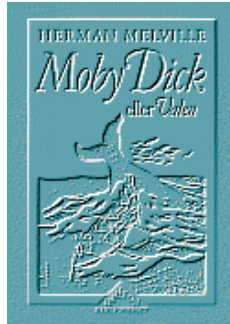


Moby Dick, het ontwerp van een Digitale Kameraad



Paul J.M. Havinga en Gerard J.M. Smit

Embedded Systems, faculteit der Informatica, Universiteit Twente

{havinga,smit}@cs.utwente.nl

Zullen de zaktelefoon en de mobiele computer uitgroeien tot een *Digitale Kameraad* waarmee je betaalt, de voordeur opent, jezelf identificeert en luistert naar muziek tijdens het joggen? Dit is een vraag waar het *MOBY DICK* project zich mee bezig houdt. In het *MOBY DICK* project van het cluster Embedded Systemen wordt onderzoek gedaan aan dergelijke systemen.

Recente vooruitgang in technologie voor draadloze netwerken en de exponentiële ontwikkeling van semi-conductor technologie bieden ongekende nieuwe mogelijkheden. Indien de technologie van Personal Digital Assistant's (PDA's), draadloze netwerken en smartcards op de juiste manier geïntegreerd worden, hebben ze de potentie om alle zaken te vervangen die mensen nu nog los bij zich dragen, b.v. agenda, geld, sleutels, walkman etc. door één enkel apparaat. Het biedt dus meer functionaliteit dan een huidige PDA, zoals een PalmPilot of een Windows CE systeem. Een belangrijk verschil is dat *Digitale Kameraden* altijd in contact zijn met de omgeving, en hiermee interactie hebben.

De technologische uitdagingen om dit toepassingsgebied te verwezenlijken zijn echter niet triviaal. Belangrijke problemen zijn het gewicht en de kwaliteit. Het gewicht wordt voornamelijk veroorzaakt door de batterijen. Omdat de apparaten bruikbaar moeten blijven in velerlei omgevingen, dienen ze dusdanig flexibel te zijn dat ze geschikt te zijn

voor een grote variëteit aan multimedia diensten en communicatie-mogelijkheden, en zich op een (energie) efficiënte manier kunnen aanpassen aan de verschillende omstandigheden.

Energie

Ons centrale thema bij de ontwikkeling van een elektronisch manussjes-van-alles is energiebesparing. De *Digitale Kameraad* heb je altijd bij je, en moet dus ook meer dan een dag blijven werken. Maar de vooruitgang in batterijtechnologie blijft ver achter bij de toenemende functie-eisen die de vooruitgang in chiptechnologie mogelijk maakt en de gebruiker dus zal stellen. De vooruitgang in de technologie gaat zo snel, dat het te verwachten is dat op korte termijn heel veel functies in één chip geïntegreerd kunnen worden. Chip-technologie is dus niet het echte probleem; het echte probleem is het energieverbruik. De functionaliteit van zo'n computertje zal dan ook worden beperkt door zijn energieverbruik.

Voor een draagbaar systeem gelden andere maatstaven voor prestatie dan voor een normaal systeem. Normaal wordt de prestatie van een systeem afgemeten aan wat het maximaal kan doen binnen een bepaalde hoeveelheid tijd. Topprestaties en 'worst case' situaties zijn daarin belangrijk. Dat betekent dat er onevenredig veel inspanning wordt gestoken in situaties die vrijwel nooit voorkomen, en heeft ook tot gevolg dat een snel systeem het grootste deel van de tijd zit te wachten. Voor een gebruiker van een draagbaar systeem is het echter veel belangrijker dat het computertje doet wat ie moet doen, en dat zo lang mogelijk. Topprestaties zijn slechts in uitzonderingsgevallen noodzakelijk. Onze benadering is dan ook om de mogelijkheden van de technologie te benutten, niet om maximale prestaties te krijgen, maar om een *bevredigende prestatie* te krijgen *met een laag energieverbruik*.

Waar wordt de meeste energie nu verbruikt? Dat is slechts in algemene termen te zeggen. Voor een groot deel, zo'n 25 tot 50%, komt dat door de radioverbinding. Een andere slokop is het scherm, ook goed voor zo'n kwart van het totale budget. De rest gaat op aan berekeningen en communicatie intern in het computertje. Om dus een redelijke hoeveelheid energie te besparen, kun je niet volstaan met slechts een beperkt deel van het systeem te optimaliseren, maar moet je alle elementen van een systeem beschouwen en energie-efficiënt gebruiken. In het *MOBY DICK* project hebben we ons niet beziggehouden met de technologie van de chips, het scherm, en de batterijen zelf. We hebben ons gericht op de hogere lagen, dus *het gebruik* van die componenten op een zo energie-zuinig mogelijke wijze. Dit is ook precies het gebied waar het meeste te halen valt. Door het systeem slim te gebruiken kunnen hele grote besparingen worden bereikt.

