

TRUST-ME

Publik rapport

Författare: Jonas Nilsson, Daniel Åsljung, Jonas Fredriksson
Datum: 2018-01-23
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	5
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

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

Autonoma bilar förväntas att ge säkrare, mer hållbara och miljövänligare transporter. Samtidigt höjs livskvaliteten då föraren kan spendera tid på andra aktiviteter än att köra. Stora framsteg med sensorteknologier och ständig utveckling av allt mer komplexa aktiva säkerhetsfunktioner som kan ta allt flera köruppgifter från föraren, har öppnat möjligheten att låta bilen köra helt självständigt.

Verifiering av säkerheten och tillförlitligheten förutspås vara en av de största utmaningarna för kommersialisering av autonoma fordon. Målet med verifieringen är att kvantitativt uppskatta säkerheten och visa, för t.ex. kunder och myndigheter, att fordonet löser alla situationer lika bra, eller bättre, än människan. Effektiva och vetenskapligt granskade metoder är en förutsättning för att detta ska vara möjligt att utföra, givet variationen och komplexiteten av trafiksituationer i verklig trafik.

Aktiva säkerhetsfunktioner verifieras traditionellt genom att testa den delmängd av situationer där systemet är aktivt, i riktade tester på testbana eller med Computer-Aided Engineering (CAE). Detta säkerställer att t.ex. ett autobromssystem gör korrekta bromsningrepp då en farlig situation uppträder. Stora fältprov i verklig trafik används sedan för att säkerställa att systemet är passivt, dvs inte gör bromsningrepp, i alla andra situationer.

Den stora utmaningen för autonoma fordon, och för verifieringen av dessa, är att fordonet måste hantera alla uppkomna situationer, till skillnad från traditionella aktiva säkerhetssystem, som fokuserar på en specifik delmängd av situationer. Ett direkt sätt, inspirerat från aktiv säkerhet, att verifiera autonoma fordon är att utsätta bilen för ett stort antal situationer genom att köra långa fältprov och demonstrera att allvarliga fel och olyckor inte sker. Från dessa tester kan den kumulativa sannolikheten att hamna i krock beräknas med hög säkerhet. Sträckan som måste köras är dock väldigt lång vilket skapar ett behov av stora flottor med utvecklingsbilar och långa verifieringstider.

Detta projekt har utvecklat en metod som kan användas för att validera säkerheten för ett fordonets körbeteende. Data från verklig trafik används för att utvärdera närheten till en kollision, vilken extrapoleras till en kollisionsfrekvens med hjälp av EVT. Olika typer av hotmått som beskriver närhet till en kollision, liksom metoder för korrekt anpassning av EVT-modellen till data, har utvärderats. Samtliga resultat är beskrivna i detalj i vetenskapliga publikationer, [1], [2], [3], [4].

Resultaten ser lovande ut med avseende på att använda av EVT för säkerhetsvalidering av autonoma fordon. Resultaten visar att mått som relaterar till en punkt där en kollision är oundviklig fungerar bättre än mått som relaterar till den faktiska kollisionen. Flera metoder för automatisk skattning av extremvärdesmodellen till data har utvärderats. Resultaten visar att alla testade metoder fungerar bra, men vissa metoder lägger tonvikten på de mer extrema data, vilket kan resultera i slutsatserna som dras är olika. Detta tyder på att hela processen har möjlighet att automatiseras, vilket är nödvändigt vid praktisk användning på flera stora dataset.

De studier som gjort behandlar endast bakifrånkollisioner även om stora delar av de använda metoderna är generella. För att använda EVT för komplett säkerhetsvalidering av ett autonomt fordon krävs mått som beaktar alla typer av situationer där en kollision kan uppstå för den valda autonoma funktionen. Närheten till en kollision måste vara jämförbar mellan två situationer med motsvarande värde på måttet.

Den indata som används till metoderna samlas in med hjälp av sensorer som tolkar bilens omgivning. Dessa tolkningar kommer alltid vara behäftade med fel jämfört med den verkliga omgivningen. Framtida studier bör undersöka hur dessa fel påverkar uppskattningarna och slutsatserna från resultaten.

