

“Sparsom sampling”

– en ny digitalrevolution?

Forskere og ingeniører arbejder på at anvende nye lovende digitaliseringsteknikker til fx trådløs kommunikation og medicinsk billeddannelse. Det nye i teknikkerne er, at de bryder med et klassisk princip om, hvordan man oversætter kontinuerte signaler til digital information.

Forfatterne



Tobias Lindstrøm Jensen er post-doc Institut for Elektroniske Systemer Aalborg Universitet E-mail: tj@es.aau.dk



Carsten R. Kjær Aktuel Naturvidenskab red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hvis du er typen, der kan finde på at se en klassisk western, kan du sikkert genkalde dig en sekvens med en diligence, der sætter i fart, og pludselig ser det ud som om hjulene kører baglæns. Det fænomen fortæller noget grundlæggende om udfordringerne ved digitalisering. Film optages med et bestemt antal billeder pr. sekund, og dermed bliver virkelighedens ubrudte bevægelse delt op i et antal stillbilleder, hvor bevægelsen foregår i hak. Og når hjulet på diligencen kører rundt med en hastighed, hvor hjulet næsten er nået en omgang rundt pr. billede – men ikke helt – ser det ud som om egerne på hjulet langsomt bevæger sig i modsat retning af kørselsretningen.

Hjul, der ser ud til at køre baglæns på film, kan vi opfatte som en pudsighed. Men hvis man ønsker en så nøjagtig gengivelse af virkeligheden som muligt, kan et hjul, der ser ud til at køre baglæns, anses som en uacceptabel fejl ved den måde, man laver filmen på. Den samme problemstilling kan findes indenfor alle andre områder, hvor man digitaliserer information – fx indenfor billeder, lyd eller trådløs kommunikation.

Sampling

Digitalisering går principielt ud på at oversætte den kontinuerte fysiske verden – som hjulet, der kører rundt i en uafbrudt bevægelse – til en diskret kopi – dvs. som er delt op i et antal tællelige enheder (fx et antal billeder pr. sekund). Den tekniske betegnelse for denne manøvre, hvor man oversætter et kontinuert signal til et diskret signal er *sampling*. Faktisk bygger hele den digitale revolution indenfor elektronikområdet på nogle klassiske resultater opnået af Harry Nyquist og Claude Shannon, der siger, at når man konverterer et kontinuert signal til et diskret signal, skal man “sample to gange båndbredden”. Båndbredden betegner her det relevante frekvensområde. Hvis vi igen bruger analogien med hjulet på diligencen, kan man her opfatte båndbredden

som det antal gange hjulet kører rundt pr. sekund. Hvis det fx kører rundt 10 gange i sekundet (10 Hz), siger princippet altså, at filmen skal optages med mindst 20 billeder i sekundet for at indfange al informationen.

Et paradigme under forandring

Dette princip om, at der skal “samples to gange” båndbredden er så rodfæstet, at det er bygget ind i digitaliseringsenheden i stort set alle elektroniske apparater. Og al den viden, der er opbygget om kontinuert-til-diskret konvertering er baseret på disse klassiske resultater. Det skyldes selvfølgelig, at det virker! Man har dog i mange år på baggrund af praktiske erfaringer vidst, at det ikke altid er nødvendigt at sample to gange båndbredden for at få et tilstrækkeligt godt resultat. Og der kan være store perspektiver i at omsætte denne viden til praksis. Det er fx indlysende, at hvis man vil kunne opnå et lige så godt resultat ved at optage en film med 5 billeder i sekundet som med 20 billeder i sekundet, vil der være penge at spare på energi, apparatur og datamængder.

Det er dog først for nylig, at der er kommet mere generelle resultater, der viser, at ideen om såkaldt “sparsom” eller “tynd” sampling (på engelsk *sparse sampling*) vil kunne føre til et nyt digitalt gennembrud. Dette er blevet set som lidt af et paradigmeskift indenfor kontinuert-til-diskret konvertering, og verden over forsøger forskere og ingeniører at omsætte denne nye viden til konkrete anvendelser.

