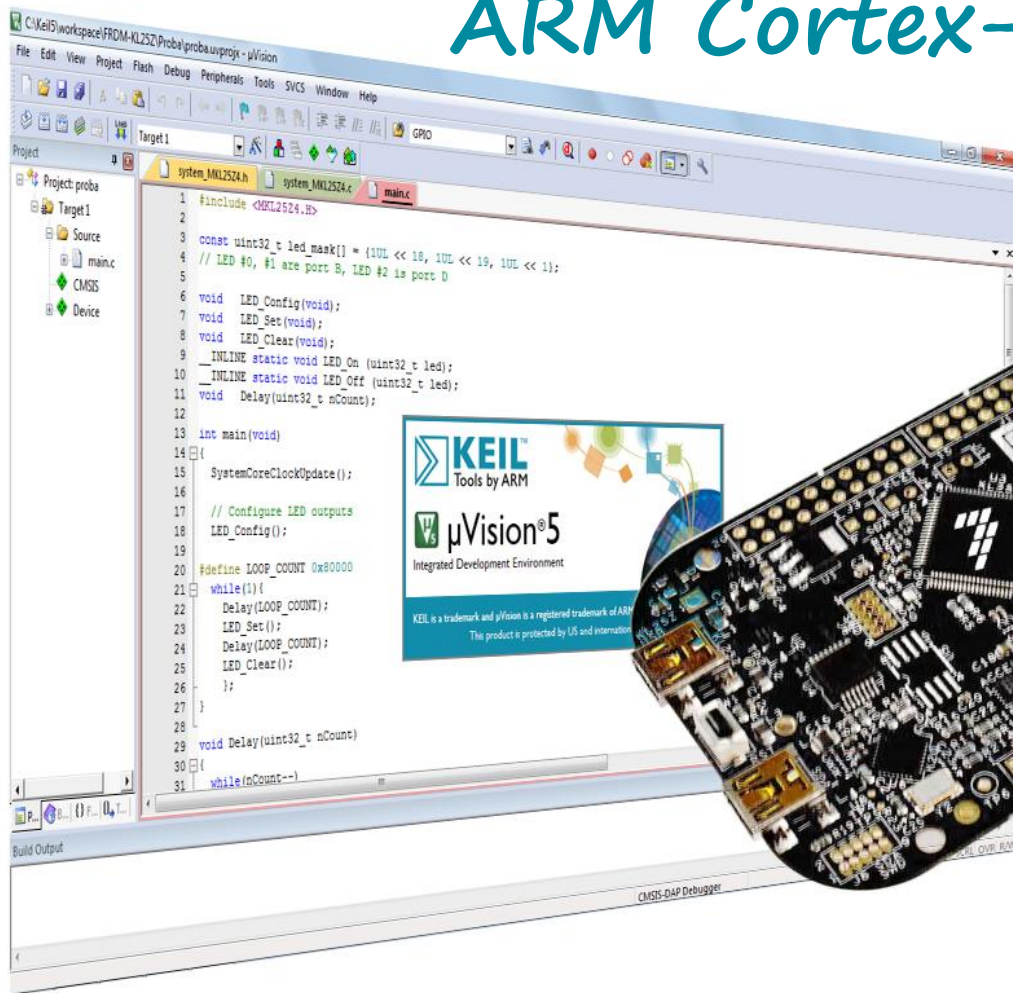


ARM Cortex-M0+ mikrovezérlő programozása KEIL MDK 5 környezetben



Cortex
Intelligent Processors by ARM®

1. Az ARM Cortex-M0+ CPU jellemzői

Felhasznált anyagok, ajánlott irodalom

- ❑ Joseph Yiu: **The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M0 and Cortex-M0+ Processors** (2nd Ed.)
- ❑ Joseph Yiu: **The Anatomy of the ARM Cortex-M0+ Processor**
- ❑ Trevor Martin: **The Designer's Guide to the Cortex-M Processor Family**
- ❑ Muhammad Ali Mazidi, Shujen Chen, Sarmad Naimi, Sepehr Naimi: **Freescale ARM Cortex-M Embedded Programming**
- ❑ ARM University Program: **Course/Lab Material for Teaching Embedded Systems/MCUs** (for the FRDM-KL25Z board)
- ❑ Freescale: [MKL25Z128VLK4 MCU datasheet](#)
- ❑ Freescale: [KL25 Sub-Family Reference Manual](#)
- ❑ Freescale: [FRDM-KL25Z User Manual](#)

ARM – a CPU tervező cég



- Az **Advanced RISC Machines Ltd. (ARM)** céget 1990-ben alapította az **Acorn**, az **Apple Computer** és a **VLSI Technology**, az Acorn RISC processzor továbbfejlesztésére.
- Az ARM nem gyárt és nem forgalmaz mikrovezérlőt, hanem CPU-t tervez, s terveit a chipgyártók licenzelik, perifériákkal kiegészítik, majd legyártják.

