

Vuoden 2010 Millennium-teknologiapalkintoehdokas

"Uraauurtavasta panoksestaan tehokkaiden, yksinkertaista RISC-arkkitehtuuria hyödyntävien mikroprosessorien kehitystyössä. Keksintö on mahdollistanut kannettavien elektronisten laitteiden vallankumouksen. Tähän mennessä on valmistettu yli 18 miljardia ARM-mikroprosessoria. Niitä käytetään lukuisissa henkilökohtaisen tietotekniikan sovelluksissa, matkapuhelimissa, digikameroissa, musiikkisoittimissa, kiinteiden ja langattomien verkkojen laitteissa, autoissa ja terveydenhuollon tietotekniikassa. Niistä hyötyvät ihmiset ympäri maailman. "



Professori Stephen Furber

Tietotekniikan professori, Manchesterin yliopisto, Iso-Britannia
Syntynyt maaliskuussa 1953 Manchesterissa, Englannissa.

Innovaation synty

- 1982 Acorn tuo BBC Micro -kotitietokoneen markkinoille
- 1983 Acorn aloittaa RISC-tietokoneensa kehitystyön, pääsuunnittelijana Stephen Furber
- 1985 Ensimmäinen ARM-mikroprosessori valmistetaan
- 1987 ARM-prosessori Acorn Archimedes - pöytätietokoneen suorittimeksi
- 1990 Advanced RISC Machines (ARM) perustetaan Acornin ja Applen yhteisyrityksenä. Furber jatkaa vähän virtaa kuluttavien prosessorien kehittämistä Manchesterin yliopiston professorina.
- 1998 ARM listautuu Lontoon pörssiin ja NASDAQiin. 50 miljoonaa ARM-prosessorilla varustettua tuotetta valmistettu.
- 2010 ARM-prosessorien valmistusmäärä ylitti 18 miljardin rajan.

ARM-mikroprosessorin kehittäjä

Vuoden 2010 Millennium-teknologiapalkintoehdokas Steve Furber on 32-bittisen RISC-teknologiaan perustuvan ARM-mikroprosessorin pääsuunnittelija. Hänen innovaationsa mullisti kannettavan elektroniikan kehityksen. Nerokkaasti suunnitellun prosessorin avulla voidaan rakentaa edullisia ja vähän virtaa kuluttavia, mutta tehokkaita elektroniikkalaitteita. 25 vuoden aikana on valmistettu lähes 20 miljardia ARM-pohjaista mikroprosessoria.

Vaikka emme olisi koskaan ole kuulleet ARM-mikroprosessorista, käytämme todennäköisesti sellaista päivittäin. Prosessorin voi löytää kännykän, mp3-soittimen tai langattoman tukiaseman sisältä. ARM-teknologiaa hyödyntää 98 prosenttia matkapuhelimista ja yli neljäsosa kaikesta kulutuselektroniikasta.

Furberista tuli käänteentekevän mikroprosessorin isä vuonna 1985. Uusi prosessori oli yhtä tehokas kuin 32-bittiset kilpailijansa, mutta sen transistorimäärä – ja samalla virrankulutus – oli vain kymmenesosan kilpailijoista. Furber työskenteli Acorn Computersilla 32-bittisen ARM-prosessorin pääsuunnittelijana.

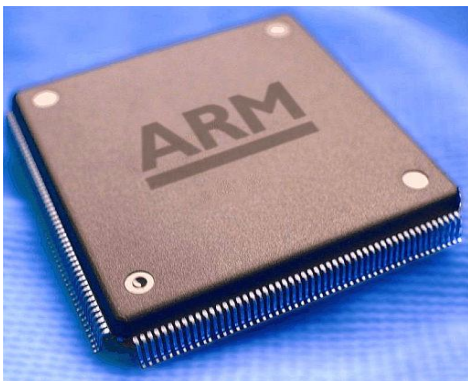
Prossessorin arkkitehtuuri oli yksinkertaisen tyylikäs. ARM oli maailman ensimmäinen kaupallisesti saatavilla oleva RISC (Reduced Instruction Set Computing) -suoritin. Lyhenne tarkoittaa suunnittelufilosofiaa, jossa suorittimen konekieliset käskyt on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina. Suoritin oli ensi kertaa käytössä vuonna 1987 esitellyssä Acorn Archimedes –mikrotietokoneessa.

