



LUNDS
UNIVERSITET

Effektiv Reglering av Transportsystem

Martin Heyden

Institutionen för Reglerteknik

Populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen *On the Control of Transportation Networks with Delays*, Januari 2022. Avhandlingen kan laddas ner från: <http://www.control.lth.se/publications>

Varje dag transporteras miljontals varor över hela världen. Att optimera dessa transporter kan ha stora ekonomiska och miljömässiga vinster. Denna avhandling studerar en modell för ett transportnätverk som beskriver hur varor kan transporteras mellan olika punkter i ett nätverk. Modellen kan till exempel beskriva bevattnings-nätverk eller logistiksystem. För bevattnings-nätverket är målet att hålla vattennivåerna i de olika kanalerna så nära en given höjd som möjligt. Detta ger alla odlare möjlighet att ta ut vatten från nätverket samtidigt som vattensvinnet minimeras.

Effektivast reglering uppnås oftast med automatisk reglering, där en eller flera regulatorer designas som baserat på mätningar från nätverket beräknar hur stora flödena ska vara. För att kunna reglera ett system på bästa sätt krävs generellt tillgång till komplett information om systemets tillstånd. För ett transportsystem betyder det att för att beräkna det optimala flödet mellan två punkter i nätverket krävs information om nivåerna i alla punkter i nätverket. Ett sätt att uppnå detta är att alla punkter i nätverket kommunicerar direkt med varandra. En annan metod är att man använder en central dator som tar emot all information och sedan beräknar de optimala flödena. Båda metoderna kan vara svåra att implementera i praktiken om nätverket innehåller många punkter, vilket transportnätverk ofta gör. Transportnätverk kan också vara belägna så att det finns begränsade kommunikationsmöjligheter mellan punkter i nätverket, både för mellan vilka punkter det går att skicka information och hur mycket information som kan skickas.

Ett sätt att minska mängden kommunikation som behövs vid implemen-



Exempel på en kanal i ett bevattnings-nätverk. Här styrs flödet manuellt.¹

¹Vmenkov, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons

teringen av en regulator är att designa regulatorer som har en struktur som gör dem lämpliga att implementera för stora nätverk. Till exempel kan man begränsa så att varje punkt i nätverket endast kommunicerar med sina grannar. Regulatorer med sådana begränsningar har dock generellt sämre prestanda än en regulator som är framtagen utan begränsningar.

Denna avhandling utvecklar metoder för reglering av transportsystem som är lämpliga att implementera på storskaliga system men ändå ger optimal prestanda. För att beräkna flödet mellan två punkter (t.ex. två kanaler) i nätverket behövs endast information om summan av nivåerna nedströms i nätverket. Denna summa kan återanvändas för beräkningar av den totala nivån längre upp i nätverket. Detta gör att informationsflödet i nätverket kan implementeras på ett effektivt sätt med en algoritm som går igenom nätverket i motströms riktning. Algoritmen börjar med att punkterna längst ned i nätverket skickar information om sin nivå till de punkter i nätverket som är direkt uppströms. Algoritmen fortsätter med att så fort en punkt får information om den totala nivån nedströms beräknas den totala nivån nedströms inklusive punkten själv och skickas uppströms. Detta fortsätter tills punkten högst upp i nätverket känner till den totala nivån i hela nätverket. Kommunikationsstrukturen illustreras för en enkel nätverksstruktur nedan.

I avhandlingen visas det också hur planerade störningar kan hanteras på ett optimalt sätt. En planerad störning kan till exempel vara en odlare som tar ut vatten från ett bevattnings-nätverk. Att i förväg kunna börja motverka effekten av sådana störningar ökar prestandan för systemet, vilket leder till att mindre vatten går till spillo.

Regulatorn testas på en modell för bevattnings-nätverk. Regulatorn designas med hjälp av en förenklad modell, och för att undvika att det blir vågor i kanalerna måste regulatorn utökas med ett lågpasfilter för flödet mellan två kanaler. Lågpasfiltret gör att flödet mellan kanalerna förändras långsamt, vilket gör att vågor ej uppstår. Den resulterande effektivitet för att hantera planerade störningar är nästan samma som det teoretiskt optimala som fås av en regulator som använder all information i nätverket och en perfekt modell för kanalerna.

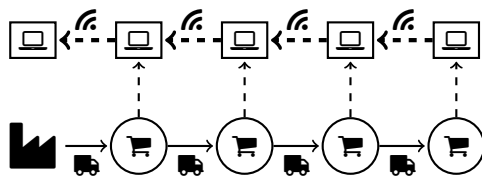


Illustration av kommunikationsstrukturen för regulatorn som studeras i avhandlingen. Heldragna pilar illustrerar flödet av varor och streckade pilar informationsflödet.