

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Distribuerad Reglering av Fordonståg, Slutrapport



Författare Henrik Pettersson Scania CV AB
Datum 2013-03-26
Delprogram Transporteffektivitet

Innehåll

| | |
|---|-----------|
| 1. Sammanfattning..... | 3 |
| 2. Bakgrund | 4 |
| 3. Syfte..... | 5 |
| 4. Genomförande..... | 5 |
| 5. Resultat | 6 |
| 5.1 Bidrag till FFI-mål | 7 |
| 6. Spridning och publicering..... | 8 |
| 6.1 Publikationer | 8 |
| 7. Slutsatser och fortsatt forskning..... | 10 |
| 8. Deltagande parter och kontaktpersoner | 11 |

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 hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Övergripande syftet med projektet har varit att studera hur fordonståg med tunga fordon kan realiseras utan att påverka trafiksäkerheten. Fordonståg är ett möjligt medel för att minska energiåtgången vid godstransporter, detta genom möjliggörandet av korta avstånd mellan fordonen vilket leder till minskat luftmotstånd.

Fordonståg kan även öka trafikflödeskapaciteten på trafiktäta vägar, delvis genom de kortare avstånden men framförallt genom att reglera fordonen synkront vilket leder till minskade hastighetssvängningar.

Projektet har genomförts i samarbeten mellan Scania CV AB och Reglerteknik, KTH. Projektet har varit en viktig del i att bygga upp kunskap kring

- Distribuerar reglering
- V2x kommunikation
- Praktiska aspekter kring fordonståg
- Bedömning av tekniska begränsningar påverkan på säkerheten.

Projektet har varit en viktig grund för att stärka samarbetet mellan KTH och Scania CV AB; direkt genom doktorandarbetet och ett antal examensarbeten finansierat genom projekt, indirekt genom att resultat från projektet legat till grund för andra projekt och samarbete, ex CoAct och FFI projektet iQFleet.

I kort kan resultaten från projektet sammanfattas enligt nedan.

- Har visat att man med i dag befintliga system och relativt stora avstånd mellan fordonet (1-3 sekunder) kan spara mellan 4-7 % bränsle.
- System arkitektur för distribuerad reglering av enskilda fordon i ett fordonståg såväl som administrering och koordinering av alla fordon i tåget har föreslagits.
- En modellbaserad metod för att fastställa minsta möjlig avstånd som fordonen i tåget kan hålla och samtidigt garantera att det egna fordonet kan undvika kollision har utvecklat och verifierats. Metoden baseras på antal fysiska egenskaper hos fordonet så som bromsförmåga, fördröjningar i kommunikationen, vikt etc.
- Ett antal styrstrategier med fokus på optimal styrning har utvecklats och utvärderas. Resultaten visar god potential för reglering med LQR-regulatorer samt reglerbaserad reglering. Försök med MPC-reglering har även gjorts, resultaten visar dock på att denna typ av regulatorer är svår att realisera i ett fysiskt fordon pga höga krav på beräkningskraft.
- Fysiska test med reglering och V2x kommunikation har visat på vikten av bra modellbaserade filter. Filter som kan hantera temporära informationsbortfall i kommunikationen.

2. Bakgrund

Fordonståg (eng. platoon) har länge diskuterats som en möjlighet att effektivisera transporten av gods. Med fordonståg menas här ett antal fordon som körs med korta avstånd mellan varandra och framförs som en enhet. Det är ett välkänt faktum att bränsleförbrukningen drastisk minskar med avståndet till framförvarande fordon pga att luftmotståndet minskar.

Studier har visat att bränsleåtgången på det ledande fordonet kan reduceras med 2 till 10 % och för det följande fordonet 15 till 20 % [#] jämfört med ett ensamt fordon. Detta under förutsättning att avståndet mellan lastbilarna är 8 - 16 meter och att de färdas i 80 km/h. Den minskade bränsleåtgången ger en motsvarande reduktion i CO2 utsläpp. Förare utnyttjar detta välkända faktum redan idag med en sänkt trafiksäkerhet som följd. En grundläggande fråga kring fordonståg är hur tidsluckan mellan fordon kan minskas från rekommenderade 3 sek ner till mellan 0,5 och 1 sekund utan att påverka trafiksäkerheten.

Den rekommenderade tidsluckan är idag baserad på

- Förarens reaktionstid
- Fördröjningar i fordonets bromssystem
- Fordonets stoppträcka

Med avståndssensorer och kameror kan förarens reaktionstid elimineras, en typ av teknik använd redan idag av system som ACC (Adaptiv Cruise Control) och LKA (Lane Keeping Assistance).