ARM-prosessorin yksinkertainen rakenne teki siitä soveliaan suorittimen laitteisiin, joissa alhainen virrankulutus oli tärkeää. Pienen virrankulutuksensa takia ARM-arkkitehtuuri hallitsee nykyisin halvan kannettavan elektroniikan ja sulautettujen järjestelmien mikropiirimarkkinoita.

Furberin innovaatio on ollut matkaviestinnän nopean kasvun tukijalka. Uusi viestintäteknologia taas on antanut uusia taloudellisia mahdollisuuksia ja parantanut miljardien ihmisten elämänlaatua sekä kehittyvissä että teollisuusmaissa.

Tällä hetkellä noin 98 prosenttia vuosittain myytävistä yli miljardista matkapuhelimesta sisältää ainakin yhden ARM-prosessorin. ARM-siruja käytetään laajasti myös muussa kulutuselektroniikassa, digitaalisissa media- ja musiikkisoittimissa, kannettavissa pelikonsoleissa, laskimissa ja tietokoneiden oheislaitteissa, kuten kiintolevyissä ja reitittimissä.

ARM-suoritin



ARM-mikroprosessori pyörittää suurta osaa maailman elektronisista laitteista, esimerkiksi Applen uutta iPad-lukulaitetta. Niitä käytetään myös autojen teknisissä järjestelmissä, turvatyynyissä, polttoaineen ruiskutuksessa ja ABS-jarruissa.

Yksinkertaista tehoa

Suoritin (CPU) tai prosessori on kaikkien tietoteknisten laitteiden keskeinen komponentti. Se suorittaa tietokoneohjelman sisältämät konekieliset käskyt. Tietotekniikan kehityksen alkuaikoina ohjelmointi tehtiin

konekielellä. Tietokonevalmistajat pyrkivät helpottamaan ohjelmoijan elämää suunnittelemalla tietokoneiden käskykannat niin, että suorittimelle annetut käskyt suorittivat laajoja kokonaisuuksia, useita alkeistason operaatioita kerralla. Tästä seurasi, että käskyjä tarvittiin paljon. Esimerkiksi ensimmäisessä IBM PC:ssä käytetyn Intel 8088 -prosessorin käskykanta oli varsin monimutkainen lukuisine käskyineen ja eri osoitemuotoineen.

1970-luvulla sai jalansijaa uusi, yksinkertaisuutta painottava suunnittelustrategia, jossa prosessorin käskyt suorittivat vain hyvin yksinkertaisia operaatioita. Käskyjä tarvitaan enemmän tietyn tehtävän suorittamiseksi, mutta yksinkertaiset käskyt voidaan suorittaa nopeasti yhden kellojakson aikana. RISC-arkkitehtuurissa käskykanta yksinkertaistettiin ottamalla käyttöön kääntäjä, tietokoneohjelma, joka muuttaa ihmiselle ymmärrettävän lähdekoodin tietokoneen ymmärtämään konekieliseen muotoon.

Lokakuussa 1983 Acorn Computers Ltd aloitti RISC-mikrotietokonehankkeensa. Furber vastasi uuden tietokoneen prosessorin suunnittelusta. Suunnittelutiimi sai prosessorin ensimmäisen version, ARM1:n, valmiiksi vuonna 1985. Varsinainen tuotantoversio valmistui seuraavana vuonna. ARM1 oli maailman ensimmäinen kaupallisesti saatavilla oleva RISC-mikroprosessori, ja 25 000 transistorillaan ehkä maailman yksinkertaisin käyttökelpoinen suoritin. Rakenteen yksinkertaisuus teki siitä hyvin virtapihin, mutta suorituskyvyltään ARM päihitti esimerkiksi IBM PC:n käyttämän Intel 286 -prosessorin.

