

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Estimering av fordons hastighet och väglutning i hybridfordon



Författare: Matthijs Klomp/Torbjörn Norlander
Datum: 31 December 2014
Delprogram: Fordonsutveckling

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	4
4. Genomförande.....	5
5. Resultat	5
5.1 Bidrag till FFI-mål	5
5.2 Resultat och förväntade effekter - utfall.....	6
6. Spridning och publicering.....	6
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	6
6.2 Publikationer	7
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	7
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	9

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

Detta projekt har utvecklat estimeringsalgoritmer för ett fordons longitudinella hastighet, eller längshastighet, och vägens lutningsvinkel under fordonet. Fordonets hastighet är en av de viktiga kvantiteter vid reglering av fordonsdynamik och estimering av lutningsvinkeln är i sin tur en nödvändighet för korrekt beräkning av fordonets acceleration. I detta projekt har uppskattningen av fordons hastigheten applicerats på en hybridbil med en elmotor på bakaxeln och en förbränningsmotor på framaxeln. Hjulmomentet, som tillhandahålls av elmotorn, används för att i ett tidigt skede upptäcka för hög slirning (slip) och förbättra noggrannheten i estimeringen.

Projektet har utvecklat en metod för att uppskatta dels ett fordons längshastighet och dels vägens lutning för att effektivt lösa fallet när hjulen slirar bortom friktionsgränsen hos däcken. Metoden att upptäcka slirning (slip) uppnås delvis genom att införa nyutvecklade kriterier för slip detektering och en urvalsmetod för att välja ”korrekt” hjulhastighet. Att detektera slip utan att använda hjulmoment innebär en oundviklig tidsfördröjning i detekteringen. Denna tidsfördröjning orsakar en stor avvikelse mellan hastighetsuppskattningen och den sanna hastigheten. För att undvika denna fördröjning har hjulhastighetskriteriet och förestimeringskriteriet kompletteras med ett tredje kriterium som utgår från hjulmomentet, vilket från en hybridbil kan erhållas väldigt exakt från en elmotor. Kriteriet för hjulmomentet kan detektera slirning hos hjulen utan väsentlig försening till kostnad av högre känslighet för mätbrus. Men förändringar i hjulhastigheterna används utöver att reglera slip vilket innebär en exakt kriterium med bra timing. Noggrannheten i hastighetsestimeringen påverkas även av skillnader i mätningarna av hjulens hastighet. I vissa situationer kan slip av ett hjul leda till stora skattningsfel och är då svår att detektera med slip kriterier. Sålunda är det ett hjul som väljs som bäst representerar fordons hastigheten och används vidare som observationsvariabel av Kalman-filtret. Detta tillvägagångssätt förbättrar robustheten i estimeringen eftersom filtret blir mindre känslig för slirande hjul. Dessutom minskar beräkningskomplexiteten i Kalman-filtret eftersom dimensionen sänks från ett fyrdimensionellt problem till ett skalärt problem.

Eftersom detta var en begränsad studie, behöver vidareutveckling av algoritmen göras för anpassning till förändringar i hjulradie, variation i friktionen på de olika hjulen och effekterna av stora sido-slip.

Sammanfattningsvis har tillvägagångssättet verifierats med omfattande vintertester under realistiska förhållanden. Algoritmen visar att projektet tagit ett stort steg framåt i målet att hitta en praktisk metod för att uppskatta den longitudinella hastigheten med bra prestanda på hala vägar även i de fall då alla fyra hjulen slirar.

2. Bakgrund

För framdrivnings- och bromsreglering är exakt kunskap om fordonets längshastighet viktig eftersom den används för att beräkna hjulspinn. Skattning (estimering) av lutningsvinkel i sin tur är viktig för optimering av verklig bränsleekonomi och förbättrad antispinn. Uppgiften att estimerast hastigheten är utmanande vid för fordon med drivning på alla fyra hjulen - särskilt på halt väglag - vilket är fallet med de elektriska drivsystem som utvecklas av e-AAM. Direkt mätning av den längsgående hastigheten är för dyrt och/eller opraktiskt för fordonstillämpningar. Istället behöver den longitudinella hastigheten beräknas från, bl.a hjulhastighetssensorer och integrering av acceleration i riktningen för vägens lutning samt information om hjulvridmoment. Dessa sensorer har emellertid begränsningar. Hjulhastigheterna blir okorrelerade med fordonshastigheten hjulen spinner och tidsintegration av längsaccelerationen ackumulerar accelerations-bias som orsakar estimeringen att ”driva”. En sådan bias är gravitationskomponent som verkar i riktningen hos vägen lutning, varför också är anledningen till att estimering av vägens lutningsvinkel är nödvändig.

