

ARM

Is ARM marktleider op server gebied in 5 jaar ?

Jasper van Gelder
10066640
Technische Informatica
Haagse Hogeschool

Ömer Şimşek
10032185
Technische Informatica
Haagse Hogeschool

Vrijdag 21 December 2012

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 3 |
| 2 | Wat is ARM? | 4 |
| 2.1 | Historie | 4 |
| 2.2 | ARM alliance | 5 |
| 2.3 | ARM architectuur | 5 |
| 3 | Waarom ARM? | 6 |
| 3.1 | Duurzaamheid | 6 |
| 3.2 | Flexibiliteit | 6 |
| 3.3 | Complexiteit | 7 |
| 4 | Huidige ontwikkelingen | 8 |
| 4.1 | De roadmap van ARM | 8 |
| 4.2 | ARM-plannen van andere bedrijven | 8 |
| 5 | Welke obstakels moet ARM overwinnen? | 11 |
| 5.1 | Beschikbaarheid van Hardware | 11 |
| 5.2 | Beschikbaarheid van Software | 11 |
| 5.3 | Andere obstakels | 11 |
| 6 | Conclusie | 12 |
| | Referenties | 14 |

1 Inleiding

De trend in de huidige ontwikkelingen op processorgebied is dat processoren alsmmaar sneller worden en meer kunnen met minder energie. Vooral op het gebied van smartphones en tablets is deze ontwikkeling erg snel gegaan de afgelopen vijf jaar. Één architectuur is daarbij zeer prominent, namelijk ARM. Met de zuinige ARM processorarchitectuur heeft ARM Ltd de toename van mobiele processorkracht een duw in de rug kunnen geven.

De opkomst van ARM processoren in consumentenproducten is dermate groot, dat in dit document een prognose wordt gesteld voor een heel andere markt, de servermarkt. Deze markt is wat conservatiever en minder open voor verandering. Desondanks zal worden beargumenteerd waarom het slechts een kwestie van tijd is voordat ARM ook de servermarkt binnendringt.

Dit onderzoek bestaat uit een aantal onderdelen waarin antwoord word gezocht op de vraag of ARM Ltd binnen vijf jaar marktleider is op servergebied. Er is omwille van de tijd gekozen voor een literatuurstudie. Er zal in dit onderzoek als eerste worden bekeken wat voor bedrijf ARM is. Daarna diens populaire processorarchitectuur en de voor- en nadelen ervan. Vervolgens wordt er gekeken naar de positie van ARM in verschillende markten. Daarna word er ingegaan op de nieuwste ontwikkelingen op processorgebied en servergebied. Tot slot worden de obstakels voor ARM op de servermarkt geïdentificeerd, die overkomen moeten worden zodat ARM binnen vijf jaar marktleider is op servergebied.

2 Wat is ARM?

We horen veel over ARM maar wat of wie is ARM? Er is een mooi boek beschikbaar die vertelt over ARM [1]. In dit hoofdstuk is daar een stuk uit vertaald die meer inzicht geeft in de ideeën en historie van ARM.

2.1 Historie

In de jaren tachtig was er een hevig strijd gaande omtrent de personal computer(PC). Een van de deelnemers van die strijd was Acorn computers een Brits computerbedrijf. Het probleem in die tijd was echter dat computerbedrijven in Europa niet de groei konden evenaren van de bedrijven in de Verenigde Staten omdat daar de markt gewoon groter was. Daardoor gebruiken we nu Intel processoren en geen Acorn of andere Europese processoren.

Eerste Ontwerp De eerste chip van Acorn, de Acorn Risc Machine (ARMv1), was ontwikkeld tussen 1983 en 1985 door het R&D team van Acorn computers. In die tijd was Acorn een van de grote computerbedrijven in Groot Britannië. Andere spelers uit die tijd waren Sinclair een bedrijf uit Cambridge en bedrijven zoals Apple en Commodore. De eerste keer dat de ARMv1 werd geproduceerd bleek deze beter te presteren dan verwacht. De ARM1 werd voor het eerst buiten het bedrijf gebruikt als add-on voor de BBC Micro. Het doel achter het uitbrengen van deze chip was mensen bekend te maken met ARM, zodat zij er al ervaring mee zouden hebben op het moment dat er volledige ARM systemen beschikbaar kwamen.

