

# Slutrappport A-Drive

Mohammad Ali  
2016-03-16  
Trafiksäkerhet och automatiserade fordon



# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>3</b>
<b>4 Syfte, frågeställningar och metod.....</b>	<b>4</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>4</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>4</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>5</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	5
7.2 Publikationer.....	5
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>6</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>6</b>

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. 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](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1 Sammanfattning

Automatisering av bilkörningen förväntas bidra till ökad säkerhet i trafiken. I detta projekt har beslutsalgoritmer som möjliggör automatiserad körning på motorvägsliknande vägar utvecklats. Fokus har varit på filbyten. Algoritmerna har implementerats och testats och resultaten har publicerats på internationella konferenser och i tekniska tidskrifter.

## 2 Executive summary

Functions for automation of the driving task have been developed for a long time by now. Many vehicles manufacturers offer their customers' functions like Adaptive Cruise Control (ACC) and Pilot Assist. These functions can control steering, braking and throttle automatically and have potential to significantly reduce the number of severe traffic incidents. This potential is envisioned to be further increased when the driving task can be completely automated and the weakest link, i.e. the human driver which has been shown to be responsible in the vast majority of accidents, can be taken out of the loop. The overall purpose of this project has been to bring the technological development closer to that goal.

The project has mainly focused on automation of the driving task in highway like environments where there is no oncoming traffic, intersections and vulnerable road users aren't allowed. Algorithms have been developed that control the vehicles longitudinal and lateral motion in order to keep it in lane, plan lane changes by selecting a suitable gap to move into and then controlling the vehicles motion. Algorithms for modelling and prediction of other road users' movement have also been developed.

The project has shown that it is possible to model and formulate the path planning problem for the considered traffic situations in a way that enables use of efficient optimisation-algorithms. Special focus has been put in enabling use of solvers that utilise convexity which enables high performance path planning and control while keep computational burden low. This is important to enable commercialisation of the algorithms.

## 3 Bakgrund

Funktionalitet för automatisering av bilkörningen har utvecklats och varit i produktion under en tid nu. Många biltillverkare erbjuder sina kunder funktioner som Adaptive Cruise Control (ACC) och Pilot Assist. Typiskt är dessa funktioner designade för att stödja föraren kontinuerligt under bilkörningen men det finns även funktioner som tar över och bromsar kraftigt om det skulle behövas i kritiska situationer. Utvärderingar av denna typ av stödsystem indikerar att de har potential att minska antalet allvarliga trafikolyckor. Flera aktörer jobbar idag på att utöka automationsgraden med målsättningen att göra bilkörningen helt autonom.

## 4 Syfte, frågeställningar och metod

Volvo Personvagnar ska bli världens ledande biltillverkare i bilsäkerhet. Detta kräver att Volvo kan erbjuda världsledande aktiv-säkerhetsteknologi, som avsevärt minskar risken för kollisioner. Automatisering av bilkörningen är ett värdefullt steg i den riktningen.

Syftet med projektet har varit att utreda hur algoritmer kan utformas för att möjliggöra automatiserad körning. Detta har gjorts genom framtagning och implementation av algoritmer som sedan testats i simuleringar och verklig trafik.

## 5 Mål

Projektresultaten har, i enlighet med uppsatta mål, resulterat i metoder för generisk modellering av trafikmiljö och reglerdesign där beslutsfattande och manöverplanering hanteras separat. Metoderna är primärt utvecklade för automatiserad körning på motorväg, men är även skalbara till situationer där det autonoma fordonet har väjningsplikt t.ex. rondeller och korsningar.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

### Akademiskt bidrag

- Formulering av besluts och trajektorieplanerings problemet för filbytesmanövrer som kombinerad optimering av longitudinell och lateral reglering i formen av ett kvadratisk konvext optimeringsproblem.
- Löst kopplad longitudinell och lateral trajektorieplanerings algoritm för väjningsmanövrer t.ex. filbyten och vid körning i rondeller och korsningar

### Industriellt bidrag:

- Flexibla algoritmer med låg komplexitet för trajektorieplanering vid väjningsmanövrer.
- Filbytesalgoritmer implementerade och testade i provbilar.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

