LUND UNIVERSITY

Återkoppling, adaptivitet och expertsystem

Wittenmark, Björn

Published in:
Lundaforskare föreläser

1989

Link to publication

Citation for published version (APA):
Wittenmark, B. (1989). Återkoppling, adaptivitet och expertsystem. I *Lundaforskare föreläser* (s. 106-111). Lund University Press.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Björn Wittenmark

ÅTERKOPPLING, ADAPTIVITET OCH EXPERTSYSTEM

Björn Wittenmark är född i Växjö 1943. Han avlade civilingenjörsexamen i elektronik 1966 och tekn lic-examen 1971 vid Lunds tekniska högskola. 1973 disputerade han i reglerteknik vid LTH och blev docent i reglerteknik 1977. Sedan 1970 har han varit universitets- och högskolelektor vid Lunds universitet. Wittenmarks forskning har varit inriktad mot adaptiva reglersystem och självinställande regulatorer. Han har bidragit till utveckling av såväl de teoretiska som de praktiska aspekterna inom detta område. Forskningen har resulterat i ett flertal artiklar och böcker, som har rönt ett stort internationellt intresse. Detta har bland annat resulterat i att han under längre perioder har varit gästforskare och gästprofessor vid University of Calgary, Canada (1974), University of Connecticut, USA (1977–78) och University of Newcastle, Australien (1986–87). Björn Wittenmark utnämndes att från 1 februari 1989 vara professor i reglerteknik vid Lunds universitet.

Reglerteknik handlar om att utnyttja mätningar för att bestämma vilken påverkan man skall göra på ett system för att detta skall reagera på önskat sätt. *Återkoppling (feedback)* är därför ett centralt begrepp inom reglertekniken. Systemen kan vara allt ifrån att hålla temperaturen i ett rum till att hålla balansen när man går. Reglerteknik är ett så kallat systemtekniskt ämne. Det innebär att det totala systemet studeras och dess egenskaper förändras genom att reglering införs. Eftersom systemen kan vara så vitt skilda är det nödvändigt att kunna behandla olika typer av fenomen på ett systematiskt sätt. Tillämpad matematik ger många verktyg, som är användbara inom reglerteknisk forskning. Vidare spelar datorer en stor roll. De används för att göra beräkningar och analys. Datorer är också viktiga komponenter vid implementering (förverkligande) av reglersystem.

Forskningen inom reglerteknik i Lund startade 1965 när Karl Johan Åström tillträdde den nyinrättade professuren vid Lunds Tekniska Högskola. Lund har sedan dess varit ett reglertekniskt centrum, med gott internationellt anseende. Institutionens forskning har bland annat varit inriktad mot identifiering och

adaptiv reglering. Dessa två delområden inom reglertekniken beskrivs i denna artikel.

Styrning och påverkan

All verksamhet när man utnyttjar information för att påverka ett systems beteende kan tolkas i reglertekniska termer. Figur 1 visar ett återkopplat system. I regulatorn jämförs det verkliga beteendet hos systemet (utsignalen) med ett önskat beteende (referenssignalen). Regulatorn beräknar sedan vilka korrektioner (styrsignaler), som behövs för att systemet skall bete sig som önskat. Rumstermostater, bilkörning och kroppens blodtrycksreglering är vardagliga exempel på reglersystem. Industriella exempel

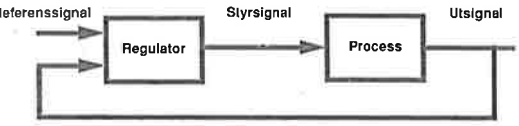


Fig 1 Återkopplat system.

är att producera papper med jämn kvalité och att styra en industrirobot. Det är vanligt att systemen har flera insignaler och flera utsignaler. En industriell process kan innehålla flera hundra regulatorer.

Redan babylonierna använde styrning för att reglera anläggningar för konstbevattning omkring år 2100 f Kr. Ett industriellt genombrott fick

Adaptiv autopilot på båtar är ett exempel på tillämpning av adaptiv teknik.

