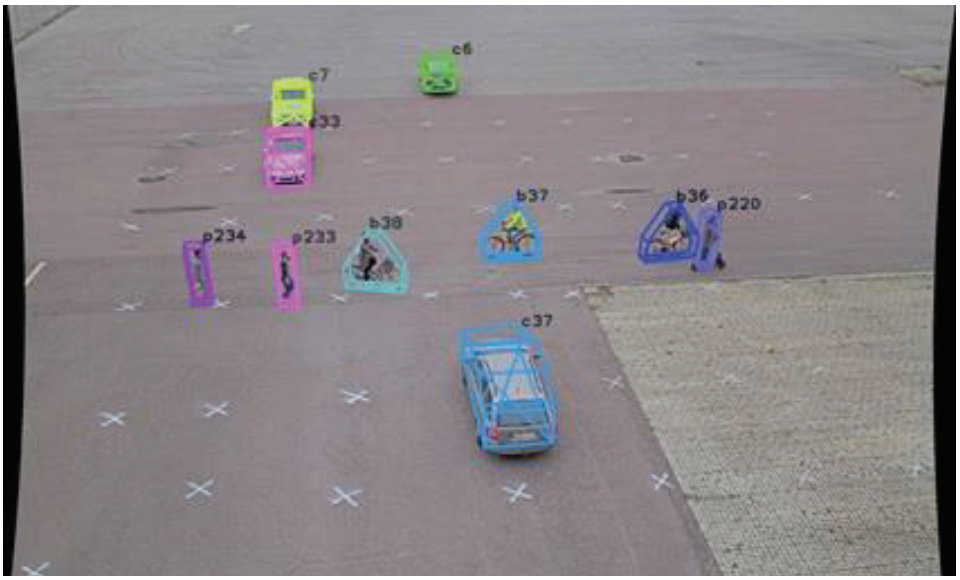
The Third Eye



Författare: Mikael Nilsson, Aliaksei Laureshyn, Håkan Ardö, Mikael SW Nilsson
Datum: 2022-10-31
Projekt inom Machine Learning FFI – 2017-12-12

FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation
VINNOVA Energimyndigheten TRAFIKVERKET
FKG VOLVO SCANIA VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning 3

2 Executive summary in English 4

3 Bakgrund 5

4 Syfte, forskningsfrågor och metod 6

5 Mål 6

6 Resultat och måluppfyllelse 7

7 Spridning och publicering 9

7.1 Kunskaps- och resultatspridning 9

7.2 Publikationer 10

8 Slutsatser och fortsatt forskning 11

9 Deltagande parter och kontaktpersoner 12

Kort om FFI
FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Tre parter, Axis Communications AB (AXIS), Matematikcentrum vid Lunds Universitet (LTH-MATH) och Teknik och Samhälle vid Lunds Universitet (LTH-TOS) har gemensamt drivit projektet. Projektet ämnade bygga en sensor, utveckla mjukvara och undersöka maskininlärningsmetoder för trafikanalys. I huvudsak har projektet följt stegen med respektive kompetensen från de olika parterna, dvs från sensor (AXIS) via algoritmer (LTH-MATH) till trafikanalys (LTH-TOS). Partnerkompetensen har således lett till en ny innovativ hårdvara (kamera) som prototyp, nya unika maskininlärningsmetoder kopplat till hårdvaran och möjliggjort trafikanalys med ny data.

Tre versioner av en prototypen konstruerades under projektet. Den första bestod av en kombination av standardprodukter som redan var kommersiellt tillgängliga. Därmed kunde den färdigställas tidigt i projektet för att sedan testas och utvärderas i fält. Utvärderingen resulterade i en bättre bild av vad det fanns för krav och önskemål på produkten. Både ifrån tilltänkta användare och i tilltänkta miljöer. Baserat på dess krav förfinades prototypen i två steg. Den slutgiltiga version uppfyllde 13 utav de 16 identifierade kravens, två av de kvarvarande ses inte som ett problem att uppnå ifall en riktig produkt tas fram och det sista, anonymisering, ligger utanför projektets ramar.

