

Autonom tilläggning av båt med modellprediktiv reglering

Sofia Kockum

Populärvetenskaplig sammanfattning av examensarbete i regler teknik,
LTH, Lunds Universitet, juni 2022

I examensarbetet [Kockum, 2022] har metoder för styrning av en specifik båt utvecklats. Metoderna testades i simuleringar, på en liten modellbil samt på den verkliga båten. För simuleringar och test på den verkliga båten gavs bra resultat. För modellbilen behövde positioneringen förbättras.

Att styra och reglera fordon autonomt är idag ett aktuellt ämne. Autonom styrning av båtar skulle kunna öka effektiviteten av handel och frakt till sjöss, samt minska risken för olyckor som är grundade i den mänskliga faktorn.

Själva tilläggningsen av båten, att gå in till en kaj, skiljer sig från styrning på öppet hav. Det är högre krav på att manövreringen av båten är exakt, då båten lär vara nära en kaj men inte ska kollidera med den. Hastigheterna är generellt sett lägre. Innan tilläggningsplatsen är nådd ska båten styra genom hamnområdet, där det kan finnas hinder – grund, bojar, m.m. – att förhålla sig till. Den kommer även att utsättas för yttre störningar som påverkar rутten; främst strömmar, vind och vågor.

Båten för vilken regleringen har utvecklats är Saab Kockums obemannade båt Piraya, se Figur 1. Denna båt är fyra meter lång och styrs med hjälp av en utombordsmotor.



Figur 1 Båten i fråga: Saab Kockums obemannade farkost Piraya.

Styrsystemet som utvecklats är av typen modellprediktiv reglering (ofta förkortat MPC på engelska). Denna typ av styrsystem baseras på ett optimeringsproblem och en modell av processen. Processen är i detta fall Pirayans dynamik och svar på styrsignaler, tidigare modellerad av Ljungberg [Ljungberg, 2020]. Genom processmodellen beräknas framtida tillstånd, för en viss tid framåt. Denna tid för vilken tillstånden förutses kallas prediktionshorisont och beräknas i tidsintervall, vilket ger

ett ändligt antal tidssteg under prediktionshorisonten. Tillstånden bestäms genom optimeringsproblemet. I detta fall är det position, hastigheter och styrsignaler som ska optimeras, där position och hastigheter beror på styrsignaler och startvärden för position och hastigheter. Det antal tidssteg för vilka optimala styrsignaler beräknas kallas styrhorisonten och är en delmängd av prediktionshorisonten. I detta fall är styrhorisonten och prediktionshorisonten lika långa, det vill säga styrsignalerna tillåts ändras i varje tidssteg över prediktionshorisonten. Då optimala styrsignaler beräknats för varje tidssteg över horisonten skickas de för det första tidssteget till processen. Efter detta har processen uppnått ett nytt tillstånd och man har så att säga rört sig ett tidssteg fram. Det nya, nuvarande tillståndet skickas in till MPC:n där optimeringsproblemet löses igen, givet de nya, initiala tillstånden.

Ett sätt att hantera yttre störningar lades till i processmodellen. Detta gjordes på så vis att det skulle vara möjligt att mäta hur mycket båten driver när motor och roder är nollställda. Denna drift kunde sedan tas hänsyn till då framtida tillstånd predikteras.

För styrningen inom ett hamnområde studerades tre tillvägagångssätt: en målposition, viapunktsföljning och loggad trajektoria. Med punkt avses här x - och y -koordinat, medan position även avser båtens riktning.

I fallet med en målposition var endast en referensposition för båten given. Färdvägen för att nå den blir kortast möjliga, vilket kan ge en väldigt snäv sväng på slutet, beroende på målpositionens riktning. Detta kan vara önskvärt i vissa fall men i andra kan en mjukare färdväg vara att föredra.

Att använda viapunkter ger en mjukare bana. Givet ett antal viapunkter kommer en i taget, i ordning, att hållas som referenspunkt att sikta på för båten. Då båten är inom en viss radie av den aktuella viapunkten uppdateras referenspunkten och båten tar sikte på nästa viapunkt.