ARM® Cortex® processzorok a beágyazott rendszerek piacán

Cortex®-M processzorok

MCU + DSP



RTOS

Smallest footprint / lowest power

Cortex®-R processzorok



Highest performance / real-time

Cortex®-A processzorok



Rich OS

Highest performance



Cortex – A

akár 8 – 10 CPU mag, 2.2 GHz, 64-bites alkalmazásprocesszor...

Cortex – R

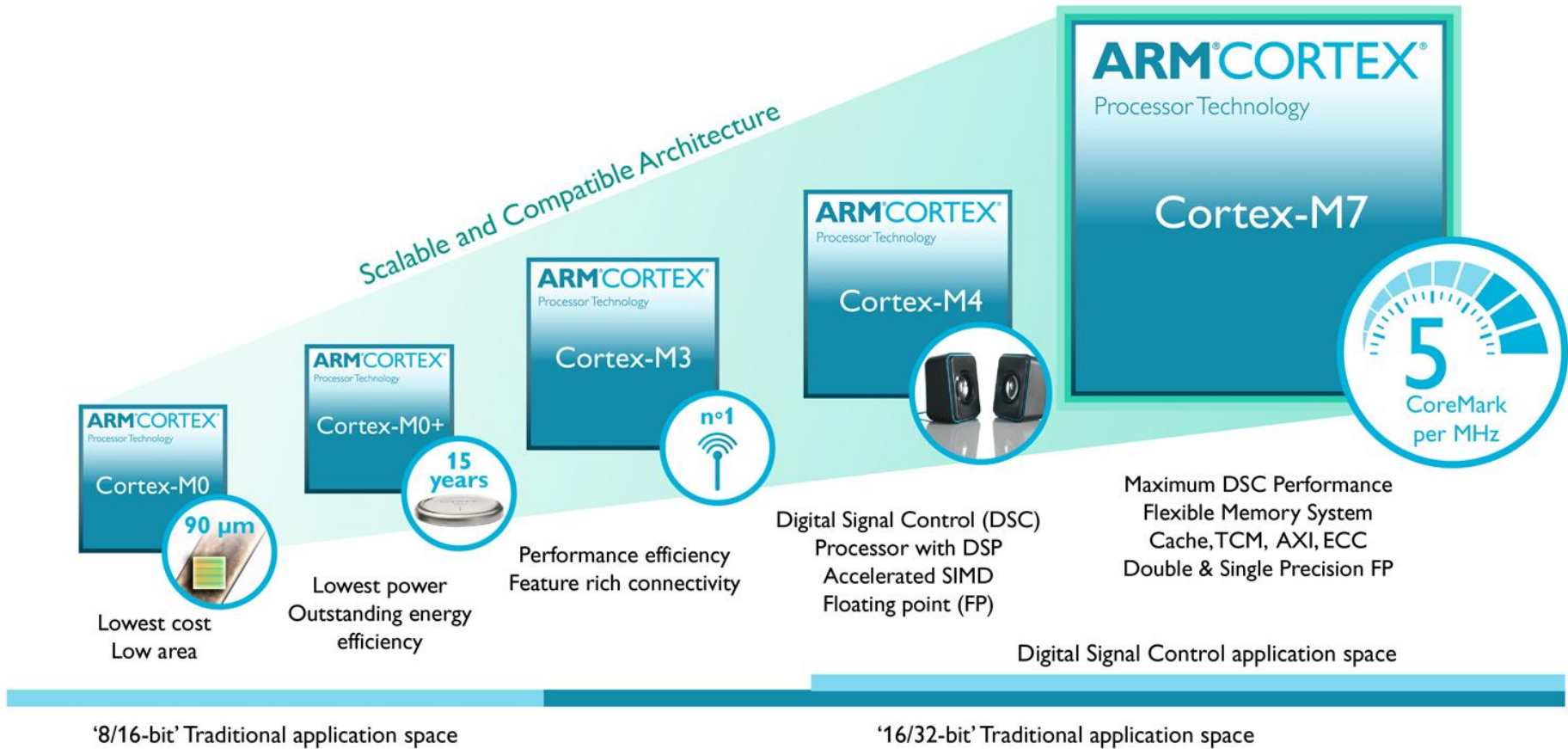
Real-time processzorok, biztonsági funkciókkal, kritikus alkalmazásokhoz

Cortex – M

32-bites mikrovezérlők, nem kritikus alkalmazásokhoz

Az ARM Cortex-M CPU termékcsaládja

2014-ben már több, mint 3000 féle Cortex-M alapú mikrovezérlő típus volt.



