

Nagyteljesítményű mikrovezérlők

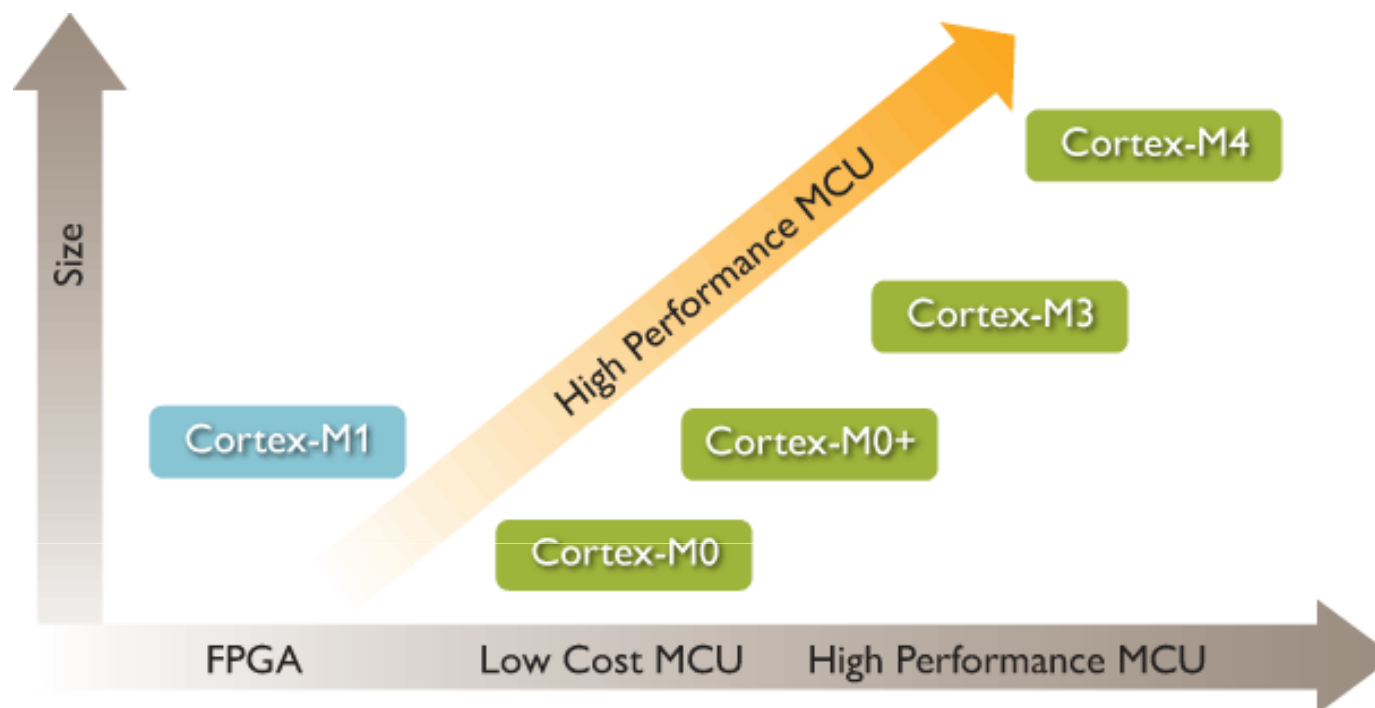
4. Cortex M0, M4, M7

Scherer Balázs



Méréstechnika és
Információs Rendszerek
Tanszék

ARM Cortex M (Mikrovezérlő) magok



- M0, M0+: Ultra low power
 - Nagyon egyszerű
 - 85mWatt/MHz
- M1: FPGA-ra optimalizált
- M3: Általános mikrovezérlő
- M4: DSP utasításokkal kibővített verzió
- M7: M4 továbbfejlesztés superscalar, cache

32 bites trendek 2003-2013

Flash [kbyte]

1024									
512									
256									
128									
64									
32									
16									
8									
4									
2									
1									
0,5									
	8	14-16	20	28-32-36	40-44-48	64	80-100	144	208

lábszám

32 bites trendek 2003-2013

Flash [kbyte]



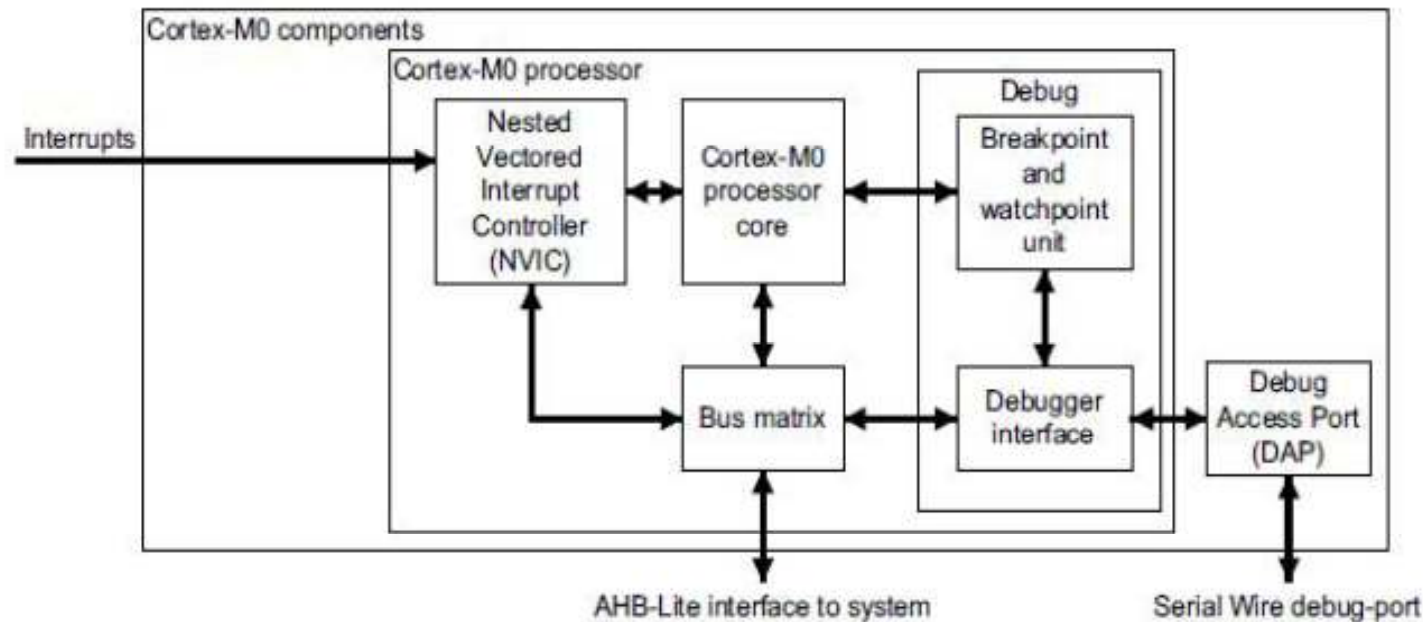
1024										
512										
256										
128										
64										
32										
16										
8										
4										
2										
1										
0,5										
	8	14-16	20	28-32-36	40-44-48	64	80-100	144	208	256

lábszám

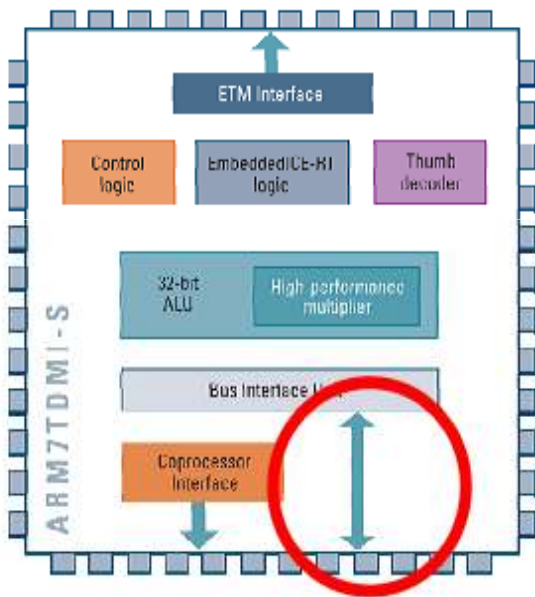
ARM Cortex M0

A Cortex M0 mag

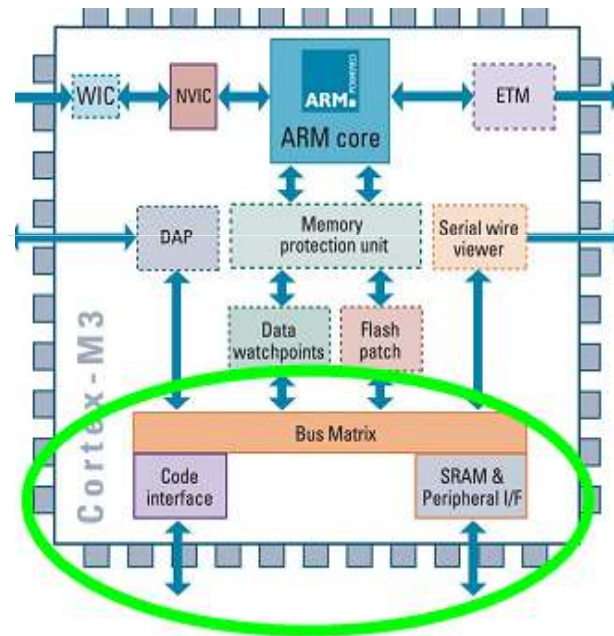
- 32 Bites mag, 3 elemű pipeline
- Neumann architektúra
 - Nagyon egyszerű
- ARMv6-M architektúra
 - 16-bit Thumb utasításkészlet kiegészítve a Thumb-2 technológiával.



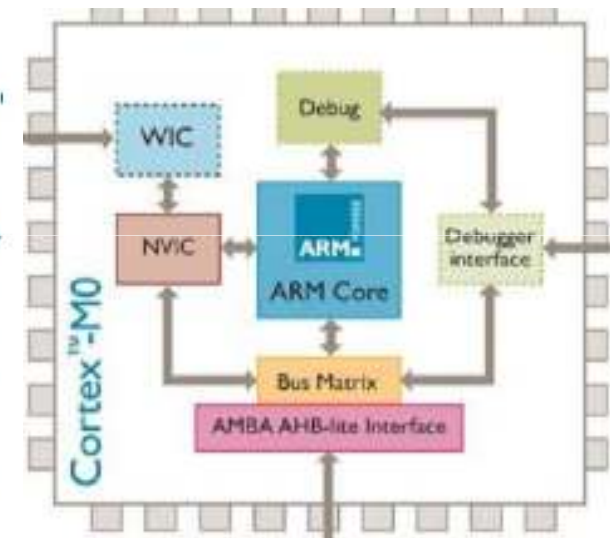
ARM7, Cortex M3, M0 összehasonlítás memória hozzáférés



ARM7TDMI



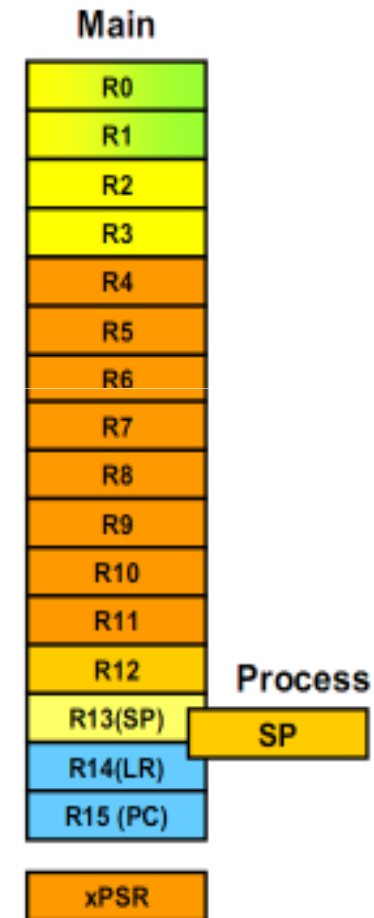
Cortex M3



Cortex M0

Regiszterek

- Mint minden ARM architektúránál
 - R0 – R3: C szubrutinhívás paraméterek
 - R0 (R1) visszatérési értékek
 - R4 – R11 lokális regiszter változók
 - R12 Intra-Procedure-call
 - R13 Stack Pointer
 - R14 Link Register
 - R15 Program Counte



Memória Map

- Kompatibilis az M3-al

Core Memory Mapped Register Space,
i.e. NVIC (XN)

External Peripherals (XN)

External Memory

External Peripherals (XN)

