): Իրականիստորեն պատկերելու մակերևույթի կոտրվածքները՝ օգտագործելով երկողմանի անդրադարձման բաշխման ֆունկցիան (BRDF)՝ հաշվարկելով մակերևույթի տրված կետից անդրադարձված լուսի քանակը, որպես լուսի աղբյուր(ներ)ի աղբեցության արդյունքը:

Մեր պատկերների ստեղծման մոտեցումը համարելով երեք հայտնի բայց կողով տվյալների հավաքածուների հետ՝ KITTI (Geiger et al. 2013), BDD100K (Yu et al. 2020) և MS-COCO (Lin et al. 2014), մենք կարող ենք արդյունավետորեն ստեղծել հակառակորդային պատկերներ: Ստեղծված հակառակորդային պատկերների փորձարկման ընդհանուր գործընթացը պատկերային տարածքում սիալ դրական/ասցասպական արդյունքների բանակի որոշումն է: Սակայն, մեր դեպքում, հակառակորդային ազդեցությունը լինելով տեղային, մենք չենք կարող պարզաբեր ապահով պատկերներ պատկերային շափման վրա: Ուստի, մենք օգտագործում ենք հակառակորդային պատկերները (նման նկ. 2-ի ներքին ձախի պատկերին) և դուրս ենք բերում օբյեկտները:



Նկար 2: (ա) Ներփական ստահութիւն կիրածարկում: Ձևի կողմում՝ տեսախցիկը 2 տարբեր կոտրված կարծիք ապակու նախշերով; այս կողմում՝ տրանսպորտային միջոցի պատկերները տարբեր կոտրվածների տակ: (բ) Դրսի դինամիկ կիրածարկում: Վերևի ձախ կողմում՝ մետառադրամի չափի ճարպածք դիմապակու վրա; Վերևի աջ կողմում՝ մաքուր պատկեր, որտեղ տրանսպորտային միջոցը հայտնաբերված է YOLOv8-ի միջոցով; Ներքին ձախ կողմում՝ պիտի դրական հայտնաբերում ճարփի միջոցով; Ներքին աջ կողմում՝ հայտնաբերման ձախողում ապակու միջոցով: Այս կիրածարկումների ավելի շատ օրինակներ ներկայացված են հավելվածում:

որոնք գտնվում են այս տարածքում, որտեղ առկա է ենթրվածքը՝ օգտագործելով իրականության սահմանան տուփերոց: Այնուհետև մենք օգտագործում ենք YOLOv8, Faster R-CNN (Ren et al. 2016) և Դիմադիմային Տեսողական Տրանսֆորմատոր (PVTv2) (Wang et al. 2022)<sup>1</sup> գտնելու այն օրինակների տոկոսը, որոնք ճշգրտվում են, եթե կիրառվում են հակառակորդային ֆիլտրերը: Մենք նաև տրամադրում ենք արևացիոն ուսումնասիրություններ՝ հասկանալու համար երեք պատկերների հավաքածաների մըս բաշխնան տարեկորդուներոց իրավան կոտրված ապակու պատկերներ, որոնք հավաքվել են փորձարկմամբ, իրական կորոված ապակու պատկերներ, որոնք համապատ են առցանց և ստեղծված պատկերներ: Մենք հաջարկում ենք Կուբեկ-Լիբերի (K-L) շերտում այս պատկերների բաշխումների համար՝ ապացուցելու համար ստեղծած պատկերների նմանությունը հրահան կորոված ապակու պատկերներին: Մենք օգտագործում ենք կատունների պատկերներ Kagggle Cats and Dogs տվյալների համարածիղոց՝ որպես վերահսկողություն հասկանալու համար պատկերների բաշխումների տարեկորդության (PK):

Հողվածի հիմնական ներդրումները կարելի է ամփոփել հետևյալ կերպ.

- Մենք առաջարկում ենք ապակու կոտրվածիք վերացականացման նոր եղանակ՝ սպրեսի տարածման մեթոդների և նվազագույն ծածկող ծառերի համարդրությամբ՝ ֆիզիկապես հիմնավորված ապակու նախշեր ստեղծելու համար:
  - Մենք ներկայացնում ենք PBR մուտեցում՝ տեսախցիկի խավանումների իրատեսական պատկերամբ հնչողացներու համար, որը կարող է օգնագործել ցանկացած գործունություններու համակարգային տեսադրության տվյալների հավաքածուների հետ՝ ինչպես պատկերների, այնպես էլ տեսանյութերի:
  - Մեր սիմուլյացիոն և պատկերային գեներացման խողովակալայիրերը մասշտաբային են և հաշվարկային արդյունավետությունը ( $\approx 1.6s$ ), ինչը թույլ է տալիս ան օգտագործել ինչ պես ակադեմիայի, այնպես էլ արդյունաբերության կողմից՝ դիմացկունության և բաշխումից դրույ պաշտպանության բարեկավաճանակ համար՝ այն կիրառությունների հղանակում:

Հիմնավորություն

Տիեզրական պատճենները հայտնաբերվել են Հայաստանի Հանրապետությունում՝ Արևածագ գյուղում:

Հականակրորդի նմուշի հանդիրը կարելի է սահմանել հետևյալ կերպ. մոնելի համար  $M$ , որը ճիշտ դասակարգում է մուտքային նմուշը  $X$  իր նշանակված դասին, այսինքն՝  $M(X) = y_{true}$ , մուտքային նմուշին սխալի՝ ավելացումը հանգեցնում է փոփոխական նմուշի  $X'$ , այնպես որ  $M(X') \neq y_{true}$ . Այսպիսով, սխալի է ներարկումը հանգեցնում է հականակրորդի նմուշի, որը մոնելի ձախողման պատճառ է պահպան:

Թեև մոդելի հակառակորդային մանխպուլյացիայի գաղափարը մերժնայական ուսուցման համատեքստով հայտնաբերվել է բավականին վաղուց (Dai և ալ. 2004), վերջին տասնամյակում ուշադրությունը կենտրոնացել է Ներոնային ցանցերի վրա հակառակորդային հարակումների վրա (Szegedy և այլք 2013; Goodfellow, Shlens, և Szegedy 2014): Այս հոդվածներում հետազոտողները ցույց տվեցին, որ փոքր թիրախավորված աղմուկի ներարկումը, որը գրեթե աննկատելի է մարդկային աշքի համար, ամբողջությամբ փիփում է պիտակները (Szegedy և այլք 2013), և ընդհակառակը, կարելի է ստեղծել պատկերներ, որոնք մարդկանց համար լինին անճանաչելի են, բայց որոնք ունեն կատարյալ դասակարգումներ DNN-ներից (Nguyen, Yosinski, և Clune 2015):

Չնայած այս հակառակորդային նմուշները մողելը ստուգով էն հնարավոր ձախողությունի համար, դրանց ստեղծման հետևում չկա ֆիզիկական իրատեսություն, և անհրաժեշտ է մողելի հասանելիություն: Աս ինչնիրո ուժեմք համար վերջերս որդյ հետազոտություններ ուղղակա էն եղել ֆիզիկապես համապատասխան հակառակորդային նմուշների ստեղծմանը: Առաջին փորձերից մեկը կատարվել է (Kurakin, Goodfellow, և Bengio 2018) կործից, ովքը նպաստակ էն դրել մողելների ճշգրտությունն ֆիզիկական աշխարհում՝ բջային հեռախոսի տեսահսկից աղմկու պատկեներ մատակարարելով, ինչը մողելին ստիպում էր սիմա դասակարգել նմուշների մեծ մասը: Նմանատիպ ուղղությամբ, (Եյկհօլ և այլը 2018) ցոյց տվեցին, որ իրական ճանապարհային նշանները կարող են խանգարվել պարզ ֆիզիկական պիտակներով, որոնք բարձրագույնությունը տեղադրված էն գրեթե կատարյա կերպով խարեցի ժամանակակից DL ագրիդմներին, նույնիկ տեսանկյունի փոփոխություններով: Այլ հետազոտություններ տեղադրել են հակառակորդային պատկեներ (Zolfo և այլը 2020), թափանցիկ կարգատաներ տեսահսկից վրա (Zolfo և այլը 2021) կամ արհետասալու LiARD մաներներ (Tsu և այլը 2020)<sup>1</sup> նմուշներ ստեղծելու համար, որոնք խարում են օբյեկտների դետեկտորների: Չնայած այս նախորդ հետազոտությունները ֆիզիկան օգտագործում էն նմուշների ստեղծման համար, դրանք չեն գալիս ինստ ֆիզիկական գործնարարությունների մողելավորումից, և մենք նպաստակ ունենք լրացնել այս բացը այս այխատանքում:

Ծարագիրական պատճեն լուսաբառն

Թթման, թե ինչպես է ապակին կոտրվում և ինչպես է այն տարածվում, դեռևս բայց հետազոտական հարց է, և այն եղել է վիճակարույց՝ առաջարկված բազմաթիվ ֆիզիկական տեսություններով (Roxhel և Brow 2012): Մինչ ապակին ճարի միկրոսկոպիկ գրոթընթացը քննարկվում է, մակրոսկոպիկ մակարդակում ճարերի

