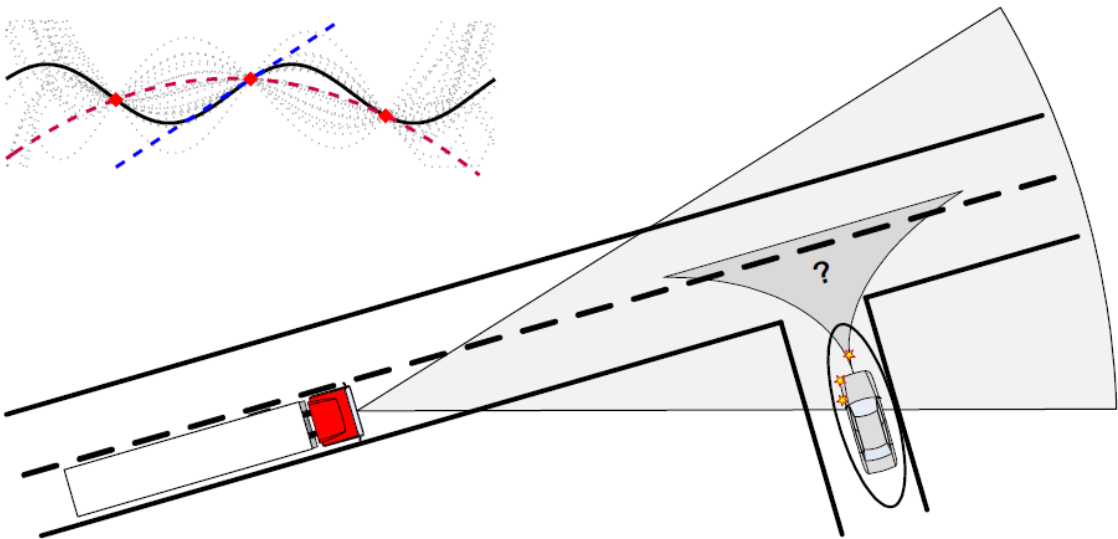




FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Slutrapport: Filtering Techniques for Sensor Fusion



Fredrik Sandblom
2014-05-13
Delprogram: Fordons- & Trafiksäkerhet

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	3
3. Syfte	4
4. Genomförande	4
5. Resultat	5
5.1 Bidrag till FFI-mål	5
6. Spridning och publicering	8
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	8
6.2 Publikationer	8
6.2.1. Konferensbidrag.....	8
6.2.2. Artiklar.....	10
6.2.3. Books	Error! Bookmark not defined.
7. Slutsatser och fortsatt forskning	11
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	12

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

Projektet har finansierat forskning som har haft praktisk tillämpning såväl som teoretisk betydelse avseende metoder att fusionera data från en mängd sensorer som fordon förväntas utrustas med, samt har effektiviserat metoder i befintliga fusionsstrategier. Syftet med projektets forskningsaktiviteter har varit att utveckla fusionsstrategier för användning i intelligenta säkerhetssystem för att därigenom rädda liv och minska antalet skador som följd av trafikolyckor, eller göra dem mindre allvarliga.

Målet har uppfyllts genom flertalet bidrag inom ovan beskrivna område, publicerade i ansedda tidskrifter och på särskilt utvalda konferenser. Att resultaten haft praktisk betydelse kan ses exempelvis i projektet NHCT, där vissa av resultaten implementerats och testats i demonstrationsfordon. Ett annat exempel är artikeln 'Sensor data fusion for multiple sensor configurations' [4] som beskriver en fusionsarkitektur som kommer att få praktisk betydelse på AB Volvo.

Betydelsen och inriktningen av forskningen avspeglas i de tidskrifts- och konferensartiklar som helt eller delvis finansierats av projektet, se kapitel 6.2 i slutrapporten. Därtill har samarbetsformen, där samlokalisering i högskolans lokaler en dag i veckan varit en förutsättning, avsevärt bidragit till det nära samarbetet mellan företag och högskola och de många ad-hoc nätverk som bidragit till publikationslistan.