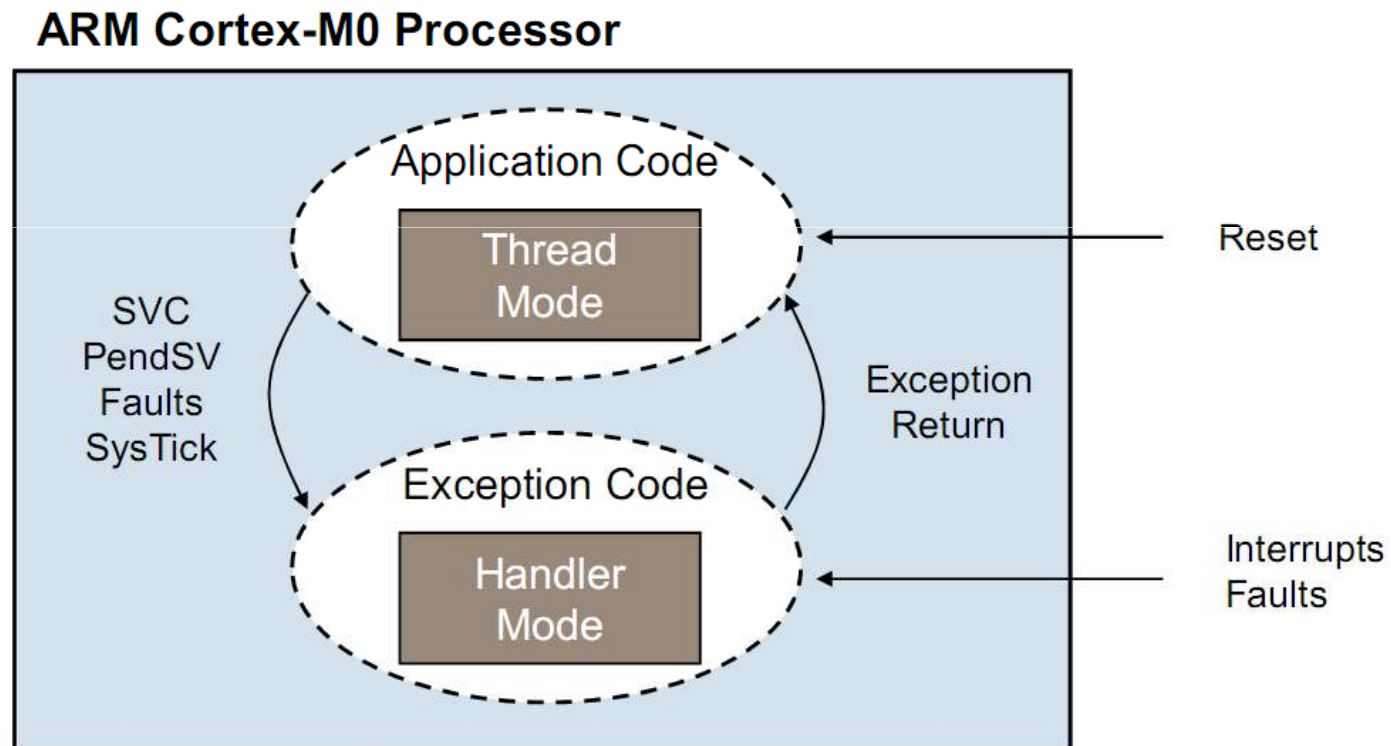
Data Memory (code can also be placed here)

Executable region for program code and data
(vector table is fixed at address 0x0000 0000)

Device	511MB	0xE010 0000
Private Peripheral Bus		0xE000 0000
External Device	1GB	0xA000 0000
External RAM	1GB	0x6000 0000
Peripheral	500MB	0x4000 0000
SRAM	500MB	0x2000 0000
Code	500MB	0x0000 0000

Működési módok

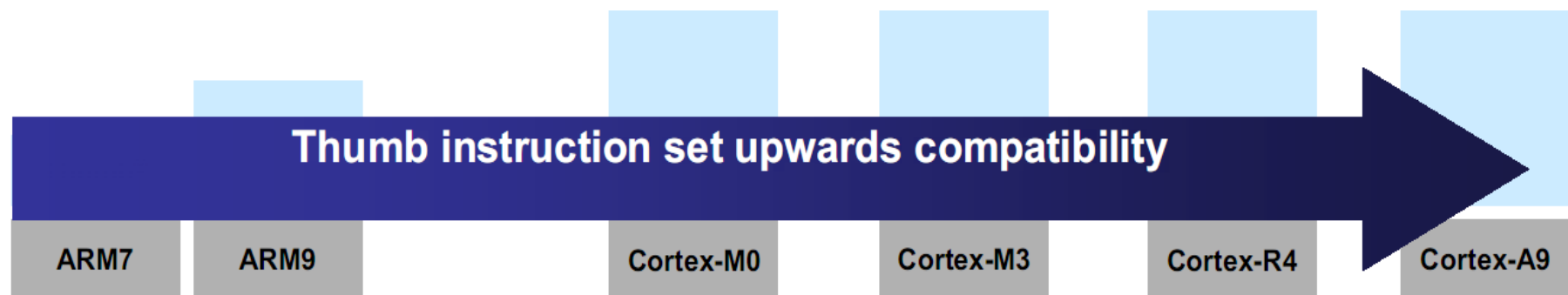
- Kompatibilis az M3-al
 - Handler és Thread mód



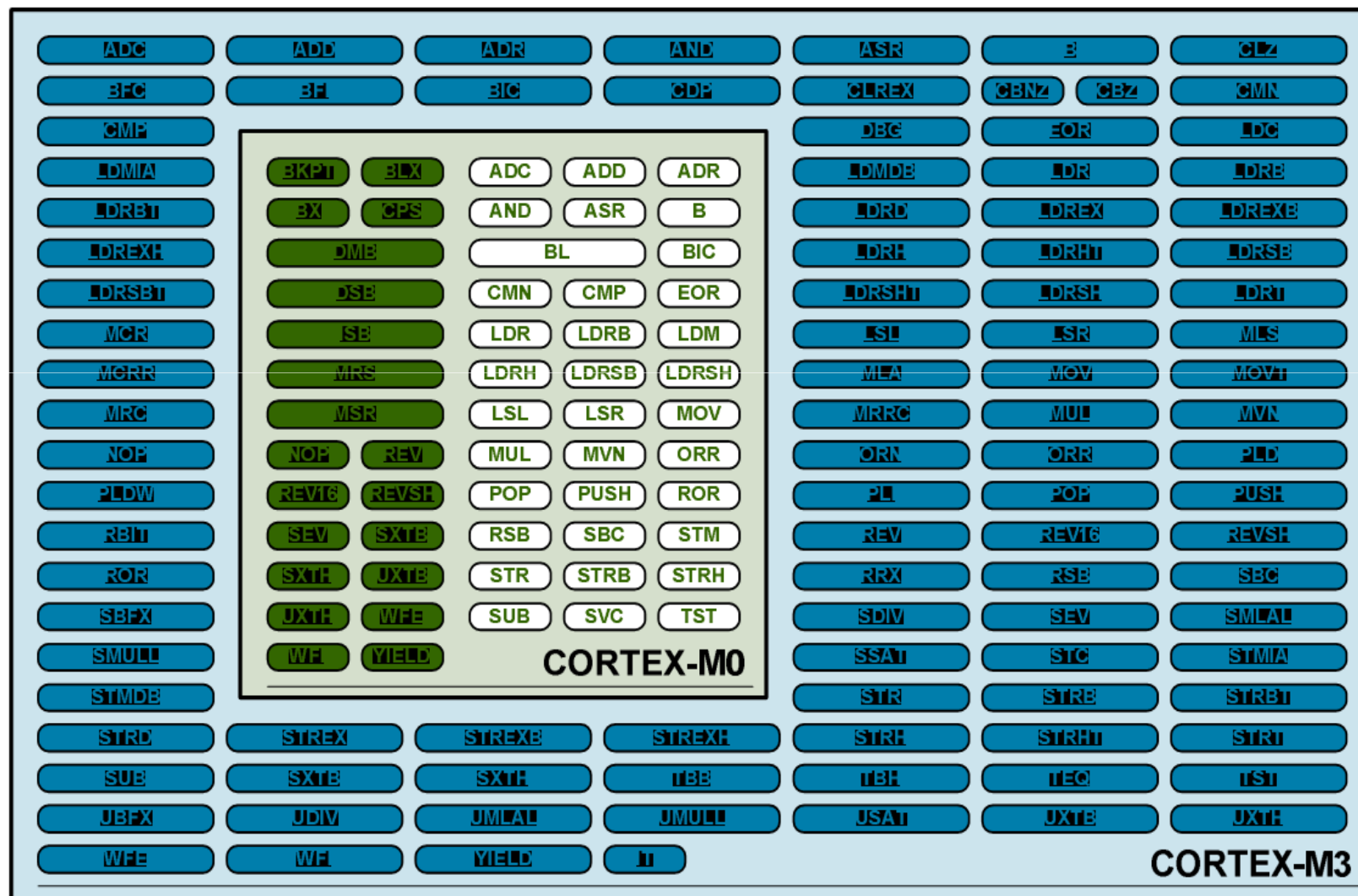
Utasításkészlet

■ Thumb-2

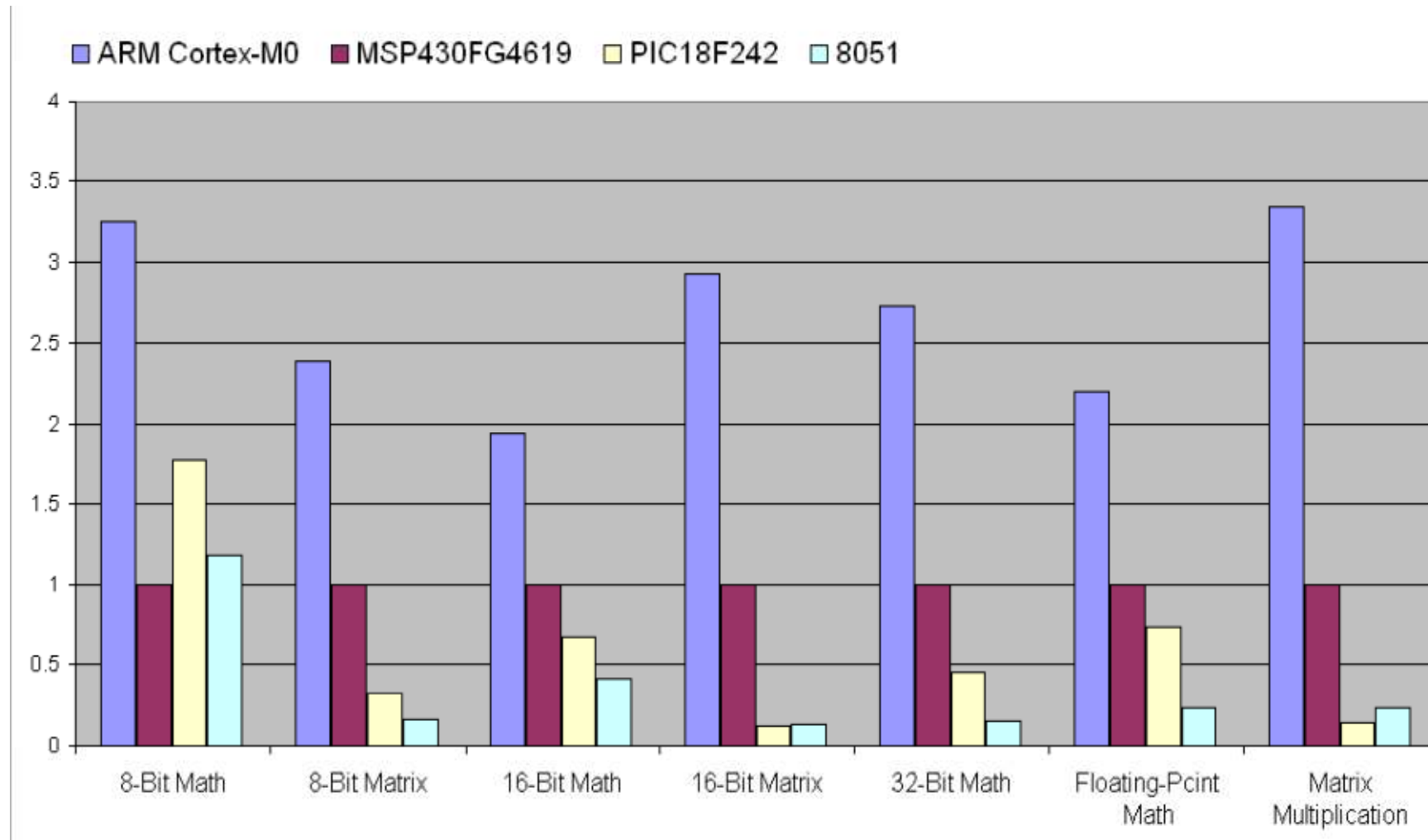
- A régi Thumb utasításkészlet modernizált verziója kevés utasítás 56, garantált idő alatt.
- Minden Cortex processzor támogatja, biztosítva van a felfelé kompatibilitás
- 0.9 DMIPS/MHz



