

Säkerhetsmarginaler i komplexa trafikmiljöer

Publik rapport

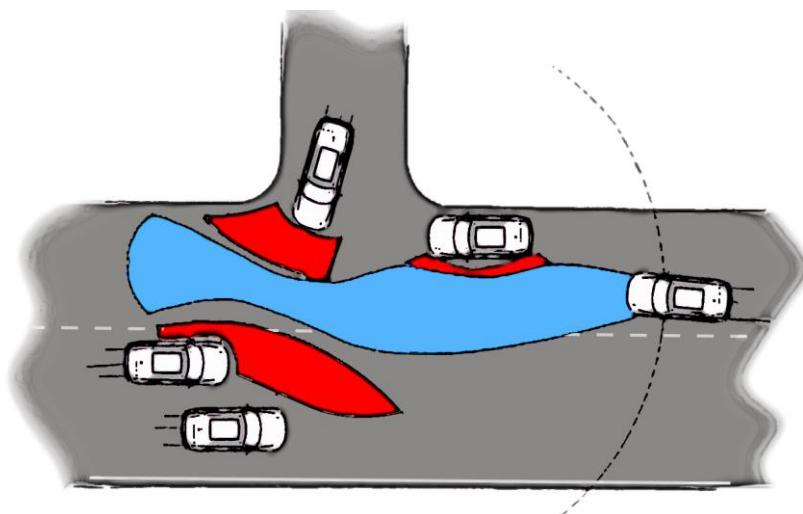


Bild inspirerad av illustrationerna i "A theoretical field-analysis of automobile-driving" av J.J. Gibson and L.E. Crooks, i Journal of Psychology 1938

Författare: Andrew Backhouse, Mattias Brännström

Datum: 2020-11-16

Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

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

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

Detta forskningsprojekt har fokuserat på att utveckla metoder för att automatiskt bedöma hur självkörande fordon måste kunna interagera med andra trafikanter i olika typer av trafikmiljöer. Att veta hur man interagerar med andra är en förutsättning för att köra autonomt, annars kan fordonet hindra trafikflödet eller till och med utgöra en trafikfara. Ett självkörande fordon kommer endast att kunna köra i nya miljöer om de kör med säkerhetsmarginaler som är tillräckliga för trafiksäkerheten och som överensstämmer med marginaler som andra trafikanter använder.

Ett ramverk har skapats där köruppgiften beskrivs som en sekvens av basala styrsignaler från regleralgoritmer, där varje regleralgoritm motsvarar en kontinuerlig reglering utformad för att justera säkerhetsmarginalerna mellan värdfordonet och en annan trafikant. Genom att växla mellan olika säkerhetsmarginaler och regleralgoritmer för att interagera med olika trafikanter kan varje köruppgift slutföras. Inom detta ramverk är utmaningen att välja sekvenser av basala regleralgoritmer och marginaler som är säkra, effektiva och naturliga. Flera publikationer har skrivits som visar hur ett system effektivt kan tränas för att uppnå dessa mål.

2 Executive summary in English

This research project has focused on developing methods for automatically assessing how self-driving vehicles must be able to interact with other road users in different types of traffic environments. Knowing how to interact with others is a prerequisite for driving autonomously, otherwise the vehicle may obstruct the traffic flow or even become unsafe. A self-driving vehicle will only be able to drive in a new environment if its safety margins are both sufficient for safety and are consistent with margins used by other road users.

A framework has been created where the driving task is described as a sequence of elementary control actions; each control action corresponding to a continuous control loop designed to adjust the safety margins between a specified target and the host vehicle to a desired target. By switching the controller between different safety margins and different targets any driving task can be completed. Within this framework, the challenge is to choose sequences of actions which are safe, efficient and are natural. Several papers have been written which demonstrate how a system can be trained effectively to achieve these goals.

3 Bakgrund

Ett självkörande fordon bör endast köra i miljöer där det kan nå sin destination säkert och där det kan uppnå detta utan att hindra andra eller orsaka konflikter med annan trafik. I vissa miljöer blir detta svårare att uppnå. Att köra säkert utan att hindra trafiken i den täta och oregelbundna trafik som uppstår i centrum av Rom, Paris eller London, är mycket svårare än att köra på en motorväg i Sverige.

