



LUNDS
UNIVERSITET

Effektiv återkoppling för händelsebaserad styrning

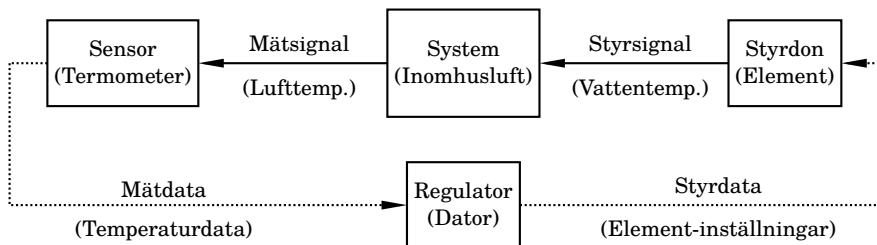
Marcus Thelander Andrén
Institutionen för Reglerteknik

Populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen *On LQG-Optimal Event-Based Sampling*, december 2020. Avhandlingen kan laddas ner från: <http://www.control.lth.se/publications>

Reglerteknik är teorin om hur man bygger system för att styra saker och ting automatiskt. Utan att vi kanske tänker på det så förekommer det överallt i vår vardag; farthållning i våra bilar, reglering av inomhustemperatur, autofokus i våra mobilkameror, till och med vår egen kropp, som håller en konstant temperatur på 37°C —allt detta är exempel på reglersystem. I denna doktorsavhandling utvecklas teori och nya beräkningsmetoder för ett särskilt sätt att bygga reglersystem på, kallat *händelsebaserad styrning*.

Det som möjliggör automatisk styrning är så kallad *återkoppling*, vilket innebär att styrningen baseras på mätdata från det man styr. Till exempel kan automatisk reglering av inomhustemperatur uppnås genom att styra vattentemperatur i ett element baserat på återkoppling från en inomhustermometer. Styrningen kan då automatiskt kompensera för avvikelser orsakade av exempelvis variationer i utomhustemperatur och antal människor som vistas i rummet.

I moderna reglersystem används nästan uteslutande datorer för att beräkna hur styrningen ska ske. Detta kombineras ofta med trådlös kommunikation för återkoppling. Traditionellt brukar återkopplingen ske *periodiskt*, där ny mät- och styrdata oavbrutet skickas och beräknas varje gång ett visst tidsintervall har passerat—oavsett om styrningen behöver korrigeras eller inte.



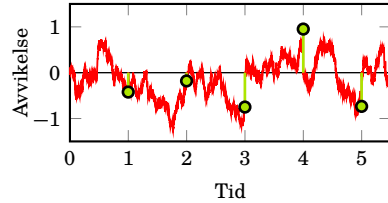
Automatisk styrning möjliggörs av återkoppling, där styringrepp från en regulator baseras på mätdata från systemet man styr. I figuren ovan motsvarar beskrivningarna inom parentes exemplet för reglering av inomhustemperatur.

Detta innebär stora mängder av överflödigt kommunikation och beräkningar som kan orsaka onödigt belastning på datorkraft och nätverk. Dessutom dränerar det batterier i trådlösa sensorer i onödan, då kommunikation ofta utgör majoriteten av energiförbrukningen. För att undvika detta är det istället rimligare att återkoppla först när det sker en tillräckligt stor förändring i systemet—en *händelse*. Detta är konceptet bakom *händelsebaserad styrning*.

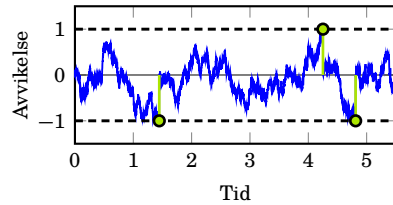
I denna doktorsavhandling undersöks hur återkoppling ska triggas för att få ett så resurseffektivt regelsystem som möjligt. Detta är en avvägning mellan acceptabel prestanda på styrningen och hur ofta man tillåter händelser att triggas—händelser som i sin tur motsvarar en viss belastning på datorkraft, nätverk och batterier. Målet är att få en så effektiv avvägning som möjligt, med bra styrning även vid relativt sporadisk återkoppling. I avhandlingen formuleras detta som ett optimeringsproblem, där man bestämmer kombinationen av dålig styrprestanda och högfrekvent återkoppling. En effektiv strategi för återkoppling återfås då genom att minimera det totala straffet. I avhandlingen bevisar vi matematiskt för en viss klass av system att optimal händelsebaserad återkoppling är uppemot tre gånger så effektivt som periodisk återkoppling. Dessutom visar simuleringar att det finns system där man kan uppnå ännu större effektivitet.

