

Slutrappport år 1-3

iQMatic – framtidens autonoma transportsystem



Författare
Datum
Delprogram

Lars Hjorth, Scania CV AB
2016-11-25
Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, frågeställningar och metod.....	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	7
7 Spridning och publicering	9
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	9
7.2 Publikationer.....	9
8 Slutsatser och fortsatt forskning	11
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	11

1 Sammanfattning

Projektet har nu genomlöp de tre första planerade åren av fyra. Det fjärde och avslutande året redovisas separat, i enlighet med projektbeslut, men det är i praktiken ett projekt där det fjärde året är en direkt fortsättning på de föregående tre.

Projektet start försenades något på grund av fördröjd allokering av resurser till projektet men har därefter löpt på i planerad eller strax över planerad takt men som ett resultat av detta har även slutdatum för projektet förskjutits 6 månader.

Projektet har genom ett systematiskt samarbete mellan industri och akademi arbetat igenom olika aspekter av automatiska fordon. Studierna inom projektet iQMatic har avhandlat sensorer, sensorfusion, reglerteknik, planering av körväg, kommunikation samt hur ett ledningssystem för automatiska fordon skulle kunna fungera. Även interaktionen mellan människa och transportsystem har undersökts och möjlig lösning tagits fram.

Faktiska resultat har demonstrerats inom projektet och under tredje året har även publika demonstrationer genomförts med mycket positiv respons. Ett flertal vetenskapliga publikationer har möjliggjorts genom projektet.

2 Executive summary

Autonomous vehicles is starting to become a reality today, made possible by technology advancement in several areas such as computational power, sensors and the increasing electrification of vehicle control systems. The vehicle industry is facing a major shift in competence induced by increased automation.

In order to stay competitive the Swedish industry and academy need to learn together through joint projects where autonomous vehicles are developed and tested under real conditions. This project puts research focus on heavy transport vehicles which are likely to appear first in closed off areas such as mines and logistics centres and later gradually enter the public transportation system.

The main research areas have been use and selection of sensors, sensor fusion, actuation & control, route planning, communication with and HMI aspects of the dispatch system for controlling autonomous vehicles.

The research platform which has been developed within the iQMatic project consists of a normal truck with the addition of sensors, network and computing capacity. Together with vehicle dispatch it forms a complete system where the vehicle is able to perform transport missions without vehicle driver. It has been very valuable in providing a scene for live experiments in the search for answers to some of the research questions in the area of autonomous vehicles.

The project has been successful through close collaboration with partners from both industry and academia. An extensive number of scientific papers have been published as a result from iQMatic project.

Through this project five PhDs have been provided with a unique opportunity to develop solutions to research problems through the use of data from real experiments, solutions of which many also have been validated on by use of the same platform. There has also been around twenty MSc thesis works produced within the iQMatic project.

3 Bakgrund

Svensk fordonsindustri utgör en stor och betydelsefull del av den svenska exporten. För de svenska fordonstillverkarna svarar den inhemska marknaden endast för en liten del av den globala försäljningen, samtidigt som huvuddelen av forskningen och den tekniska utvecklingen sker i Sverige.

Det förespås ett generationsskifte där fordonen går från förarkontroll till autonom kontroll. Detta skifte har redan börjat – idag finns redan aktiva system som ingriper i mycket kritiska situationer för att undvika olyckor och öka säkerheten. Även semi-automatiserade funktioner som till exempel ”Adaptiv farthållare” finns i dag att köpa från de svenska fordonstillverkarna. Den adaptiva farthållaren är ett automatiserat system där föraren överlämnar den longitudinella kontrollen av fordonet till fordonets autonoma system. Den adaptiva farthållaren har förutom säkerhetsfördelar även stor utvecklingspotential för att uppnå förbättrad energi- och trafikeffektivitet.

