

Designspecifikation

Redaktör: Jenny Palmberg

Version 1.1

Status

Granskad		
Godkänd		

PROJEKTIDENTITET

Grupp 1, 2006/VT, Herbie
Linköpings Tekniska Högskola, ISY

Gruppdeltagare

Namn	Ansvar	Telefon	E-post
Simon Danielsson	Kvalitetsansvarig (KVA)	070-745 15 82	samda058@student.liu.se
Sebastian Schygge	Projektledare (PL)	070-540 28 89	sebse819@student.liu.se
Lili Ren	Testansvarig (TST)	070-699 85 36	lilre538@student.liu.se
Jenny Palmberg	Dokumentansvarig (DOK)	070-325 06 00	jenpa584@student.liu.se
Fredrik Nilsson	Designansvarig (DVA)	073-369 31 36	freni207@student.liu.se
Henric Malmkvist	Kundansvarig (KA)	070-365 61 75	henma186@student.liu.se

E-postlista för hela gruppen: fordonssimulator@googlegroups.com

Hemsida: <http://www.schygge.se/fordon>

Kund: Fordonssystem, ISY, 581 83 Linköping,

Kundtel: 013-28 10 00, Fax: 013-13 92 82, da@isy.liu.se

Kontaktperson hos kund: Lars Eriksson, 013-28 44 09, larer@isy.liu.se

Kursansvarig: Anders Hansson, 013-28 16 81, hansson@isy.liu.se

Handledare: Per Öberg, 013-28 23 69, oberg@isy.liu.se

Innehåll

Dokumenthistorik	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
2 Översikt av systemet	7
2.1 Produktkomponenter	8
2.2 Ingående delsystem	8
3 Fordonsmodul	8
3.1 Övergripande modulbeskrivning	8
3.2 Motor	8
3.2.1 Modellbeskrivning	8
3.3 Differential	9
3.3.1 Ekvationer	9
3.3.2 Främre Differentialen	10
3.3.3 Bakre Differentialen	10
3.3.4 Centrala Differentialen	10
3.4 Begreppsbeskrivning	11
3.4.1 Toe-in	11
3.4.2 Caster	11
3.4.3 Camber	11
3.4.4 Slip	11
3.5 Hjulupphängning	11
3.5.1 Friläggning av länkarm	11
3.5.2 Friläggning av fjäderben	12
3.6 Magic formula	13
3.6.1 Ekvationer	13
3.7 Dynamik	14
3.7.1 Namngivning	14
3.7.2 Kraftekvationer	14
3.7.3 Momentekvationer	15
3.7.4 Rörelseekvationer	15
3.8 Lastförskjutning	16
4 Reglering	16
4.1 Designfilosofi	16

4.2	ABS	16
4.2.1	Pseudokod	17
4.3	TRC	17
4.3.1	Pseudokod	18
4.4	ESP	18
4.4.1	Algoritm	18
5	Visualiseringsmodul	18
5.1	Designfilosofi	18
5.2	Programstart - fordonsmodulen	18
5.2.1	Hantering av parametrar	19
5.3	Programstart visualiseringsmodulen	19
5.3.1	Skalning av världen	19
	Referenser	21

Dokumenthistorik

Version	Datum	Utförda förändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2006-02-23	Första utkast.	Alla	Alla
0.2	2006-02-27	Uppdaterat version.	SD HM	SD HM
1.1	2006-02-24	Uppdaterat version.	JP	

1 Inledning

Detta dokument är till för att ge en överblick av projektet. Här delas projektet upp i mindre delar och dessa beskrivs översiktligt.