De fordon som har använts för datainsamling har körts av människor. En anledning till detta är att olycksstatistik för mänskliga förare är tillgänglig och kan användas som referens att jämföra resultaten från de utvecklade metoderna mot. Som ett nästa steg bör data från fordon som befinner sig i någon form av automatisering undersökas för att valideras att metoden kan tillämpas även där.

2 Executive summary in English

Autonomous vehicles are expected to bring safer and more convenient transports in the future. When the system in the vehicle takes care of the driving, the driver is free to spend time on other things. As the driver is no longer part of the loop and cannot be used as a fallback, the requirements that are put on safety and dependability of the system will be very high. To test the system in real traffic and measure the failure rate that leads to an accident will therefore not be feasible. However, due to the complexity of the system, it is still desirable to be able to test the safety on a complete system level.

With the emergence of automated driving systems, the vehicles will be equipped with an array of sensors that gives a representation of the environment. This opens up the possibility to use more information to estimate how safe the system behaves in real traffic. Using an area of statistics called Extreme Value Theory, the frequency of near-collision can be extrapolated into a frequency of actual collisions. These near-collisions are measured using threat assessment methods that have been developed for active safety applications.

The published papers, [1], [2], [3], [4], present a method that can be used to validate the safety of a vehicle's driving. Data captured during real traffic driving is used to evaluate the closeness to a collision, which is extrapolated into a collision frequency using EVT. Different types of measures for the closeness to a collision, as well as methods to correctly fit the EVT model to the data, has been evaluated. Based on these results, the usage of EVT for safety validation looks promising. The papers included in this thesis only considers rear-end collisions. In order to use EVT for safety validation, there is a need for a set of measures that considers all types of situations where a collision can occur. The closeness to a collision also needs to be comparable between two situations of equal threat.

From the results, it is clear that the measure relating to a point where a collision is unavoidable works better than the one relating to the actual collision. Furthermore, several methods for automatically fitting the extreme value model to the data are evaluated. The result shows that all tested methods work well where some methods put emphasis on the more extreme data, which can result in a difference of the inferences drawn. This suggests that the whole process has the possibility to be automated, which is necessary when performed repeatedly on multiple large data sets.

The data that is used as input to the methods is gathered using sensors that interpret the surroundings. These interpretations will always have some errors compared to the real environment. It needs to be investigated how these errors affect the estimations and the inferences drawn from the results. The vehicles that have been used for data collection in the papers have been driven by humans. A reason for this is to be able to have a reference to compare the results from the methods against. As a next step, data from vehicles being in some form of automation should be investigated. It needs to be validated that the applicability of the method does not change when automated vehicles are to be evaluated instead.

3 Bakgrund

Autonoma bilar förväntas att ge säkrare, mer hållbara och miljövänligare transporter. Samtidigt höjs livskvaliteten då föraren kan spendera tid på andra aktiviteter än att köra. Stora framsteg med sensorteknologier och ständig utveckling av allt mer komplexa aktiva säkerhetsfunktioner som kan ta allt flera köruppgifter från föraren, har öppnat möjligheten att låta bilen köra helt självständigt. En rad biltillverkare som Mercedes, BMW, Audi, Acura, Nissan, Ford, Infiniti och inte minst Volvo Personvagnar har demonstrerat prototyper av autonoma fordon baserade på produktionsteknologier, som är kapabla att köra självständigt på fördefinierade sträckor i den verkliga trafikmiljön. Föraren måste dock övervaka fordonets framfart och vara beredd att ta över om fordonet misslyckas. Konkurrensen är stor för att göra självkörande bilar ännu självständigare och säkrare så att föraren inte behöver övervaka fordonet.

Verifiering av säkerheten och pålitligheten förutspås vara en av de största utmaningarna för kommersialisering av autonoma fordon. Målet med verifieringen är att kvantitativt uppskatta säkerheten och visa, för t.ex. kunder och myndigheter, att fordonet löser alla situationer lika bra, eller bättre, än människan. Effektiva och vetenskapligt granskade metoder är en förutsättning för att detta ska vara möjligt att utföra, givet variationen och komplexiteten av trafiksituationer i verklig trafik.