Eerste Succes Het eerste succes van Acorn kwam nadat de BBC de opdracht had gegeven om een thuiscomputer model te maken dat verkocht zou gaan worden als de BBC Micro. De release van de BBC Micro in 1982 ging mee met de thuiscomputer hype in Groot Britannië. Door de BBC naam kreeg het product, ontworpen door Acorn, toegevoegde waarde in vergelijking tot andere producenten in de markt. Dit leidde er toe dat de verkopen alle verwachtingen overtroffen. De originele inschattingen waren dat er op zijn best tienduizenden zouden worden verkocht. Dit werden er uiteindelijk bijna twee miljoen, waardoor Acorn snel uitgroeide tot een middelgroot bedrijf met een jaarlijkse omzet van tientallen miljoenen ponden.



Figuur 1: BBC Micro

2.2 ARM alliance

In 1990 is er een nieuw bedrijf opgericht met Apple, Acorn en VLSI Technology en de naam Acorn Risc Machine werd Advanced Risc Machine en Advanced RISC Machines Ltd was geboren (ARM Ltd). Dit bedrijf werd opgezet met als missie de ARM processoren verder te ontwikkelen. Dat kon als standalone processor maar ook als component (macrocell) met aangepaste logica of andere toegevoegde ARM componenten om het een aangepaste chip te maken. ARM Ltd was zo opgezet dat de ontwerpen aan halfgeleider fabrikanten konden worden verkocht door middel van licenties, wat dus betekent dat ARM royalty's ontvangt in plaats van het produceren en verkopen van hun eigen chips. De eerste licentie werd verkocht aan VLSI Technology die al eerder de ARM chips en aangepaste logische apparaten produceerde voor Apple en Acorn.

2.3 ARM architectuur

Het originele doel van ARM Ltd was om een processor te maken die een logische vervolgstap was op de 6502 processor en geschikt was als processor voor werk- of thuiscomputers. Het was niet de bedoeling om de meest snelle processor te maken maar om een processor te maken die de laatste technieken bevatte voor rekenkracht tegen zodanige kosten zodat deze in een goedkope PC kon worden gebruikt. Zoals al uit de naam blijkt is ARM gebaseerd op RISC (Reduced Instruction Set Computing) wat inhoudt dat er minder instructies aanwezig zijn in plaats van meer gespecialiseerde instructies. RISC werd in het begin vooral gebruikt in Unix workstations en voor embedded systemen zoals printers, routers en andere embedded systemen. Er is voor dit ontwerp gekozen omdat het kleiner is dan de andere ontwerpen zoals CISC (Complex Instruction Set Computing) omdat de chip simpeler is en er dus minder componenten zijn. Een andere bijkomend voordeel is kortere ontwerpprocessen. Omdat er minder instructies zijn is het ook minder complex waardoor software sneller te maken is en makkelijker te debuggen. Daarnaast is de hardware ook sneller omdat de chips kleiner zijn waardoor de afstanden korter zijn en de instructies sneller uitgevoerd kunnen worden.

3 Waarom ARM?

ARM Ltd is op dit moment marktleider op het gebied van mobiele processoren maar hun chip wordt nog niet grootschalig ingezet op servergebied. In dit hoofdstuk wordt er gekeken waarom men ARM in een server zou willen inzetten.

3.1 Duurzaamheid

Een van de belangrijkste redenen is duurzaamheid. Zoals eerder aangegeven probeert ARM Ltd zuinige chips te ontwikkelen. Voorheen was dit geen prioriteit op de servermarkt maar nu tegenwoordig steeds meer dingen "Groen" moeten zijn worden deze chips weer interessant. Aangezien ARM in 2011 een marktaandeel van 30% binnen de architectuurmarkt heeft behaald [2] kan een enkele verandering in het ontwerp van een chip grote gevolgen hebben voor een grote hoeveelheid apparaten op de wereld. De kracht van ARM zit niet in een individuele chip maar in een cluster van chips. Het is namelijk sneller, goedkoper en efficiënter om meerdere kleine cores een taak uit te laten voeren dan een aantal grote cores. [3]

3.2 Flexibiliteit

Omdat ARM zelf geen chips maakt maar alleen licenties verkoopt hebben zij ook de mogelijkheid om hun klanten het ontwerp aan te laten passen (als de chips door ARM geproduceerd zouden worden dan zou dit leiden tot concurrentie tegen hun eigen producenten). De verkoop van deze licenties zorgt ervoor dat de processoren voor elke ontwerp geschikt gemaakt kunnen worden. Zo kan een ARM chip de ene keer voor een smartphone gebruikt worden en de andere keer voor een slimme meter. Deze flexibiliteit maar vooral ook aanpasbaarheid is voor fabrikanten als Apple van groot belang omdat zij zich hiermee onderscheiden van andere fabrikanten.