Ett annat område som dök upp som ett behov under projektets gång var att generera syntetisk träningsdata för att träna djupinlärningsmetoderna på. Detta genom att använda 3D modeller av fotgängare och fordon som renderas med liknande metoder som används inom datorspelsindustrin.

Projektet undersökte applikationsområden för den nya sensorn samt vilka egenskaper som är viktiga för att den framgångsrikt ska kunna introduceras på marknaden. I diskussioner med ITS-experter på Trafikverket, kommuner och konsultbolag, kunde projektgruppen identifiera de viktiga kvalitéerna som var reliabilitet (t.ex. prestanda i varierande trafik-, väder- och ljusförhållandena), kompatibilitet med redan existerande ITS-system samt enkel installation och underhåll. GDPR och andra regler för personlig datahanterings nämndes som viktiga begränsande faktorer; problemet kan dock lösas om anonymiseringen av datan sker i sensorn i realtid utan att några känsliga uppgifter sparas eller förs över.

Flertal nya metoder inom maskininlärning togs fram inom projektet och utgjorde en bas för forskningsresultat så väl som möjliggörande av trafikanalyser. Potentiella applikationer för systemet undersöktes. Däribland vidareutvecking av de teoretiska och praktiska grunderna för de indirekta metoderna för att utvärdera trafiksäkerhet, så kallade Surrogate Measures of Safety (SMoS). Det visade sig att både närheten till en kollision och av potentiella utfallet i form av personliga skador bidrar till den övergripande "allvarligheten" av en trafikhändelse. Ett mer avancerat index som använder mer än en indikator rekommenderas därför för att upptäcka säkerhetskritiska situationer. Dessutom föreslogs en metod för att upptäcka undanmanövrar som utnyttjar stora mängder av historisk data om trafikanternas

rörelser för att identifiera en avvikelse från den ‘normala’, vilket oftast är en reaktion på en farlig situation i trafiken.

2 Executive summary in English

Three parties, Axis Communications AB (AXIS), the Mathematics Center at Lund University (LTH-MATH) and Technology and Society at the University (LTH-TOS) have jointly run the project. The project aimed to build a sensor, develop software and machine learning methods for traffic analysis. In essence, the project has followed the steps with the respective expertise from the various parties, i.e. from sensor (AXIS) via algorithms (LTH-MATH) to traffic analysis (LTH-TOS). The partner expertise has thus led to a new innovative hardware (camera) as a prototype, new unique machine learning methods linked to the hardware and enabled traffic analysis with new data.

Three versions of a trinocular camera prototype were made during the project. The first, was a combination of commercially available off the shelf products. That allowed it to be constructed quickly in the beginning of the project, and to be tested in the field early in order to more precisely find the needs and demands put on the camera by the users. The prototype was then refined in two steps based on the feedback from the field tests. The final version of the prototype was able to deliver 13 out of the 16 wishes on its requirements made by the different project members.

During the project we have introduced the term Traffic Surveillance Vision Pipeline (TVSP) with six components; video acquisition, camera calibration, object detection, 2D/3D mapping, tracking and trajectory analysis. A topic that was added, not mentioned in the application, was that of using rendered data, in particular 3D pedestrians, to have access to more training data in the setup. Hence, video acquisition was augmented with virtual renderings in some works. Overall, the components in the TVSP have been given attention in several international publications, as well as availble as open source. The research focus has been on machine learning and computer vision solutions in relation to the sensor. Furthermore, from this technical development one accepted patent (EU and US) and one currently active patent application has emerged.

The traffic group focused on two major research questions. The first one was related to the application areas for the new sensor and which qualities are important for its successful market introduction. The important qualities identified were its reliability (in terms of varying traffic, weather and lighting conditions), but also compatibility with already existing ITS systems and ease of installation and maintenance. GDPR and other personal data protection regulations were identified as serious constraints; they can be however lifted if some form of data anonymisation is performed by the sensor before the data is stored or transferred.