Aktiva säkerhetsfunktioner verifieras traditionellt genom att testa den delmängd av situationer där systemet är aktivt, i riktade tester på testbana eller med Computer-Aided Engineering (CAE). Detta säkerställer att t.ex. ett autobromssystem gör korrekta bromsningrepp då en farlig situation uppträder. Stora fältprov i verklig trafik används sedan för att säkerställa att systemet är passivt, dvs inte gör bromsningrepp, i alla andra situationer.

Den stora utmaningen för autonoma fordon, och för verifieringen av dessa, är att fordonet måste hantera **alla** uppkomna situationer, till skillnad från traditionella aktiva säkerhetssystem, som fokuserar på en specifik delmängd av situationer. Ett direkt sätt, inspirerat från aktiv säkerhet, att verifiera autonoma fordon är att utsätta bilen för ett stort antal situationer genom att köra långa fältprov och demonstrera att allvarliga fel och olyckor inte sker. Från dessa tester kan den kumulativa sannolikheten att hamna i krock beräknas med hög säkerhet. Sträckan som måste köras är dock väldigt lång vilket skapar ett behov av stora flottor med utvecklingsbilar och långa verifieringstider.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

För att lansera autonoma fordon på marknaden behöver säkerheten kunna valideras. Nya metoder är nödvändiga som svarar på frågorna:

- Hur kan man prediktera olyckssannolikheten för autonoma fordon från begränsade fältprov?
- Hur identifierar man de mest kritiska situationerna från en oändlig mängd trafiksituationer?

Det är också viktigt att förändringar i den autonoma funktionaliteten kan verifieras med en begränsad mängd nya tester i s.k. "short-loop":

- Hur kan man utvärdera ny funktionalitet givet befintlig data från fältprov och en begränsad mängd nya tester?

Detta är betydligt mer utmanande för system som en majoritet av tiden påverkar fordonets rörelse och därmed trafiksituationen. För system som endast aktiverar i sällsynta fall så påverkar systemet nästan aldrig trafiksituation vilket gör att inspelad data kan användas till att utvärdera ändringar i systemets beslutsfattande.

Problemet att utvärdera säkerhet från normal körning som inte innehåller krockar eller andra kritiska situationer har fått mycket uppmärksamhet i ett annat område, nämligen trafiksäkerhet. Mycket forskning fokuserar på att kunna identifiera kritiska parametrar (männsliga faktorer, fordons och vägegenskaper m.fl.) i normal körning som kan leda till krock, samt att kunna tillämpa olika statistiska metoder för att estimerar sannolikheten att hamna i olycka från konfliktsituationer. Av dessa metoder är kausalteori och extremvärdesteori (EVT) de som visat mest potential. EVT har också använts till att prediktera nytta med aktiva säkerhetsfunktioner. I detta projekt har vi utforskat om dessa metoder kan tillämpas för att utvärdera säkerheten för autonoma fordon.

5 Mål

En effektiv verifieringsprocess kommer att bli en av nycklarna till snabb utveckling av autonoma fordon, och till att garantera fordonens säkerhet. Robusta och effektiva metoder för short-loop verifiering med hjälp av CAE och riktad testning kommer att stödja snabb utveckling av komplexa och flexibla autonoma funktioner och system. På det sättet bidrar projektets resultat till FFIs strategiska satsning "Automatiserade fordon", och säkerställer att Volvo Cars, och Sverige, kan ta en världsledande roll inom autonoma fordon.

Vi påpekar att få, eller ingen, annan tillverkare eller universitet har en kombination av färdigheter i sensorer, funktioner samt verifieringsteknologier för aktiva säkerhetsfunktioner, och även state-of-the-art testanläggningar (ASTA-Zero) och ett pågående utvecklingsprojekt för autonoma fordon (Drive Me). Att projektet leds i ett tätt samarbete med Chalmers möjliggör en hög forskningskvalité och underlättar kompetensutbytet mellan industrin och akademien. Tillsammans skapar dessa faktorer en unik möjlighet att lösa de forskningsutmaningar inom verifieringen för autonoma fordon som är kritiska för snabb utveckling och tidig lansering av dessa på Svenska vägar.

