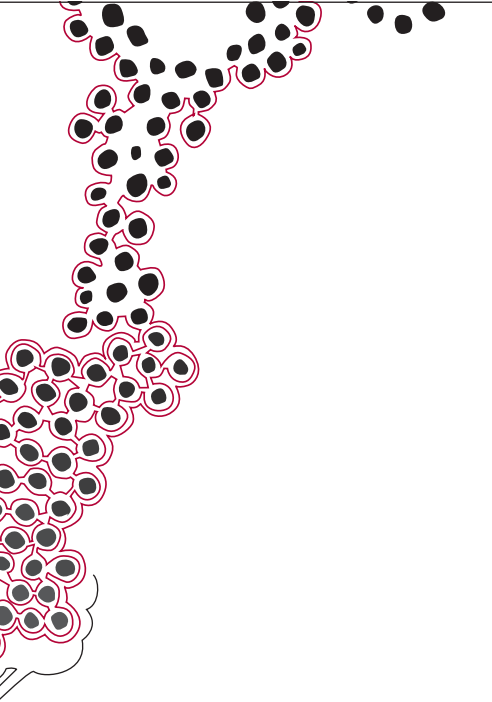
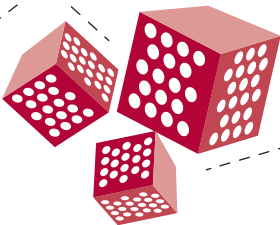


ORATIE
15 NOVEMBER 2012



REAL-TIME EMBEDDED COMPUTER SYSTEMEN, ONTWERP EN ANALYSE

PROF.DR.IR. M.J.G. BEKOOIJ



UNIVERSITEIT TWENTE.

REAL-TIME EMBEDDED COMPUTER SYSTEMEN, ONTWERP EN ANALYSE

REDE UITGESPROKEN BIJ HET AANVAARDEN
VAN HET AMBT VAN HOOGLERAAR

PREDICTABLE AND COMPOSABLE
MULTIPROCESSOR DESIGN

AAN DE FACULTEIT ELEKTROTECHNIEK,
WISKUNDE EN INFORMATICA
VAN DE UNIVERSITEIT TWENTE
OP DONDERDAG 15 NOVEMBER 2012
DOOR

PROF.DR.IR. M.J.G. BEKOOIJ

MIJNHEER DE RECTOR MAGNIFICUS, DAMES EN HEREN,

INLEIDING:

De titel van mijn oratie is “Real-time embedded computer systemen, ontwerp en analyse”. De komende 45 minuten zal ik proberen duidelijk te maken waarom dit onderwerp thuis hoort in de computer architectuur groep van de Universiteit Twente. Daarbij zal ik ingaan op de relevantie van het onderwerp, de uitdagingen en de mogelijke oplossingen.

Aangezien het merendeel van de aanwezigen waarschijnlijk onbekend is met de begrippen “real-time” en “embedded systemen” zal ik deze begrippen eerst verduidelijken, door een parallel te trekken met de historische ontwikkeling van klokken, en de invloed die deze heeft gehad op onze samenleving. Dit zal duidelijk maken wat het belang is van het opstellen van een planning. Zo’n planning kan alleen opgesteld worden als er voorspeld kan worden hoe lang activiteiten duren.

Ook voor embedded computer systemen blijkt het opstellen van een planning essentieel. Aan de hand van praktische voorbeelden zal ik illustreren dat de nauwkeurigheid waarmee een planning opgesteld moet kunnen worden afhangt van het type systeem. Als onderdeel daarvan zal ik uitleggen wat het nauwkeurig voorspellen van hoe lang activiteiten gaan duren lastig maakt.

Het zal u waarschijnlijk niet verbazen dat er al veel onderzoek gedaan is aan real-time embedded systemen. Het meeste onderzoek heeft zich gericht op het ontwikkelen van analyse technieken voor systemen met slechts 1 rekeneenheid. Zo’n rekeneenheid wordt een processor genoemd. Echter, door het voortschrijden van de halfgeleider technologie is het recentelijk mogelijk geworden om tegen lage kosten meerdere

processoren op een chip te integreren. Voor dit soort systemen bleken de beschikbare analyse technieken niet geschikt. Ik zal kort uitleggen hoe mijn onderzoek heeft bijgedragen aan het ontwikkelen van technieken voor systemen met meerdere processoren. Zo'n systeem met meerdere processoren wordt een multiprocessor systeem genoemd.

