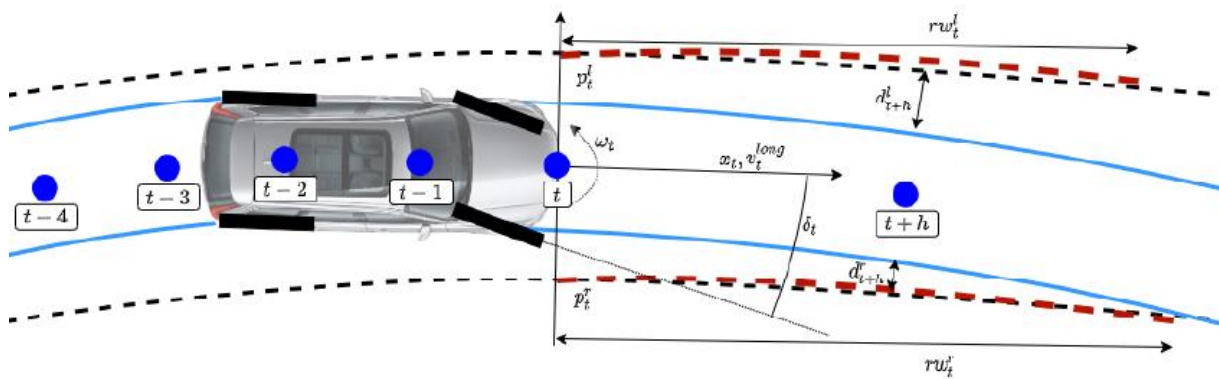


Förbättrad säkerhetseffekt av kollisionssundvikande styrande system (Part II)

Publik rapport



FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

ivis

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	7
7 Spridning och publicering	8
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	8
7.2 Publikationer.....	8
8 Slutsatser och fortsatt forskning	9
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	9
10 Referenser.....	10

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter 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.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Fordonssystem som automatiskt styr för att undvika kollisioner med oskyddade trafikanter eller andra fordon är sedan några år ute på marknaden. Generellt sett är detta en attraktiv innovation, men den har vissa begränsningar, som kan ha negativ inverkan på den faktiska säkerhetsnyttan. En av dessa begränsningar är att styringreppen är relativt svaga för att inte störa eller distrahera föraren. De svaga styringreppen är en följd av otillräcklig förmåga att prediktera värdbilens och kringvarande fordons framtida position.

De faktorer som bidrar till att reducera prediktionsförmågan är dels mätosäkerheter i signalerna från sensorerna, men den främsta orsaken är att det är svårt att bedöma förarnas framtida beteende. Förarbeteenden tenderar att skifta snabbt när nya intryck når föraren och det finns även en koppling till vilken trafiksituation föraren befinner sig i.

Det övergripande syftet med detta projekt har varit att identifiera signifikant bättre prediktionsmetoder för att komma till rätta med denna den största begränsningsfaktorn i dagens system som med hjälp av automatiska styringrepp syftar till att undvika trafikolyckor.

Projektet är en direkt fortsättning av ett tidigare projekt där en sammanfattande studie genomfördes där olika prediktionsmetoder undersöktes och utvärderades utifrån deras respektive för och nackdelar. Motiverat av tidigare resultat som visade att artificiella neuronnät har stor potential, har vi i detta projekt fortsatt att studera hur man bäst tillämpar denna metod. Besläktade men mindre beräkningstunga linjära prediktionsmetoder har också studerats som jämförelse till den tidigare studerade icke-linjära prediktionsmetoden.

Projektet har resulterat i två artiklar, varav en tidskriftsartikel, och två examensarbetsrapporter. Resultaten beskriver hur man på ett beräkningseffektivt sätt kan använda maskininlärning för att konfigurera såväl linjära som icke-linjära prediktionsmodeller vars prestanda överträffar de kinematiska modeller som än idag dominerar i industrin. Ett av de viktigaste resultaten är att en beräkningseffektiv flerstegsprediktion baserat på linjär regression visade sig ge svåröverträffad prestanda till en låg kostnad. Icke-linjära modeller fungerade bättre men endast för relativt långa prediktionshorisonter.