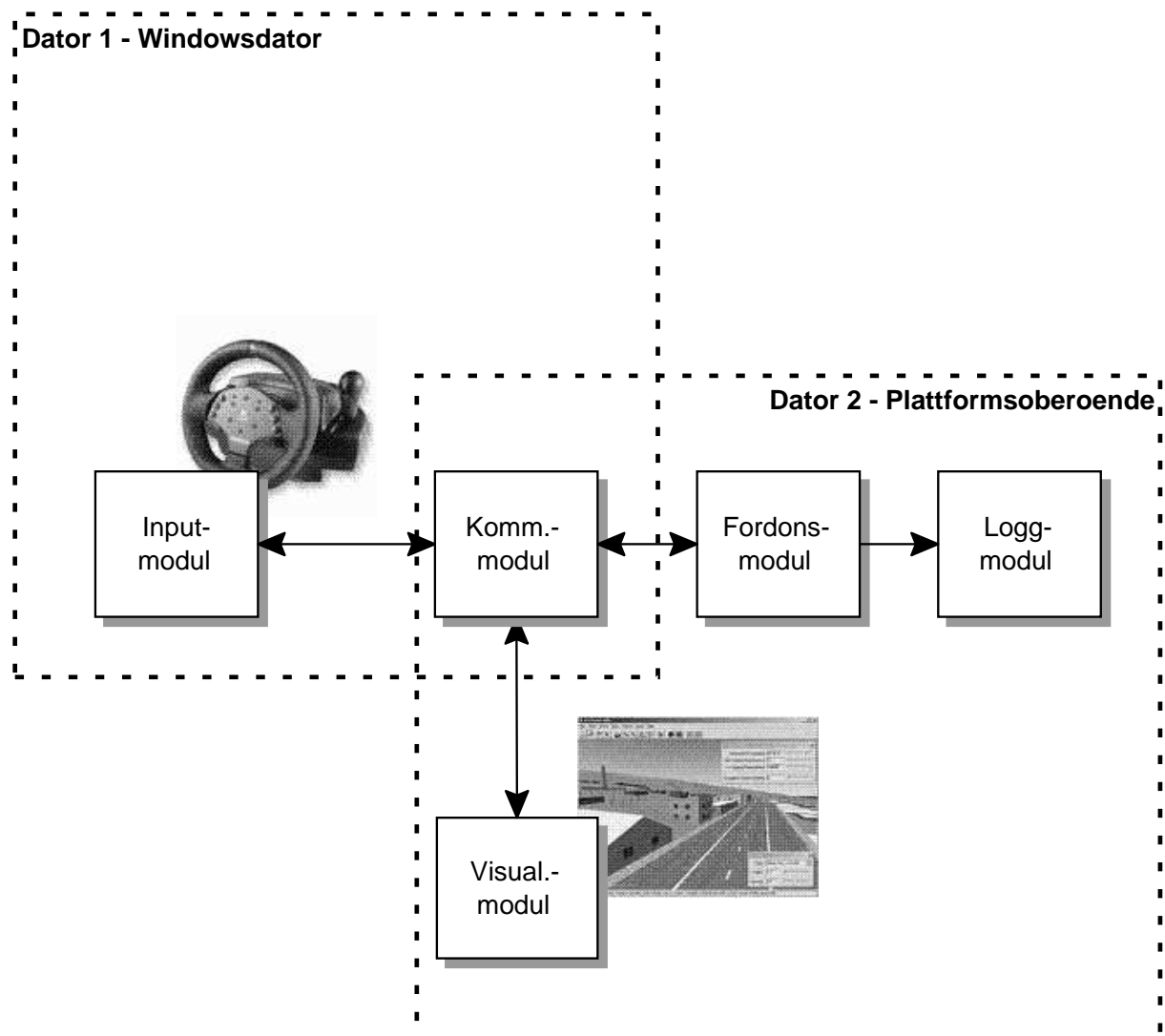
1.1 Bakgrund

Projektet är en vidareutveckling av ett projekt som utfördes av NightRider vid ISY, LIU, 2005. Herbie ska vidareutveckla modeller för bland annat hjulupphängning och förbättra användargränssnittet.

2 Översikt av systemet

Systemet kan delas upp i fem moduler: inputmodul, fordonsmodul, loggmodul, kommunikationsmodul och visualiseringsmodul. Det ska vara möjligt att dela upp modulerna på en eller flera datorer. Detta gör det dels möjligt att göra visualiseringsmodulen plattformsoberoende och dessutom erhålls en bättre prestanda genom att köra simuleringen på en dator och visualiseringen på en annan.

Alla modulerna finns redan implementerade av NightRider. Input-, kommunikation- och loggmodulen är i stort sett färdigutvecklade och Herbie kommer endast att göra små förändringar i dessa moduler. För en detaljerad beskrivning av dessa moduler se NightRiders tekniska dokumentation. Fordons- och visualiseringsmodulen kommer att vidareutvecklas av Herbie. Endast förändringar av dessa moduler kommer beskrivas i detta dokument.



Figur 1: Exempel på hur systemet kan se ut när det körs på 2 datorer

2.1 Produktkomponenter

Fordonssimulatore kommer att köras på en eller flera datorer varav en av dessa kommunicerar med en ratt med force feedbackstöd och tillhörande pedaler. Vidare ska simulatore levereras med användarhandledning, poster, hemsida samt teknisk dokumentation.

2.2 Ingående delsystem

- Inputmodul (IM). Denna modul har hand om den ratt med tillhörande pedaler som är kopplad till den ena datorn.
- Fordonsmodul (FM). Denna modul simulerar ett riktigt fordon.
- Loggmodul (LM). Denna modul har hand om loggning av fordonets signaler.
- Kommunikationsmodul (KM). Denna modul har hand om kommunikationen mellan de olika datorerna.
- Visualiseringsmodul (VM). Denna modul har hand om att visualisera fordonet i dess omkringliggande miljö.

3 Fordonsmodul

Fordonsmodulens syfte är att simulera ett fordon utifrån insignaler ifrån (IM) och därefter generera nödvändiga utsignaler till övriga moduler. Fordonsmodulen ska vara plattformsoberoende.