The second research question was related to further development of the theoretical and practical foundations of the indirect methods for safety evaluation employing Surrogate Measures of Safety (SMoS). It was found that both the proximity to collision and severity of the potential outcomes contribute to the overall ‘severity’ of a traffic event. A more advanced index employing more than one indicator is therefore recommended for detection of safety-relevant situations. Also, a method for detection of evasive actions was suggested that utilizes the large amount of historical data

about road user movements to identify a deviation from normal travel patterns which most often would be a reaction to avoid a dangerous situation in traffic.

3 Bakgrund

Enligt Trafikverket kommer digitalisering blir en viktigt komponent för att skapa hållbar, effektiv, säker och tillgänglig vägtransport. I deras ‘Färdplan för ett uppkopplat och automatiserat vägtransportsystem’ framgår det tydligt behovet för vidare tjänstefiering, automatisering och uppkoppling av infrastrukturen, fordon och användare. Detta är högst aktuellt även i det internationella kontexten då mycket forskning och utveckling sker inom ITS (Intelligent Transport Systems), Smart Cities och CAV (Connected Automated Vehicles). Pålitliga och kostnadseffektiva sensorer som kan leverera detaljerad trafikdata är en viktig bit i det stora sammanhanget.

Insamling av trafikdata med videobaserade sensorer har blivit populärt under det senaste decenniet relativt billig, diskret och lätt att installera. Tillämpningar som fordonsräknare har varit tillgängliga på marknaden länge. Nyligen har också fotgängar- och cyklisträknare blivit tillgängliga, men dom är ännu inte lika mogna. Men förmågan att inte bara detektera, utan också skatta trafikanternas trajektorier och hastighetsprofiler möjliggör mycket mer sofistikerade applikationer, såsom som trafikledning i realtid, samverkande intelligenta transportsystem (ITS), beteende och säkerhetsanalys.

Mera avancerade och intelligenta applikationer kräver också högre detaljnivå i informationen om trafikanter, t.ex. trajektorier istället för enkel ja/nej detektion av närvarandet. Detta kräver avancerade videoanalysalgoritmer och sätter höga krav på hårdvaran som beräkningar körs på samt och optimeringen av själva beräkningar. Tekniskt sett har användningen av Convolutional Neural Networks (CNN) i monokameror och enkelbildsdetektering förbättrats avsevärt de senaste åren. Detektorer som SSD, YOLO9000, SqueezeDet och RetinaNet, som körs på grafiska grafikprocessorn (GPU), överträffar tidigare realtidsdetektorer samtidigt som dom närmar sig precision hos tyngre metoder, så som de baserade på Faster R-CNN. Större dataset, som t.ex KITTI och COCO, skräddarsydda för objektdetektering, har drivit framstegen framåt. Bilderna i sådana datamängder är vanligtvis från ögonhöjd, och ytterligare data från övervakningsvyn behöver tas fram.
Grundläggande tekniker och idéer relaterade till stereovision är också av intresse i projektet. Stereomatchning och djupkartsuppskattning är ett väl studerat ämne. Användningen av djupinlärning sprider sig mer och mer i moderna metoder för uppskattning av djup från stereo (duo) kameror. I detta projekt fokuserar vi på att titta på objektdetekteringsproblemet, men med hypotesen att extra information från den treögda kameran kommer att förbättra prestanda jämfört med monovy samt stereovy med nya formulerade djupinlärningsarkitekturer.