För att kringgå bristerna i varje individuell mätningsmetod är det nödvändigt att använda sensorfusion. Detta är för att, på ett optimalt sätt, kombinera all tillgänglig sensor-information för att få bästa möjliga estimering av den längsgående hastighet och vägens lutning.

Nytt med elektriska drivlinesystem, jämfört med en konventionell drivlina, är att mer exakt information om hjulmomentet är möjligt med elektriska motorer, vilket tros förbättra noggrannheten hos estimering av fordonshastigheten och vägens lutning avsevärt

3. Syfte

Målet för detta projekt var att utveckla en noggrann estimeringsalgoritm för både fordonets längsgående hastighet och vägen lutningsvinkel. Detta mål var uppdelade i olika aktiviteter där några av de aktiviteter var mer fokuserade på spridning av projektets resultat.

Aktiviteter var:

- Implementation av estimeringsalgoritm i Simulink.
- Testfall utvärderade i simulering och med verkliga mätningar, inklusive.
 - Verkliga tester delvis på e-AAM Winter Test Center i Arjeplog
 - Utvärderingsskript utvecklade för att utvärdera estimeringsalgoritmens prestanda
 - Tuning av estimeringsalgoritmen för bästa prestanda (via optimering).
- Stärkta kinesisk-svenska akademiska samarbeten.

- Teknisk rapport skriven
- Vetenskapliga artiklar (journal och konferens) publicerade
- Projektrapport skickas till FFI

4. Genomförande

Detta projekt har genomförts av en examensarbetare (utbytesstudent) från Tongji University, Shanghai samt seniora forskare vid Chalmers och e-AAM. Kombinationen av samarbete mellan Chalmers och Tongji University samt e-AAM:s hybridelektriska teknik och vintertestanläggningar i Arjeplog, Sverige har varit viktiga faktorer som varit avgörande för detta projekts möjliggörande och även dess resultat.

Examensarbetet utfördes under 2013. examensarbetaren anställdes senare på e-AAM, i början av 2014, och de slutliga utvärderingarna utfördes i februari 2014 vid e-AAM:s Winter Test Center i Arjeplog.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Även om problemet med estimering av vägen lutning och bilens hastighet inte är nya, gör kombinationen med e-AAM:s hybridelektriska drivlineprodukter som driver alla fyra hjulen, båda dessa problem än mer utmanande, där den nya hjulmomentsestimeringen med hjälp av elmotorn öppnade nya möjligheter att lösa detta problem.

För att Sverige ska växa inom området fordonshybridisering, vilket är viktigt för att möta energi- och miljömål, samt ge affärsmöjligheter för svenska företag, såsom e-AAM, måste även dessa grundläggande problem med hastighet- och lutningsestimering åtgärdas.

Det nya samarbetet mellan Chalmers och Tongji University, som är av strategiskt intresse även för e-AAM, var också en anledning att genomföra detta projekt. Starka affärsrelationer mellan Sverige och Kina är viktiga för fordonsindustrin i allmänhet och e-AAM i synnerhet. Därför är dessa akademiska partnerskap mellan Kina och Sverige viktiga komplement för att förbättra affärsrelationer.

Sammanfattningsvis detta projekt avser programmålen, fordonsrelaterad forskning, innovation och utveckling inom följande områden:

- Fordonselektronik
- Inbyggda system och programvara
- Utvecklingsmetoder för utvärdering av estimeringsalgoritmer
- Samarbetet med Tongji University, har klar potential att stärka konkurrenskraften för Sverige och den svenska fordonsindustrin i ett globalt perspektiv.

Detta projekt var också starkt relaterad till målen för Fordonsutvecklingsprogrammet att bidra till globalt ledarskap inom fordons elektronik och mjukvara och öka kompetens inom hybridbilsutveckling. Estimeringsalgoritmer i allmänhet - och möjligheter med förbättrad information om hjulmoment på detta område specifik - är avgörande för att säkerställa framsteg inom områden som energi och aktiv säkerhet.