2. Bakgrund

Västsverige och i synnerhet Göteborg är ett nav för fordonssäkerhetsforskning i Sverige, vilket har flera anledningar: AB Volvo och Volvo personvagnar har båda säkerhet som kärnvärde och har under lång tid rekryterat kompetens från- och samarbetat med Chalmers tekniska högskola, som i sin tur erbjuder en forskningsmiljö med flera relevanta fokusområden för trafiksäkerhetsforskning. Närheten av VTI, med sin nya fordonssimulator, och det nationella kompetenscentret SAFER med 25 parter från akademi, institut, näringsliv och myndigheter befäster den miljön.

I den här miljön har projektparterna och medlemmarna i arbetsgruppen tidigare samarbetat, bl.a. i IVSS-projektet SEFS – sensor data fusion for safety, och nått goda resultat. Till året 2010 kunde vi se att det fanns resurser, behov och potential för en särskild satsning inom fusionsmetodik, vilket låg till grund för projektansökan.

3. Syfte

Sammanfattningsvis är syftet med projektet att uppfylla de allmänna FFI-målen, fordonsforskningsprogrammets särskilda mål och projektparternas mål. Det senare är kortfattat att bli världsledande inom fordons säkerhet, vilket kräver uppbyggnaden av kompetens inom den egna organisationen såväl som i regionen. Syftet med projektet är mer utförligt beskrivet i bilagan ”måluppfyllelse”.

Projektets mål har därför konkret varit att (a) publicera forskningsartiklar och (b) examinera doktorer för att ta fasta på vilka fusionsmetoder som är lämpliga för fusion av sensorer relevanta för trafiksäkerhetssystem.

4. Genomförande

Forskningen inom projektet har utförts av Malin Lundgren, Fredrik Sandblom och Lennart Svensson, där Malin och Fredrik varit doktorander på heltid och har handledts av Lennart. Fredrik disputerade 2011-12-02 och fortsatte därefter som forskare på deltid i projektet. Forskningsarbetet har i huvudsak utförts på institutionen för signaler och system på Chalmers tekniska högskola. Samlokaliseringen har visat sig oväntat givande eftersom en högskola har ett stort nätverk av forskare och industriparter som besöker skolan på korta och långa besök. Det möjliggör mer diskussion och fler perspektiv på idéer och möjligheter till samarbeten. Dessutom bereds forskare från industrin, även om det rör sig om en eller två dagar i veckan, möjlighet att fokusera på en forskningsfråga ostört. Det är särskilt viktigt om industrimiljöer och arbetsformer i övrigt bygger på snabb kommunikation och en hög grad av tillgänglighet.

Parterna har löpande träffats för att diskutera och planera forskning. Både arbete och planering har kunnat skötas informellt och varit flexibelt med avseende på att följa upp lovande resultat och utnyttja samarbetsmöjligheter. Framför allt har samarbete skett med forskare på institutionen för signaler och system (anställda och besökande) och pågående forskningsprojekt inom området trafiksäkerhet. Särskilt FFI-projektet Non Hit Car and truck (NHCT) bör omnämnas eftersom Volvos forskarresurs i projektet fr.o.m. 2012 har delats med NHCT, som dock är ett mer praktiskt orienterat projekt.

Längre perioder av sjukdom och föräldraledighet inom arbetsgruppen lede till att en ansökan om att förlänga projektet med ett år skickades in och godkändes. Det har inte påverkat projektets resultat utöver att resultaten senarelagts ett år. Det visade sig vara en enkel förändring att genomföra ur ett arbetsperspektiv då arbetsgruppen var liten och kunde styra om övrig planering att passa den nya tidplanen. I ett större projekt hade vikariat behövt tillsättas eller arbetspaket strykas, vilket vi är glada att vi inte behövt göra.

5. Resultat

Projektet har publicerat betydligt mer resultat än vad deltagarna väntade sig från början och det beror på de goda förutsättningar en befintlig forskningsmiljö och det goda samarbetet mellan parterna. Vidare har en doktor examinerats, av två möjliga, och den andra förväntas ta examen i årsskiftet 2014/2015.