I detta projekt har vi specifikt tittat på trafiksäkerhetsrelaterade applikationer som nyttjar högupplöst data som beskriver trafikantrörelser. Med minskande antal olyckor i Sverige (och många andra länder runtom i världen) blir det svårare att använda de klassiska olycksstatistik-baserade metoder för att mäta trafiksäkerhet. Dessutom oftast vill man ha snabba svar utan att vänta flera år på att samla på statistiken (vilket också kan ses som oetiskt då människor och egendom skadas under tiden). Lösningen till detta kan vara att nyttja Surrogate Measures of Safety som kan ge

indikation av förändringar i olycksrisker utan att några olyckor har hunnit hända. Metoden kräver dock detektion och detaljerad beskrivning av potentiellt riskfyllda situationer (konflikter), uppgiften som är ganska tidskrävande om de inte automatiseras. Detaljerade trajektoriedata för alla trafikanter på en studerad plats innehåller potentiellt all information som krävs för att hitta sådana situationer. De exakta matematiska definitioner och tröskelvärden för att programmera detektion av konflikter i ett automatisk system behöver dock studeras och valideras djupare.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med projektet var att visa nyttan av den nya sensorn inom trafikapplikationer. Särskilt intressen för projektet var sensorns potential för mer intelligenta applikationer (utöver enkel trafikantdetektion och räkning), såsom diagnostisering av olycksrisker baserade på analysen av stora mängder av trajektorier genererade av sensorn.

På den tekniska sidan var fokus på maskininlärning och datorseende för ändamålet. Inom projektet har det utvecklats en (eng.) Traffic Surveillance Vision Pipeline (TVSP) som har sex huvudkomponenter; videoinsamling, kamerakalibrering, objektdetektion, 2D/3D mappning, följning (eng. tracking) och trajektorieanalys. Inom projektet var syfte och fokus på att ta fram nya metoder i olika delar i TVSP. Metodutveckling har följt gängse normer inom maskininlärningsfältet, såsom korsvalidering, objektiva mätvärden på testset och ablationsstudier.

För trafikforskare i projektet var det övergripande syftet att vidare validera och operationalisera metoden för trafiksäkerhetsbedömning med hjälp av trafikkonflikter. Gruppen jobbade även med att identifiera andra potentiella trafikapplikationer (nya eller existerande) där den utvecklade sensorn skulle kunna användas.

Från den kommersiella sidan av projektet var syftet att öka förståelsen kring vad det finns för kravbild och önskemål på en potentiell trekamerasensors samt att reda ut vad som är tekniskt möjligt. Ett annat syfte var att öka kompetensen inom djupinlärningsmetoder för videoanalys, samt att skapa patent.

5 Mål

Projektet har fokuserat på att "Främja samarbete mellan industri, universitet och högskolor", ”Öka den svenska kapaciteten för forskning och innovation och därigenom säkerställa konkurrenskraft och jobb” och "Utveckla internationellt anslutna och konkurrenskraftiga forsknings- och innovationsmiljöer i Sverige". Vi har konkretiserat ner delar av dessa i tio mer konkreta mål:

- **Mål 1.** Att samla in fältdata (i trafikmiljö) för kalibrering av den nya sensorn och validering av dess prestanda.
- **Mål 2.** Att sammanställa en översikt av applikationsområden för den nya sensorn, med tanke på databehov inom existerande system och lösningar (t.ex. optimering av signalreglering i realtid) och de som inte existerar än men blir aktuella inom kort tid (t.ex. kommunikation med automatiserade fordon).
- **Mål 3.** Att fördjupa sig i metoden för trafiksäkerhetsanalys baserad på trajetoriedata från sensorn.
- **Mål 4. Meriteringar.** Att meritera två personer till docent och två personer till doktorer.
- **Mål 5. TRL 6.** Att nå TRL 6 med lösningen.
- **Mål 6. Publikationer.** Att publicera forskningsresultat internationellt.