Käskykannan yksinkertaistaminen tarkoitti, että prosessori kykeni suorittamaan yksinkertaiset käskyt paljon aiempaa nopeammin. Prosessorin rakenne yksinkertaistui, se kulutti vähän tehoa ja sen valmistaminen oli edullista. Kilpailevien prosessorien suorituskyky saavutettiin entistä vähemmillä komponenteilla. Juuri nämä ominaisuudet ovat tehneet ARM-sirusta niin suosittu.

Hiipivä menestystarina

Acornin kehittämä RISC-prosessori otettiin ensi kertaa käyttöön yhtiön Acorn Archimedes -pöytätietokoneessa. 32-bittisen prosessorin vähän virtaa kuluttava tekniikka osoittautui kuitenkin arvokkaammaksi kasvavilla kannettavan elektroniikan markkinoilla. Kiinnostus ARM-suoritinperhettä kohtaan lisääntyi sitä mukaa kun RISC-arkkitehtuurin tunnettuus kasvoi. Kannettavan elektroniikan kysyntä kasvoi, ja ARM oli vastaus elektroniikkateollisuuden halpojen prosessorien lisääntyvään tarpeeseen.

ARM-prosessorien menestystarina alkoi 1990-luvun alussa. Kysyntä kasvoi aluksi hitaasti mutta tasaisesti. Viime vuosina kasvu on ollut räjähdysmäinen.

Nykyisin sulautetut järjestelmät (tiettyyn käyttöön suunnitellun ohjelmiston ja laitteiston muodostama kokonaisuus, kuten GPS-navigaattori) ovat mikroprosessorien ylivoimaisesti suurin markkina-alue. Talouksissa on ehkä kaksi tietokonetta, mutta kun lasketaan yhteen perheen matkapuhelinten, autojen ja muiden elektroniikkalaitteiden sisältämät prosessorit, luku nousee kymmeneen. ARM-arkkitehtuuriin perustuvien prosessorien markkinaosuus on noin 90 prosenttia kaikista 32-bittisistä sulautettujen järjestelmien mikroprosessoreista.

ARM-suorittimia käytetään lähes kaikissa matkapuhelimissa, kämmenmikroissa, iPod-musiikkisoittimissa, Nintendo DS -pelikonsoleissa, GPS-navigaattoreissa ja digitelevisioissa. Prosessorivalmistajat käyttävät ARM-arkkitehtuuria tuhansin eri tavoin, usein kytkien prosessorit yhteen muiden komponenttien kanssa. Nykyisin elektroniikassa on yleistynyt System-on-Chip -rakenne, jossa kokonainen järjestelmä rakennetaan samalle mikropiirille. Esimerkiksi Applen uusi iPad-lukulaite sisältää yhden piirin, jolle on pakattu ARM-suoritin, grafiikkapiiri sekä kaikki muu järjestelmän tarvitsema elektroniikka.

“Hello World, I am ARM”

Tehdessään aerodynamiikan alan väitöskirjaansa 1970-luvulla Cambridgen yliopistossa, Furber liittyi tietokoneharrastajien yhdistykseen, Cambridge University Processor Groupiin.

“Aloimme rakentaa tietokoneita huviksemme. Ensimmäinen koneeni käytti Signetics 2650 -prosessoria, ja siinä oli kokonainen kilotavu staattista RAM-muistia”, Furber muistelee.

Jo osien tilaaminen USA:sta luottokortilla oli eksoottista nuorille tietokoneharrastajille.

Kun Furber oli valmistumassa, Herman Hauser koputti hänen työhuoneensa ovelle. Hän ja Chris Curry olivat perustamassa yhtiötä, josta myöhemmin muotoutui Acorn Computers. He etsivät tietokonekerholaisten joukosta tietotekniikkaa osaavia työntekijöitä.