Ondanks dat de ontwikkelde technieken hun eerste toepassing inmiddels hebben gevonden staan de analyse technieken voor multiprocessor systemen nog steeds in de kinderschoenen. Ik zal een aantal veelbelovende richtingen schetsen waarlangs deze technieken zich waarschijnlijk verder zullen ontwikkelen.

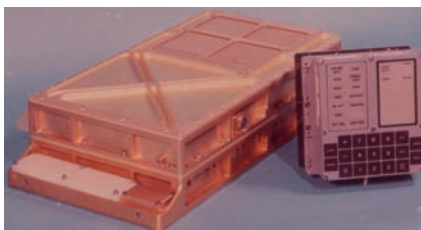
De ontwikkeling van de analyse technieken had niet plaatsgevonden zonder een intensieve samenwerking tussen het bedrijfsleven en de universiteit. Om die reden zal ik tot slot kort mijn visie geven op de relatie tussen de universiteit en het bedrijfsleven en welke rol het deeltijd hoogleraarschap hierin kan spelen.

CONTEXT:

Ik zal nu eerst uitleggen wat real-time embedded systemen zijn en wat de relevantie van deze systemen is.

Een embedded systeem is een computersysteem dat geïntegreerd is in gebruiksartikelen of apparaten, met de bedoeling deze een vorm van intelligent gedrag te verschaffen. Vaak zit een embedded computer systeem in een apparaat, dat door velen niet meer als computer herkend wordt doordat het geen beeldscherm en toetsenbord heeft.

Eén van de eerste embedded systemen was de Apollo vluchtbegeleidingscomputer die in 1966 ontwikkeld is. Dit embedded systeem was onderdeel van de bemande capsule die bij de eerste maanlanding gebruikt is. Het systeem bevatte één processor die bestond uit 2800 losse componenten. Door de vele losse componenten was hij erg duur en niet erg betrouwbaar.



Figuur 1: Apollo vluchtbegeleidingscomputer uit 1966

Tegenwoordig kunnen meerder processoren geïntegreerd worden op één chip. De lage productiekosten van chips maakt het mogelijk om embedded systemen met meerdere processoren in veel producten toe te passen. Voorbeelden hiervan zijn pinautomaten, betaalkaarten, kopieermachines, mobiele telefoons, radio's, televisies, wasmachines, pacemakers, auto's, vliegtuigen, raketten en robots.

De wereldmarkt voor embedded systemen heeft inmiddels naar schatting een volume van ruim 125 miljard US\$ bereikt [1]. In Nederland

zijn veel bedrijven actief in deze markt, waaronder multinationals zoals Philips, NXP, OCE, Thales, en ASML. Deze bedrijven vallen onder de hightech systemen en materialen topsector. De toegevoegde waarde van deze sector was 23 miljard euro in 2009 en er werken ongeveer 390.000 mensen [2].

Een embedded systeem bestaat uit een sensor gedeelte dat de omgeving waarneemt, een informatieverwerkend gedeelte, en een actuatie gedeelte dat invloed uitoefent op de omgeving. Een bekend voorbeeld van een actuator is een luidspreker. Mijn werk richt zich op het informatie verwerkende gedeelte.

REAL-TIME SYSTEEM EISEN:

Veel embedded systemen voeren kritische functies uit. Bij de meeste systemen is het van groot belang dat enerzijds het systeem snel genoeg reageert en anderzijds dat het de gewenste activiteit uitvoert. Een systeem dat gegevens met een bepaalde snelheid moet verwerken, of binnen een bepaalde tijd moet reageren, wordt een real-time systeem genoemd. Een goed voorbeeld van een real-time embedded systeem is het antiblokkeersysteem dat de remmen van een auto aanstuurt. Het is natuurlijk niet acceptabel als de remmen niet binnen een gespecificeerde tijd geactiveerd worden zodra het rempedaal wordt ingedrukt. Dit zou gevaarlijke situaties opleveren. Een systeem waarvoor deze garanties gegeven moeten worden heet een hard real-time systeem.



Figuur 2: ABS besturingsunit

Er is echter ook een hele grote categorie van real-time embedded systemen waarbij het niet strikt noodzakelijk maar zeer wenselijk is dat het systeem gegevens met een bepaalde snelheid verwerkt. Dit worden de firm real-time systemen genoemd. Als een firm real-time systeem niet snel genoeg reageert, dan levert dit niet direct levensbedreigende situaties op maar bijvoorbeeld wel hinder of slijtage. Een voorbeeld van een firm real-time systeem is een radio, want indien het embedded systeem in een radio de ontvangen signalen niet snel genoeg verwerkt, resulteert dit in vervorming van het geluid. Dit is hinderlijk maar niet gevaarlijk.