- **Mål 7. Patent.** En omfattande och relevant patentportfölj är viktig för att Axis ska kunna bedriva sin verksamhet, och utveckla de produkter man vill utan att stöta på patentmässiga hinder. Därför letar man kontinuerligt efter möjligheter till att förvärva nya patent inom sitt verksamhetsområde.
- **Mål 8. Kravställning.** Projektet undersöker en ny typ av sensor som potentiellt skulle kunna bli en framtida Axis-produkt. För att Axis ska kunna ta beslut om detaljer kring hur en sådan produkt skulle kunna utformas, samt ta beslut om det över huvud taget är intressant att ta fram en sådan produkt, så behövs en ökad förståelse för hur kravbilden för produkten ser ut. Detta innefattar både vad presumtiva kunder har för krav och önskemål om produkten och en förståelse om use-casen och mer exakt hur den kommer att användas.
- **Mål 9. Tekniska möjligheter.** Efter att förståelsen för mer precis vad det är för produkt som är intressant att ta fram, så gäller det att reda ut vad som är tekniskt möjligt att få till med rimliga insatser. Typiskt resulterar detta i att man måste kompromissa, och för att kunna välja rätt kompromiss krävs även en ökad förståelse för de tekniska möjligheterna.
- **Mål 10. Algorithmkännedom.** Många av analytics-algoritmerna som tas fram i ett projekt som detta blir inte specifika för produkten som undersöks utan kan mycket väl vara intressanta i andra sammanhang. Därför är ännu ett mål att sprida kännedomen om dessa algoritmer inom organisationen.

6 Resultat och måluppfyllelse

Mål 1. Fältdatainsamling. På grund av begränsningar relaterade till lagar om skyddet av personliga uppgifter (då högupplösta bilder på en person klassas som personlig data), kunde inte datainsamlingen göras i verkliga trafikmiljön. Istället, simulerades samma förhållandena på ett avgränsad område där endast personer som gett sitt medgivande till filmning hade tillgång. Verkliga bilar, cyklar och sparkcyklar användes i simuleringen.

Mål 2. Översikt av applikationer. Sammanställningen av möjliga applikationer för den nya sensorn gjordes med hjälp av marknadsanalys i vilken existerande tjänster och produkter av samma karaktär identifierades. Resultaten diskuterades sedan på en expertworkshop med representanter från Trafikverket, kommuner och trafikkonsultbolag som deltagare.

Marknadsanalys och särskilt diskussionen med experter som dagligen jobbar med trafikdatainsamling visade stor potential för den nya sensorn om den kan bli robust i prestandan (t.ex. vid olika väder- och ljusförhållandena), enkelt att sätta upp och underhålla och som kan kommunicera med andra ITS system som redan finns. Från det perspektivet, sensorns pris spelar mindre roll då det är installationen och underhållet som utgör den största delen av kostnaderna. Den stora utmaningen som identifierades var hanteringen av videodata i enlighet med lagar om personlig integritet (GDPR, kamera-lagen, osv.). Därför är det mycket önskvärt att högupplösta originalbilder aldrig sparas utan analysen (eller åtminstone anonymiseringen) sker i realtid direkt i kameran och utan att någon kan ha tillgång till dem.

Mål 3. Förbättring av trafikkonfliktmetoden. Den största teoretiska utmaningen inom trafikkonfliktmetoden är att validera kopplingen mellan observerade konflikter och olycksrisken. Den teoretisk korrekta definitionen av en ‘olycksrisk’ är förväntade värde för en stokastisk variabel ‘antal registrerade olyckor’ (den är stokastisk eftersom antal olyckor kan variera från år till år utan att den verkliga underliggande risken har ändrats). Dessutom, sättet på vilket en trafikkonflikt definieras kommer att påverka vilka situationer väljs ut; detta har direkt påverkan på metodens validitet.

I den första studien undersökte vi vilka objektiva indikatorer (t.ex. hastighet, kinetisk energi, tid-till-kollision, osv.) speglar bäst den subjektiva uppfattningen av ‘allvarligheten’ för en trafiksituation. ‘Allvarlighetsgrad’ består av både närheten till en kollision och vilka konsekvenser (t.ex. i form av personliga skador) kan förväntas om kollisionen sker. Det visade sig att ingen enskild indikator är tillräckligt universell för att reflektera båda dimensionerna av ‘allvarligheten’, utan en kombination av indikatorer måste användas. Men redan två indikatorer kan förklara upp till 85% av upplevda ‘allvarligheten’; lite mera komplex (dock ej överdrivet) konfliktdefinition som utnyttjar flera indikatorer rekommenderas till det framtida automatiska systemet.