En begränsning är dock att avståndssensorer och kameror kräver fri sikt till målet vilket gör det svårt att detektera händelser mer än ett par fordon framåt i kön. Ytterligare begränsning är att de ej kan reagera proaktivt, dvs reagera på händelser som ej haft någon markant påverkan på trafikrytmen.

Kommunikation mellan bilar ger dock en möjlighet att lösa dessa problem. Där framförvarande fordon i fordonståget kan

- Skicka information om den egna bilens tillstånd, dvs vikt, hastighet, motoreffekt, position.
- Skicka information om åtgärder som påverkar omgivande trafik, ex om man bromsar.
- Agera prob för bakomvarande fordon genom att rapportera iakttagna trafikhändelser bakåt i fordonståget.

Sammantaget, skulle fordonståg vara ett viktigt del i att öka transporteffektiviteten, förutsatt att trafiksäkerheten ej påverkas negativt.

Bonnet. C. och Fritz. H., "Fuel Consumption Reduction in a Platoon: Experimental Results with Two Electronically Coupled Trucks at Closed Spacing", In 2000 Future Transportation Technology Conference, Costa Mesa, California, USA August 21-23, 2000

3. Syfte

Det övergripande syftet med projektet har varit att studera hur en distribuerad fordonsstyrning av ett fordonståg kan realiserats med hjälp av sensorer och kommunikation mellan fordon (V2V) och mellan fordon och infrastruktur (V2I). En viktig förutsättning för arbetet har varit att utgå från kravbilden från fordonsindustrin och att systemet skall vara praktisk implementerbart med idag tillgänglig teknik.

I projektbeskrivningen (ansökan) specificerades följande delmål för att uppnå det övergripande målet

- En lämplig systemarkitektur måste fastslås.
- En forskningsplattform måste utformas.
- Utvärdering och design av en optimal styrningsalgoritm inom fordonståg.
- En klar kravbild måste fastställas för ett fordonståg.
- Praktisk realisering av de erhållna kunskaperna.
- Administrering av fordonståget med avseende på omgivande trafik och intern dynamik.
- Resultatverifiering i en fysisk realiserbar miljö.

Under projektet har ytterligare ett delmål adderats, fastsällande av säkerhetsavstånd. Detta delmåls syfte var att utveckla en metodik för att fastställa det minsta möjliga avstånd som ett fordon kan hålla till framförvarande fordon och samtidigt kunna avvärja en olycka genom att bromsa. Orsaken till detta tillägg var att detta var fråga som vanligen ställdes då projektet presenterades.

4. Genomförande

Forskningsarbetet har genomförts i tre huvud steg, steg baserat på en tänkt systemarkitektur enligt Figur 1. Stegen representerar ett systemet och en regleringen med ökad grad av information om omgivningen. I varje steg adderas en informationsbärare enligt

1. Avståndssensorer på det egna fordonet
2. V2V kommunikation
3. I2V kommunikation

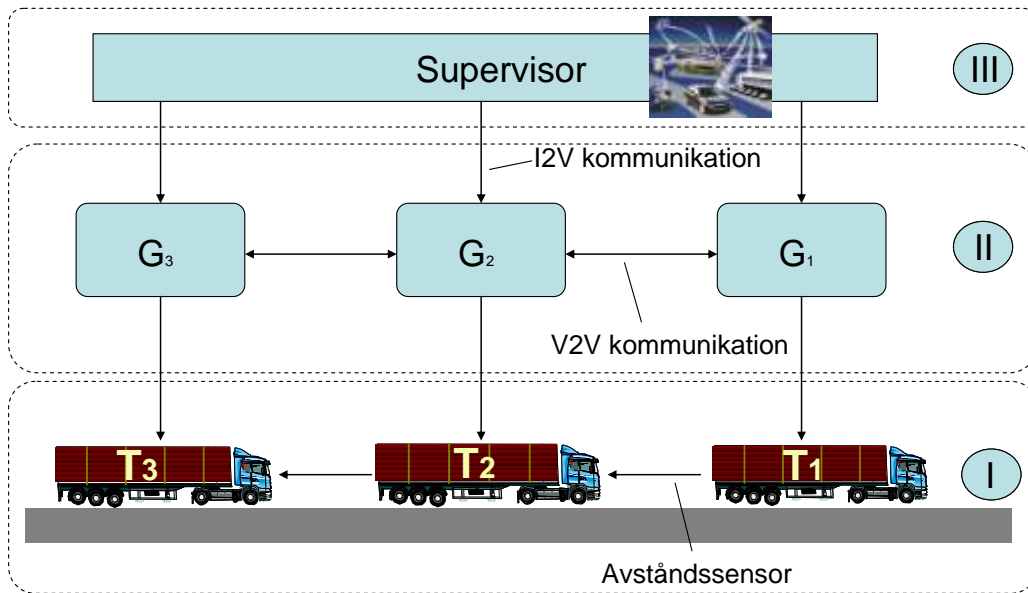
Arbetet har dels bedrivits inom ramen för ett doktorandarbete med en av Scania CV AB anställd doktorand, dels som forskningsprojekt på Scania.