Fortsatt arbete som pågår och kommer att avslutas under 2021, innefattar att beräkna prediktionernas osäkerhet i realtid och använda dessa för att nå fördelar i beslutsalgoritmer för kollisionundvikande system.

2 Executive summary in English

Over the recent years, many publications have concluded that machine learning can improve the performance in Autonomous Driving (AD) and Advanced Driving Assistance System (ADAS) applications. The typical use-case for such methods is usually within vision systems in order to analyze features in the image, such as road markers and other vehicles, but also for time series analysis for decision making purposes. Our focus is to predict unintended lane departures by analyzing time series data, to assist the driver with an automated steering maneuver to force the vehicle back to the center of lane, when so is needed.

However, while other works have been focusing on absolute performance, we have studied implementation aspects, where the goal is to develop an efficient prediction model with good real-time capability, that has a comparable predictive performance as state of the art models.

In (Dahl, et al., 2020) we showed how a linear prediction model can be implemented using tools from the field of multiple time series analysis. From the results, it was evident that the linear model is sensitive to how the time series are sampled. Hence, the original tools were extended to allow sparse sampling. The performance of the linear model was compared to a constant lateral velocity model, which showed the linear model to be superior.

As a continuation on computationally efficient models, we made a thorough investigation in (Dahl, et al., 2021) on how to optimize the hyper-parameters of the linear model. The optimization was focused on how to select a sparse sampling pattern and the best choice of signals, in order to maximize the performance and minimize the time complexity for real-time deployment. The results were compared to a kinematic model and a non-linear machine learning model. It turned out that the linear model had the same predictive performance as the non-linear model for prediction horizons up to one second, while the non-linear model was better for longer prediction horizons. However, the non-linear model has significantly higher computing demands, and it might therefore be better to use a linear model in certain situations. Moreover, both machine learning models outperformed the kinematic model.

Two master theses have also been conducted within the project. The first deals with uncertainty in the predictions (Larsson & Sjöstedt, 2020), where an uncertainty aware, non-linear machine learning based model was developed to assess the confidence in the predictions. The second thesis made an analysis, based on a large field test data set, on how and when the predictions fail (Hultberg Hermansson & Wu, 2021). It revealed that many failures were related to cases where the driver was allowing a large margin towards a second threat, such as a truck in the adjacent lane and where the ego-vehicle departs from the lane on the opposite direction.

Based on the promising results of these theses, further research has been initiated, where we focus on the development of a decision-making algorithm that can make advantage of the additional information provided by the uncertainty aware prediction model, to improve the predictive performance in the lane departure problem.

Future work of interest is to study how to include other traffic participants into the prediction model, together with information from the ego vehicle's driver state estimation system. The goal would be to develop a prediction model that can distinguish when the driver is aware of the lane departure, even though it might not be intended, from the occasions where the driver is unaware of the departure.

3 Bakgrund

De flesta fordonstillverkare har idag system under namnet "Lane Keeping Aid" (LKA) ("filhållningshjälp" på svenska), som syftar till att minska risken för kollisioner med mötande fordon eller vägavkörningar. Generellt gäller att dessa system är bra men att de också lider av ett antal funktionella begränsningar som negativt påverkar den uppnåbara säkerhetsnyttan.

I dagens system används konservativa (låga) nivåer på överlagrat styrmoment. Orsaken är framför allt att man vill säkerställa att föraren inte blir irriterad på systemet och stänger av det. Vidare förlitar sig dagens system för reglering av bilens laterala position på att det finns en referensmätning av något som inte rör sig, t.ex. filmarkeringar. Systemens förmåga att bedöma förarintentioner är också kraftigt begränsad.

Som en yttersta konsekvens lider berörda system av tillgänglighetsproblematik samt begränsningar i de förhållanden under vilka systemen är konstruerade att operera inom. Den tillverkare som lyckas göra framsteg i arbetet med att förbättra dessa egenskaper kommer att kunna erbjuda system som avsevärt bidrar till ökad säkerhetsnytta.