Cortex M0 Cortex M3 utasításkészlet összehasonlítás



Cortex M0 mag számítási képességei



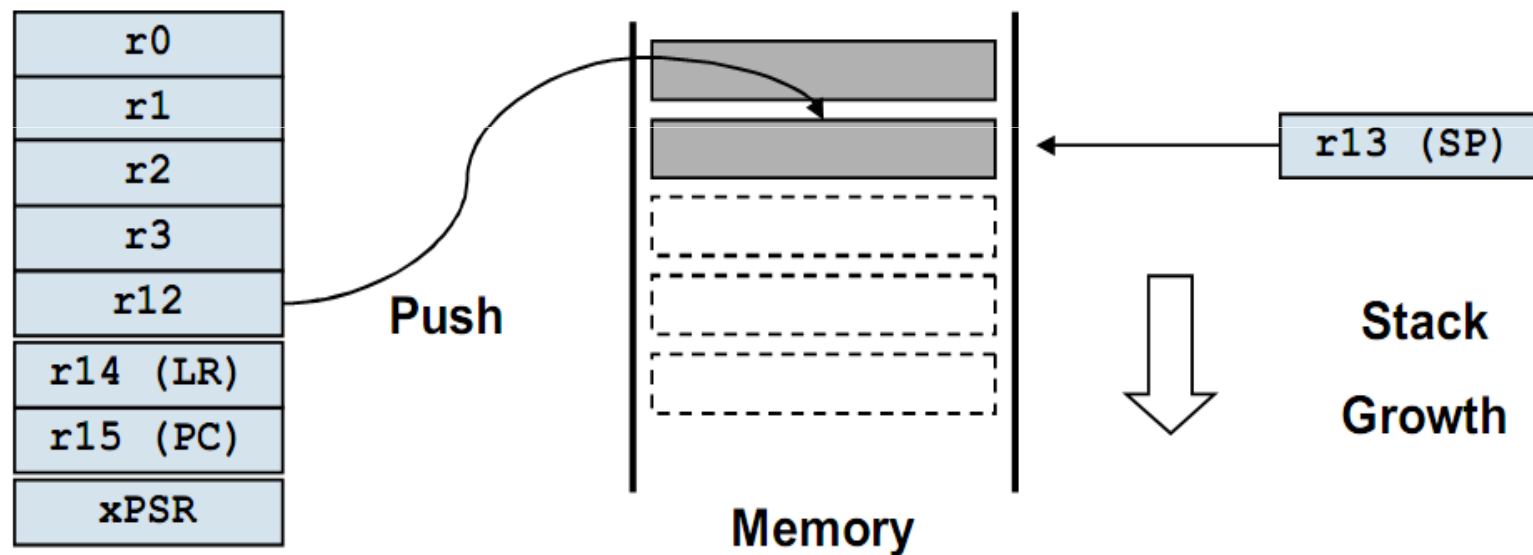
NVIC, Nested Vector Interrupt Controller

- Hasonlóan integrálva, mint az M3 esetében
- Max 32 külső vektor támogatása
- Az induló stack pointer a 0x0-án
- 4 prioritás szint

0xBF	Interrupt #31 Handler Vector
-	...
0x40	Interrupt #0 Handler Vector
0x3C	SysTick Handler Vector
0x38	PendSV Handler Vector
-	reserved
0x2C	SVCall Handler Vector
-	reserved
0x0C	HardFault Handler Vector
0x08	NMI Handler Vector
0x04	Reset Handler Vector
0x00	Initial value of MSP

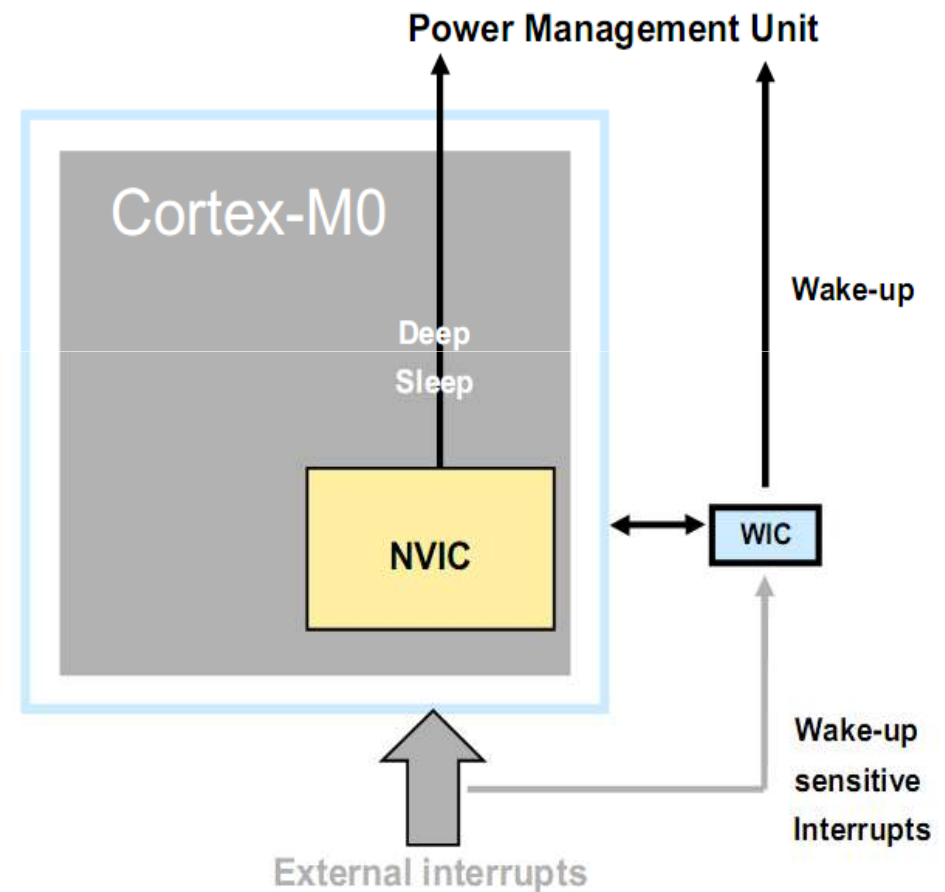
NVIC, Nested Vector Interrupt Controller

- Automatikus hardware-es stackelés
- Az induló stack pointer a 0x0-án



Cortex M0, mag szintű energiatakarékosság

- Nagyon alacsony lábszámú WIC block
 - Lehetővé teszi a Deep sleep-ből való felébredést
- Sleep
 - A CPU órajel leállítható az NVIC aktív marad
- Deep sleep
 - Csak a WIC marad aktív és az NVIC és a mag leáll.
- WIC ébreszti a rendszert PMU (Power management uniton keresztül)



ARM7, Cortex M3, M0 összehasonlítás architektúra

	ARM7TDMI	Cortex-M3	Cortex-M0
Instruction Set Architecture (ISA)	ARMv4T ARM/Thumb	ARMv7-M Thumb-2	ARMv6-M Thumb-2
Memory Interface	Von Neumann	Harvard	Von Neumann
Instruction Size	16/32 Bit	16 Bit	16 Bit
Multiply Instruction	Yes	Yes (32/64 Bit result, single cycle)	Yes (32 Bit result only, 1 Cycle or 32 Cycle)
Divide Instruction	No	Yes	No
Conditional Execution	▶ ARM: All Instruction ▶ Thumb: Branches	▶ Branches, ▶ IF/THEN Instruction	▶ Branches
Special Breakpoint Instruction	No	Yes	Yes
Instructions for Power Management	No	Yes (WFI/WFE)	Yes (WFI/WFE)

ARM7, Cortex M3, M0 összehasonlítás pipeline

	ARM7TDMI	Cortex-M3	Cortex-M0
Pipeline Depth	3 <ul style="list-style-type: none">▶ Fetch,▶ Decode,▶ Execute	3 <ul style="list-style-type: none">▶ Fetch,▶ Decode,▶ Execute	3 <ul style="list-style-type: none">▶ Fetch,▶ Decode,▶ Execute
Branch Speculation	No	Yes	No
Prefetch Unit	No	Yes	No
PFU Depth		<ul style="list-style-type: none">▶ 3 Thumb32 Instructions,▶ 6 Thumb 16 Instructions	

ARM7, Cortex M3, M0 összehasonlítás működési módok

	ARM7TDMI	Cortex-M3 / M0
Number of Operating Modes	6 <ul style="list-style-type: none">▶ Normal/System,▶ IRQ,▶ FIQ,▶ Abort,▶ Undefined,▶ Supervisor	2 <ul style="list-style-type: none">▶ Privileged (Thread/Handler)▶ Normal (Thread)
Number of Stacks	6	1 or 2

ARM7, Cortex M3, M0 összehasonlítás megszakítás

	ARM7TDMI	Cortex-M3	Cortex-M0
Number of Interrupts	2 (IRQ, FIQ)	NMI +1 to 240 physical interrupts	System 32
Interrupt Priority Levels	2	Max. 256	4
Interrupt Latencies	24 – 42 Cycles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 12 Cycles (includes pushing of registers on stack) ▶ 6 Cycles when Tail chaining 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 12 Cycles (includes pushing of registers on stack) ▶ 6 Cycles when Tail chaining
Store / Restore of Registers	Software	Hardware	Hardware
Interrupt Controller	Vendor specific	Integrated standard NVIC	Integrated standard NVIC
Support for Nested Interrupts	Limited / Software	Configurable / HW	Configurable / HW
Wake-up Interrupt Controller	No	Yes*	Yes

* Cortex-M3 Rev. 2

Miért használjunk 32 bites uc-t kis energiájú alkalmazásokban

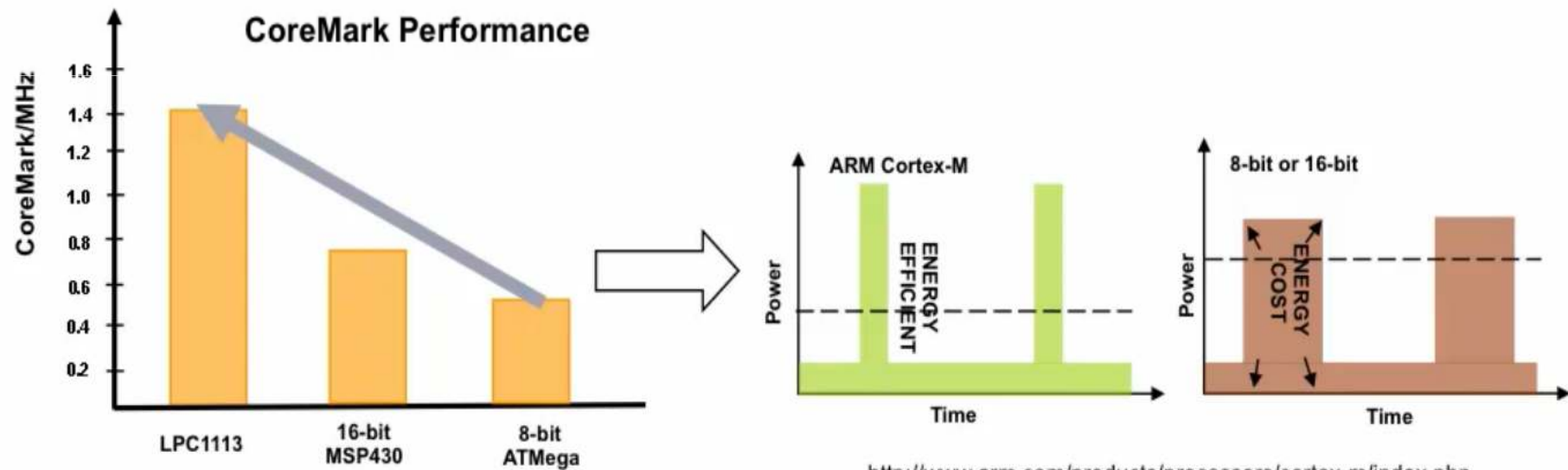
- Pointer méret = regiszter méret
 - Nincsenek memória bankok: egyszerűbb programozás
 - Minden memóriarégió egyetlen regiszterrel címezhető
- Nagyszámú regiszterkészlet (15 darab + PC, mindegyik 32 bites)
 - Mindegyik használható cím és adat tárolásra is
 - Sok nagy regiszter ki tudja használni a fordító subrutin hívásnál, nem kell feltétlenül stack műveletet csinálni
- Nincsenek beépített limitek a címtérben
- Nagy kódsűrűség
 - 16 bites utasítások 32 bites adatokon
- 16/32 bites timer-ek