De semi-autonoma personbilar som visas upp idag framställs ofta som ett bekvämt sätt att förflytta sig samtidigt som man kan läsa, arbeta, vila, ägna sig åt sociala medier eller andra sidouppgifter. För tunga fordon är scenariot dock annorlunda – de kör normalt inte för att förflytta föraren, utan för att utföra ett uppdrag som en kugge i samhällets transportmaskineri. Med ett växande transportbehov lämnas allt mindre utrymme för fel eller ineffektivitet, då även små störningar kan orsaka stora trafikproblem. Genom att låta fordonen själva ta över en större del av uppgifterna kan operatören fokusera sin uppmärksamhet på de mest komplicerade situationerna, alternativt sköta flera fordon.

Trots att skiftet till automatiserade fordon har börjat med nya system för vägfordon förväntas utvecklingen ledas av fordon dedikerade till applikationer inom avgränsade områden så som bergtäkter, grustag, gruvområden, byggplatser, lastterminaler samt fabriksliknande miljöer. Stora vinster är möjliga när automatiserade fordon agerar kollektivt. Detta kräver i sin tur utbyggnad av kommunikationssystem och infrastruktur samt införande eller justering av lagar och regler som passar de automatiserade fordonen, vilket är mindre komplicerat för ett begränsat område än i den allmänna trafikmiljön.

Forskning inom autonoma fordon ger samhället förutsättningar för effektiv och säker trafik trots stor tillväxt, samt bidrar till att behålla den svenska fordonsindustrins konkurrenskraft, spetskompetens och arbetstillfällen.

Bakomliggande drivkrafter för en ökad grad av automatisering i framtidens trafikmiljö:

▪ Miljö

Genom att systematiskt styra flera fordon tillsammans, ”mission control”, istället för som med förarstyrda fordon reglera varje fordon individuellt kan avståndet mellan fordon förkortas och trafikrytmen förbättras. Att optimera globalt istället för lokalt gynnar både det enskilda fordonets bränsleförbrukning och trafikrytmen, vilket möjliggör ett bättre utnyttjande av vägsystemet med jämnare trafikflöde och minimering av start och stopp. Föräres småfel orsakar inte längre sammanstötningar som skapar miljöbelastande trafikstockningar och onödiga reparationer. Autonoma arbetsfordon kan dessutom bidra ytterligare då systemeffektivitet kan prioriteras före behov som härrör till föraren, så som sittplats, luftkonditionering och dylikt.

▪ Trafiksäkerhet

Semi-automatiserade system vidareutvecklar dagens förarstödsystem som assisterar föraren i såväl monotona som i komplexa situationer genom att erbjuda en högre grad av avlastning. Olyckor i tät trafik orsakas ofta av de tryckpulsationer som uppstår när en förare lokalt försöker hålla hög hastighet. Genom att automatisera delar av förarens uppgifter och ge densamme en bättre överblick över helheten skulle dessa oönskade beteenden kunna reduceras kraftigt. Detta skulle kunna leda till kraftigt förbättrade trafikflöden vilket ger betydligt färre kritiska situationer, samt utnyttjar befintlig infrastruktur på ett effektivare sätt. För att uppnå dessa vinster i tät trafik krävs endast att en del av fordonen är automatiserade – de kommer ändå att

kunna bli styrande i trafikflödet – även om fördelarna växer med andelen automatiserade fordon.

I komplexa miljöer kan ett automatiserat fordon dessutom överta den vanliga körningen och tillåta föraren att fokusera sin uppmärksamhet på skeenden som är oväntade eller kräver mänsklig intuition för att tolka. Vi vet att grundorsaken till många singel- och arbetsplatsolyckor med fordon orsakas av trötthet eller distraktion – som i sin tur ofta kommer av monotona körsituationer. Genom att automatisera monotona uppgifter kan denna typ av olyckor förebyggas.