Doktoranden har varit handled från Reglerteknik, KTH, och Scania CV AB. Arbetet har fortlöpande presenteras i ett antal vetenskapliga artiklar och en licentiatavhandling.

Arbetet på Scania CV AB har varit fokuserat på

- Utveckla en forskningsplattform för verifiering av resultat från doktorandarbetet
- Kartlägga begränsningar i för regleringen erforderlig tekniker. Fokus har varit på den trådlösa kommunikationen
- Stöttat och deltagit i praktiska prover.

Den framtagen forskningsplattform har i grova drag bestått av radar sensorer, GPS'er, V2X kommunikationsnoder och ECU'er för implementering av styralgoritmer. Forskarplattformen ansluts till fordonets befintliga CAN nätverk och kan på så sätt kommunicera och reglera motor och bromssystemet. Under tester har vanligen mellan två till tre fordon använts.



Figur 1 Principiell layout över en distribuerad reglering av ett fordonståg. Siffrorna I, II och III representerar delstegen i projektet

5. Resultat

Ett av de viktigaste resultaten från projektet är att man kan med idag existerande teknik realisera fordonståg som ger energibesparing utan att påverka trafiksäkerheten negativt. Strategier och en systemarkitektur har tagits fram, strategier som möjliggör implementeringen av fordonståg.

Projektet har haft huvudfokus på följande frågeställningar

- Bränslebesparingspotentialen
- Optimal reglering av fordonståg
- Strategier för bedömning av säkerhetszoner
- V2x-kommunikation och data hantering

Resultaten har presenterats i vetenskapliga artiklar och i ett antal examensarbeten.

En forskningsplattform har även tagits fram i projektet och har använt både för verifierande mätningar och till generering av indata både forskningsarbetet och examensarbeten.

I kort kan resultaten från projektet sammanfattas enligt nedan.

- Har visat att man med i dag befintliga system och relativt stora avstånd mellan fordonet (1-3 sekunder) kan spara mellan 4-7 % bränsle.
- System arkitektur för distribuerad reglering av enskilda fordon i ett fordonståg såväl som administrering och koordinering av alla fordon i tåget har föreslagits.
- En modellbaserad metod för att fastställa minsta möjlig avstånd som fordonen i tåget kan hålla och samtidigt garantera att det egna fordonet kan undvika kollision har ut utvecklats och verifierats. Metoden baseras på antal fysiska egenskaper hos fordonet så som bromsförmåga, fördröjningar i kommunikationen, vikt etc.
- Ett antal styrstrategier med fokus på optimal styrning har utvecklats och utvärderas. Resultaten visar god potential för reglering med LQR-regulatorer samt reglerbaserad reglering. Försök med MPC- reglering har även gjorts, resultaten visar dock på att denna typ av regulatorer är svår att realisera i ett fysiskt fordon pga höga krav på beräkningskraft.
- Fysiska test med reglering och V2x kommunikation har visat på vikten av bra modellbaserade filter. Filter som kan hantera temporära informationsbortfall i kommunikationen.

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet har visat på hur fordons tåg kan realiseras på ett trafiksäkert sätt samt hur stor energibesparingspotentialen är.

Projektet har även bidraget till att öka kunskapen kring V2x kommunikation och optimal reglering. Kunskap som är av vikt vid framtagande av ny produkteter och funktioner baserade på kooperativitet mellan fordon och/eller kräver adaptation till omgivningen. Exempel på sådana funktioner skulle kunna var adaptiva farthållare, nödbromssystem, osv.

Projektet har stärkt samarbetet mellan Scania CV AB och akademien. Dels genom ett antal examensarbeten men framförallt genom att och vara en direkt förutsättning för att Scania och KTH reglerteknik deltagande i projekt CoAct. CoAct är ett projekt som startades för att samordna Chalmers, Halmstad högskola och KTH's deltagande i tävlingen GCDC (2011), en tävling i kooperativ körning organiserad av TNO.

Arbetet utfördes av forskare och studenter på respektive skola med support av Volvo (Halmstad och Chalmers) och Scania CV AB (KTH). Projektet har sedan fortsatt med studentarbeten då även med Linköpings tekniska högskola supportat av Scania.

Resultat från projektet har även varit avgörandet i utformning av FFI projektet iQFleet.