Soorten informatie

De informatie die gebruikt wordt in een *Digitale Kameraad* kan vele vormen aannemen: het is tenslotte multimedia. Het kan dus bijvoorbeeld een spraakfragment zijn, een video verbinding, maar ook gegevens die erg gevoelig zijn, zoals virtueel geld. De kenmerken van deze soorten informatie zijn heel verschillend. Een benadering waarbij de verschillende soorten informatiestromen worden gedifferentieerd naar hun soort heet *Quality of Service* (QoS). Deze QoS wordt gebruikt om gebruikers een soort garantie te geven van de kwaliteit die ze zullen krijgen, dus bijvoorbeeld de hoeveelheid videobeelden per seconde, de tijdvertraging, en de maximaal toegestane hoeveelheid fouten. Wij gebruiken QoS bovendien om efficiënter met de schaarse middelen om te gaan. Is de hoogste kwaliteit nodig, of kunnen we volstaan met een iets lagere? Moet er een audiosignaal verwerkt worden dat hoort bij een videobeeld, dan is het primair van belang dat die twee synchroon lopen. Het op tijd binnenhalen en verwerken is dan een QoS criterium. Dat er onderweg eens een ‘bitje omvalt’, waardoor het geluid even van mindere kwaliteit is of er een spettertje op het beeld komt, is van minder groot belang. Gaat het daarentegen bijvoorbeeld om elektronisch betalingsverkeer, dan is de tijd minder van belang maar mogen er geen fouten optreden. Kortom: lever de kwaliteit die nodig is, maar zeker niet méér.

In een *traditioneel systeem* wordt er geen (of weinig) onderscheid gemaakt tussen die verschillende soorten informatie. De consequentie hiervan is dat voor alle soorten informatie de uiterste best wordt gedaan om een zo hoog mogelijke kwaliteit te krijgen. Dus zoveel mogelijk data per seconde, zo weinig mogelijk fouten, en zo snel als mogelijk is. Zoals hiervoor geschetst, is dat voor veel soorten informatie, veel te veel. Zeker omdat de verbindingen ook dynamisch zijn, en er de ene keer een veel betere verbinding mogelijk is dan de andere keer (dus bijvoorbeeld minder storing) is een benadering waarbij getracht wordt voor de slechtst mogelijke situatie een goede verbinding te garanderen, een verkwistende aanpak.

MOBY DICK aanpak

Onze aanpak is om alle informatiestromen die een *Digitale Kameraad* gebruikt van een labeltje te voorzien, waardoor ze geïdentificeerd kunnen worden naar informatiesoort, maar ook naar hun bestemming. Dit mechanisme wordt gebruikt zowel voor de informatie door de lucht (dus bijvoorbeeld een telefoongesprek), maar wordt ook voortgezet voor de informatiestromen binnen in het computertje. Deze identificatie wordt gebruikt om elke informatiestroom de kwaliteit te geven die nodig is, maar nooit meer. Indien een bepaald onderdeel in het systeem dan geen werk meer heeft, wordt het direct uitgezet, het gaat slapen.

Uit-gaan is één aspect. Een belangrijk ander aspect is dat *de afstand die de informatie aflegt* zo kort mogelijk dient te zijn. De gedachte hierachter is, dat de bewerkingen die

nodig zijn op de data, daar plaats moeten vinden waar dat het meest efficiënt kan, waarbij tevens het datatransport door het systeem dient te worden geminimaliseerd. Het hart van de traditionele computer wordt gevormd door de processor. De microprocessor wordt bij alle taken ingeschakeld en overal heeft het besturingssysteem een vinger in pap. Alle informatie die een computer binnenkomt wordt via de processor geleid naar een ander onderdeel, bijvoorbeeld het geheugen, het beeldscherm of de luidspreker. Dat betekent dat data een grote afstand moet overbruggen en ook dikwijls geconverteerd en gekopieerd moet worden. In een normaal systeem is het geen uitzondering dat een bepaalde hoeveelheid informatie wel zeven keer in het systeem wordt verplaatst en bewerkt voordat het zijn uiteindelijke bestemming bereikt. Dit is met name erg duur voor multimedia informatiestromen die zich kenmerken zich door grote hoeveelheden data.