Voor een firm real-time systeem kan het acceptabel zijn dat het systeem zo nu en dan niet snel genoeg reageert, als dit maar niet te vaak gebeurt. Deze extra vrijheidsgraad maakt het mogelijk om de energie-efficiency van het systeem te verbeteren en de kosten te reduceren.

In de praktijk worden real-time embedded systemen, waarvan het duidelijk is dat ze levensbedreigende situaties kunnen opleveren, vanwege kosten toch als een firm real-time systeem ontworpen. Dit levert een onacceptabel risico voor de eindgebruiker of zelfs voor de samenleving. Strikte regelgeving en toezicht kan dit soort situaties voorkomen maar ontbreekt helaas nog in veel gevallen.



Mijn onderzoek richt zich momenteel op het ontwikkelen van technieken die geschikt zijn voor hard real-time systemen. In de praktijk zet ik deze technieken in voor het ontwerp van firm real-time systemen. Dit kan leiden tot duurdere systemen dan strikt noodzakelijk, echter betere methodes zijn op dit moment nog niet beschikbaar. Ik kom hier later bij het bespreken van toekomstige onderzoeksrichtingen op terug.

PROBLEEMSCHETS:

Een voorspelbaar gedrag van real-time embedded systemen wordt gerealiseerd door een planning van de activiteiten op te stellen. Voor het uitvoeren van een planning spelen klokken een essentiële rol.



Figuur 3: Echappement

Voordat mechanische klokken waren uitgevonden maakte men gebruik van elementaire klokken zoals de zonnwijzer en de zandloper. Aan deze elementaire klokken kleefden een aantal nadelen. Zo was de zonnwijzer alleen te gebruiken als de zonscheen. De zandloper gaf alleen de duur van een gebeurtenis weer en niet het tijdstip waarop een gebeurtenis plaatsvond. Door de uitvinding van een speciaal soort tandwiel (het echappement) werd het mogelijk om nauwkeurige mechanische klokken te maken. De eerste mechanische klokken werden rond 1300 ontwikkeld. Al snel daarna wilde elke stad een klok, omdat dit als prestigieus object werd gezien.

De intrede van de klok in de stad bleek grote gevolgen te hebben voor de productiviteit van een gemeenschap. De klok maakt het namelijk mogelijk om een nauwkeurige planning op te stellen voor de dag. Hierdoor konden er meer afspraken op een dag gemaakt worden. Dit illustreert dat het maken van een planning, en het gebruik van nauwkeurige klokken bij uitvoering van de planning, niet alleen het gedrag beter voorspelbaar maakt, maar dat een voorspelbaar gedrag ook de efficiency van een systeem kan verbeteren. Mijn punt is nu, dat dit niet alleen geldt voor een gemeenschap, maar dat dit ook geldt voor embedded systemen.



Het opstellen van een planning voor de dag vereist dat je een goed idee hebt welke activiteiten je wilt ondernemen en hoe lang iedere activiteit duurt. Met name is het lastig om een nauwkeurige inschatting te maken van hoe lang een activiteit gaat duren.

Vaak is er ook een volgorde waarin activiteiten uitgevoerd moeten worden. Je moet bijvoorbeeld eerst een deur schuren voordat je deze kan aflakken, en voordat je kunt beginnen met aflakken moet je eerst verf kopen. De volgorde relaties maken het opstellen van een planning lastig.

Indien een activiteit eerder klaar is, dan wil je vaak liefst direct aan de volgende activiteit kunnen beginnen. Echter, je kunt afhankelijk zijn van de planning van anderen. De winkel voor de verf is bijvoorbeeld niet de hele dag open.

Ook dien je bij het opstellen van een planning rekening te houden met het feit dat je maar een beperkt aantal hulpmiddelen beschikbaar hebt, die bovendien gedeeld moeten worden met meerdere mensen. De auto van het gezin moet bijvoorbeeld wel aanwezig zijn om de verf te kunnen gaan halen.

Tevens zijn niet alle activiteiten even belangrijk. Indien een activiteit uitloopt, kun je wel eens genoodzaakt zijn om tijdelijk een andere activiteit uit te voeren omdat die nu eenmaal belangrijker is. Bijvoorbeeld, de kinderen moeten op tijd van school gehaald worden, zelfs al staat de deur slechts voor de helft in de lak.

Vaak werk je niet in je eentje aan het uitvoeren van een project. Het gaat er dan niet alleen om dat jij je eigen activiteiten op tijd kunt uitvoeren en afronden, maar dat het project op tijd klaar is.