Az **ARM Cortex-M0/M0+** CPU család kifejezetten a 8/16 bites mikrovezérlők kiváltására készült. Nevesebb gyártók: Freescale, NXP, Nuvoton, ST Microelectronics, Infineon, Silicon Labs, Atmel, Nordic Semiconductor, Cypress Semiconductor, Sonix Semiconductor, stb.

ARM mikrovezérlők összehasonlítása

	ARM7	Cortex-M4	Cortex-M0	Cortex-M0+
Pipeline	3	3	3	2
Bus Arch.	Von Neumann	Harvard	Von Neumann	Von Neumann
ISA	Arm/Thumb	Thumb-2	Thumb(wT2)	Thumb(wT2)
DMIPS/MHz	0.95/0.70	1.25	0.84	0.93
MPU	No	Optional	No	Optional
Interrupts	2	1 - 240	1-32	1-32
Area	0.34 mm ²	0.17 mm ²	0.04 mm ²	0.04 mm ²
Power	70µW/MHz	33 µW/MHz	16 µW/MHz	11 µW/MHz

Összehasonlítás más mikrovezérlőkkel

Az alábbi táblázatban az órajel frekvenciával beosztott **CoreMarks** eredményeket hasonlítjuk össze (1 MHz-re jutó teljesítmény).

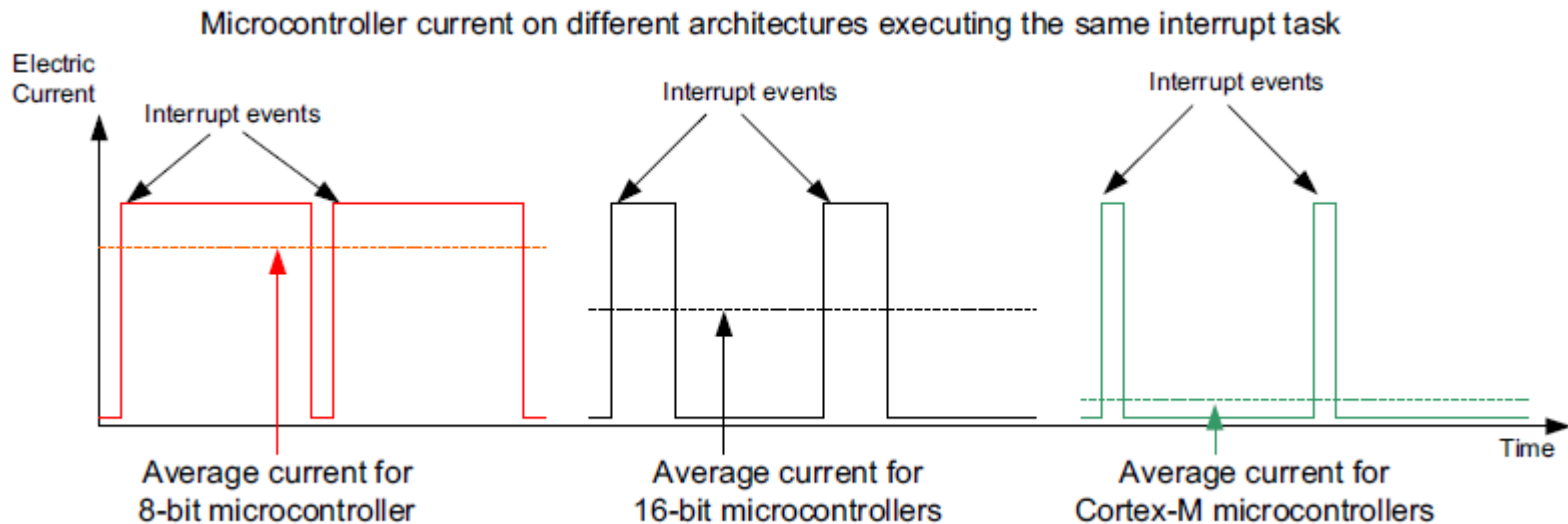
Az órajel és az utasításciklus frekvencia azonban nem mindegyik típusnál egyezik meg. Például: AT89C51 = 6 ciklus/utasítás, PIC18 = 4 ciklus/utasítás, PIC24 és dsPIC33 = 2 ciklus/utasítás

