

Industriel anvendelse af neurale netværk

Lars Kai Hansen og Niels Lindbo Larsen

Det er nok mulighederne for at *specificere ved eksempel*, der først og fremmest har vakt den industrielle interesse for neurale net. Masser af automatiseringsopgaver er tidligere strandet på ufleksible modeller. Ved at bruge neurale net kan man realisere vilkårlige overføringsfunktioner, dog med de vigtige forbehold at der kan skaffes det nødvendige antal relevante eksempler, samt at der er computertid nok til rådighed.

I det virkelige liv er neurale netværk del af et større *system design*, hvori indgår forbehandling, efterbehandling, samt eventuelt konventionelle programmer, der udfører regelbaserede opgaver. Man kan illustrere de forskellige aspekter af udviklingen af et sådant system med en kort gennemgang af et konkret eksempel:

Andrex Radiation Products A/S, der er en mellemstor virksomhed beliggende på Islands Brygge i København, har igennem de sidste fem-seks år udviklet et automatisk system til industriel røntgen-inspektion. Det samlede system involverer robot-manipulation og *real-time* radiografi og anvendes til inspektion af letmetall støbninger.

Det basale datamateriale består af et digitalt røntgenbillede. I semi-automatiske systemer præsenteres billedet for en inspektør, der kvalitetsvurderer støbningen på baggrund af erfaringer og sammenligning med industrielle standarder. Han kigger efter fejl i form af gasbobler, slagger eller revner i støbningen. Andrex leverer sådanne systemer til fly- og bil-industrien, som stiller store krav til kvaliteten af de leverede emner og dermed til inspektionen.

Det er imidlertid særdeles udmattende at inspicere de kontrastrige røntgenbilleder. Resultatet heraf bliver faldende reproducerbarhed, og man må derfor lade operatørerne arbejde i ekstreme skift, helt ned til 20 minutters varighed. Der er derfor et stort behov for automatisering af den visuelle inspektion. De tidlige forsøg, der var baseret på konventionel billedanalyse, var ikke vellykkede, til trods at Andrex var tidligt ude med blandt andet kraftige parallelcomputere. De matematiske modeller var simpelthen ikke fleksible nok til at håndtere de billede-til-billede variationer, der helt naturligt opstår på grund af støbningernes tilladte tolerancer.

Et af de velkendte tricks fra billedanalysen består i at subtrahere billedet af en fejlfri referencestøbning. Hvis billedoptagelsen er reproducerbar, vil resultatet af en sådan subtraktion jo netop være de fejl og mangler som den aktuelle støbning eventuelt har. Når man bruger dette trick på røntgenbilleder, viser det sig dog hurtigt, at reproducerbarheden slet ikke er tilstrækkelig. Selvom billederne for det menneskelige synsapparat ser ens ud, vil subtraktionsbilledet for computeren, være totalt domineret af de småvariationer, der forekommer indenfor de tilladte tolerancer.

Andrex har løst dette problem ved at udvikle et

sæt billedbehandlingsnetværk, der frembringer en tilpasset referencestøbning, som svarer til den aktuelle støbnings position og mål. Med denne reference kan der foretages fornuftig subtraktion, hvor billedet ikke er domineret af små placeringsfejl, men af reelle støbefejl. Resultatet heraf kan fortolkes af et efterfølgende fejldektektionsnetværk. En optisk udgave af dette netværk er omtalt på side 20. Det givne mønster af fejl fortolkes derefter i et lille regelbaseret system, der implementerer de industrielle standarder.

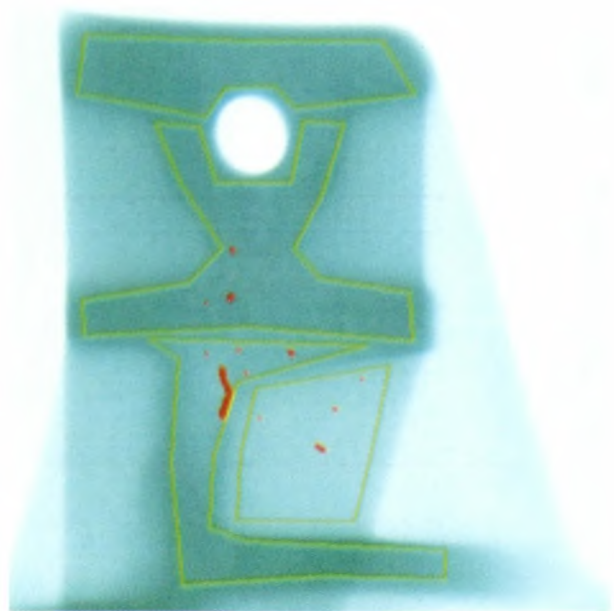
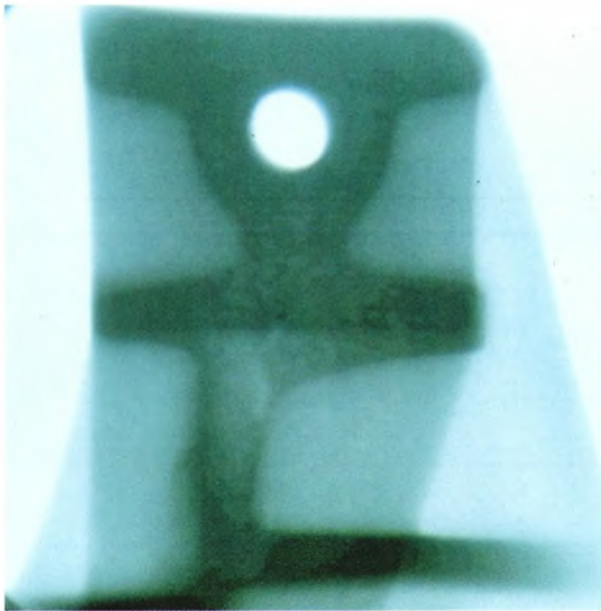
I de tidlige prototyper var der også problemer med, at fejlene har meget forskellig betydning afhængigt af deres position i forhold til støbningen, nogle områder er mere kritiske end andre. Dette problem er blevet løst med et standard feed-forward net, der udpeger de relevante inspektionsområder. I hvert af disse kan der angives specifikke kvalitetskrav. Dette netværk optrænes ved operatørdefinerede eksempler. For eksempel kan operatøren fortælle programmet, at et hårdt belastet område i nærheden af et leje skal være fejlfrit.