Figuur 2: Apple ARM4

3.3 Complexiteit

ARM maakt gebruik van RISC, wat wil zeggen dat er een verkleinde instructieset aanwezig is. Elke instructie is daarbij even groot, terwijl dat bij x86 een variabele lengte is. Dit betekent dat instructies van een x86 eerst geïnterpreteerd moeten worden alvorens zij worden uitgevoerd waardoor RISC hier een voordeel behaalt omdat deze dat niet hoeft en dus sneller instructies uit kan voeren [4]. Een ander aspect is dat instructies van een RISC processor veelal simpeler zijn en dus korter duren dan die van een x86-processor. Bij RISC is dit veelal één klok cycle en bij x86 kan dit oplopen tot 195 klok cycles bij een integer deling met extended adressering [5]. Een ander mooi voorbeeld is te vinden op de volgende site http://www.onlinedisassembler.com/odaweb/run_hex. Daar is goed te zien dat een ARM veel minder instructies nodig heeft dan x86.

```
.data:0x00000000 55      push  %ebp
.data:0x00000001 31d2    xor   %edx,%edx
.data:0x00000003 89e5    mov   %esp,%ebp
.data:0x00000005 8b4508  mov   0x8(%ebp),%eax
.data:0x00000008 56      push  %esi
.data:0x00000009 8b750c  mov   0xc(%ebp),%esi
.data:0x0000000c 53      push  %ebx
.data:0x0000000d 8d58ff  lea  -0x1(%eax),%ebx
.data:0x00000010 0fb60c16 loc_00000010:
.data:0x00000014 884c1301 movzbl (%esi,%edx,1),%ecx
.data:0x00000018 83c201  add  $0x1,%edx
.data:0x0000001b 84c9    test %cl,%cl
.data:0x0000001d 75f1    jne  loc_00000010
.data:0x0000001f 5b      pop   %ebx
.data:0x00000020 5e      pop   %esi
.data:0x00000021 5d      pop   %ebp
.data:0x00000022 c3      ret
```

Figuur 3: x86 Assembly strcpy()

```
.data:0x00000000 e2402001 sub    r2, r0, #1
.data:0x00000004 e0612002 rsb   r2, r1, r2
.data:0x00000008 e4d13001 ldrb  r3, [r1], #1
.data:0x0000000c e3530000 cmp   r3, #0
.data:0x00000010 e7c13002 strb  r3, [r1, r2]
.data:0x00000014 1affffff bne   0x00000008
.data:0x00000018 e12ffff1e bx lr
```

Figuur 4: ARM Assembly strcpy()

4 Huidige ontwikkelingen

Hieronder worden een aantal ontwikkelingen bekeken die de opkomst van ARM-processoren in de hand moeten werken.

4.1 De roadmap van ARM

Op de ARM TechCon heeft ARM haar nieuwe 64-bits processorarchitecturen aangekondigd, samen met de ARMv8 instructieset, die zowel 64-bit als 32-bit instructies aan kan. De eerste 64-bit processoren zijn die van de nieuwe Cortex-A50-serie en betreft twee processoren die elk hun eigen voordeel hebben ten opzichte van de bestaande generatie. De Cortex-A57 is bedoeld voor high-performance toepassingen en heeft vier kernen. ARM beweert dat deze drie keer de performance heeft van hedendaagse high-end smartphones terwijl het energieverbruik rond gebruikelijke waardes ligt[6]. Dat is ongetwijfeld een grote claim die uitvoerig gedemonstreerd moet worden voordat het iets betekend. Maar waarschijnlijk, zoals we gewend zijn van ARM, is een praktische performancewinst die daar in de buurt komt wel te verwachten. Dat betekend dat ARM weer als eerste een efficiency-mijlpaal heeft bereikt, waar onder andere servermarkt van kan profiteren. De andere processor is de Cortex-A53 en ook deze heeft veelbelovende eigenschappen. Zo claimt ARM dat deze quad-core dezelfde prestaties biedt als een Cortex-A9, terwijl het vier keer efficiënter is met z'n energie en ook 40% kleiner is qua die surface[6]. Een ander argument van ARM is, dat beide processoren in combinatie met elkaar gebruikt kunnen worden in een zogenaamde big.LITTLE-constructie, waarbij de zwaardere taken door de A57 gedaan worden en de lichtere op de zuinigere A53, om zo energie te besparen en tegelijkertijd performance te bieden. Het is aannemelijk dat we een dergelijke constructie vooral terug gaan zien bij smartphones. Wat wel handig is voor serveromgevingen is de mogelijkheid om deze Cortex-A50-serie processoren met meer dan 16 nodes aan elkaar te koppelen met ARM's Interconnect-technologie. Ten slotte heeft ARM bekendgemaakt dat de nieuwe architecturen geschikt zijn om geproduceerd te worden op productieprocessen van 28 nm tot aan 14 nm, wat betekend dat als een fabrikant de middelen heeft om de processor te verkleinen, er nog meer winsten in efficiency kunnen volgen.