6. Spridning och publicering

6.1 Publikationer

Artiklar

K. Liang, A. Alam, and A. Gattami. The impact of heterogeneity and order in heavy duty vehicle platooning networks. In 3rd IEEE Vehicular Networking Conference. Amsterdam, Netherlands (2011). Submitted

A. Alam, A. Gattami, and K. H. Johansson. An experimental study on the fuel reduction potential of heavy duty vehicle platooning, 2010. In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Madeira, Portugal.

A. Alam, A. Gattami, K. H. Johansson, and C. J. Tomlin, 2011. Establishing safety for heavy duty vehicle platooning: A game theoretical approach. In *18th IFAC World Congress*. Milan, Italy.

A. Alam, A. Gattami, and K. H. Johansson, 2011. Suboptimal decentralized controller design for chain structures: Applications to vehicle formations. In *50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*. Orlando, FL, USA.

O. Khorsand, A. Alam, and A. Gattami, 2012. Optimal Distributed Controller Synthesis for Chain Structures - Applications to Vehicle Formations. In *9th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. Rome, Italy.

H. R. Feyzmahdavian, A. Alam, and A. Gattami, 2011. Optimal Distributed Controller Design with Communication Delays: Application to Vehicle Formations. In *51th IEEE Conference on Decision and Control*. Maui, HI, USA. To appear.

Licentiatavhandling

A. Alam, Fuel-Efficient Distributed Control for Heavy Duty Vehicle Platooning. SE-100 44 Stockholm, Sweden: Licentiate thesis, Royal Institute of Technology, 2011.

Examensarbeten Civilingenjör

H. J. Tehrani. Study of Disturbance Models for Heavy-duty Vehicle Platooning. Masters thesis, Royal Institute of Technology (KTH) (2010)

T. Backlund. Overtaking assistance Masters thesis, Linköping Tekniska Högskola (LiTH) (2010)

K. Liang. Linear Quadratic Control for Heavy Duty Vehicle Platooning. Masters thesis, Royal Institute of Technology, Osquidas väg 10, 100 44 Stockholm, Sweden (2011)

Josefin Kemppainen. Model predictive control for heavy duty vehicle platooning. Master's thesis, Linköping University, Sweden, Department of Electrical Engineering, 2012.

Sanna Nilsson. Sensor fusion for heavy duty vehicle platooning. Master's thesis, Linköping University, Sweden, Department of Electrical Engineering, 2012.

Hanna Pettersson. Estimation for Heavy Duty Vehicle Platooning. Master thesis, Linköping University, LiTH, June 2012.

Andra media

Resultat från projektet har presenterats svenska och internationella etermedia, Rapport 24 Nov 2011 och Discovery producerade ”Earth 2050 the future of energy”. Projektet har även omnämnts i dagspress och branch tidningar:

DN:

http://www.kth.se/polopoly_fs/1.265901!/Menu/general/column-content/attachment/langtradare%20i%20konvoj%20testas.pdf

Trailer:

<http://www.trailer.se/news.php?id=7402>

InfrastrukturNyheter:

<http://www.infrastrukturnyheter.se/2011/05/t-nkande-lastbil-testas-i-t-vling>

Fordonsnyheter:

<http://www.fordonsnyheter.se/2011/05/t-nkande-lastbil-testas-i-t-vling>

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har visat att det är möjligt att realisera fordonståg och att man med en distribuerad regler arkitektur kan skapa ett stabilt och robust system, ett system som kan hantera ex störningar i den trådlösa kommunikationen.

Projektet har även visat att det finns en signifikant energi besparingspotential i att köra i fordonståg. En potential som även vid relativt stora avstånd mellan fordonen existerar.

Sagt detta, så är detta inte en klar produkt eller ett färdig forskat område. Från ett akademiskt perspektiv finns frågor kring

- Hur indata om omgivande trafik skall skapas, sensor fusion, associering
- Reglering och energioptimering baserat på topologi och omgivande trafik
- Hur skall fordon grupperas i en fordonståg och när skall de slås ihop
- HMI frågor kring hur förare kommer att reagera på att köra i en platoon

Från ett produktperspektiv finns frågor kring

- Hur skall funktionen säljas
- Vad säger föraren
- Hur ser betalningsmodellerna ut
- Lag och försäkringsfrågor

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Scania CV AB

Henrik Pettersson

REPI
Scania CV AB
151 87 Södertälje

Tel +46-8-553 503 66

E-mail:

henrik_x.pettersson@scania.com

KTH Automatic control

Prof. Karl Henrik Johansson

School of Electrical Engineering
Automatic Control
KTH Royal Institute of Technology
Osqudas v. 10
100 44 Stockholm - SE

Tel +46-8-7907321

E-mail:

kallej@kth.se