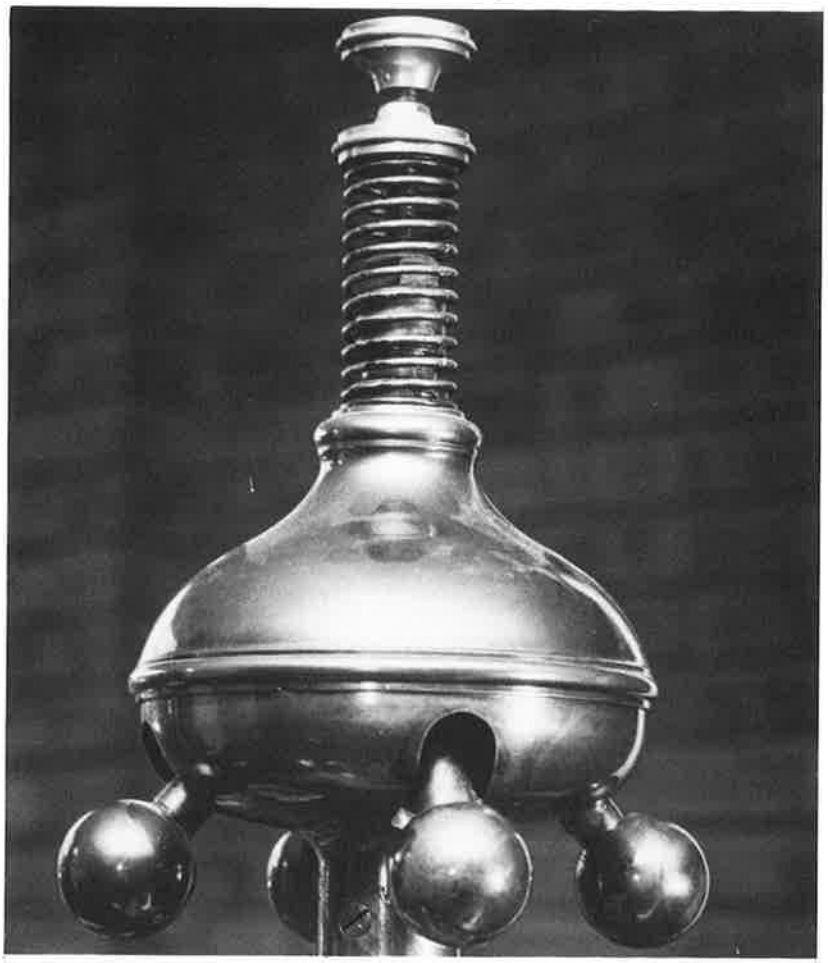


Fig 2 Centrifugalregulator för ångmaskin.

reglertekniken då James Watt i slutet av 1700-talet använde centrifugalregulatorn (se figur 2) för att styra varvtalet på ångmaskiner. Centrifugalregulatorn var tidigare känd och användes för att reglera varvtalet på kvarnvingar. Watt gjorde den till en industriell produkt. Centrifugalregulatorn hade varit i praktiskt bruk i nästan hundra år innan den analyserades teoretiskt av J C Maxwell i en berömd artikel 1868.

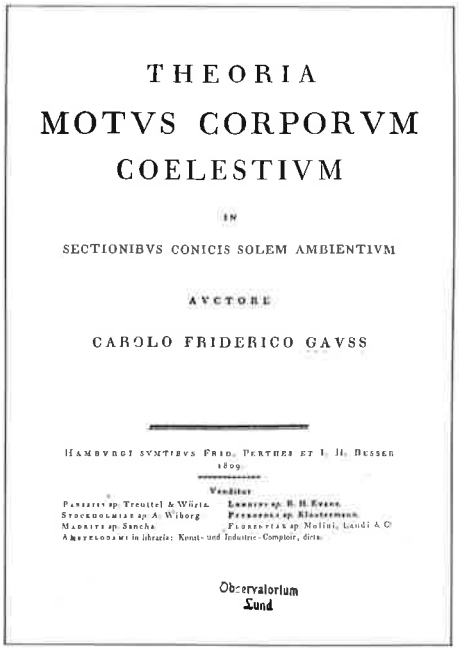
Under 1930-talet utvecklades elektroniken mycket tack vare s k återkopplade förstärkare. Genom återkoppling blev det möjligt att avsevärt förbättra förstärkarens egenskaper. Detta lade t ex grunden för långdistanstelefoni. Reglertekniska idéer utvecklades inom olika ingenjörsområden som elektronik, kemisk processindustri och flygindustri. Först efter andra världskriget växte reglertekniken fram som ett självständigt ämne. Sverige fick sin första professur i reglerteknik på KTH 1959. Idag finns ämnet representerat på samtliga tekniska högskolor i landet.