3.1 Övergripande modulbeskrivning

Fordonsmodulen kommer vara uppbyggd av flera mindre delmoduler skapade i Matlab/Simulink.

3.2 Motor

Herbie ser motorn som en momentgenerare. Om tid finnes är målet att koppla in NightRiders motormodell.

3.2.1 Modellbeskrivning

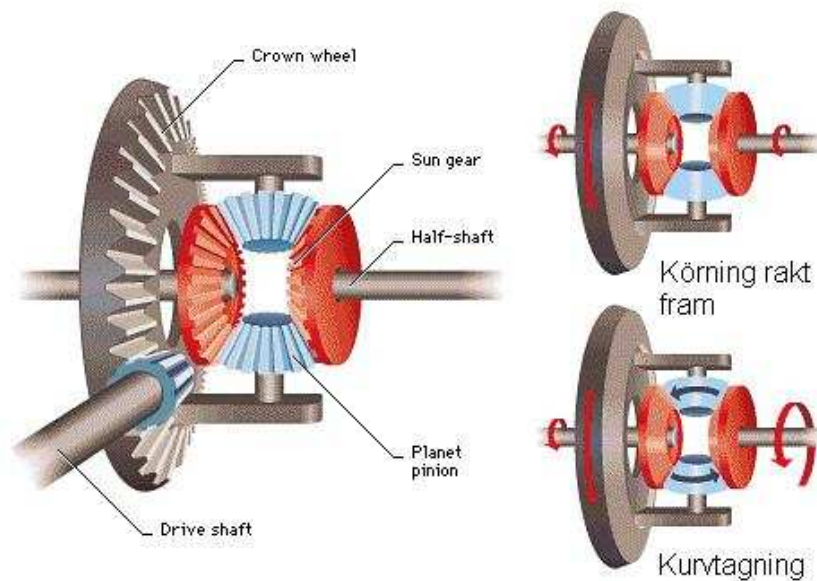
Syfte	Simulerar motorn
Insignaler	$\beta_{accbrake}$
Utsignaler	M_e, J_e

3.3 Differential

Vi kommer att implementera en differential av öppen typ. I denna typ av differential kommer momentet att fördela sig lika över de drivande hjulen. Rotationshastigheterna på hjulen behöver inte vara lika men ges i förhållande till varandra och rotationshastigheten på den drivande axeln.

För momentfördelning, då t.ex. ett däck slirar, förlitar vi oss på TRC-regleringen.

Modellen ser lite olika ut beroende på om fordonet är bak-, fram- eller fyrhjulsdrivet, men principen är den samma. I de bak- och framhjulsdrivna modellerna finns en differential som fördelar momentet lika på de drivande hjulen. I den fyrhjulsdrivna har vi tre differentialer, en i mitten som fördelar momentet på bak- och framaxel och sedan en på vardera axel som fördelar momentet på hjulen. Alla hjul får dock samma moment i denna modell.



Figur 2: Idébild av differentialen

3.3.1 Ekvationer

M = Moment från drivaxel

M_f = Moment från främre drivaxel

M_r = Moment från bakre drivaxel

M_{fr} = Moment till högra framhjulsaxeln

M_{fl} = Moment till vänstra framhjulsaxeln

$M_{r,r}$ = Moment till högra bakhjulsaxeln

$M_r l$ = Moment till vänstra bakhjulsaxeln
 Ω = Rotationshastigheten på drivaxeln
 Ω_f = Rotationshastigheten på främre drivaxeln
 Ω_r = Rotationshastigheten på bakre drivaxeln
 Ω_{fr} = Rotationshastigheten på högra framhjulsaxeln
 Ω_{fl} = Rotationshastigheten på vänstra framhjulsaxeln
 Ω_{rr} = Rotationshastigheten på högra bakhjulsaxeln
 Ω_{rl} = Rotationshastigheten på vänstra bakhjulsaxeln

μ_c = skalfaktor centrala differentialen
 μ_r = skalfaktor bakre differentialen
 μ_f = skalfaktor främre differentialen

3.3.2 Främre Differentialen

$$M_{fr} = M_{fl} = M_f/2 \quad (1)$$

$$\mu_f \Omega_f = (\Omega_{fl} + \Omega_{fr})/2 \quad (2)$$

3.3.3 Bakre Differentialen

$$M_{rr} = M_{rl} = M_r/2 \quad (3)$$

$$\mu_r \Omega_r = (\Omega_{rl} + \Omega_{rr})/2 \quad (4)$$

3.3.4 Centrala Differentialen

$$M_r = M_f = M/2 \quad (5)$$

$$\mu_c \Omega = (\Omega_r + \Omega_f)/2 \quad (6)$$

Vid bak- eller framhjulsdraft används bara bakre eller främre differentialen och vid fyrhjulsdraft används alla differentialer.