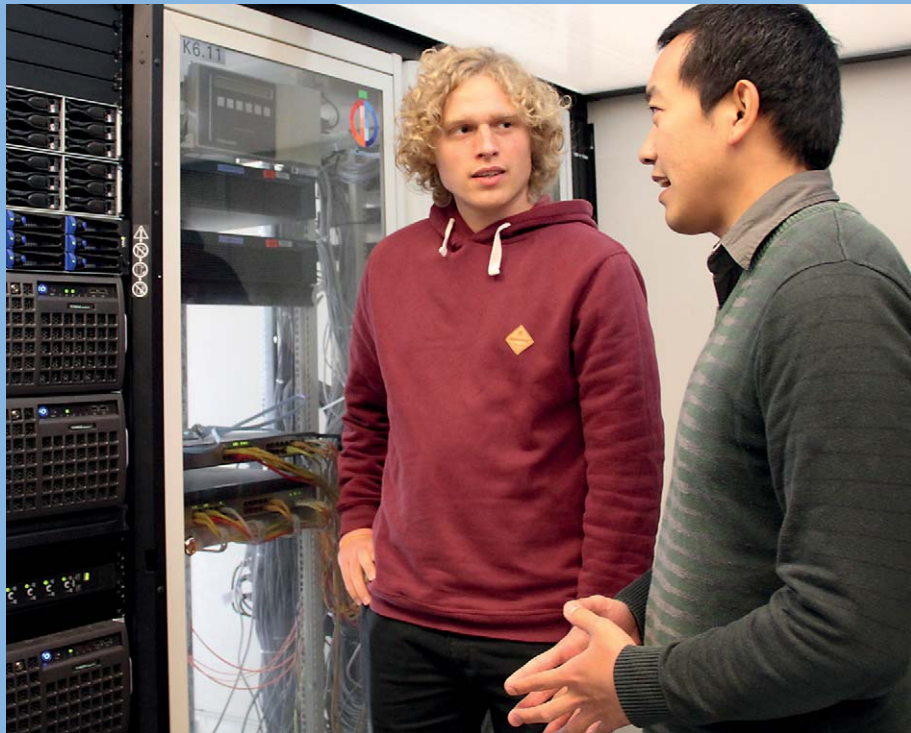
Teori og virkelighed

I diligence-eksemplet så vi, at man med den traditionelle metode skal optage filmen med 20 billeder i sekundet, hvis hjulet kører rundt med en hastighed på 10 omgange i sekundet. Hvis man i dette tilfælde skulle bruge sparse sampling, ville man i stedet optage billeder af den kørende diligence på nogle tilfældige tidspunkter med fx i gennemsnit 5

Masser af regnekraft

Projektet med sparse sampling indenfor trådløs kommunikation på Aalborg Universitet har krævet adgang til store computersystemer. Det skyldes, at der indenfor trådløs kommunikation simuleres for hændelse, der måske kun opstår i ét ud af titusinder tilfælde eller sjældnere. For at kunne få et retvisende billede af sandsynligheden for denne hændelse, kræves der mellem et par hundrede eller tusind af disse sjældne hændelser. Det betyder, at det samme eksperiment skal gentages mere end en million gange. Desuden skal der som nævnt i teksten bruges mere regnekraft for at kunne udføre sparsom sampling.

Til formålet anvendes et system med 16 kraftige individuelle computere. Det har gjort det muligt at skabe retvisende resultater indenfor rimelig tid. Systemet kan klare op til 44 TFLOPS i "single precision" og op til 16,4 TFLOPS i "double precision". 1 TFLOPS = 10^{12} beregninger per sekund. Begge tal er såkaldt "peak" mål. "Single precision" og "double precision" henviser til antal bits der benyttes til at repræsentere et tal, henholdsvis 32bit og 64bit.



billeder i sekundet. Det har nemlig vist sig, at man med meget stor sandsynlighed kan genskabe diligencens ubrudte bevægelse ud fra disse 5 tilfældige billeder.

Vi kan dog også se, at der ligger en antagelse om signalet bygget ind i tankeeksperimentet. Nemlig, at omdrejningshastigheden netop er 10 gange i sekundet. Men sådan opfører virkelighedens hjul sig jo ikke hele tiden – de ændrer hastighed. Så uanset om man bruger traditionel sampling eller sparse sampling kan man komme i en situation, hvor virkeligheden ikke passer til teorien.

Mange andre signaler har dog sådanne enkle beskrivelser, hvor signalet er hvad man kalder "båndbegrænset". Og faktisk bygger de nye resultater om sparse sampling på anden information om signalet end, at det nødvendigvis er båndbegrænset.