“Niin tulin aloittaneeksi Acornissa aivan ensimmäisten työntekijöiden joukossa.”

Furberin ensimmäinen suurhanke oli BBC Micro -tietokoneen suunnittelu. Commodoren ja Sinclairin kanssa kilpaillut kotitietokone oli huikea menestys brittimarkkinoilla. Menekkiä lisäsi BBC:n tietotekniikan lukutaitohanke. Valmistussopimuksen saanut Acorn myi konetta yhteensä 1,5 miljoonaa kappaletta.



Suurin osa englantilaisista kouluista käytti BBC Micro -tietokonetta tietotekniikan opetuksessa 1980-luvulla.

Kun 8-bittinen BBC Micro osoittautui menestykseksi, Acorn alkoi menestyksen siivittämänä suunnitella seuraavaa tietokonesukupolveaan. Furber ja hänen kollegansa testasivat kaikki 16-bittiset prosessoriehdokkaat - eivätkä pitäneet yhtäkään niistä vakavasti otettavana sydämenä uudelle tietokoneelle. Suunnittelijat alkoivat pohtia prosessorin rakentamista itse. Työ ei olisi helppo, sillä esimerkiksi National oli käyttänyt satoja työvuosia 16-bittisen prosessorinsa suunnitteluun. 300-henkisellä Acornilla ei olisi siihen varaa.

Loppuvuodesta 1983 Furber aloitti työt Sophie Wilsonin, BBC Micron Basic-kielen kirjoittajan kanssa. He istuivat toimistossaan epävarmana siitä miten edetä ja selailivat tutkimuspapereita Berkeleyn yliopiston RISC-tutkimuksesta. Kävi ilmi, että ryhmä yliopiston tutkinto-opiskelijoita oli rakentanut toimivan mikroprosessorin. Furber ja Wilson kävivät myös Yhdysvalloissa tutustumassa Phoenixissa toimivaan Western Design Centreen, joka oli suunnitellut BBC Micron 6502-suorittimen. Parakkirakennuksesta ulos kävellessään he pohtivat ääneen: "Jos nuo pystyvät suunnittelemaan mikroprosessorin, niin pystymme mekin!"

Heidän esimiehensä Hermann Hauser tuki uhkarohkealta kuulostavaa ajatusta ja työ alkoi. Kävi ilmi, ettei mikroprosessorin suunnittelu ollut salatiedettä. RISC-filosofia osoittautui toimivaksi, ja vain 18 kuukautta myöhemmin suunnittelijoilla oli ensimmäinen 32-bittinen ARM-suoritin käsissään.

Vallankumouksellinen prosessori oli syntynyt. Kun ensimmäinen testiprosessori tuli valmistajalta vuonna 1985, se asennettiin oitis kehitysympäristöön ja virrat kytkettiin päälle. Väitteen mukaan ruudulle ilmestyi teksti: "Hello World, I am ARM". Furber ei tosin ole varma, onko tämä totta vai tarua, mutta shampanjapullo joka tapauksessa avattiin.

Ensimmäinen 32-bittinen ARM sisälsi vain 25 000 transistoria, vähemmän kuin yksinkertainen 8-bittinen Z80-prosessori.

"Se oli kooltaan todella pieni ja rakenteeltaan yksinkertainen", Furber sanoo.

Myös virrankulutus oli todella alhainen.

"Se oli yksi historian onnekaista sattumista."

Alhainen virrankulutus ei ollut keskeinen suunnitteluvaatimus, mutta hinta haluttiin pitää alhaisena. Tämä tarkoitti sitä, että prosessori pitäisi tehdä muovikuoreen, joka taas kesti huonosti lämpöä. Tämän vuoksi tehonkulutus haluttiin pitää alle yhden watin. Furber kertoo, että suunnittelijat halusivat olla varmoja rajan alituksesta - ja se todella tehtiin. Testeissä ARM suoritti 6 miljoonaa käskyä sekunnissa, ja sen virrankulutus oli vain 0,1 wattia.