Den omedelbara utmaningen som självkörande fordon står inför är att säkerställa att de kan köra säkert utan tillsyn i köer på ett begränsat antal handplockade vägar med skilda körbanor. Med tiden kommer självkörande fordon att behöva klara av rondeller, korsningar, mötande fordon och mycket mer tät och komplicerad trafik. Konflikter är vanligare och har mer betydande konsekvenser i dessa miljöer. Att köra utan tillsyn i komplexa miljöer medför många utmaningar, men att lösa dem kommer i slutändan att vara betydelsefull för trafiksäkerheten. Roten till dessa utmaningar ligger i svårigheten att veta hur man kan interagera säkert med tanke på andra trafikanters okända intentioner. Utmaningar som blir allt svårare när självkörande fordon lanseras längre bort från där de utvecklas och utvecklare inte längre personligen kan känna till varje väg och land där de körs.

Att se till att ett självkörande fordon samverkar med andra trafikanter är inte samma problem som att utforma ett bra kollisionssundvikande system. Till skillnad från ett konventionellt system för att undvika

kollisioner måste ett självkörande fordon vara proaktivt när det gäller säkerhet genom att aktivt säkerställa att konfliktsituationer undviks eller åtminstone att de kan hanteras. Det måste också veta i förväg vilka miljöer det kan hantera konflikter så att det kan förhindra att ett självkörande läge aktiveras i en olämplig miljö. Ett grundläggande och viktigt steg för att uppnå detta är förmågan att modellera och förutsäga dynamiken i komplexa trafikmiljöer. Ett andra steg är att förstå vilka säkerhetsmarginaler som andra trafikanter använder för att nå sin destination säkert. Ett självkörande fordon bör emellertid inte kopiera dessa marginaler rakt av eftersom fordonet har andra förmågor och begränsningar än en förare. Marginalerna för ett självkörande fordon bör dock överensstämma relativt väl med marginalerna för andra trafikanter, annars kan det självkörande fordonet uppfattas som överdrivet aggressivt eller alltför försiktigt. Att kunna köra på ett säkert sätt med liknande marginaler som den omgivande trafiken säkerställer att fordonet inte blockerar trafik och kommer att kunna nå sin destination.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Nyckelattributet som kommer att mäta framsteg inom fältet av självkörande fordon är den effektiva tillgängligheten av självkörningsläget. Huvudsyftet med detta projekt har därför varit att öka tillgängligheten genom att utveckla förutsättningarna för att ett självkörande fordon ska kunna fungera i fler miljöer. Att uppnå detta stärker svensk kompetens inom självkörande fordon och hjälper till att uppfylla FFIs mål att säkerställa att Sverige spelar en världsledande roll i utvecklingen av automatiserade fordon.

Den bakomliggande forskningsfrågan som detta projekt ställer är hur ett självkörande fordon ska interagera med andra trafikanter. När detta projekt initierades var antagandet att vägen dit ligger i skapandet av statistiska modeller som beskriver den naturliga interaktionen mellan andra trafikanter. Säker interaktion med andra fordon kan sedan uppnås genom modellbaserade algoritmer.

Den första forskningsfrågan som ställdes var att utmana våra förutbestämda antaganden och fråga vilket ramverk är bäst lämpad för att lösa interaktionsproblemet. För att ta itu med denna fråga gjordes en granskning av de många alternativa ramverk som har föreslagits i litteraturen. En uppsättning kriterier formulerades mot vilka alternativa ramverk kunde bedömas. Ett ramverk upprättades sedan för att uppfylla dessa kriterier.

Efter att ha skapat ett ramverk var nästa forskningsfråga som detta projekt ställde, hur komponenterna i ramverket som ansvarar för interaktionen med andra trafikanter ska utformas. Eftersom fokus för detta projekt var interaktion snarare än perception skapades en simulator för att studera, designa och testa beslutsfattning - och reglerkomponenterna i vårt ramverk. Detta gjorde att andra trafikanters interaktionsbeteende kunde varieras på ett kontrollerat sätt. Algoritmer kunde sedan utvecklas för att interagera med sina digitala medtrafikanter och testas under kontrollerade förhållanden. Utvecklingen utfördes främst på Zenuity och Volvo Car Corporation. Chalmers Tekniska Högskola stöttade utvecklingen med konceptuella diskussioner och handledning.

