

ARM Architectuur

Jeroen Doggen
jeroen.doggen@ap.be

Versie: 2 maart 2015

Overzicht

ARM Overzicht

Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

- Classic ARM processors

- Embedded ARM processors

- Application ARM processors

Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

Classic ARM processors

Embedded ARM processors

Application ARM processors

ARM[®] Selector Guide



ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹
- ▶ ARM verkoopt licenties van de ARM core aan halfgeleider partners die ARM chips fabriceren en verkopen aan hun klanten
 - ▶ ARM fabriceert zelf geen chips



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹
- ▶ ARM verkoopt licenties van de ARM core aan halfgeleider partners die ARM chips fabriceren en verkopen aan hun klanten
 - ▶ ARM fabriceert zelf geen chips
- ▶ ARM is de grootste speler op het gebied van 32-bit embedded microprocessors.



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹
- ▶ ARM verkoopt licenties van de ARM core aan halfgeleider partners die ARM chips fabriceren en verkopen aan hun klanten
 - ▶ ARM fabriceert zelf geen chips
- ▶ ARM is de grootste speler op het gebied van 32-bit embedded microprocessors.
- ▶ ARM biedt een breed scala aan architecturen en modellen aan:
 - ▶ Hoge performance, lage kostprijs, laag energieverbruik



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹
- ▶ ARM verkoopt licenties van de ARM core aan halfgeleider partners die ARM chips fabriceren en verkopen aan hun klanten
 - ▶ ARM fabriceert zelf geen chips
- ▶ ARM is de grootste speler op het gebied van 32-bit embedded microprocessors.
- ▶ ARM biedt een breed scala aan architecturen en modellen aan:
 - ▶ Hoge performance, lage kostprijs, laag energieverbruik
- ▶ ARM biedt samen met zijn partners tevens tools en software aan die ontwikkeling van embedded applicaties zo makkelijk en efficiënt mogelijk te maken.



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Overzicht

- ▶ Opgericht in november 1990, spin-off van Acorn Computers ¹
- ▶ ARM verkoopt licenties van de ARM core aan halfgeleider partners die ARM chips fabriceren en verkopen aan hun klanten
 - ▶ ARM fabriceert zelf geen chips
- ▶ ARM is de grootste speler op het gebied van 32-bit embedded microprocessors.
- ▶ ARM biedt een breed scala aan architecturen en modellen aan:
 - ▶ Hoge performance, lage kostprijs, laag energieverbruik
- ▶ ARM biedt samen met zijn partners tevens tools en software aan die ontwikkeling van embedded applicaties zo makkelijk en efficiënt mogelijk te maken.
- ▶ Er werden reeds 20 miljard processoren gemaakt en momenteel worden meer dan 10 miljoen processoren per dag afgeleverd.



¹http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_Computers

ARM Partnership model



Intellectueel eigendom

- ▶ De verschillende ARM cores delen een gemeenschappelijke instructieset.

Intellectueel eigendom

- ▶ De verschillende ARM cores delen een gemeenschappelijke instructieset.
- ▶ ARM biedt de volledige interne werking aan halfgeleider partners aan.
 - ▶ Hard en soft views (gate level netlist).

Intellectueel eigendom

- ▶ De verschillende ARM cores delen een gemeenschappelijke instructieset.
- ▶ ARM biedt de volledige interne werking aan halfgeleider partners aan.
 - ▶ Hard en soft views (gate level netlist).
- ▶ OEMS krijgen enkel beschikking over de hard view. (ter bescherming van IP).

Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

Classic ARM processors

Embedded ARM processors

Application ARM processors

ARM Programmeermodel

- ▶ ARM is een 32-bit architectuur.

ARM Programmeermodel

- ▶ ARM is een 32-bit architectuur.
- ▶ Wanneer deze termen worden gebruikt in de ARM context:
 - ▶ Byte: 8 bits
 - ▶ Halfword: 16 bits
 - ▶ Word: 32 bits

ARM Programmeermodel

- ▶ ARM is een 32-bit architectuur.
- ▶ Wanneer deze termen worden gebruikt in de ARM context:
 - ▶ Byte: 8 bits
 - ▶ Halfword: 16 bits
 - ▶ Word: 32 bits
- ▶ De meeste ARM's implementeren twee instructiesets:
 - ▶ 32-bit ARM instructieset
 - ▶ 16-bit Thumb instructieset