### 7.2 Publikationer

1. J. Nilsson and J. Sjöberg, "Strategic decision making for automated driving on two-lane, one-way roads using model predictive control," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1253-1258, June 2013, Gold Coast, Australia.
2. J. Nilsson, M. Ali, P. Falcone, and J. Sjöberg, "Predictive manoeuvre generation for automated driving," *IEEE Conference on Intelligent Transport Systems*, pp. 418-423, October 2013, The Hague, The Netherlands.
3. J. Nilsson, Y. Gao, A. Carvalho, and F. Borrelli, "Manoeuvre generation and control for automated highway driving," *IFAC World Congress*, pp. 6301-6306, August 2014, Cape Town, South Africa.
4. J. Nilsson, M. Brännström, E. Coelingh, and J. Fredriksson, "Longitudinal and lateral control for automated lane change maneuvers," *American Control Conference*, pp. 1399-1404, July 2015, Chicago, IL, USA.
5. J. Nilsson, J. Fredriksson, and E. Coelingh, "Rule-based highway maneuver intention recognition," *IEEE Conference on Intelligent Transport Systems*, pp. 950-955, September 2015, Las Palmas de Gran Canaria, Canary Islands, Spain
6. J. Nilsson, P. Falcone, M. Ali, and J. Sjöberg, "Receding horizon maneuver generation for automated highway driving," *Control Engineering Practice*, vol. 41, pp. 124-133, August 2015.
7. J. Nilsson, M. Brännström, J. Fredriksson, and E. Coelingh, "Longitudinal and lateral control for automated yielding maneuvers," Accepted for publication in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016.
8. J. Nilsson, "On decision-making and control for automated highway driving," Licentiate Thesis R003/2014, ISSN1403-266X, Chalmers University of Technology, February 2014.

9. Lei Ni, Ankit Gupta, Paolo Falcone\*, Lars Johannesson Mårdh, Vehicle Lateral Motion Control with Performance and Safety Guarantees, **Accepted to AAC'16**
10. Feyyaz Emre Sancar, Baris Fidan, Jan P. Huissoon, Paolo Falcone, *Systematic Vehicle Merging for Obstacle Avoidance*, **Submitted to IV'16**
11. Mehdi Jalalmaab\*, Baris Fidan, Soo Jeon, Paolo Falcone, *Persistent Feasibility Maintenance in Highway Collision Avoidance by Autonomous Vehicles*, **Submitted to IV'16**
12. Seyed Mehrdad Hosseini, Nikolce Murgovski, Gabriel Rodrigues de Campos, Jonas Sjöberg, Adaptive forward collision warning algorithm for automotive applications, accepted to ACC 2016.
13. Murgovski, N. och Sjöberg, J. (2015) *Predictive cruise control with autonomous overtaking*. IEEE Conference on Decision and Control (2015)

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Huvudfokus i projektet har varit på att ta fram beslut- och regleralgoritmer som lämpar sig för automatisering av körningen på motorvägsliknande vägar. Algoritmerna som tagits fram kan reglera både bilens longitudinella och laterala rörelse för att hålla den i fil, planera filbyten genom att välja lämplig lucka att gå in och sedan reglera både styrning och acceleration. Algoritmer för prediktion av andra trafikanters rörelse har även tagits fram.

Det har visat sig möjligt att modellera och formulera planeringsproblemet på ett sätt som möjliggör utnyttjandet av effektiva optimeringsalgoritmer. Särskild fokus har lagts på att kunna använda lösare som utnyttjar att problemet är konvext vilket möjliggör planering och reglering med god prestanda samtidigt som beräkningstiden hålls nere vilket är viktigt vid en kommersialisering. Även för prediktion av andra trafikanters rörelse har det visat sig möjligt att använda modellbaserade metoder som är intuitiva och lättkalibrerade utan att behöva kompromissa med prestanda jämfört med maskinlärningsbaserade metoder som är svårare att felsöka och kalibrera.

Algoritmerna som tagits fram har potential att göra nytta i alla typer av situationer där en bil behöver väja för andra. Resultaten från detta projekt kommer även att vara värdefulla för framtida forskning på hur algoritmer kan utformas för att hantera mer komplicerade trafiksituationer där exempelvis rondeller och korsningar kan ingå.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

### Volvo Car Corporation

Mohammad, Ali, projektledare, [mohammad.ali@volvocars.com](mailto:mohammad.ali@volvocars.com), +46-31-597941

### Chalmers University of Technology, Signals and Systems

Prof. Jonas Sjöberg, [Jonas.sjoberg@chalmers.se](mailto:Jonas.sjoberg@chalmers.se), +46 31 772 18 55