▪ **Effektivisering**

Färre olyckor, jämnare trafikflöde (hastighet) och minskade avstånd skulle minska restiden och öka kapaciteten i trafiksystemet, samtidigt som miljöbelastningen minskas. Detta är av särskild vikt i områden med hög trafikintensitet och frekventa köer så som tätbefolkade områden i Centraleuropa, tillfarter till större städer, megastäder i Asien, etc. I många av dessa områden är en utbyggnad av infrastrukturen svår pga. platsbrist.

Anläggningsfordon är en kategori som löper stor risk att drabbas av olyckor. Samtidigt ser sig många användare av dessa fordon om efter mer kostnadseffektiva alternativ. Genom automatisering av anläggningsfordon ges möjligheten att få bort oskyddad personal från utsatta arbetsmiljöer där det finns risk för allvarliga olyckor. Automatisering av anläggningsmaskiner kan även reducera tunga, enahanda arbetsuppgifter som leder till utslitning och arbetsskador. Genom att eliminera monotona uppgifter som leder till ouppmärksamhet och olyckor, kan effektiviteten ökas och produktionsbortfall och resursslöseri minskas.

Vid lastterminaler finns ett stort behov av automatisering, dels för att öka effektiviteten och dels för att alls göra det möjligt att hantera gods i den skala som krävs i de största hamnarna. Lastterminalerna är ett mycket attraktivt område att starta helautomatisering i, då det gäller kontrollerade områden som trafikeras av fordon som är konstruerade för att gå i vanlig trafikmiljö. Parallellt kan här dras till t.ex. utvecklingen och implementeringen av helt autonoma lagertruckar eller containerkranar som redan är kommersiellt tillgängliga. Kompetensen som byggs upp vid automatisering av vägfordon för terminalbruk kan sedan lyftas vidare ut i trafikmiljön allt eftersom tekniken mognar.

⇒ **Fordonsindustrin befinner sig i en kraftig kompetensväxling!**

Primärt beror förändringen på att sensor-, aktuator- och halvledartechnologin nu har nått en sådan mognad att de väller in i fordonsindustrin. Detta innebär att svensk fordonsindustri snabbt måste ställa om från att ha varit en renodlad mekanisk verkstadsindustri med manuellt framförande av fordonen till att bli en mekatronisk verkstadsindustri med ett stort och snabbt växande inslag av fordonsautomatiserande mjukvaruverksamhet samt avancerad fordonskommunikation.

Det är av stor vikt för kompetensuppbyggnaden inom området automatisering att starta svenska projekt där automatiserade fordonskoncept utvecklas och testas i sin naturliga miljö. Med hjälp av konkreta tillämpade forskningsprojekt i kraftfulla autonoma forskningsplattformar skulle Sverige kunna bibehålla sin position inom fordonsautomatisering samtidigt som man utvecklar den kompetens som är nödvändig för att klara det generationsskifte som först arbetsfordon och sedan kommersiella och privata fordon står inför.

4 Syfte, frågeställningar och metod

Huvudsyftet med projektet har varit att klargöra de utmaningar som samhället står inför nu när vi närmar oss ett paradigmskifte kring framförandet av fordon, övergången till automatiska fordon och automatiska transportsystem. För att göra framsteg har vi begränsat oss och fokuserat på ett exempel område, mining, i första hand. Detta gör vi för att det idag inte finns några legala hinder från att köra autonomt i dessa avstängda och kontrollerade miljöer. Vi har

dock inte begränsat oss till enbart detta utan även haft ett större perspektiv under projektets gång.

De huvudsakliga frågeställningarna har varit hur samhället påverkas av att vi introducerar automatiska fordon. Vilken påverkan har det på förare? Hur ser de på sitt yrke? Ses automation som ett hot eller som ett hjälpmedel?

Vi har även varit intresserade av hur hela transportflödet påverkas av automationen. Vilka möjligheter finns nu att effektivisera och förbättra leverans kvalitén? Kan man utifrån data förbättra hela processen så att man använder jordens begränsade resurser mer effektivt?