I den andra studien studerade vi möjligheter för detektionen av ‘avvärjande manöver’ i konflikten, t.ex. inbromsning eller svängning. Avvärjande manöver är viktigt från teoretiskt perspektiv eftersom de indikerar när trafikanter uppfattar faran och börjar reagera. Till exempel, om en förare reagerar sent kan det tyda på att situationen är mera allvarlig och risken för en riktig kollision är högre. Den föreslagna metoden använder historisk data av andra trafikanter som passerar i samma riktning utan att ha några konflikter eller interaktioner. När studerade trafikant börja avvika avsevärt från det ‘vanliga beteende’ betyder det oftast att avvärjande manöver har initierats

Mål 4. Meriteringar. Att meritera två personer till docent och två personer till doktorer.
Dessa mål uppfylldes innan projektet avslutades. Mikael NIlsson och Aliaksei Laureshyn är antagna som docenter. Carl Johansson och Martin Ahrbom är disputerade och doktorer.

Mål 5. TRL 6. Att nå TRL 6 med lösningen.
Det finns en utvecklad prototyp och mjukvara som användes för att analysera en verklig, men kontrollerad, scen i Malmö. Lösningen idag anser vi vara på TRL 6.

Mål 6. Publikationer. Att publicera forskningsresultat internationellt.
Projektet har producerat nio internationellt publicerade publikationer och lett till ett större kontaktnät.

Mål 7. Patent. Projektet har producerat sex stycken patentförslag bestående av ensides-beskrivningar av en patentidé som sedan muntligen presenterades för Axis patent-ingenjörer. Ideerna var titulerade “Pedestrian detection”, “GUTS”, “Size normalizing image transforms”, “Segmentation tracking”, ”Camera array calibration”. Axis IPR-avdelning utvärderade sedan ideerna och valde att gå vidare med två av dem, “Size normalizing image transforms” och ”Camera array calibration”. För dessa togs det fram patentansökningar som projektet sedan fick granska innan dom skickas in. Ett av dessa, ”Camera array calibration”, är nu ett godkänt patent i både EU och USA, medan vi fortfarande väntar på besked angående “Size normalizing image transforms”.

Mål 8. Kravställning. Arbetet med prototypen utfördes i tre iterationer, som bestod i att en prototyp byggdes, och sedan användes för datainsamling. En tydlig bild över vilka krav som ställs på produkten formades dels genom att observera forskarna i hur dom använde prototypen under datainsamlingarna samt genom att samla in önskemål om förbättringar. Med hjälp av den informationen kunde prototypen sedan uppdateras och tas närmre det som faktisk behövs i fält.

Mål 9. Tekniska möjligheter. Genom att bygga en fysisk prototypsensor kunde de tekniska begränsningarna identifieras och lösas. Den sista prototypen uppfyller 13 av de 16 under projektet identifierade önskemålen. De tre som inte uppfylldes under projektet var “anonymiserad video”, vilket ligger utanför projektet scope samt “välspecade mekaniska tolleranser” och “ir-belysning”, vilket är saker Axis redan kan och gör i skarpa produkter och därmed inte har något behov av att prototypa.

