På Danmarks Tekniske Universitet er der gennem årene opbygget et af verdens absolut førende forskningsmiljøer, når det gælder ultralydscannere og relaterede teknologier. Professor Jørgen Arendt Jensen har haft en hovedrolle i den forbindelse, og her ses han foran 'hardwaren' til en ny banebrydende ultralydscanner. (Foto: Sisse Jarner).

FPGA'en i centrum i dansk mega-projekt

Avanceret dataopsamling og ultrahurtig digital signalbehandling baseret på brug af bl.a. FPGA'er indgår som et centralt element i et særdeles ambitiøst, fireårigt dansk forskningsprojekt indenfor ultralydscannere på 'Center for hurtig ultralydbilleddannelse (CFU)', der er tilknyttet Ørsted•DTU.

Af Lars Kristiansen

Med professor Jørgen Arendt Jensen som primus motor er der på Danmarks Tekniske Universitet (DTU) gennem årene opbygget et af verdens absolut førende forskningsmiljøer, når det gælder ultralydscannere og relaterede teknologier.

Gennem forskellige forskningsprojekter er det således lykkedes at markere DTU blandt de mest innovative og nyskabende indenfor et forskningsområde, der kun kan betegnes som endog særdeles tværfagligt, idet der i den type udviklingsprojekter indgår elementer fra såvel medicin, akustik, fysik som matematik, ligesom viden om opbygning af state-of-the-art hardware til brug i forbindelse med dataopsamling og den efterfølgende signalbehandling selvfølgelig også er hjørnestene i forbindelse med den praktiske opbygning af den type systemer.

I slutningen af 1998 blev der under navnet *Center for hurtig ultralydbilleddannelse, CFU,* igangsat et af de hidtil mest ambitiøse forskningsprojekter indenfor området. Centeret er et tværfagligt samarbejde mellem forskning (DTU), industri (B-K Medical A/S i Gentofte og I/O Consulting i Valby) og læger (ultralydafdelingerne på KAS Herlev og Gentofte). Med et samlet budget på ikke mindre end 23 mio. kr. over en fireårig projektperiode, er det målet at udvikle en ny type ultralydscanner, der rent teknologisk hviler på et helt andet fundament end de eksisterende scannere.

- Meget populært kan man sige, at de nuværende generationer af ultralydscannere er baseret på et koncept, hvor man udsender en kort puls i én retning, som efterfølgende opsamles og signalbehandles. I det igangværende projekt har vi arbejdet på at opbygge en ultralydscanner, hvor man fra en lang række parallelle signalkilder sender lange pulser frit i alle retninger, hvorefter billederne dannes via en efterfølgende kompleks digital signalbehandling af de reflekterede signaler, forklarer Jørgen Arendt Jensen.

En succesfuld implementering af den nye teknologi vil ikke alene bane vejen for at ge-

...FORTSÆTTES SIDE 6

FORTSAT FRA SIDE 4:

nerere to- og tredimensionelle ultralydbilleder med høj opløsning og kontrast. Teknologien vil også kunne bruges til i *realtid* at finde blodets hastighed i kroppen bedre, så disse målinger bliver kvantitative og *vektorielle*, hvilket er af meget stor diagnostisk betydning.

Kolossale teknologiske udfordringer

Det siger sig selv, at projektet - hvis forskningsmæssige platform er baseret på otte Phd-projekter, der er gennemført eller i gang på CFU - repræsenterer en kolossal teknologisk udfordring, fordi forskerne bevæger sig ind i områder, hvor ingen har været før.

Men her, hvor projektet snart går ind i sit fjerde år, er man kommet så langt, at der nu er opbygget et fuldt funktionsdygtigt ultralydsystem, som allerede nu benyttes til forskningsaktiviteterne på CFU, og det vil indenfor en forholdsvis kort tidshorisiont også blive anvendt til forskellige kliniske test.

- Der er tale om det første og foreløbig eneste system i verden, hvor man arbejder med ultralydscanning baseret på en teknik, hvor man sender kodede ultralydsignaler ud i alle retninger, siger Jørgen Arendt Jensen.