5 Mål

Projektet har två huvudmål. Den första är att utveckla metoder för att förutsäga framtida avsikter och interaktioner mellan andra trafikanter. Det andra målet är att skapa ett ramverk för interaktion med andra trafikanter genom att använda de metoder som utvecklats från det första målet. Målen delades in i fyra arbetspaket. Det första arbetspaketet var projektledning. Målen för det andra arbetspaketet var att identifiera lämpliga metoder för att förutsäga banor och att utveckla dem. Det tredje arbetspaketet var att identifiera lämpliga metoder för klassificering av trafikanters intentioner och att utveckla metoder för estimering av dessa, som kan integreras med

regleralgoritmer. Slutligen var målet med det fjärde arbetspaketet att utveckla regleralgoritmen så att den inte bara skulle reagera på andra trafikanters handlingar utan också upprätthålla lämpliga säkerhetsmarginaler i processen.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Resultat

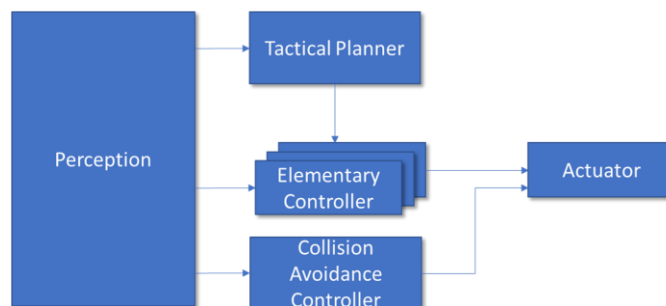
Arkitekturdesign

Som beskrivs i avsnitt 4 var den första forskningsfrågan vi ställde att svara på frågan om intentioner och prediktioner av andra trafikanters rörelse måste beräknas explicit. Det alternativa tillvägagångssättet är att direkt optimera den longitudinella och laterala regleringen av fordonet för att interagera med andra trafikanter på ett lämpligt sätt. I detta tillvägagångssätt, beräknas intentioner och prediktioner av rörelser för andra trafikanter implicit.

Under projektets start utfördes därför inledningsvis arbete med att granska och diskutera vanliga funktionella arkitekturer som har använts vid utformningen av självkörande fordon. Kriterierna som användes för att utvärdera konkurrerande arkitekturer var följande:

Säkerhet	Det ska vara möjligt att verifiera att systemet är tillräckligt säkert.
Kostnad	Det ska vara möjligt att härleda hårdvarukrav för att undvika att över- eller underspecificera hårdvaran.
Spårbarhet av fel	Det ska vara möjligt att spåra vad som orsakade ett fel i systemet till ett fel i en komponent
Utvidgning	Det ska vara möjligt att förbättra och utöka systemets prestanda över tid utan att verifiera / designa om alla delar av systemet.
Omfattande	Systemet ska utformas så att det uppfyller den avsedda funktionaliteten i olika trafik-, väder- och ljusförhållanden när det gäller säkerhet, komfort, sociala aspekter etc.
Anpassningsförmåga	Systemet ska kunna anpassa sitt körsätt för att uppfylla lokala och sociala interaktionskrav som dessutom kan förändras över tid.
Symbios	Arkitekturen ska stödja både ADAS- och AD-funktionalitet så att framsteg inom AD kan användas i ADAS och vice versa.

Baserat på dessa krav föreslogs en arkitektur på hög nivå som behandlar köruppgiften som en sekvens av basala regleralgoritmer. Varje regleralgorithm motsvarar en kontinuerlig reglerloop utformad för att justera säkerhetsmarginalerna mellan en angiven trafikant och värdfordonet till ett önskat värde. En taktisk planerare sammanställer en sekvens av basala regleralgoritmer för att utföra avancerade manövrer. En reaktiv kollisionsundvikande regleralgorithm krävs fortfarande för att hantera de sällsynta situationer där andra trafikanter agerar utöver vad som rimligen kan förväntas.