Al deze punten compliceren het opstellen van een planning. Dit geldt niet alleen voor de planning voor de activiteiten van mensen, maar ook voor de activiteiten in een embedded systeem. Een belangrijk verschil is wel dat bij embedded systemen de activiteiten vaak niet uitgesteld kunnen worden omdat er anders gevaarlijke situaties ontstaan.

UITDAGINGEN:

Gegeven het belang van het opstellen van planningen mag het dan ook niet verbazen dat er al veel onderzoek naar gedaan is. In de embedded systemen context zijn er met name in de jaren '90 technieken voor hard real-time systemen met één processor ontwikkeld. Rond de eeuwwisseling werd het mogelijk om tegen voldoende lage kosten meerdere processoren op een chip te integreren. Hierdoor werd het opstellen van planningen voor multiprocessor systemen belangrijk. De analyse technieken voor systemen met één processor bleken echter niet eenvoudig geschikt te maken voor multiprocessor systemen.

Een van de belangrijkste problemen bij het opstellen van een planning voor multiprocessor systemen is dat de rekenkracht die nodig is voor het bepalen van zo'n planning vaak onwerkbaar groot is. Dit wordt niet alleen veroorzaakt doordat het aantal activiteiten veel groter is maar ook doordat het probleem bijvoorbeeld niet monotoon is waardoor er niets anders op zit dan alle mogelijkheden na te gaan. Tevens werd het opstellen van zinvolle planningen bijna onmogelijk doordat de multiprocessor hardware zelf veel onzekerheid introduceerde. Ook werden de applicaties dynamischer. Deze dynamisch applicaties pasten hun gedrag aan, aan de gegevens die ze verwerkten. Hierdoor werd het niet alleen moeilijker om de tijdsduur van de activiteiten in te schatten maar werd het ook moeilijk om in te schatten welke activiteiten er zouden gaan plaatsvinden.

BIJDRAGEN:

Met het oog op het hiervoor geschetste belang van real-time multiprocessor systemen, werd er op dit onderwerp in 2004 een onderzoeksproject binnen Philips Research gestart. Omdat het real-time systeem onderzoek op een dood spoor leek te zitten werd er voor een radicale oplossingsrichting gekozen. Er werd gekozen om eerst een geschikt analyse model te selecteren. Dit analyse model zou vervolgens bepalen hoe een applicatie beschreven zou moeten worden en hoe de multiprocessor hardware zou moeten functioneren. Deze aanpak werd als controversieel ervaren omdat deze aanpak impliceert dat waarschijnlijk veel bestaande hardware en software aanpast zou moeten worden. Een ander punt was dat zelfs het meest krachtige analyse model niet generiek genoeg was om sommige relevante applicaties mee te analyseren.

Het geselecteerde analyse model was het synchrone dataflow model [3]. Dit model is goed analyseerbaar maar het was onduidelijk hoe de effecten van run-time schedulers meegenomen konden worden. Run-time schedulers bepalen de volgorde waarin activiteiten worden uitgevoerd op een processor. Tevens was het model alleen geschikt voor het beschrijven van volledig statische applicaties. Bij deze statisch applicaties zijn de activiteiten en afhankelijkheden tussen deze activiteiten tijdens het ontwerpen van het systeem al bekend. Een ander probleem was dat zelfs voor dit model de analyse tijd exponentieel kan toenemen in de omvang van het model, waardoor het geschikt kan zijn voor kleine voorbeeldjes maar ongeschikt voor industrieel relevante applicaties.

Voor de geschetste problemen hebben we in de loop der jaren oplossingen gevonden. We weten nu dat de effecten van run-time scheduling impliciet in een dataflow model meegenomen kunnen worden indien er alleen schedulers uit een bepaalde klasse (de starvation-free

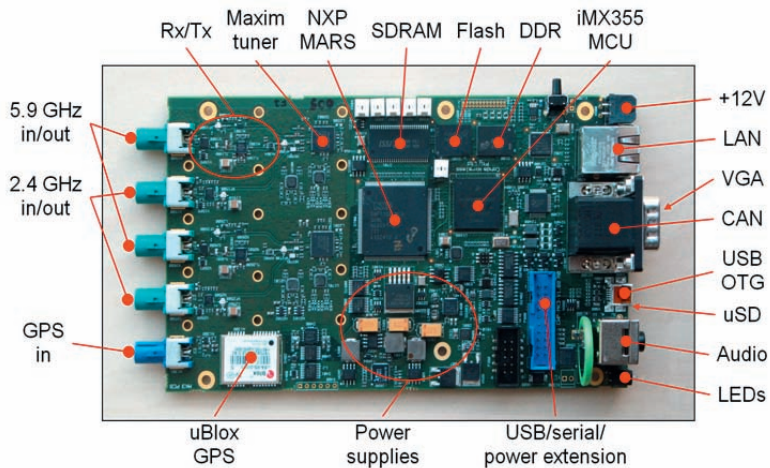
schedulers) worden gebruikt. Verder is het synchrone dataflow model gegeneraliseerd zodat er tegenwoordig ook een klasse van dynamische applicaties geanalyseerd kan worden. Tevens weten we nu dat de rekenkracht die nodig is voor analyse gereduceerd kan worden door extra benaderingsstappen te introduceren die het planningsprobleem sterk vereenvoudigen.