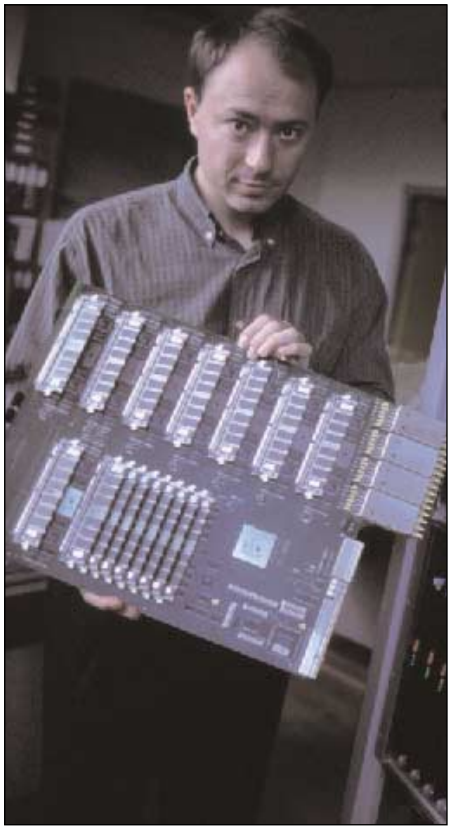
Systemet arbejder med en *billeddannelse* på 5000 billeder/s, hvilket svarer til, at der opsamles og processeres data med en hastighed på mellem 5 og 6 Gbyte/s, svarende til en DVD film pr. sekund.

Og at der virkelig er tale om et *megaprojekt* baseret på brug af *mikroelektronik* afspejles ikke mindst i hardwareopbygningen af ultralydsystemet, der nok kandiderer til titlen som et af de mest komplekse, der er realiseret i et dansk forskningsprojekt nogensinde.

Over 50 komplekse moduler

Ultralydscanneren er således opbygget af omkring 50 moduler, hvoraf flere har en fysisk opbygning og en kompleksitet, som kun sjældent - eller måske endda aldrig - ses i kommercielle systemløsninger.

Det gælder bl.a. opbygningen af receiver- og transmitterenhederne, der hver består af otte parallelt opererende moduler, som sammen med de øvrige moduler i systemløsningen er integrereret i to 19" racks.



I/O Consulting har haft ansvaret for udviklingen af hele hardwareplatformen i den nye ultralydscanner. Her ses projektleder Ole Holm med et af de otte receiverboard med en fysisk dimension på 53 x 37 cm (!). På de enkelte moduler indgår der bl.a. 10 FPGA'er, hvor den største er på mere end 1 mio. gates. Integreret på modulet er der endvidere bl.a. general-purpose DSP'er og en række A/D-konvertere samt memoryblokke med en samlet kapacitet på 3 Gbyte RAM. (Foto: Sisse Jarner).

Hver af de otte moduler i receiverenheden har således fysiske dimension på 53 x 37 cm (!), og på de enkelte moduler indgår der bl.a. 10 FPGA'er, hvor den største er på mere end 1 mio. gates. Integreret på modulet er der endvidere bl.a. en general-purpose SHARC DSP'er og otte 40 MHz/12 bits A/D-konvertere samt memoryblokke med en kapacitet på 3 Gbytes.

- Den samlede komponent- og materialepris for hvert recievermodul ligger et stykke over 100.000 kr. Alene printet i modulet - der er opbygget med 12 lag - koster over 20.000 kr, og det er i øvrigt kun ganske få printleverandører, som overhovedet tør gå i kast med et sådan design, forklarer projektleder Ole Holm fra firmaet I/O Consulting A/S, der har været ansvarlig for udviklingen af hele hardwareplatformen i den nye ultralydscanner.

I systemløsningen indgår der i øvrigt også to store backplanemoduler, som sørger for forbindelse mellem modulerne i de to 19" racks, samt over 30 mindre systemmoduler. Totalt rummer systemet mere end 24 GBytes RAM og 104 store FPGA'er.

Fleksibiliteten i højsædet

I traditionelle ultralydsystemer er signalbehandlings- og processeringsenheden implementeret ved brug af dedikerede chips, fordi man på den måde får den mest kosteffektive løsning. En sådan implementering har imidlertid ikke været gangbar i projektet på CFU, fordi det her netop er helt afgørende, at det er nemt og hurtigt at teste forskellige teorier og algoritmer indenfor avanceret ultralydbilledbehandling.

- Derfor har fleksibiliteten og muligheden for hurtig programmering og reprogrammering af systemet haft meget høj prioritet i forbindelse med systemspecifikationen, understreger Jørgen Arendt Jensen.