8 bit, 16bit, 32bit összehasonlítás

8-bit example	16-bit example	ARM Cortex-M0
<pre> MOV A, XL ; 2 bytes MOV B, YL ; 3 bytes MUL AB; 1 byte MOV R0, A; 1 byte MOV R1, B; 3 bytes MOV A, XL ; 2 bytes MOV B, YH ; 3 bytes MUL AB; 1 byte ADD A, R1; 1 byte MOV R1, A; 1 byte MOV A, B ; 2 bytes ADDC A, #0 ; 2 bytes MOV R2, A; 1 byte MOV A, XH ; 2 bytes MOV B, YL ; 3 bytes </pre>	<pre> MUL AB; 1 byte ADD A, R1; 1 byte MOV R1, A; 1 byte MOV A, B ; 2 bytes ADDC A, R2 ; 1 byte MOV R2, A; 1 byte MOV A, XH ; 2 bytes MOV B, YH ; 3 bytes MUL AB; 1 byte ADD A, R2; 1 byte MOV R2, A; 1 byte MOV A, B ; 2 bytes ADDC A, #0 ; 2 bytes MOV R3, A; 1 byte </pre>	<pre> MULS r0,r1,r0 </pre>
<p>Time: 48 clock cycles*</p> <p>Code size: 48 bytes</p>	<p>Time: 8 clock cycles</p> <p>Code size: 8 bytes</p>	<p>Time: 1 clock cycle</p> <p>Code size: 2 bytes</p>

Számítási teljesítmény és fogyasztás kapcsolata

- Gyorsabban végez többet aludhat



<http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/index.php>

Aktív fogyasztás összehasonlítás

	ATmega1281 (2005)	ATtiny45 (2006)	PIC18F452 (2004)	PIC24F16 (2008)	MSP430G2x11 (2010)
min. $\mu\text{A}/\text{MHz}$	500	300	500	200 (x2)	220
max. $\mu\text{A}/\text{MHz}$	1500	1100	1100	360 (x2)	350

Aktív fogyasztás

	LPC2378	STM32F107	STM32F207 (RAM)	LPC1113 (LP)
LowFrek MHz	10	8	30	12
LowFrek mA	15	6,6	7	2
LowFrek $\mu\text{A}/\text{MHz}$	1500	825	233	166

High frek MHz	72	72	120	50
High frek mA	63	32	22	7
High frek $\mu\text{A}/\text{MHz}$	875	450	183	140
High frek Aktív periféria mA	125	66	49,5	

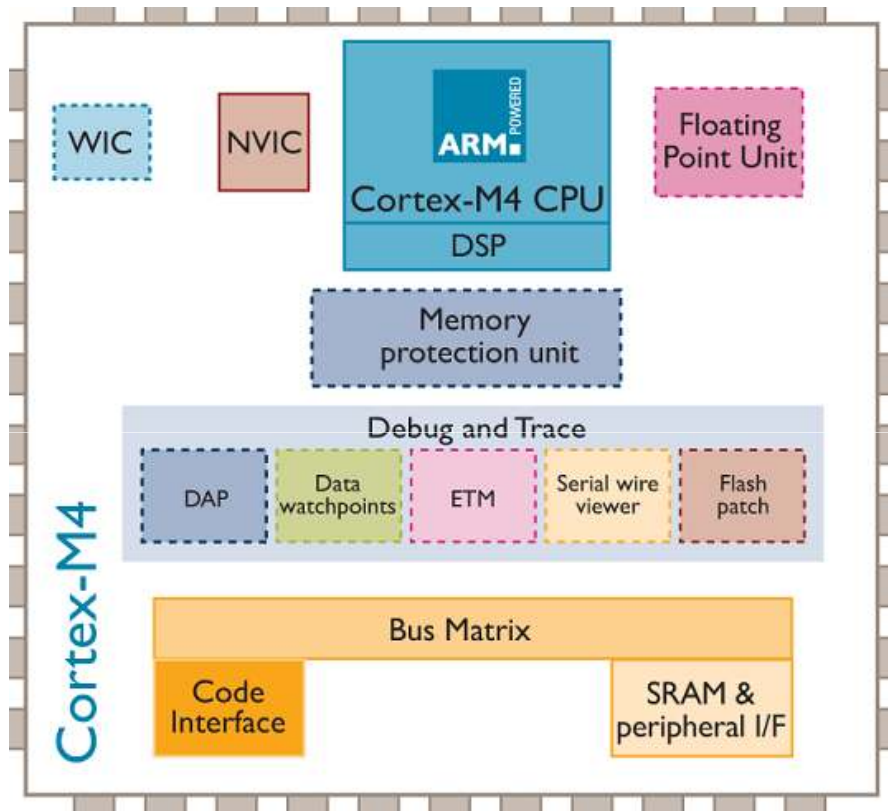
Cortex M0+

- Optimalizált verziója az M0-nak
 - Pipeline 3-ról 2 eleművé redukálva
 - Micro Trace Buffer hozzáadási lehetőség (egyszerű utasítás trace)
 - Opcionális memória protection unit
 - Opcionális vektor table relocation
 - Egy ciklusú I/O port kezelés
 - 13.3 $\mu\text{W}/\text{MHz}$ (M0) -> ről 11.2 $\mu\text{W}/\text{MHz}$ (M0+)
 - (32 $\mu\text{W}/\text{MHz}$ (M3))

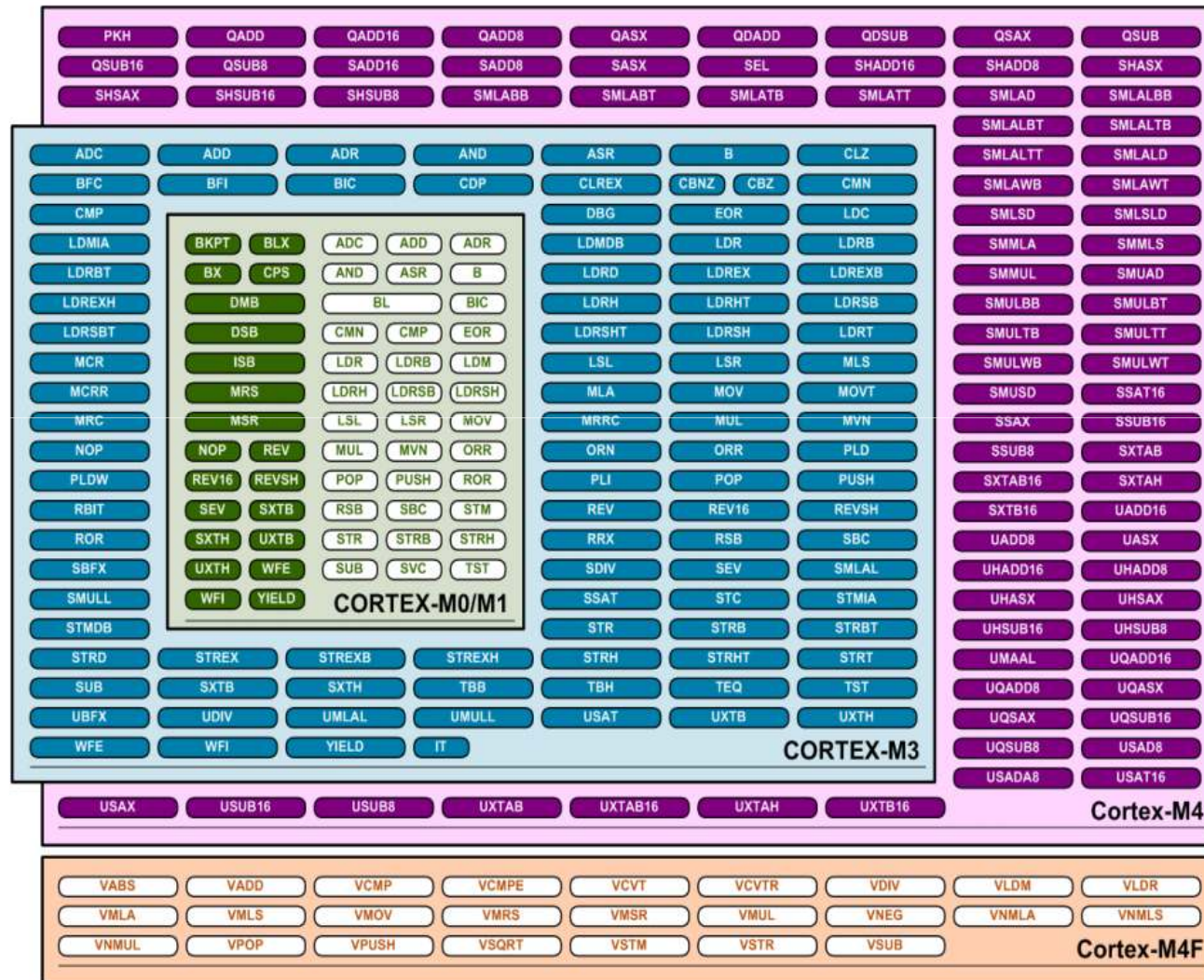
ARM Cortex M4

Cortex-M4

- Cortex-M4 processzor
 - Thumb-2 utasításkészlet
 - DSP és SIMD utasítások
 - Egy ciklusú MAC ($32 \times 32 + 64 \rightarrow 64$)
 - Opcionális single precision FPU
 - Code kompatibilis az M3-al
- 1.27 / 1.55 / 1.95 DMIPS/MHz
- Architektúra
 - 3 fázisú pipeline elágazás becsléssel
 - 3x AHB-Lite Bus Interfész
- Energiatakarékos módok
 - Deep Sleep Mode, Wakeup IT
 - Power down opciók a FPU számára
- NVIC (1-240 IT és prioritás)
- Memory Protection Unit
- Debug & Trace



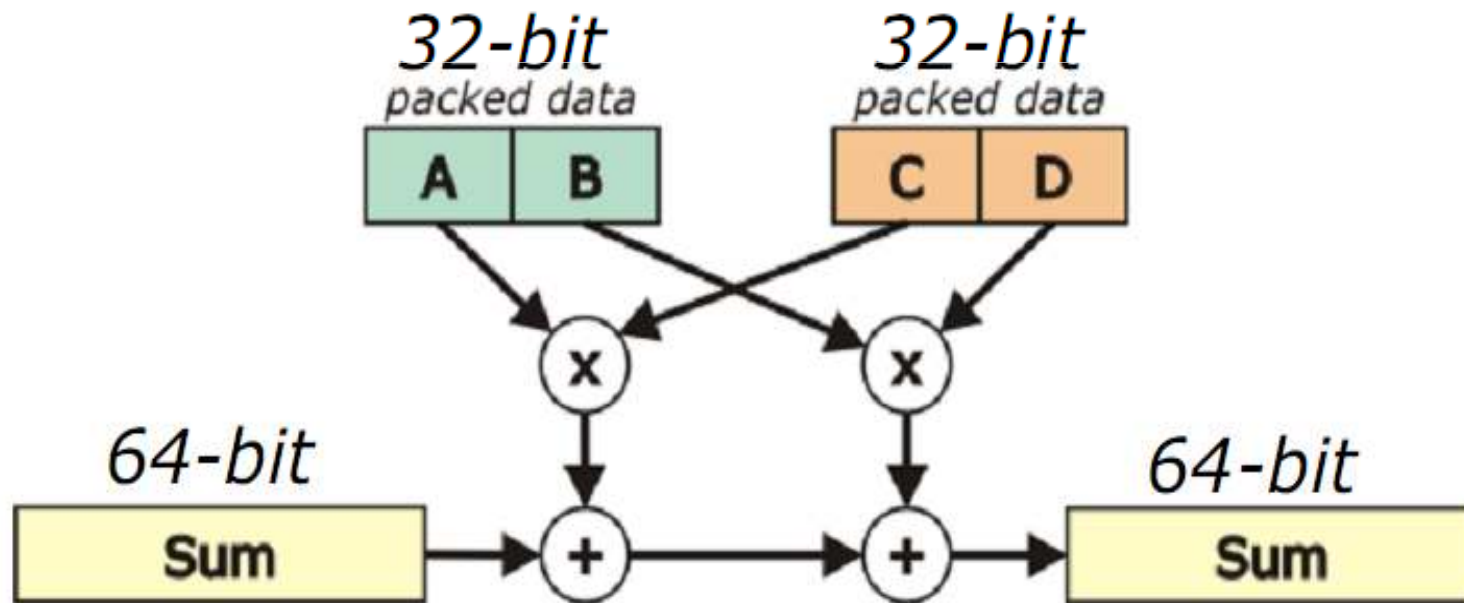
Cortex M4 Utasításkészlet bővülés



SIMD (Single Instruction Multiple Data)