Genom reglering kan man i princip få ett system att uppföra sig som man vill. Det finns emellertid flera problem. Ett problem är att bestämma hur regulatorn skall se ut, dvs vilket räkneschema man skall använda. Vi kan kalla det för regulatorns struktur. Vidare behöver man bestämma ett antal parametrar i regulatorn (parameterinställning). Det kan till exempel vara nödvändigt att använda olika parameteruppsättningar beroende på att processens karaktär förändras. Ett typexempel är autopiloter för flygplan. Det går inte att använda samma regulatorinställning när planet flyger med låg fart som när det flyger med hög fart. Slutligen finns det praktiska begränsningar som att styrsignalerna inte kan bli hur stora som helst. En ventil kan bara vara maximalt öppen och en motor kan bara röra sig med en maximal hastighet. Reglertekniken handlar därför om att under dessa praktiska begränsningar få ett så bra system som möjligt.

Identifiering

Identifieringsmetoder används för att ur mätningar och experiment bestämma ett systems egenskaper. Dessa modeller är nödvändiga för att dimensionera avancerade reglersystem. Identifiering har gamla anor. Gauss utvecklade den s k minsta kvadratmetoden omkring 1800, för att bestämma asteroiden *Ceres* bana. Den som är bevandrad

i latin kan studera originalverket *Theoria Motus Corporum Coelestium* på Universitetsbiblioteket i Lund, (se figur 3).


THEORIA
MOTVS CORPORVM
COELESTIVM
IN
SECTIONIBVS CONICIS SOLEM AMBIENTIVM
AVCTORE
CAROLO FRIDERICO GAVSS

Observatorium
Lund

Fig 3 Försättssidan till Gauss' originalverk om minsta kvadratmetoden.

Statistiska identifieringsmetoder kan användas för att bestämma en modell av processen. Det är dessutom möjligt att ta reda på hur bra eller osäker modellen är. För att få en bra modell är det nödvändigt att ha goda förkunskaper om systemets struktur. Vidare måste processen störas tillräckligt mycket för att ge tillförlitliga mätdata.

Genom identifiering och modellbygge kan reglerteknikern få fram en matematisk modell, som kan användas på olika sätt. Den ger kunskap om processens egenskaper och kan användas för utbildning. Modellen kan också användas för att bestämma regulatorns struktur och parametrar. Med hjälp av modellen och regulatorn kan det slutna systemets egenskaper undersökas. Detta kan till en början göras utan experiment på det verkliga systemet och kallas för *simulering*. När simuleringarna fungerar tillfredsställande kan regulatorn testas på den verkliga processen. Simulering är också ett utmärkt hjälpmedel för att utbilda operatörer. Piloter på flygplan och operatörer i kärnkraftverk tränas t ex regelbundet i simulatorer. Detta är ett komplement till arbete med de verkliga processerna. I en simulator kan man till exempel träna rutiner och nödsituationer under säkra och kontrollerade former.

Adaptiva system

Utvecklingen inom datorteknik har gjort det möjligt att göra identifieringen medan processen är i full gång. Under styrningen kan man då bestämma en regulator för processen. Regulatorn används sedan direkt på processen. Eftersom modellen för processen hela tiden kan uppdateras kan också regulatorns egenskaper anpassas till förändringar i processen. Regulatorer med denna egenskap kallas för *adaptiva*. Ett par tillämpningar är adaptiva autopiloter för båtar och vätskebalansreglering vid dialys.

Med hjälp av en adaptiv regulator uppdateras regulatorns parametrar. Dessa kan därför väljas optimalt med hänsyn till de störningar som för tillfället verkar på processen och

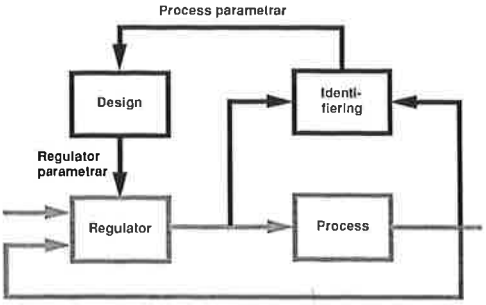


Fig 4 Adaptivt system.

den arbetspunkt som processen befinner sig i. Ett adaptivt reglersystem kan, som i figur 4, ha två nivåer av reglerkretsar. En snabbare reglerkrets för den vanliga regleringen, och en långsammare reglerkrets, som uppdaterar regulatorns parametrar. Adaptiva regulatorer har varit en central del i institutionens forskning sedan slutet på sextiotalet. Forskningen har givit såväl teoretiska som praktiska resultat och lagt grunden till att svensk industri har en världsledande roll inom adaptiv reglering.