For at honorere fleksibilitetskravene har man i forbindelse med definitionen af hardwarearkitekturen derfor valgt at baserere systemløsningen på en udstrakt brug af programmerbare FPGA'ere, som udover programmeringsfleksibiliteten også udmærker sig ved, at de er særdeles velegnede til håndtering af komplekse algoritmer med en hastighed, som er mange faktorer højere, end det kan lade sig gøre med brug af general-purpose DSP'er, der som nævnt dog også bruges i systemet.

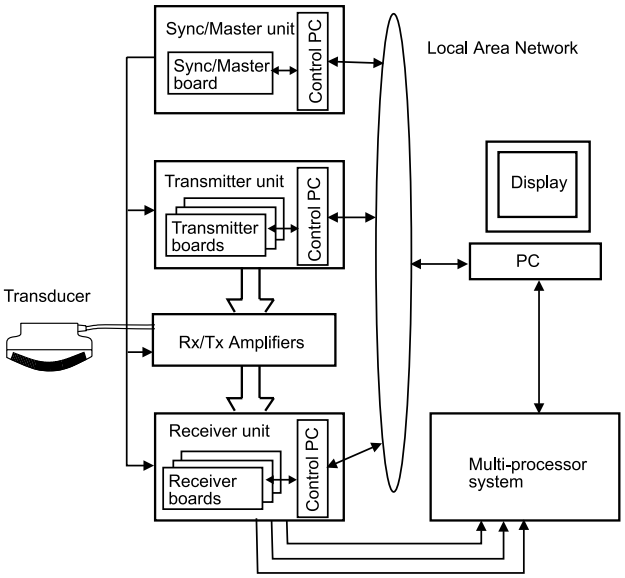
Applikation og hardware er adskilt

I forbindelse med systemspecifikationen er der også lagt meget vægt på at opbygge en løsning, hvor der er total adskillelse mellem applikationsprogrammerne på den ene side og den grundlæggende hardware på den anden. Og i praksis er der realiseret en fuldt softwareprogrammerbar løsning, hvor også signalprocesseringsenhederne kan rekonfigureres ved brug af software.

I hver af de primære systemelementer i ultralydscannerne er der således integreret en indlejret kontrol pc med et standard PCI-interface som snitflade til den rekonfigurerbare hardware. De indlejrede pc'er, der styrer funktionen af de enkelte moduler, kommunikerer via 100 Mbit/s Ethernetforbindelser videre til en række Linux-baserede

...FORTSÆTTES SIDE 8

FORTSAT FRA SIDE 6:



Figur 1. Det overordnede systemdiagram for ultralydscanneren.

pc'er, der er ansvarlige for den overordnede systemstyring og -programmering.

- Hele den overordnede systemstyring og hardwareprogrammering foregår ved brug af højniveausprog som C og Matlab. Programmering af systemet til håndtering af en eller anden dedikeret billedbehandlingsalgoritme, som man ønsker at teste, kan således skrives i Matlab på en pc'er, som er koblet direkte op til selve ultralydscanneren via Ethernet-linken. På den måde er det meget hurtigt at teste og afprøve ny software, uden at der skal laves ændringer i selve hardwaren udover reprogrammeringen af FPGA'erne, der jo foregår direkte fra system pc'en, siger Jørgen Arendt Jensen.