Processor	CoreMark/MHz
Cortex [®] -M0+ processor	2.49
Cortex-M0 processor	2.33
Atmel AT89C51RE2 (8051-based design with 6 oscillator cycle per CPU cycle)	0.11 (oscillator cycle)
Atmel ATmega644	0.54
Altera NIOS II	1.60
Microchip dsPIC33 (2 oscillator cycles per CPU cycle)	1.89 (machine cycle)/0.9 (oscillator clock)
Microchip PIC24 (2 oscillator cycles per CPU cycle)	1.88 (machine cycle)/0.9 (oscillator clock)
Microchip PIC18	0.04
Renesas RL78/G14	0.89
TI MSP430	1.11

Miért olyan fontos a gyorsaság?

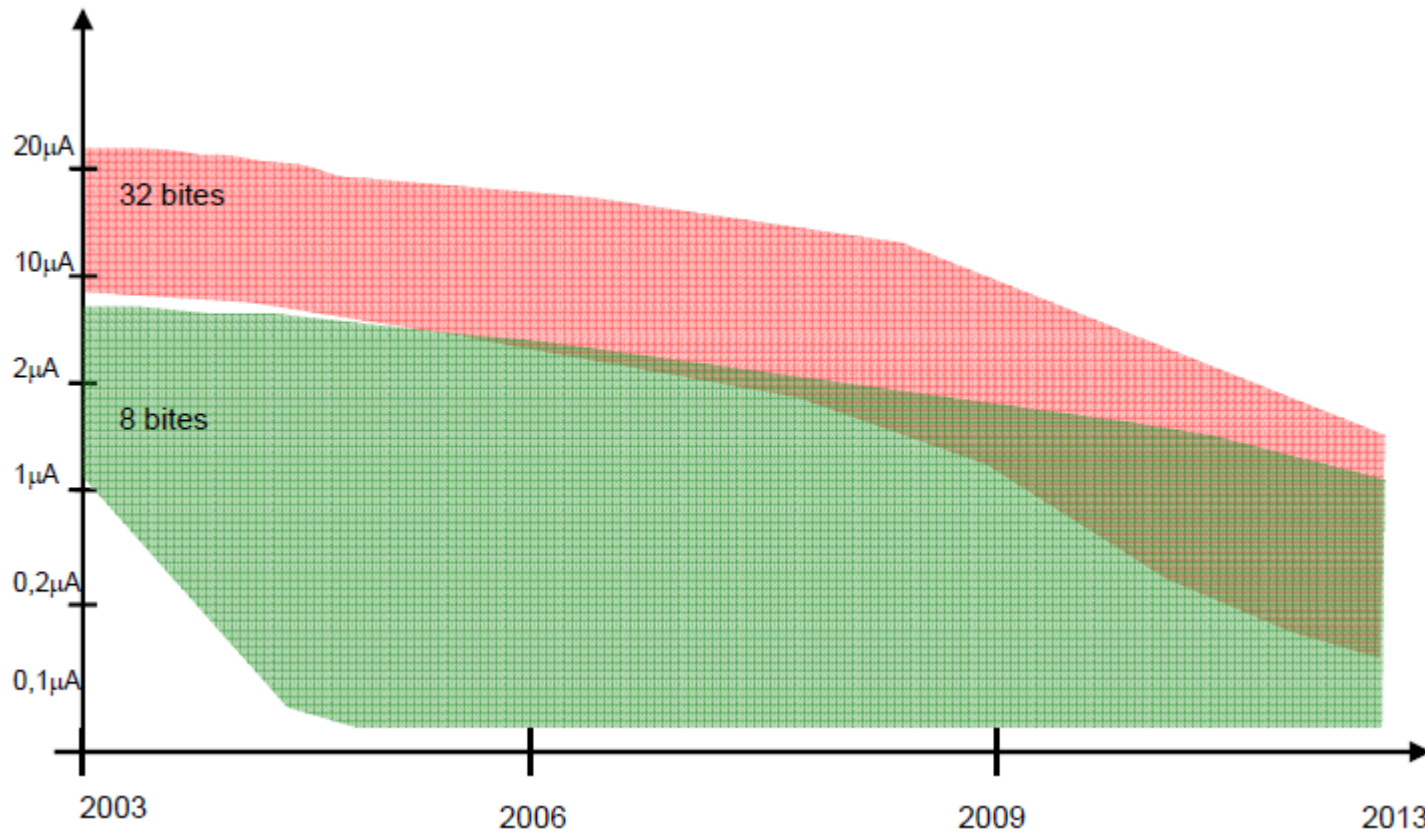
Talán meglepő, hogy a gyorsaságot hajszoljuk olyan alkalmazásoknál is, amelyeknél a mikrovezérlő az idő nagy részében „nem csinál semmit”, vagyis energiatakarékos módban szundít.