Generellt är det optimalt att trigga återkoppling först när värdet på en viktig signal i sensorn passerar en viss gräns. I det enklaste fallet är återkopplingen baserad direkt på den råa mätsignalen, där ingen återkoppling sker så länge som mätsignalen ligger inom ett intervall. I exemplet med reglering av inhomhustemperatur motsvarar detta ett intervall på den temperatur som inomhustermometern mäter. Återkopplingen blir dock som mest effektiv när man sätter en gräns på avvikelser från det styrbeteende man förutspår från en enkel matematisk modell. Termometern är då kombinerad med en liten dator, som räk-

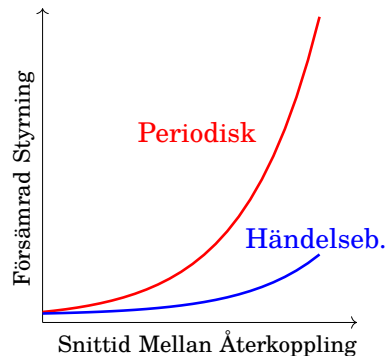
Periodisk



Händelsebaserad



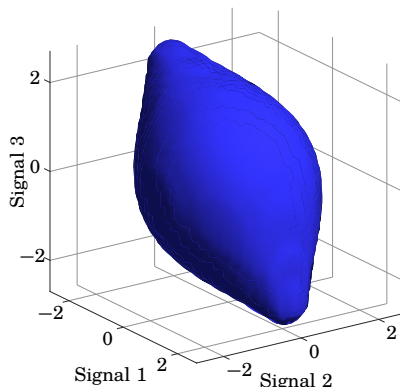
Exempel på periodisk respektive händelsebaserad återkoppling, där avvikelser från önskad styrning återställs vid varje återkopplingstillfälle.



Styrningen försämras betydligt mindre för händelsebaserad återkoppling jämfört med periodisk när man förlänger den genomsnittliga tiden mellan varje återkoppling.

nar ut hur temperaturen troligtvis kommer bete sig den närmaste tiden sedan den senaste återkopplingen. Så länge som avvikelserna är små kan då styrningen ske enligt den matematiska modellen, utan att någon återkoppling behövs. När sedan avvikelserna blir tillräckligt stora—ofta när en oförutsägbar händelse sker, som när ett stort antal människor plötsligt kommer in rummet—så skickar sensorn nya mätningar, så att styrningen kan korrigeras.

När återkoppling är baserad på avvikelser från en matematisk modell så är ofta en kombination av flera signaler inblandade. Istället för ett intervall får man då en sluten yta. Har man exempelvis tre signaler med samma intervall, där återkoppling sker så fort som en av signalerna lämnar sitt intervall, så kan det ses som en sluten yta i form av en kub för kombinationen av de tre signalerna. Den optimala formen på den slutna ytan beror dock på det system man styr. Med hjälp av beräkningsmetoder som tagits fram i denna avhandling så kan man på datorväg räkna fram den optimala ytan för generella system. I avhandlingen bevisar vi också matematiskt att ellipsoider (motsvarigheten till ellipser, fast för högre dimensioner) är optimala för vissa klasser av system. Via simuleringar visar vi dessutom att ellipsoider ofta ger bra prestanda även i de fall de inte är optimala, och är därför ett bra generellt alternativ.



Effektiv händelsebaserad återkoppling är ofta baserad på en kombination av flera signaler i sensorn, där gränsen för att trigga återkoppling motsvarar en sluten yta. Den optimala formen på ytan beror på vilket system man styr, och kan beräknas med metoder framtagna i denna avhandling.