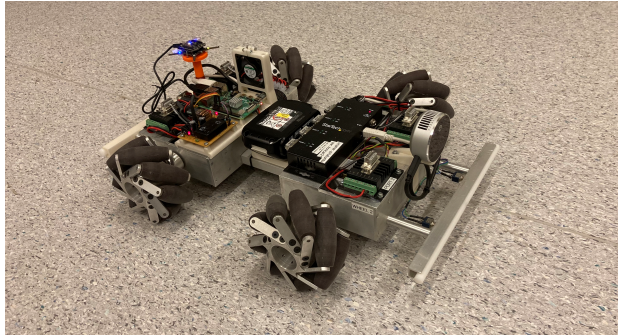
Att ha en i förväg angiven trajektoria som referens kommer att ge upphov till den mest exakta färdvägen. Trajektorian kan exempelvis vara loggad från en tidigare simulering, efter att ha kört med den verkliga båten, eller given från en färdvägsplanerare på högre nivå. Denna metod är tidsberoende på annat sätt än de två tidigare, då trajektorien är loggad med ett visst tidssteg.

Själva kostnadsfunktionen i optimeringsproblemet beror på vilket av dessa tillvägagångssätt som väljs.

Tillåtna positioner för båten bestäms av eventuella hinder. För cirkulära hinder, exempelvis ett grund, ges en radie inom vilken båten inte är tillåten samt en radie för vilken båten är tillåten inom endast om det är nödvändigt. En annan typ av hinder är själva kajen vid vilken den ska lägga till. Denna behöver båten kunna vara nära och därför beräknas avståndet till den med hänsyn till båtens dimensioner och riktning; om båten har långsidan mot kajen kan den vara närmare än om den har för eller akter mot.

Dessa implementeringar testades i simuleringar, experimentellt på en liten modellbil med Ilohhjul (se Figur 2) samt på den verkliga Pirayan. Ilohhjul är en typ av hjul som möjliggör för fordonet att röra sig fritt i xy -planet, d.v.s., även i

sidled. Den är inte bunden till att endast röra sig framåt och bakåt, som ett fordon med "vanliga" hjul är. Således kunde Ilonbilen användas som simulering för båtens beteende, genom att systemekvationerna för Pirayan definierade bilens hastigheter.



Figur 2 Modellbilen med Ilonhjul, kallad Ilonbilen.

I simuleringar fungerar metoderna väl men beräkningstiden är i vissa fall för lång. Med Ilonbilen testades tillvägagångssätten att ha en målposition och att ha två viapunkter. Generellt nåddes punkterna som önskat men färdvägen var något skakig. Detta berodde förmodligen på att positioneringen för bilen som den autonoma regleringen baserades på inte var exakt, vilket ledde till att de loggade positionerna inte var exakta samt att styrsignalerna beräknades därefter och försökte kompensera för den osäkra positioneringen. På den verkliga Pirayan testades att köra efter ett antal viapunkter samt en målposition. I det första fallet var det relativt mycket vind och båten styrdes utan uppmätt och inlagd störning – ändå följdes viapunkterna väl. Vid experimentet med endast en målposition var det lugnt väder och målpositionen hittades mycket väl.

Sammanfattningsvis har tre olika metoder för navigering i hamnområde utvecklats, samt en metod för att hantera yttre störningar och en metod för att undvika hinder. För vissa av metoderna var beräkningstiden alltför lång och olika sätt att minska denna diskuteras i examensarbetet. Att automatisera tilläggnigen ytterligare vore ett nästa steg. För detta skulle en LiDAR-sensor kunna användas, så att positionen för kajen kan skattas genom mätningar istället för att behöva ange exakta koordinater. Detsamma gäller för andra typer av hinder. Sensorn skulle även kunna användas i kombination med den information som finns i ett sjökort, för att förhålla sig till grund som inte syns över vattenytan. Experiment med Ilonbilen visar att positioneringen för densamma behöver förbättras. Däremot gav simuleringar och experiment med Pirayan lyckade resultat.

Litteratur

- Kockum, S. (2022). *Autonomous Docking of and Unmanned Surface Vehicle using Model Predictive Control*. Available for download at <https://lup.lub.lu.se/student-papers/>. Master's thesis, TFRT-6164. Department of Automatic Control, Lund University.
- Ljungberg, F. (2020). *Estimation of Nonlinear Greybox Models for Marine Applications*. Licentiate Thesis no. 1880. Department of Electrical Engineering, Linköping University.