A helyzet az, hogy az energiafelhasználás szempontjából a bekapcsolt/kikapcsolt állapot aránya, az átlagfogyasztás számít. Gyorsabb CPU-val lejjebb szorítható a bekapcsolt állapotok aránya. Elemről/akkumulátorról történő táplálás esetén (hordozható készülékek) ez sokat számít



Alvó állapotú fogyasztás alakulása

- mA/MIPS-ben mindig is jobbák voltak a 32 bitesek a 8 bites mikrovezérlőknél
- Sleep (alvó állapot) áramfelvételben volt lemaradás, ez mostanra jelentősen csökkent. Csak a kifejezetten erre specializált 8 bites mikrovezérlők mondhatók kisebb fogyasztásúnak.



Mi a Cortex-M0+ processor?

2009 – Az ARM® Cortex™-M0 CPU megjelenése

- ❖ Alacsony kapuszám (~ 12 k)
- ❖ Nagy teljesítmény
- ❖ Könnyen használható
- ❖ Nyomkövetési lehetőség



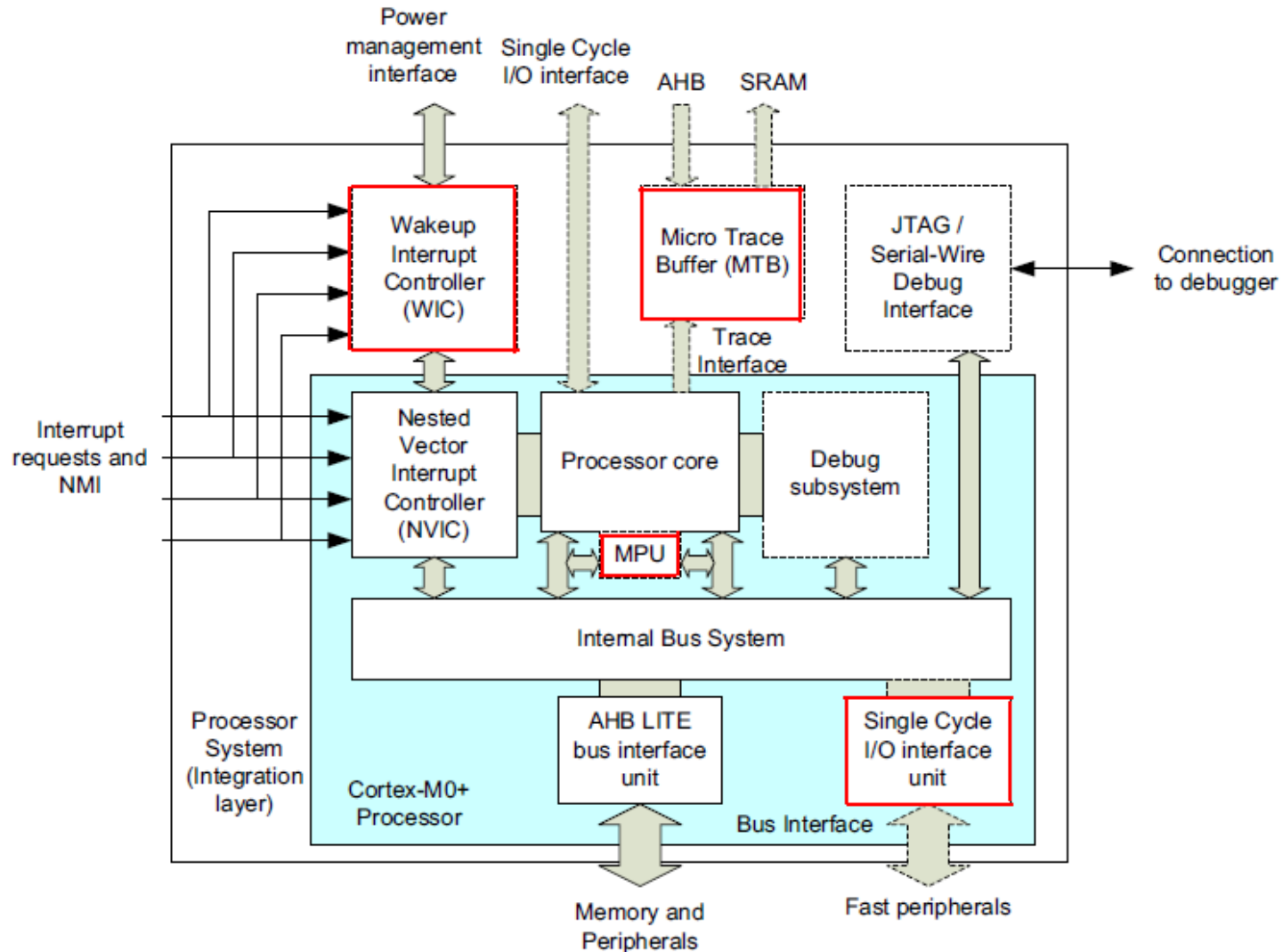
2012 – A Cortex-M0+ CPU megjelenése

- ❖ Ugyanaz az utasításkészlet
- ❖ A Cortex-M0 minden jellemzőjét támogatja
- ❖ Új jellemzők
- ❖ Nagyobb energiahatékonyság
- ❖ Új alkalmazási lehetőségek



Miben hozott újat az M0+ CPU?

A blokkvázlaton pirossal megjelöltük az ARM Cortex-M0-hoz képest új elemeket.

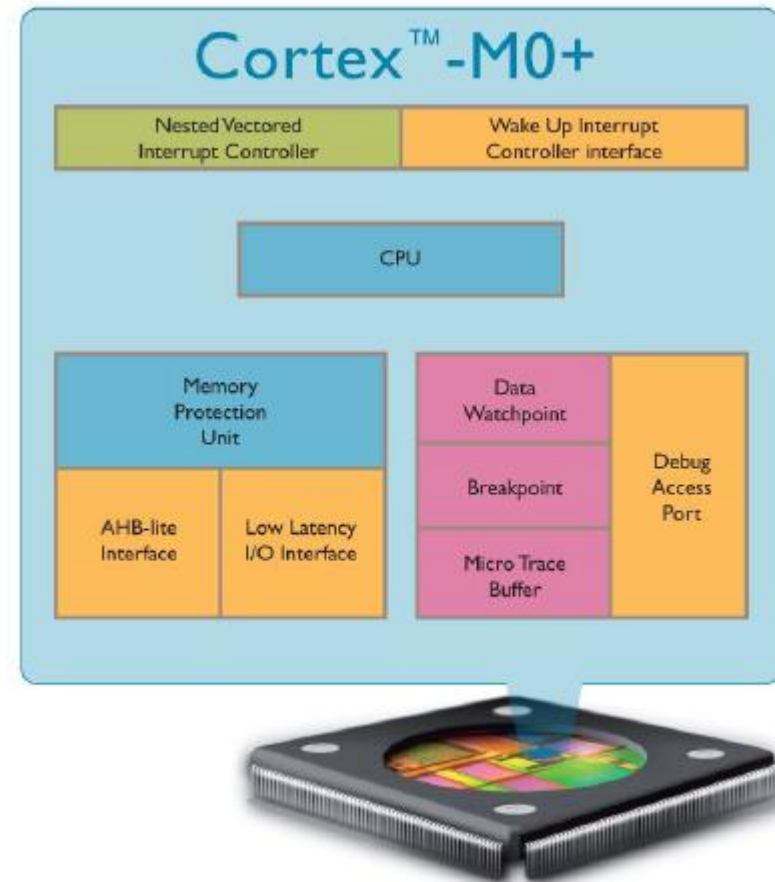


Miben hozott újat az MO+ CPU?