Zenseact AB arbetar med forskning och utveckling för att ta fram system som syftar till att faktiskt styra bilen automatiskt för att undvika kollisioner med objekt såsom andra fordon och oskyddade trafikanter. De flesta system utvärderade av Zenseact, lider av samma problem som rör tillgänglighet av tillförlitlig sensorinformation och identifiering av förarbeteenden. Dagens forskning inom området aktiv säkerhet och kollisionsundvikande system koncentrerar sig i huvudsak på positiv prestanda, d.v.s. prestanda under ideala förhållanden, och inte så mycket på prestanda under störningar, t.ex. från sensorer och/eller förare, eller på andra begränsningar som påverkar systemet, se [1]. Endast ett fåtal publikationer tar upp frågan om förarens inblandning, se t.ex. [2] och [3].

Detta projekts övergripande syfte är att försöka förstå vad som behöver göras för att tillgängligheten, effektiviteten och användandet av systemet ska ökas. Visionen är att kunna applicera autonoma styringrepp där föraren inte kan (och därmed i princip inte någonsin behöver) motverka syftet med ingreppet.

Projektet är en direkt fortsättning på ett tidigare FFI projekt, 2014-05621. I det tidigare projektet så analyserades och undersöktes det vilka metoder som skulle kunna passa för att öka prestandan i att prediktera olika typer av LKA-situationer. Metoderna sammanställdes och utvärderades i en tidskriftsartikel utifrån vilka antaganden de var baserade på samt vilka för och nackdelar de har i form av robusthet, implementationssvårigheter och hur väl de kan hantera olika situationer [1]. Slutsatsen från denna sammanställning var att förarens beteende är en av de svåraste osäkerheterna att modellera på ett bra sätt. Det framkom att det behövs en metod som kan hantera att förarbeteendet varierar för olika trafiksituationer, till exempel att beteendet för att köra på en kurvig landsväg är olik det att köra på en rak motorväg. En effektiv metod för att prediktera en framtida position behöver kunna dra nytta av de insikter som finns gällande osäkerheter men samtidigt vara enkel nog för att implementera i ett fordon.

Resultat och insikter från det tidigare projektet gav motiv till att fortsätta undersöka hur man på bästa sätt använder maskininlärning och neuronnätet för att förbättra prediktionsförmågan för kollisionsundvikande system. Viktiga aspekter som har konstaterats är att antalet signaler till neuronnätet bör hållas till så få som möjligt, för att skapa en förutsättning för att kunna köra systemet i realtid i fordonet. Detta medför att det måste undersökas vilka signaler, till exempel fordonets position på vägen, hastighet med flera, som signifikant bidrar till en ökad prestanda. Det samma gäller signalernas minnesdjup, som motsvarar hur många gamla sampel av varje signal som ska skickas in till neuronnätet.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Detta projekts övergripande syfte är att studera metoder för att signifikant förbättra dagens krockundvikande aktiva stödsystem som baserar sig på styrning. Dessa system är framför allt effektiva i konfliktsituationer med höga skillnadshastigheter samt där en liten lateral justering av bilen är tillräcklig för att eliminera konflikten. Exempel på situationer är mötandeolyckor, vägvägar, samt att väja för fotgängare. Det som gör dessa system principiellt olika de som använder bromsning, är att avstånd, men även den tid, för vilka beslut om aktivering av stödsystemet baseras på är signifikant längre. Detta leder till att prediktionen av en begynnande konfliktsituation blir betydligt mer utmanande.

Även om flertalet av de vanligaste och allvarligaste olyckstyperna har adresserats av dagens avancerade förarstödsystem, finns fortfarande stor potential för att öka deras effektivitet. I ett tidigare projekt har vi identifierat att det, när det gäller system baserat på semi-autonom styrning, i huvudsak handlar om att skapa förutsättningar för en mer precis situationsprediktion

På senare tid, har många publikationer konstaterat att maskininlärning kan förbättra prestandan hos AD- och ADAS-tillämpningar. Typiska tillämpningar har varit att analysera bilder för att identifiera objekt såsom filmarkeringar, andra fordon, osv. Vårt fokus har istället varit att använda maskininlärning för att prediktera oavsiktliga filbyten genom att behandla tidsseriedata. Medans angränsande forskning har fokuserat på absolut prestanda, har vi istället fokuserat på implementationsaspekter. Med målet att ta fram en effektiv prediktionsmodell med låg beräkningskomplexitet, som har jämförbar eller bättre prestanda som hos dagens traditionella metoder.