Mål 10. Algorithmkännedom. I projeket har många intressanta algoritmer utvecklats fram. Två av dom har gått vidare till patentansökningar. Dessa två presenteras i form av posters på ett årligt patentseminarium där alla årets patentansökningar presenteras. Till det seminariet bjuds hela Axis in. En av algorithmerna, “Size normalizing image transforms”, bedömdes som extra intressant för ett av utvecklingsteamet och det presenterades i detalj för det teamet. Både teorin bakom algorithmen och praktiska detaljer om hur den forskningspototypimplementation som togs fram under projektet kan användas. Framstegen inom syntetisk träningsdata bedömdes som allmänt intressanta för stora delar av Axis. Olika vinklar av dem har presenterats vid tre olika tillfällen för tre olika team som har olika intressen både inom produktutveckling och testning. Verktygen som utvecklades fram för att generera syntetisk data har också gjorts allmänt tillgängliga och släps som open source. En grupp har satts samman bestående av två personer från olika team på Axis och en från ett extern företag, Spiideo, för att underhålla dessa open source verktyg.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Nya metoder inom djupinlärning med applikationer inom detektion, tracking och positionering av trafikaneter mha extended stereo (tre kamrer) har tagits fram och publicerats i form av artiklar och opensrc. Även metoder för 3D rendering av syntetisk träningsdata har tagits fram och publicerats i form av artiklar och opensrc. Att göra säkerhetsanalysen baserad på data framställda från trajektorier extraherade från video diskuterades på expertworkshopen i samband med Transportation Research Boards årsmöte 2019
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Metoderna och kunskaper om 3D rendering av syntetisk träningsdata har fått stort intresse inom flera avdelningar på Axis då dom metoderna är applicerbara inom många områden. Delar av det kommer från detta projektet och delar från andra källor. Vi undersöker även framtida forskningsprojekt relaterat till resultat från detta projekt.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		Slutsatsen i nuläget från Axis angående att ta fram en dedikerad produkt för detta user case var att det inte kunde motiveras kommersiellt än. Vinsterna jämfört med konventionella kameror var inte stor nog i förhållande till det uppskattade tillgängliga marknaden. Det bero till viss del på att detta är ett nytt marknadssegment för Axis där man inte har upparbetade säljkanaler än.
Introduceras på marknaden		

Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		Inte aktuellt i dagsläget

7.2 Publikationer

Johnsson, C., A. Laureshyn (2022), 'Identification of evasive manoeuvres in traffic interactions and conflicts', Traffic Safety Research, 3, 000012, https://doi.org/10.55329/erqd8683.

Yastremska-Kravchenko, O., A. Laureshyn, C. D'Agostino, A. Varhelyi (2022), 'What constitutes traffic event severity in terms of human danger perception?', Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 90, 22–34, https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.08.001.

H. Ardö and M. Nilsson, "Multi Target Tracking from Drones by Learning from Generalized Graph Differences," *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, 2019, pp. 46-54, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00012.

L. Wen *et al*., "VisDrone-MOT2019: The Vision Meets Drone Multiple Object Tracking Challenge Results," *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, 2019, pp. 189-198, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00028.

M. Ahrnbom, M. Nilsson, H. Ardö, K. Åström, O. Yastremska-Kravchenko and A. Laureshyn, "Calibration and Absolute Pose Estimation of Trinocular Linear Camera Array for Smart City Applications," *2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2021, pp. 103-110, doi: 10.1109/ICPR48806.2021.9412816.

Ahrnbom M., Nilsson M. and Ardö H. (2021). Real-time and Online Segmentation Multi-target Tracking with Track Revival Re-identification. In *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 4: VISAPP,* ISBN 978-989-758-488-6, pages 777-784. DOI: 10.5220/0010190907770784

Ahrnbom, M.; Persson, I. and Nilsson, M. (2022). Seg2Pose: Pose Estimations from Instance Segmentation Masks in One or Multiple Views for Traffic Applications. In *Proceedings of the 17th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 5: VISAPP,* ISBN 978-989-758-555-5; ISSN 2184-4321, pages 777-784. DOI: 10.5220/0010777700003124

M. Ahrnbom, I. Persson, H. Ardö and M. Nilsson, Generalized Urban Traffic Surveillance (GUTS): World-Coordinate Tracking for Traffic Safety Applications, accepted for presentation at *The 25th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems* (ITSC 2022).