- ❑ **Még nagyobb hatékonyság**
 - Kétfokozatú pipeline (a korábbi 3 helyett)
 - Nagyobb teljesítmény azonos frekvencián
- ❑ **„Nem privilegizált” végrehajtási szint**
- ❑ **8 tartományú memóriavédelem (MPU)**
- ❑ **Gyorsabb I/O elérés**
- ❑ **Vektor tábla áthelyezés**
- ❑ **Olcsó nyomkövetési lehetőség (trace buffer)**
- ❑ **Bővített integrációs lehetőségek (pl.16 bites flash támogatása)**

Az ARM Cortex-M0+ jellemzői

- ❑ **Processzor:**
 - ARMv6-M architektúra
 - Könnyen használható, C támogatású
 - Cortex-M sorozattal kompatibilis
- ❑ **Többszintű vektoros megszakításkezelő (NVIC)**
- ❑ **Flexibilis megszakításkezelés**
- ❑ **WIC (felébresztés) támogatása**
- ❑ **Memória védelmi egység (MPU)**
- ❑ **Nyomkövetés csupán két vezetékkel**



Kompakt utasításkészlet

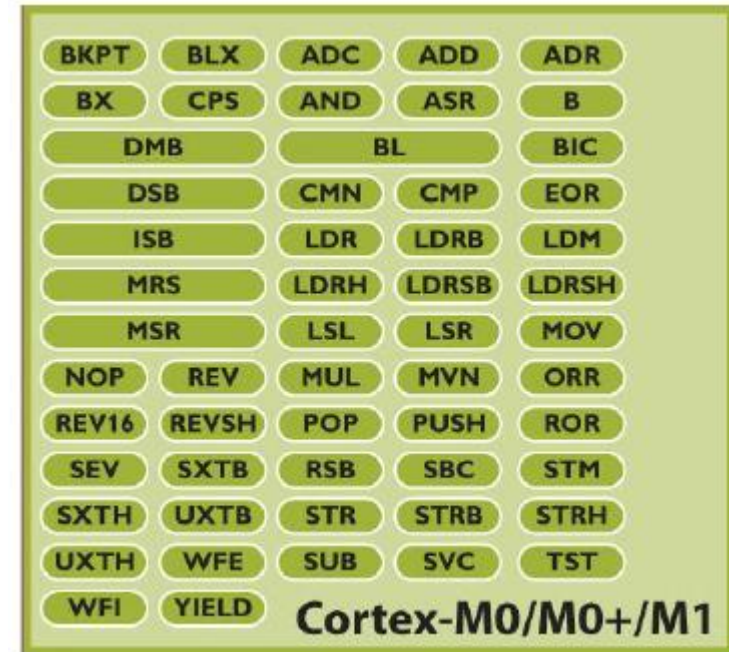
☐ Mindössze 56 utasítás:

- Thumb-2 utasításkészlet
- 100 %-ban kompatibilis az ARM Cortex M0 utasításkészletével
- Felfelé kompatibilis az ARM Cortex-M3/M4 utasításkészletével

☐ Az utasítások többsége 16 bites

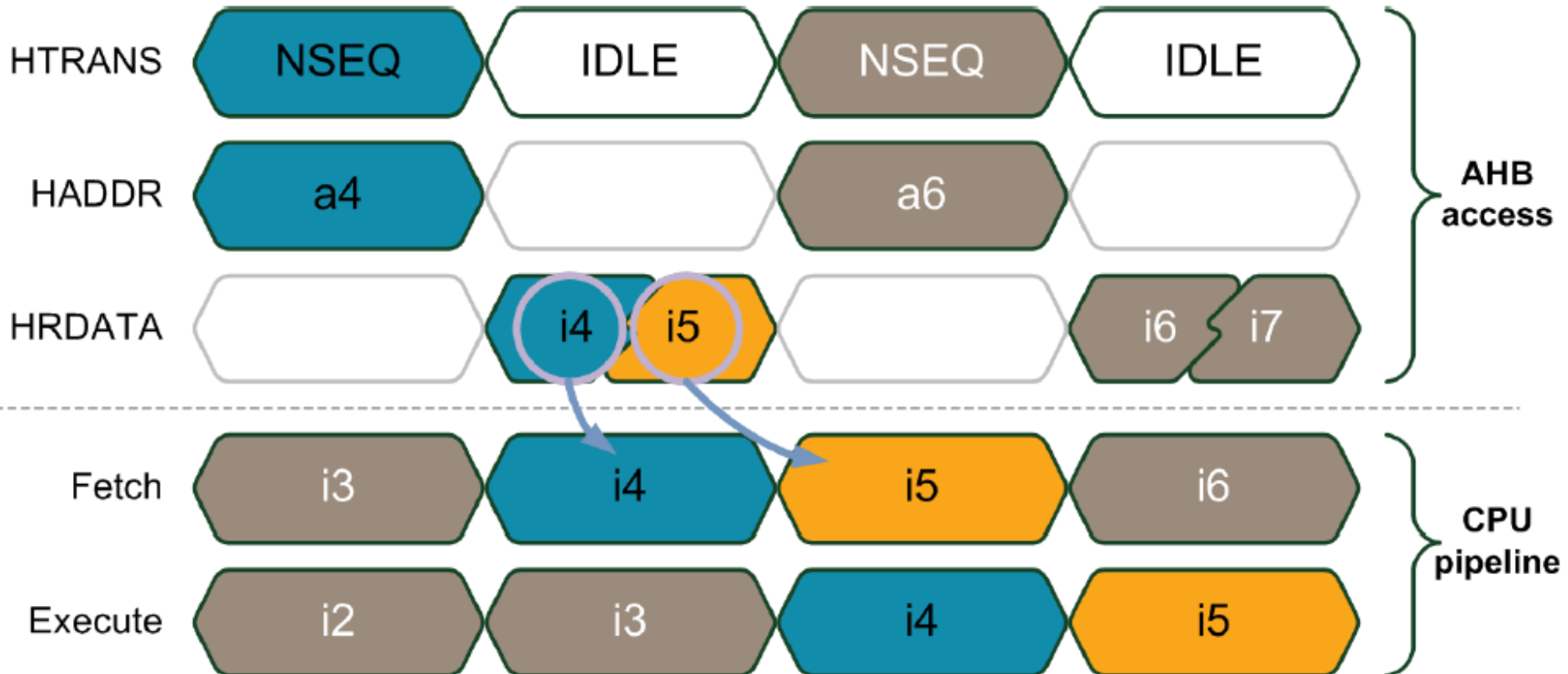
☐ Minden utasítás 32 bites regiszterekkel dolgozik