- Több utasítás egy ciklus alatt
- Tömörített adathasználati lehetőség

$$Sum = Sum + (A \times C) + (B \times D)$$



Egy ciklusú MAC utasítások

OPERATION	INSTRUCTION	CYCLES
$16 \times 16 = 32$	SMULBB, SMULBT, SMULTB, SMULTT	1
$16 \times 16 + 32 = 32$	SMLABB, SMLABT, SMLATB, SMLATT	1
$16 \times 16 + 64 = 64$	SMLALBB, SMLALBT, SMLALTB, SMLALTT	1
$16 \times 32 = 32$	SMULWB, SMULWT	1
$(16 \times 32) + 32 = 32$	SMLAWB, SMLAWT	1
$(16 \times 16) \pm (16 \times 16) = 32$	SMUAD, SMUADX, SMUSD, SMUSDX	1
$(16 \times 16) \pm (16 \times 16) + 32 = 32$	SMLAD, SMLADX, SMLSD, SMLSDX	1
$(16 \times 16) \pm (16 \times 16) + 64 = 64$	SMLALD, SMLALDX, SMLSLD, SMLSLDX	1
$32 \times 32 = 32$	MUL	1
$32 \pm (32 \times 32) = 32$	MLA, MLS	1
$32 \times 32 = 64$	SMULL, UMULL	1
$(32 \times 32) + 64 = 64$	SMLAL, UMLAL	1
$(32 \times 32) + 32 + 32 = 64$	UMAAL	1
$32 \pm (32 \times 32) = 32$ (upper)	SMMLA, SMMLAR, SMMLS, SMMLSR	1
$(32 \times 32) = 32$ (upper)	SMMUL, SMMULR	1

Cortex M4 Utasításkészlet

CLASS	INSTRUCTION	Cycle counts			
		ARM9E-S	CORTEX-M3	Cortex-M4	
Arithmetic	ALU operation (not PC)	1 - 2	1	1	
	ALU operation to PC	3 - 4	3	3	
	CLZ	1	1	1	
	QADD, QDADD, QSUB, QDSUB	1 - 2	n/a	1	
	QADD8, QADD16, QSUB8, QSUB16	n/a	n/a	1	
	QDADD, QDSUB	n/a	n/a	1	
	QASX, QSAX, SASX, SSAX	n/a	n/a	1	
	SHASX, SHSAX, UHASX, UHSAX	n/a	n/a	1	
	SADD8, SADD16, SSUB8, SSUB16	n/a	n/a	1	
	SHADD8, SHADD16, SHSUB8, SHSUB16	n/a	n/a	1	
	UQADD8, UQADD16, UQSUB8, UQSUB16	n/a	n/a	1	
	UHADD8, UHADD16, UHSUB8, UHSUB16	n/a	n/a	1	
	UADD8, UADD16, USUB8, USUB16	n/a	n/a	1	
	UQASX, UQSAX, USAX, UASX	n/a	n/a	1	
	UXTAB, UXTAB16, UXTAH	n/a	n/a	1	
	USAD8, USADA8	n/a	n/a	1	
	Multiplication	MUL, MLA	2 - 3	1 - 2	1
		MULS, MLAS	4	1 - 2	1
		SMULL, UMULL, SMLAL, UMLAL	3 - 4	5 - 7	1
		SMULBB, SMULBT, SMULTB, SMULTT	1 - 2	n/a	1
SMLABB, SMLBT, SMLATB, SMLATT		1 - 2	n/a	1	
SMULWB, SMULWT, SMLAWB, SMLAWT		1 - 2	n/a	1	
SMLALBB, SMLALBT, SMLALTB, SMLALTT		2 - 3	n/a	1	
SMLAD, SMLADX, SMLALD, SMLALDX		n/a	n/a	1	
SMLSD, SMLSDX		n/a	n/a	1	
SMLSLD, SMLSLD		n/a	n/a	1	
SMMLA, SMMLAR, SMMLS, SMMLSR		n/a	n/a	1	
SMMUL, SMMULR		n/a	n/a	1	
SMUAD, SMUADX, SMUSD, SMUSDX		n/a	n/a	1	
UMAAL		n/a	n/a	1	
Division		SDIV, UDIV	n/a	2 - 12	2 - 12

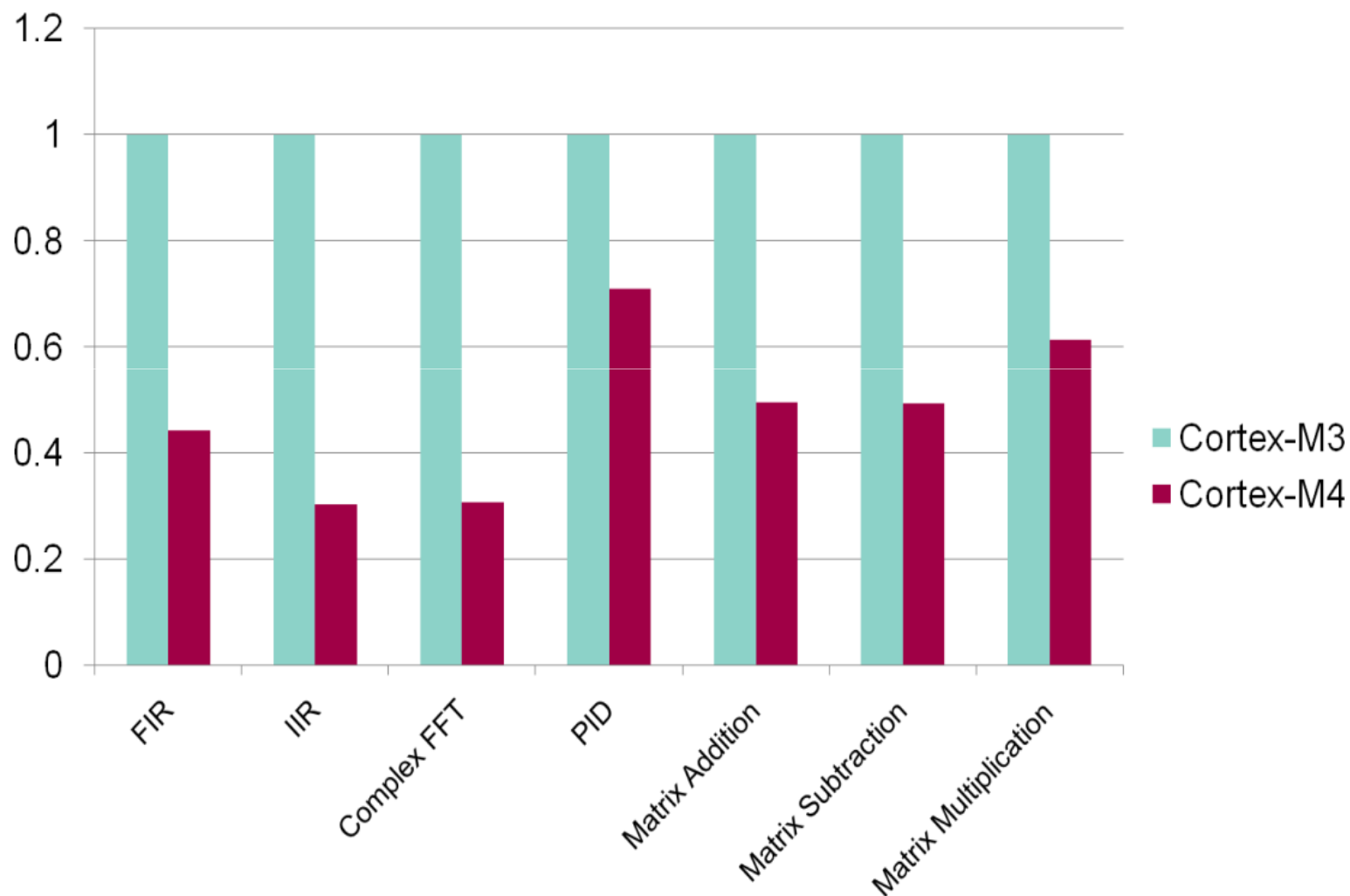
Single cycle MAC

Cortex M4 FIR szűrő

- DSP-n assembly kódban 1 ciklus
- Cortex-M4 standard C kóddal takes 12 ciklus
- Cirkuláris címzési használatával ugrások számának csökkentésével assemblyben kb. 6 ciklus
- SIMD utacítások használatával kb. 2-3 ciklus [16-bit-es adaton]
- Köztes változók cash-elésével 1,5-2 ciklus
- Hasonló hatékonyságú mint egy normál DSP

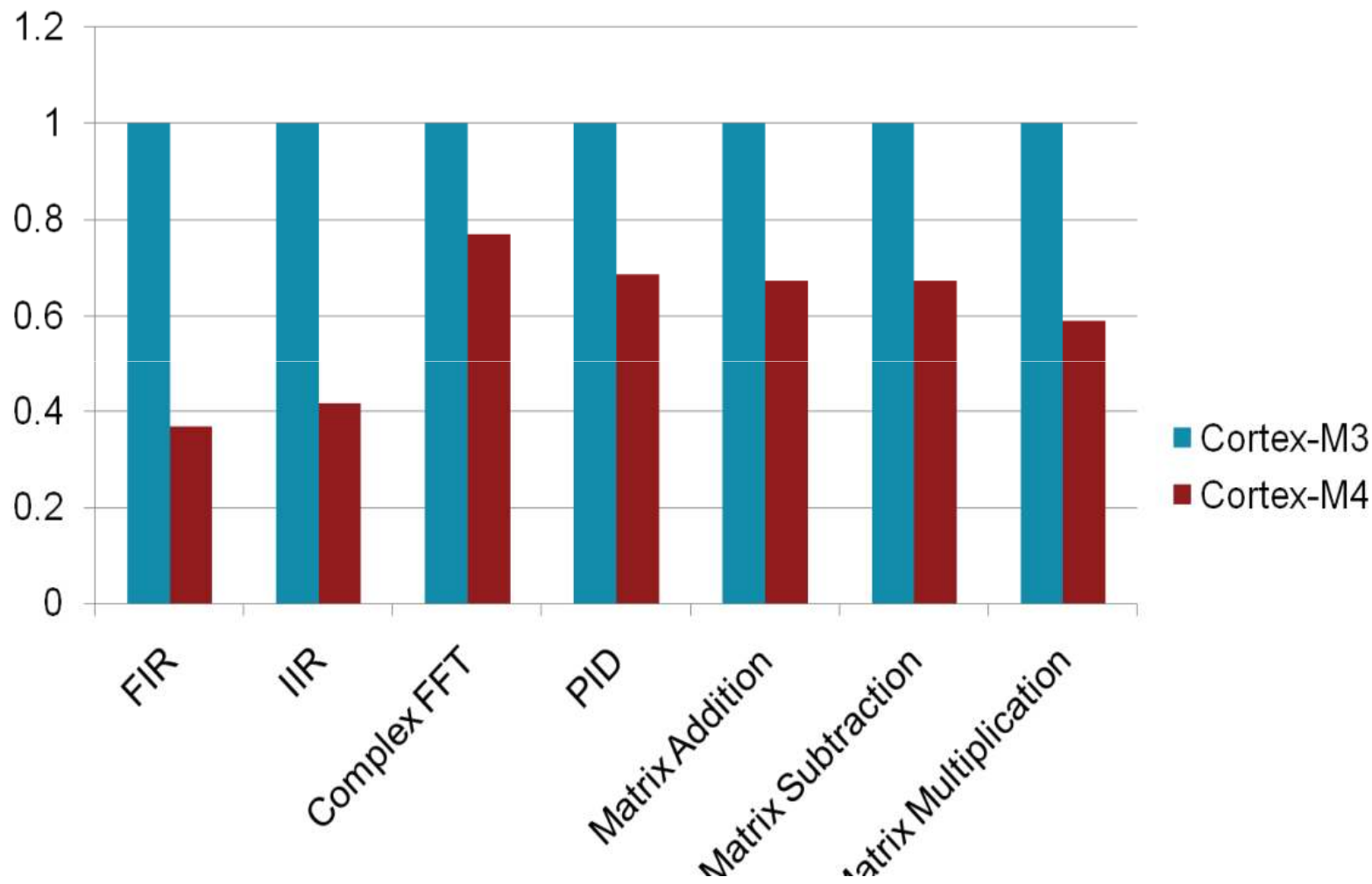
Cortex M3, M4 összehasonlítás

16 bites funkciók



Cortex M3, M4 összehasonlítás

32 bites funkciók



Lebegőpontos egység képességei

- IEEE 754 standard kompatibilis
- Képességek
 - Összeadás, kivonás, szorzás, osztás, MAC, gyökvonás

OPERATION	CYCLE COUNT
Add/Subtract	1
Divide	14
Multiply	1
Multiply Accumulate (MAC)	3
Fused MAC	3
Square Root	14