3.4 Begreppsbeskrivning

3.4.1 Toe-in

Toe-in innebär att ett hjulpar är satta så att framkanten på hjulen pekar innåt. Pekar de istället utåt kallas det toe-out. Toe-vinkeln påverkar däckslitage, stabilitet under rak körning och kurvtagning.

3.4.2 Caster

Caster är den vinkel som styrnings- och centralaxel är lutad framåt eller bakåt med från vertikalen sett från sidan. Om centralaxeln är lutad bakåt, d.v.s. övre delen av axeln är längre bak än den nedre delen, så är castervinkeln positiv. Är axeln lutad framåt är caster alltså negativ.

Positiv caster tenderar att rätta hjulet när fordonet åker framåt och ökar därmed rakinje stabiliteten. På grund av detta brukar styraxlarna vara tiltade en liten aning. För stor caster försvårar styrningen av bilen.

3.4.3 Camber

Camber är vinkeln som hjulet lutar relativt vertikalen sett framifrån bilen. Lutningen är negativ om hjulen lutar in mot bilen och positiv om hjulen lutar ut från bilen. Kurvkraften som ett hjul kan skapa beror till stor del på dess vinkel relativt vägytan. Hjulcambern har alltså en stor effekt på väghållningsegenskaperna hos en bil.

3.4.4 Slip

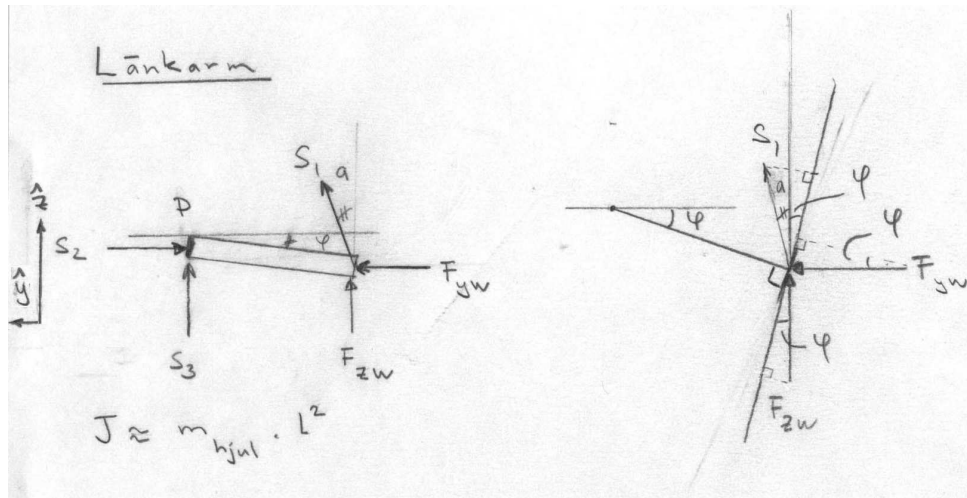
Slippet beskriver hjulets glidning mot vägen och är det som gör att krafter mot körbanan uppstår. För att beskriva slippet kommer Magic Formulaför combined slip användas. Kompensation för inställningar av camber, caster och toe-in kommer att utföras.

3.5 Hjulupphängning

Den hjulupphängning som först kommer att implementeras är "McPherson strut". Denna valdes eftersom det i den går att ställa in de olika vinklar, relativt däcket, som systemet ska kunna hantera.

3.5.1 Friläggning av länkarm

Däcket ses som en punktmassa som skapar ett tröghetsmoment. Länkarmen ses som masslös.



Figur 3: Frilägning av länkarm.

$$J_{wheel} \approx m_{hjul} \cdot l^2 \quad (7)$$

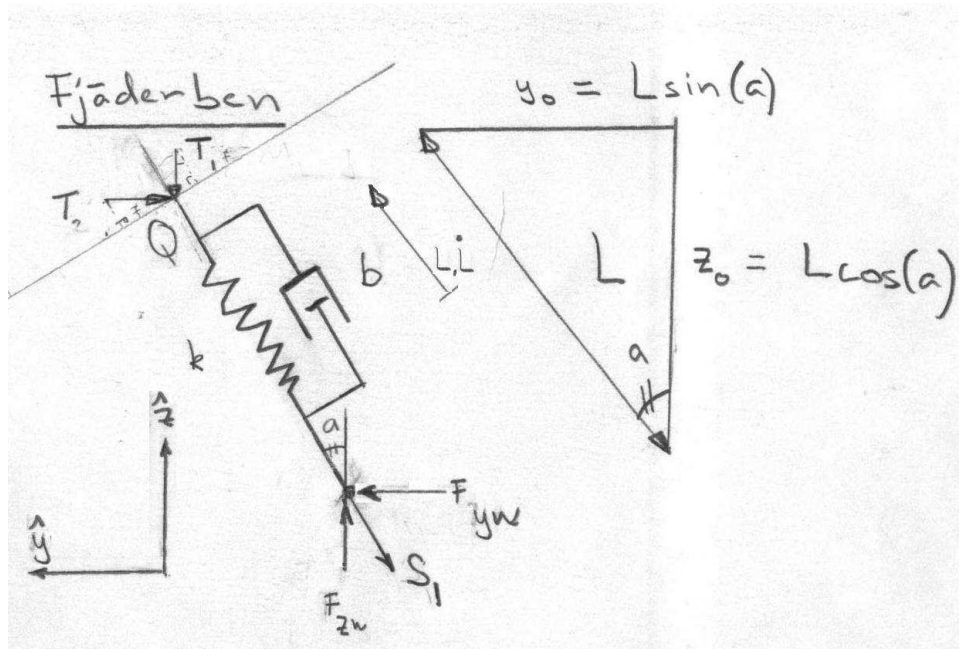
$$\rightarrow: S_2 - F_{yw} - S_1 \sin(a) = 0 \quad (8)$$

$$\uparrow: S_3 + F_{zw} + S_1 \cos(a) = 0 \quad (9)$$

$$\hat{P}: S_1 \cos(a + \phi) + F_{yw} \sin(\phi) + F_{zw} \cos(\phi) = J \ddot{\phi} \quad (10)$$

3.5.2 Frilägning av fjäderben

Fjäderbenet med dämpare ses som masslös. Fjäderbenets och länkarmens infästning sitter i hjulets centrum.



Figur 4: Friläggning av fjäderben.

$$\uparrow: -T_1 + k(z - z_0) + b\dot{z} - S_1 \cos(a) + F_{zw} = 0 \quad (11)$$

$$\rightarrow: T_2 + S_1 \sin(a) - k(y - y_0) - b\dot{y} - F_{yw} = 0 \quad (12)$$

$$\hat{Q}: F_{zw} \sin(a) - F_{yw} \cos(a) = J\ddot{a} \quad (13)$$

3.6 Magic formula

För att beräkna de krafter som uppstår mellan vägbanan och däckan används Pacejka's Magic Formula. Det är formeln för combined slip som kommer att användas. Insignaler kommer att vara slipvinkel, slip, cambervinkel och normalkraft. Som utsignaler fås krafter i x- och y-led samt momentet i z-led. Diverse hastigheter används som mätsignaler.

3.6.1 Ekvationer

Insignaler

α = slipvinkel

γ = cambervinkel

κ = slip

F_z = Kraft i z-led

Utsignaler

F_x = Kraft i x-led

F_y = Kraft i y-led

M_z = Moment i z-led

Mätsignaler

Diverse hastigheter

För en beskrivning av ekvationerna i Magic formula, se bilaga.

3.7 Dynamik

Nedan beskrivs hur krafter och moment som påverkar fordonet förflyttas till tyngdpunkten där de verkar och skapar accelerationer och hastigheter på fordonet.

Koordinatsystem som används har origo i centrum av bilen (obs inte masscentrum). x-axeln pekar framåt, y-axeln åt vänster och z-axeln uppåt. De krafter som påverkar fordonet är krafterna från hjulen, tyngdkraften och rullmotstånd, vindmotstånd m.m. På grund av hjulupphängningen så påverkar varje hjul fordonet i två punkter, en hög och en låg. I den högre punkten överförs krafter i y- och z-led, i den lägre överförs krafter i x-, y- och z-led. Framhjulen ligger på avståndet A framför bilens centrum och bakhjulen på avståndet A bakom. Vänsterhjulen ligger på avståndet B till vänster om bilens centrum och högerhjulen på avståndet B till höger. Den lägre angreppspunkten ligger på avståndet C under centrum och den högre på avståndet C över. Tyngdkraften verkar i fordonets tyngdpunkt. Tyngdpunkten ligger i punkten (a, b, c) .

3.7.1 Namngivning

Krafterna från hjulen är namngivna med 5 index. Det första är w och står för att det är en hjulkraft (wheel). Det andra står för vilken riktning kraften verkar i x, y eller z . Det tredje indexet står för om det är ett fram- eller bakhjul, f eller r (front, rear). Det fjärde står för om det är ett vänster- eller högerhjul, r eller l (right, left). Det femte står för om kraftens angreppspunkt är hög eller låg, h eller l (high, low).

Exempel: F_{wyfrl} är hjulkraften i y-led på främre högerhjulets lägre angreppspunkt.

Tyngdkraften kan verka i alla tre riktningar beroende på bilens lutning. De får index mg och ett index för riktning x, y eller z .

Exempel: F_{mgz} är tyngdkraften i z-led.

Krafter och moment i tyngdpunkten får index tp och index för riktning x, y eller z .

Exempel: M_{tpz} är momentet kring z-axeln.

3.7.2 Kraftekvationer

$$F_{tpx} = F_{mgx} + F_{wxfrl} + F_{wxflu} + F_{wxrll} + F_{wxrrl} \quad (14)$$

$$F_{tpy} = F_{mgy} + F_{wyfrl} + F_{wyfll} + F_{wyrrl} + F_{wyrrl} + F_{wyfrrh} + F_{wyfllh} + F_{wyrrlh} + F_{wyrrrh} \quad (15)$$

$$F_{tpz} = F_{mgz} + F_{wzfrl} + F_{wzfl} + F_{wzrll} + F_{wzrrl} + F_{wzfrh} + F_{wzflh} + F_{wzrrlh} + F_{wzrrrh} \quad (16)$$

3.7.3 Momentekvationer

$$\begin{aligned} M_{tpx} = & (B - b)F_{wyfll} - (B - b)F_{wyfllh} + (-B - b)F_{wyfrl} - (-B - b)F_{wyfrrh} + \\ & + (B - b)F_{wyrrl} - (B - b)F_{wyrrlh} + (-B - b)F_{wyrrl} - (-B - b)F_{wyrrrh} + \\ & + (-C - c)F_{wzfl} + (C - c)F_{wzflh} - (-C - c)F_{wzfrl} - (C - c)F_{wzfrh} + \\ & + (-C - c)F_{wzrll} + (C - c)F_{wzrrlh} - (-C - c)F_{wzrrl} - (C - c)F_{wzrrrh} \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tpy} = & -(A - a)F_{wxfl} - (A - a)F_{wxfrl} - (-A - a)F_{wxrll} - (-A - a)F_{wxrrl} - \\ & - (-C - c)F_{wzfl} - (C - c)F_{wzflh} - (-C - c)F_{wzfrl} - (C - c)F_{wzfrh} + \\ & + (-C - c)F_{wzrll} + (C - c)F_{wzrrlh} + (-C - c)F_{wzrrl} + (C - c)F_{wzrrrh} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tpz} = & -(A - a)F_{wxfl} + (A - a)F_{wxfrl} - (-A - a)F_{wxrll} + (-A - a)F_{wxrrl} + \\ & + (B - b)F_{wyfll} + (B - b)F_{wyfllh} + (-B - b)F_{wyfrl} + (-B - b)F_{wyfrrh} - \\ & - (B - b)F_{wyrrl} - (B - b)F_{wyrrlh} - (-B - b)F_{wyrrl} - (-B - b)F_{wyrrrh} + \\ & + M_{wzfl} + M_{wzfr} + M_{wzrl} + M_{wzrr} \quad (19) \end{aligned}$$

3.7.4 Rörelsekvationer

Fordonets förelser, i det tidigare definierade koordinatsystemt, ges av Newtons rörelsekvationer.

$$\dot{v}_{tpx} = F_{tpx}/m_{tot} \quad (20)$$

$$\dot{v}_{tpy} = F_{tpy}/m_{tot} \quad (21)$$

$$\dot{v}_{tpz} = F_{tpz}/m_{tot} \quad (22)$$

$$\dot{\omega}_{tpx} = M_{tpx}/J_x \quad (23)$$

$$\dot{\omega}_{tpy} = M_{tpy}/J_y \quad (24)$$

$$\dot{\omega}_{tpz} = M_{tpz}/J_z \quad (25)$$

Där m_{tot} är fordonets, inklusive all last, massa. J_x , J_y och J_z är tröghetsmomentet kring respektive axel.

Tröghetsmomenten ges av:

$$J_x = \frac{1}{3}M(B^2 + C^2) + M(b^2 + c^2) \quad (26)$$

$$J_y = \frac{1}{3}M(A^2 + C^2) + M(a^2 + c^2) \quad (27)$$

$$J_z = \frac{1}{3}M(A^2 + B^2) + M(a^2 + b^2) \quad (28)$$

3.8 Lastförskjutning

Fordonet och alla laster ger med hjälp av dess massa och dess masscentrum. sedan ges den totala massan av summan av alla delmassor.

$$m_{tot} = \sum_{j=1}^k m_j \quad (29)$$

Om varje delkropp's masscentrums position ges av vektorn \bar{r} så ges det totala masscentrumets position, \bar{r}_{tot} (positionerna a , b och c tidigare), av:

$$\bar{r}_{tot} = \frac{\sum_{j=1}^k m_j \bar{r}_j}{\sum_{j=1}^k m_j} \quad (30)$$

4 Reglering

4.1 Designfilosofi

De reglersystem som i första hand skall implementeras är ABS, TRC, ESP. Dessa skall kunna kopplas in och ur, så att körtester skall kunna genomföras. Det kommer att gå att ställa in vilken reglering som ska användas i GUI:t i Visualiseringsmodulen. Inställningarna som valts kommer att sparas som parametrar i en MatLab-fil och dessa parametrar styr vilka block i simulinkmodellen som ska användas.

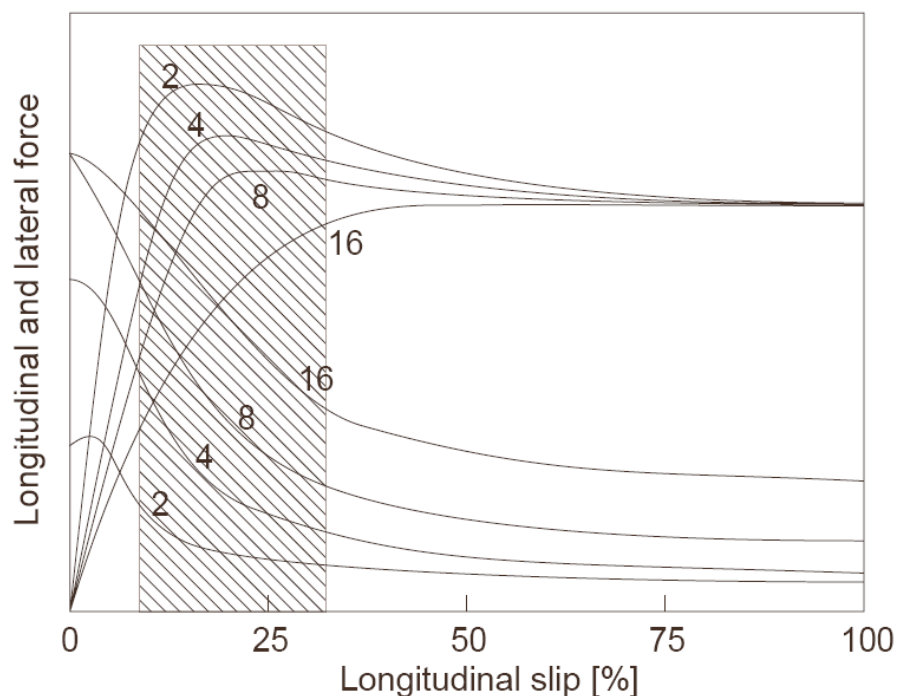
4.2 ABS

Anti-lock Breaking Systems används för att hjulen inte ska låsa sig vid inbromsning eftersom det leder till förlorad styrförmåga. Målet med regleringen är att fordonet skall ha

maximal bromskraft och fortfarande styrförmåga. Den parameter som ska styras är det longitudinella slippet. Slippet ska ligga mellan vissa värden då däckets greppförmåga är som störst i detta intervall. Om slippet blir för stort minskas det bromsande momentet och blir slippet för litet ökas momentet.

Dagens bromssystem är så snabba att vi inte ser det som någon förenkling att vi ändrar bromsmomentet till exakt det värde vi vill ha, i de diskreta tidssteg vi använder.

För att få fram de värden för vilka slippet skall ligga inom måste handling curves tas fram och studeras.



Figur 5: Graf över slip.

4.2.1 Pseudokod

Ett exempel på hur reglersystemet kan implementeras visas på sid 305 i Vehicular Systems, Nielsen och Eriksson, Linköping 2005. Vehicular Systems är ett kompendium som används som kursmaterial i kursen Fordonssystem, TSFS05, vid ISy, Linköpings Universitet.

4.3 TRC

Traction Control fungerar på samma sätt som ABS fast när fordonet kör framåt. Det som ska uppnås är att slippet ska kunna styras så att maximala krafter uppstår mellan

vägen och däcken. Här styrs slippet på ett sådant sätt att det inte uppstår t.ex. hjulspinn vid kraftiga accelerationer. I Herbie modellen kommer ett bromsande moment att läggas på hjulet då slippet blir för stort.

4.3.1 Pseudokod

Samma pseudokod som för ABS kommer att användas som grund för implementationen av TRC.

4.4 ESP

Electronic Stability Program är till för att undvika sladd vid kurvtagning. Det som eftersträvas är att simuleringen av fordonet ska ge en så naturlig känsla av kurvan som möjligt för föraren. Fordonet ska köra i fordonets längdriktning hela tiden, alltså β -vinkeln bör vara noll. Dessutom ska rotationen kring z-axeln, $\dot{\Psi}$, kännas naturlig. Det är meningen att $\dot{\Psi}$ ska uppföra sig som vid ideal steady state cornering.

För att uppnå detta läggs ett moment på i z-led. Detta görs genom att ett hjul bromsas. Om en vänstersväng görs och fordonet roterar för mycket så bromsas höger bakhjul och om fordonet roterar för lite så bromsas vänster framhjul. På så sett skapas ett moment i rätt riktning.

4.4.1 Algoritm

$$\Delta M_z = f(f_1(\beta), f_2(\dot{\Psi}_{norm} - \dot{\Psi})) \quad (31)$$

Det finns många olika idéer på funktioner för att beräkna ΔM_z och vilken som är bäst måste provas fram. Två förslag finns i fordonskompendiet.