Sist har vi även frågan om hur man rent tekniskt bygger upp ett säkert och funktionellt automatiskt tungt fordon som kan användas i trafiken. Även här har vi börjat i en kontrollerad miljö för att bygga kunskap kring vår forskningsplattform och kunna expandera från detta. Vi har utrustat ett befintligt fordon med sensorik och övrig utrustning, såsom referenssystem för positionering och forskningshårdvara för beräkning och sedan systematiskt arbetat med att bygga vår kunskap och öka fordonets förmåga till automatisk operation.

Vår metodik bygger huvudsakligen på två idéer. Den första är data-driven utveckling. Det innebär att vi använder forskningsplattformen för att samla in data i ett specifikt användningsområde, t ex körning på en grusväg, med alla sensorer som behövs för detta. I dessa loggar har vi även inkluderat data från referenssystem som sedan används som facit i de fall det är möjligt. I skrivbordsdelen av forskningsmiljön är det sedan möjligt att importera data från loggarna och utveckla algoritmer och metoder som ger önskat resultat. Efter en tidsbestämd period är det sedan dags att utvärdera om resultaten stämmer med verkligheten genom att genomföra prov i fordonet. Detta itereras tills önskad precision uppnås.

Den andra metoden gäller forskning i återkopplade system där data-driven utveckling är svår att genomföra då de inspelade informationen blir ogiltigt så fort en styrsignal förändras. För dessa fall har vi skapat en simuleringsmiljö med möjlighet att modellera fordonet, omvärlden och våra sensorer. Som fordonsmodell kan vi använda förenklade dynamikmodeller, för omvärlden kan vi skanna in eller använda tidigare genererade kartor och för vissa av sensorerna har vi fått modeller från underleverantörerna. Denna först enkla möjlighet till återkopplad simulering har inneburit stora framsteg i utvecklingsmetodikerna och även inspirerat till egna projekt i ämnet.

En viktig del i projektet har varit samverkan mellan akademi och industri. Under hela projektet har forskare från akademien alltid varit välkomna hos industrin och flera av doktoranderna har tillbringat en stor del av sin tid hos industrin, främst i Södertälje. Detta har haft två viktiga syften, dels har den akademiska forskningen kunnat genomföras baserat på riktigt data vilket borgar för att forskningen blir relevant för samhället. Dels har det skapat djupa samarbeten som gör att industrin har fått tillgång till den senaste forskningen och kunnat dra nytta av den.

5 Mål

Autonoma transportsystem kan vid tillämpning i samhället ge en betydande ökning av mängden transporterat tonnage tillsammans med minskad bränsleförbrukning och driftskostnad. Trafik- och arbetsplatssäkerheten ska vara högre än vid bruk av konventionella fordon. Projektet iQMatic lägger en stor och viktig del av grunden till förarlösa, verkligt autonoma tunga fordon genom:

- Utveckling av en omgivningsmodell för att ge ett fordon förmågan att agera självständigt.
- Bestämmande av ett fordonets manöverförmåga och begränsningar för att undvika skapande av farliga situationer.
- Utveckling av ett ledningssystem för samordning och planering, samt kommunikation mellan ledning och fordon.

- Tillämpning av ovanstående delar i ett fysiskt fordon.
- Vid projektets slut ska fem doktorsavhandlingar inom området vara slutförda.

6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har nu genomlöpt de tre första planerade åren av fyra. Det fjärde och avslutande året redovisas separat, i enlighet med projektbeslut, men det är i praktiken ett projekt. Nedan redovisas uppnådda resultat under de tre första åren.