Wat echter uiteindelijk tot toepassing heeft geleid, is het inzicht dat dataflow modellen een temporeel monotoon gedrag hebben. Monotoon refereert hierbij naar het gedrag van monotone functies. Een monotone functie is een functie die de orde bewaart, dus die bij een toenemend argument of niet daalt of niet stijgt. Tevens zijn deze dataflow modellen een conservatieve abstractie van de implementatie indien er aan een aantal ontwerpregels wordt voldaan. Daardoor is het voldoende om op basis van het dataflow model te laten zien dat er een planning van activiteiten bestaat waarbij gegevens snel genoeg worden verwerkt, en resultaten voor bepaalde momenten in de tijd worden geproduceerd. In plaats van dat er vele mogelijkheden moeten worden nagegaan hoeft slechts het bestaan van één mogelijkheid te worden aangetoond die aan de eisen voldoet.

Het temporeel monotoon zijn van het dataflow model impliceert tevens een aantal trends. Deze trends maken handmatige optimalisatie van de software mogelijk. Belangrijke trends zijn bijvoorbeeld dat een kortere tijdsduur van de activiteiten en meer opslagruimte voor resultaten niet tot gevolg kunnen hebben dat de planning niet gehaald wordt.

Inmiddels zijn er alweer acht jaar verstreken na de aanvang van het project bij Philips. We kunnen onder tussen concluderen dat de ingeslagen weg vele nieuwe inzichten heeft opgeleverd. Dit is mede te danken aan de promovendi die aan dit onderwerp hebben gewerkt. De aanpak is ingezet bij het ontwerp van een zogeheten software defined radio chip. Deze chip heet MARS en is sinds kort te koop bij

NXP semiconductors. Deze software defined radio chip wordt onder andere toegepast in modems voor communicatie tussen auto's.



Figuur 4: Software defined radio evaluatie bord met de MARS chip

ONDERZOEKSRICHTINGEN:

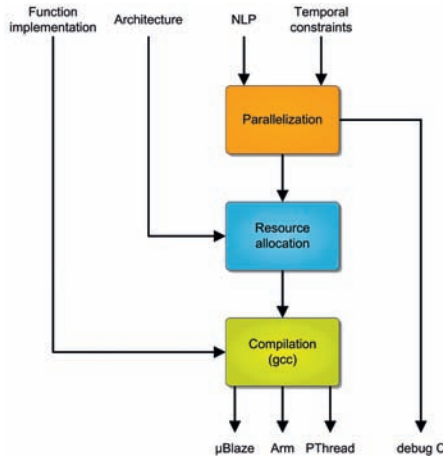
Ondanks dat dataflow analyse zijn eerste toepassing heeft gevonden kan de aanpak nog niet als volwassen beschouwd worden. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

1. het opstellen van een dataflow model en het aantonen dat het opgestelde model correct is, blijkt in de praktijk lastig te zijn;
2. veel applicaties met dynamisch gedrag kunnen nog steeds niet gemodelleerd worden;
3. de nauwkeurigheid van het voorspelde gedrag blijft een punt van zorg;
4. de modellen zijn alleen geschikt om het worst-case gedrag te voorspellen en daardoor minder geschikt voor firm real-time systemen.

Met name richten we ons momenteel op het eerste punt. De richting die we verkennen is of het mogelijk is om het analyse model en de corresponderende parallele software applicatie automatisch uit een programmabeschrijving af te leiden. Aangezien het model en de parallele applicatie automatisch afgeleid worden, zouden ze correct moeten zijn. Het ontwerpgereedschap dat zo'n afleiding doet wordt een compiler genoemd. Zonder zo'n compiler verwacht ik niet dat dataflow analyse op grote schaal toegepast gaat worden.