Til træningen er der endvidere udviklet en forholdsvis avanceret brugerflade, der giver operatøren mulighed for at ændre de relevante inspektionsområder. Et karakteristisk problem for praktiske anvendelser af overvåget indlæring er, at *det tager tid at lave eksempler*. Med andre ord, operatør en skal have mulighed for at lave gode eksempler, og specielt skal der være mulighed for at undgå at spilde tiden med producere gentagne eksempler.

Det har været en stor udfordring, at systemet skal kunne trænes af brugeren. Typisk har brugeren forstand på støbninger, men ikke indsigt i netværk eller overvåget indlæring. Det basale designprincip bag realiseringen af dette krav, har været at bryde træningsprocessen op i moduler. Systemet trænes trin for trin, og man kan se delresultater direkte på billederne, og sikre sig, at nettene gør det, de skal.

Hastighed er en alvorlig udfordring for systemer, der skal konkurrere med det menneskelige synsapparat. Da systemet forelå i den første prototype i 1988-89, blev der foretaget en større undersøgelse af markedet for industrielle parallelcomputere. Det er jo en netop en af fordelene ved neurale net at de er født parallelle, og at faktisk alle de velkendte parallelarkitekturer er brugbare. Fra SIMD (Single Instruction Multiple Data), hvor alle parallelcomputerens små-processorer har samme program og arbejder i takt, til MIMD (Multiple Instruction Multiple Data) arkitekturer som består af løst koblede, større processorer.

Gennem vores forsøg med en lang række forskellige maskiner lærte vi, at der i praksis er store forskelle i hvor effektivt de implementerer neurale netværk. For en del af disse var det et problem, at datamængden for



Figur 1. Digitaliserede radiografier af en letmetalstøbning. Til venstre det originale billede. Der er tre grunde til, at dette ikke modsvarer noget referencebillede. For det første er der tolerancer i position og vinkler når robotten holder emnet i røntgenkameraet. For det andet er der små, tilladte, variationer i godstykkelsen. Og for det tredje er der egentlige fejl. Til højre ses det behandlede billede. Her er tre inspektionsområder blevet markerede og der er fundet et antal fejl, markeret med rødt, i støbningen.

digitaliseret video er godt 10 Mbyte/sek. For andre maskiner var der problemer med at implementere netværkenes ulineære kvasefunktioner — de pågældende maskiner var simpelt hen udviklet med henblik på specifikke, lineære, billedanalysemetoder. Efter test-implementeringerne blev i første omgang valgt et mimd-system af *Transputere* fra det engelske firma INMOS Ltd. En Transputer leverer cirka en MegaFlop i sekundet, og kan med fire hurtige kommunikationskanaler forbindes i een- og todimensionale netværk. Senere har Andrex udviklet en ny version af programmet for de mere kost-effektive i860 chips fra Intel.

Som det fremgår, er den væsentligste årsag til at anvende neurale netværk ved røntgeninspektion, at systemet kan gøres adaptivt og fleksibelt gennem overvåget indlæring. Det samme program kan genbruges til

forskellige inspektionsopgaver. Operatøren behøver ikke i detaljer at kende modellens virkemåde, men skal blot kunne vurdere, om der kommer det rigtige output. Endvidere er det en fordel, at netværksalgoritmerne er naturligt parallelle.

Systemer, der skal kunne se som Andrex' robot-med-røntgensyn, har brug for betydelige computerressourcer, og dette opnås billigst gennem multiprocessorimplementering. De tilgængelige multiprocessorsystemer lader dog noget tilbage i effektivitet, og det er vores opfattelse at de afgørende massive anvendelser af neurale net, såsom intelligente TV-apparater og anden forbrugerelektronik, der kan se, høre og forstå, først vil fremkomme, når billige neuro-chips bliver tilgængelige.



Lars Kai Hansen lic.scient. (fysik). Udviklede fra 1987-90 neurale billedbehandlingssystemer hos Andrex Radiation Products A/S. Fra 1990 adjunkt ved Elektronisk Institut, DTH. Forsker i neural netværksteori, samt anvendelser indenfor signalbehandling.



Niels Lindbo Larsen Ingeniør, 32 år, har siden 1987 udviklet multiprocessorbaserede digitale billedbehandlingssystemer hos Andrex Radiation Products A/S.