I projektansökan till Vinnova beskrevs att

Projektet iQMatic bidrar till programmets båda övergripande mål genom

- forskning inom ett ämne som i framtiden kommer att vara avgörande för att den svenska fordonsindustrin ska kunna behålla sin framstående ställning inom fordonssystem och –säkerhet
- samverkan mellan svensk industri och akademi för att garantera försörjningen av strategisk kompetens
- samverkan mellan olika kompetensområden inom svensk industri som alla är nödvändiga för att uppnå autonoma tunga fordon, vilket skulle vara omöjligt för varje område var för sig
- resultat som ger förutsättningar till ökad spridning av säkrare fordonssystem i samhället, såväl på längre sikt mot autonoma fordon som på kortare sikt mot nyskapande förarassistanssystem som spin-off:s från projektet

iQMatic verkar specifikt inom områdena *Intelligenta krockundvikande system och fordon* och *Förarstöd och relaterade gränssnitt mellan förare och fordon*.

Projektet har direkt bidragit till forskning inom specifika områden i ämnet autonoma tunga fordon. Forskningen har bedrivits av fem doktorander och ett 20-tal examensarbeten har genomförts. Industripartners och akademi har tillsammans utvecklat den forskningsplattform som under projektet använts för praktisk utvärdering av framtagna modeller inom perception, planering och reglering.

Redan 2014 demonstrerades basal funktionalitet i en intern demonstration tillsammans med alla projektpartners. Denna följdes upp 2015 med en uppvisning av förmåga att hantera transportuppdrag och interaktion med ledningssystem vid oväntad händelse under uppdraget. Detta visades för cirka 150 personer från främst projektpartners respektive organisationer.

Detta år, 2016, genomfördes flera stora demonstrationer där över 600 personer, bland andra den svenske energiministern, personer ur Volkswagens ledningsgrupp, representanter från Vinnova samt press/media från både Sverige och många andra länder inom Europa. Det som uppvisades var hur en produktionsanläggning skulle kunna fungera där flera autonoma fordon utför transportuppdrag på order av en ledningscentral. Projektets forskningsfordon samt ytterligare ett autonomt fordon från ett systerprojekt visades upp och dessa samverkade även med manuella lastningsfordon. Demonstrationen fick stor medial spridning och det finns idag ett stort antal artiklar om iQMatic publicerade både i tryckt media och på Internet. Detta bedömer vi har bidragit till att öka intresset för området och på sikt stärker det även Sveriges konkurrenskraft.

Nedan en länk till videomaterial från demonstrationer 2016 (innehåller även fordon från andre pågående projekt inom området):

<https://www.youtube.com/watch?v=-X5CLeKDxrQ>

Projektet har genom ett systematiskt samarbete mellan industri och akademi arbetat igenom olika aspekter av automatiska fordon. Studierna har avhandlat sensorer, sensorfusion, reglerteknik, planering av körväg, kommunikation samt hur ett ledningssystem för autonoma fordon skulle kunna fungera. De har även funnits fokus på hur människor påverkas av dessa system och hur man övervakar dem.

Av de fem doktorander som finansieras genom projektet har en licensierats. Två doktorander som började inom ramen för iQMatic har avslutat sin forskning i förtid och de har ersatts av två nya doktorander. *Normal tid för att slutföra en doktorandtjänst är fyra år.*

En slutsats från de första tre åren är att det återstår oerhört mycket forskning inom detta nya område innan alla relevanta frågeställningar för samhället har besvarats och vi ser en oerhörd potential för innovation, Svensk industri och akademi inom detta område. Vi ser fram emot att arbeta med detta under det avslutande året också!

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	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	iQPilot är en direkt fortsättning på detta projekt
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Nedan listas de publicerade forskningspublikationer som resulterat från fokuserad forskning inom projektet. Utöver dessa finns även det 20-tal examensarbeten som blivande civilingenjörer kunnat genomföra tack vara iQMatic, samt artiklar publicerade i tryckt och elektronisk press främst efter demonstrationer genomförda 2016.

P. Koschorrek, T. Piccini, P. Oberg, M. Felsberg, L. Nielsen, and R. Mester. A multi-sensor traffic scene dataset with omnidirectional video. *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Portland, Oregon, USA

T. Piccini, M. Persson, K. Nordberg, M. Felsberg, and R. Mester. Good edgels to track: Beating the aperture problem with epipolar geometry. *2014 European Conference on Computer Vision*. Zürich, Switzerland

K. Lundahl, C. Feng Lee, E. Frisk, and L. Nielsen. Analyzing Rollover Indices for Critical Truck Maneuvers. *2015 SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 8(1).