Resultaten utgörs av publikationerna i kap. 6.2. och en kortare sammanfattning av vart bidrag återfinns i bilagan ”teknisk projektredovisning”. Av resultaten kan nämnas en ny filtreringsalgoritm – ‘the marginalized Kalman filter’(MKF) [2,13] – som i sin helhet är ett resultat av projektet. Algoritmen använder sig av effektiva numeriska approximationer för att beräkna de statistiska moment som behövs för att uppdatera ett tillstånd med en linjär tillståndsuppdatering då modellerna som relaterar äldre tillstånd till nya mätningar är olinjära. En modell av den olinjära funktionen skattas och osäkerheter i den kan marginaliseras analytiskt. Modellen gör det dessutom tydligt vilka underliggande antaganden som implicit görs med sigmapunktsapproximationer, vilka används av många filter.

Att korrekt representera osäkerheterna i ett estimat är viktigt för tolkningen och användandet av dem och en metod för beslutsfattning för interventionsingrepp [1,14] har tagits fram tillsammans med en forskare från Volvo personvagnar som tar hänsyn till just det. I bidraget jämförs systemets osäkerhet med förarens osäkerhet, med hjälp av en modell av förarens perceptionsförmåga och önskan att själv undvika olyckor, på ett sätt som möjliggör tydligare ingrepp utan att föraren uppfattar det som onödigt. Arbetet motsvarar väl syftet med detta projekt och modellen för beslutsfattning är en naturlig utökning: filtrerad data bör användas så effektivt som möjligt i den efterföljande beslutsfattningen.

5.1 Bidrag till FFI-mål

Nedanstående sammanfattning återfinns också i en mer utförlig form i bilagan ”måluppfyllelse”.

Vid ansökningstillfället identifierades följande områden, inom vilka aktiviteter skall bedrivas enligt områdesbeskrivningen för fordons- och trafiksäkerhetsprogrammet, som berörts av projektet:

- Intelligent säkerhetssystem
- Människans kognition och tolerans
- Aktiv krocksäkerhet

Av programmets specifika mål uppskattades att föreslaget projekt särskilt skulle bidra till följande två mål:

- Utveckling av fordonsteknik som ger möjlighet för fordonet att upptäcka och agera i trafiksäkerhetskritiska situationer
- Teknik för fordon som kan upptäcka och minska konsekvenserna av felaktigt förarbete

I områdesbeskrivningen listas även prioriterade forskningsområden och avgränsningar. Vi bedömer att detta projekt omfattar *stödjande och samverkande säkerhetssystem, människans kognition och tolerans samt förbättrat kollisionskydd*. På lång sikt bedömdes projektet också bidra till följande FFI-mål:

- industrins möjlighet att på ett konkurrenskraftigt sätt bedriva kunskapsbaserad produktion i Sverige
- medverka till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsindustri i Sverige
- leda till industriell teknik- och kompetensutveckling
- bidra till tryggad sysselsättning, tillväxt och stärkt FoU-verksamhet
- förstärka forskningsmiljöer kring utvalda och prioriterade forskningsområden inom produktionsteknik, nämligen trafiksäkerhet
- stödja innovations och samverkansmiljöer, se kapitel Samverkan i ansökan
- verka för att ny kunskap tas fram och implementeras, samt att befintlig kunskap implementeras i industriella tillämpningar
- stärka samverkan mellan fordonsindustrin och å ena sidan och Vägverket, universitet, högskolor och forskningsinstitut å den andra sidan
- verka för att den nationella kompetensförsörjningen tryggas samt att FoU med internationell konkurrenskraft etableras

Uppnådda projektmål:

Mål	Kommentarer
Utveckling av fordonsteknik som ger möjlighet för fordonet att upptäcka och agera i trafiksäkerhetskritiska situationer	Sådana system utvecklas av Volvo och samtliga publikationer bidrar till måluppfyllnad.
Teknik för fordon som kan upptäcka och minska konsekvenserna av felaktigt förarbete	Sådana system utvecklas av Volvo och samtliga publikationer bidrar till måluppfyllnad.