Vi kender det fra vores kamera, hvor et kamera med en opløsning på 10 megapixels tager billeder, der som rå data vil fylde 20-30 MB. Hvis det samme billede gemmes som et komprimeret JPEG-billede, fylder det kun 4-6 MB, uden at man med det blotte øje kan se forskel. Ved JPEG-komprimering benytter man en antagelse om, at et naturligt billede ofte indeholder områder med næsten konstant intensitet/farve. Som alle brugere af digitale kameraer ved, så virker JPEG-komprimering rigtig godt. Mange af de antagelser, vi kan have om signaler og billeder, er derfor ikke bare akademiske tankeeksperimente, men derimod yderst anvendelige.

Som at vende en supertanker

Det er dog lettere sagt end gjort at udnytte princippet om sparse sampling i verdens elektroniske apparater. Som nævnt er alt elektronisk udstyr og hele den digitale infrastruktur baseret på de klassiske resultater. Ja, man kan næsten sige, at det bliver indkodet i enhver elektronikingeniørs DNA, at det er sådan man skal gøre. Derfor er det et stort og svært område at flytte.

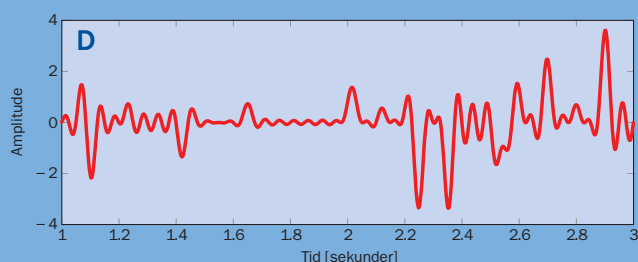
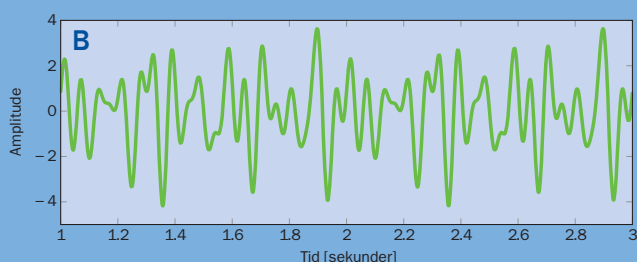
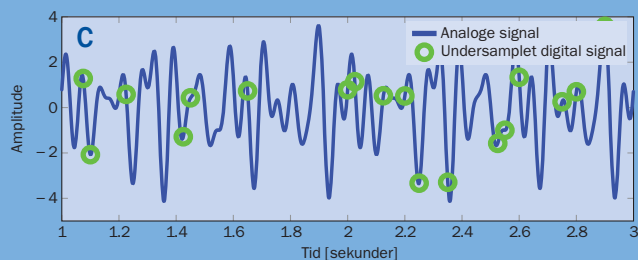
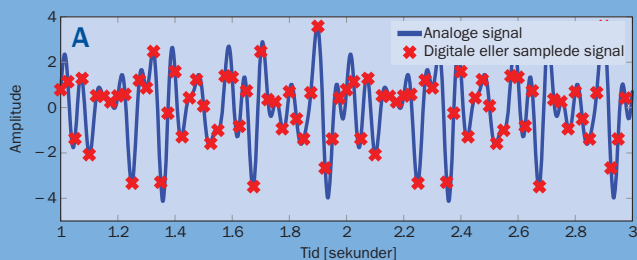
Det kan sammenlignes med at gå fra biler, der kører på flydende brændstof, til elbiler. Det er ikke nok bare at lave en ny motor: Motoren skal også passe sammen med resten af bilen, der skal opbygges en passende infrastruktur af genopladningsstationer, der skal være tillid til et fremtidigt brugtbilsmarked, og for at det hele skal give mening, skal det leveres konkurrencedygtigt til brugerne. Det er ikke en nem opgave!

Kan bruges til trådløs kommunikation

På Aalborg Universitet arbejder vi med at bruge digitaliseringsteknikker baseret på sparse sampling indenfor trådløs kommunikation. Indenfor standardiseret trådløs kommunikation som 3G og WiFi er der en masse regler for, hvordan de enheder, der afsender signalet skal være designet, mens der er langt færre regler for design af modtagerne. Derfor fokuserer projektet på modtagere, da det her vil være muligt at bruge de nye principper med et minimum af ændringer af hele systemet. Man vil således umiddelbart kunne bruge teknikkerne indenfor kendte standarder som 3G, LTE, GPS, ZigBee mv.