4.2 ARM-plannen van andere bedrijven

Veel bedrijven hebben al de voordelen van ARM-processoren voor de servermarkt ingezien, toekomstige ontwikkelingen hebben hoge verwachtingen. Hieronder worden de inspanningen van Dell, AMD, Red Hat en Calxeda om ARM in deze markt te introduceren uiteengezet.

De 64-bit Server-processor van AMD Eind oktober heeft AMD aangekondigd dat het een 64-bit ARM processor zal ontwerpen voor verschillende markten, naast haar bestaande lijn van x86 processoren. Als eerste zal de cloud- en datacenter lijn aan de beurt zijn. De ARM-processoren zullen in de bestaande Opteron serverlijn komen en in 2014 in productie gaan. Meerdere cores zullen aan elkaar gekoppeld worden door middel van AMD's SeaMicro Freedom Fabric technologie[7]. Omdat het cores van de eerder genoemde Cortex-A50-lijn betreft, zullen grote winsten in energieverbruik of juist meer in de rekenkracht

verkregen kunnen worden, zonder negatieve gevolgen voor een van beide factoren. Dit is wat de plannen van AMD veelbelovend maakt. Hoewel het waarschijnlijk is dat AMD geïnteresseerd is in de microservermarkt, is het niet uitgesloten dat we high-workload ARM servers kunnen gaan zien met 16 aan elkaar gelinkte Cortex-A57 cores. AMD is en blijft een belangrijke speler in deze markt en het is daarom een significante ontwikkeling dat het bedrijf de ARM-architectuur zo naar voren wil schuiven. Er is ook direct een samenwerkingsverband opgezet met Red Hat[8]. Red Hat zal 64-bit ARM ondersteuning gaan bieden met hun Fedora ARM Project, waarbij ook aan een port is begonnen van OpenJDK(Java) voor ARM64. Hieruit blijkt dat ook software-ondersteuning, wat een van de redenen is voor velen om terughoudend te zijn tegenover ARM, onderweg is.

Dell's testservers Dell is actief bezig met het ontwikkelen en testen van ARM-servers. Zo is er een server-chassis ontwikkeld, genaamd "Copper", bestaande uit 12 sleds met in elke sled vier onafhankelijke 32-bit ARM-servers. Deze 48 ARM-servernodes draaien elk op een 1,6 GHz quadcore Armada SoC van chipfabrikant Marvell. In totaal verbruiken de 48 servers samen minder dan 750 watt aan energie bij maximale belasting, wat zeer laag is voor 48 quad-core servers[9]. Dell geeft aan dat Copper meer bedoeld is als testsysteem voor bepaalde klanten en voorlopig nog niet commercieel ingezet zal worden. Klanten van Dell, zoals het Texas Advanced Computing Center, hadden eerder al belangstelling getoond voor een testplatform van ARM-servers, vanwege het lage energieverbruik. Vooral voor lichtere server-taken of voor specifieke distributed-computing doeleinden zou deze goed geschikt zijn. Dell kreeg echter nog niet genoeg commerciële belangstelling en is daarom nog terughoudend wat betreft marktintroductie. Een ander project van Dell samen met Calxeda, is de "Zinc", een opvolger van Copper. Van dit product is één exemplaar gedoneerd aan de Apache Software Foundation voor testdoeleinden. Het systeem runt een ARM-gebaseerde EnergyCore processor van Calxeda. De ASF zal het onder andere gebruiken voor het porten van software voor ARM-systemen evenals voor het ontwikkelen van nieuwe software voor het ARM-platform[10]. Daarmee zal het software-tekort voor ARM verholpen worden en zullen dergelijke servers beter als alternatief te presenteren zijn voor de klanten van Dell. Dell laat namelijk weten dat klanten momenteel vooral op de software aan het wachten zijn[11].