Ett exempel på en basal regleralgorithm är en reglerloop som är utformad för att centrera värdfordonet i sitt körfält samtidigt som den ska behålla en fast tidslucka på 2 sekunder till fordonet framför. Genom att växla mellan basala regleralgoritmer som reglerar mot olika trafikanter med olika marginaler kan alla avancerade köruppgifter slutföras.

Det är möjligt att utöka systemets kapacitet genom att introducera flera basala regleralgoritmer och uppdatera den taktiska planeraren för att hantera mer avancerade uppgifter. Eftersom varje basal regleralgorithm dessutom har ett begränsat omfång, är härledningskrav för dessa regleralgoritmer enklare än att härleda krav för en större mer komplex uppgift. Unika perceptionskrav kan härledas för varje basal regleralgorithm. För att utföra en avancerad uppgift behöver den taktiska planeraren endast veta om perceptionssystemet för närvarande kan uppfylla kraven för den basala regleralgoritmen. Därför kan kostnaden begränsas genom att välja det minsta perceptionssystem som uppfyller kraven för dessa regleralgoritmer.

Den största utmaningen är dock att säkerställa att trafiksäkerheten bibehålls och att körsättet anpassas för att uppfylla lokalt och socialt interaktionsbeteende som kan förändras över tiden. Det är därför projektets tre artiklar har fokuserat på hur man hanterar detta användningsfall.

Taktiskt val av säkerhetsmarginaler

Målet med detta projekt var att utveckla system som kan interagera naturligt och samtidigt säkerställa tillräcklig trafiksäkerhet. Ett antagande inom detta projekt är att naturlig interaktion, som kan variera stort över världen, är enklast att uppnå med hjälp av självlärande algoritmer. Utmaningen med självlärande algoritmer är dock svårigheten att säkerställa att de är tillräckligt säkra. I den första artikeln behandlas denna fråga.

Papperet beskriver ett tillvägagångssätt för att uppnå detta genom att begränsa valet av regleralgorithm till en delmängd av regleralgoritmer som är validerade för den aktuella situationen. Papperet fokuserar sedan på inlärningsuppgiften och beskriver hur man tränar ett system när uppsättningen tillgängliga åtgärder ändras.

Begränsningen av basala regleralgoritmer bygger på hypoteser om vilka åtgärder andra trafikanter kan vidta i den nuvarande situationen. Förutsatt att inga trafikanter utför åtgärder utöver vad åtgärdsbegränsaren förväntar sig garanteras trafiksäkerheten. Om detta blir tillräckligt säkert beror då bara på om det reaktiva kollisionsundvikande systemet klarar tillräckligt många av de återstående fallen där trafikanter agerar utöver vad som förväntades.

Medan det första pappret tränade upp ett system att utföra avancerade manövrar effektivt samtidigt som riskabla manövrar begränsades, tränades inte systemet specifikt för att dessutom agera naturligt. Därför utfördes den efterföljande forskningen för att ta itu med denna aspekt. I det första pappret tränades systemet för att maximera en konstgjord belöning som var utformad för att fånga hur effektiv en manöver

utfördes. I det andra och tredje pappret tränades systemet istället för att imitera beteende. Belöningen utökades dock för att främja säkert och bekvämt beteende över ren imitation.

6.2 Måluppfyllelse

Projektet avviker något från de ursprungliga målen på grund av en bättre förståelse för problemet. De ursprungliga målen och förväntade leveranser var en metod för att förutsäga trafikanters rörelse, ett ramverk för att förutse andra trafikanters intentioner och interagera med acceptabla säkerhetsmarginaler. På grund av valet av arkitektur tidigt i projektet bestämdes det att prediktion av rörelser inte behövde utföras uttryckligen av en dedikerad komponent. Snarare utfördes prediktionen implicit som en del av taktisk planerare. Enligt arbetspaket 2 var målet att välja lämplig metod för att prediktera rörelser för andra trafikanter och sedan implementera metoden. Eftersom vi bestämde att lämplig metod för att prediktera rörelser var att utföra detta implicit som en del av regleralgoritmen implementerades inte den andra delen av arbetspaket 2.