TRUST-ME projektet kommer också att bidra till FFI programmet "Fordons- & Trafiksäkerhet" genom att

- skapa metoder för Fordons- och trafiksäkerhetsanalys med fokus på autonoma fordon
 - skapa metoder för verifiering av intelligenta krockundvikande system och fordon, då en av de viktigaste egenskaperna hos autonoma fordon är att alltid kunna undvika krock
- Enligt färdplanen för Fordons- & Trafiksäkerhet ska "stödjande och skyddande fordon" (Säkerhetslösning 1) utvecklas från konceptformen år 2015 (Milstolpe 1:1) till produkter på marknaden (Milstolpe 1:2). För "Förutseende och uppkopplade fordon" (Säkerhetslösning 2) ligger dessa milstolpar mellan 2020 och 2025. Autonoma fordonens funktionalitet faller under båda dessa kategorier, och alla utmaningar som är listade i färdplanen är aktuella för dem. TRUST-ME projektet bidrar till att skapa verifieringsstrategi och metoder för att nå Milstolparna 2:1 och 2:2 mellan 2015 och 2025 genom att kunna verifiera lösningar och bevisa att de listade utmaningar är tillgodosedda.

Den utvecklade metoden kommer genom akademiska publikationer och samarbetsprojekt att delvis tillgängliggöras för andra företag och universitet. Detta kan skapa nya jobb inom akademien och industrin, stärka regionens konkurrenskraft och utveckla kompetens inom autonoma fordon. Publicering innebär även utvärdering av resultat genom referentgranskning.

Projektets övergripande mål är att skapa vetenskapligt underlag för samt utveckla och validera metoder för verifieringen av autonoma fordon. Mer specifikt att:

1. Estimera säkerheten och prestanda för autonoma fordon från fältdata.
2. Identifiera kritiska situationer som avgör prestanda för autonoma fordon.
3. Förfina säkerhetsestimatet samt identifiera källor till fel från riktad testning och CAE.
4. Utvärdera funktionsändringar i "short-loop".

Projektet har haft huvudfokus på mål 1. Metoden som utvecklats adresserar även mål 2 och 4. Mål 3 har dock inte adresserats dels p.g.a. att övriga mål krävt mer resurs än planerat och dels för att detta mål är beroende av metoder inom riktad testning och CAE som i sig har ett utvecklingsbehov.

6 Resultat och måluppfyllelse

Detta projekt har utvecklat en metod som kan användas för att validera säkerheten för ett fordon's körbeteende. Data från verklig trafik används för att utvärdera närheten till en kollision, vilken extrapoleras till en kollisionsfrekvens med hjälp av EVT. Olika typer av hotmått som beskriver närhet till en kollision, liksom metoder för korrekt anpassning av EVT-modellen till data, har utvärderats. Samtliga resultat är beskrivna i detalj i vetenskapliga publikationer, [1], [2], [3], [4].



Figur 1. Översikt av metoden för säkerhetsvalidering.

Resultaten visar att mått som relaterar till en punkt där en kollision är oundviklig fungerar bättre än mått som relaterar till den faktiska kollisionen. Flera metoder för automatisk skattning av extremvärdesmodellen till data har utvärderats. Resultaten visar att alla testade metoder fungerar bra, men vissa metoder lägger tonvikten på de mer extrema data, vilket kan resultera i slutsatserna som dras är olika. Detta tyder på att hela processen har möjlighet att automatiseras, vilket är nödvändigt vid praktisk användning på flera stora dataset.