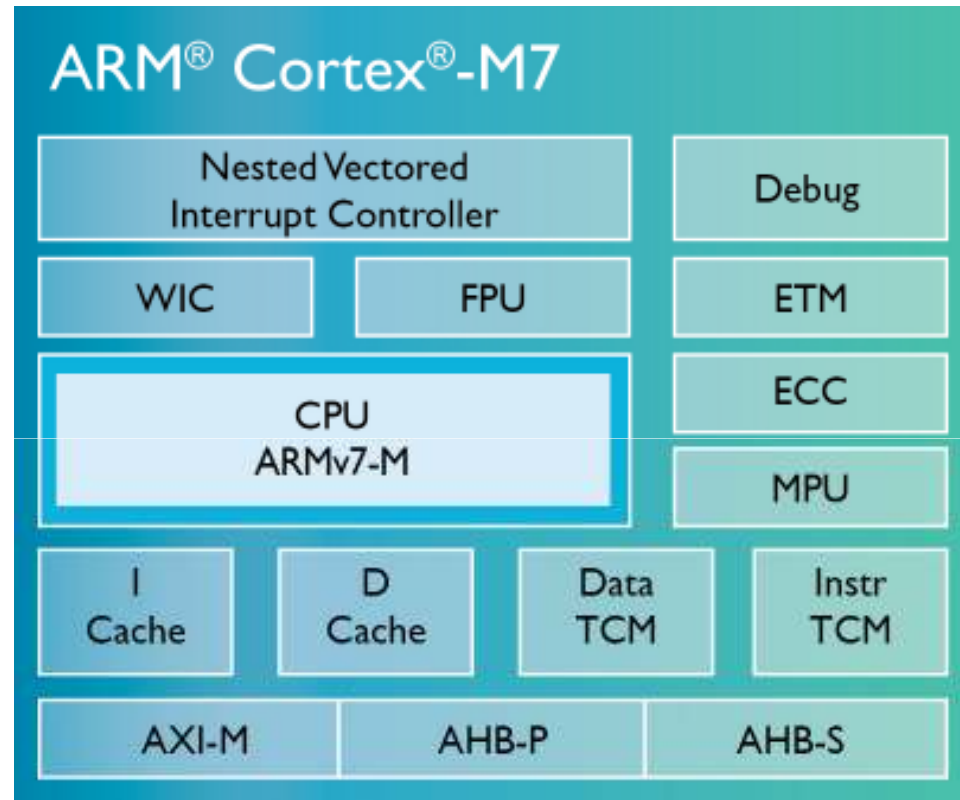
DSP Library támogatás

- CMSIS DSP library
 - Alap matematikai műveletek: vektor műveletek
 - Gyors matematikai műveletek: sin, cos, sqrt, etc.
 - Interpoláció: linear, bilinear
 - Complex math:
 - Statistikák: max, min, RMS, etc
 - Szűrés: IIR, FIR, LMS, etc
 - Transzformációk: FFT
 - Mátrix műveletek
 - PID szabályozás

ARM Cortex M7

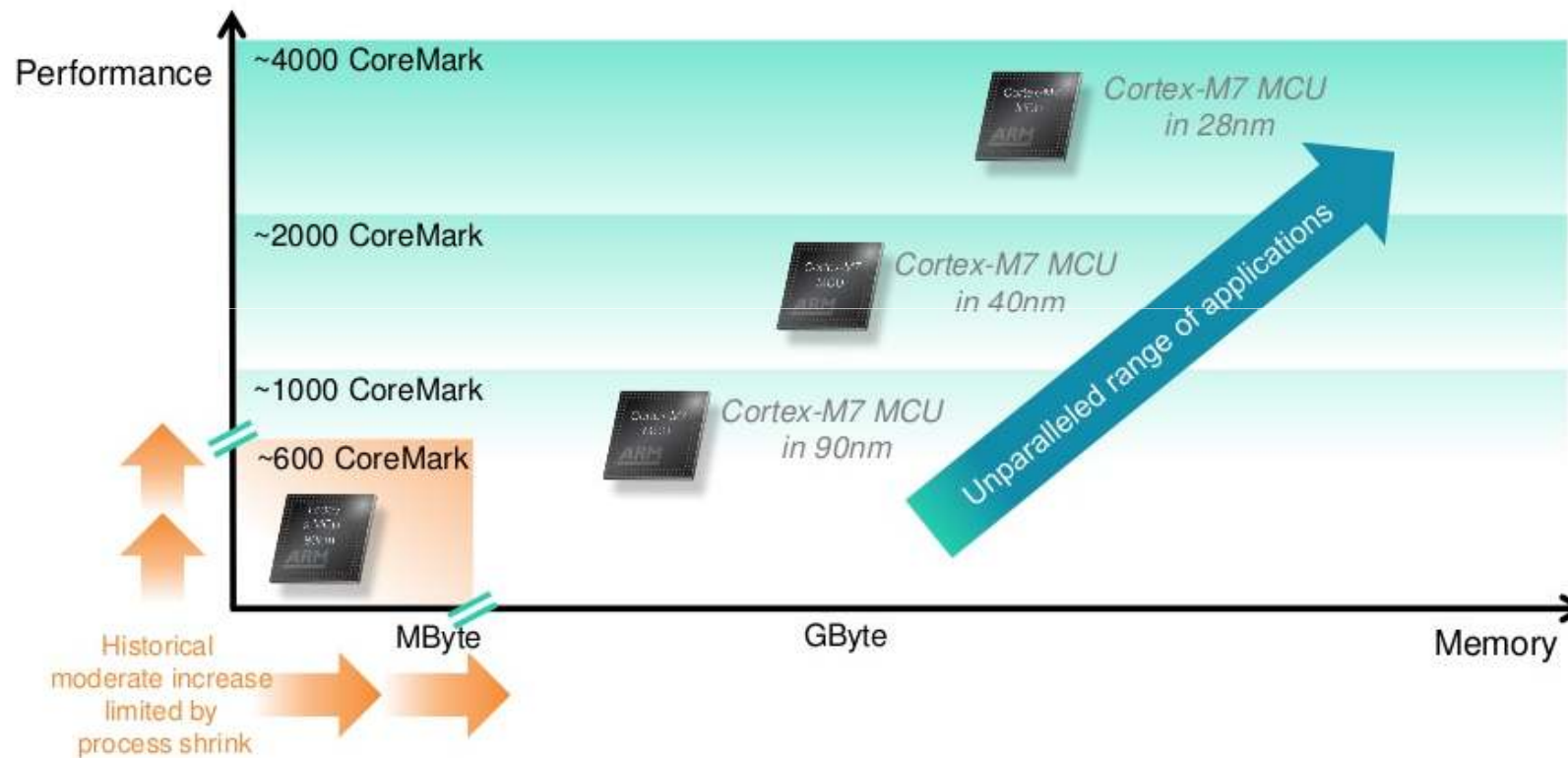
Cortex-M7

- ARMv7-M architektúra
- Beépített lebegőpontos egység
- 6-állapotú pipeline
 - superscalar
 - branch prediction
- 2.14 - 3.23 DMIPS/MHz
- 0 - 64kB 2 utas utasítás cache
- 0 – 64kB 4 utas adat cache
- 8 vagy 16 tartományú MPU
- ECC Error correcting code
- Lock-step lehetőség