դինամիկան լավ հասկացված է: (Liu et al. 2021) վերլուծել են ապակու ոսպնյակի ճաքերի գործընթացը ճշգրիտ ապակու ձովման կիրառման մեջ՝ օգտագործելով վերջավոր տարրերի մերողը՝ ֆիզիկական սիմուլյացիոն ժամանակի ապակովման մեջ եռաչափ մոդելով: Ֆիզիկական պարամետրերը մուտքագրվել են ժամանակի ապակովման մեջ, և ճաքերի ուղիները վերլուծվել են սիմուլյացիայի արդյունքների հիման վրա Հերինակները իրականացրել են ձուլվ ած ապակու բարձր ճշգրտության եռաչափ ցանցային մոդելի շերմաստիճանի և լարվածության սիմուլյացիա: (Iben և O'Brien 2009) առաջարկել են տարրեր նյութերի, աղ թվով ապակու, մակերևային նաքեր գեներացման եղանակ: Ինչպես արդեն նշվել է ներածության մեջ, (Pfaff et al. 2014) առաջարկել են ապակու կուրորման սիմուլյացիա՝ որպես բարակ թերթիկ, որը ձևափորում է մեր առաջարկած մեթոդին ամենամոտ կապված աշխատանքը:

### Մեթոդաբանություն

Իրականիստիկ ապակու խափանումների ստեղծումը պահանջում է մեծածավալ ֆիզիկական հիմնված սիմուլյացիաների ստեղծում՝ լուծելով կորուվածի դիմանիկան եռանկունացված վերջավոր տարրերի ցանցի պահ ապակու հատկություններով:

### Կուրորված ապակու սիմուլյացիա

Մենք ներկայացնում ենք ապակին՝ օգտագործելով մասնիկներ, որոնք վերցված են հարության վրա տարածված համաստ բաշխումից, որը սահմանափակված է 2D ցանցի ձևով՝ օգտագործելով սահմանափակված Դելոնի եռանկյունացում: Սա հեռացնում է վաս ձևափորման եռանկյունները և խուսափում անհավասար և անհավական եղբերից:

Յուրաքանչյուր մասնիկը  $p_i$  ունի դիրք  $x_i$  և ունի մոտակա հարևանների: շառավիղի  $r$  մեջ, որոնք ունեն գոյություն ունեցող եղբեր  $p_j$  հետ: Մաթեմատիկորեն, եռանկյունացման ցանցը  $\mathcal{M}$  ներկայացնում է վերջավոր 2-սիմպլեքսների հավաքածու, այնպես որ եթե

$$\forall(K, K') \in \mathcal{M} \times \mathcal{M}, |K| \cap |K'| = |K \cap K'|. \quad (1)$$

Ապակու ճաքերի նախերը առաջանում են արտաքին ուժի ( $F$ ) սրբեսի պատճառով սկզբնական հարվածի կենում  $p_i$ , ենք ադրբելով ապակու (G) որոշակի հետորմացիայի օրենք (*Էլաստիկություն և պլաստիկություն*): (Kuna 2013): Այնուհետև մենք հաշվարկում ենք ուժի պարամետրերը արդյունավետ սրբեսի  $\sigma_V$  ձևով հարվածի կետում (V) որպես հարվածի կետի սրբեսի վիճակ: Ապակու ուժի համար կրիտիկական սրբեսի արժեքները  $\sigma_C$  գտնվում են պարագաների վրա փորձարկումների միջոցով՝ տարական բեռնման պայմաններով (օրինակ՝ ձգման փորձարկում): Կուրորվածը տեղի է ունենում, եթե արդյունավետ սրբեսի մեջ է կրիտիկական սրբեսի, բաժանված անվտանգության գործակով (S):

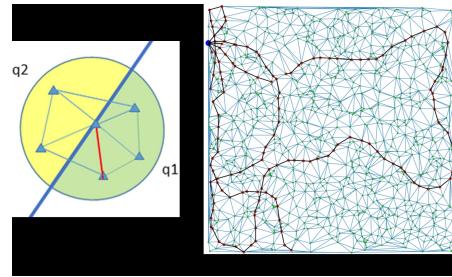
$$\sigma_V(G, F) > \frac{\sigma_C}{S}. \quad (2)$$

Ըստ նյութերի ամրության դասական տեսության, մենք գիտենք, որ ձախորդում մեծ մասամբ վերահսկվում է հիմնական լարվածությունը  $\sigma_I$  և  $\sigma_{II}$  2D տարրերի համար: Ակրենական ներքը տեղի է ունենում կամ նորմալ-հարու ներքը, որտեղ ճեղքի մակերեսները գտնվում են ամենաքարք հիմնական լ արվածության  $\sigma_I$  ուղղությանը ուղղահայաց (Rankine 1857), կամ շեղման-հարու ներքը, որտեղ ճեղքի մակերեսները համընկնում են առավելագույն շեղման լարվածության  $\tau_{max} = (\sigma_I - \sigma_{II}) / 2$  (Coulomb 1776) հատման հարությունների հետ: Ապակու դեպքում մենք ներարդում ենք, որ սկզբնական ներքը տեղի է ունենում առավելագույն հիմնական լարվածության ուղղությանը ուղղահայաց:

Սկզբնական հարվածի կետից  $p_i$ , ապակու միջոց լարվածության տարածումը անկայուն է, քանի որ ներքը հանկարծակի աճում է՝ առանց արտաքինի բեռնվածության ավելացմանը:

լարվածությունը տարածվում է գագաթի հարևանությամբ և այն ուղղությամբ, որտեղ լարվածությունը  $\vec{p_i p_j}$  որտեղ  $p_j \in K$  որպես

$$\sigma_{p_j} = \sigma_V * \frac{\vec{p_i p_j} \cdot \vec{n}}{|\vec{p_i p_j}| |\vec{n}|}. \quad (3)$$



Նկար 3: (ա) Կապույտով տրված բաժանման հարթության համար համեմատվում են գումարված դրական լարվածությունը  $q_1$  և գումարված բացասական լարվածությունը  $q_2$ , և տարածումը տեղի է ունենում այն կողմում, որտեղ լարվածության գումարը մեծ է, և ընտրված հանգույցը, որը ամենամոտն է բաժանման հարթությանը (նշված է կարմրով): (բ) Ցույց է տալիս, թե ինչպես ենք մենք մոդելավայրում ճեղքը ցանցով, որը սկզբում է ազդեցության կետից (նշված է կապույտով) մինչև այն հանգույցները, որոնք գտնու են իրենց շեղմային ամրությունից ավելի լարվածություն (նշված է կարմրով):

Յուրաքանչյուր եղի համար հաշվարկված լարվածությամբ, ընդհանուր որական լարվածությունը (ցուցադրված է նկ. 3-ում) կարող է տրվել հետևյալ կերպ՝

$$q_1 = \int_{\partial\Omega} \sigma_{p_j} \mathbb{I}(\sigma_{p_j} > 0) dA \quad (4)$$

շարունակական մակերսույթի Ո համար, դրտեղ ցուցիչ Փոնկցիան է: Դիսկրետ սիմպլեքսների համար համապատասխան Ա տարածքում, որի շառավիղը  $R$  է, ընդհանուր որական լարվածությունը տրվում է հետևյալ կերպ:

$$q_1 = \sum_{K \in A_R} \sigma_K \mathbb{I}(\sigma_K > 0). \quad (5)$$

Նամանապես, ընդհանուր բացասական լարվածությունը  $q_2$  հաշվարկվում է: Այնուհետև, ավելի մեծ մեծության մաք(| $q_1$ |, | $q_2$ |) համար, մենք ընտրում ենք համապատասխան եղբեր, որու ունի լարվածության անձնաբարձր խոսքունքը տրված հատվածում որպես օպտիմալ բաժանման հարթություն, քանի որ դա ապահովում է առավելագույն լարվածության բուլացում: Այսպիսով, լարվածությունը տարածվում է ցանցի եղբերով՝ ցրելով լարվածությունը յուրաքանչյուր հանգույցի կետում:

Լարվածության տարածման ռեկուրսիվ կիրառումը կատարվում է մինչև լարվածության համակեցումը բոլոր վիճակներում, այսինքն՝  $\sigma_p^{(t)} \simeq \sigma_p^{(t-1)} \forall p \in V$ :

Լարվածության տարածումը բոլոր ուղղություններով բոլոր հանգույցների միջոց հանգեցնում է հետադարձ ճեղքման, ինչպես բացարկած է (O'Brien և Hodekins 1999): Դրանց հանսապես համար մենք տարածում ենք միայն այն եղբերով, որտեղ լարվածության մակարակները առավելացնուն են, բայց կատարում ենք լարվածության անձնաբարձր խոսքունքը տրված հատվածում որպես օպտիմալ բաժանման հարթություն: Այսպիսով, լարվածությունը տարածվում է ցանցի եղբերով՝ ցրելով լարվածությունը հանգույցի կետում:

Մեր սրբեսի տարածման հաշվարկային գործընթացը սահմանված է Ալգորիթմ 1-ում հավելվածում:

## Գիգիկապես հիմնված պատկերում

Եթե մենք ստեղծում ենք ճեղքերը ցանցի մակարդակում, մեր հաջորդ հապահության է ստեղծել այդ ճեղքերի տեսդաշտական պատակերություն: Ինչպես բոլոր *PRB* տեխնիկաները, մեր մեթոդը հիմնացած է միկրոֆասետ տեսության վրա, որը պնդում է, որ անվագած մակերևու կարգին է Ալպարգի փորդրիկ, կաստայալ անդրադառն հակեիներով, որոնք կոչվում են միկրոֆասետներ (*Pharr, Jakob, and Humphreys 2023*):

Համաձայն միկրոֆասետ տեսության և էներգիայի պահպանման, մենք օգտագործում ենք արտացոլման հավասարությունը.

$$L_o(x, \omega_o, \lambda, t) = L_e(x, \omega_o, \lambda, t) + L_r(x, \omega_o, \lambda, t) \quad (6)$$