Projektet har fokuserat på två forskningsfrågor:

- 1) Hur kan man realisera prediktionsalgoritmer baserat på maskininlärning för en optimal avvägning mellan beräkningseffektivitet och noggrannhet?
- 2) Finns det potential i någon metod för att uppskatta osäkerheten i en prediktion av ett fordonets framtida position i realtid, som kan användas för att förbättra beslut om att aktivera automatiska styringrepp för att förhindra oavsiktliga filbyten?

Tillgång till verkliga data som är insamlad med tanke på att spegla alla varianter av trafikmiljöer, väder, tider på dygnet, samt geografiska områden (USA, Europa, Asien), har varit en viktig parameter i metodiken liksom det faktum att denna data innehåller just de beteenden och situationer vi vill låta våra metoder lära sig att prediktera.

Övergripande forskningsmetod har varit att implementera och träna nya algoritmer på befintliga och representativa data, och att hela tiden utvärdera och jämföra med prestanda hos välkända befintliga metoder. För att få mer värde i resultaten har ofta merparten av befintliga alternativa metoder också implanterats för att få en mer heltäckande bild av resultaten.

Resultaten har publicerats i en tidskrift, presenterats på en konferens samt som rapporter från två examensarbeten.

5 Mål

Projektet hade som mål att söka svar kring vilka insignaler som är relevanta för att uppnå en hög prediktionsprestanda samt vilket minnesdjup som är optimalt för att sedan undersöka hur modellosäkerhet kan estimeras och användas i beslutsfattandet för att aktivera ett automatiskt styringrepp, med handledning och stöd från Chalmers.

Mål formulerades därför vid tiden för ansökan för följande två arbetspaket:

- AP2. Känslighetsanalys av insignaler för prediktionsmodeller baserade på maskininlärning.
- AP3. Osäkerhetsestimering vid prediktion av fordonets framtida position.

Mer detaljerat formulerades följande två mål inom arbetspaket två:

1. Att identifiera lämpliga insignaler som har signifikant betydelse för den övergripande prediktionsförmågan.
2. Att identifiera lämpligt minnesdjup för insignalerna, det vill säga, antalet gamla sampel av varje insignal som ska användas vid en prediktion.

Inom arbetspaket tre formulerades följande tre mål:

1. Att identifiera lämpliga metoder för att estimeras modellosäkerhet för artificiella neuronnät.
2. Att utvärdera de mest lämpliga av dessa metoder genom att implementera och testa dem på verkliga data.

3. Att utveckla en rutin för beslutsfattande som kan väva in den extra informationen om modellosäkerheten.

6 Resultat och måluppfyllelse

Sammanfattningsvis uppsatta mål enligt kapitel fem nåtts med undantag för delmål tre inom arbetspaket två. Tiden räckte inte till för att slutföra utredningen om hur beslutsfattande kan väva in information i form av skattade modellosäkerheter. Arbetet är dock påbörjat och kommer att avslutas utanför ramen för projektet under hösten 2021.

Specifika resultat är:

- I (Dahl, et al., 2020) visade vi hur en linjär regressionsmodell kan implementeras med metoder från området "multiple time series analysis".
- En beskrivning av grundläggande effekter av val av sampling av de tidsserier som används som insignaler
- Beskrivning av hur en linjär modell står sig mot en mer klassisk "konstant lateralhastighetsmodell", där den linjära modellens prestanda överträffade den senare.
- I (Dahl, et al., 2021) presenteras resultat från en mer djupgående undersökning av hur man kan optimera parametrarna av den linjära modellen. Vi visar vilken kombination av signalval och samplingsval som ger bäst avvägning mellan beräkningskomplexitet samt prediktionsnoggrannhet.
- En jämförelse mellan en linjära och mer beräkningskrävande icke-linjära modeller i jämförelse med den i industrin idag dominerande konstanthastighetsmodellen. Intressant nog, visade vi att den linjära modellen även är att föredra före mer avancerade icke-linjära modeller.
- Specifikt visade vi att en linjär modell ger upphov till samma prediktionsnoggrannhet som en icke-linjär modell för prediktionshorisonter upp till en sekund, varefter en icke-linjär modell presterar bättre.