M7 Célok

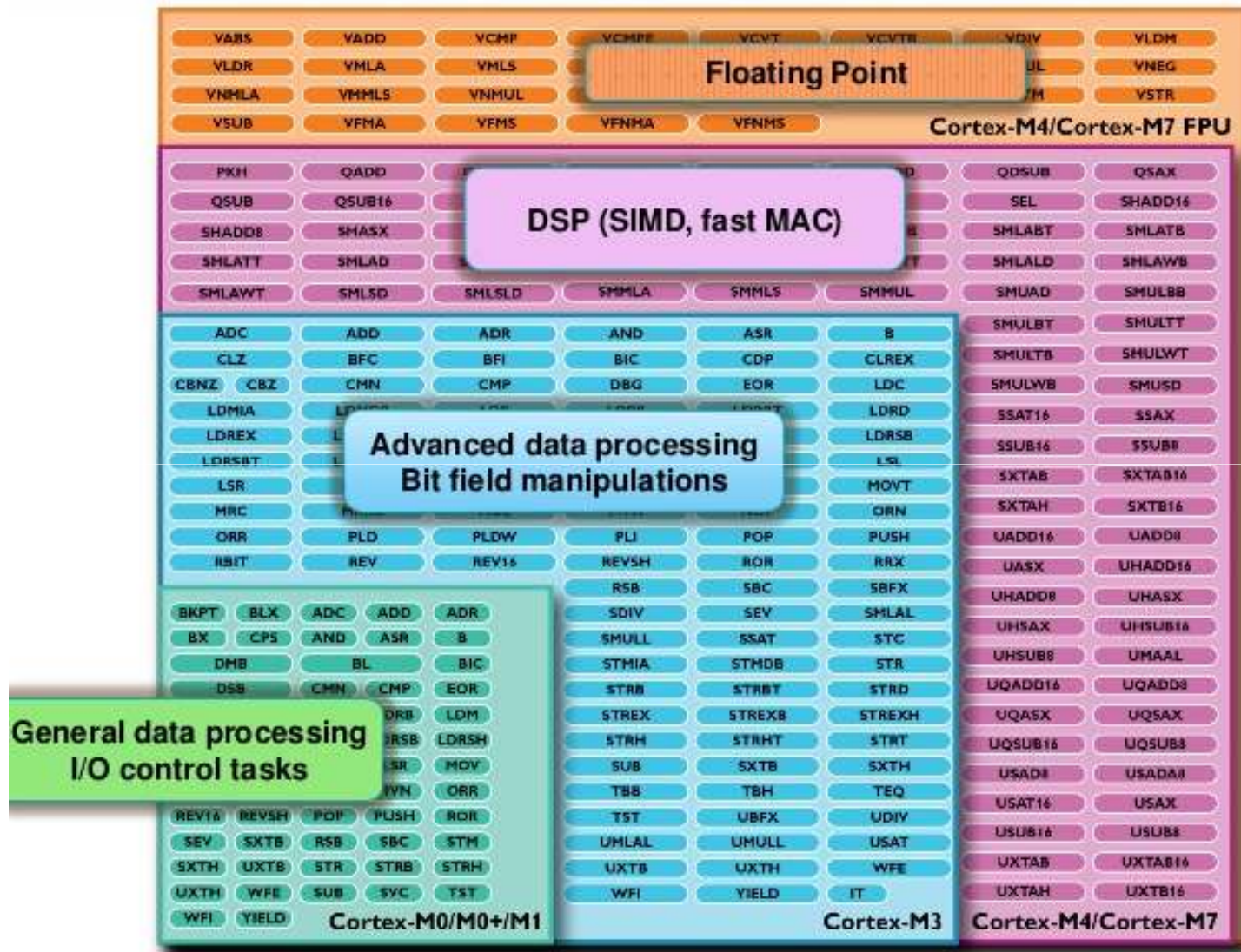
Cortex-M7 Breaks the Embedded Barriers



15

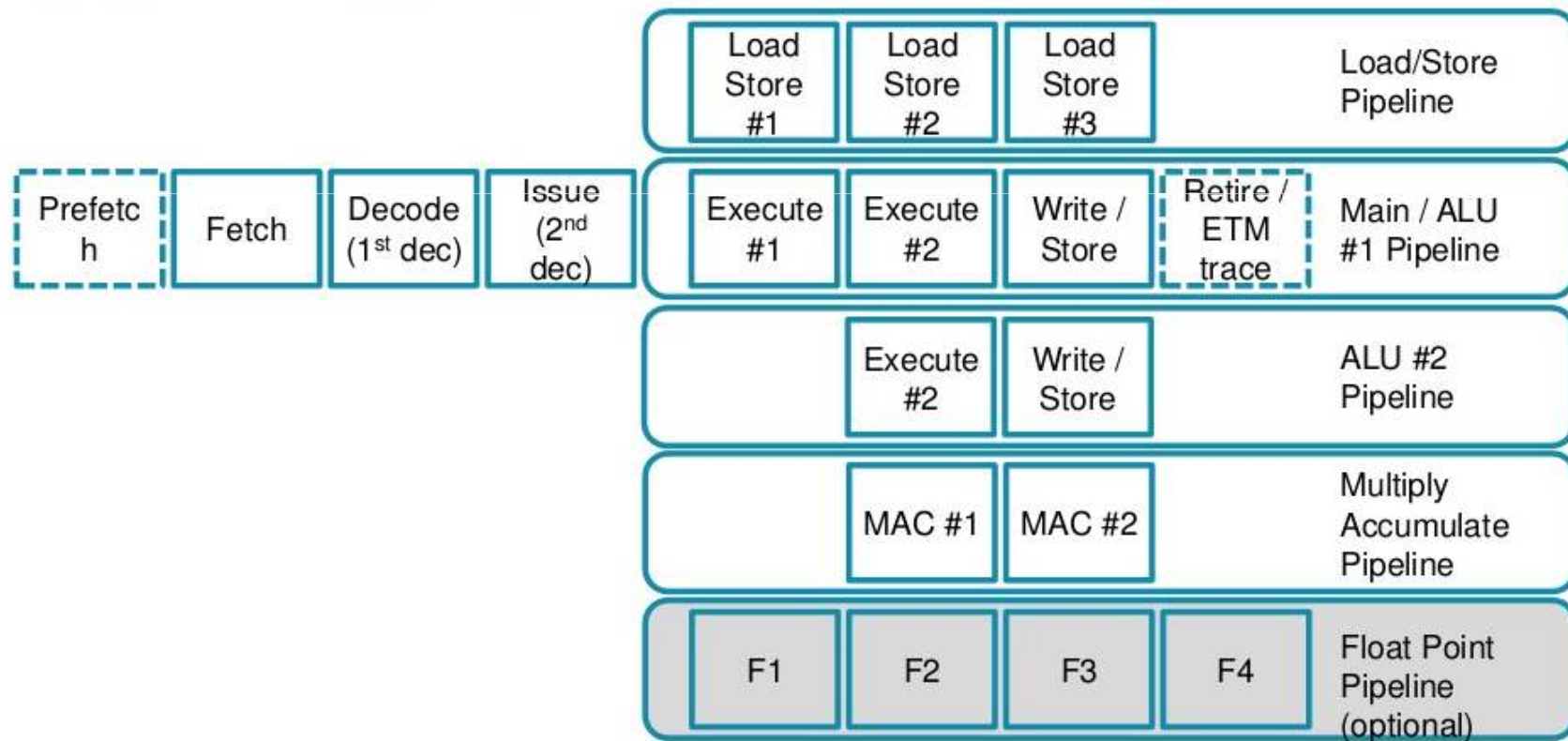
ARM

M7 utasítás készlet



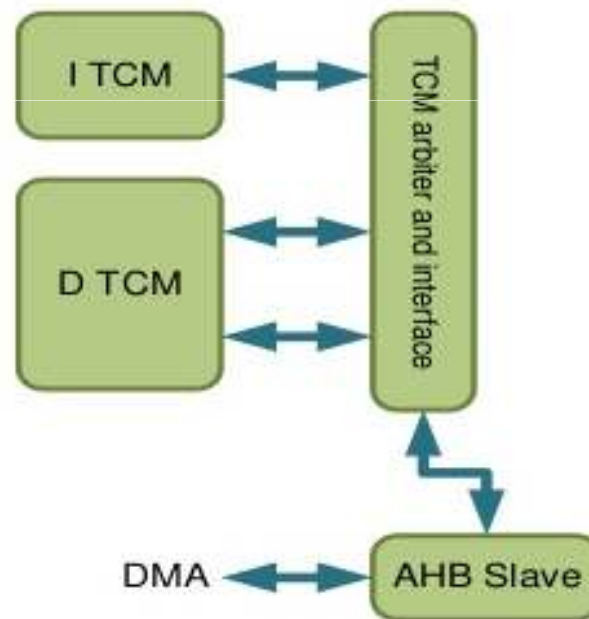
M7 pipeline

- 6-állapotú superscalar pipeline
 - duplázott shifter, ALU
 - Egy MAC
 - Egy Floating point pipe



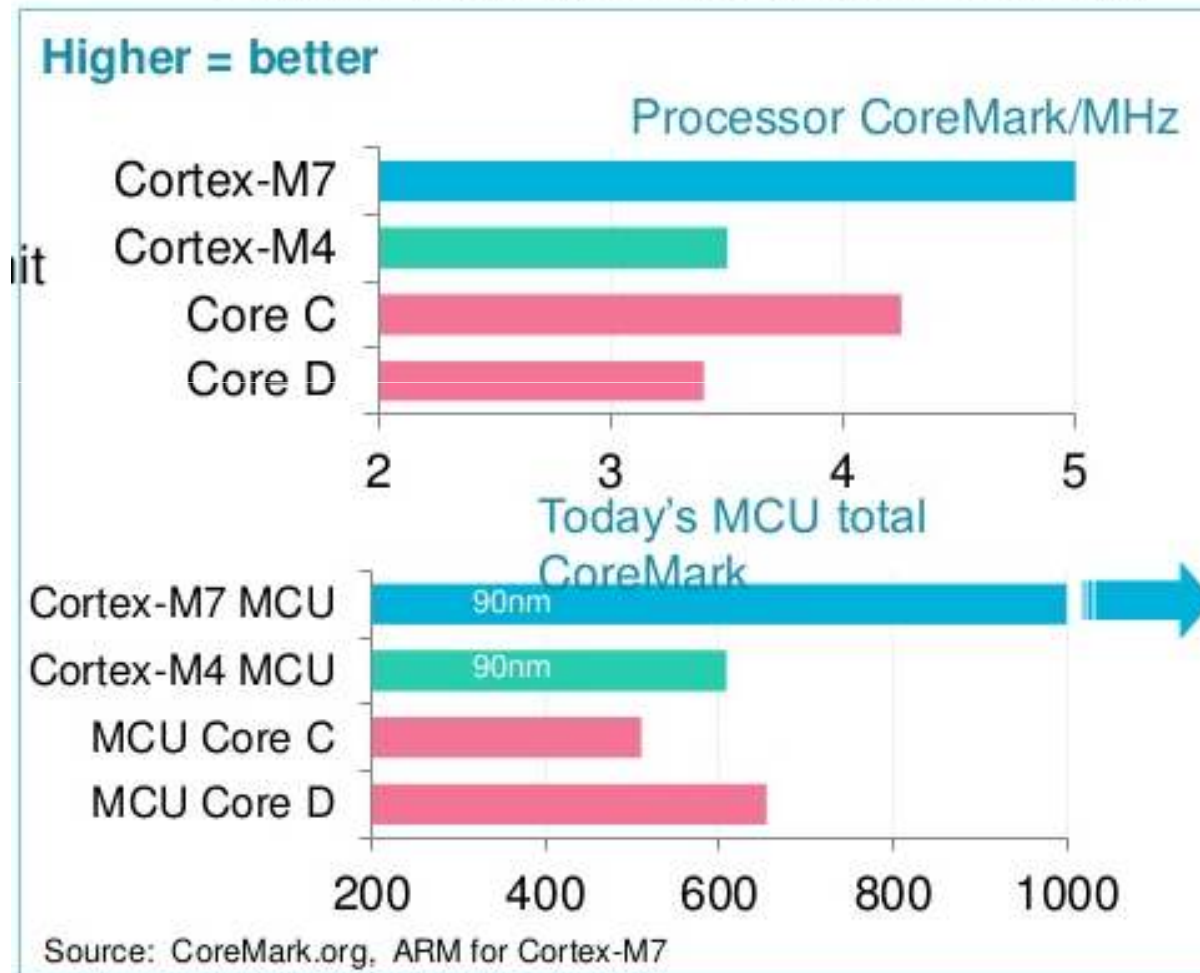
Tightly-coupled memory (TCM)

- Kis késleltetésű memória, amit a Cache kiszámíthatatlansága nélkül lehet használni
- 16 Mbyte-nyi memóriát támogat mind az utasítás, mind az adat oldalon (Utasítás 64bites, adat 2X32 bites)



Teljesítmény összehasonlítás

Highest core performance
combined with the efficiency of Cortex-M



DSP funkcionalitás

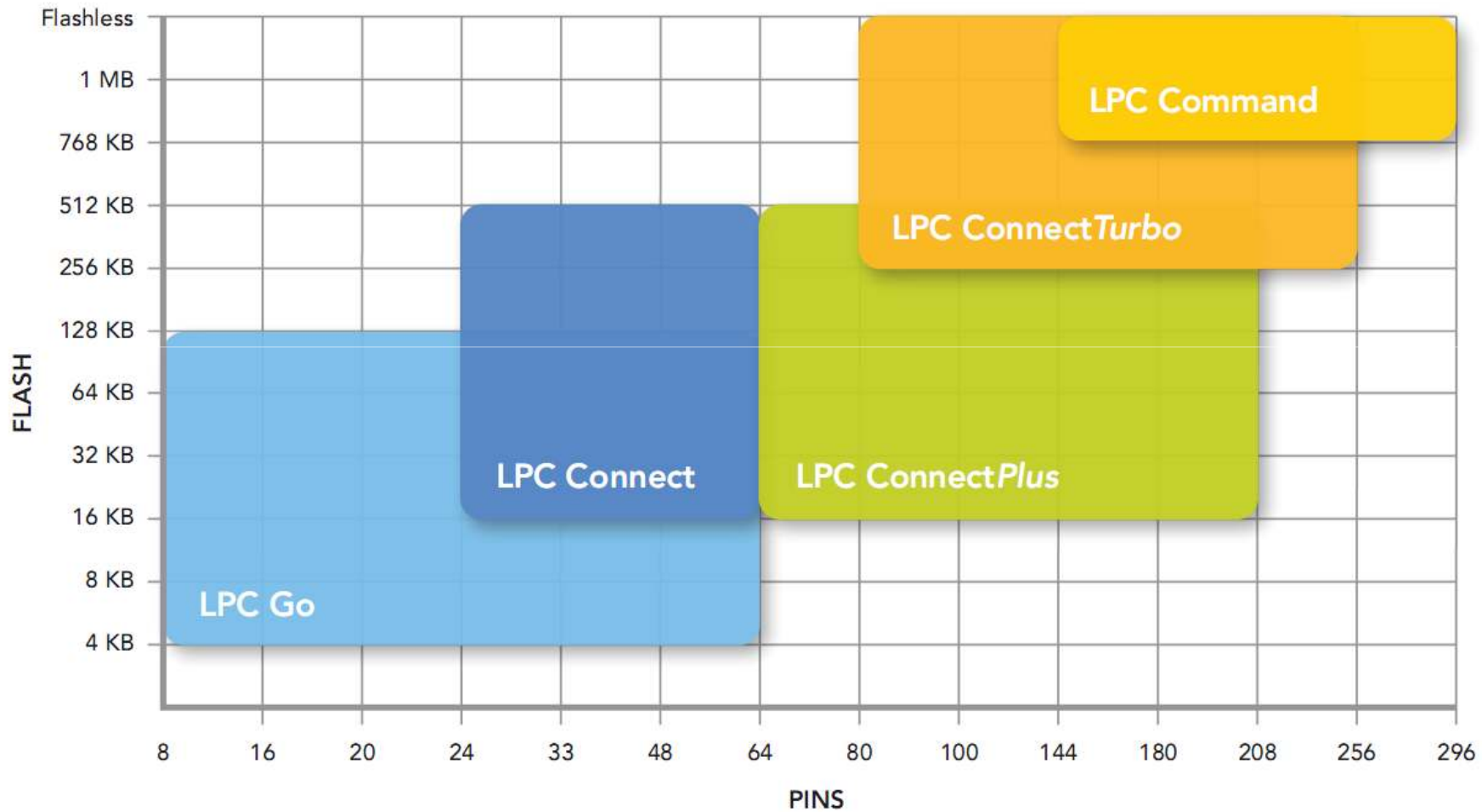
- Kétszeres átlagos teljesítmény a Cortex M4-hez képest
- CMSIS library támogatás



Piacon kapható mikrovezérlők

NXP portfólió

LPC portfolio overview



NXP portfólió



LPC Go

Entry-level microcontrollers

- ▶ 32-bit versatility with 8-bit simplicity
- ▶ Game-changing peripherals
- ▶ Replaces 8/16-bit solutions

LPC800 LPC11E00 LPC2100
LPC1100 LPC1200
LPC1100LV LPC131x



LPC Command

Application processors ideal for Linux

- ▶ Application processors
- ▶ High-level OS (Linux)

LPC3100
LPC3200



LPC Connect

Point-to-point connectivity

- ▶ Point-to-point connectivity
- ▶ USB or CAN or segment LCD

LPC11Uxx LPC11Dxx LPC213x
LPC11Cxx LPC12Dxx LPC214x
LPC11A00 LPC134x



LPC ConnectPlus

MCU + USB + Ethernet + LCD +...