Systemadministrator
Mads Boye og
ph.d.-studerende Peng Li
diskuter brugen af projektets computersystem.

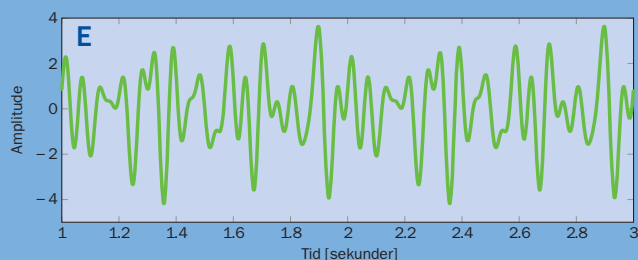
Eksempel på sparse sampling



A. Først har vi det originale signal (blå) og det traditionelt samplede signal (røde krydser). Med det traditionelt samplede signal kan man så rekonstruere det oprindelige analoge signal (grøn) (B).

C. Hvis vi igen tager det analoge signal (blå signal), men vi undersampler signalet og kun udtager nogle få samples (grønne cirkler). Hvis man forsøger at rekonstruere fra det undersamplede digitale signal med den traditionelle metode, så får man et meget unøjagtigt analogt signal (D).

Hvis man i stedet rekonstruerer fra det undersamplede signal, men med nye metoder baseret på sparse sampling, så får man et meget nøjagtigt analogt signal (E).



Videre læsning

Artikel fra Wired: Fill in the Blanks: using Math to Turn Lo-Res Datasets Into Hi-Res Samples
www.wired.com/magazine/2010/02/ff_algorithm/all/1

Artikel fra Informationweek.com: Megapixel Images Created With One Pixel
www.informationweek.com/megapixel-images-created-with-one-pixel/193300073

Om projektet ved Aalborg universitet
Søg på "SparSig" på <http://vbn.aau.dk>

En udfordring ved sparse digitalisering er, at det generelt er beregningsmæssigt tungere. Der skal simpelthen mere computerpower til for at håndtere disse nye sparse samplede signaler. For at blive i filmeksemplet kan man sige, at man ved at optage film med færre billeder i sekundet flytter opgaven med at skabe et ligeså godt resultat som ved en optagelse med flere billeder i sekundet hen på den "regneenhed", der skal processere signalet. Og det kan være en så stor beregningsmæssig opgave, at det er urealistisk at kunne håndtere det på fx håndholdte enheder.

Vi har imidlertid vist, hvordan nogle specifikke teknikker kan anvendes indenfor digital kommunikation, som ikke øger de beregningsmæssige krav nævneværdigt. Det gør, at disse metoder vil kunne anvendes allerede i dag. Dog introduceres der en smule ekstra støj, som ikke kan undgås. Det betyder, at man fx vil kunne få en længere batteritid på sin computer, hvis man accepterer en lidt svagere forbindelse og dermed lavere datahastighed.

Mindre tidsforbrug

Ideerne om sparse sampling kan også benyttes til at reducere dataopsamlings tid. Det er fx interessant indenfor medicinsk billedbehandling, hvor man

bruger scannere (som MR-scannere) til at danne billeder af patientens indre. Sådanne scannere er meget dyre og derfor gælder det om at minimere den tid, patienten opholder sig i scanneren, uden at det går ud over billedkvaliteten. Så her er der afgjort perspektiver i sparse sampling – også fordi det i disse situationer vil være muligt at skaffe den nødvendige computerpower.

På Aalborg Universitet fortsætter arbejdet med sparse sampling i et projekt indenfor billedområdet, nærmere bestemt mikroskopi på nanoskala, støttet af Det frie Forskningsråd for Teknologi og Produktion. Her er ideen, ligesom med patientscannerne, at reducere den tid, det tager at danne et billede med acceptabel billedkvalitet. Igen for at øge værdien og produktiviteten af disse mikroskopiapparater.

Med den øgede forståelse af sparse sampling de seneste år er der efterhånden ved at være bygget en del systemer op omkring sparse sampling. Indenfor en årrække vil vi derfor sandsynligvis se principperne om sparse sampling blive bygget ind i en del af de apparater, vi benytter i dagligdagen. Som det ofte er tilfældet med teknologiudvikling, vil denne lille digitale revolution forløbe helt uden, at vi som almindelige forbrugere vil bemærke noget som helst. ■