Självinställande regulatorer

De två reglerkretsarna i en adaptiv regulator gör att systemen är svåra att analysera. Det finns en samverkan eller interaktion som gör att de två reglerkretsarna kan dra åt olika håll. Genom att förenkla och idealisera problemet är det möjligt att göra en teoretisk analys av det adaptiva systemets egenskaper. Ett sätt att förenkla analysen är att anta att processen har konstanta, men okända parametrar. Detta ger en underklass av adaptiva regulatorer som kallas för självinställande regulatorer (self-tuning regulators). Det

är t ex möjligt att ge teoretiska villkor för när det adaptiva systemet är stabilt och har önskade egenskaper. Vår institution har gjort mycket av pionjärarbetet för denna typ av adaptiva system.

Adaptiv autopilot

Det är en stor skillnad mellan en "akademisk" och en "industriell" regulator. För att kunna använda adaptiv teknik på verkliga processer är det nödvändigt att omgärda regleralgoritmen med olika typer av säkerhetsnät. Regulatorn måste bland annat ha bra gränssnitt gentemot operatören, så att denne lätt kan hantera regulatorn och förstå vad den gör. Vidare måste regulatorn förses med omfattande tester eftersom dess parametrar hela tiden förändras.

För att föra ut adaptiv teknik i verkligheten har institutionen deltagit i ett antal lämplighetsstudier. Den första tillämpningen gjordes redan 1972–73 och gällde reglering av fukthalt vid tillverkning av papper. Med adaptiv teknik kunde vi konstatera att variationen i fukthalten hos det färdiga pappret kunde minskas. Försök visade att regulatorn kunde adaptera till varierande situationer och användas vid tillverkning av olika papperskvalitéer.

I samarbete med Kockums i Malmö har en adaptiv autopilot för båtar undersökts. Vid styrning av båtar är det viktigt att minimera avvikelsen från den önskade kursen. Detta gäller både i trånga farvatten och ute på öppen sjö. Varje avvikelse ger upphov till längre färd och därmed ökad bränsleförbrukning. Det är också nödvändigt att minska på roderrörelserna. En ökad roderaktivitet medför ett ökat vattenmotstånd och en ökad bränsleförbrukning.

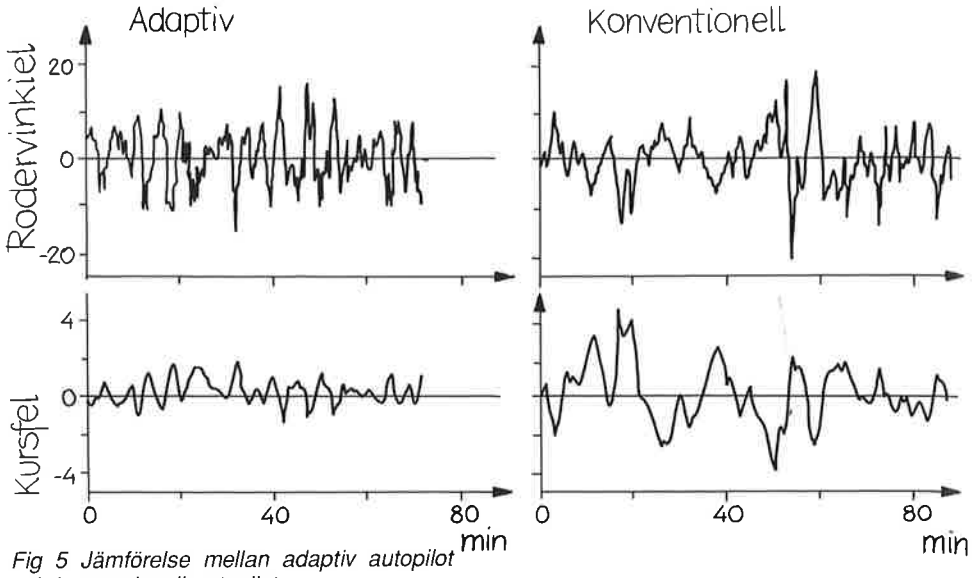


Fig 5 Jämförelse mellan adaptiv autopilot och konventionell autopilot.

I konventionella autopiloter för båtar är det möjligt att ställa in reglerparametrarna manuellt. Detta är emellertid svårt för besättningen att göra och leder till att man ofta använder en inställning, som fungerar halvbra för så många driftsbetingelser som möjligt. Om autopiloten inte fungerar tillfredsställande är det praxis att stänga av den och övergå till manuell styrning med en rorsman. Med en adaptiv autopilot är det möjligt att anpassa regulatorinställningen till rådande vind- och strömförhållande och till hur båten är lastad. Detta underlättar för besättningen och ökar prestanda på styrningen. Figur 5 ger en jämförelse mellan prestanda vid användning av en konventionell autopilot och en adaptiv autopilot. Experimenten gjordes på en 350 000 tons tanker vid en vindstyrka på 17–24 m/s. Den konventionella autopiloten är intrimmad för rådande driftsbetingelser. Rodervinkel (styrsignal) och kursfel (utsignal) jämförs. Med ögat kan man klart se att den adaptiva regulatorn minskar variationen i kursfelet. Priset för bättre reglering är en ökad roderaktivitet. Omfattande experiment visade att adaptiv reglering kan minska bränsleförbrukningen med 2–3 procent och öka båtens prestanda. Detta gäller framför allt vid svåra väderförhållanden och varierande hastighet. Samarbetet resulterade i en kommersiell produkt, som nu finns installerad på ett flertal båtar.