5.2 Resultat och förväntade effekter - utfall

Syftet med projektet, som beskrivs i inledningen, var estimering av längshastigheten och vägens lutning, är avgörande för e-AAM:s affärsportfölj. Även den höga standard av internationell akademisk miljö (Chalmers och Tongji University) i kombination med e-AAM:s vintertestanläggning i världsklass - som inte är lätt att göra tillgängliga för den akademiska världen - och industriell erfarenhet, sågs som viktiga framgångsfaktorer i detta projekt. Den industriella relevansen av detta arbete skulle säkerställa att resultaten skulle användas i e-AAM:s produktutbud. Dessutom skulle de experimentella resultat som uppnåts i de berömda vinterförhållanden i norra Sverige se till att resultaten kommer att uppnå hög akademisk relevans.

Att e-AAM har ansökt om ett patent relaterat till den teknik som utvecklats i detta projekt betonar relevans för företaget. Dessutom var både inbjudan att presentera detta arbete i plenum vid en stor fordonsdynamik konferens och att en artikel accepterats för publicering i en internationell tidskrift visar att projektet har varit mycket relevant för den akademiska världen. Vidare har den magisteruppsats som har varit ett annat resultatet av projektet, nominerades som bästa magisterexamen vid Tongji University för 2013. Slutligen har studenten som genomförde examensarbetet flyttat från Kina till Trollhättan och är nu anställd vid e-AAM.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultat spridning

Den offentliga delen av denna studie är relaterad till de internationella och projektspecifika publikationer från projektet. Också relevant, är att en patentansökan har lämnats in. De framtagna publikationer och immaterialrätt är de mätbara resultat från detta projekt.

Det sätt detta projekt har utförts, med en student från Tongji University som gör sitt examensarbete genom Chalmers på ett företag har varit en mycket framgångsrik strategi. Också det faktum att seniora forskare vid samtliga tre parter, Tongji, Chalmers och AAM har varit starkt engagerade i tillsyn och för att underlätta arbetet har varit viktiga faktorer i detta projekt. Dessutom har det faktum att e-AAM har gjort viktiga resurser, såsom ett provfordon och vintertestanläggning tillgängliga för detta projekt varit avgörande för att lyckas med detta projekt.

Vilka förändringskrafter i projektets omvärld kan påskynda spridningen av projektresultaten? Kopplingar till andra interna/externa projekt som kan påskynda introduktion eller ge större genomslag?

6.2 Publikationer

Projektet har resulterat i följande publikationer:

- Examensarbete “Longitudinal Velocity and Road Slope Estimation in Hybrid/Electric Vehicles - Development and evaluation of an adaptive Kalman filter” at Chalmers University of Technology by Yunlong Gao from Tongji University (2013)
- Konferensartikel “Robust Estimation of Longitudinal Velocity and Road Slope in Hybrid Electric Vehicles using an Adaptive Kalman Filter” presented in a plenary session at the 23rd IAVSD Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks at Southwest Jiaotong University, Qingdao, China (2013)
- Tidskriftartikel “Longitudinal velocity and road slope estimation in hybrid electric vehicles employing early detection of excessive wheel slip” which is accepted for publication in Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility.
- Lunchseminarie med titeln “Estimation of Longitudinal Velocity and Road Slope in Hybrid Electric Vehicles using an Adaptive Kalman Filter” hos Chalmers (2014)

Och följande patentansökan:

- U.S. Provisional Patent Application “System And Method For Determining A Vehicle Velocity Parameter” Serial No. 61/830,368 (2013)

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har utvecklat en metod för att uppskatta (estimera) längshastigheten hos ett fordon (longitudinell hastighet) och lutningsvinkeln hos vägen som fordonet kör på för att detektera när fordonets hjul slirar.

Även om problemet med att estimera vägens lutning och bilens hastighet inte är nytt, så gör kombinationen med e-AAM:s hybridelektriska drivlineprodukter, med drivning på alla fyra hjulen, detta problem än mer utmanande och där den nya estimeringen av hjulmomentet med hjälp av elmotorn öppnade nya möjligheter att lösa detta problem.

Framtida utveckling av algoritmen behöver göras för att anpassa den till förändringar i hjulradie, linjär-range hjulspinn, variationer i friktionen på de olika hjulen och effekterna av stora sido-slip vinklar.



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Sammanfattningsvis har algoritmen verifierats genom omfattande vintertester under realistiska förhållanden och har fungerat väldigt bra på hala vägar även när alla fyra hjulen slirar.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektdeltagare i projektet har varit:



e-AAM Driveline Systems AB

Kontaktperson: Torbjörn Norlander



CHALMERS

Chalmers

Kontaktperson: Bengt Jacobson, Professor vid Institutionen för Tillämpad Mekanik