Թող  $I_1$  լինի երկկողմանի արտացոլման բաշխման ֆունկցիան,

$$I_1 = f_r(x, \omega_i, \omega_o, \lambda, t)$$

և թող  $I_2$  լինի սպեկտրալ ճառագայթումը, որը գալիս է դեպի  $x_{w_i}$  ուղղությունից ժամանակի է պահին:

$$I_2 = L_i(x, \omega_i, \lambda, t)$$

Այնուհետև,  $L_r$  կարող է  
սահմանվել որպես

$$L_r(x, \omega_o, \lambda, t) = \int_{\Omega} I_1 \cdot I_2 \cdot (\omega_i \cdot \mathbf{n}) d\omega_i \quad (7)$$

որտեղ  $\Omega$ -ն միավոր կիսագլուխդն է, որը կենտրոնացած է  
մակերևության նորմայի շուրջ  $n - \omega_i$ -ի վրա անական, որ  $\omega_i \cdot n \geq 0$ :

Արտացոլման հավասարման վերացարկմամբ, մենք նպատակ ունենք ստեղծել մեր կուրտված ապակու ցանցի տեսողական պատկեր: Մենք ունենք  $L_e = 0$ , քանի որ ապակին լուս չի արձակում: Այժմ  $L_r$ -ի հաշվարկի համար մենք դիտարկում ենք ցանկացած ճեղք որպես միկրոֆասետ: Այնուհետև, մենք կարող ենք սահմանել  $L_r$  յուրաքանչյուր ճեղքի համար հետևյալ կերպ՝

$$L_r = L_i (\omega_i \cdot \hat{\mathbf{n}}) \quad (8)$$

Տրված են միավոր վեկտորները ( $\omega_0$ ) և ( $\omega_0$ ), որոնք համապատասխանում են աղմուրային ( $\alpha$ ) և զնիքային ( $\theta$ ) անկյուններին համապատասխանաբար, մենք հաշվարկում ենք միջին էներգիան, որը ընկնած է ենության վրա՝

$$\mathbb{E}(L_r) = \frac{|\hat{\omega}_\alpha \cdot \hat{n}_i| + |\hat{\omega}_\theta \cdot \hat{n}_i|}{2} \quad (9)$$

Որութեան՝  $y_i$ -ի ճեղքի միավոր մակերևութեան նորման է:

Թռող ( $I_r, I_g, I_b$ ) լինի լուսի աղբյուրի միջին ինտենսիվությունը: Անուհետև ճեղքի ինտենսիվությունը,  $I_c$ , սահմանվում է որպես

$$I_c = (I_r, I_g, I_b) \cdot \frac{\mathbb{E}(L_r)}{\sum L_x} \quad (10)$$

Ցանկացած նկար, որը կվեցովի, կցուցադրի օբյեկտների տուր հատկությունները իր ֆոկալ հարթությունն է: *Տեսախցիկը ծածկող առաջնակ պահանջն չխփանաց մոտ է և, հետևաբար, ֆոկալ հարթության մաս է հասանալ:*

Եթո ճեղք է առաջանում, լոյսի ճառագայթները անհավասար են անդադանում ենթի երկայնքով և ստեղծման են արդուուրյան (օրինակ՝ տրված է Նկ. 4-ում)։ Մերս ստեղծման ենք երկևետ իմաստ՝ հիմնաված ենթի նախշի վրա, այնուհետև աղոտացնում ենք պատկերի վրա դրված ճեղքեր։ Սա ստեղծման է հեռավոր-ֆլիկուսային պատկեր։  
Կարճ-ֆլիկուսային պասուերի համար մենք աղոտացնում ենք պատկերը և կենտրոնանում ենք առաջնային պլանի վրա, այսինքն՝ ենթի վրա։

Φηράρηκοιμ

Տվյալների հավաքածու

ՍԵՆՔ ՀԱՅԵՆՄԱՍՈՒՄ ԵՆՔ Կոտրված ապակու երկու տեսակի նախշեր՝ իրական և սիմուլացված, երեք հայտնի բաց կողով տվյալների հավաքածուների վրա՝ KITTI (Geiger et al. 2013), BDD100K (Yu et al. 2020) և MS-COCO (Lin et al. 2014): Առաջին երկուսը ներկայացնում են հնրանվազ վարորդական հատուկ որոր, մինչդեռ վերջինը ընդհանուր նպաստակով պատկերների հավաքածու է: Իրական կոտրված ապակու նախշերի պատկերները հավաքածած են FreePik կայքից<sup>1</sup> և մեր դեպքում ներկայացնում են հիմքը: ՄԵՆՔ ՀԱՎԱՔՐԵ ԵՆՔ ընդհանուր 65 պատկեր և ընդհանուր դրանք մինչև 10,000 պատկեր պատկերի ընդդամնան միջոցով՝ օգտագործելով պատահական տեղաշարժեր, պատկերի ջրումներ և կտրումներ: ՄԵՆՔ ՆԱև ստեղծում ենք 10,000 պատկեր մեր ֆիճիկական սիմուլացորի միջոցով: Այնուհետև մենք այս կոտրված ապակու նախշերը դում ենք մեր PBR խորվակաշարի միջոցով տվյալների հավաքածուների յուրաքանչյուր վավերացնան պատկերների վրա և հավաքում համախառն արդյունքները: ՄԵՆՔ օգտագործում ենք երեք մոդելի ճարտարապետություններ՝ YOLOv8, Faster R-CNN և PVTv2 մոդելներ նախապես ուսուցանված կշիռներով՝ օրիենտի հայտնաբերման արդյունքներ ստանալու համար:

Իրականացում

Մեր պիմուլացիոն մոդելը մշակված է՝ պատահականորեն նմուշառելով  $10^4$  մասնիկներ միատարած տարածական թաշխումից սրբած շրջանակում՝ CPU-ում: KD-ծաղր SciPy Python փաթեթից (Virtanen et al. 2020) օգտագործելով լեյլայն պարամետրերով կառուցվում է՝ յուրաքանչյուր մասնիկի մոտավոր ամենամոտ հարևաններով գտնելու համար: Այնուհետև Ներկների եռանկյունացում է իրականացվում մասնիկների վրա՝ ստեղծելու համար սահմանափակ եռանկյունային ցանց: Մենք օգտագործում ենք 500 միավոր հարվածային ուժ՝ պատահական հարվածային կետով և պատահական հարվածային վեկտորով: Լարվածութան տարածումը տեղի է ունենալ մինչև 300 միավորի շեմք հասնելը: PBR-ը իրականացվում է CPU-ում՝ նախորդ բաժնում նկարագրված մեթոդներով կիրառելով՝ օգտագործելով OpenCV և Python:

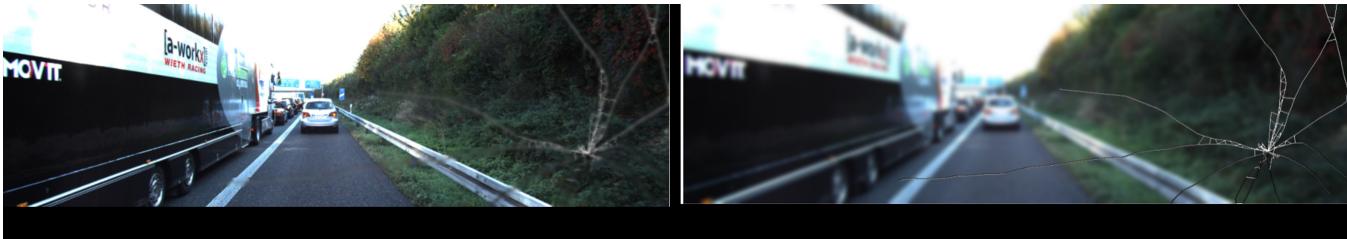
## Առաջնաբառեղ և քննառկույթ

Ազվերսարիալ օրինակների նախորդ աշխատանքներից հիմն ական տարերերությունն այն է, որ մեր ստեղծած ապկերսարիալ նախշերը չեն ազդում պատկերի բոլոր պիտսեների վրա համընդհանուր: Հետևաբար, համեմատությունը պետք է կատարվի միայն այն պատկերի հաստաժի համար, որտեղ նախշը առկա է: Այս նպաստակով մենք ստեղծում ենք յուրաքանչյուր նախշի բինար դիմակ և արդյունաբեր ներկայացնում ենք միայն այն օրիենտների համար, որոնք առնա են այդ նախորդ:

Աղյուսակ 1-ը ցուց է տախի միջին հզգություն (AP) արդյունքները, որոնք ստացվել են երկու տեսակի ճարերի համար համարվող (հավաքված աղացած և միմուլացված) գելերացալք հակառակորդային պատկերներին ներք տարբեր դասերի համար: KITT1-H համար, մյուս դասերի AP-Ն նվազում է, ինչպես սպասվում էր, AP-ի նվազման հետ մեկտեղ, որը համապատասխանում է պատկերում գրանցեցրած տոկոսին, Բնօնատար դասի հետ կապված գրանցվում է ամենամեծ նվազումը: BDD100K-ի համար PVTv2-B0-ով, մենք տեսնում ենք, որ AP-ի նվազումը ամենամեծն է սիմուլացված պատկերներում, քայլ ընդհանուր առանձնություն:

---

<sup>1</sup><https://www.freepik.com>



Նկար 4: (ա) ցույց է տալիս սիմուլացված պատկերը ճանապարհով և տրանսպորտային միջոցներով ֆոկալ հարթությունում (PBR և հեռավոր ֆոկուս): (բ) նշում է սիմուլացված ճարերի նախշը ֆոկալ հարթությունում (PBR և կարճ ֆոկուս):