<p>Industrins möjlighet att på ett konkurrenskraftigt sätt bedriva kunskapsbaserad produktion i Sverige.</p>	<p>Utvecklingen av förarstödsystem är kunskapsintensiv och Volvo gör en tydlig satsning på utveckling av sådana system i Sverige. Att kompetensen går att rekrytera här är en förutsättning, och projekt som detta bidrar till det både på kort sikt genom projektdeltagares examina och på lång sikt genom nätverk och profilering av forskningsmiljöer.</p>
<p>Medverka till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsindustri i Sverige</p>	<p>Se kommentar ovan. Trafiksäkerhet bedömer vi kommer att vara än viktigare framöver. Därför är det nödvändigt att vara starka inom området för att vara långsiktigt konkurrenskraftiga.</p>
<p>Leda till industriell teknik- och kompetensutveckling</p>	<p>Se tidigare kommentar om utbildning och lokal kompetens.</p>
<p>Bidra till tryggad sysselsättning, tillväxt och stärkt FoU-verksamhet</p>	<p>Se tidigare kommentar om Volvos satsning i Göteborg avseende utveckling av koncernens trafiksäkerhetssystem.</p>
<p>Förstärka forskningsmiljöer kring utvalda och prioriterade forskningsområden inom produktionsteknik, nämligen trafiksäkerhet</p>	<p>Forskningen inom projektet har utförts på Chalmers och Volvo, och delvis tillsammans med forskare som har anknytning till någon av parterna. På så sätt har befintlig forskningsmiljö stärkts och utvecklats.</p>
<p>Stödja innovations och samverkansmiljöer</p>	<p>SAFER är en unik samverkansmiljö i Göteborg där forskare i projektet haft möjlighet att presentera resultat eller föreläsa på seminarier. Den informella samverkansmiljön som uppstått runt vår samlokalisering på Chalmers har lett till flera kontakter som annars inte kunnat ske.</p>
<p>Verka för att ny kunskap tas fram och implementeras, samt att befintlig kunskap implementeras i industriella tillämpningar</p>	<p>Se kap. 6.2 i slutrapporten. Att använda sådan kunskap är vad Volvo lever på.</p>
<p>Stärka samverkan mellan fordonsindustrin och å ena sidan och Vägverket, universitet, högskolor och forskningsinstitut å den andra sidan.</p>	<p>Se tidigare kommentar avseende forskningsmiljöer.</p>

Verka för att den nationella kompetensförsörjningen tryggas samt att FoU med internationell konkurrenskraft etableras	Projektet har producerat en teknologie doktor och en till är på väg. Publikationslistan reflekterar att forskningen håller hög nivå och att Volvo deltar i projektet indikerar att resultaten bedöms vara relevanta ur ett internationellt konkurrensperspektiv.
---	--

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Vi projektparter bedömer att projektet varit framgångsrikt. Det beror på att befintliga forskningsmiljöer och resultat från pågående eller nyligen avslutade projekt har utnyttjats i hög grad: expertkunskap, loggad sensordata, och relevanta frågeställningar har kunnat tas tillvara på. Det betyder dels att projektet inte hade kunnat genomföras i den här formen utan en befintlig miljö, men framför betyder det att samma miljö kan fånga upp de resultat som har genererats. Därför är det vår bedömning att resultaten når spridning i stor utsträckning.

För att ytterligare dra nytta av resultaten bör nya forskningsinitiativ initieras så att den övergripande diskussionen mellan alla parter i de breda nätverken i någon mening är kontinuerlig.

6.2 Publikationer

Projektet har bidragit till publiceringen av 10st konferensartiklar, 7st tidskriftsartiklar och 1 avhandling. Delar av avhandlingen och två tidiga tidskriftsartiklar [11, 12] bygger i allt väsentligt på resultat ifrån Vinnovafinansierade SEFS – sensor fusion for safety under IVSS-programmet men har färdigställts i publicerad form av detta projekt.

