

## Abstract

### Abstract

Recent advances in wireless networking technology and the exponential development of semiconductor technology have engendered a new paradigm of computing, called *personal mobile computing*. In this paradigm, the basic personal computing and communication device will be an integrated, battery-operated device, small enough to carry with you all the time. This device will be used as a replacement of many items the modern human-being carries around. However, the technological challenges to establishing this paradigm are non-trivial. In particular, these devices have limited battery resources, will handle diverse data types, and will operate in environments that are insecure, time varying, and unplanned. As the mobiles must remain usable in a wide variety of environments, they must be flexible enough to accommodate a variety of multimedia services and communication capabilities and adapt to various operating conditions in an (energy) efficient way.

The opportunities given by the continuous miniaturisation of micro-electronics are employed in the architecture of the *Mobile Digital Companion* to solve some of the problems that mobile multimedia computers encounter. We have shown that it is not sufficient to simply continue advancing our chip architectures and technologies as just more of the same: building microprocessors and devices that are simply more complicated versions of the kind built today.

The characteristics and requirements of such future handheld computers, influences many levels of the design process. Key issue in this are *energy efficiency* and *Quality of Service* (QoS). There is a vital relationship between hardware architecture, operating system architecture and applications, where each benefits from the others. Achieving high energy efficiency requires first of all the elimination of the waste that typically dominates the energy consumption in general-purpose processors. The second main principle used is to have a high locality of reference. The philosophy is that all

operations that are required on the data should be done at the place where it is the most efficient, thereby also minimising the transport of data through the system.

The approach made to achieve such a system is to use autonomous, adaptable components, interconnected by a switch rather than by a bus, and to offload as much work as possible from the CPU to programmable modules that are placed in the data streams. Thus, data is delivered exactly to where it is needed, work is carried out where the data passes through – bypassing the ‘main’ memory –, modules are autonomously entering an energy-conservation mode and adapt themselves to the current state of the resources and the requirements of the user.

Of particular importance to the system architecture is the communication network that connects the modules. The system architecture of the *Mobile Digital Companion* is connection centric, which means that the media type of the traffic drives the data flow in the system using connections. The interconnect of the architecture is based on a switch, called *Octopus*, which interconnects a general-purpose processor, programmable (multimedia) devices (modules), and a wireless network interface. The switch is built analogous to some of the concepts that have been used in the field of ATM switching fabrics. All connections are identified with a connection identifier which is used to identify the type of data, and to determine the module destination address. This identifier provides the mechanism to support lightweight protocols that provide data-specific transport services that are associated with a certain QoS. This approach gives the system the possibility to control the QoS of a task down to the communication infrastructure.

The wireless network is another important aspect of a mobile multimedia system. We argue that energy-awareness must be applied in almost all layers of the network protocol stack. To achieve maximal performance and energy efficiency, *adaptability* is important, as wireless networks are dynamic in nature. We present an architecture of a highly adaptive network interface and a novel MAC protocol (E<sup>2</sup>MaC) that provides support for diverse traffic types and QoS while achieving a good energy efficiency of the wireless interface of the mobile.

## Samenvatting

Recente vooruitgang in technologie voor draadloze netwerken en de exponentiële ontwikkeling van semi-conductor technologie hebben een nieuw toepassingsgebied voortgebracht, gebaseerd op persoonlijke mobiele systemen. In dit toepassingsgebied zal de persoonlijke computer en het communicatieapparaat een geïntegreerde, batterij gevoed, apparaat zijn, dat klein genoeg is om altijd bij je te dragen. Het apparaat zal gebruikt worden ter vervanging van vele dingen die moderne mensen bij zich dragen. Echter, de technologische uitdagingen om dit toepassingsgebied te verwezenlijken zijn niet triviaal. In het bijzonder zullen deze apparaten een beperkte hoeveelheid batterij-energie hebben, diverse typen data behandelen, en werken in omgevingen die niet veilig zijn, variëren in tijd, en niet van tevoren voorspelbaar zijn. Omdat de apparaten bruikbaar moeten blijven in velerlei omgevingen, dienen ze flexibel genoeg te zijn om geschikt te zijn voor een groot aantal multimedia diensten en communicatiemogelijkheden, en zich op een (energie) efficiënte manier kunnen aanpassen aan de verschillende omstandigheden.