Voor het afleiden van de parallele applicatie met bijbehorend analyse model hebben promovendi binnen NXP de multiprocessor compiler Omphale en de bijbehorende sequentiële programmeertaal OIL ontwikkeld. Parallellisatie van een OIL programma is relatief eenvoudig. Dit staat in schril contrast met de programmeertaal C die momenteel de de-facto programmeertaal voor embedded systemen is binnen de industrie. Parallellisatie van een C-programma is zeer lastig en in een aantal gevallen zelfs onmogelijk. Desondanks roept de

door ons voorgestelde aanpak veel vragen op binnen NXP omdat het moeilijk is voor te stellen dat OIL en Omphale met een geringe inspanning tot een volwaardige taal en compiler zijn uit te ontwikkelen.



Figuur 5: De Omphale multiprocessor compiler flow

Een tweede punt waar we ons op gaan richten is het ontwikkelen van technieken voor firm real-time systemen omdat het steeds duidelijker wordt dat een worst-case ontwerpstyl vaak leidt tot kostbare overdimensionering. Echter als het embedded systeem geen harde garanties biedt, dan zal het omliggende systeem zo ontworpen moeten worden dat het goed met sporadisch afwijkingen kan omgaan. Het plan is om dit te gaan bestuderen in het onlangs toegevoegde STW perspectief programma Robust Cyber Physical Systems.

Het ontwerp van een firm real-time systeem, waarbij geen harde garanties voor het computatie gedeelte worden gegeven, vereist een holistische aanpak. Voor een holistische aanpak zijn modellen nodig die zowel het computatie gedeelte als het fysieke gedeelte beschrijven. Helaas is er momenteel geen geschikt wiskundige raamwerk voor deze

holistische modellen beschikbaar waardoor synthese nog niet mogelijk is. Hierdoor wordt in de praktijk een firm real-time systeem vaak eerst gebouwd en vervolgens geëvalueerd door middel van simulatie en vele experimenten. Bij deze aanpak is het vaak moeilijk vast te stellen wat er aan het systeem veranderd moet worden indien de resultaten niet aan de systeem eisen voldoen. Indien er geen geschikt wiskundig raamwerk gevonden wordt, kan het wellicht aantrekkelijker blijven om de hard real-time aanpak te gebruiken en de kosten hiervan proberen te reduceren.

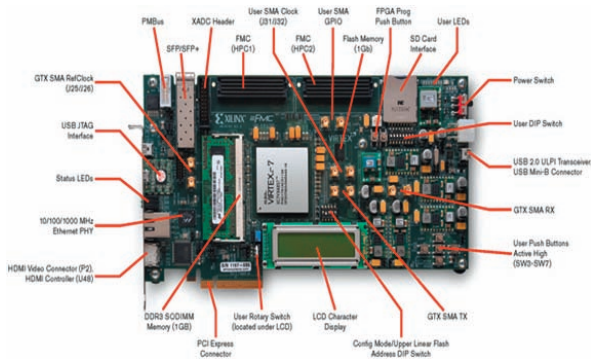
De inzet van de dataflow modellerings aanpak is tot nu toe hoofdzakelijk beperkt gebleven tot het programmeren van homogene multiprocessor systemen. Er zijn echter een groot aantal andere toepassingsgebieden denkbaar. Ik ga nu een paar veel belovende gebieden bespreken.

Het hebben van een planning, en een notie van tijd, maakt het mogelijk om in te schatten of een processor harder moet gaan werken dan wel of deze langzamer kan gaan werken. Door het verlagen van de klokfrequentie en de voedingsspanning gaan processoren langzamer lopen maar zijn ze ook energie-efficiënter. Een hogere efficiëntie is zeer wenselijk voor mobiele toepassingen zoals in smartphones. Dataflow analyse zou gebruikt kunnen worden om de benodigde planning op te stellen. Een nieuwe stap zou zijn als deze planning ook dynamisch aangepast zou kunnen worden.

Een ander voorbeeld is dat het beschikbaar zijn van een planning het mogelijk maakt om vast te stellen dat iets niet op tijd heeft plaatsgevonden. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een tijdelijke fout in de hardware. Men verwacht dat tijdelijke fouten in de toekomst veel vaker zullen gaan voorkomen doordat transistoren verder verkleind zullen gaan worden en er veel meer transistoren op een chip geïntegreerd kunnen worden.

De dataflow analyse aanpak zou ook ingezet kunnen worden voor het programmeren van heterogene multiprocessor systemen. Een heterogeen systeem bevat verschillende typen processoren die geoptimaliseerd zijn voor specifieke functies. De hardware van deze multiprocessor systemen moet dan natuurlijk wel zo gedefinieerd worden dat ze geschikt is voor analyse met dataflow modellen.

