

# Populärvetenskaplig sammanfattning

Mia Grahovic & Madeleine Rosicki

Studenter vid Lunds tekniska högskola, Elektroteknik 2014

Populärvetenskaplig sammanfattning av examensarbetet *Development and Evaluation of a Torque-Vectoring Algorithm on RWD Racing Car using a Dual Clutch*, juni 2019, utfört på BorgWarner och Institutionen för Reglerteknik, LTH. Examensarbetets rapportnummer är TFRT-6081.

---

## 1 BAKGRUND

Detta examensarbete inbegriper utveckling och utvärdering av en aktiv vridmomentstyrning på hjul i MATLAB/Simulink. Aktiv vridmomentstyrning är en teknik för att applicera och separat styra vridmoment på ett fordonets hjul. Genom att separat styra varje hjuls vridmoment kan man även öka hela fordonets förmåga att svänga i kurvor även vid höga hastigheter. Om man exempelvis tänker sig körning i en cirkulationsplats, måste ofta föraren justera ratten under körningen för att behålla sin önskade bana. Med aktiv vridmomentstyrning är det istället tänkt att fördelning av vridmomentet på hjulen ska kunna hjälpa till för att behålla banan i cirkulationsplatsen. Föraren ska således kunna hålla ratten i samma läge under hela cirkelkörningen utan att förlora sin bana.

I denna uppsats är målet att reglera en Formula studentbil. Formula student är en studentengagerad tävling inom racing som hålls runt om i Europa. Studenterna sätts på prov genom att designa, utveckla och tillverka en enkelsits öppenhyllig racerbil under nio månader. Tävlingsarna består av statiska och dynamiska förlopp, där de statiska testerna innehåller tester i t. ex. teknisk design, kostnad och hållbarhet, teknisk och säkerhetsgranskning, medan för dynamiska tester testas man t. ex. fordonets hanterbarhet på olika vägar och fordonets uthållighet.

## 2 LUND FORMULA STUDENT

Lund Formula Student är en kurs som hålls på Lunds universitet och har funnits i 13 år och organisationen har byggt totalt 10 racerbilar. De har tidigare byggt en hybridbil med monocoquechassi och förbränningsmotor, som fick många troféer och bilen slutade på andra plats i Storbritannien 2010. Monocoquechassi-tekniken fortsatte fram till 2015, då de istället började bygga ett chassi i stål. Denna teknik är enklare och mer tillförlitlig att tillverka och har kontinuerligt använts under åren sedan dess. Men nu är målet för 2020 istället att bygga en elbil. Vår regulatoralgoritm är tänkt att användas i Formula student-tävlingen som hålls år 2021. Det finns redan ett färdigt team som jobbar med nästa års racerbil.

Bilen är bakhjulsdriven och systemkraven och prestandakriterierna för denna är att möjliggöra effektiv kurvtagning på torrt väglag. Med effektiv kurvtagning menas att bilen inte understyrs. De tidigare utvecklade Formula Student-bilarna har använt så kallad begränsad slip differential och ett återkommande problem när de tävlat har varit att bilen tenderar att understyra när den accelererar in i kurvor. I det här fallet vill vi att vår algoritm möjliggör att däcken får tillräckligt med grepp när de accelererar in i en kurva och detta kan lösas med aktiv vridmomentstyrning på hjulen. Med vridmomentstyrning kan bilen vara manövrerbar och köra snabbare i slalom och kurvor. Vridmomentstyrning möjliggör också stabilitet och inger förtroende för föraren, vilket kan assistera föraren i komplexa trafiksituationer. Detta kan också vara till nackdel om algoritmen vill göra något som föraren inte alls önskar. Och på så vis skulle en farlig situation kunna uppstå.

## 3 TRE OLIKA MODELLER

Uppsatsen behandlar utvärdering av regulatorn med hjälp av tre olika modeller. Modellerna är implementerade i MATLAB/Simulink. Simulink använder MATLAB-språk med ett gränssnitt där olika block är valda från Simulinkbiblioteket. Dessa block är anslutna till varandra och blockparametrar är tilldelade. De tre olika modellerna består av en linjär och en olinjär fordonmodell, varav den olinjära modellen är indelad i två delmodeller. Den linjära modellen beskriver en så kallad cykelmodell. En cykelmodell är en modell som förenklat beskriver fordonsdynamiken med

endast ett hjul fram och bak, dvs. två framhjul är ett framhjul och två bakhjul är ett bakhjul. Fördelen med den här typen av linjär modell är dess enkelhet. Den kan exempelvis användas för att utvärdera om en regulatorstruktur är lämplig att testa vidare på mer avancerade modeller. Den linjära modellen har en PI-regulator som är inställd för specifika regulatorparametrar för olika hastigheter.

Vidare utvärderas regulatorn i två olika typer av icke-linjära modeller. De icke-linjära bilmodellerna har tillgängliggjorts av BorgWarner. Den ena modellen är enklare medan den andra beskriver fordonsdynamiken mer realistiskt. Den enklare modellen består av ett förarblock, regulatorblock samt ett fordonsblock som i sin tur består av ett chassi- och däckmodell. Den mer komplexa modellen består av flera fordonsrelaterade del-komponenter. Utöver vad som nämns ovan, så består den avancerade modellen också av en drivmotorsmodell. Drivmotorns modell består i sin tur av en förbränningsmotormodell och en växellådsmodell. Den mer komplexa modellen använder sig av en TVDC som innebär dubbelkoppling som tillåter aktiv vridmomentstyrning på individuella hjul. Det är en dubbelkoppling som fördelar vridmomenten till vardera hjul, här är den kopplad till bakhjulen då bilen är bakhjulsdriven. Förarsignalerna innehåller parametrar som rattvinkel, förbränningsmotormoment, bromsmoment och växelläge.