Այլուսակ 1: Միջին ճգնաժամկետություն (տոլկուներով) տարբեր դասերի համար KITTI, BDD100k և MS-COCO-ում տարբեր հակառակորդային պատկերների ներքո: x-ը ապահովում է տվյալների հավաքածողի և ապակու ճարերի տեսակի միջև հարաբերությունը: Clean x Dataset - վերաբերում է անմիջապես տվյալ պատկերներին առանց որևէ հակառակորդային նմուշի: RO x Dataset - վերաբերում է առցանց հավաքած ճարած ապակու իրական պատկերներին, որոնք դրված են մարուր պատկերների վրա: Sim x Dataset - վերաբերում է սիմուլացված ճարերի նախշերին, որոնք դրված են մարուր պատկերների վրա:

Տվյալների սիմուլացիա	ԻօՍ շեմ	Կատեգորիա	Clean x Dataset	RO x Dataset	Sim x Dataset
KITTI (YOLOv8)	0.5	Հետիոտն	25.64	69.72	<b>17.84</b>
		Բեռնատար	12.39	<b>3.59</b>	3.76
	0.75	Car	58.99	<b>50.7</b>	57.73
		Հետիոտն	6.83	33.88	<b>6.02</b>
	0.5	Բեռնատար	11.29	<b>2.67</b>	2.79
		Car	31.25	<b>23.85</b>	30.15
BDD100k (PVTv2)	0.5	Հետիոտն	66.47	54.33	<b>25.95</b>
		Բեռնատար	61.97	<b>52.83</b>	<b>52.02</b>
	0.75	Car	80.37	70.14	<b>56.78</b>
		Հետիոտն	27.06	22.72	<b>10.60</b>
	0.5	Բեռնատար	47.03	<b>38.23</b>	42.52
		Car	46.23	45.97	<b>42.99</b>
MS- COCO (Faster R-CNN)	0.5	Մարդ	0.035	0.024	<b>0.024</b>
		Տրամադրության միջոցներ	2.14	<b>1.45</b>	1.87
	0.75	Food	35.34	<b>28.07</b>	30.65
		Մարդ	0.032	<b>0.022</b>	0.023
	0.5	Տրամադրության միջոցներ	1.56	<b>1.05</b>	1.07
		Food	24.59	<b>18.85</b>	22.00

տեղենցց պահպանվում է, և հետիոտնի դասը ցույց է տալիս ամենախստ անկումը: MS-COCO-ի համար մենք համախմբեցինք AP-ն սուպեր-կատեգրիաների համար՝ անձ, տրանսպորտային միջոցներ և սուուն: Սա այն պատճառով է, որ MS-COCO-ում շատ օբյեկտներ գրանցնում են ավելի փոքր տարածք պատկերի շրջանակում, ինչը դժվարացնում է բոլոր կատեգրիաներից իմաստափաց արդյունքներ ստանալը: Չատ հետաքրի արդյունք է, որ հետիոտնի դասը բազմապատճի աճ է ցույց տալիս AP-ում իրական կոտրված ապակու նախշերի տակ: Թեև այս տեղենցց կարող է հակասական թվական լինել, այն համարում է նկ. 2-ի արդյունքներին, որտեղ ավտոմեքենայի վստահությունը մեծանում է եղոր պատճառով: Սա իրականում ցույց է տալիս, որ AP-ն խիստ կախված է ճար նախշից, ինչը չափազանց կարուոր է դարձնում պաշտպանական մերժուաբանությունների ստեղծումը՝ այս հակառակորդային հարձակումները մեղմելու համար:

Աբլացիոն ուսումնասիրություններ

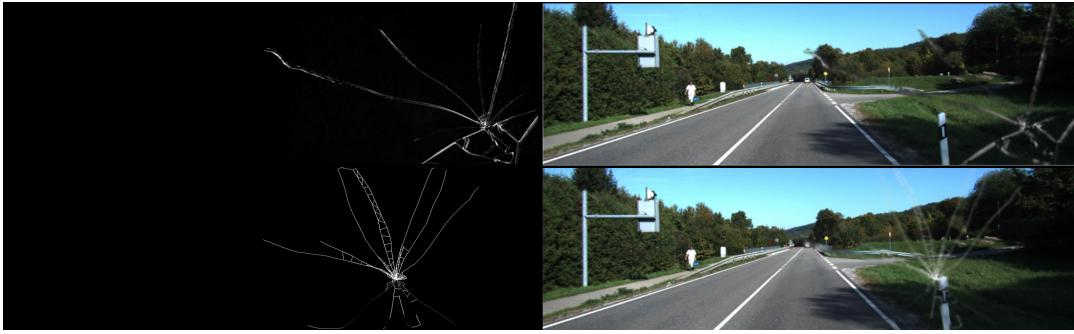
Մեր արդյունքները ցույց են տալիս, որ սիմուլացված պատկերները ստանում են նմանատիպ հակառակ ազդեցություն, ինչպես իր ական պատկերները: Հետևաբար, մեզ համար կարուոր է հասկանալ, թե որքան մոտ են սիմուլացված ճարերի նախշերը իրական ճարած ապակու նախշերին և այն նախշերին, որոնք հավաքվել են առցանց: Մենք ձևավորում ենք 5 բաշխումներ

- Իրական ճանապարհային տվյալների հավաքածող (պատկերների 2-ում)

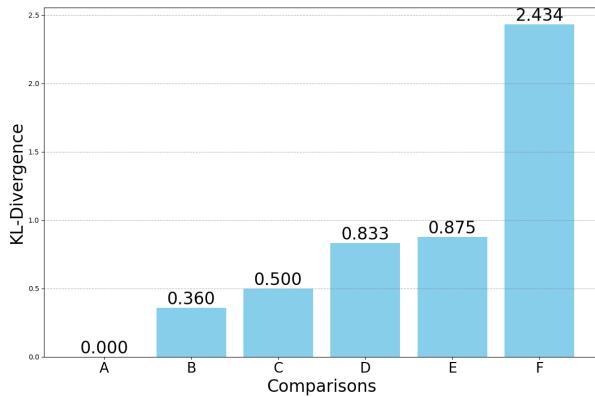
- Առցանց հավաքված ճարերի նախշերը (նկ. 5 վերևի ձախ)
- Մոդելավորված ճարերի նախշերը (նկ. 5 ներքևի ձախ)
- Մոդելավորված ճարերի նախշերը, որոնք դրված են KITTI-ի վրա (նկ. 5 ներքևի աջ)
- Ցանցում հավաքված ճարերի նախշերը դրված են KITTI-ի վրա (նկ. 5 վերևի աջ)

Այժմ մենք հաշվարկում ենք K-L շեղումը այս բոլոր բաշխումների միջև՝ հաշվարկելու համար, թե որքան նման են դրանք միմյանց (տես նկ. 6): Վերահսկողությունը ապահովվելու համար մենք համեմատում ենք KITTI-ն Kaggleg տվյալների հավաքածողի կատուների պատկերների հետ՝ ստանալով 2.434 K-L շեղում: Այդ սանդղակով, կոտրված ապակու PBR պատկերները 0.36 տարբերություն ունեն իրական կոտրված ապակու նախշերից, մինչդեռ KITTI պատկերների վրա դրված կոտրված ապակու ֆիլտրերը ունեն նման K-L շեղում:

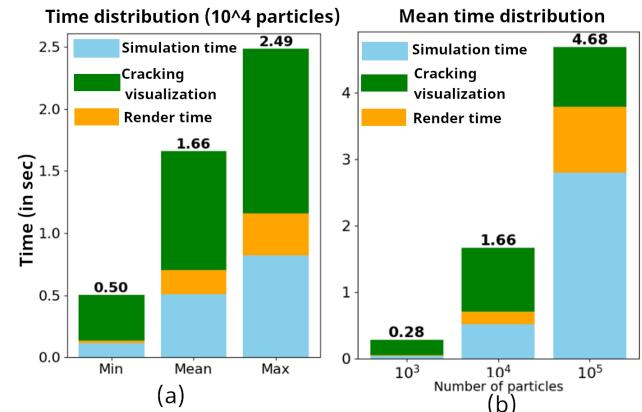
Նկ.7-ը ցույց է տալիս մեր մոդուլներից յուրաքանչյուրի հաշվարկման ժամանակի վերլուծությունը տարբեր քանակի նաև նիկեների համար: Մենք այս վերլուծությունը կատարում ենք 100 փորձարկումների վրա՝ զենեազներով պատահական ազդեցության կետեր, ազդեցության անկյուններ և ցանցի կառուցվածք՝ ֆիբսված մասնիկների քանակով: Տարբեր փորձարկումների հաշվարկման ժամանակի տարբերությունը կարող է վերագրվել ազդեցության կետին և ան-



Նկ. 5: Վերի ձախ - Ցանցի օրինակ, հավաքված առցանց FreePik-ում; Վերի աջ - առցանց ցանցի օրինակ, դրված KITTI-ի վրա; Ներքի ձախ - PBR-ով մոդելավորված ցանցի օրինակ; Ներքի աջ - մոդելավորված ցանցի օրինակ, դրված KITTI-ի վրա:



Նկ. 6: K-L շեղումը տարբեր զուգ պատկերների բաշխումների միջև:  
Տվյալաշրթեր: RC - Իրական ճանապարհային տվյալաշրթ (տես Նկ. 2), KITTI և Կառուներ: Զտիշներ: RO - Իրական (հավաքված առցանց) և Sim - Մոդելավորված: K-L շեղումը ( $x$  - համարության հարաբերություն): A - (Sim x KITTI) vs (Sim x KITTI); B - (Sim vs RO); C - (Մաքուր RC vs KITTI); D - (Կոտրված RC) vs (RO x KITTI); E - (Կոտրված RC) vs (Sim x KITTI); F - KITTI vs Կառուներ:



Նկար 7: (ա) Մեր խողովակաշարի տարբեր մոդելների կողմից 100 վլայի ընթացքում միջին ժամանակը: (բ) Տարբեր մոդելների կողմից 100 վլայի ընթացքում նվազագույն, առավելագույն և միջին ժամանակը  $10^4$  ամսնիկային ցանցի համար: Այս գծապատկերներում մենք ցուցադրում ենք սիմուլացիայի համար պահանջվող ժամանակը (սիմուլացիայի ժամանակը), ցանցը պահանջական է վերածելու գործընթացը (ճարտերի տեսանելիություն) և վերջապես պատկերումը (պատկերման ժամանակը):

Կյան անկյունին: Շաքերի պատկերավորման և արտապատկերման ժամանակը նույնպես տարբերվում է՝ պայմանավորված տարբեր չափերի դիմակներով, որոնք ձևավորվում են նաև ինքնի տարբեր նախշերի պատճենով: Մենք նաև փոփոխություն ենք մասնիկների քանակը և տեսնում, թե ինչպես է կատարված ժամանակը երազունցիայի առնմ մասնիկների քանակի ավելացման հետ: Այս բոլոր փոփոխությունները արտապատկերվել են KITTI տվյալների հավաքածուի պատկերների վրա ( $375 \times 1242 \times 3$ ) չափերով:

#### Եզրակացություն և ապագա տեսական

Մենք ներկայացրել ենք հակառակորդային խափանումների նոր դաս, որոնք առաջանում են տեսախցիկի խափանումների ֆիզիկական գործընթացից: Այս հողվածում մենք առաջարկում ենք մոտեցում՝ ֆիզիկական մոդելավորումից ստացված իրական կոտրված պապակու օրինակ ստորցելու և այն ֆիզիկական հիմքով՝ պատկերների տվյալաշրթերին ներդնելու համար: Մենք ցույց ենք տալիս, որ մոդելավորված հակառակորդային պատկերները կարող են հանգեցնել օրինակի հայտնաբերման էական սխանների:

Այս աշխատանքում մենք անդրադառնում ենք սև արկրի հակառակորդային հարձակումներին, որոնք ծագում են իրական աշխարհի, բնականորեն առաջացող ֆիզիկական երևություններից, ոչ թե արհեստականորեն ստեղծված՝ հասուն մոդելի թերությունները շահագործելու համար:

Խոցելիություններ: Մենք ենթադրում ենք, որ մոդելի հասկությունների, քաշերի կամ ճարտարապետության մասին ոչ մի գիտելիք չունենք, սպառնույթով, որ հարձակումները փոխանցելի են տարբեր մոդելների միջև: Ֆիզիկական հակառակորդային մեթոդները (Թափանցիկ կարգատան, RPP) կարող են բոլոր համար որպես խոշնդոտներ կամ տեսախցիկի, կամ նկարահանվող օբյեկտների: Համար պահանջվող անդրադառնությունը պահի է մոդելի եղանակության աղեցնությունից՝ այս խոշնդոտների պատճենում: Մեր PBR խողովակաշարը խառնվում է ենթերը սկզբանաբար պատկերների հետ՝ որպես թափանցիկ, մշշուռ նախշեր, աղեղով թաքնված տարածության կողավորման վրա՝ փոխարենը ուղղակի խոշնդոտման, ինչը հանգեցնում է միայն հայտնաբերումների:

Քեզ այս աշխատանքը ներկայացնում է ֆիզիկայի վրա հիմնված մերժ՝ կուրված ապակու նախշերի գեներացման համար, տեսախցիկի խափանումները ներառում են նաև այլ աղեցնություններ, ինչպիսիք են արկի շորքը, գերլուսավորումը, թերուսավորումը, խոսցումը և այլն: Մեր ապագա աշխատանքը կվենտրոնանա այս աղեցնությունների հրականիստուկան գեներացման համար հակառակորդային գործքակազմի ստեղծման վրա՝ օգտագործելով ֆիզիկա, և այնուհետև դրան տեղադրելով առկա պասուերների տվյալների հավաքածուների և ավտոմետրների սիմուլացիոն հարցակների վրա՝ խթանելու հետագա հետազոտությունները մասնակի տեսախցիկի խափանումների ոլոր տում:

## Աղյուրներ

Ախթար, Ն.; և Միան, Ա. 2018: Հակառակորդային հարձակումների սպառնալիքը խորքային ուսուցման վրա համակարգային տեսողության մեջ՝ հարցում: *IEEE Access*, 6: 14410–14430:

Կարլինի, Ն.; և Վագներ, Դ. 2017: Հակառակորդային օրինակները հեշտությամբ չեն հայտնաբերվում. տարօ հայտնաբերման մեթոդների ջրանցում: Արհեստական բանականության և անվտանգության 10-րդ ACM աշխատաժողովի նյութերում, 3–14:

Չեշարելի, Ա.; և Սեջի, Ֆ. 2022: RGB տեսախցիկների խափանումները և որանց ազեցությունը ինքնավար վարորդական կիրառություններում: *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*: Կոլումբ, Կ.-Ա. 1776: Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à la architecture: *Mem. Acad. Roy. Div. Sav.*, 7: 343–387: Դավի, Ն.; Դմիտրով, Պ.; Մասսամ, Սամակայ, Ա.; և Վերմա, Դ. 2004: Հակառակորդային դասակարգում: Գիտելիքների հայտնաբերման և տվյալների հանրարյունաբերության տասմերորդ ACM SIGKDD միջազգային կոնֆերանսի նորմերում, 99–108: Էկոնոմ, Կ.; Էվտիմով, Ի.; Ֆերնանդես, Է.; Լի, Բ.; Ռահմարի, Ա.; Սյառ, Յ.; Պրակաշ, Ա.; Կոհն, Տ.; և Սոնգ, Դ. 2018: Խոր ուսուցման տեսողական դասակարգման վրա ֆիզիկական աշխարհի կայուն հարձակումներ: *IEEE համակարգային տեսողության և նախշերի ճանաչման և տվյալների անսի նյութերում*, 1625–1634: Գայգեր, Ա.; Խենգ, Պ.; Ստիլիեր, Յ.; և Ուրսասուն, Ո. 2013: Տեսողությունը հանդիպում է ոռրոտիկային. KITTI տվյալների համարածու: *International Journal of Robotics Research (IJRR)*: Գուլֆելուու, Ի. Ջ.; Շլենս, Ջ.; և Սագետի, Յ. 2014: Հակառակորդային օրինակների բացատրություն և օգտագործում: *arXiv preprint arXiv:1412.6572*: Իրեն, Հ. Ն.; և Օ'Բրայեն, Ջ. Ֆ. 2009: Մակերևույթի նարեկ նախշերի գեներացում: *Graphical Models*, 71(6): 198–208: Յոնտեր, Գ.; Զառորասիս, Ա.; և Քիու, Ջ. 2023: Ultralytics Y OLO: Կոնգ, Ջ.; Գուու, Ջ.; Լի, Ա.; և Լիու, Յ. 2020: Phrysgan: Ֆիզիկական աշխարհի կայուն հակառակորդային օրինակների գեներացում ինքնավար վարորդության համար: *IEEE/CVF համակարգային տեսողության և նախշերի ճանաչման կոնֆերանսի նյութերում*, 14254–14263: Կոնսա, Ա. 2013: Վերջավոր տարրեր ճեղքման մեխանիկայում: Պինդ մեխանիկա և դրս կիրառությունները, 201: 153–192: Կուրակին, Ա.; Գուլֆելուու, Ի. Ջ.; և Բենջին, Ս. 2018: Հակառակորդային օրինակներ ֆիզիկական աշխարհում: Մրեսոսական բանականություն և պաշտպանություն, 99–112: Chapman and Hall/CRC: Լի, Ջ.; Շմիդտ, Ֆ.; և Կոլտեր, Ջ. 2019: Հակառակորդային տեսախցիկի պիտակներ. ֆիզիկական տեսախցիկի վրա հիմնված հարձակում խոր ուսուցման համակարգերի վրա: Մերենայական ուսուցման միջազգային կոնֆերանսի նյութերում, 3896–3904: PMLR: Լին, Տ.-Յ.; Մաեր, Ս.; Բելոնցի, Ս.; Հեյս, Ջ.; Պերոնա, Պ.; Ռամանան, Դ.; Դոլլար, Պ.; և Զիտնիկ, Յ. Լ. 2014: Microsoft COCO: Համատեքստում ընդհանուր օբյեկտներ: Համակարգային տեսողություն–ECCV 2014: 13-րդ Եվրոպական կոնֆերանս, Ցյուրիխ, Շվեյցարիա, սեպտեմբերի 6–12, 2014, նյութեր, մաս V 13, 740–755: Springer:

Liu, Y.; Xing, Y.; Li, C.; Yang, C.; և Xue, C. 2021: Ծզգիտ ապակու ձուլման մեջ ոսպնյակի կոտրվածքի վերլուծություն վերջապահ տարրերի մեթոդով: *Applied Optics*, 60(26): 8022–8030: Nguyen, A.; Yosinski, J.; և Clune, J. 2015: Խորը մերոնային ցանցերը հետարյակացնելու մեջ մերժության մասին: *IEEE համաժողով համակարգային տեսողության և նախշերի ճանաչման վերաբերյալ*, 427–436: O'Rourke, Ջ. Ֆ.; և Հոգիկինս, Ջ. Կ. 1999: Կոտրվող կոտրվածքների գործիկական մոդելավորում և անհմացիա: *ACM SIGGRAPH 1999-ի նյութերում*, 137–146: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. Pfaff, T.; Narain, R.; De Joya, J. M.; և O'Rourke, Ջ. Ֆ. 2014: Բարակ թերթերի աղապտիվ պատում և ճարում: *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4): 1–9: Pharr, M.; Jakob, W.; և Humphreys, G. 2023: Ֆիզիկական հիմնված պատկերում. տեսողությունից մինչև իրականացում: MIT Press. PK, A. ????: Kaggle կատուներ և շներ փոքր տվյալների հավաքածու: h  
t  
t  
p  
s://  
w  
[ww.kaggle.com/datasets/aleemaparakatta/cats-and-dogs-mini-dataset](http://www.kaggle.com/datasets/aleemaparakatta/cats-and-dogs-mini-dataset): Մուտքագրված է՝ 2024-09-30: Rankine, W. J. M. 1857. II. Թափանցիկ հողի կայունության մասին: Լոնդոնի թագավորական ընկերության փիլիսոփայական գործարքներ, (147): 9–27: Ren, S.; He, K.; Girshick, R.; և Sun, J. 2016: Արագ R-CNN. իրական ժամանակի օբյեկտի հայտնաբերման ուղղությամբ՝ տարածաշրջանային առաջարկների ցանցերով: *IEEE նախշերի վերլուծության և մերենայական բանականության գործարքներ*, 39(6): 1137–1149: Rouxel, T.; և Brow, R. K. 2012: Առաջանձ ապակիների հոսքը և կոտրվածքը՝ ակնարկ: *International Journal of Applied Glass Science*, 3(1): 1–2: Սգետերի, Յ.; Zaremba, W.; Sutskever, I.; Bruna, J.; Erhan, D.; Goodfellow, I.; և Ferg us, R. 2013: Նեյրոնային ցանցերի հետաքրի հատկությունները: *arXiv preprint arXiv:1312.6199*: Tu, J.; Ren, M.; Manivasagam, S.; Liang, M.; Yang, B.; Du, R.; Cheng, F.; և Ուրսասուն, Ո. 2020: Ֆիզիկական իրականային հակառակորդական օրինակներ իրար օբյեկտի հայտնաբերման համար: *IEEE/CVF համաժողով համակարգային տեսողության և նախշերի ճանաչման վերաբերյալ*, 13716–13725: van Schricker, D. 1997: Վերահսկման, խափանմաների հայտնաբերման և ախտորոշման ոլորտի տերմինաբանության վերաբերյալ դիտողություններ: *IFAC Proceedings Volumes*, 30(18): 959–964: Virtanen, P.; Gommers, R.; Oliphant, T. E.; Haberland, M.; Reddy, T.; Cournapeau, D.; Burovski, E.; Peterson, P.; Weckesser, W.; Bright, J.; van der Walt, S. J.; Brett, M.; Wilson, J.; Millman, K. J.; Mayorov, N.; Nelson, A. R. J.; Jones, E.; Kern, R.; Larson, E.; Carey, C. J.; Polat, I.; Feng, Y.; Moore, E. W.; VanderPlas, J.; Laxalde, D.; Perktold, J.; Cimrman, R.; Henriksen, I.; Quintero, E. A.; Harris, C. R.; Archibald, A. M.; Ribeiro, A. H.; Pedregosa, F.; և van Mulbregt, P. և SciPy 1.0 Contributors. 2020: SciPy 1.0. Հիմնական ալգորիթմներ գիտական հաշվարկների համար Python-ում: *Nature Methods*, 17: 261–272: Wang, W.; Xie, E.; Li, X.; Fan, D.-P.; Song, K.; Liang, D.; Lu, T.; Luo, P.; և Shao, L. 2022: Pvt v2. Բարելավված հիմքեր բուրգային տեսողական փոխակերպիչով: Համակարգային տեսողական մեղիա, 8(3): 415–424:

Yu, F.; Chen, H.; Wang, X.; Xian, W.; Chen, Y.; Liu, F.; Madhavan, V.; և Darrell, T. 2020. BDD100K. Տարբերակված վարորդական տվյալների հավաքածու բազմաբնույթ ուսուցման համար: *IEEE/CVF* համաժողով համակարգչային տեսողության և նախշերի ճանաշման վերաբերյալ, 2636–2645: Zolfi, A.; Kravchik, M.; Elovici, Y.; և Shabtai, A. 2021. Թափանցիկ կարկառուան. ֆիզիկական և համընդհանուր հարձակում օրիենտի դետեկտորների վրա: *IEEE/CVF* համաժողով համակարգչային տեսողության և նախշերի ճանաշման վերաբերյալ, 15232–15241:

## Լարվածության տարածման ալգորիթմ

Ալգորիթմ 1-ը նկարագրում է նյութի միջով լարվածության տարածման սիմուլացիայի ընթացակարգը հարվածից հետո: Ալգորիթմը որպես մուտքային տվյալներ ընդունում է հարվածի տեղը ( $pt$ ), հարվածի ուժի մեծությունը ( $F$ ), հարվածի ուղղության վեկտորը ( $v$ ) և հարվածի վայրին կապված ծովական եզրը ( $PE$ ): Այն նաև օգտագործում է մոտական հարևանների շառավիղը  $R$  լարվածության տարածման թեկնածու վայրերի հավաքածուն որոշելու համար:

Ալգորիթմ 1: Լարվածության տարածում

```
1:  $pt \leftarrow$  Հարվածի կետ
2:  $F \leftarrow$  Հարվածի ուժ
3:  $PE \leftarrow$  Ծնողական եզր
4:  $v \leftarrow$  Հարվածի վեկտոր
5:  $R \leftarrow$  Ամենամոտ հարևանի շառավիղ
6:
7: գործընթաց  $\text{PROPAGATESTRESS}(Pt, F, V, PE)$ 
8:      $frontiers \leftarrow KDTTree - queryRadius(R)$ 
9:      $NN \leftarrow \frac{frontiers - pt}{\|frontiers - pt\|}$ 
10:     $\cos(\theta) \leftarrow NN \cdot v$ 
11:     $stress \leftarrow calculateStress(\cos(\theta), F)$ 
12:     $frontiers \leftarrow frontiers[argmax(stress)]$ 
13:     $v \leftarrow v[argmax[stress]]$ 
14:     $PE \leftarrow PE[argmax[stress]]$ 
15:   $\text{PROPAGATESTRESS}(Pt, F, V, PE)$ 
16: ավարտել
ընթացակարգը
```

Սկզբում այն օգտագործում է KD-ծառ տվյալների կառուցվածքը՝ արդյունավետորեն հարցման համար բոլոր կետերը (սահմանները) տրված շառավիղը  $R$  ազդման կետից: Յուրաքանչյուր սահմանափակը համար այն հաշվարկում է միավոր ուղղության վեկտոր ազդման կետից սահմանափակը ( $NN$ ): Այնուհետև այն նախագծում է ազդման վեկտորը  $v$  այս ուղղության վրա՝ ստանալու կոսինուսային նմանությունը  $\cos(\theta)$ , որը որսում է անկյունային հարաբերությունը ազդման ուղղության և թեկնածու տարածման ուղղության միջև: Յուրաքանչյուր թեկնածուի համար ստացված արժեքը օգտագործվում է ազդման ուժի հետ միասին՝ այդ կետում համապատասխան լարվածությունը հաշվարկելու համար: Ալգորիթմը այնուհետև ընտրում է առավելագույն լարվածության արժեքը ունեցող թեկնածուին: Ազդման վեկտորը  $v$  և ծնողական եզրը  $PE$  թարմացվում են՝ համապատասխանելու այս նոր ուղղությանը: Գործընթացը կրկնվում է ուղղությունը կերպով, թույլ տալով, որ մոդելավորված լարվածության ալիքը տարածվի նյութի միջով առավելագույն լարվածության փոխանցման ուղիղությանը:

Այս մուեցումը նպատակ ունի նմանակել, թե ինչպես է լարվածությունը ազդման կետից ամենայն հավանականությամբ ճառագայթվում լիութի միջով՝ նախընտելով հետևել ուղիներին, որոնք սահմանված են ինչպես երկրաշափական մոտիկությամբ, այնպես էլ մեխանիկական համարունչությամբ սկզբնական ազդման հետ:

Սիմուլացիայի վերջնական արդյունքը ցանցի պատկերն է, որը համապատասխանում է կոտրված ոսպնյակի նախշին (նկար 8-ի վերջնական պատկեր):

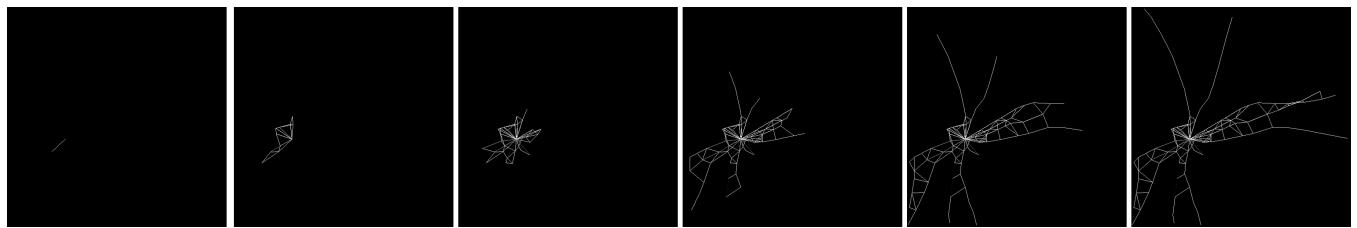


Figure 8: Ոսպնյակի ճեղքման անհմացիա, որը մոդելավորվել է սրբեսի դաշտի սահմանմամբ և PB-ի կիրառմամբ

R.