Figuur 5: Dell Copper

Calxeda's 64-bit Server-SoC Calxeda is start-up uit 2008 die focust op het maken van ARM SoCs met name bedoeld voor servers. De EnergyCore ECX-1000 is een SoC met vier Cortex-A9 cores (geklokt op 1,1 tot 1,4 GHz). Deze SoC is nu al een interessante optie voor low-power servers, omdat het mogelijk is om een server samen te stellen, die in combinatie met 4GB DRAM maar 5 watt aan energie verbruikt bij maximale belasting en 0,5 watt idle. Dat kan wel veranderen als de server een uitgebreidere set van peripherals moet hebben, maar desalniettemin is het indrukwekkend dat men een functionele ARM-server kan hebben die zo weinig energie verbruikt. De plannen van Calxeda voor 2013 betreffen het nieuwe 32-bit ARM-serverplatform genaamd Midway. Deze SoC zal gebaseerd zijn op de Cortex-A15 en goed zijn voor cloudomgevingen. In 2014 is het vervolgens de bedoeling dat er een 64-bit SoC komt, "Lago" [12]. Deze Lago zal dan ook minimaal vier cores bevatten, van hoogstwaarschijnlijk de Cortex-A50 serie, die dus enorme winsten in performance-per-watt belooft.

Het OpenStack project OpenStack is een project waar ruim 150 bedrijven aan deelnemen waarbij er een cloud is waar ontwikkelaars op kunnen testen en knutselen. Tot nu toe waren er alleen x86-processoren te vinden in de meer dan 150-cores-groote TryStack cloud van het project. Maar Canonical, Calxeda, HP en Core NAP hebben het initiatief genomen om ook ARM-cores aan de cloud toe te voegen [13]. Dit betekent dat bedrijven gemakkelijk de performance- en energieverbruiksfactoren kunnen testen van de ARM-processoren en er software voor kunnen maken en testen. Dit is een duw in de rug voor ARM-servers omdat het probleem van softwaretekort ook vanuit deze hoek wordt weggewerkt.

5 Welke obstakels moet ARM overwinnen?

Zoals in Hoofdstuk 3 is aangegeven wordt ARM op het moment nog niet veel gebruikt binnen de serverbranch. Dit hoofdstuk geeft aan wat er nog verbeterd moet worden aan ARM om succesvol te zijn.

5.1 Beschikbaarheid van Hardware

Een van de grootste nadelen op dit moment is dat er nog niet voldoende uitontwikkeld is. Pas sinds kort is er een ARM 64 bit processor uitgebracht, de ARMv8. Dit was voorheen een obstakel voor grote producenten. De reden daarvoor is dat je met een 32bit processor niet eenvoudig meer dan 4GB RAM kan alloceren. In de servermarkt worden bijna geen servers meer verkocht met minder dan 16GB RAM. Daarnaast was ARM ook helemaal niet gericht op de servermarkt. Dat is pas sinds de ARMv8 core. Dat betekent dat serverhardware nog in de kinderschoenen staat en dus nog niet in staat is de grote computerfabrikanten te overtuigen. In dit geval is het dus een kwestie van tijd totdat de hardware wel zijn diensten heeft bewezen.

5.2 Beschikbaarheid van Software

Zoals eerder al werd aangegeven zijn er vele ontwikkelingen gaande op software gebied, alleen is dit veelal in de Linux hoek. Microsoft is echter al bezig om Windows RT te ontwikkelen, maar dat is een zeer beperkt systeem en zal niet geschikt worden gemaakt voor servers. Het probleem dat dit met zich meebrengt is dat de Windows server applicaties dan ook niet zullen gaan draaien op ARM. Aan de andere kant krijgen Linux servers een steeds groter marktaandeel, 2012 al 20 % [14]. Dat kan betekenen dat er steeds meer applicaties zullen verschijnen vanuit de Linux hoek.

5.3 Andere obstakels

Een van de grootste obstakels is eigenlijk Intel, dat al geruime tijd een gerenommeerde chip leverancier in de serverindustrie is. Bedrijven zullen daar niet snel vanaf stappen. Intel heeft ook al aangetoond een 6 watt server te kunnen bouwen met de nieuwe S1200 Atoms [15]. Daarnaast heeft Intel ook een grote voorsprong op de bouw van componenten en een groter onderzoeksbudget tot zijn beschikking. Maar of dat budget ARM kan weerhouden om uit te groeien tot de nieuwe architectuur is maar zeer de vraag.