Een aantal promovendi en master studenten zijn momenteel al bezig met onderzoek naar geschikte heterogene real-time multiprocessor hardware architecturen. Deze architecturen worden geëvalueerd met behulp van implementaties op FPGA's. Aan de FPGA is een radio RF front-end gekoppeld. Deze set-up gaan we gebruiken om de geschiktheid te evalueren van verschillende architectuur voorstellen voor onder andere de volgende generatie radio signaalbewerkingzalgoritmes. Een gelijksoortige set-up gaat waarschijnlijk bij NXP ingezet worden.



Figuur 6: Evaluatie bord met een FPGA

Samengevat, er is geen reden om aan te nemen dat het voorspellen van het temporele gedrag van computer systemen in de toekomst minder belangrijk gaat worden, en er zijn vele nieuwe onderzoeksrichtingen.

Ik zou nu kort in willen gaan op de relatie tussen de universiteiten en het bedrijfsleven en welke rol een deeltijd hoogleraarschap hierin kan spelen. Deze rol maakt het mogelijk om de geschetste onderzoeksrichtingen samen met promovendi verder uit te werken.

RELATIE MET HET BEDRIJFSLEVEN

De laatste jaren is de universiteit steeds afhankelijker geworden van de zogeheten 3de geldstroom. Door de verslechterde economische omstandigheden, is er binnen het bedrijfsleven steeds minder geld beschikbaar voor onderzoek waarvan niet direct duidelijk is hoeveel het gaat opleveren. Het bedrijfsleven wordt daardoor gedwongen exploratief onderzoek door de universiteiten te laten uitvoeren. Een gevolg hiervan is, dat het bedrijfsleven en de universiteiten veroordeeld zijn tot vergaande samenwerking.

Echter een effectieve samenwerking blijkt niet vanzelf tot stand te komen. Met name zien de meer fundamenteel georiënteerde onderzoekers bij de universiteiten deze ontwikkeling met argusogen aan. Vanuit hun perspectief is de relevantie van een probleem van ondergeschikt belang omdat de praktische implicaties van hun wetenschappelijke bijdragen zelden goed in te schatten zijn. Hun onderzoek wordt veel meer gedreven door wat bekend is, wat eraan toegevoegd kan worden, en welke nieuwe vragen een wetenschappelijke bijdrage oproept. Vanuit het bedrijfsleven is het vaak moeilijk waardering op te brengen voor wetenschappelijke bijdragen waarvan het bij voorbaat niet duidelijk is hoe ze bijdragen aan een product. Een in mijn ogen ongewenst gevolg hiervan is dat dan het verkrijgen van subsidiegelden de belangrijkste reden wordt voor het deelnemen aan een gezamenlijk project, terwijl het samen zoeken naar nieuwe probleemstellingen en mogelijke toepassingen alle partijen veel meer kan opleveren.

Het instellen van tijdelijke aanstellingen bij een universiteit, zoals een deeltijd hoogleraarschap, kan naar mijn mening de inhoudelijke samenwerking tussen universiteiten en het bedrijfsleven bevorderen. Hiervoor is echter wel wederzijdse erkenning nodig van elkaars sterktes en belangen. Het is naar mijn mening essentieel dat deze samenwerking

niet tot gevolg mag hebben dat er onvoldoende ruimte is voor fundamenteel onderzoek op de universiteiten.

De rol van een deeltijd hoogleraar is naar mijn mening dan ook zeker niet het onder de aandacht brengen van de wensen van een specifiek bedrijf. In plaats daarvan zou het moeten gaan om het gezamenlijk ontwikkelen van technologie, die geen van de partijen in zijn eentje tot stand kan brengen. Deze technologie moet zo breed inzetbaar zijn dat vele andere bedrijven hier voordeel aan hebben. Tevens moet deze technologie een academische bijdrage zijn die vele nieuwe vragen oproept.

Real-time analyse technieken op basis van dataflow zijn volgens mij een schoolvoorbeeld van een ontwikkeling die breed inzetbaar is, en niet door één partij tot volwassenheid gebracht kan worden. Het samenwerkingsproject met Philips Healthcare, in het kader van het STW project NEST, is een voorbeeld van een verkenning waarbij getracht wordt deze technieken in te zetten voor een nieuw applicatie domein binnen een ander bedrijf. In andere projecten zijn er soortgelijke samenwerkingsverbanden met ASML, FEI, Thales, OCE, en ST-Ericsson.