Automatinställning

Många regulatorer i industrin är av standardtyp, s k PID-regulatorer. En

eller flera PID-regulatorer i samverkan kan användas för att lösa många reglerproblem. För att underlätta användningen av PID-regulatorer kan regulatorn kompletteras med en modul för automatinställning (auto-tuning) av regulatorparametrarna. Operatören kan enkelt initiera ett experiment för att bestämma regulatorns parametrar. Automatinställningen kan lätt övervakas av operatören. När automatinställningen är avslutad regleras processen med en regulator med konstanta parametrar. Detta gör att säkerhetsproblemen blir enklare att lösa. Satt Control Instruments tillverkar och säljer en PID-regulator med automatinställning, se figur 6, baserad på metoder, som utvecklats vid institutionen för reglerteknik i Lund.

Fig 6 PID-regulator med automatinställning.

Expertsystem

Trots att den adaptiva tekniken har genomgått en drastisk utveckling under de senaste 15–20 åren är tekniken inte helt lätt att använda rutinmässigt. Det krävs utbildning och kunskap för att kunna utnyttja de nya teoriernas fulla kapacitet. Ett nytt steg i utvecklingen är att ge operatörerna stöd med hjälp av expertsystem eller kunskapsbaserade system. Detta är ett delområde inom artificiell intelligens. Ett kunskapsbaserat styrsystem (KBS-system) kan byggas upp som i figur 7.

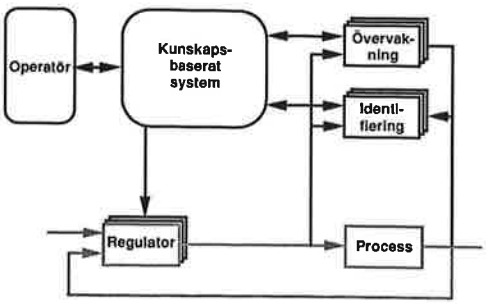


Fig 7 Expertsystem.

Systemet innehåller nu flera nivåer av reglerkretsar. KBS-systemet kan välja mellan olika typer av regulatorer, olika typer av identifieringsmetoder etc. Under regleringens gång byggs en kunskapsbas upp. Denna innehåller såväl "hård" som "mjuk" kunskap om systemet. Exempel på "mjuk" kunskap kan vara att en viss utsignal ökar när en insignal ökas eller vilka utsignaler som påverkas av en viss insignal. "Hård" kunskap är t ex parametriska matematiska modeller.

Med hjälp av logiska regler (=kunskap) drar systemet nya slutsatser om systemets egenskaper och vilken typ av reglering, som passar för det. En viktig egenskap hos kunskapsbaserade system är att de kan kombinera flera regler och härleda ny kunskap. Det är också möjligt att fråga systemet varför det har en viss kunskap eller dragit vissa slutsatser. Operatören kan därför ifrågasätta och kontrollera kunskapen om processen.

Kunskapsbaserade system har med framgång använts t ex för konfiguration av datorsystem. Diagnos av infektionssjukdomar är ett annat område där man använt kunskapsbaserade system. Expertsystem används också för utbildning av operatörer av komplicerade processer. Ett svenskt exempel är en simulator för utbildning av operatörer i ett pappersbruk. Det pågår för närvarande en intensiv forskning om expertsystem.

Människan överlägsen

Adaptiva regulatorer används idag inom många industrigrenar. Med hjälp av adaptiv teknik kan man förbättra ett systems prestanda. De metoder som idag används inom adaptiv reglering är mycket grova och förenklade jämfört med den adaptionsförmåga som finns i biologiska system. Ett exempel är människans motorik som är mycket väl utvecklad och kan anpassa sig till vitt skilda uppgifter. Dagens adaptiva metoder för robotar har mycket svårt att tävla med en mänsklig operatör i finmotoriska uppgifter. Viktiga forskningsfält inom reglerteknikken är därför att förfina och vidareutveckla metoderna för adaptiv reglering och att kunna utnyttja expertsystem för reglering.