## Ստատիկ Փորձարկում

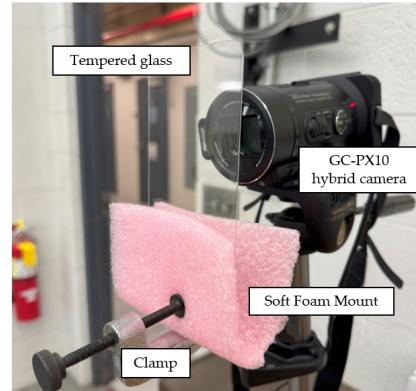
Այս ճեղքերի ազդեցությունը ստացված պատկերների վրա հասկանալու համար մենք նախ կատարում ենք ներփակում: Այս փորձարկում, ինչպես նշված է Բաժին Ներածություն-ում: Այս փորձարկման համար մենք օգտագործում ենք տարբեր կարծրացված ապակու թերթեր, որոնք պատահականորեն կո տրում ենք փոքր մուրճով՝ մեկ կամ մի քանի կոտրման կետերով: Այնուհետև, մենք տեղադրում ենք 36 ՄՊ JVC GC-PX10 հիբրիդային տեսախցիկը, որը ամրացված է եռոտանի վրա սեղմակով՝ կարծրացված ապակու դիմաց:

Նկ. 9(a)-ում ցուցադրված է մանրամասն տեղադրումը՝ տեսախցիկի ամրակով և կարծրացված ապակին սեղմակով պահված: Նկ. 9(b)-ում ցուցադրված է տեսախցիկի կողմից նկարահանված պատկերը, իսկ Նկ. 9(c)-ում ցուցադրված է մենք ենթադրում որ տեղադրված է որպես հիմն ական օրիենտ, որը նկարահանվում է տեսախցիկի կողմից կարծրացված ապակու միջոցով: Տեսարանը լուսավորվում է վերևի ֆլուորեսցենտրային լուսերով:

Նկ. 10-ում ցուցադրված էն կարծրացված ապակու վրա որոշ ճեղքեր/թերձվածքների նախշեր: Այս նախշերը դիտավորյալ պատահականացվել են՝ օգտագործելով բազմաթիվ ֆոկուսային կետեր և տարբեր ուժեղությունուն մակարդակներ՝ նմանակելու հրական աշխարհի ապակու վնասվածքների անկանխատեսելի և բազմազան բնույթը: Տարբեր ուժեղությունուն մակարդակների կարողացանք ստեղծել ենթադրելի և թերձվածքների սպեկտրը՝ սկս ած նույր մակերեսային թերձվածքներից մինչև ավելի արտահայտված ճեղքեր: Այս մոտեցումը ընտրվել է՝ իրական պայմաններում ապակու մակերեսների վնասվածքների տեսակները մոտավորաբար վերաբերելու համար, ինչպիսիք են հարվածների, աղբի կամ շրջակա միջավայրի սրբազնությունը պատճառած վնասները, այդպիսով ապահովելով մեր փորձարկման տեղադրման համապատասխանությունն ու իրատեսությունը: Այս ներկայացնությական վնասվածքների նախշերը թույլ են տալիս մեզ ավելի արդյունավետ վերլուծել ապակու անկատարությունների ազդեցությունը սենսորների աշխատանքի և օրինակների համար համար, թե ինչպես են պատկերները երևում մոտ և հեռու ֆոկուսում: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ նոյնիսկ փոքր թերձվածքների նախշերը հայտնվում են պատկերի արդյունքում, մինչդեռ ավելի ուժեղ բազմաթիվ թերձվածքները նախը կարող են գրեթե ամբողջությամբ աղոտացնել պատկերը: Այս փորձը տրամադրում է այն հնտուիցիան, որի վրա հիմնված է մեր սիմուլացիայի և վիզուալիզացիայի շրջանակը:

## Հետիոտների համար AP-ի բարձրացում KITTI-ում

Մենք ցանկանում ենք նշել, որ հետիոտների դասի համար AP-ի բարձրացումը մեզ համար նույնական անակնկա էր սկզբում: Սակայն, մանրակրկիտ որակական վերլուծությունը օգնեց մեզ հասկանալ, որ սա տեղի էր ունենում ապակու ճեղքերի արդյունքում, որոնք հեշտացնում են մոդելին դասակարգել հետիոտներին՝ նրանց շրջը ուժեղացված եղուրի պատճառով: Սա եղի արտեֆակտ չէր, այլ ապակու ճեղքը հանդես էր գալիս որպես լրացույցի եզրային սահման, որը հստակ բաժանում էր հետիոտնին և ֆոնին: Նման արդյունքը նկատվեց նաև [1]-ում, որտեղ ընդհանուր AP-ն բարձրացավ հակառակորդական պատկերներում:



(a)



(b)

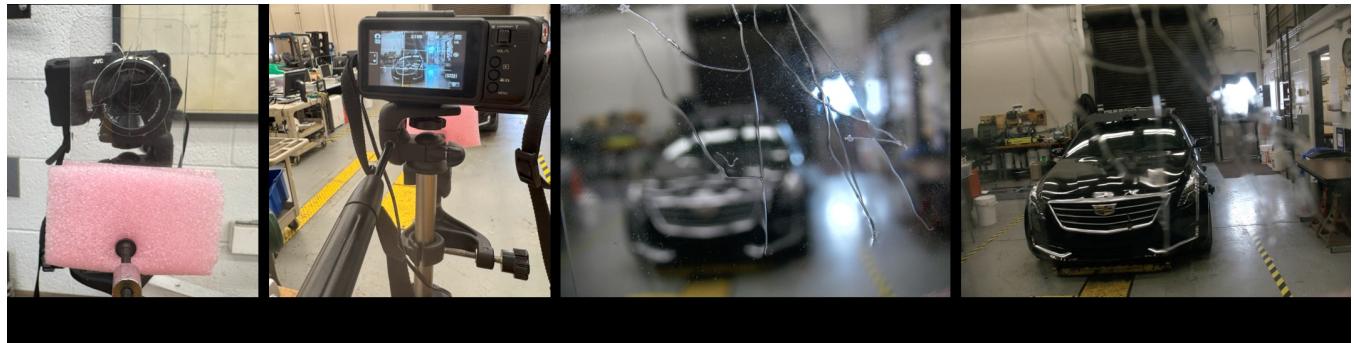


(c)

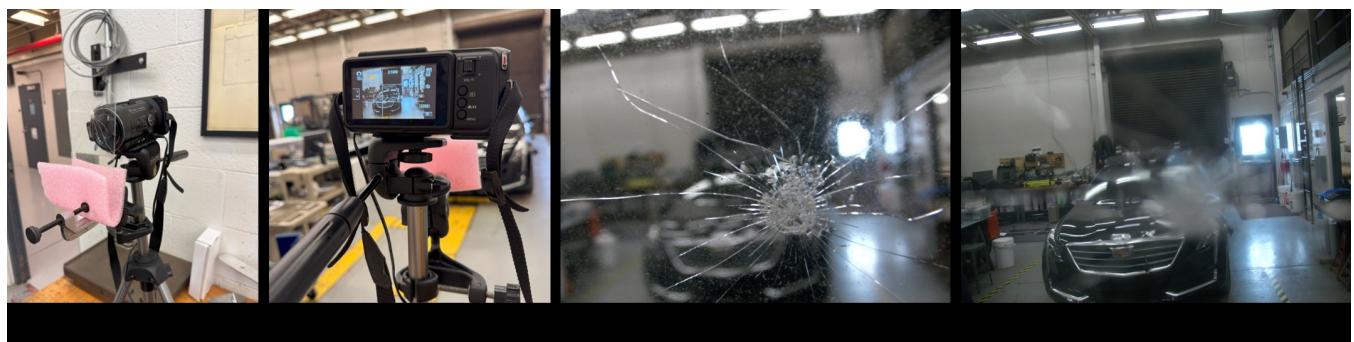
**Նկար9:** Փորձարարական կարգավորումը՝ թերձված/կոտրված արտաքին շերտերով ազդված պատկերներ հավաքելու համար: (ա) ցույց է տալիս ամբողջ կարգավորումը՝ հակառակորդային պատկերներ ստանալու համար: (բ) ցույց է տալիս տեսախցիկի դիրքը՝ նկարահանվող տեսարանի նկարահանվող տեսարանը տեսախցիկի կողմից նկարահանվող տեսարանը