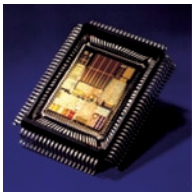
In het buitenland kent men zover ik weet geen deeltijd hoogleraar-schap. Tevens zijn buitenlandse professoren vaak verbaasd over de kwaliteit van het fundamentele onderzoek dat plaatsvindt binnen Nederlandse bedrijven in samenwerking met de universiteiten. Concluderend, het aanstellen van deeltijd hoogleraren kan gezien worden als een innovatie van het technologie ontwikkelingsproces. Zoals gezegd, deze ontwikkeling werpt z'n vruchten af.

TENSLOTTE:

Een groot aantal mensen hebben bijgedragen aandaat ik hier vandaag sta. Een aantal wil ik hierbij persoonlijk bedanken.

Ten eerste zou ik mijn ouders willen bedanken. Zij hebben mij al op jonge leeftijd de ruimte gegeven voor mijn experimenten met radio's en televisies. Bij deze experimenten is menig zekering in ons huis gesneuveld. Hun indirecte invloed is ook groot, aangezien ik mijn interesse voor techniek duidelijk van mijn vader heb en de drive van mijn moeder.

Na mijn studie ben ik gaan werken bij Philips Research in Eindhoven.



In eerst instantie heb ik mij in de groep van Engel Roza bezig gehouden met het ontwikkelen van een digitaal IC voor de ontvangst van DAB-radio zenders. Het IC functioneerde foutloos, maar het volledig overschakelen van FM-radio zenders naar DAB-zenders laat nog even op zich wachten.

Vervolgens ben ik onderzoek gaan doen aan compilers voor signaal processoren onder leiding van Jef van Meerbergen. Met steun van professor Jochem Jess van de universiteit van Eindhoven ben ik op dit onderwerp gepromoveerd. Dit werk heeft dankzij een aantal collega's geresulteerd in de start-up Silicon Hive, die vorig jaar door Intel is overgenomen.



Mede dankzij Jef van Meerbergen heb ik vervolgens de mogelijkheid gekregen om onderzoek te gaan doen aan real-time multiprocessor systemen. In samenwerking met een aantal promovendi, waaronder Maarten Wiggers, zijn concepten voor real-time multiprocessor systemen ontwikkeld en is de basis voor dataflow analyse gelegd.

Een aantal ontwikkelingen liggen ten grondslag aan mijn aanstelling tot deeltijd hoogleraar. Ten eerste is dat de visie van de leiding van NXP, met name Hans Rijns en Gerard Beenker, dat effectief opereren in de high tech semiconductor markt vereist dat je samenwerkt met de universiteiten. Dit heet met een mooi woord open-innovatie. Om deze samenwerking vorm te geven zijn een aantal onderzoekers van NXP als deeltijd hoogleraar aangesteld. Ten tweede was er een positie vrijgekomen voor een docent die de real-time systeem ontwerp vakken zou moeten verzorgen. Dit sloot perfect aan op mijn kennis. Ten derde zag ik het als een interessante mogelijkheid om de opgedane kennis te verspreiden en verder te ontwikkelen. Met name dankzij de sturing van Gerard Smit en met hulp van de promovendi Jochem Rutgers en Berend Dekens, is er hoogwaardig college materiaal ontwikkeld met een theoretische en een praktische component.

Dat ik hier sta is mede te danken aan mijn vrouw en kinderen. Renee en Simon, ik vind het fantastisch om te zien hoe jullie je ontwikkelen. Ik zal ervoor zorgen dat ik voldoende tijd vrijmaak om samen met jullie avonturen te beleven. Clara, ook jouw bijdrage is groot, je neemt veel van mijn zorgtaken over en zorgt er tevens voor dat ik niet uit de bocht vlieg. Wat we duidelijk delen is een op menselijke waarden gebaseerde beschouwende kijk op de wereld.

Met veel plezier werk ik momenteel samen met een aantal promovendi aan het verder ontwikkelen van de analyse technieken en de bijhorende hardware en software concepten. Ik verzeker u dat dit nog vele belangrijke onderzoeksresultaten gaat opleveren.

Samenvattend: Ontwerp en analyse van real-time embedded systemen is interessant en relevant, en dataflow is the way to go.

Ik heb gezegd.

REFERENTIES

- [1] BCC Inc. Embedded Systems: Technologies and Markets. Report IFT016D, January 2012. <http://www.bccresearch.com/report/IFT016D.html> (geraadpleegd op 17 oktober 2012).
- [2] Adviesrapport Holland High Tech, juni 2011.
- [3] Edward A. Lee and David G. Messerschmitt, Synchronous Data Flow, *Proceedings of the IEEE*, vol. 75, no. 9, p 1235-1245, September, 1987