Furber TV-kasvona

Steve Furber on yksi henkilökohtaisen tietojenkäsittelyn tärkeimmistä kehittäjistä.

Acornin johtaja Herman Hauserin sanoin: "Steve oli yksi terävimmistä kavereista, joiden kanssa olen koskaan työskennellyt. Hän oli nerokas. Kun päätimme rakentaa oman prosessorin, tein kaksi loistavaa päätöstä.

Annoin suunnittelijoille kaksi asiaa, joita National, Intel tai Motorola eivät koskaan antaneet omilleen - rahaa ja ihmisiä. Se pakotti pitämään rakenteen todella yksinkertaisena."

Nyt 25 vuotta ja lähes 20 miljardia valmistettua ARM-prosessoria myöhemmin, Furber hämmästelee edelleen menestystä.

"Emme voineet kuvitella myyvämme edes miljoonia prosessoreita. Ja nyt puhutaan miljardeista. ARM oli oikea tuote oikeaan aikaan."

Furber on siinäkin mielessä harvinainen insinöörihahmo, että hän on esiintynyt tv-draaman tähtenä. Näyttelijä Sam Philips esitti nuorta Furberia BBC draamadokumentissa Micro Men. Se kertoo brittiläisen

tietokonebisneksen ensiaskeleista 1980-luvulla, jolloin Sir Clive Sinclair, ZX Spectrum -tietokoneen kehittäjä, ja Chris Curry, mies BBC Micron takana, kilpailivat ostajien sydämistä.

Ihmisaivot tutkijoiden esikuvana

Vuonna 1990 Furber nimitettiin tietotekniikan professoriksi Manchesterin yliopistoon. Hän perusti tutkimusryhmän, joka erikoistui asynkronisten piirien tutkimukseen ja vähän sähköä kuluttavan tietotekniikan kehittämiseen. Ryhmä jatkoi myös ARM-arkkitehtuurin kehittämistä.

Vuonna 2000 Furberin tutkimusryhmästä muodostettiin laajempi Advanced Processor Technologies - tutkimusryhmä. Yksi sen kehityshankkeista on SpiNNaker-projekti, jossa ARM-prosessoreita käytetään peruselementtinä mallinnettaessa ihmisaivojen toimintaa. Miljoonasta halvasta ARM-prosessorista on tarkoitus rakentaa jättimäinen supertietokone, jonka malli on haettu ihmisaivojen biologiasta. Aivojen sadan miljardit neuronit ratkovat yhdessä tehtäviä, joihin tehokkaimmattaan tietokoneet eivät kykene. Vaikka miljoonan prosessorin tietokoneen laskentakapasiteetti on huikea, se vastaa kuitenkin vain noin miljardia neuronia, siis sadasosaa aivojen kapasiteetista. Furber odottaa silti paljon tutkimushankkeelta. Sen avulla halutaan paitsi ymmärtää aivojen toimintaa entistä paremmin, myös rakentaa entistä parempia prosessoreita. "Elollisten olentojen tapa käsitellä tietoa on äärimmäisen mielenkiintoinen. Mikropiirien valmistajat törmäävät yhä useammin ongelmiin, jotka biologia on jo ratkaissut. Kun transistorien kokoa pienennetään, teknologia muuttuu epäluotettavammaksi. Aikuisina menetämme aivojen hermosoluja joka sekunti, ja silti aivot toimivat. Tämän ymmärtäminen auttaisi suunnittelemaan myös entistä parempia mikropiirejä."

Liiketoiminta ARM:n ympärillä

ARM-prosessorin juhliessa 25-vuotissyntymäpäiviään toukokuussa 2010 on 20 miljardin valmistetun prosessorin rajapyykki lähellä. Matkapuhelinsirujen markkinoita hallitsevan ARM Holdings Ltd:n pääkonttori sijaitsee edelleen Englannissa Cambridgessä.