64 kanaler samples på én gang

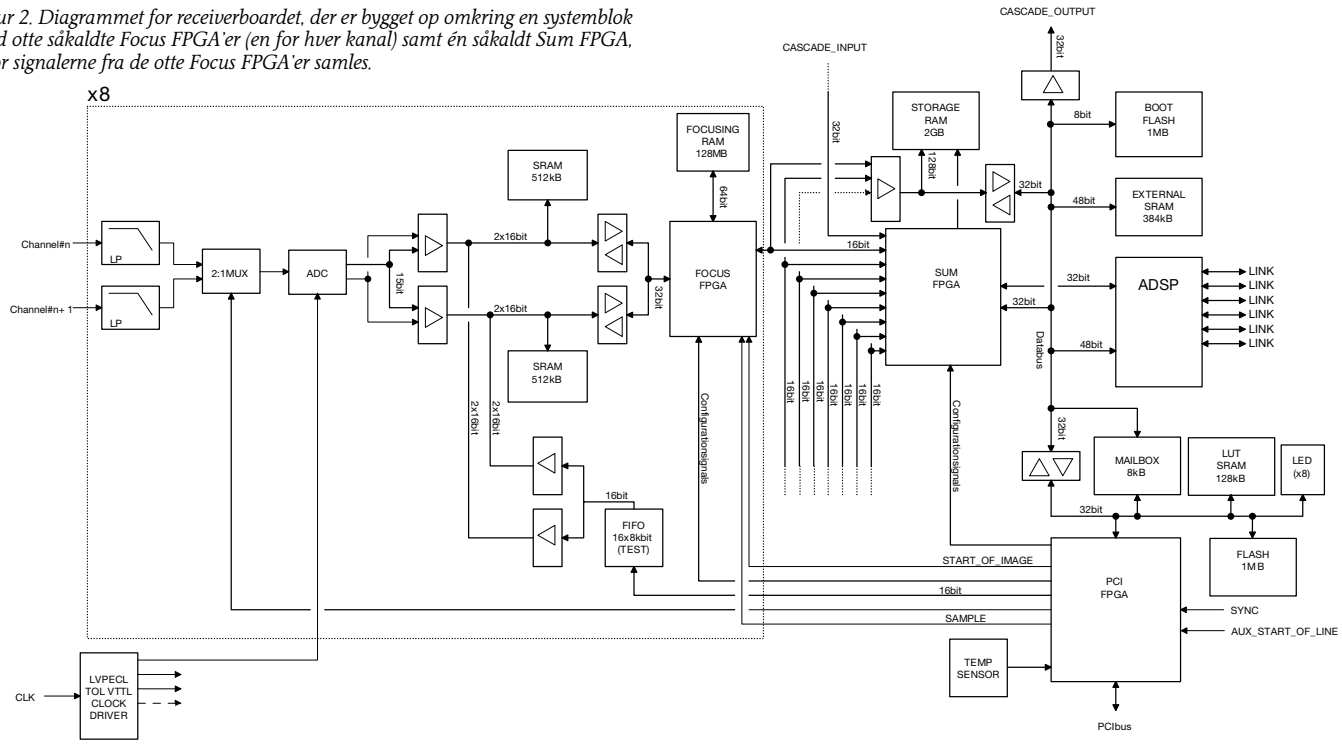
Ultralydscanneren kan arbejde med op til 128 transducerelementer og kan modtage og sample data fra op til 64 kanaler på én gang ved en klokhastighed på 40 MHz og med 12-bits præcision.

Som illustreret på figur 1, så består ultralydscanneren helt overordnet af fire systemelementer: Transmitterenheden, receive/transmit (Rx/Tx) forstærkerenheden, receiversampling enheden samt sync/master-enheden.

Forbindelsen mellem de 128 ultralydtransducere og Rx/Tx-forstærkeren samt sende/modtagere er etableret ved brug af 384 koaxkabler. Transmitteren sender signalerne gennem transmitforstærkeren, og receiverenheden sampler de forstærkede signaler fra Rx/Tx forstærkerne. Sync/master-enheden, der indeholder en klokoscillator, styrer timingen af scanningprocessen. Data for boardkonfigureringen i forbindelse med den aktuelle ultralydscanning overføres fra kontrol pc'erne til de enkelte transmitter- og receiverboards.

Data fra samplingen processeres på hver af de otte receiverboards (hver med otte kanaler) ved hjælp af ni FPGA'er (en tiende FPGA bruges til implementering af PCI-snitfladen).

Som illustreret på figur 2, er den FPGA-baserede processering opdelt i to hovedblokke: En blok, der er bygget op omkring otte såkaldte *Focus FPGA'er*, som er ansvarlig for processeringen af signaler fra hver af de otte kanaler, samt én såkaldt *Sum FPGA*, hvor signalerne fra de otte Focus FPGA'ere efterfølgende summeres. Som Focus FPGA'er anvendes kredse fra Xilinx' Virtex familie med omkring 300.000 gates, mens Sum FPGA'en ligeledes er en Virtex-kreds - dog med over 1 mio. gates

Efter summeringen 'læses' resultatet af en eller flere signalprocessorer (SHARC DSP'er fra Analog Devices), som kan forbindes indbyrdes gennem op til seks linkinterfaces, der hver kan overføre op til 40 Mbytes/s. Data og programmer overføres via disse links, og det samlede ultralydbillede overføres herigennem til den overordnede system pc'er, hvor ultralydbillederne kan vises. ■

Figur 2. Diagrammet for receiverboardet, der er bygget op omkring en systemblok med otte såkaldte Focus FPGA'er (en for hver kanal) samt én såkaldt Sum FPGA, hvor signalerne fra de otte Focus FPGA'er samles.