Aktiva forskare finansierade av projektet är *Lennart Svensson*, *Malin Lundgren* och *Fredrik Sandblom*. Medförfattares tid har finansierats från annat håll. Se bilagan ”teknisk projektredovisning” för en sammanfattning av innehållet i referenslistan nedan.

6.2.1. Konferensbidrag

[1] Sandblom, F.; Brännström, M., "Probabilistic threat assessment and driver modeling in collision avoidance systems," *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*, vol., no., pp.914,919, 5-9 June 2011
doi: 10.1109/IVS.2011.5940554



FORDONSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5940554&isnumber=5940387>

[2] Sandblom, F.; Svensson, L., "Marginalized sigma-point filtering," *Information Fusion (FUSION), 2011 Proceedings of the 14th International Conference on* , vol., no., pp.1,8, 5-8 July 2011

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5977671&isnumber=5977431>

[3] Andersson, M.; Sandblom, F., "Transforming local sensor tracks prior to track-to-track fusion in an automotive safety system," *Information Fusion (FUSION), 2013 16th International Conference on* , vol., no., pp.655,660, 9-12 July 2013

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6641343&isnumber=6641065>

[4] Sandblom, F.; Sörstedt, J. "Sensor data fusion for multiple configurations"
Godkänd för publicering på *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 8-11 June 2014, Dearborne, Michigan, United States.

[5] Lundgren, M.; Stenborg, E.; Svensson, L.; Hammarstrand, L. "Vehicle self-localization using off-the-shelf sensors and a detailed map "
Godkänd för publicering på *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 8-11 June 2014, Dearborne, Michigan, United States.

[6] Särkkä, S.; Hartikainen, J.; Svensson, L.; Sandblom, F., "Gaussian Process Quadratures in Nonlinear Sigma-Point Filtering and Smoothing"
Godkänd för publicering på *17th International Conference on Information Fusion*, 7-10 July 2014, Salamanca Spain.

[7] García-Fernández, Á.F., Svensson, L.; Morelande, M.R., "Iterated statistical linear regression for Bayesian updates"
Godkänd för publicering på *17th International Conference on Information Fusion*, 7-10 July 2014, Salamanca Spain.

[8] Crouse, D.F.; Willett, P.; Pattipati, K.; Svensson, L., "A look at Gaussian mixture reduction algorithms," *Information Fusion (FUSION), 2011 Proceedings of the 14th International Conference on* , vol., no., pp.1,8, 5-8 July 2011
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5977695&isnumber=5977431>

[9] Hagmar, J.; Jirstrand, M.; Svensson, L.; Morelande, M., "Optimal parameterization of posterior densities using homotopy," *Information Fusion (FUSION), 2011 Proceedings of the 14th International Conference on* , vol., no., pp.1,8, 5-8 July 2011
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5977458&isnumber=5977431>

[10] Taghavi, E.; Lindsten, F.; Svensson, L.; Schon, T.B., "Adaptive stopping for fast particle smoothing," *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.6293,6297, 26-31 May 2013
doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638876
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6638876&isnumber=6637585>

6.2.2. Artiklar

[11] Sörstedt, J.; Svensson, L.; Sandblom, F.; Hammarstrand, L., "A New Vehicle Motion Model for Improved Predictions and Situation Assessment," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol.12, no.4, pp.1209,1219, Dec. 2011
doi: 10.1109/TITS.2011.2160342
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5958607&isnumber=6082048>

[12] Hammarstrand, L.; Sandblom, F.; Svensson, L.; Sorstedt, J., "Extended Object Tracking using a Radar Resolution Model," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, vol.48, no.3, pp.2371,2386, JULY 2012
doi: 10.1109/TAES.2012.6237597
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6237597&isnumber=6237562>