Toisin kuin muut prosessorialan jättiläiset, ARM ei valmista prosessoreita itse, vaan kehittää ja lisensoi teknologiaansa. Yhteistyökumppanit käyttävät ARM:n tekijänoikeuksia suunnitellessaan ja valmistaessaan omia tuotteitaan, maksaen lisenssimaksuja patenteista ja royalteja valmistetuista mikrosiruista. ARM-pohjaisen sirumyynnin arvo on ohittamassa maailman johtavan mikroprosessorivalmistaja Intelin prosessorimyynnin arvon.

ARM Holdings tunnetaan parhaiten prosessoreistaan, mutta se myy myös tietokoneohjelmistoja piirien suunnitteluun ja suunnittelee omia system-on-chip-arkkitehtuureja lisensoitavaksi.

Matkapuhelinten suorittimet ovat Furberin innovaation näkyvin käyttökohde, mutta ARM-arkkitehtuuri pyörittää lukemattomia muitakin elektroniikkalaitteita GPS-navigaattoreista tulostimiin, ajoneuvojen ohjauselektronikasta leluihin. Kaikki nämä laitteet hyödyntävät tavalla tai toisella Furberin kehittämän ARM-tekniikan erityislaatua.

LINKIT JA KIRJALLISUUTTA

Julkaisut

Steve Furber: ARM System-on-chip Architecture. Addison Wesley (2000). ISBN: 0-201-67519-6

Linkit

Steve Furberin The Advanced Processor Technologies -tutkimusryhmä

<http://intranet.cs.man.ac.uk/apt/>

Wikipedia-artikkeli ARM-arkkitehtuurista http://en.wikipedia.org/wiki/ARM_processor

Yritykset

ARM Holdings <http://www.arm.com>

Curriculum Vitae of Stephen B. Furber

Education

- 1958-63 Rose Hill County Primary School, Marple, Cheshire
1963-70 Manchester Grammar School
1971-78 Cambridge University

Qualifications

- BA (mathematics, 1st class) Cambridge University, 1974
PhD (aerodynamics) Cambridge University, 1980
Chartered Engineer and Chartered IT Professional Fellow, British Computer Society (BCS), 1997-
Fellow, Royal Academy of Engineering, 1999-
Fellow, Royal Society, 2002-
Fellow, Institution of Engineering and Technology (IET, formerly IEE), 2004-
Fellow, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2005-
Member, Academia Europaea, 2008-

Prizes and awards

- 1995 British Computer Society Award (to research group) for Amulet1.
1995 Computing IT 'Gold' award for Technology Transfer - research group jointly with ARM Ltd for the Amulet programme.
2003 Royal Academy of Engineering Silver Medal
2004 Royal Society-Wolfson Research Merit Award, October 2004 - September 2009
2007 Institution of Engineering and Technology Faraday Medal, 2007
2008 CBE, " for services to computer science"

Previous employment and appointments

- 1978-81 Rolls-Royce Research Fellow at Emmanuel College, Cambridge
1981-90 Acorn Computers Limited, Cambridge, hardware designer, design manager, head of Advanced R&D
1997-99 Non-executive director of Cogency Technology, Inc. (A start-up company employing several former members of my research group with a mission to exploit self-timed design.)
2001-04 Non-executive director of Transitive Corporation (A Departmental spin-out company exploiting dynamic binary translation software.)
2001-04 Head of the Department of Computer Science, University of Manchester.
2004-06 Non-executive director of Silistix Ltd (A University start-up company established to exploit Network- on-Chip Technology developed in my research group.)

Present appointments

- 1990- ICL Professor of Computer Engineering, Department of Computer Science, University of Manchester
1994- Non-executive director of Manchester Informatics Ltd. (A subsidiary of Manchester Innovation, Ltd., the University's exploitation company.)