Projektet har bidragit till följande två av FFI:s tre övergripande mål:

- Minska antalet skadade och dödade i trafiken
- Stärka den internationella konkurrenskraften.

Samtidigt bidrar detta projekt till Delprogrammet Fordons- och trafiksäkerhets mål om att bidra till utvecklingen av "nollvisionsfordon". Dvs fordon med system som minskar antalet olyckor, och minskar konsekvenserna av de olyckor som trots allt sker.

Projektet har även bidragit till följande av delprogrammet Fordons- och trafiksäkerhets mål:

- Att teknik utvecklas med potential att svara för en signifikant del av den minskning av antalet trafikdödade som samhället fastslår. Den svenska riksdagen har beslutat om ett etappmål för trafiksäkerheten som innebär att antalet dödade skall halveras och antalet allvarligt skadade minska med en fjärdedel från 2007 till 2020. Motsvarande mål på EU-nivå är en halvering av antalet trafikdödade mellan 2010 och 2020.
- Att de svenska fordonsföretagen förblir världsledande när det gäller utvecklingen av säkra fordon och system för fordonssäkerhet. Detta då de metoder för hotutvärdering som utvecklats i projektet är en viktig pusselbit för att nå en ny nivå på effektiviteten hos framtidens kollisionssundvikande system.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Resultat finns beskrivna i publikationer som presenterats på internationella konferenser samt i ett fall, hamnat i en internationell tidskrift.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Projektarbetet har resulterat i nya idéer som lämpar sig bra att studera i kommande forskningsprojekt.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Resultaten kommer att jämföras med befintliga metoder inom produktutvecklingen på Zenseact. Det för att förstå om påvisade fördelar överväger nödvändiga insatser kopplat till förändringar av algoritmer, samt ökat behov av CPU-kraft, mm.
Introduceras på marknaden	X	Högst troligt i någon form, även om dagens hårdvara behöver bli kraftfullare, vilket det finns en tydlig trend som kan kopplas till den centralisering av plattformar för aktiv säkerhet som pågår. Realisering av system för självkörande bilar, kommer möjliggöra beräkningskraft som finns tillgänglig i manuell körning för den typ av algoritmer som studerats i projektet.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Resultaten från projektet har offentliggjorts i form av två internationella publikationer, samt två exjobbssrapporter, se nedan.

Eftersom detta projekt planeras fortgå under 2021 förväntas ytterligare två publikationer, varav den första är till stora delar redan skriven, samt en Doktorsavhandling.

Dahl, J., Rodrigues de Campos, G. & Fredriksson, J., 2021. Performance and Efficiency Analysis of a Linear Learning-Based Prediction Model Used for Unintended Lane-Departure Detection. *Transactions on Intelligent Transportation Systems, IEEE*.

Dahl, J., Rodrigues de Campos, G. & Fredriksson, J., 2020. *A Path Prediction Model based on Multiple Time Series Analysis Tools used to Detect Unintended Lane Departures*. Rhodes, IEEE.

Hultberg Hermansson, G. & Wu, S., 2021. *Machine Learning Threat Assessment Algorithms*, Gothenburg: Chalmers University of Technology (MSc Thesis)

Larsson, J. & Sjöstedt, M., 2020. *A Lane Departure Detection System Based on Uncertainty Aware Machine Learning*, Gothenburg: Chalmers University of Technology (MSc Thesis)

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Baserat på insikter som dragits från tidigare projektet har vi i detta projekt fortsatt att undersöka hur man kan dra än mer nytta av neuronätet för att förbättra prediktionsförmågan för kollisionundvikande system.