- ▶ Faster clock speeds
- ▶ USB + Ethernet + LCD + CAN
- ▶ More integration

LPC4000 LPC2300
LPC1700 LPC2400
LPC2200



LPC ConnectTurbo

Fastest Cortex-M microcontrollers

- ▶ Fastest clock speeds
- ▶ HS USB, LCD, CAN, and/or Ethernet with DSP instructions
- ▶ Highest level of integration

LPC1800 LPC2900
LPC4300

ST portfólió



Érdekesség

Az LPC4300 család

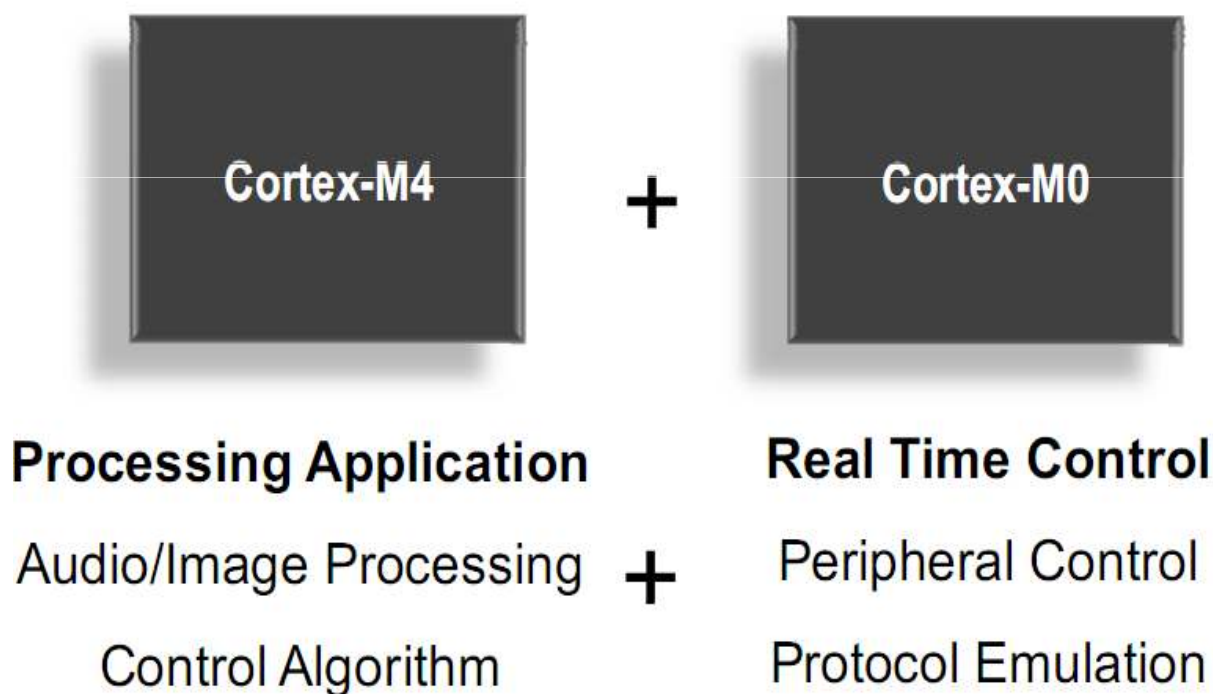
- Cortex-M4 aláú Digital Signal Controller
- Cortex-M0 Alrendszer a periféria funkciókra
- max. 1 MB Flash
 - Két bankos Flash
- max. 200 kbyte SRAM
- High speed USB
- Pin kompatibilis az M3 sorozattal
- További tulajdonságok
 - 10/100 Ethernet MAC
 - LCD panel controller (max. 1024H × 768V)
 - 2x 10-bit ADCs és 10-bit DAC at 400ksps
 - 8 csatornás DMA vezérlő
 - Motor Control PWM, Quadrature Encoder
 - 4x UARTs, 2x I2C, I2S, CAN 2.0B, 2x SSP/SPI

LPC4300 belső felépítés



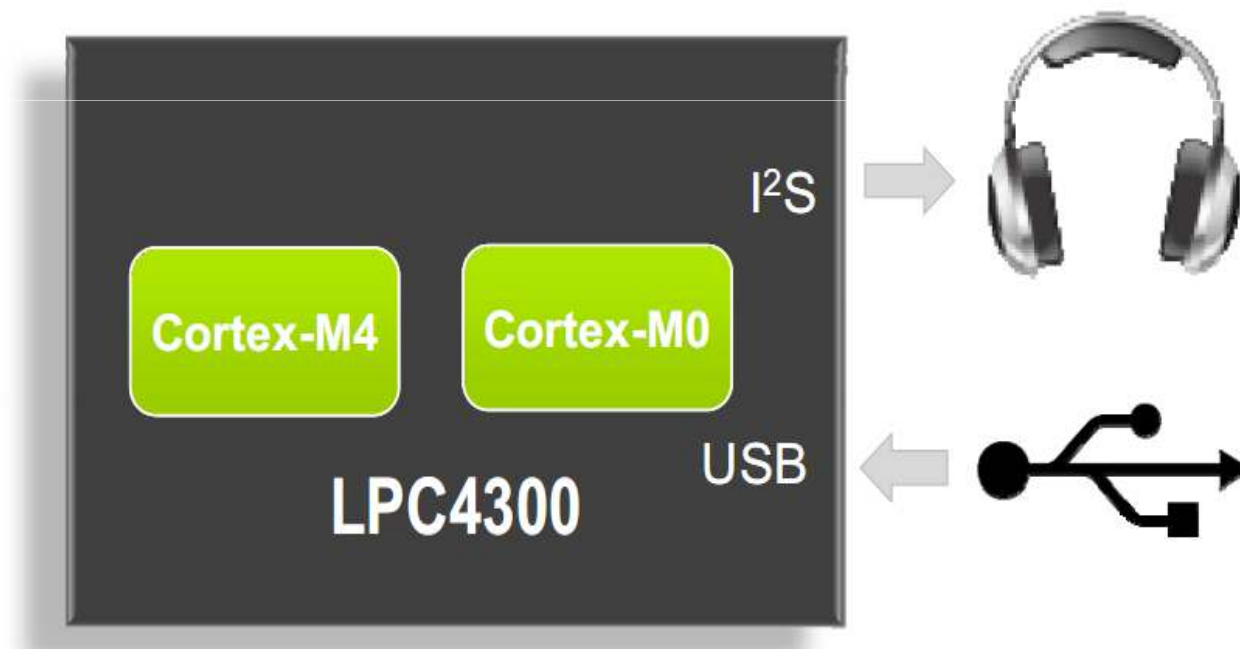
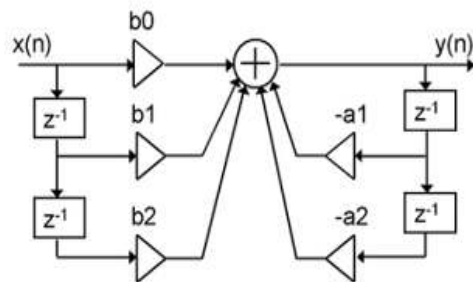
Cortex M4, Cortex M0 együtt

- Szeparálható a feldolgozás és a Real-Time vezérlés
- Külön NVIC
- Osztott memóriarendszeren keresztüli kommunikáció

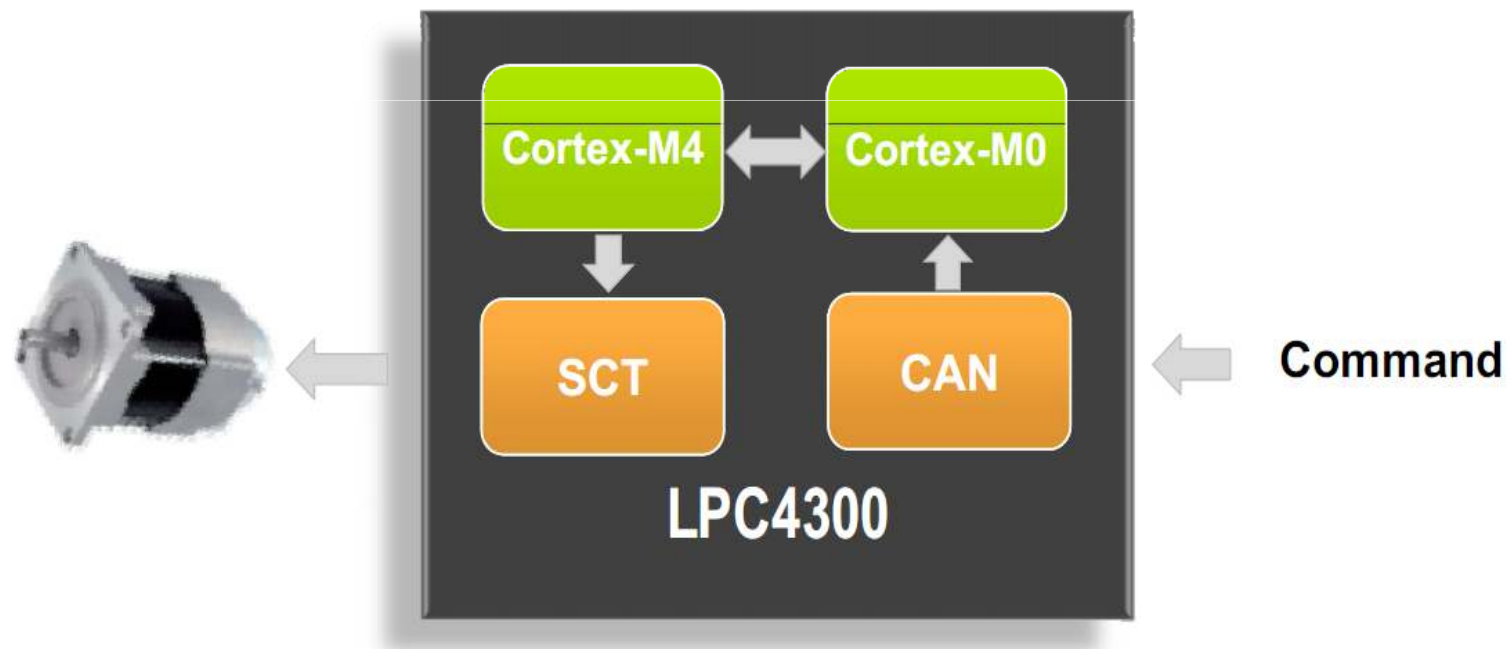


Cortex M0, M4 együttes használat példa audió feldolgozás

- Cortex M0: periféria kezelés: I2S, USB
- Cortex M4: teljes teljesítménnyel feldolgozás

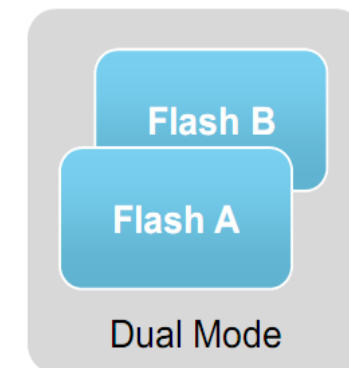
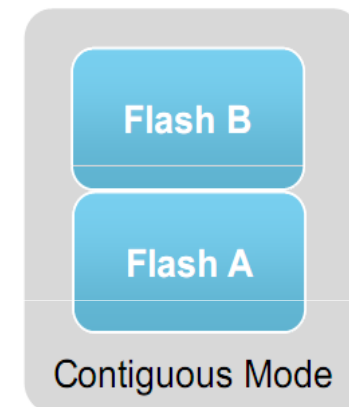
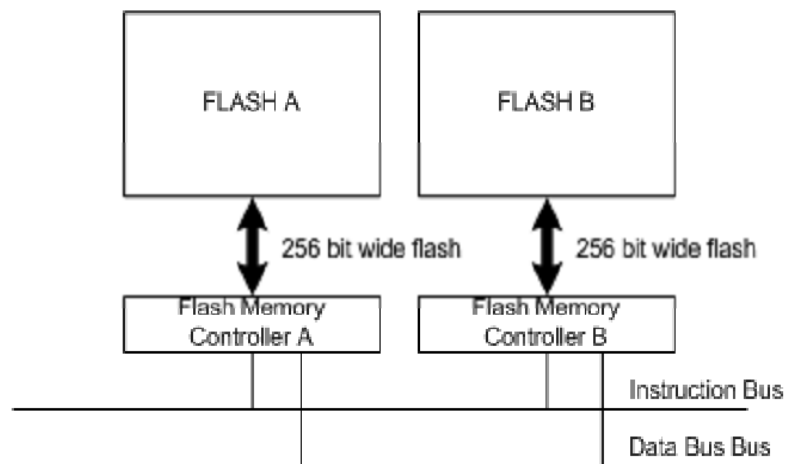


- Cortex-M4: Motor control Field Oriented Control (FOC)
- Cortex M0: CAN parancs feldolgozás



LPC4300 memória Flash

- Két 512K byte-os flash memoria blokk
 - Lehet összefüggő 1 Mbyte-os blokként használni
- 256-bit-es memória vezérlő
 - 150MHz.



LPC4300 memória SRAM

- max. 256KB SRAM
- Sok blokkra osztva
 - párhuzamos DMA
 - két core működés

