

Linköpings universitet
Institutionen för systemteknik (ISY)
Fordonssystem

Laborationskompendium Fordonsdynamik TSFS02



Linköping 2013

Innehåll

1	Laboration 2 - Lateralodynamik	5
1.1	Syfte	6
1.2	Examinationskrav	6
1.3	Förkunskap	6
1.4	Förberedelseuppgifter	6
1.5	Uppgifter	7
A	Laboration 2 - Nomenklatur	13

Laboration 2 - Lateraldynamik

I denna laboration ska enklare fordonmodeller för att beskriva den laterala dynamiken studeras, vilka även ska parametersättas och valideras mot mätdata. All mätdata som presenteras och hanteras här är insamlad med Fordonssystemets testfordon, utvecklat för fordonodynamiska studier, och insamlat på Linköpings motorstadion. Detta fordon, som ses i Figur 1.1, är i grunden en VW Golf -08 utrustad med diverse externa sensorer, t ex optisk mätning av longitudinell och lateral hastighet, optisk mätning av pitch och roll, GPS, accelerometrar och gyroskop. Förutom dessa externa sensorer finns tillgång till fordonets interna sensorer via CAN-bussen, där framförallt styrvinkelsensorn är av vikt för denna laboration.



Figur 1.1 Testfordon för fordonodynamiska studier.

1.1 Syfte

Bekanta sig med single-track-modellen, en linjär däckmodell och däckmodellen *Magic Formula*, samt hur dessa kan parametersättas och valideras mot mätdata.

1.2 Examinationskrav

För att bli godkänd på laborationen ska följande uppfyllas.

1. Närvara vid laborationstillfället.
2. Utfört nödvändiga förberedelser enligt nästa avsnitt.
3. Redovisa och motivera resultat på uppgifterna för en laborationshandledare under laborationstillfället. Svaren ska godkännas av handledaren.

1.3 Förkunskap

För att göra laboration behöver du bland annat:

- Kunna hantera MATLAB.
- Förstå och kunna ställa upp single-track-modellen (cykel-modellen).
- Känna till den linjära däckmodellen.
- Känna till däckmodellen *Magic Formula*, och ha förståelse för vad de olika parametrarna gör.
- Kunna skissa och förstå handling-diagram.

Det innebär att föreläsning 4-7, lektion 4 samt avsnitt 1.4, 5.2-5.6 i kursboken ska vara genomarbetade innan laborationen.

1.4 Förberedelseuppgifter

Som första moment i laborationen ska lateralkraft plottas som funktion av slippvinkel ($F_y(\alpha)$), för fram- respektive bak-axel. Utifrån mätdata i `tireParaMeas.mat` och fordonparametrarna i `vehicleParameters.mat`, ska slippvinklar och lateralkrafter beräknas med single-track-modellen som bas. (Dokumentation för de parametrar som ingår i de olika .mat- och .m-filerna finns i Appendix A.)

1. Skissa single-track-modellen och rita ut de krafter, vinklar, hastigheter, etc., som behövs i nästkommande uppgift.

2. Ställ upp ekvationer för slippvinklarna (α_f och α_r) och lateralkrafterna ($F_{y,f}$ och $F_{y,r}$). (Gör antagandet med små vinklar, samt försumma krafter i x-led.)
3. Ställ upp sambandet mellan δ och slippvinklarna (givet L och R), och skissa en figur som förklarar detta. (Antag små vinklar.)
4. För uppgift 3 i laborationen behövs ekvationerna för hur tillstånden lateralhastighet v_y och girhastighet (yaw rate) Ω_z uppdateras (d v s, \dot{v}_y och $\dot{\Omega}_z$ behöver beräknas). Ställ upp hur dessa fås fram givet aktuell girhastighet Ω_z , longitudinell hastighet v_x , samt de laterala däckskrafterna $F_{y,f}$ och $F_{y,r}$.
5. Skriv upp den linjära däckmodellen och *Magic Formula*. Hur förhåller sig C_α till parametrarna B, C och D? Vad är rimliga storleksordningar för de olika parametrarna (C_α , B, C, D)?
6. Skissa ett handling-diagram för ett fordon som innehar under-, neutral- och överstyrda egenskaper. Markera i diagrammet var övergångarna mellan dessa olika beteenden sker. Redogör även för hur man beräknar de storheter som visas på x- respektive y-axeln, utifrån de parametrar som ges av filerna `vehicleParameters.mat` och `ssMeasData.mat` (se Appendix A). Tips: Notera att bilen är i jämvikt (stationär kurvtagning).

Innan ni påbörjar laborationen, be en handledare kolla igenom förberedelseuppgifterna, för att undvika onödiga problem under laborationens gång.

1.5 Uppgifter

Börja med att ladda hem `Lab2_MatlabFiles.zip` från kurshemsidan, packa upp filerna i lämplig katalog och peka MATLAB till denna.

MATLAB

För laborationen finns redan färdiga m-filer som ska användas, där bland annat plot-skript redan är skrivna. Dock så ska vissa rader modifieras, vilka är markerade med # vid radens början (ta bort # efter ni editerat raden, annars går skripten ej att köra). Var dock inte rädda för att lägga till rader där ni anser det behövas.

.m-filerna är indelade i celler, med %% som avdelare emellan. När man står i en cell kan man med `ctrl+Enter` köra denna cell, vilket kan underlätta när man ska utföra delmoment i en .m-fil.

Mätdata

All mätdata är som ovan nämnt insamlad med testfordonet i Figur 1.1, där framförallt lateral och longitudinell hastighet, lateralacceleration, girhastighet och styrvinkel är

av intresse för denna laboration. Hastigheterna v_x och v_y mäts med den optiska slippvinkelsensorn monterad i fronten på fordonet, och translateras därefter med girhastigheten till fordonets tyngdpunkt. Lateralacceleration, a_y , och girhastighet, Ω_z , mäts med en IMU (Inertial Measurement Unit) monterad nära fordonets tyngdpunkt. Signalen för styrvinkeln mäts av fordonets interna sensorer på styrstängens, vilken sedan med utväxlingsförhållandet till hjul har omvandlats till att beskriva en lumpad styrvinkel för framhjulen, δ .

Magic Formula

Genom hela laborationen kommer en något förenklad variant av *Magic Formula* användas, enligt (1.1). Denna är ekvivalent med att i den mer utvidgade och etablerade versionen sätta parametern $E = 0$. Denna parameter (E) innehåller framför allt information om kraft–slipp-förhållandet efter kraft-peaken, vilket är ett område vi inte kommer befinna oss särskilt mycket i under denna laboration.

$$F_y = D \sin(C \arctan(B\alpha)) \quad (1.1)$$

Uppgift 1 – Identifiera däckparametrar

Som första uppgift ska däckparametrar för den linjära däckmodellen och Magic Formula bestämmas. Detta görs utifrån mätdata från ett flertal "Double lane change"-test, med olika ingångshastigheter (vilket medför olika lateralaccelerationer, slippvinklar, etc), för att kunna spänna upp så stort spektrum som möjligt i kraft-slipp-diagrammet. I laborationen ska ni bestämma däckparametrarna manuellt, för att få en bättre känsla för modellerna och hur parametrarna påverkar modellegenskaperna.

- Öppna upp `tireParaIdent.m` och fyll i ekvationer för slippvinklarna och lateral-krafterna (α_{yf} , α_{yr} , F_{yf} , F_{yr}) från förberedelseuppgifterna. Tänk på att vissa av variablerna är i form av vektorer, vilka bör hanteras med `*` och `./` när de multipliceras respektive divideras med varandra. Plotta sedan $F_y(\alpha)$ -diagrammen genom att köra nästkommande cell, och bedöm om resultaten ser rimliga ut?
- Uppskatta värdet på C_α ur plottarna. Kör sedan skriptet som ritar ut den linjära däckmodellen i $F_y(\alpha)$ -diagrammen, för att kontrollera att det stämmer överens med mätdata. Justera C_α tills ni är nöjda.

När ni uppskattar C_α , kom ihåg vilket område den linjära däckmodellen är giltig inom.

- Bestäm parametrarna B , C och D i Magic Formula, och kör plot-skriptet för att kontrollera hur det stämmer överens med mätdata.

Tips: Ni vet redan värdet på C_α , vilket ni kan använda för att slippa skatta värdet på alla tre parametrar.

- d) Hur påverkar däckparametrarna (C_{α} , B, C, D) egenskaperna hos däckmodellerna?
- e) När ni är nöjda med däckparametrarna, kör sista cellen som sparar parametrarna till `tireParameters.mat`.

Uppgift 2 – Stationärt uppförande

Ni ska nu studera hur single-track-modellen tillsammans med däckmodellerna ovan uppför sig under stationär kurvtagning och jämföra med mätdata. Mätdata till denna uppgift är insamlat från körningar i en rondell (d.v.s. konstant kurvradie), för olika hastigheter (därmed olika lateralaccelerationer).

- a) Öppna `steadyStateAnalysis.m` och skriv in ekvationer för däckskräfterna, $F_{y,f}$ och $F_{y,r}$, givet lateralaccelerationen, a_y .
- b) Lös ut slippvinklarna, α_f och α_r , för den linjära däckmodellen samt Magic Formula, givet däckskräfterna.
- c) Skriv in ekvationerna för hur styrvinkeln varierar för den linjära däckmodellen (`delta_stl`) och för Magic Formula (`delta_stmf`).
- d) Nu ska ni fylla i vilka variabler/ekvationer som ska plottas på x- respektive y-axeln i handling-diagrammet. I nedersta cellen finns halvfärdiga plot-skript för att plotta mätdata tillsammans med modellerna. Mätdata kommer ni åt via strukten `ss` (vill ni t.ex. komma åt lateralacceleration gör ni det genom `ss.ay`).
Glöm inte att fylla i `xlabel` och `ylabel`, för att förtydliga vad som visas på axlarna.
- e) Kör plot-skriptet och redogör för hur väl modellerna stämmer överens med mätdata, samt varför de eventuellt avviker när de gör. Vid alltför dålig passning mot mätdata, gå tillbaka till uppgift 1 och modifiera däckparametrarna.
- f) Om man kör detta fordon i en kurva med konstant radie och ökar hastigheten, vad måste man då göra med styrvinkeln? Blir svaret annorlunda för den linjära modellen och Magic Formula-modellen, gentemot det verkliga fordonet?

Uppgift 3 – Transient uppförande (Double lane change)

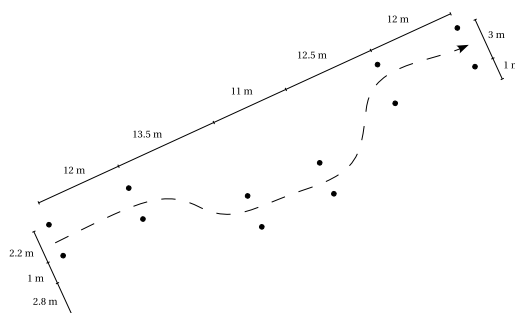
I denna uppgift ska modellernas transienta uppförande valideras. Detta görs mot en något modifierad variant av det standardiserade "Double lane change"-testet ISO 3888-2 (liknar älgtestet), vilket ofta används vid evaluering av antisladdsystem. Se utformning av banan i Figur 1.2.

Via länken nedan kan en videoinspelning av ett "Double lane change"-test ses, vilket är likvärdigt med det mest aggressiva av de här hanterade testen (dock är banuppställningen för videon spegelvänd mot den som använts för mätdata). Det kan till

viss del vara av intresse att studera bilens uppförande i filmklippet, för att få en slags koppling mellan de olika variablernas storlek och bilens faktiska uppträdande.

www.youtube.com/watch?v=o9hefU7IDL0

Simuleringsmodellerna (som ska kompletteras nedan) till denna, och även nästkommande, uppgift är MATLAB-funktioner som löses med en ODE-lösare. Inputvariabler till dessa modeller är styrvinkel och longitudinell hastighet.



Figur 1.2 Uppställningsbana för "Double lane change"-testet.

- Först ska simuleringsmodellerna `STL.m` (Single-Track med Linjär däckmodell) och `STMF.m` (Single-Track med Magic Formula) kompletteras med ekvationer som tagits fram i förberedelseuppgifterna.
- I `transientAnalysis.m` under "Choose test" (rad 21-23) finns tre olika test, där olika ingångshastigheter använts, vilket medför olika nivåer i "aggressivitet" för testen. Lite utvald data för de olika testen finns representerade i Tabell 1.1.
Avmarkera de olika raderna för att välja respektive test och kör hela `.m`-filen för att simulera och plotta resultatet.
- Hur långt är modellerna giltiga? Hur väl stämmer detta överens med vad som går att tyda ur handling-diagrammet i uppgift 2?

Tabell 1.1 Ingångshastighet och maxvärden för några utvalda variabler, för Test 1–3. Notera att δ_{sw} är styrvinkel på ratten.

Variabel	Test 1	Test 2	Test 3	Enhet
v_{init}	38.3	51.4	62.4	km/h
$\delta_{sw,max}$	154	147	157	deg
$\dot{\delta}_{sw,max}$	615	742	1013	deg/s
$\dot{\psi}_{max}$	0.535	0.586	0.710	rad/s
$a_{y,max}$	5.78	7.96	9.23	m/s ²
$\alpha_{f,max}$	0.062	0.097	0.124	rad
$\alpha_{r,max}$	0.034	0.060	0.102	rad
$\dot{\alpha}_{f,max}$	0.386	0.551	0.814	rad/s
$\dot{\alpha}_{r,max}$	0.239	0.400	0.690	rad/s

- d) Vad är det för något som gör att de tappar passning mot mätdata? Kan man lägga till något i modellerna för att fånga även detta beteende?

Uppgift 4 – Ramp steer

Som sista uppgift ska ett "ramp steer"-test undersökas. Testet går ut på att styrvinkeln långsamt ökas, vilket medför att fordonet uppträder på liknande sätt som vid stationär kurvtagning.

Mätdata till denna uppgift är hämtat från ett annat körtillfälle, då antalet personer i fordonet var annorlunda. Detta medför att framför allt två olika fordonsparametrar skulle kunna påverkas (d.v.s. av de som ligger sparade i `vehicleParameters.mat`).

- Vilka fordonsparametrar skulle kunna påverkas då antalet passagerare ändras?
- Öppna upp `rampSteer.m` och kör hela filen. Studera hur och vad som ser ut att ej stämma överens med mätdata.
- Gör en grov känslighetsanalys på parametrarna ni misstänker kan behöva justeras, t.ex. genom att ändra parametrarna $\pm 10\%$. Vad händer med egenskaperna hos fordonet/modellerna (om ni studerar plottarna)?
Vilken av storheterna verkar ha störst betydelse för fordonets uppträdande?
- Justera den/de parametrar som behövs. När ni fått en hyfsad passning mot mätdata, studera hur fordonets och modellernas uppträdande stämmer överens med handlingdiagrammet från uppgift 2.

Laboration 2 - Nomenklatur

I tabell A.1 ses en lista över de parametrar och variabler som används i de MATLAB-skript och .mat-filer avsedda att användas i laborationen. I tabell A.2 redovisas vilka av dessa storheter som används i de givna .mat-filerna.

Tabell A.1 Nomenklatur för MATLAB-skript.

Parameter	Beskrivning	Enhet
t	Tid	s
delta	Styrvinkel	rad
v	Hastighet	m/s
vy	Lateral hastighet	m/s
vx	Longitudinell hastighet	m/s
alphaf	Slippvinkel, fram	rad
alphar	Slippvinkel, bak	rad
Fyf	Lateral däckskraft, fram	N
Fyr	Lateral däckskraft, bak	N
ay	Lateralacceleration	m/s ²
Omegaz	Girhastighet (yaw rate)	rad/s
dOmegaz	Giracceleration	rad/s ²
Caf	Cornering stiffness, fram	N/rad
Car	Cornering stiffness, bak	N/rad
Bf, Cf, Df	Magic Formula-parametrar, fram	
Br, Cr, Dr	Magic Formula-parametrar, bak	
m	Totalmassa	kg
l1	Avstånd, framaxel till tyngdpunkt	m
l2	Avstånd, bakaxel till tyngdpunkt	m
Iz	Tröghetsmoment	kgm ²
g	Gravitation	m/s ²

Tabell A.2 Variabler och parametrar som ingår i de olika .mat-filerna.

vehicleParameters.mat	tireParaMeas.mat
l1	delta
l2	vx
m	vy
Iz	ay
g	Omegaz
	dOmegaz

ssMeasData.mat	dlcMeasData.mat
	rsMeasData.mat
delta	t
v	delta
ay	vx
Omegaz	vy
	ay
	Omegaz
	alphaf
	alphar