De kansen die geboden worden door de continue miniaturisering van de micro-elektronica worden in de architectuur van de *Mobile Digital Companion* benut om een aantal problemen op te lossen waar mobiele multimedia computers op stuiten. We hebben aangetoond dat het niet afdoende is om simpelweg op dezelfde weg door te gaan met het verbeteren van de chip architecturen en technologieën als slechts meer van hetzelfde: het bouwen van microprocessoren en apparaten die slechts gecompliceerde versies zijn van het soort dat al bestaat.

De karakteristieken en eisen van toekomstige kleine ('handheld') computers, beïnvloedt diverse lagen in het ontwerpproces. Sleutelthema's hierin zijn *energie-efficiëntie* en *kwaliteit van geboden diensten*. Er bestaat een vitale relatie tussen hardware-architectuur, besturingssysteem en toepassingen, waarin elk component voordeel kan hebben van de anderen. Het bereiken van een hoge energie-efficiëntie vereist om te beginnen het vermijden van alle verspilling die in het algemeen domineert bij algemeen toepasbare processoren. Het tweede belangrijke principe is om een hoge mate van lokaliteit te bewerkstelligen. De gedachte hierachter is, dat de bewerkingen die nodig zijn op de data, plaats moeten vinden waar dat het meest efficiënt kan, waarbij tevens het datatransport door het systeem dient te worden geminimaliseerd.

De aanpak die gemaakt is om zo'n systeem te bereiken, is om autonome, aanpasbare componenten te gebruiken, die verbonden zijn door een dynamische schakelaar in plaats van een gemeenschappelijke verbinding (bus), en om zoveel mogelijk werk over te dragen van de algemene processor naar programmeerbare modulen die in de datastroom zijn geplaatst. Dus, data wordt afgeleverd precies daar waar het nodig is, werk wordt gedaan daar waar de data langs komt – zonder gebruik te maken van het hoofdgeheugen –, modulen komen autonoom in een energiezuinige modus en passen zichzelf aan de huidige toestand van de beschikbare middelen en de wensen van de gebruiker aan.

Een belangrijk aspect voor de systeemarchitectuur is het communicatienetwerk dat de modulen verbindt. De systeemarchitectuur van de *Mobile Digital Companion* is verbindings-georiënteerd, wat inhoudt dat het mediatype van het verkeer de datastroom in het systeem bepaalt, gebruik makende van verbindingen. De verbindingsstructuur is gebaseerd op een schakelaar, genaamd *Octopus*, die de verbindingen legt tussen de algemene processor, programmeerbare (multimedia) modulen, en het draadloze netwerk. De schakelaar is gebouwd naar analogie van sommige concepten die gebruikt worden in het veld van ATM-netwerk schakelsystemen. Alle verbindingen worden geïdentificeerd met een verbindings-identificatie die het type van de verbinding en de bestemmingsmodule bepaalt. Met deze identificatie kunnen lichtgewicht protocollen gemaakt worden die dataspecifieke transportdiensten leveren, en geassocieerd zijn met een bepaalde kwaliteit. Door deze aanpak heeft het systeem de mogelijkheid om de kwaliteit van een taak te besturen tot op het communicatiemedium.

Het draadloze netwerk is een ander belangrijk aspect in een mobiel multimedia systeem. We beargumenteren dat bijna alle lagen van het netwerk communicatieprotocol energiebewust moeten zijn. Om het maximale uit een systeem te halen en om energie-efficiënt te zijn, is aanpasbaarheid van belang, met name omdat draadloze netwerken van nature erg dynamisch zijn. We presenteren een architectuur van een sterk aanpasbaar netwerk interface, en een nieuw MAC protocol ( $E^2$ MaC) dat diverse verkeerstypen en kwaliteiten ondersteunt, terwijl het een goede energie-efficiëntie geeft voor de draadloze interface van het mobiele systeem.