## 4 REGULATORALGORITM

För att förstå hur den föreslagna regulatoralgoritmen fungerar behövs en kort förklaring av hur koordinatsystemet är uppbyggt. Den longitudinella hastigheten är riktad åt bilens färdriktning när den kör rakt fram. Den laterala hastigheten är istället vinkelrät mot den longitudinella hastigheten. Girvinkeln är det som beskriver orienteringen för bilen och är positiv för en vänstersväng. Den vertikala tyngdkraften på däcken är riktad rakt ner från kontaktytan mellan däck och mark.

Vår regulatoralgoritm bygger på att reglera felet i girhastighet mellan det önskade och faktiska värdet vi får ut från modellerna. Vi använder oss av en given styrlag för att beräkna önskad girhastighet. Den önskade girhastigheten beror på hastighet i longitudriktning, rattvinkel och bilparametrar, dvs. parametrar som definierar den specifika bilen och som är konstanta. Rattvinkeln och hastigheten är variabla. I vårt fall sätter vi en konstant rattvinkel. Bilens hastighet rakt fram beräknas genom att ta genomsnittsvärdet mellan framhjulets longitudinella hastighet. När föraren försöker styra så att fordonet avviker från den önskade girhastigheten, gör regulatorn justeringar för att få fordonet tillbaka på rätt spår eller för att få en neutral styrning. Detta görs med styrning av vridmomentet på bakhjulen. Det totala vridmomentet som föraren önskar genom att trycka på pedalen divideras med två och adderas respektive subtraheras till det vridmoment som krävs för att få bilen att minska reglerfelet och således följa den önskade girhastigheten.

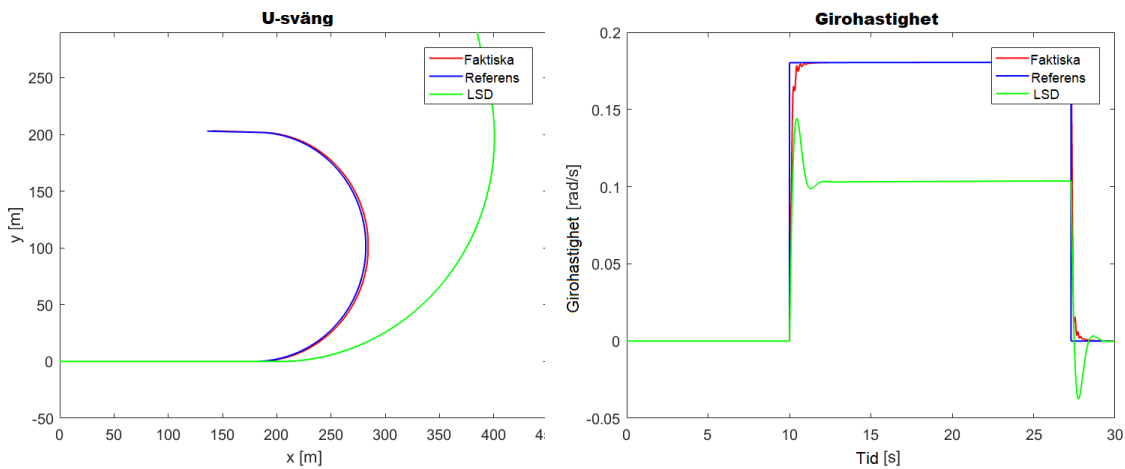
## 5 BEGRÄNSNINGAR

Begränsningar som gör att regulatorn inte kan ge negativa drivmoment till hjulen och att inget longitudinellt slip på hjulen uppstår har tagits hänsyn till i denna algoritm. Eftersom styrsystemet under vissa förhållanden ger mättade värden till fordonsmodellen måste mätnadsaspekterna beaktas vid implementering av ett sådant styrsystem. Därför används en anti-windup i återkopplingen för att förhindra att integratordelen i PI-regulatorn växer stort och orsakar översläng. Genom detta kan stabilitet och regulatorns prestanda behållas.

## 6 RESULTAT

Av resultaten från examensarbetet är det uppenbart att ett fordon som använder en dubbelkoppling med aktiv vridmomentstyrning kan förbättra fordonets prestanda när det gäller kurvtagning. Desto högre vridmoment på motorn som är tillgängligt, det vill säga det högre vridmomentet som föraren begär, desto bättre kan den föreslagna algoritmen hjälpa till. Detta på grund av att skillnaden i vridmoment på höger och vänster hjul kan ökas. Detta leder till slutsatsen att en Formula Studentbil kan dra nytta av att använda en aktiv vridmomentstyrning istället för en LSD som tidigare använts. Med hjälp av aktiv vridmomentstyrning i kurvor kommer bakhjulen att kunna utnyttja det faktum att ytterhjulet vid en svänga har en större friktionscirkel och detta gör att man kan lägga på extra vridmoment på ytterhjulen. På så sätt förbättrar regulatoralgoritmen ett fordonets manöverförmåga vid styrning i kurvor. Dock kan problem uppstå vid överstyrning. När ett fordon överstyr och den föreslagna algoritmen försöker motverka

detta, kan det uppstå den inte har en tillräckligt stor däckfriktionscirkel på innerhjulet och således kan hjulet börja spinna istället. Resultatet visar att det genomsnittliga felet i girhastigheten är en hundradel av felet i girhastigheten när en LSD-koppling används. Resultaten visar emellertid att den föreslagna vridmomentstyrningsalgoritmen ger en tydlig förbättring i stabilitet och manövrerbarhet i kurvor. Resultatet för en U-sväng ses i Figur 6.1.



(a) U-sväng för ett stegsvar.

(b) Girhastigheten för en U-sväng.

Figur 6.1: U-sväng i hastighet 20 m/s med TVDC.