Fokus har varit på att prediktera oavsiktliga filbyten genom att analysera tidserier av data, för att kunna assistera en förare med hjälp av automatiska styrgrepp, när det behövs.

Både linjära och olinjära prediktionsmodeller vars prediktionsförmåga tränats med hjälp av maskininlärning har studerats och jämförts med enklare prediktionsmetoder som i används i industrin idag. Stor möda har lagts på att studera hur man kan optimera prediktionsmetoderna för att nå bra avvägning mellan noggrannhet och beräkningskomplexitet.

Vi har visat hur man kan nå en bra avvägning genom att välja insignaler och deras sampling på ett systematiskt sätt. Vidare drar vi slutsatsen att metoderna baserat på maskininlärning och "Multiple linear regression" utklassar den traditionella metoden baserat på en kinematisk prediktionsmodell. Därtill visar det sig att en icke-linjär prediktionsmodell presterar likvärdigt med en linjär, bortsett från fallet med långa prediktionsstider, då den icke-linjär presterar bättre. På grund av den kraftigt ökade beräkningstygden, är därför ofta en linjär modell att fördebra.

I slutet av detta påbörjade ett arbete med att studera hur man kan beräkna osäkerheter i prediktioner som baserar sig på maskininlärning. Sådana prediktionsmodeller är ofta tränade på en avgränsad indatarymd. När man utsätter modellerna för indata utanför denna rymd så vet man generellt lite om hur mycket prestandan försämras. Dessa aspekter studerades i ett examensarbete som initierats och bedrivits i nära anslutning till detta projekt.

I skrivande stund arbetar vi på att ta fram bra skattningar av prediktionernas osäkerhet i realtid. Vidare studerar vi metoder för att använda sådana skattningar på bästa sätt i beslutsalgoritmer för kollisionundvikande system. Resultat från dessa studier kommer att publiceras i en artikel under hösten 2021.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har drivits som ett industridoktorandprojekt med doktoranden John Dahl anställd av Zenseact. Chalmers Tekniska Högskola har bistått med akademisk handledning, där Jonas Fredriksson, professor i forskargruppen för Mekatronik vid avdelning för System- och reglerteknik har bistått med akademisk handledning. På Zenseact har två seniora forskare bidragit med industriell handledning samt forskning, Claes Olsson och Gabriel de Campos.

Deltagare	Roll och ansvar	Kontaktuppgifter
<i>John Dahl</i> <i>Claes Olsson</i> <i>Gabriel de Campos</i>	<ul style="list-style-type: none">• Projektledning och koordinering• Industriell handledning• Forskning• Metodutveckling• Metodvalidering	John.dahl@zenseact.com Claes.olsson@zenseact.com Gabriel.campos@zenseact.com
Chalmers Tekniska Högskola Jonas Fredriksson	<ul style="list-style-type: none">• Akademisk handledning• Forskningsstöd inom projektet	Jonas.fredriksson@chalmers.se

10 Referenser

- [1] Dahl, J., Rodrigues de Campos, G., Olsson, C. och Fredriksson, J., "Collision Avoidance: A Literature Review on Threat-Assessment Techniques", IEEE Transactions on intelligent vehicles, volym 4, utgåva 1, 2019.
- [2] Braeuchle, C. et al. "Driver Influence on Active Pedestrian Protection Systems with Combined Braking and Steering," FAST-zero '13, September 22-26 2013, Nagoya.
- [3] Katzourakis, D., Olsson, C., et al. "Driver Steering Override Strategies for Steering based Active Safety Systems", FAST-zero '13, September 22-26 2013, Nagoya.
- [4] Klintberg, E., Dahl, J., Fredriksson, J., och Gros, S., "An improved dual Newton strategy for scenario-tree MPC", IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, 12-14 December, 2016
- [5] Dahl, J., Jonsson, R., Kollmats, A., Rodrigues de Campos, G. och Fredriksson, J., "Automotive Safety: a Neural Network Approach for Lane Departure Detection using Real World Driving Data", IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Auckland, 27-30 October, 2019.