Den utvecklade metoden har nått projektets första mål; att estimera säkerheten och prestanda för autonoma fordon från fältdata. Metoden har även adresserat projektets andra mål, då den baserat på mått om närhet till kollision och EVT på ett systemtiskt sätt kan identifiera kritiska situationer som avgör prestanda för autonoma fordon. Vad gäller båda dessa mål återstår att identifiera och utveckla lämpliga mått för närhet till kollision som täcker samtliga relevanta kollisionstyper. Projektets tredje mål har som beskrivits ovan nedprioriterats under projektets gång. Den utvecklade metoden är generell med avseende på vilken indata som väljs och kan därför även användas som en del i ett ramverk för att utvärdera funktionsändringar i "short-loop", vilket var projektets fjärde mål. Det kompletta ramverket för detta kräver dock kompletterande metoder.

Projektet har bidragit till samtliga av FFI:s övergripande mål som är att:

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

Projektet har även bidragit till

- Teknik utvecklas med potential att svara för en tredjedel av den minskning av antalet trafikdödade som samhället fastslår. I nuläget fokuseras det etappmål riksdagen fastslagit för år 20202 .
- De svenska fordonsföretagen förblir världsledande när det gäller utvecklingen av säkra fordon och system för fordonssäkerhet.
- Svensk fordonsindustri blir världsledande när det gäller utvecklingen och implementeringen av automatiserade fordon och transportlösningar

Detta då de metoder för verifiering och validering av autonoma fordon som utvecklats i projektet är en viktig pusselbit för lansera autonoma fordon på marknaden.

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	Projektresultat har presenterats i samband med publikationer nedan samt vid ett antal konferenser av inbjudna talare från projektet.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Projektet samarbetar med andra forskningsprojekt (e.g. Drive Me) samt interna utvecklingsprojekt på Volvo Cars och Zenuity
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Projektresultat tillämpas inom produktutvecklingsprojekt på Zenuity.
Introduceras på marknaden	X	Projektresultat kommer att användas för säkerhetsvalidering av framtida produkter på marknaden.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

- [1] D. Åsljung, "On Safety Validation of Automated Driving Systems using Extreme Value Theory," Licentiate Thesis, R014/2017, ISSN 1403-266X, Department of Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, 2017.
- [2] D. Åsljung, J. Nilsson, and J. Fredriksson, "Using Extreme Value Theory for Vehicle Level Safety Validation and Implications for Autonomous Vehicles," *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 2, no. 4, pp. 288–297, 2017.
- [3] D. Åsljung, J. Nilsson, and J. Fredriksson, "Validation of Collision Frequency Estimation Using Extreme Value Theory," in *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2017.
- [4] D. Åsljung, J. Nilsson, and J. Fredriksson, "Comparing Collision Threat Measures for Verification of Autonomous Vehicles using Extreme Value Theory," in *9th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV 2016)*, 2016, vol. 49, no. 15, pp. 57–62.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Resultaten ser lovande ut med avseende på att använda av EVT för säkerhetsvalidering av autonoma fordon.

De studier som gjort behandlar endast bakifrånkollisioner även om stora delar av de använda metoderna är generella. För att använda EVT för komplett säkerhetsvalidering av ett autonomt fordon krävs mått som beaktar alla typer av situationer där en kollision kan uppstå för den valda autonoma funktionen. Närheten till en kollision måste vara jämförbar mellan två situationer med motsvarande värde på måttet.

Den indata som används till metoderna samlas in med hjälp av sensorer som tolkar bilens omgivning. Dessa tolkningar kommer alltid vara behäftade med fel jämfört med den verkliga omgivningen. Framtida studier bör undersöka hur dessa fel påverkar uppskattningarna och slutsatserna från resultaten.

De fordon som har använts för datainsamling har körts av människor. En anledning till detta är att olycksstatistik för mänskliga förare är tillgänglig och kan användas som referens att jämföra resultaten från de utvecklade metoderna mot. Som ett nästa steg bör data från fordon som befinner sig i någon form av automatisering undersökas för att valideras att metoden kan tillämpas även där.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Zenuity

Jonas Nilsson

jonas.nilsson@zenuity.com



Volvo Cars

Mikael Edvardsson

mikael.edvardsson@volvocars.com



Chalmers

Jonas Fredriksson

Jonas.fredriksson@chalmers.se



CHALMERS