



LUNDS
UNIVERSITET

Resurshantering i kamerasystem

Alexandre Martins

Institutionen för Reglerteknik

Populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen *Resource Management in Distributed Camera Systems*, June 2022. Avhandlingen kan laddas ner från: <http://www.control.lth.se/publications>

Med utvecklingen av smarta städer och sakernas internet (Internet of Things eller IoT) växer mängden maskin-till-maskin-kommunikation väldigt snabbt. Ett exempel på detta är kamerasystem där små specialiserade smådatorer med bildsensorer kommunicerar via ett nätverk. De analyserar bilder från sensorer, exekverar algoritmer och skickar information och videodata till andra maskiner. Genom att uppskatta och fördela de använda resurserna på ett effektivt sätt kan vi minska resursanvändningen och säkerställa en bättre total servicekvalitet samtidigt som vi håller nere kostnaderna.

Ett typiskt videoövervakningssystem ägs av en säkerhetsavdelning, som köper eller hyr från en central lagringsleverantör P till ett fast pris. Målet är att maximera den totala videokvaliteten givet systembegränsningarna, d.v.s. driftskostnad och videolagringsstorlek. Den lagrade videoövervakningsfilmen bör sparas i några dagar och förstöras efteråt. Varje kamera C i systemet är oberoende och kommunicerar inte med andra kameror, deras enda syfte är att kontinuerligt skicka sin video till en lagringsplats.

Vi fokuserar på tilldelning av två resurser: lagringutrymme och nätverksbandbredd. Dessa resurser är beroende av varandra: tilldelning av den ena påverkar tilldelningen av den andra, eftersom man behöver ha tillräckligt med bandbredd för att kunna lagra en viss mängd data. Vi använder två tekniker som historiskt använts för resurstilldelning: spelteori och reglerteknik. Spelteori har använts vid bandbreddstilldelning i mobila telenätverk på grund av deras stora skala och bristen på förtroende mellan nätverksenheterna. Reglerteknik å andra sidan har använts för mer tidskritiska tillämpningar såsom minnesbandbreddstilldelning eller koordinering av distribuerade system.

Del 1: Reglerteknik tillämpad på kameranätverk.

Vi antar att kamerorna samarbetar och förväntas reagera på lagringsleverantörens P globala feedback angående resurstillgänglighet (Fig. 1.). Diskutrymmet såväl som nätverket mellan kamerorna och lagringsleverantören P är en delad resurs, det är önskvärt att lagra så mycket video som möjligt,

som uppfyller givna kvalitetsbegränsningar, samtidigt som man säkerställer en begränsad fördröjning.

Detta uppnås genom att välja vilken begränsning som är den viktigaste för varje kamera. För en kamera som används för direktvisning är en låg leveransfördröjning avgörande, medan en video dedikerad till lagringsapplikationer kan acceptera en högre fördröjning, men har högre lagringskrav.

För detta fokuserar vi först på tilldelning av diskutrymme och formulerar systemet som ett PI-reglerproblem kombinerat med en metod för att upprätthålla globala resursbegränsningar inspirerad av anti-windup-spårning. Vi formulerar sedan en tredelad modell: kameramodellen, nätverksmodellen och lagringsmodellen. PI-reglering och mid-ranging kombineras för att välja hur mycket av var och en av de delade resurserna som ska tilldelas till varje kamera.

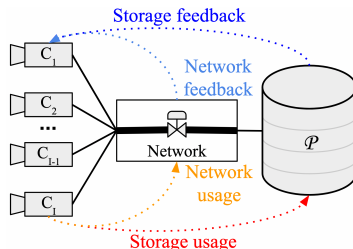


Fig. 1. Kontrollexempel.

Del 2: Prissättning och auktionsteori tillämpad på kameranätverk.

Här tittar vi istället på ett system där kamerorna C konkurrerar och försöker maximera sin egen videokvalitet oavsett andra resurskonsumenter.

Vi antar att kamerorna vid varje fördefinierad period, t.ex. en timme, en dag eller en vecka, behöver köpa lagringsutrymme från säljaren för att spara videon de genererar (Fig. 2.). Vid varje period fick kamerorna en summa pengar som de kunde använda efter eget gottfinnande för att köpa resurser. Beloppet de fick berodde på kostnaden för att driva systemet.

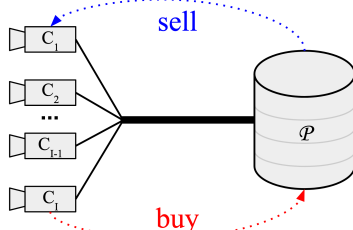


Fig. 2. Auktionsexempel.