ARM Programmeermodel

- ▶ ARM is een 32-bit architectuur.
- ▶ Wanneer deze termen worden gebruikt in de ARM context:
 - ▶ Byte: 8 bits
 - ▶ Halfword: 16 bits
 - ▶ Word: 32 bits
- ▶ De meeste ARM's implementeren twee instructiesets:
 - ▶ 32-bit ARM instructieset
 - ▶ 16-bit Thumb instructieset
- ▶ Jazelle cores kunnen ook Java bytecode uitvoeren. (native)

Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

Classic ARM processors

Embedded ARM processors

Application ARM processors

ARM 1 tot 6

- ▶ ARMv1 tot ARMv3 architectuur.



Figuur: Een Conexant ARM processor, voornamelijk gebruikt in routers

rtesis

ARM 1 tot 6

- ▶ ARMv1 tot ARMv3 architectuur.
- ▶ Tussen 1985 en +/- 1995 werden vele modellen van ARM processoren ontwikkeld.



Figuur: Een Conexant ARM processor, voornamelijk gebruikt in routers

rtesis

ARM 1 tot 6

- ▶ ARMv1 tot ARMv3 architectuur.
- ▶ Tussen 1985 en +/- 1995 werden vele modellen van ARM processoren ontwikkeld.
- ▶ De meeste van deze processoren worden nu niet vaak meer gebruikt in nieuwe producten.



Figuur: Een Conexant ARM processor, voornamelijk gebruikt in routers

rtesis

ARM 7

- ▶ De meest gebruikte ARM7 designs implementeren de ARMv4T architectuur. (Von Neumann)

ARM 7

- ▶ De meest gebruikte ARM7 designs implementeren de ARMv4T architectuur. (Von Neumann)
- ▶ Deze generatie introduceerde de Thumb 16-bit instructieset: verbeterde code densiteit t.o.v. voorgaande designs.

ARM 7

- ▶ De meest gebruikte ARM7 designs implementeren de ARMv4T architectuur. (Von Neumann)
- ▶ Deze generatie introduceerde de Thumb 16-bit instructieset: verbeterde code densiteit t.o.v. voorgaande designs.
- ▶ Eén historisch belangrijk model is de “ARM7DI”: deze introduceerde JTAG debugging.²
 - ▶ JTAG wordt veel gebruikt voor het testen van PCB's
 - ▶ Biedt de mogelijkheid om stap per stap code uit te laten voeren: single stepping & breakpointing

²http://www.jtag.com/en/Learn/Standards/IEEE_1149.1

ARM 7

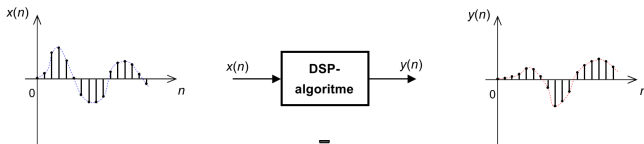
- ▶ De meest gebruikte ARM7 designs implementeren de ARMv4T architectuur. (Von Neumann)
- ▶ Deze generatie introduceerde de Thumb 16-bit instructieset: verbeterde code densiteit t.o.v. voorgaande designs.
- ▶ Eén historisch belangrijk model is de “ARM7DI”: deze introduceerde JTAG debugging.²
 - ▶ JTAG wordt veel gebruikt voor het testen van PCB's
 - ▶ Biedt de mogelijkheid om stap per stap code uit te laten voeren: single stepping & breakpointing
- ▶ Bekende elektronica waarin deze chip gebruikt wordt:
 - ▶ iPod, Nintendo DS, Game Boy Advance, routers,...

²http://www.jtag.com/en/Learn/Standards/IEEE_1149.1

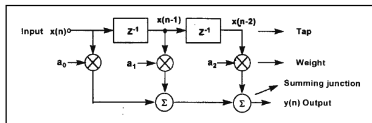
Digital Signal Processing (DSP)

- Een analoog signaal wordt gesampled en gekwantiseerd

rtesis



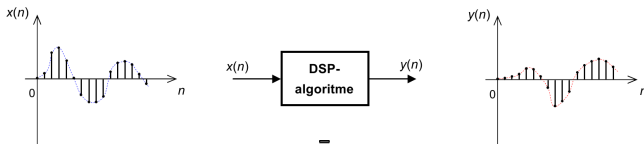
voorbeeld:
(schematische voorstelling)