6 Conclusie

Er zijn vele positieve ontwikkelingen gaande omtrent ARM zoals operating systemen die voor ARM support zullen gaan bieden (verschillende Linux varianten maar zelfs Windows). Hardware loopt op dat vlak nog een beetje achter. Er zijn nog niet echt grote commerciële producten beschikbaar. Wel zijn er al op dat gebied al veel fabrikanten bezig met de bouw van deze servers (fabrikanten zoals Dell en HP). Het meest concrete plan is van AMD dat in 2014 de eerste 64bit ARM server chips wil gaan uitbrengen. ARM heeft zich al bewezen in de mobiele markt en embedded markt. Zij zouden daar op kunnen voortborduren in de servermarkt. Omdat op servergebied nog veel Windows aanwezig is, kan ARM alleen succesvol zijn als Linux Windows zou gaan verdringen. Een andere mogelijkheid is dat Windows zich meer gaat ontwikkelen richting ARM processoren. Verder is er ondanks het huidige tekort al veel beweging wat betreft het ontwikkelen van software voor het nieuwe platform. Gebaseerd op het bovenstaande kan er geen conclusie worden getrokken of ARM binnen 5 jaar wel of niet marktleider zal zijn. Het ligt wel voor de hand dat ze een grotere rol gaan spelen op dit gebied.

Referenties

- [1] A. V. Someren and C. Atack. *The ARM RISC Chip, A Programmer's Guide*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.
- [2] ARM Holdings plc. *Annual Report & Accounts 2011*, page 19. ARM, 2012.
- [3] RogerKay. Amd jumps into the arm server business. <http://www.forbes.com/sites/rogerkay/2012/10/31/amd-jumps-into-the-arm-server-business/>, Oktober 2012.
- [4] Andrew S. Tanenbaum. *Gestructureerde computerarchitectuur*, page 59. Pearson, 2010.
- [5] C.J. van Spronsen F.Bruggeman. *Collegedictaat micro-processors*, page x.20. Technische Hogeschool Delft, 1982.
- [6] Anand Lal Shimpi. Arm's cortex a57 and cortex a53: The first 64-bit armv8 cpu cores. <http://www.anandtech.com/show/6420/arms-cortex-a57-and-cortex-a53-the-first-64bit-armv8-cpu-cores>, Oktober 2012.
- [7] Anand Lal Shimpu. Amd will build 64-bit arm based opteron cpus for servers, production in 2014. <http://www.anandtech.com/show/6418/amd-will-build-64bit-arm-based-opteron-cpus-for-servers-production-in-2014>, Oktober 2012.
- [8] Heather Lennon. Red hat and amd: Working together to bring arm to the enterprise. <http://blogs.amd.com/home/2012/10/29/red-hat-and-amd-working-together-to-bring-arm-to-the-enterprise/>, Oktober 2012.
- [9] Steve Cumings. The time is right introducing "copper". <http://en.community.dell.com/dell-blogs/direct2dell/b/direct2dell/archive/2012/05/29/arm-processor-based-dell-servers-on-the-way.aspx>, Mei 2012.
- [10] Mark Hachman. Dell, calxeda develop second arm server. <http://slashdot.org/topic/datacenter/dell-calxeda-develop-second-arm-server/>, October 2012.
- [11] Jack Clark. Dell: We have arm servers but see no demand yet. <http://www.zdnet.com/dell-we-have-arm-servers-but-see-no-demand-yet-4010025505/>, Februari 2012.
- [12] Pieter Molenaar. Calxeda komt in 2014 met 64bit-arm-socs voor servers. <http://tweakers.net/nieuws/85034/calxeda-komt-in-2014-met-64bit-arm-socs-voor-servers.html>, October 2012.
- [13] Jack Clark. Openstack brigade backs try-before-you-buy arm cloud. <http://www.zdnet.com/openstack-brigade-backs-try-before-you-buy-arm-cloud-7000001223/>, Juli 2012.
- [14] IDC. Worldwide server market revenues decline 2.4% in first quarter as market growth slows in face of market transitions. <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS23513412#.UNI6oNGsSi8>, Mei 2012.

- [15] Donald Melanson. intel claim to title of world's first 6-watt server-class processor. <http://www.engadget.com/2012/12/11/intel-atom-s1200-server-data-centers/>, December 2012.