

Simulering och styrning av ubåt

Erik Lind
Magnus Meijer

25 augusti 2014

Fysikalisk modellering och simulering är idag väldigt utbrett i industrin, framförallt då det gäller design av styrsystem och regulatorer. Fördelarna är många, man får tidigt i projektets gång en verifikation på prestandan hos styrsystemet och minskar risken för dyra fel i slutfasen av projektet. Modellerna blir alltmer avancerade och börjar även att ta sig in på allvar på ubåtsmarknaden. Svårigheterna i att modellera undervattensfarkoster ligger framförallt i att hydrodynamiska krafter är väldigt svåra att estimera på ett sanningsenligt sätt. Saab har nyligen genomfört ett examensarbete där en sådan modell utvecklas.

Ubåtar kan enkelt ses som ett system med in och utsignaler, som i Figur 1 nedan. Insignalerna används för att styra vart ubåten tar vägen. Oftast finns det sex roder, eller s.k. hydroplan, som tillsammans med varvtalet på propellern (RPM) används för att ådstadkomma rörelserna. Det finns även ett par olika tanksystem som används för att dyka från ytan, hålla rätt balans och rätt trim i båten, som för enkelhetens skull utelämnats här. Utsignalerna används för att styrsystemet ska veta hur ubåten rör sig, och därför mäts hastigheten, djup och attityd, dvs hur båten är vinklad i förhållande till jorden.

Figur 1: Typiska styr- och mätsignaler på en ubåt.



I ubåtar finns ofta ett styrsystem som använder alla dessa signaler för att kontrollera vart båten färdas. Vanligtvis körs ubåten helt på autopilot, och där kommer reglertekniken in. Man matar manuellt in kurs, djup och varvtal på motorn, resten sköter styrsystemet automatiskt. För att kunna utveckla ett styrsystem behövs goda kunskaper om hydrodynamik och reglerteknik. Det är, framförallt ekonomiskt sett, mycket önskvärt att utveckla styrsystemet i simulerad miljö innan det implementeras och det är precis det examensarbetet gått ut på.

I vatten är det många krafter som påverkar en undervattensfarkost. Dels finns vattenmotståndet, vilket är väldigt beroende på form och material på skrovet, och därför väldigt svårt att modellera generellt. En annan stor effekt är den så kallade "added mass"-effekten. Med "added mass" menar man att så fort båten accelereras så accelererar den även en mängd vatten runt skrovet. Denna

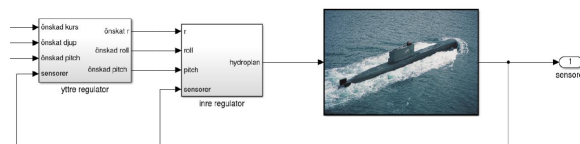
vattenmängd följer med båten hela tiden, d.v.s. så fort båten svänger eller dyker så måste den även dra med sig vattnet runtomkring. Eftersom det är en relativt stor mängd vatten som följer med så påverkar det båtens egenskaper väldigt mycket, då den upplevs tyngre än vad den egentligen är.

För att modellera dessa effekter används ofta ett ramverk för hur alla hydrodynamiska krafter på en undervattensfarkost hänger ihop. Ett sådant skrevs av Feldman år 1979, [1]. Ramverket består av en stor uppsättning matematiska uttryck, där det finns en uppsjö av koefficienter som är unika för varje farkost. Dessa måste tas fram på något sätt. Ett relativt enkelt sätt att approximera dem är att använda sig av Humphrey & Watkins formler, [2], som i grund går ut på att man approximerar de olika delarna av ubåten som ellipser, för vilka det finns empiriskt framtagna formler för att räkna ut added mass-effekterna. Dessa formler har dock relativt stor felmarginal och används normalt inte för det här ändamålet. Vanligtvis utförs bassängtester, där man genom olika manövrar på en modell av farkosten kan estimerar alla parametrar. Ett annat sätt, som börjar bli vanligt på senare tid, är att använda s.k. CFD-beräkningar (Computational Fluid Dynamics), där datorprogram används för att estimerar alla koefficienter.

Styrsystemet som föreslås i detta examensarbete använder sig av så kallad kaskadreglering, d.v.s. man har flera regulatorer kopplade efter varandra. Här användes två regulatorer, där den inre stabiliserar ubåten och den yttre användes för att styra kurs, djup och i vissa fall pitch. Strukturen ser ut som i Figur 2.

Den inre loopen består av en tillstånd återkoppling av s.k. LQ-teknik, där

Figur 2: Struktur på det föreslagna styrsystemet.



man med hjälp av ett Kalmanfilter estimerar hur båten rör sig. Detta används sedan för att styra hydroplanen och på så sätt reglera ubåten. Här finns även några integratorer, som behövs för att ta bort stationära fel som uppkommer då modellen linjäriserats.

När den inre loopen stabiliserat ubåten, är det väldigt enkelt att från en yttre regulator reglera kurs, djup och pitch. Den yttre regulatorn består av enklare P-regulatorer för att reglera dessa storheter, tillsammans med en del logik för huruvida integratorerna i den inre regulatorn ska vara på och av beroende på vilken manöver som utförs.

I det här examensarbetet användes en virtuell ubåtsmodell från FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut, där de hydrodynamiska koefficienterna var beräknade i CFD-program. Styrsystemet byggdes helt och hållet i Matlabs Simulink, för att sedan implementeras i C-kod. Prestandan på den utvecklade autopiloten låg väl inom normala kravspecifikationer. Resultaten var alltså överlag goda, men då testerna endast utförts i simulerad miljö, betar sig autopiloten med stor säkerhet annorlunda på en fysisk ubåt.

Tack till

Vi skulle vilja tack Saab i Linköping för möjligheten att genomföra detta exjobb. Ett extra tack skulle vi vilja sträcka ut till vår

handledare, Hans Bohlin, som varit en inspirationskälla och ett stort stöd genom arbetet. Vi skulle även vilja tacka Mats Nordin och Lennart Bossér på FOI i Stockholm, för det givande mötet och ubåtsmodellen vi fick.

Referenser

Referenser

- [1] J. Feldman. *DTNSRDC Revised Standard Submarine Equations of Motion*. David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1979
- [2] Humphreys & Watkinson. *Prediction of acceleration hydrodynamic coefficients for underwater vehicles from geometric parameters*. Tech. rep. Naval Coastal System Laboratory, Florida, USA, 1978