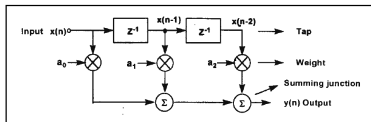
Digital Signal Processing (DSP)

- ▶ Een analogoog signaal wordt gesampled en gekwantiseerd
- ▶ Het digitaal wordt digitaal bewerkt (filter, echo, ...)

rtesis



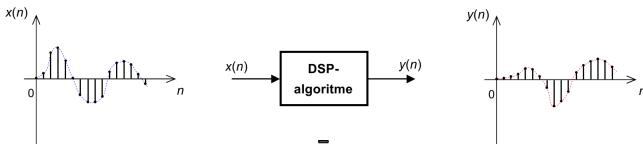
voorbeeld:
(schematische voorstelling)



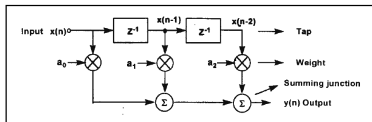
Digital Signal Processing (DSP)

- ▶ Een analoog signaal wordt gesampled en gekwantiseerd
- ▶ Het digitaal wordt digitaal bewerkt (filter, echo, ...)
 - ▶ MAC instructie: **M**ultiply, **A**dd & **A**ccumulate³

rtesis



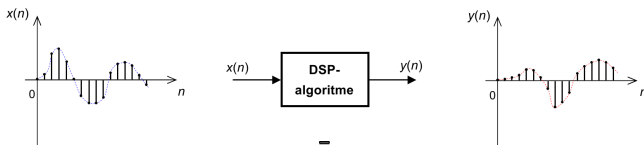
voorbeeld:
(schematische voorstelling)



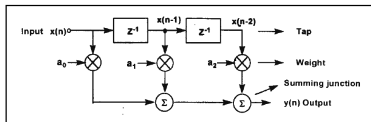
Digital Signal Processing (DSP)

- ▶ Een analogoog signaal wordt gesampled en gekwantiseerd
- ▶ Het digitaal wordt digitaal bewerkt (filter, echo, ...)
 - ▶ MAC instructie: **M**ultiply, **A**dd & **A**ccumulate³
- ▶ Het bewerkt signaal wordt terug in analoge vorm omgezet

rtesis



voorbeeld:
(schematische voorstelling)



ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.
 - ▶ Klokcycli verbeteringen: vele instructies worden nu in één cyclus voltooid.

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandert ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.
 - ▶ Klokcycli verbeteringen: vele instructies worden nu in één cyclus voltooid.
 - ▶ Sommige ARM9 cores beschikken over “Enhanced DSP” instructies (bijv. MAC) voor digitale signaalverwerking algoritmes.

ARM 9

- ▶ ARM9 is een 32-bit RISC architectuur. (ARMv4T en ARMv5TE)
- ▶ Bij deze generatie verandere ARM van de Von Neuman naar de Harvard architectuur met een aparte data en instructiebus waardoor de snelheid significant kan toenemen.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM7
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.
 - ▶ Klokcycli verbeteringen: vele instructies worden nu in één cyclus voltooid.
 - ▶ Sommige ARM9 cores beschikken over “Enhanced DSP” instructies (bijv. MAC) voor digitale signaalverwerking algoritmes.
- ▶ Bekende elektronica waarin deze chip gebruikt wordt:
 - ▶ Nintendo DSi, eReaders, NAS, routers, GSM's ...

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9
 - ▶ SIMD instructies voor betere multimedia toepassingen.

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9
 - ▶ SIMD instructies voor betere multimedia toepassingen.
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9
 - ▶ SIMD instructies voor betere multimedia toepassingen.
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9
 - ▶ SIMD instructies voor betere multimedia toepassingen.
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.
 - ▶ Sommige ARM9 cores beschikken over “Enhanced DSP” instructies (bijv. MAC) voor digitale signaalverwerking algoritmes.

ARM 11

- ▶ De ARM11 introduceerde de ARMv6 architectuur.
- ▶ Verbeteringen t.o.v. ARM9
 - ▶ SIMD instructies voor betere multimedia toepassingen.
 - ▶ Lagere warmteproductie en minder risico op oververhitting.
 - ▶ Hogere kloksnelheden en langere pipeline.
 - ▶ Sommige ARM9 cores beschikken over “Enhanced DSP” instructies (bijv. MAC) voor digitale signaalverwerking algoritmes.
- ▶ Bekende elektronica waarin deze chip gebruikt wordt:
 - ▶ HTC, Nokia, Samsung smartphones, Apple iPhone, iPod Touch, Amazon Kindle,...

Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

Classic ARM processors

Embedded ARM processors

Application ARM processors

ARM Cortex-M0

- ▶ De ARM Cortex-M0 processor is de kleinste, meest energie zuinige ARM processor.

ARM Cortex-M0

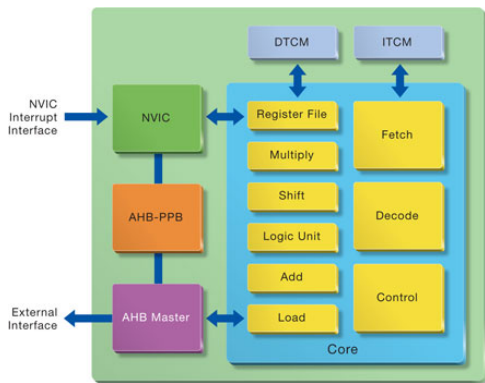
- ▶ De ARM Cortex-M0 processor is de kleinste, meest energie zuinige ARM processor.
- ▶ Door het zeer kleine silicon oppervlak en minimale code footprint levert deze processor 32-bit performance bij een 8-bit verkoopprijs.

ARM Cortex-M0

- ▶ De ARM Cortex-M0 processor is de kleinste, meest energie zuinige ARM processor.
- ▶ Door het zeer kleine silicon oppervlak en minimale code footprint levert deze processor 32-bit performance bij een 8-bit verkoopprijs.
- ▶ Key features: (NXP LPC1100 Series)
 - ▶ 50 MHz, 32-bit, tot 32 kB Flash, 8 kB SRAM
 - ▶ UART, SPI, I^2C , 8-channel 10 bit AD-converter, 42 GPIO
 - ▶ Active power: $150\mu A/MHz$
 - ▶ Drie laag vermogen standen: sleep, deep-sleep en deep power-down
 - ▶ Wakup door timer, interrupt
 - ▶ Pin to pin compatible met LPC1300 (Cortex M3)

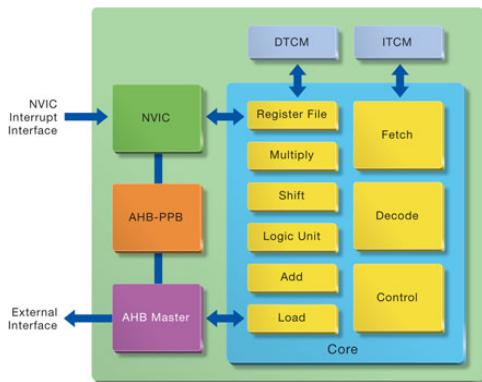
ARM Cortex-M1

- De ARM Cortex-M1 processor is specifiek gericht op FPGA implementaties.



ARM Cortex-M1

- ▶ De ARM Cortex-M1 processor is specifiek gericht op FPGA implementaties.
- ▶ De key features zijn vergelijkbaar met de Cortex-M0



