

# Precisionskörning i gaffelriktning

Erik Örjehag

14 augusti 2017

## Sammanfattning

För att plocka upp och lämna av pallar behövs en väldigt precis reglering av trucken. Med den gamla regleringen behövde trucken många försök innan den lyckades plocka upp en pall, målet med den nya regleringen är att alltid lyckas på första försöket. Tester tyder på att den nya regleringen borde vara tillräckligt precis. När regleringen är integrerad med den nya palltrackingen kan vi verifiera om målet är uppfyllt.

## 1 Problembeskrivning

När trucken får ett uppdrag tar den sig först framför stället snabbt men med ganska låg precision. Väl framme skannar den av området framför trucken med kameran och letar efter pallen som ska plockas upp. När pallen hittats ska trucken köra i gaffelriktning och med väldigt hög precision stanna med gafflarna precis framför pallgångarna för att sedan "reacha" ut och plocka upp pallen.

För att trackingen av pallen ska fungera under inkörningen så ställs i huvudsak två krav på regleringen. Dels måste rotationshastigheten vara låg så att bilden från kameran inte blir suddig. Och dels får inte vinkeln mot pallen bli för stor så att pallen försvinner ut ur kamerans synfält. Att reglera trucken i gaffelriktning är svårare än i normal kör-riktning eftersom trucken gärna vill vika av från sin bana och hamna i fel vinkeln istället för att rätta upp sig själv vilket är fallet i normal kör-riktning.

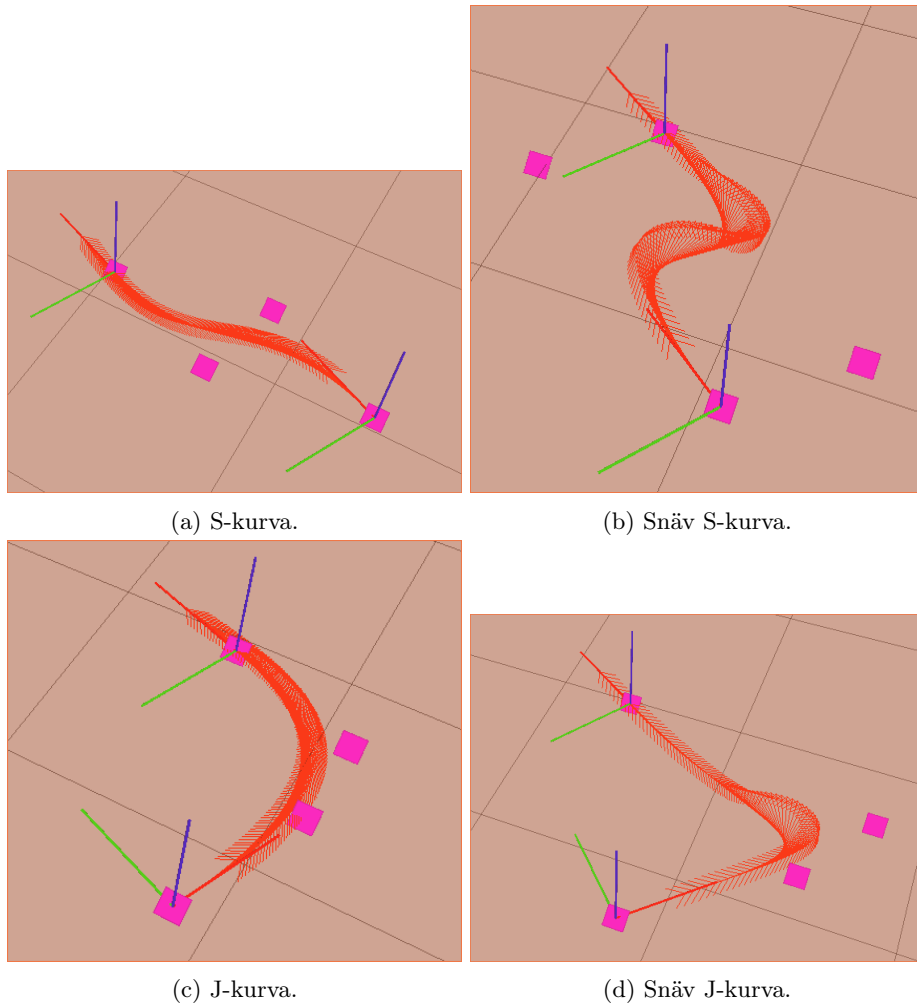
## 2 Existerande lösning

Den nuvarande regleringen utvecklades i simulatorn och fungerar hyfsat bra där. Men på fysiska trucken är den instabil och behöver många försök innan den i princip av slumpen lyckas hamna rätt. Den ger heller inga garantier på vilken bana den kommer ta mot målet eller hur snabbt eller mycket trucken kommer att rotera.

## 3 Implementation

### 3.1 Generera körplan

För att kunna sätta krav på hur mycket trucken får vrida på sig för att inte tappa pallen ur kamerabilden genereras först en bana som trucken ska följa. Banans form utgår från en kubisk beizer-kurva som går att justera med ett par parametrar så att den blir mjuk eller snäv. Eftersom trackingen av pallen får högre precision desto närmare trucken kommer så finns funktionalitet för att kontinuerligt uppdatera slutmålet och justera körplanen.



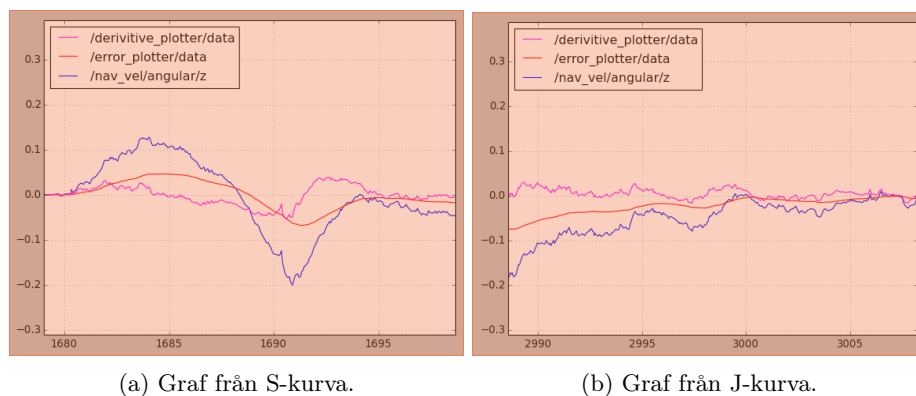
Figur 1: Exempel på olika kubiska beizer-kurvor visualiserade i RViz

## 3.2 Reglering

Efter att körbanan genererats ska trucken regleras längst med den, detta är största utmaningen. Regleringen följer i stora drag dessa steg:

1. Hitta närmaste punkten till roboten på linjen
2. Hitta riktningen i punkten m.h.a derivatan av beizer-kurvan
3. Räkna ut önskad vinkel mot kurvan för att minimera linjära felet mellan trucken och punkten. Detta görs något godtyckligt med en arctan-funktion som resulterar i ett flödesfält som pekar längst med kurvan vid korta avstånd och brant in mot kurvan vid längre avstånd.
4. Ta fram felet mellan önskad och faktiskt vinkel av trucken och filtrera med ett lowpass filter.
5. Räkna ut styrsignaler med en PD-regulator som ska minimera vinkelfelet.
6. Skicka vidare styrsignalerna.

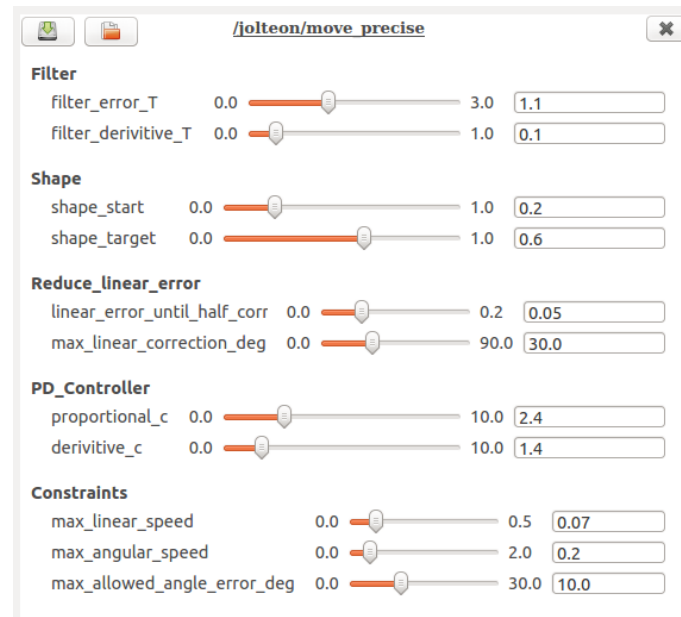
Det finns även logik för att begränsa max tillåtet vinkelfel och maximal rotationshastighet. Figur 2 är plottar från rqt\_graph som visar vinkelfelet som ska minimeras, derivatan av vinkelfelet och styrsignalen för rotation. Dessa grafer användes för att justera värdena för PD-regulatorn i rqt\_dynamic\_reconfigure.



Figur 2: Skärmdumpar från rqt\_graph-verktyget

### 3.3 Konfiguration

Regleringen går att konfigurera med ett par olika parametrar.



Figur 3: Skärmdump från rqt\_dynamic\_reconfigure.

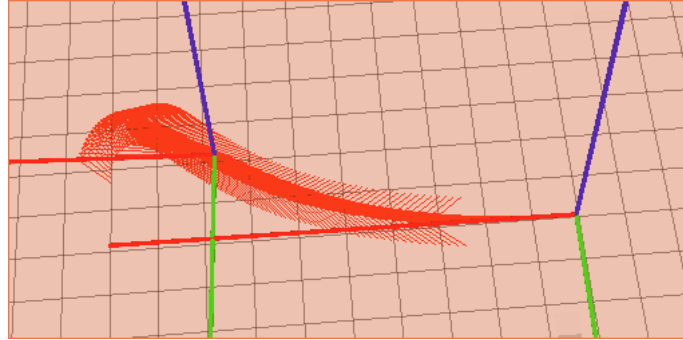
Parameter	Beskrivning
<code>filter_error_T</code>	Konstant för lågpasfiltrering av vinkelfelet
<code>filter_derivative_T</code>	Konstant för lågpasfiltrering av derivatan av vinkelfelet
<code>shape_start</code>	Justera formen på kurvan i början av körbanan
<code>shape_target</code>	Justera formen på kurvan i slutet av körbanan
<code>linear_error_until_half_corr</code>	Hur stort linjära felet ska vara innan halvt korrigeringsutslag
<code>max_linear_correction_deg</code>	Maximalt korrigeringsutslag för att minska linjära fel
<code>proportional_c</code>	Konstant för proportionella delen i PD-regulatorn
<code>derivative_c</code>	Konstant för derivatan i PD-regulatorn
<code>max_linear_speed</code>	Maximala linjära hastigheten på trucken
<code>max_angular_speed</code>	Maximala rotationshastigheten på trucken
<code>max_allowed_angle_error_deg</code>	Största tillåtna vinkelfelet

Tabell 1: Beskrivning av konfiguration.

Använd RViz för att se förändringar i kurvan om du korrigerar `shape_start` och `shape_target`. Använd rqt\_graph när du justerar konstanterna för PD-regulatorn eller filterkonstanterna. Om regleringen är för extrem för att palltrackingen ska fungera kan man justera värdena under rubriken "Constraints" eller kurvans "Shape".

## 4 Resultat

För att utvärdera regleringens precision gjorde jag en testuppställning som liknar en normal inkörning för upplockning av pall, se Figur 4. Trucken ska förflytta sig 8 decimeter framåt och 2 decimeter åt höger och stanna i samma riktning som vid start. De krav som är satta i systemet idag är att trucken måste stanna framför pallen med en precision på 1.7 grader och 12 mm för att den inte ska avbryta, backa upp och försöka igen.



Figur 4: Testuppställning.

Vinkel [grader]	Förskjutning [mm]
0.90	3.4
0.05	2.5
0.42	2.7
0.17	0.0
1.38	3.9
0.12	3.4
0.97	1.9
0.05	0.8
0.55	2.4
0.44	2.0

Tabell 2: Tabel över fel vid 10 testkörningar.

Medelvärdet för vinkelfelet är 0.51 grader, och 2.3 mm för förskjutningsfelet. Alla 10 tester faller inom ramarna för tillåten precision. Man kan dock inte säga med säkerhet att det är tillräckligt bra för att plocka pall eftersom testet är såpass avgränsat från störningar och samspel med andra delar av systemet, exempelvis palltrackingen.

## 5 Diskussion

I resultatdelen gjordes ett slags "unit test" som tyder på att regleringen har en tillräckligt hög precision. När den ska samspela med palltrackingen ställs dock många fler krav än vad som gjordes i detta test. Inkörningen måste till exempel vara väldigt mjuk för att trackingen av pallen inte ska tappas. Slutmålet kan också justeras över tid under inkörningen med feedback från trackingen som kan påverka hur bra regleringen fungerar. Innan vi kan få ett definitivt svar på om regleringen är bra nog måste båda systemen integreras och användas tillsammans för att plocka pall.

Den stora begränsningen med denna reglering är att den inte tar hänsyn till framtiden då den försöker följa den beräknade planen. Skulle det till exempel komma en skarp högerkurva några centimeter längre fram i planen så är det inget som regleringen kommer ta hänsyn till då den beräknar styrsignalen. Det skulle kunna vara ett bra projekt för CDIO att göra en mer robust linjeföljare som predikterar framåt och klarar en stor variation av olika ruttor med skarpa kurvor i högre hastigheter. Den reglering som beskrivits i detta dokument är specialdesignad för just slutinkörningen och klarar bara mjuka kurvor i låga hastigheter.