H. Ardö, M. Ahrnbom and M. Nilsson, Height Normalizing Image Transform for Efficient Scene Specific Pedestrian Detection, accepted for presentation at *The 18th IEEE Int. Conf. on Advanced Video and Signal-Based Surveillance* (AVSS 2022)

Ahrnbom M., Nilsson M., Ardö H. and Åström K. (2021). Avbildningssystem (EU Patent No. EP3855397). European Patent Office.

Ahrnbom M., Nilsson M., Ardö H. and Åström K. (2021). IMAGING SYSTEM (U.S. Patent No. 20210233276). U.S. Patent and Trademark Office.

Ahrnbom M., Nilsson M., Ardö H. and Åström K. (2021). Size normalizing image transforms (EU Patent Application No. EP21175491.6). European Patent Office.

Ahrnbom M., Nilsson M., Ardö H. and Åström K. (2021). Size normalizing image transforms (U.S. Patent Application No. US17/713,285). U.S. Patent and Trademark Office.

Open Source

Blenderset Addon. https://github.com/AxisCommunications/blenderset-addon

SORTS: Segmentation multi-target tracking in real-time. https://github.com/ahrnbom/sorts

UTOCS: Standard Traffic Surveillance Video Dataset for Carla Simulator. https://github.com/ahrnbom/utocs

GUTS: Generalized Urban Traffic Surveillance. https://github.com/ahrnbom/guts

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Det finns många relevanta ITS applikationer där nya sensorn kan vara användbar. Det är viktigt dock att den är pålitlig, kompatibel med redan existerande system och inte för svårt att installera och underhålla. Anonymisering av videobilder och embedded processering borde prioriteras då många begränsningar är relaterade till att personlig datahantering kan undvikas.

Viktiga framsteg gjordes i utvecklingen av trafikkonfliktmetoden, relaterade både till teoretisk definition av konflikten och praktiska algoritmer för att detektera dem från sensor-genererade datan. En större studie i en verklig trafikmiljö skulle varit den mest logiska nästa steget. Detta både från trajketorieanalys sett, men också för att mer storskaligt utvärdera framtagna maskininlärningsmetoder. Det var dock inte möjligt inom ramarna för projektet eftersom utvecklade prototypen inte hade någon anonymisering implementerade. En ordentligt valideringsstudie måste planeras in som fortsatt forskning. Fortsättningsvis ser vi möjligheter att förbättra delar i (eng.) Traffic Surveillance Vision Pipeline (TVSP) med större mängd data och att undersöka framtida möjligheter med virtuella sätt för att skapa träningsdata och att anpassa och undersöka nya algoritmer. Det vill säga inte olikt vad vi ser ske inom självkörande teknologier (sensor på fordon) som till större del växer med datamängder inom fordonsindustrin.

Man kunde se en mindre vinst med att nyttja tre linser. Dock så kan även många av algoritmerna som utvecklats i projektet mycket väl användas med idag redan tillgängliga standard-produkter och att vidare anpassa dom för den typen av användning hade varit intressant framtida forskning.

Ett annat intressant spår är att arbeta med tre separata kameror som då inte är tidssykade utan bara tidsstämplade så att man känner till tidsdifferenser. Den typ av kamrer är idag redan kommersiellt tillgängliga, men detta skulle kräva modifikationer av de analytics-algoritmer som utvecklats så att dom inte förutsätter att bilderna från de olika kamerorna exponeras exakt samtidigt. För att få till det krävs vidare algoritm-forskning.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Matematikcentrum, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet

Kontakt: Docent Mikael Nilsson

E-mail: mikael.nilsson@math.lth.se

Tel.: +46 46 222 08 96

Axis Communications

Kontakt: Civilingenjör Mikael Nilsson

E-mail: Mikael.SW.Nilsson@axis.com

Tel.: +46 46 272 39 01

Institutionen för Teknik och Samhälle, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet

Kontakt: Docent Aliaksei Laureshyn

e-post: aliaksei.laureshyn@tft.lth.se

Tel.: +46 46 222 91 31