Målet med arbetspaket 3 var att utveckla ett ramverk för uppskattning av intentioner och att integrera detta med en regleralgoritm. På samma sätt, som i arbetspaket 2, utförde det valda ramverket uppskattning av de andra trafikanternas intentioner implicit. Detta uppnåddes sedan framgångsrikt och har integrerats i en regleralgoritm. Effekterna av uppskattningarna, interaktionen och regleringen kan ses med hjälp av den simuleringsmiljö som utvecklats inom projektet.

I arbetspaket 4 var målet att säkerställa att regleralgoritmen inte bara uppskattade intentioner utan också upprätthöll marginaler som är både lämpliga och överensstämmer med den omgivande trafiken. Alla artiklar behandlade problemet att säkerställa att marginaler är lämpliga. De sista två artiklarna illustrerade också att åtgärder kunde väljas som var förenliga med den omgivande trafiken.

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	Arbetet från detta projekt har dokumenterats i tre artiklar. Efter att den första artikeln publicerades inleddes ett samarbete med Berkeley-universitetet som resulterade i den andra och tredje artikeln.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt		
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Arbetet är inte integrerat i någon produkt från Zenseact eller Volvo Car Corporation. Koncepten och idéerna har dock påverkat funktionella och arkitektoniska beslut i Zenuity/Zenseacts programvara.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Resultaten från projektet har presenterats i tre publikationer

- Learning faster to perform autonomous lane changes by constructing maneuvers from shielded semantic actions, Dapeng Liu, Mattias Brännström, Andrew Backhouse and Lennart Svensson, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2019, Auckland, New Zealand

- Human-like Decision Making for Autonomous Driving via Adversarial Inverse Reinforcement Learning, Pin Wang, Dapeng Liu, Jiayu Chen, Hanhan Li and Ching-Yao Chan
- Adversarial Inverse Reinforcement Learning for Decision Making in Autonomous Driving, Pin Wang, Dapeng Liu, Jiayu Chen, and Ching-Yao Chan

Den andra och den tredje av dessa artiklar skrivs tillsammans med Berkeley University och presenterades vid BAIR / Berkeley Deep Drive fall workshop 2019 i Kalifornien, USA.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet gick ut på att förstå hur man interagerar naturligt och säkert med andra trafikanter. Innan projektet startade fanns en färdplan för hur man ska uppnå detta. Det första steget var att skapa modeller för att prediktera andra trafikanters rörelse. Nästa steg var att karakterisera och modellera de interaktioner och marginaler som andra trafikanter tar. Även om färdplanen inte följdes och de mellanliggande stegen för att prediktera rörelser hoppades över uppnåddes det primära målet att lära sig att interagera naturligt och säkert med andra trafikanter. I den första publikationen föreslogs en funktionell arkitektur för att hantera behoven hos ett självkörande fordon. I det pappret visades hur ett system kunde lära sig att utföra manövrar effektivt samtidigt som man säkerställde att osäkra åtgärder inte genomfördes.

I det andra och tredje pappret visades också hur systemet kunde läras att ta marginaler som efterliknar den omgivande trafiken.

Även om projektet visade att det är möjligt att interagera säkert och naturligt har systemet bara realiserats i en simuleringsmiljö. Ett framtida forskningssteg bör innehålla riktiga sensorer och naturlig körning för att visa att slutsatserna fortfarande gäller när de tillämpas på verkliga data.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Följande partners har deltagit i projektet

Zenuity AB / Zenseact AB, Volvo Car Corporation, Chalmers University of Technology

Andrew Backhouse, Zenuity AB / Zenseact AB, Lindholmspiren 2, 41756 Göteborg, Sverige
Tel +46 70 430 1143, E-post: andrew.backhouse@zenuity.com

Mattias Brännström, Zenuity AB / Zenseact AB, Lindholmspiren 2, 41756 Göteborg, Sverige
Tel +46 72 977 5048, E-Post: mattias.brannstrom@zenuity.com

Dapeng Liu, Zenuity AB / Zenseact AB, Lindholmspiren 2, 41756 Göteborg, Sverige
Tel +46 72 888 9394 E-Post: dapeng.liu@zenuity.com

Lennart Svensson, Chalmers University of Technology, 41296 Göteborg, Sverige
Tel +46 31 772 1777 E-Post: lennart.svensson@chalmers.se



Z E N U I T Y
Make it real.