ARM Cortex Mx

→ pin- and software compatible options

Cortex-M4
+150MHz

LPC4300

MCU with powerful DSP extensions

Cortex-M3
Up to 150MHz

LPC1800

Memory options up to 1MB flash, 200k SRAM

LPC1700

High-performance with USB, Ethernet, LCD, and more

LPC1300

USB solution, incl. on-chip USB drivers

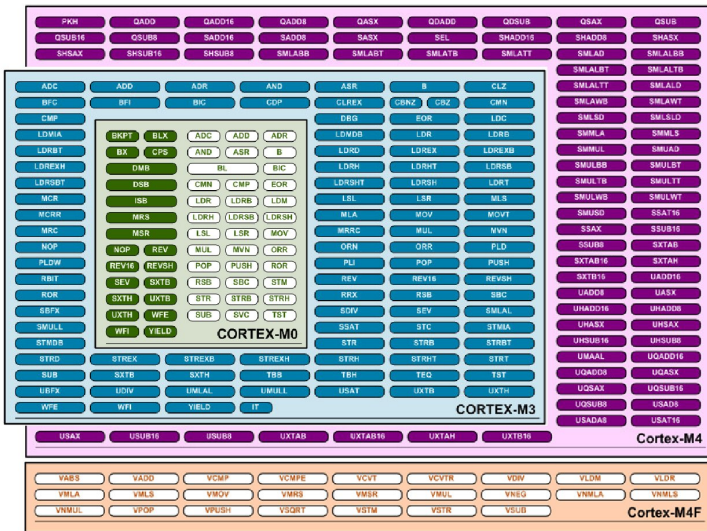
Cortex-M0
Up to 50MHz

LPC1200

Memory options up to 128k flash

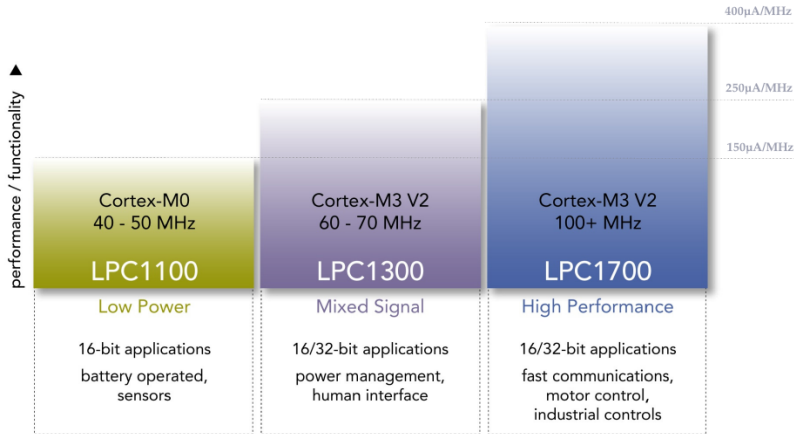
LPC1100

Best-in-class dynamic power consumption



ARM Cortex Mx

rtesis

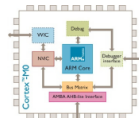
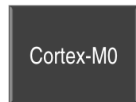


ARM Cortex Mx

LPC1100 Cortex-M0

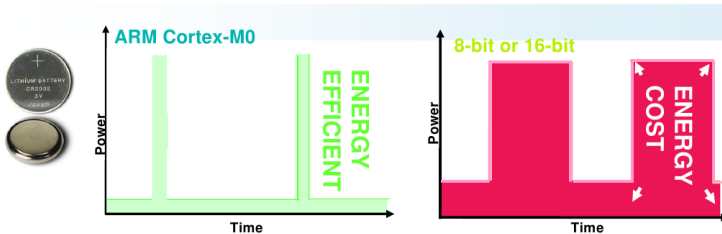
Re-defining 32-bit migration

- ▶ 2-10x higher performance than 8/16-bit MCUs
- ▶ 40-50% smaller code size than 8/16-bit MCUs
- ▶ Active power 130uA/MHz, Standby power 2uA
- ▶ 32 kB Flash, 8 kB SRAM, 16 / 32 / 48 Pin, SPI, I2C, UART, ADC
- ▶ Starting @ \$0.65



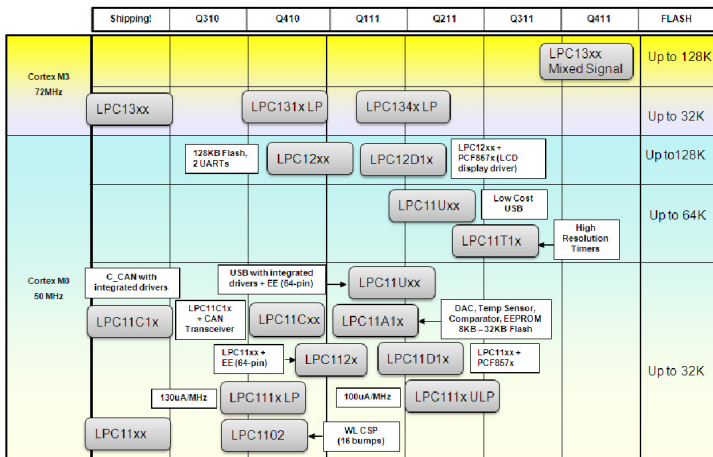
Cortex-M0 energy efficiency

Lower energy for an identical task:



ARM Cortex Mx

Low Power ARM Roadmap



ARM Cortex M3

Typical @ 25 °C

1.8V



Overzicht

ARM Overzicht

ARM Programmeermodel

Classic ARM processors

Embedded ARM processors

Application ARM processors

ARM Cortex-A8

- ▶ De ARM Cortex-A8 processor is de huidige mainstream smarphone processor.