[13] Sandblom, F.; Svensson, L., "Moment Estimation Using a Marginalized Transform," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol.60, no.12, pp.6138,6150, Dec. 2012
doi: 10.1109/TSP.2012.2215605
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6307890&isnumber=6357313>

[14] Brannstrom, M.; Sandblom, F.; Hammarstrand, L., "A Probabilistic Framework for Decision-Making in Collision Avoidance Systems," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol.14, no.2, pp.637,648, June 2013
doi: 10.1109/TITS.2012.2227474
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6374680&isnumber=6521414>

[15] Lundgren, M.; Svensson, L.; Hammarstrand, L., "A CPHD Filter for Tracking With Spawning Models," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, vol.7, no.3, pp.496,507, June 2013
doi: 10.1109/JSTSP.2013.2252599
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6479228&isnumber=6515637>



FORDONSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

[16] Kianfar, R. et.al. "Design and Experimental Validation of a Cooperative Driving System in the Grand Cooperative Driving Challenge," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol.13, no.3, pp.994,1007, Sept. 2012

doi: 10.1109/TITS.2012.2186513

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6159089&isnumber=6289408>

[17] Ángel F. García-Fernández, Lennart Svensson, "Gaussian MAP filtering using Kalman optimisation" Submitted to the IEEE Trans. on Automatic Control.

6.2.3. Böcker

[18] Sandblom, F., Filtering and modelling in automotive safety systems, Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2011.

ISBN: 978-91-7385-608-9

URL1: <http://publications.lib.chalmers.se/cpl/record/index.xsql?pubid=148311>

URL2: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/148311/148311.pdf>

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet bedöms av projektparterna ha uppfyllt projektparternas mål såväl som Vinnovas och FFI-programmets mål. Publikationslistan är oväntat lång jämfört med den tid som använts, och utväxlingen på investerad tid bedöms som hög. Det beror i huvudsak på att (1) vi har samarbetat med forskare som inte ingått i projektet och på så sätt utökat befintliga forskarstrukturer, och (2) vi har fokuserat på forskning där vi kunnat vara relativt säkra på att nå användbara resultat, nämligen där tidigare projektresultat visat lovande preliminära resultat eller ett stort behov.

Av projektet drar vi slutsatsen att en riktad aktivitet som denna, med uttryckligt syfte att publicera forskningsresultat, fungerar mycket väl i ett sammanhang där det finns en bred befintlig forskningsmiljö där parter med praktiska erfarenheter möts och utbyter idéer. En bredare mer osäker hypotes är att sådana projekt är extra lämpliga att drivas i samverkan med större projekt där fler parter ingår. På så sätt "händer det mycket" och finns gott om kontakter med praktisk erfarenhet där ad-hoc -miljöer kan skapas för enskilda bidrag. På så sätt ökar verkningsgraden också av tidigare projekt eftersom kunskap sprids mellan nya och gamla projekt och idéer utvärderas av flera ögon.

Det navet som institutionen för signaler och system på Chalmers utgör är den kanske viktigaste komponenten för att uppnå en miljö där forskare möts så att spontana samarbeten kan ske. I publikationslistan i kapitel 6 ser vi att samarbeten skett mellan industriparter (AB Volvo - Volvo personvagnar – ÅF), industri-akademi (AB Volvo – Chalmers – Aalto-universitetet) och mellan flera akademiska parter över nationsgränserna. Detta stärker västsvensk forskning och fordonsindustri.



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

AB Volvo och Chalmers tekniska högskola har varit aktiva deltagande parter.
Kontaktpersoner är Fredrik Sandblom och Malin Lundgren:

Fredrik Sandblom
Safety Functions & Electronics
Dept. BF73832, O2N, Lundby
SE-405 08 Gothenburg, Sweden
Telephone: +46 31 3226951
Email: fredrik.sandblom@volvo.com



Malin Lundgren
Signals and Systems
Chalmers University of technology
SE-412 96 Göteborg
Telephone: +46 31 772 17 58
Email: malin.lundgren@chalmers.se



CHALMERS