2000- Non-executive director of Cogniscience Ltd. (A University start-up company established to channel funds from Providence Investments Limited and the University Challenge Fund into my hardware neural network research.)

Creative or innovative work

BBC microcomputer (1981): I was the principal architect of the hardware of this product, and designed and supervised the implementation of the gate arrays. 1.25 million BBC microcomputers (including derivatives) have been sold. The BBC micro earned Acorn a Queen's Award for Technology.

BBC micro 2nd processors (1982): I designed the hardware and laid out (on a Ferranti ULA) the 'Tube' inter-processor communication component used on all of the BBC micro 2nd processors (6502, Z80, 32016, ARM) and designed the 6502 2nd processor card.

Acorn Electron (1983): This was a cost-reduced BBC micro, using 12 chips in place of the 100+ on the bigger machine. I was responsible for the hardware system design and the logic design for the Ferranti ULA which was the core of the design.

ARM1 32-bit RISC microprocessor (1983-85): I designed the hardware organization and logic of the ARM processor, and supervised the VLSI implementation. The ARM also earned Acorn a Queen's Award for Technology, and led ultimately to the formation of ARM Limited in 1990, which under the leadership of Sir Robin Saxby has become the world-leading supplier of 32-bit embedded processor core designs. By the end of 2007 over 10,000 million ARM cores had been shipped world-wide, making the ARM the highest volume 32-bit microprocessor by a very large margin.

Acorn Archimedes (1985-87): I was responsible for the hardware architecture of the chip set that forms the basis of this product, and designed the logic of the memory controller chip (MEMC) and the ARM2 processor.

ARM3 (1987-89): I supervised the engineer responsible for designing the first ARM processor with cache memory.

AMULET1 (1991-94): An asynchronous implementation of the ARM microprocessor, and the first asynchronous implementation of a complete processor architecture. I led the research group and designed the hardware organization and logic. AMULET1 gained the 'Gold' for Technology Transfer in the 1995 Computing IT awards (the award going jointly to ARM Limited and the University of Manchester), and gained a 1995 BCS Award.

AMULET2e (1993-96): An asynchronous embedded system chip incorporating a 2nd generation asynchronous ARM core (AMULET2), 4 Kbytes of cache/RAM and a flexible memory interface. First silicon was delivered in October 1996. I led the research group and contributed to various low-level design features. (The high-level design owed a lot to AMULET1.) The total design effort was estimated to be 12 man-years.

AMULET3H (1996-2000): An asynchronous embedded processing subsystem; the first commercial use of the AMULET technology and the world's first commercial application of an asynchronous 32-bit processor. Production has not taken place due to the commercial partner's financial problems. I led the research group and contributed to various aspects of the design.

SPA (2000-2003): A prototype smart card chip developed to demonstrate the merits of asynchronous technology in enhancing the resistance of a chip to non-invasive attacks such as power and electromagnetic analysis. The chip incorporated two fully synthesized asynchronous ARM cores with different back-end technologies in order that security comparisons could be made. I led the research group and contributed to design reviews.

SpiNNaker (2005-): This is an ambitious, high-profile project to build a million ARM cores into a parallel supercomputer for large-scale neural modelling. It has attracted considerable funding and some media attention, which will presumably grow when we have working prototype chips...

Patents

- 1994 UK patent application 9400381.1: "Data Memory and Processor Bus" with W. H. Oldfield (arising from my consultancy work with ARM Ltd).
- 1996 UK patent application 9604367.4: "Dynamic Logic Pipeline Control".
- 1999 UK patent application 9924310.7: "Scalable Neural Network Architecture".
UK patent application 9924312.3: "Duplex Communications System".
UK patent application 9924585.4: "Viterbi Decoder" with L.E.M. Brackenbury, M. Cumpstey and P. Riocreux.
- 2002 UK patent application 0207372.4: "A Sparse Distributed Memory Based upon N-of-M Codes".
- 2005 UK patent application 0524126.0: "Multicast Communications Router".