ARM Cortex-A8

- ▶ De ARM Cortex-A8 processor is de huidige mainstream smarphone processor.
- ▶ De key features:
 - ▶ Frequentie van 600 MHz tot 1.5 GHz.
 - ▶ Superscalar dual-issue microarchitecture.
 - ▶ NEON SIMD instruction set extension (optional).
 - ▶ VFPv3 Floating Point Unit (optional).
 - ▶ Thumb-2 instruction set encoding.
 - ▶ Jazelle RCT.
 - ▶ Advanced branch prediction unit with >95 % accuracy.
 - ▶ Integrated Level 2 Cache (0-4 MB).
 - ▶ 2.0 DMIPS / MHz

ARM Cortex-A8

- ▶ Bekendste implementaties:
 - ▶ Apple A4, PoP design door Apple, geproduceerd door Samsung.
 - ▶ Qualcomm Snapdragon: SoC design gebruikt in zeer veel smarthones (en netbooks ^{4 5 6})

⁴http://www.goodgearguide.com.au/article/305316/qualcomm_shows_eee_pc_running_android_os

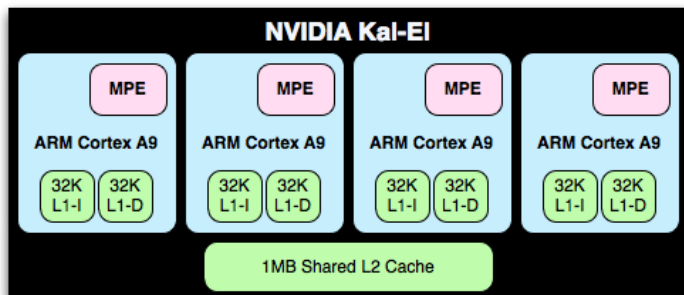
⁵http://blogs.computerworld.com/microsoft_strikes_back_at_linux_netbook_push

⁶<http://www.semiaccurate.com/2009/06/12/ms-steps-snapdragon/>

ARM Cortex-A9

Dualcore A8

- ▶ Momenteel volop gebruikt in tablets. (bijv. NVIDIA Tegra 2, Freescale i.MX6, Qualcomm Snapdragon S4, TI Omap 4)
- ▶ NVIDIA Kal-EI: quad core variant



ARM A15

- ▶ Nieuw design: high performance
- ▶ Zal de komende maanden worden geïntroduceerd in tablet en smartphones.

ARM demo films

- ▶ Beagle Board Description:

<http://www.youtube.com/watch?v=fEL0sW71PFs>

ARM demo films

- ▶ Beagle Board Description:
<http://www.youtube.com/watch?v=fEL0sW71PFs>
- ▶ Beagle Board xM:
http://www.youtube.com/watch?v=9E31p3_eE28

ARM demo films

- ▶ Beagle Board Description:
<http://www.youtube.com/watch?v=fEL0sW71PFs>
- ▶ Beagle Board xM:
http://www.youtube.com/watch?v=9E31p3_eE28
- ▶ ARM - 20 Years of partnership and innovation:
<http://www.youtube.com/watch?v=JSmbS6GziS0>

ARM demo films

- ▶ Beagle Board Description:
<http://www.youtube.com/watch?v=fEL0sW71PFs>
- ▶ Beagle Board xM:
http://www.youtube.com/watch?v=9E31p3_eE28
- ▶ ARM - 20 Years of partnership and innovation:
<http://www.youtube.com/watch?v=JSmbS6GziS0>
- ▶ NVIDIA unveils Tegra 2:
<http://www.youtube.com/watch?v=m10Tcs-effU>

ARM demo films

- ▶ Beagle Board Description:
<http://www.youtube.com/watch?v=fEL0sW71PFs>
- ▶ Beagle Board xM:
http://www.youtube.com/watch?v=9E31p3_eE28
- ▶ ARM - 20 Years of partnership and innovation:
<http://www.youtube.com/watch?v=JSmbS6GziS0>
- ▶ NVIDIA unveils Tegra 2:
<http://www.youtube.com/watch?v=m10Tcs-effU>
- ▶ ARM Cortex-A15 MPcore processor:
<http://www.youtube.com/watch?v=vFOALmcCiLA>