P. F. Lima, M. Trincavelli, J. Mårtensson, B. Wahlberg. Clothoid-Based Model Predictive Control for Autonomous Driving. *2015 European Control Conference*. Linz, Austria

N. Evestedt, D. Axehill, M. Trincavelli, F. Gustafsson. Sampling Recovery for Closed Loop Rapidly Expanding Random Tree Using Brake Profile Regeneration. *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Seoul, Korea

M. Persson, T. Piccini, M. Felsberg, and R. Mester. Robust stereo visual odometry from monocular techniques. *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Seoul, Korea

M. Barnada, C. Conrad, H. Bradler, M. Ochs, and R. Mester. Estimation of automotive pitch, yaw, and roll using enhanced phase correlation on multiple far-field windows. *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Seoul, Korea

P. F. Lima, M. Trincavelli, J. Mårtensson, B. Wahlberg. Clothoid-Based Speed Profiler and Control for Autonomous Driving. *2015 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Las Palmas de Gran Canaria, Spain

E. Ward, J. Folkesson. Multi-classification of driver intentions in yielding scenarios. *2015 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Las Palmas de Gran Canaria, Spain

K. Lundahl, C. Feng Lee, E. Frisk, and L. Nielsen. Path-Dependent Rollover Prevention for Critical Truck Maneuvers. *2015 24rd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*. Graz, Austria.

N. Evestedt, O. Ljungqvist, D. Axehill. Path Tracking and Stabilization for a Reversing General 2-Trailer Configuration Using a Cascaded Control Approach. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gothenburg, Sweden

P. F. Lima, M. Trincavelli, M. Nilsson, J. Mårtensson, B. Wahlberg. Experimental Evaluation of Economic Model Predictive Control for an Autonomous Truck. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gothenburg, Sweden

E. Ward, J. Folkesson. Vehicle Localization with Low Cost Radar Sensors. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gothenburg, Sweden

K. Öfjäll, M. Felsberg, and A. Robinson. Visual autonomous road following by symbiotic online learning. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Gothenburg, Sweden

N. Evestedt, O. Ljungqvist, D. Axehill. Motion planning for a reversing general 2-trailer configuration using Closed-Loop RRT. *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Daejeon, Korea.

N. Evestedt, E. Ward, J. Folkesson, D. Axehill. Interaction aware trajectory planning for merge scenarios in congested traffic situations. *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*. Rio de Janeiro, Brasil

M. Danelljan, A. Robinson, F. S. Khan, M. Felsberg. Beyond correlation filters: Learning continuous convolution operators for visual tracking. *2016 European Conference on Computer Vision*. Amsterdam, the Netherlands

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Genom projektet har viktiga lärdomar dragits om vilka utmaningarna är för att autonoma tunga fordon skall bli verklighet inom de kommande åren. Den fysiska forskningsplattformen har varit en nyckelkomponent vilken möjliggjort fullskaliga experiment, utvärderingar och praktiska demonstrationer. Forskningsplattformen kommer även framgent vara värdefull för fortsatt forskning, dels i det avslutande årets arbete inom ramen för detta projekt, dels som god utgångspunkt för vidare forskning inom kommande projekt.

Detta projekt har lagt grunden till efterföljande projekt; ett exempel är iQPilot som bygger vidare på insamlad erfarenhet genom att undersöka förutsättningar för autonoma tunga fordon i stadstrafik.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Scania CV AB

Lars Hjorth



Saab

Jan Thörnqvist



Autoliv

Jonas Hammarström



LiU

Fredrik Gustavsson

Michael Felsberg

Lars Nielsen



KTH

Bo Wahlberg

Patric Jensfelt