Vi använder först principen om prisdiskriminering från mikroekonomi för att tilldela lagringsresurser. Lagringsenheter tvingade fram begränsning av resurstillgänglighet genom att använda prissättning. Målet för lagringsleverantören P är att konvergera till en optimal och enhetlig kvalitetsnivå för alla kameror i systemet givet de globala resursbegränsningarna. Vi använder därefter auktionsteori, närmare bestämt auktionsmekanismen Vickrey-Clarke-Groves (VCG). Varje kamera C får fortfarande samma summa pengar och skickar till lagringsleverantören P en uppsättning bud som innehåller mängden resurs de vill köpa och kostnaden de är villiga att betala för detta. Lagringsenheter väljer sedan den optimala tilldelning av resurser och deras kostnader.



LUNDS
UNIVERSITET

Resource Management in Distributed Camera Systems

Alexandre Martins

Automatic control department

Popular science summary of the PhD thesis *Resource Management in Distributed Camera Systems*, June 2022. The thesis may be downloaded from <http://www.control.lth.se/publications>

With the development of smart cities and the Internet of Things (IoT), the amount of machine to machine communication is fast growing. A good example of this is camera systems where small specialized computers analyze images provided by sensors, run algorithms in quasi real-time and send information and video data to other machines over the network. By estimating and allocating efficiently resources we can reduce the resource waste and ensure a better overall quality of service while keeping the costs of running it low.

A typical video surveillance system is owned by a security department, which buys or rents a central storage provider P at a fixed rate. The main system goal is to maximize the overall global video quality given the system constraints, i.e., the running cost and the video storage size. The stored video surveillance footage should be saved for some days and destroyed afterwards. Each camera C in the system is independent, their sole purpose is to continuously send their video to a storage location.

In this work we focus on allocation of two resources in camera systems: storage and network bandwidth. These resources are dependent: the allocation of one influences the allocation of the other, as one needs to have enough network resources to be able to store an amount of data at the receiver end.

We bridge two techniques historically used for resource allocation: game theory and automatic control. Game theory is used for bandwidth assignment in mobile telecommunication networks due to their large scale and the lack of trust between network the devices. Automatic control on the other hand is used for more specific and time critical applications such as memory bandwidth allocation or coordination of distributed systems.

Part 1: Control theory applied to camera networks.

We assume that the cameras are cooperating and expected to react to the storage provider's P global feedback regarding resource availability (Fig. 1.).

The disk space as well as the network between the cameras and the storage provider P is a shared resource, it is desirable to store as much video

as possible, satisfying given quality constraints, while ensuring a bounded transmission delay.

This is can be achieved by selecting which constraint is the most important for each camera C . For a camera used for live viewing, a low delivery delay is crucial, while a video dedicated to storage applications could accept a higher delay, but has higher storage requirements.

For this, we first focus on disk space allocation and formulate the system as a PI control problem combined with a method for enforcing global resource constraints inspired by anti-windup tracking. We then formulate the model with three parts: the camera model, the network model, and the storage model. PI control with anti-windup tracking and mid-ranging are combined to select how much of each of the shared resources should be allocated to each camera.

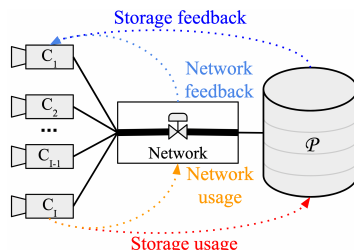


Fig. 1. Control example.

Part 2: Pricing and Auction theory applied to camera networks.

Here we consider a competitive setting where each camera C wants to maximize its own video quality regardless of the other resource consumers.

For this we design a framework where at every predefined period, e.g., an hour, a day, etc, the cameras need to buy storage from the seller to save the generated video, using the money at their disposal (Fig. 2.). At each period, the cameras obtain an amount of money that they could use at their discretion to buy resources. The amount they receive depends on the cost of running the system.

We first use the price discrimination principle from microeconomics to allocate storage resources. The storage units enforce the constraint on resource availability through the use of pricing. The goal of the storage provider P is to converge to an optimal and uniform quality level for all cameras in the system given the global resource constraints.

We then use auction theory, more precisely the Vickrey-Clarke-Groves (VCG) auction mechanism. Each camera C still receive the same amount of money and send a set of bids containing the amount of resource they desire to acquire and the associated cost they are willing to pay for it to the storage provider P . The storage units then select the optimal allocation of resources and their costs given the provided bids from cameras.

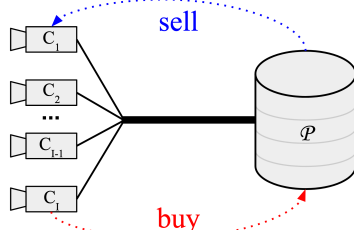


Fig. 2. Auction example.