Het verslepen van informatie in een systeem is erg duur, zowel voor de haalbare prestatie, als voor het energieverbruik. Het transporteren van één byte van of naar het geheugen kost al meer energie dan het uitvoeren van een 32-bits vermenigvuldiging. Verder moet alle communicatie van en naar de processor in de huidige computers via één communicatiekanaal, een zogenaamde bus, met alle kans op opstoppingen. Door de communicatiesnelheid op te voeren en de communicatiemomenten tussen de verschillende onderdelen goed op elkaar af te stemmen kan de verwerkingssnelheid toch worden opgevoerd. Maar het systeem is daardoor ook kwetsbaar: een eenmaal uitgebalanceerd systeem kan door een kleine wijziging uit balans raken en veel slechter gaan presteren. En, ook een hoge snelheid kost veel energie.

Architectuur

De aanpak die wij hebben gekozen om zo'n systeem te maken, is het gebruiken van autonome, herconfigureerbare modulen, verbonden door een dynamische schakelaar in plaats van een gemeenschappelijke bus, en om zoveel mogelijk werk over te dragen van de algemene processor naar programmeerbare modulen die in de datastroom zijn geplaatst. De processor en de bus worden overgeslagen. Dit is mogelijk doordat de data kenmerken bevat (type, bestemming en QoS). Daaruit kunnen, bij voorbeeld, de netwerkinterface, schakelaar en luidspreker, opmaken wat er met de data moet gebeuren en in welk tempo. Deze modulen zijn 'intelligent': ze hebben een bepaalde – programmeerbare - functionaliteit van de processor overgenomen. De schakelaar is gebouwd naar analogie van ATM-netwerk schakelsystemen.

Draadloos netwerk

Het draadloze netwerk is een ander belangrijk aspect in een mobiel multimedia systeem. De *Digitale Kameraden* werken per definitie draadloos, en deze vorm van communicatie kost meer energie dan de bekabelde en is veel storingsgevoeliger. Ook in het draadloze deel wordt gebruik gemaakt van dezelfde principes. Elke informatiestroom krijgt maximaal de kwaliteit die is gevraagd. Dat aanvragen van een verbinding met de gewenste prestaties gebeurt bij een centraal apparaat, een zogenaamd basis-station. Dat

basis-station krijgt aanvragen van verschillende *Digitale Kameraden* binnen zijn radiobereik, en verdeelt de beschikbare middelen op een zo energie-efficiënte wijze. Een intelligente netwerkinterface zorgt ervoor dat er niet vaker een verbinding wordt gelegd dan strikt noodzakelijk, en dat de verbinding meteen voor inkomende en uitgaande informatie wordt gebruikt.

Het Chameleon project

Het is de kunst om een balans te vinden tussen het gebruik van standaard-processoren en dedicated chips. Standaard-processoren kunnen in principe alles, maar dedicated chips kunnen het efficiënter. Dit heeft ook alles met de omgeving te maken waarin het mobiele systeem wordt gebruikt en die sterk kan variëren. Het vervolg-onderzoeksproject (door de Nederlandse overheid via STW gesubsidieerd) heet niet voor niets *Chameleon*: het zal zich gaan richten op mobiele systemen die zich aanpassen aan de omgeving waarin ze op dat moment worden gebruikt.

Het Embedded Systemen cluster van de UT, Philips Research en Lucent Technologies zijn vorig jaar het *Chameleon* researchproject gestart om de chiparchitectuur voor een digitale alleskunner te onderzoeken. Een belangrijk doel van dit project is om aan te tonen dat een herconfigureerbare architectuur in combinatie met een QoS georiënteerd operating systeem, van fundamenteel belang is voor het succes van toekomstige flexibele handpalm computers met een laag energie verbruik. Een nieuw aspect in dit concept is dat applicatie specifiek chipontwerp wordt vervangen door dynamisch herconfiguratie en herprogrammering, waarbij een uiterst efficiënte architectuur gebruikt wordt.

Als basis dienen field programmable function arrays (FPFA's), die door Jaap Smit van de faculteit Electrotechniek worden ontwikkeld. De FPFA is een variant op de field programmabele gate array's (FPGA's), maar dan met 16 bit-brede datapaden en complete ALU's (rekeneenheden) op elk knooppunt. In deze chips kan steeds een andere architectuur geprogrammeerd worden, zodat deze de meest ideale gedaante kan aannemen om het rekenwerk zo zuinig of zo snel mogelijk te doen. Een FPFA die is ingesteld op videocompressie kan een fractie van een seconde later de gedaante van een cryptocontroller aannemen.

Herconfigureerbare hardware gebruikt voor taken met veel herhaling zoals encryptie, compressie en beeldbewerking veel minder stroom dan een standaard processor. Zij combineren dus flexibiliteit met zuinigheid, en dat zijn mooie eigenschappen voor een *Digitale Kameraad*.

Meer informatie is te vinden bij: <http://www.cs.utwente.nl/~havinga/mobydick.html> en <http://www.cs.utwente.nl/~havinga/chameleon.html>.