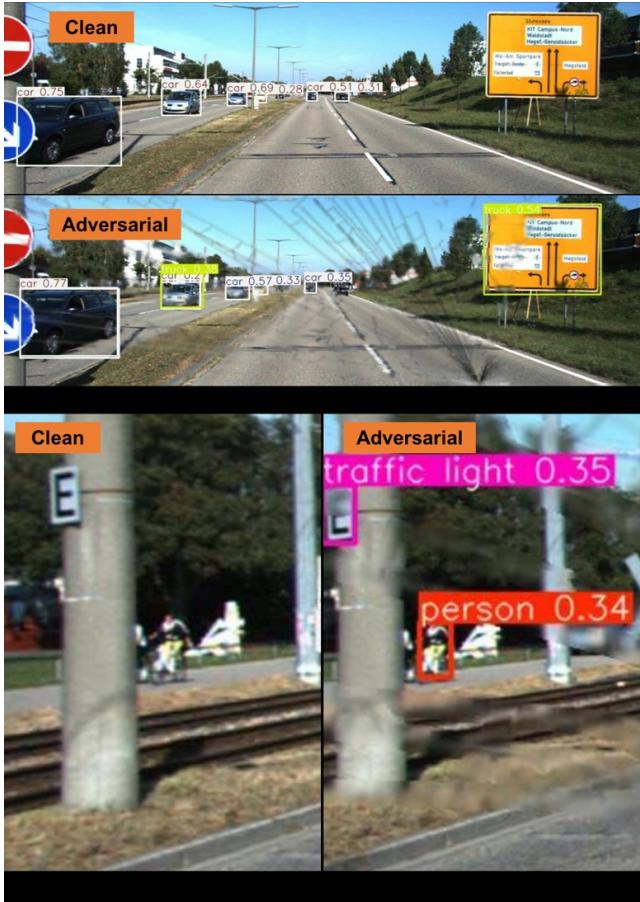
Նկար 10: Որոշ ճարեր/քերծվածքների նախշեր ապակու վրա, որը մենք օգտագործել ենք պատկերների հավաքագրման համար: (ա) Սուր ուժ կիրառված ուղղահայաց ապակու մակերեսին, առաջացնելով ճարեր, որոնք տարածվում են ճառագայթային: (բ) և (գ) կրկնօրինակում են քերծվածքներով ապակին



Նկար 11: (ա) Ցույց է տալիս քերծվածքների նախշը, որը տեղադրված է տեսախցիկի առջև, (բ) ցույց է տալիս տեսախցիկի տեսանկյունը: (գ) ցույց է տալիս տեսախցիկի կողմից նկարահանված պատկերը (կարճ ֆոկուս): (դ) ցույց է տալիս տեսախցիկի կողմից նկարահանված պատկերը (հեռու ֆոկուս)



Նկար 12: (ա) Ցույց է տալիս կոտրված ապակու նախշը տեսախցիկի առջև, (բ) ցույց է տալիս տեսախցիկի տեսանկյունը: (գ) ցույց է տալիս տեսախցիկի կողմից նկարահանված պատկերը (կարճ ֆոկուս): (դ) ցույց է տալիս տեսախցիկի կողմից նկարահանված պատկերը (հեռու ֆոկուս)



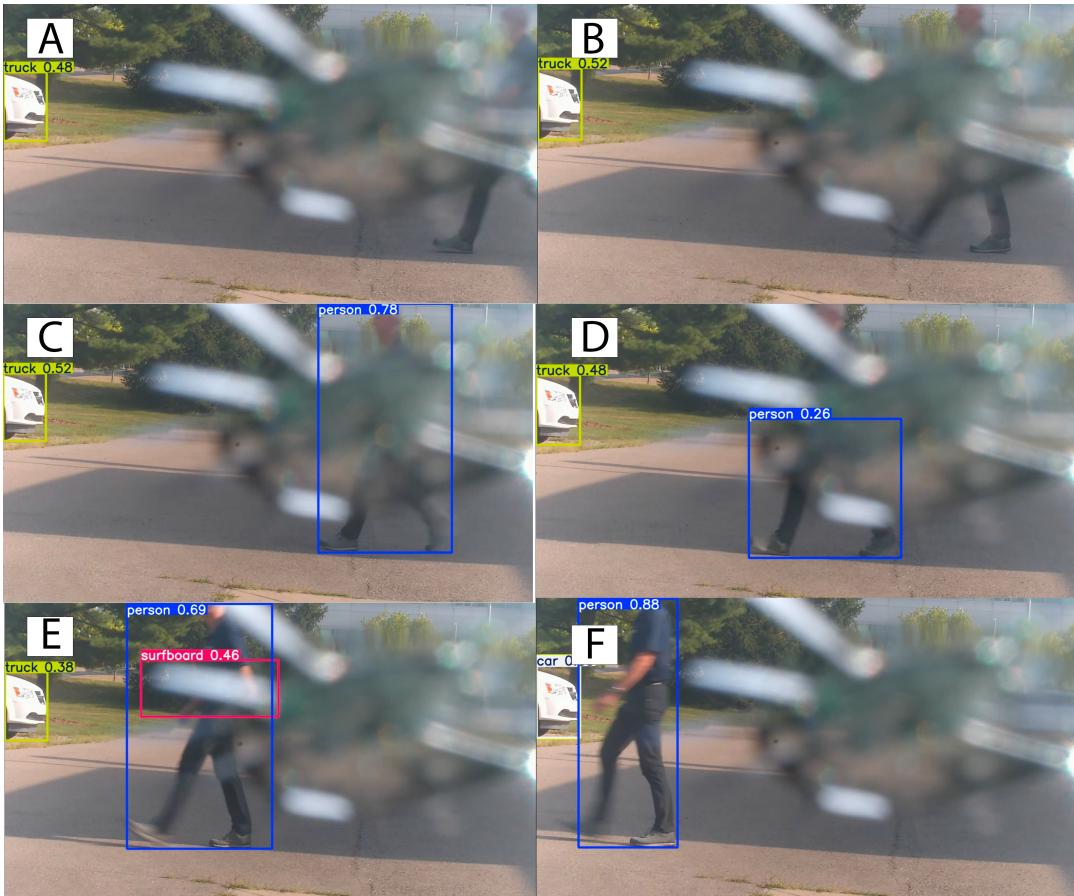
Նկար 13: (ա) Վերևում - հայտնաբերումներ մաքուր պատկերում; ներքևում - հայտնաբերումներ հակառակորդական պատկերում: (բ) YoLo-ն չի կարողանում հայտնաբերել անձին (գ) Ապակու ճարերը թույլ են տալիս մոդելին հայտնաբերել անձին:

## Դինամիկ փորձարկում

Այս բաժնում մենք նկարագրում ենք դինամիկ փորձարկումը, որը նշված է Բաժին Ներածություն-ում: Մենք կատարում ենք այս փորձարկումը՝ հասկանալու համար ճեղքի առաջացրած ժամանակային խանգարումը: Մենք օգտագործում ենք տրանսպորտային միջոցի առջևի ապակու ճեղք և փոքր տեսախցիկ տեղադրում ենք վահանակի վրա՝ ճեղքի հետևում: Այնոհետև լրացնեարում ենք երկու դինամիկ օրենկունե՞՞ն՝ տրանսպորտային միջոց և ճետիուն, երբ նրանք շարժվում են տեսարանի միջով: Նկ. 14-ը ներկայացնում է դրոշակի պատկերային կադրեր՝ YOLOv8-ի միջոցով տրանսպորտային միջոցի դասի համար արված եզրակացույթուններով: Մենք ցույց ենք տալիս, որ ճեղքի առկայությամբ տրանսպորտային միջոցը մնում է շնայտնաբերված կադրերի մեծ մասում: Բացի այդ, գրեթե յուրաքանչյուր կադր պարունակում է սխալ դրական: Համապատասխանաբար, մենք ներկայացնում ենք Նկ. 15-ը՝ որպես կատրեր, որտեղ մարդոց քայլում է տեսարանում: Մենք ցույց ենք տալիս, որ այն ժամանակ առ ժամանակ ապահովում է հայտնաբերում և երթեմն սխալ դասով (սերֆորդ):



Նկար 14: Առջևի ապակու ճեղքով արված պատկերների որոշակի կադրեր՝ YOLOv8-ի միջոցով մեթնայի դասի համար: A - սխալ դրական՝ տեսարանում օբյեկտ չկա; B - մեթնայի վրա եզրակացություն չկա; C - մեթնայի վրա եզրակացություն չկա; D - մեթնայի առաջին հայտնաբերում; E - երկու տարրեր հայտնաբերումներ նույն մեթնայի վրա; F - սխալ սահմանափակող տուփի տարածք:



Նկար 15: Առօկի ապակու ճեղքով արված պատկերների որոշակի կադրեր՝ YOLOv8-ի միջոցով անձի դասի համար: A - անձի առաջին մուտքը տեսարան՝ առանց հայտնաբերման; B - անձի հայտնաբերում չկա; C - անձի առաջին հայտնաբերում; D - անձի մասնակի հայտնաբերում; E - անձի հայտնաբերում այլ դասի հետ; F - անձի ամբողջական հայտնաբերում:

## Իրական ապակու ճեղքման պատկերներ

Մենք ներկայացնում ենք FreePik կայքից հավաքված ապակու կոտրվածքների պատկերների օրինակ, որոնք տեղադրված են Kitti տվյալների հավաքածուի վրա՝ YOLOv8-ի վերլուծությամբ (Նկ. 16): Մենք ցույց ենք տալիս, որ կոտրվածքը հեռացնում է որոշ հայտնաբերումներ և նվազեցնում է մյուսների հայտնաբերման վստահությունը:



Նկար16: Վերևում՝ РТv2-ի եղրակացությունը մաքուր պատկերով BDD100K-ից: Ներքում՝ իրական կորուված ապակու պատկերով եղրակացությունը, որը դրված է BDD100K-ի վրա համեմատության համար: Մենք տեսնում ենք երկու լրացուցիչ սխալ դրական արդյունքներ աջ կողմում (քեզնատար, ավտոմեքենա) և մի քանի սխալ բացասական արդյունքներ հետիուննի դասի համար՝ հակառակորդային պատկերի ձախ կողմում: