

Förstudie inom reglering

Gunnar Arctaedius & Lovisa Byman

13 september 2022

Version 1.1



Status

Granskad	Gunnar Arctaedius, Lovisa Byman	2021-02-25
Godkänd	Gunnar Arctaedius, Lovisa Byman	2021-02-25

Projektidentitet

Grupp E-post: TSEA56_2021VT_O2_G1@groups.liu.se

Beställare: Kent Palmkvist, Linköpings universitet
Tfn: +46 13 28 1347
E-post: kent.palmkvist@liu.se

Kund: Kent Palmkvist, Linköpings universitet
Tfn: +46 13 28 1347
E-post: kent.palmkvist@liu.se

Handledare: Peter Johansson
Tfn: +46 13 28 1345
E-post: peter.a.johansson@liu.se

Kursansvarig: Mattias Krysender
Tfn: +46 13 28 2198
E-post: mattias.krysender@liu.se

Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Alice Nicklasson Cedbro	Projektleddare	alice327@student.liu.se
Maja Boström		majbo451@student.liu.se
Johanna Carlson		johca194@student.liu.se
Lovisa Byman		lovby920@student.liu.se
Filip Johansson	Dokumentansvarig	filjo844@student.liu.se
Edvin Leuchovius		edvle009@student.liu.se
Gunnar Arctaedius		gunar889@student.liu.se

DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda förändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2021-02-25	Första utkast	GA, LB	GA, LB
1.0	2021-04-01	Första version	GA, LB	GA, LB
1.1	2021-04-16	Språklig rättning och mindre tekniska förtydliganden	GA, LB	GA, LB

INNEHÅLL

Figurer	V
1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod och disposition	1
2 Problemformulering	2
3 Litteraturstudie av reglering	2
3.1 Metoder för generering av referenssignal	2
3.2 Reglering	4
3.3 Följning av genererad referenssignal	5
4 Reglering av robot	6
4.1 Val av metod för generering av referenssignal	6
4.2 Val av reglermetod	6
4.3 Realisering av PD-regulator	7
4.4 Val av reglerparametrar	10
5 Slutsats och diskussion	10
Referenser	12

FIGURER

Figur 1	Bana genererad av pure pursuit.	3
Figur 2	Två steg av point follow control-metoden.	4
Figur 3	Skiss över roboten vid rotation.	8
Figur 4	JSP-diagram över koden som styr roboten.	9
Figur 5	Användning av hastigheten och vinkeln som derivata vid körning i korridor.	11

1 INLEDNING

Denna förstudie är en del av kursen TSEA56 - Kandidatprojekt i Elektronik. I kursen ska en autonom robot utvecklas som ska kunna kartlägga en labyrint, hitta en nödställd i labyrinten, hämta en förnödenhet utanför labyrinten och därefter åka kortaste vägen till den nödställda, lämna förnödenheten och återvända ut ur labyrinten. Roboten kommer att bestå av tre moduler: en sensormodul, en kommunikationmodul och en styrmodul.

Styrmodulen kommer bland annat att styra roboten autonomt i ett antal olika styrmoder som behövs för att slutföra det givna uppdraget. Dessa styrmoder är följande:

- Köra längs mitten av en korridor utan att avvika åt sidorna.
- Roter 90 grader runt mittaxeln.
- Följa en tejprensa.
- Greppa ett föremål med en gripklo.

Med dessa styrmoder kommer roboten kunna köra genom labyrinten på ett önskvärt sätt och utföra alla de givna uppgifterna. Roboten är begränsad till att röra sig inom en labyrint uppbyggd av korridorer eller längs med en tejprensa, och studien avgränsas därför till att endast styra roboten i en sådan miljö. Roboten har fyra hjul som inte går att rotera, och styrsignalerna till roboten är två pulsbreddsmodulerade signaler, en som styr robotens vänstra hjulpar och en som styr robotens högra hjulpar. På roboten kommer det att finnas ett antal sensorer, nämligen ett gyro, fem avståndsmätare och en reflexsensormodul. Avståndsmätarna kommer att vara placerade så att en är riktad framåt, två åt höger och två åt vänster. Reflexsensormodulen kommer att vara placerad längst fram på roboten och riktad nedåt för att kunna registrera tejpmarkeringar på marken. Gyrot kommer att mäta robotens vinkelhastighet.

Sensorerna som används och deras placering utgör ytterligare en begränsning; roboten vet inte var den ska svänga innan den är framme vid korsningen den ska svänga i. Detta innebär att roboten inte kommer att åka framåt samtidigt som den ska rotera i en korsning.

1.1 Syfte

Studien ska i huvudsak ge en kunskapsbas till regleringen i styrmodulen, som kommer att krävas för att få roboten att bete sig på önskvärt sätt. Syftet med förstudien är således att ta fram och diskutera olika metoder för att generera en referenssignal och för att följa den genererade referenssignalen, samt att ta beslut gällande vilka metoder för reglering som kommer att implementeras i styrmodulen.

1.2 Metod och disposition

För att uppnå målet med studien ställs frågeställningarna i avsnitt 2. För att besvara dessa frågor görs först en litteraturstudie där flera artiklar och arbeten inom relevanta områden sammanfattas och presenteras i avsnitt 3. Därefter betraktas studiens frågeställningar och med hjälp av informationen från källorna undersöks lösningar till dessa vilka presenteras i avsnitt 4. Dessa resultat sammanfattas i avsnitt 5 och slutsatser dras kring vilken lösning som kommer

väljas för kandidatprojektet. En diskussion om potentiella förbättringar av den valda reglermetoden kommer även att tas upp.

2 PROBLEMFORMULERING

För att roboten ska kunna köra enligt de styrmoder som är definierade i avsnitt 1 kommer följande frågeställningar att behandlas i rapporten:

- Vilken information och mätdata behövs för att kunna utföra styrningen i de olika styrmoderna?
- Hur kan en referenssignal genereras i de olika styrmoderna?
- Hur ska roboten regleras för att kunna följa de genererade referenssignalerna?
- Hur ska reglerparametrar väljas?

3 LITTERATURSTUDIE AV REGLERING

I detta kapitel undersöks flera olika källor om generering av en referenssignal och om reglering. Dessa publikationer kommer att sammanfattas och presenteras för att skapa en kunskapsbas som används senare i projektet för att besvara studiens frågeställningar.

3.1 Metoder för generering av referenssignal

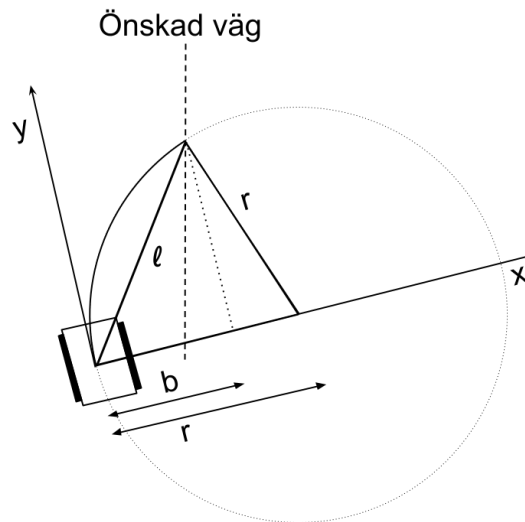
För att få ett fordon att följa en linje krävs en plan för hur den ska ta sig till linjen och därefter följa den på bästa sätt. Det kan göras genom att skapa en referenslinje att följa som utgår från fordonets position. För att generera sådana referenslinjer finns ett antal olika metoder, där nedanstående avsnitt behandlar två av dem.

3.1.1 *Pure pursuit*

Ett sätt att ta fram en referenslinje är att försöka efterlikna metoderna människor använder när de kör bil. Då hamnar bilen ofta en bit ifrån mitten av vägen, och föraren tar sig tillbaks till mitten genom att sikta in sig på en punkt längre fram. En metod som försöker härma detta beteende kallas pure pursuit [1]. Metoden går ut på att fordonet försöker ta sig till en punkt en sträcka l fram på vägen, där l är en reglerparameter som kan ändras för att ändra hur fordonet uppför sig. En svängvinkel kan sedan beräknas för att få fordonet att följa en optimal cirkelbåge vilken används som referenslinje. Figur 1 visar cirkelbågen som skapas av metoden.

Cirkelbågens radie r kan beräknas genom ekvationen

$$r = \frac{l^2}{2b},$$



Figur 1: Banan genererad av pure pursuit. Cirkelbågen visar den planerade banan från robotens nuvarande position till den önskade positionen som är på den önskade vägen och på avståndet l från roboten. r visar radien på cirkelbågen, och b är avståndet till den önskade punkten i x -led i bilens koordinatsystem. Cirkeln som definierar cirkelbågen bestäms av att cirkelns mittpunkt är längs x -axeln i bilens koordinatsystem, samt att cirkeln går igenom både bilens mittpunkt och den önskade punkten.

där b är avståndet till den önskade punkten i robotens x -led. Upprepas den här processen flera gånger under körning så kommer fordonet ta sig till den önskade vägen på ett snabbt och mjukt sätt, under förutsättningen att fordonet lyckas följa referenslinjen.

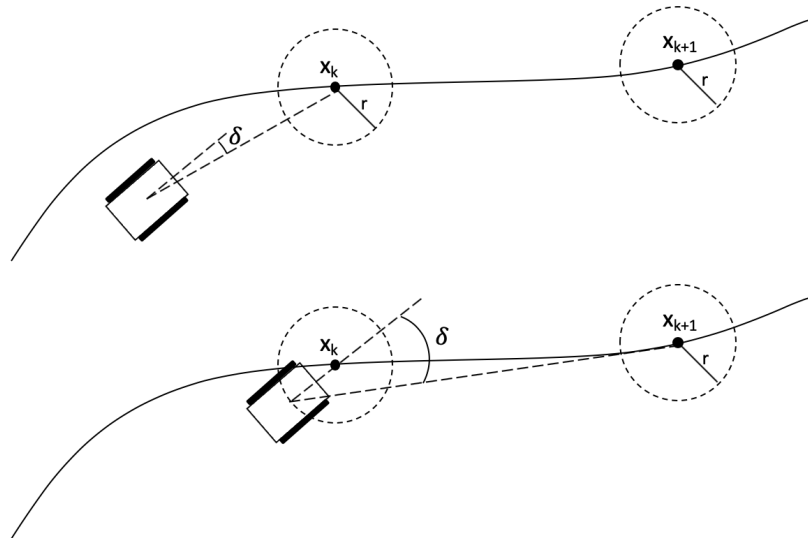
3.1.2 Point follow control

En annan metod för att generera en referenslinje baserat på en punkt en bit fram på linjen som ska följas är point follow control, vilken beskrivs i [2].

Point follow control-metodens första steg är att diskretisera linjen som ska följas till ett antal punkter. Styrningen går sedan ut på att beräkna vinkeln som fordonet ska köra för att komma tillräckligt nära nästa diskreta punkt, där tillräckligt nära definieras som en cirkel kring punkten med en fix radie, r , där r är en reglerparameter. När det kravet är uppfyllt och fordonet är tillräckligt nära punkten regleras fordonet istället mot nästa punkt på linjen för att komma tillräckligt nära den. I figur 2 visas två steg av metoden.

Ett problem med metoden är att styrvinkeln som beräknas ändras diskontinuerligt vid varje ny beräkning. Om fordonet rör sig framåt kan inte styrvinkeln ändras diskontinuerligt, så den framtagna referenslinjen kan inte följas exakt.

Det finns ett antal sätt att möjligtvis förbättra metoden och få en bättre följdning. Ett sätt är att ta flera på varandra följande punkter i åtanke vid beräkandet av styrvinkeln, vilket kan ge en mer följsam reglering. Det är även möjligt



Figur 2: I figuren visas två steg av point follow control. x_k och x_{k+1} är två av de diskreta punkterna som den önskade linjen har delats upp i. I första steget är målet att ta sig till punkt x_k , vilket görs med styrvinkel δ . När bilen är på avståndet r från x_k beräknas en ny styrvinkel δ med målet att ta sig till punkt x_{k+1} .

att utföra en tätare diskretisering av referenslinjen, samt att ändra storleken på r för att skapa ännu mjukare styrning som fortfarande följer linjen tillräckligt noga.

3.2 Reglering

Då en referenssignal har genererats måste den också kunna följas för att vara till användning. För att lyckas med det används reglermetoder, där en sådan är PID. Denna metod tas upp i detalj i följande avsnitt.

3.2.1 PID-reglering

En PID-regulator består av tre olika delar, en proportionell del (P), en integrerande del (I) och en deriverande del (D), vilket beskrivs i [3]. I alla tre delarna används skillnaden mellan utsignalen och referenssignalen, vanligen kallat felet, för att justera styrsignalen för systemet. P-delen av regulatorn resulterar i att styrsignalen ändras proportionellt mot felet. Problemet med att enbart använda P-delen av regulatorn är att det kommer att leda till ett statiskt fel på utsignalen om det finns konstanta störningar i systemet. För att motverka det kan den integrerande delen användas, då I-delen eliminerar statiska fel. Den deriverande delen av regulatorn tar hänsyn till derivatan av felet för att justera styrsignalen. Det leder till en snabbare och bättre följning av referenssignalen. Vid brusiga mätsignaler kan dock derivatan påverkas mycket av bruset, vilket kan ge felaktig reglering av systemet.

En utökad PID-regulator används i [2] för att reglera ett fordon till att följa en referenslinje. Med en utökad PID-regulator kan en styrvinkel beräknas utifrån det vinkelräta avståndet mellan mitten av ett fordon's styraxel och refe-

renslinjen. Utökningen av PID-regulatorn består av ett filter för insignalen till D-delen och ett system som motverkar integratoruppvridning för I-delen.

I en annan publikation, [4], används P-reglering för att styra ett autonomt fordon med differentiell styrning. Även här tas PID-reglering upp som ett alternativ för att reglera styrningen med större noggrannhet. I båda dessa fall antas att avvikelsen från en referenssignal kan mätas, då den används vid regleringen.

3.2.2 Val av reglerparametrar

En metod för att välja reglerparametrar till en PID-regulator som inte kräver avancerade beräkningar eller modeller är Ziegler-Nichols metod, vilken tas upp i [5]. För att beskriva PID-regulatorn används följande form,

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right),$$

där $u(t)$ anger styrsignalen till systemet och $e(t)$ är det aktuella felet. Parametrarna är K , T_I och T_D som finns i ekvationen, där K är förstärkningen.

Metoden går ut på att först nollställa $\frac{1}{T_I}$ respektive T_D , för att sedan öka förstärkningen K tills dess att systemet hamnar i ett stabilt oscillerande läge. Ett för lågt värde på K leder till att oscillationerna dör ut, och ett för högt värde gör att oscillationerna istället växer mot oändligheten. Det värde på K som ger ett stabilt oscillerande läge benämns K_u . Periodtiden mäts och benämns T_u . Utifrån dessa två uppmätta värden kan reglerparametrarna sättas enligt följande beräkningar:

$$\begin{aligned} K &= 0.6 \cdot K_u, \\ \frac{1}{T_I} &= \frac{2}{T_u} \text{ och} \\ T_D &= \frac{T_u}{8}. \end{aligned}$$

Författarna hävdar att dessa inställningar ger en bra reglering av de flesta system samtidigt som det håller systemet stabilt. De fortsätter med att ge förslag på finjusteringar för parametrarna utifrån experiment på det undersökta systemet. Om systemet beter sig stabilt kan förstärkningen K höjas tills systemet får önskad snabbhet utan att bete sig instabilt, och författarna menar att denna parameter kan höjas ända till K_u i vissa system. Om systemet däremot beter sig instabilt och oscillerar mer än önskvärt kan K eller T_D långsamt sänkas eller T_I ökas tills systemet når en stabil nivå.

3.3 Följning av genererad referenssignal

För att optimalt kunna styra ett system krävs som tidigare nämnts både någon form av referenssignalsgenerering, och en reglermetod för att följa referenssignalen. I detta avsnitt undersöks de två tidigare nämnda referenssignalsgenereringsmetoderna i samband med PID-reglering.

3.3.1 Pure pursuit och PID

En obemannad golfbil utrustades i [6] för att kunna följa en önskad bana autonomt. Pure pursuit användes för att bestämma en referenslinje. I ett försök användes endast den genererade referenslinjen för att bestämma rattvinkeln,

och i ett annat försök användes PID-reglering för att följa den genererade referensvinkeln. Resultatet visade att bilen lyckades följa banan bra med enbart pure pursuit, men att felet minskade när även PID-reglering användes.

3.3.2 Point follow control och PID

I [2] har point follow control och utökad PID-reglering kombinerats och testats dels var för sig, och dels tillsammans. Då metoderna användes var för sig visade resultatet att fordonet väl följer en önskad linje då denna linje är rak. Om linjen som ska följas istället svänger och enbart point follow control används befann sig fordonet strax innanför kurvan. Samma test men med enbart den utökade PID-regulatorn visade att fordonets position var strax utanför kurvan. Genom att kombinera de båda metoderna uppnåddes en mycket bra följsamhet även då linjen som skulle följas svängde.

4 REGLERING AV ROBOT

Följande kapitel kommer att behandla genereringen av en referenssignal och regleringen av roboten i de olika styrmoderna utifrån informationen i avsnitt 3.

4.1 Val av metod för generering av referenssignal

I avsnitt 3.1 förklarades metoderna point follow control och pure pursuit som används för att generera en referenssignal. Ett problem med båda metoderna är att styrvinkeln ändras diskontinuerligt, vilket inte är möjligt med roboten som används i projektet om den samtidigt rör sig framåt. Det leder till att den genererade referenssignalen inte kommer kunna följas exakt. För pure pursuit kan diskontinuiteten minskas genom att generera en ny referenssignal ofta, för att på så sätt få väldigt små ändringar för styrvinkeln. Även för point follow control kan diskontinuiteten minskas men då genom att diskretisera linjen som ska följas med tätare intervall. Ett problem som dock kan uppstå om punkterna ligger allt för tätt är att för lite hänsyn tas till linjens framtida bana, och planeringen sker till en punkt alltför nära roboten.

En liknande avvägning finns med pure pursuit, där en avvägning måste göras för att välja ett bra avstånd l till nästa önskade punkt. Väljs avståndet för stort kan det leda till dålig följning av den önskade vägen, men väljs avståndet för kort kan robotens rörelse bli oscillativ. Men med ett bra värde på l kan pure pursuit ge väldigt jämn följning av den önskade vägen, som på ett snabbt och smidigt sätt tar roboten dit den ska.

Ytterligare ett problem som kan uppstå med point follow control är att kravet på att robotens avstånd från punkten x_k ska vara mindre än r aldrig uppfylls. Det leder till att systemet blir instabilt och inte fungerar. Problemet kan lösas genom att öka radien r , men det leder också till att större differenser från linjen som ska följas tolereras.

4.2 Val av reglermetod

Målet med regleringen är att klara av att styra roboten i de olika styrmoderna listade i avsnitt 1. För att göra det behöver gripklon, robotens hastighet och robotens position regleras.

4.2.1 Reglering av gripklon

Med hänsyn till projektets omfattning kommer gripklon att regleras med öppen styrning, och ingen återkoppling kommer att användas. Istället kommer gripklon att slutas med en spänning som alltid är lika stor, och som anpassats

för att få önskad storlek på öppningen. Vad denna spänning ska vara kommer att mätas upp i förväg och vara baserat på storleken på föremålet som ska plockas upp.

4.2.2 Hastighetsreglering

Målet för roboten är att ta sig igenom labyrinten så snabbt som möjligt. Roboten antas ha så bra friktion mot underlaget att den inte slirar och att den stannar väldigt snabbt då styrsignalerna sätts till noll. På grund av det kommer hastigheten att regleras med hjälp av öppen styrning, med maximal motorspänning då roboten ska köra rakt. Då roboten ska rotera runt sin egen mittaxel kommer hastigheten att bestämmas av PD-reglering, som tar fram en styrsignal som bestämmer rotationshastigheten beroende på hur mycket mer roboten behöver rotera för att nå sitt mål. Se avsnitt 4.3 för detaljer kring PD-regleringen.

4.2.3 Positionsreglering

Som återgivet i avsnitt 3.2 är PID-reglering en metod som kan användas för att reglera roboten då felet relativt en referenssignal går att mäta. Oberoende av vilken av de två metoderna för generering av referenssignal vid rak körning i korridor som diskuterades i avsnitt 4.1 så kan felet från referenssignalen beräknas om avståndet från roboten till korridorens väggar samt robotens vinkel i förhållande till väggarna mäts.

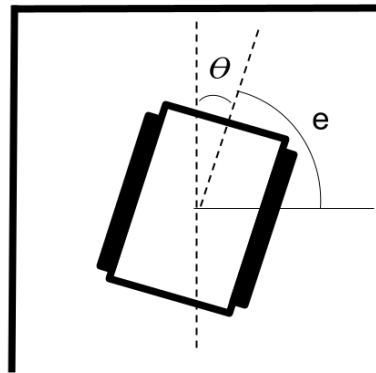
I avsnitt 1 beskrivs de sensorer som roboten är utrustad med. Både avståndet till väggarna och robotens vinkel i korridoren går att mäta med hjälp av de fyra avståndssensorerna på sidan av bilen. Avvikelsen från mitten av en tejprensa kan mätas med hjälp av reflexsensorn. När roboten roterar mäts vinkelhastigheten med hjälp av gyrot och utifrån vinkelhastigheten kan vinkeln beräknas. Vinkeln kan sedan användas för att beräkna felet från den önskade vinkeln på 90 grader (se figur 3).

I de tre styrmoderna som är kopplade till körningen, alltså köra längs mitten av en korridor, följa en tejprensa och rotera 90 grader runt mittaxeln finns möjligheten att mäta ett fel relativt en referenssignal, vilket gör det möjligt att utföra regleringen med hjälp av PID-reglering. Eftersom PID-reglering ger bra följdning vid rätt val av reglerparametrar samtidigt som metoden är relativt enkel är metoden ett bra alternativ för projektet.

Som förklarat i avsnitt 3.2.1 är syftet med den integrerande delen av PID-regleringen att eliminera statiska fel vid störningar på systemet. Eftersom roboten rör sig i en begränsad miljö, där till exempel golvet inte lutar och roboten inte påverkas av vind eller andra yttre faktorer, så antas det statiska felet för styrmoderna listade i avsnitt 1 vara nära noll. Det innebär att den integrerande delen av regulatorn kan prioriteras bort. Däremot anses både P-delen och D-delen vara nödvändiga för tillräckligt snabb och följsam reglering och därför kommer PD-reglering att användas.

4.3 Realisering av PD-regulator

För att skapa en PD-regulator som kan styra roboten skrivs ett program i C som tar emot mätvärden från sensorer som kan mäta avstånd till väggarna på sidorna och framåt, samt hastighet framåt och vinkelhastigheten på roboten. I fallet då roboten följer en tejprensa finns även möjlighet för att mäta avståndet till mitten av tejprensans. Från dessa beräknas ett fel samt derivatan av felet vilka används för att ta fram en styrsignal till motorerna. Som nämnts i avsnitt 1 består roboten av fyra hjul, där det går att styra motorspänningen på varje sidas hjulpar. Styrsignalen används alltså för att sätta motorspänningen på båda hjulparen, så att roboten svänger in sig efter referenssignalen. JSP-diagramet i figur 4 ger en skiss på hur ett sådant program skulle kunna se ut. Nedan visas en algoritm som använder PD-reglering



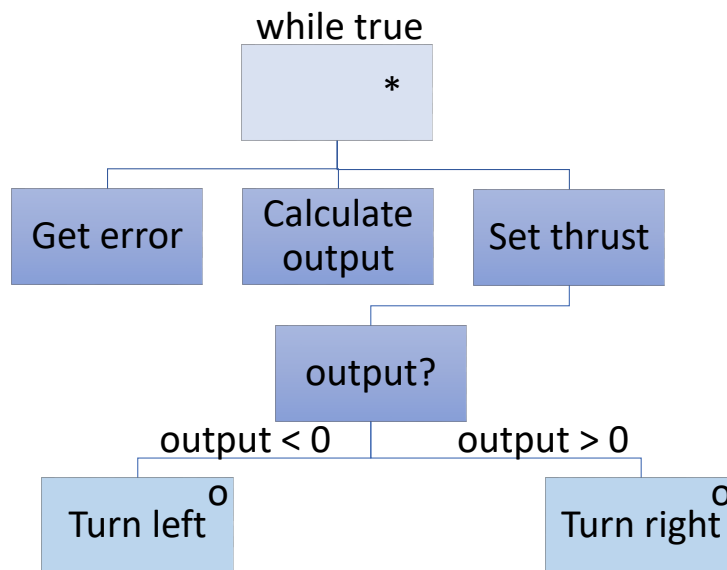
Figur 3: Skiss över roboten vid rotation. Vinkeln från referenslinjen, felet, betecknas e , och vinkeln som roboten har roterat betecknas θ .

med parametrarna K_p och K_d för att beräkna en styrsignal u utifrån referenssignalen r och mätvärdet y . De första två raderna beräknar felet x och derivatan av felet \dot{x} med hjälp utav det tidigare beräknade felet x_{n-1} samt samplingstiden T_s .

Algorithm 1: Beräkna styrsignal

$$\begin{aligned}x &= r - y; \\ \dot{x} &= \frac{x - x_{-1}}{T_s}; \\ u &= K_p * x + K_d * \dot{x};\end{aligned}$$

Styrsignalen u används sedan i nedanstående algoritm för att bestämma motorspänningen på de två sidorna på roboten. Olika algoritmer körs beroende på vilken styrmod systemet befinner sig i, och algoritmen nedan används vid rak körning i korridor. I denna styrmod roterar båda hjulparen framåt, vilket anges genom att ändra värdet på rotationsvariablerna d_l och d_r . Om d_l sätts till 1 kommer det vänstra hjulparet att rotera framåt, och om variabeln sätts till 0 kommer det att rotera bakåt. d_r fungerar på motsvarande vis men för höger hjulpar. Som nämnts i avsnitt 4.2.2 så hålls hjulparen vid så hög spänning som möjligt, där motorernas maximala spänning benämns x_{\max} . I algoritmen sätts



Figur 4: JSP-diagram över koden som styr roboten. Rutorna representerar funktionsanrop, while-loopar, och if-satser. Vid if-satsen som jämför output syns längs axlarna vilket värde på output som leder till vilket funktionsanrop.

därför motorspänningen till max på ena hjulparet, och sänks från max i förhållande till storleken på styrsignalen på andra hjulparet. x_l och x_r representerar motorspänningen för vänster respektive höger hjulpar.

Algorithm 2: Rak körning i korridor

```

/* Sätt båda hjulparen till att rotera framåt                                     */
dl = 1;
dr = 1;
if u > 0 then //sväng höger
    xl = xmax - u;
    xr = xmax;
else //sväng vänster
    xr = xmax - u;
    xl = xmax;
  
```

Något som inte visas i algoritmen är fallet då styrsignalen har större belopp än den maximala spänningen x_{\max} , men i detta fall kan det ena hjulparet helt enkelt stängas av. Snabbare svängar än så förväntas aldrig behöva utföras när roboten kör rakt i en korridor. I fallet då roboten ska svänga används följande algoritm, där motorerna sätts till att åka åt olika håll beroende på vilket håll roboten ska svänga åt genom att ändra värdet på rotationsparametrarna. Båda hjulparen hålls vid samma spänning för att undvika att roboten flyttar åt något håll. Styrsignalen kan då användas för

att bestämma hastigheten på båda hjulparen, så att roboten roterar snabbt när den har långt kvar, och saktar in när den närmar sig den önskade vinkeln.

Algorithm 3: Rotation

```

 $x_l = \text{abs}(u);$ 
 $x_r = \text{abs}(u);$ 
if  $u > 0$  then //sväng höger
     $d_l = 1;$ 
     $d_r = 0;$ 
else //sväng vänster
     $d_l = 0;$ 
     $d_r = 1;$ 

```

4.4 Val av reglerparametrar

I avsnitt 3.2.2 diskuterades Ziegler–Nichols metod för att finna lämpliga reglerparametrar till en PID-regulator. Men som diskuterades i avsnitt 4.2 kommer roboten som ska regleras i detta fall att endast använda en PD-regulator, vilket gör den tidigare betraktade metoden olämplig. Den kan dock fortfarande användas men med parametern $\frac{1}{T_I}$ satt till 0 då integrerande del saknas. Eftersom detta inte är användningsområdet för Ziegler–Nicholsmetoden lär justeringar behöva göras. Dessa kan göras för hand, vilket är möjligt eftersom reglerparametrarna för roboten kommer kunna ändras av användaren. Parametrarna får således justeras tills de bedöms reglera roboten så pass bra att den uppfyller de ställda kraven utan att bete sig instabilt.

5 SLUTSATS OCH DISKUSSION

För att få roboten att köra som önskat i de olika styrmoderna kommer roboten att regleras olika beroende på styrmod. När roboten kör rakt i en korridor kan pure pursuit eller point follow control användas för att skapa en referenssignal och PD-reglering användas för att följa den framtagna referenssignalen. Alternativt kan PD-reglering användas med mittlinjen av korridoren som referenssignal, utan att först generera någon referenssignal. Gripkon kommer att regleras med öppen styrning. Vid rotation kommer båda hjulparen ha samma motorspänning, men riktningen kommer att vara motsatt. Storleken på motorspänningen styrs med hjälp av PD-reglering. Vid tejpföljning kommer differensen mellan spänningarna på hjulparen att bestämmas med hjälp av PD-reglering, men spänningen detta utgår ifrån kommer att vara konstant.

Då PD-reglering används behöver felet från referenssignalen mätas, vilket innebär att avvikelse från mitten av en tejprensa behöver mätas för att kunna följa tejp, vinkeln behöver mätas för att kunna rotera 90 grader och avståndet till väggarna i korridorerna måste mätas för att kunna köra rakt. Valet av reglerparametrar kommer att utgå från Ziegler–Nichols metod, men parametrarna kommer utöver det att behöva justeras tills regleringen fungerar på önskvärt sätt.

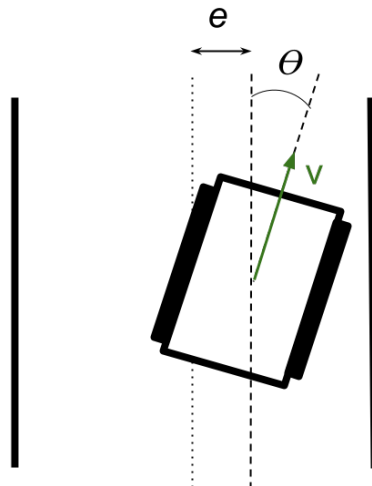
Hur användbara metoderna för att generera en referenssignal kommer att vara är inte säkert. Att använda den önskade linjen som referenssignal med PD-reglering kan ge tillräckligt bra körning i rak korridor. Om detta inte är fallet går det att välja en av de två diskuterade metoderna för att generera en referenssignal i kombination med PD-regulatorn, något

som diskuterades i avsnitt 3.3. Vid behov kan även PD-regleringen komma att förbättras. Ett möjligt sätt att göra det är att använda en PID-regulator istället för en PD-regulator. Denna lösning är speciellt användbar om det framkommer att det statiska felet inte är noll. Ett annat sätt att förbättra regleringen är att använda mer information och mätdata. Vid körning i korridor kan till exempel derivatan av felet tas fram mer noggrant om vinkeln och hastigheten används (se figur 5). Istället för att beräkna derivatan av felet som differensen mellan två efterföljande mätningar av felet, som föreslaget i avsnitt 4.3, kan en mer exakt derivata beräknas. Derivatan av felet blir då

$$\dot{e}(t) = v \cdot \sin\theta,$$

där v är robotens hastighet framåt. För att beräkna derivatan på detta sätt kan hastigheten antingen approximeras utifrån motorspänningen på motorerna eller mätas med hjälp av en sensor.

Som tidigare nämnts i avsnitt 3.2.1 är ett problem med den deriverande delen av regulatören att mätbrus kan påverka derivatan på ett icke önskvärt sätt. Skulle detta vara ett problem kan insignalen till den deriverande delen av regulatören lågpassfiltreras för att minska det högfrekventa bruset på signalen.



Figur 5: Roboten i en korridor. Derivatan av felet kan tas fram med hjälp av hastigheten och vinkeln från mittlinjen.

REFERENSER

- [1] R. C. Conlter, "Implementation of the pure pursuit path tracking algorithm," The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Tech. Rep., 1992. [Online]. Available: http://www.enseignement.polytechnique.fr/profs/informatique/Eric.Goubault/MRIS/coulter_r_craig_1992_1.pdf
- [2] J. K. Kolb, G. Nitzsche, and S. Wagner, "A simple yet efficient path tracking controller for autonomous trucks," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 8, pp. 307–312, 2019, 10th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles IAV 2019. [Hämtat 17 februari 2021]. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319304227>
- [3] T. Glad and L. Ljung, *Reglerteknik, Grundläggande teori*, 4:16 ed. Lund: Studentlitteratur, 2006, pp. 17–20, ISBN 978-91-44-02275-8.
- [4] Mohd Saifizi Saidonr, H. Desa, and M. N. Rudzuan, "A differential steering control with proportional controller for an autonomous mobile robot," in *2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 2011, pp. 90–94, [Hämtat 15 februari 2021]. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.e.bibl.liu.se/document/5759849/>
- [5] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 115, pp. 220–222, 1942.
- [6] Y. Huang, Z. Tian, Q. Jiang, and J. Xu, "Path tracking based on improved pure pursuit model and PID," in *2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)*, 2020, pp. 359–364.