5 Visualiseringsmodul

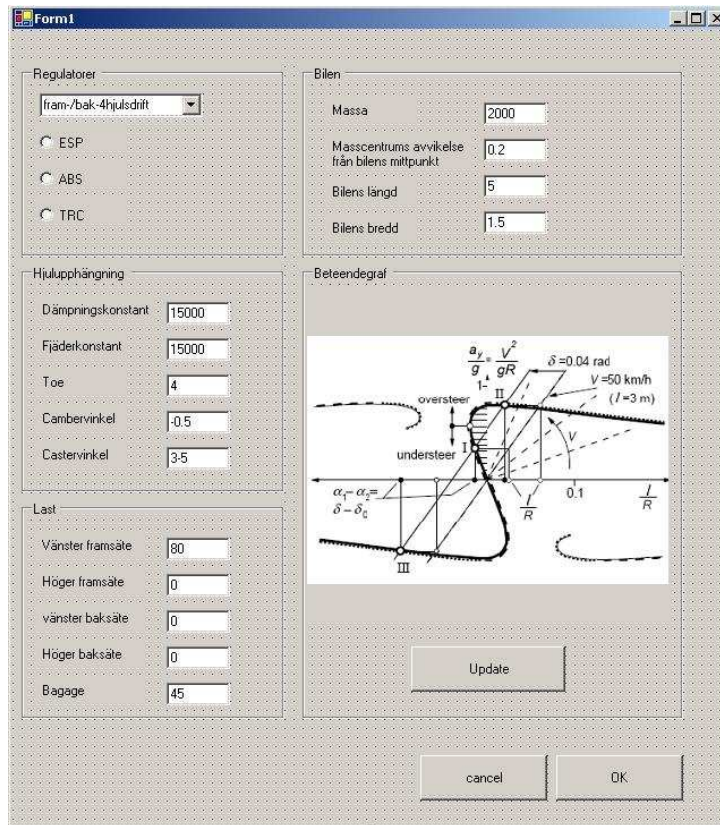
5.1 Designfilosofi

Visualiseringsmodulen innehåller en beskrivning av världen. Modulen tar emot meddelanden från fordonsmodulen med bilens koordinater och uppdaterar grafiskt bilens position i världen. Den tar också emot rattvinkeln från inputmodulen och vrider grafiskt ratten. Meddelanden skickas tillbaka till fordonsmodulen med uppgifter om landskapet.

5.2 Programstart - fordonsmodulen

Vid start av programmet visas ett menyfönster där parametrar såsom toe, fjäderkonstant och bilens massa kan väljas. Dessutom ska bilens köregenskaper beroende på valda

parametrar visas i ett diagram enligt specifikationer ur Tyre and Vehicle Dynamics av Hans Pacejka. Bilden nedan är ett exempel på hur menyfönstret kan se ut.



Figur 6: Exempel på meny.

5.2.1 Hantering av parametrar

Alla parametrar skrivs ner i en 'm' fil, körbar i matlab, därefter beordras uppdatering av modellen och diagrammet över köregenskaper uppdateras.

5.3 Programstart visualiseringsmodulen

Vid start av programmet visas ett menyfönster där val av testbana görs.

5.3.1 Skalning av världen

För att få en väg att se tillräckligt bra ut krävs små trianglar. Höjden till varje hörn i polygonerna ges av färgen ur en pixel i den bild som läses in. För att minska trianglarna krävs alltså många fler pixlar i bilden. För att inte programmet skall begränsas till väldigt stora bilder för att bygga landskapet kan små bilder uppsamlas till att ge en bra upplösning. En förutsättning är att Open Scene Graph kan hantera många fler polygoner än vad som tidigare använts.

Från ett antal punkter kan man interpolera fram funktioner för kurvaturen. Genom att använda en interpoleringsmetod som ger en kontinuerlig derivata mellan delfunktionerna undviks onödig kantighet. Utifrån dessa kan ett (valfritt) antal nya punkter/pixlar tas fram. För att applicera detta på en tvådimensionell bild krävs både att varje rad och varje kolumn uppsamlas. Detta kan ge något felaktiga diagonaler, men felen är försumbara.

Eftersom det i MATLAB redan finns färdiga funktioner för att uppsampla vektorer med bibehållen derivata skrivs ett MATLAB-program som läser in en bild och gör om den.

Referenser

- [1] *LIPS – nivå 1. Version 1.0.* Tomas Svensson och Christian Krysanter. Kompendium, LiTH, 2002.
- [2] *Teknisk dokumentation 0.13 för fordonssimulator* Anders Toverland, NightRider. 2005
- [3] *Tyre and vehicle dynamics* Hans B. Pacejka
- [4] *Vehicular Systems* Lars Nielsen och Lars Eriksson. Kompendium, LiTH, 2005