☐ Opcionális lehetőség a 32 x 32 bites szorzó



Flash memória használat

Program memória hozzáférés (flash kiolvasás) általában minden második ciklusban történik, szekvenciális kódvégrehajtás esetén. Egy 32 bites kiolvasás két 16 bites utasítást vesz elő.



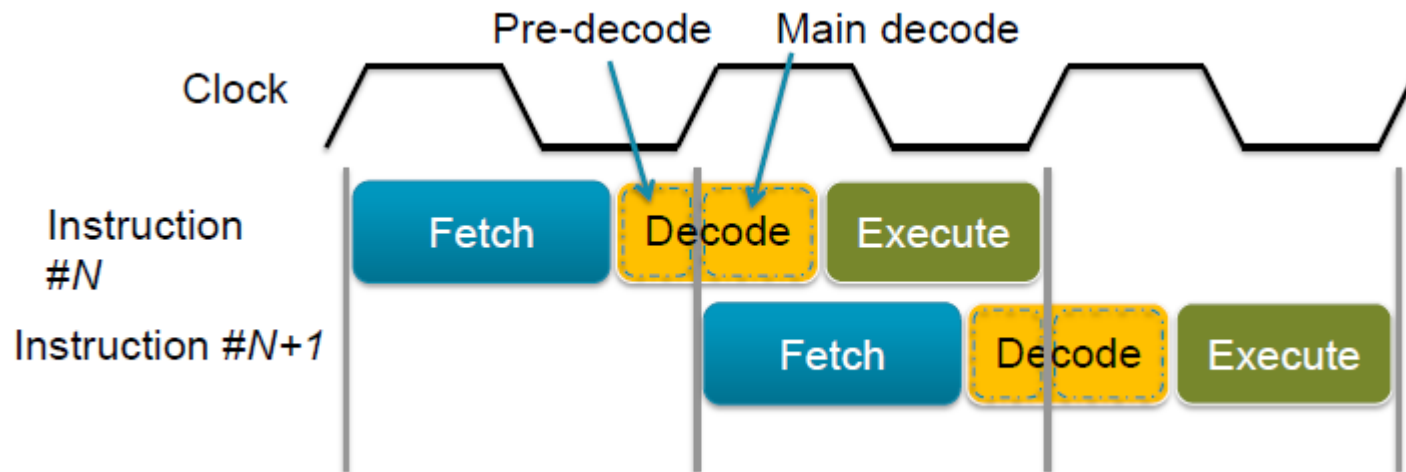
Energiatakarékos megoldások

☐ Energiafelhasználás minimalizálása minden eszközzel

- Kis területű szilícium chip (kb. 12K kapu)
- Különböző energiatakarékos megoldások (órajel kapuzás, tápfeszültség lekapcsolás, állapotmegőrző mód, stb.)

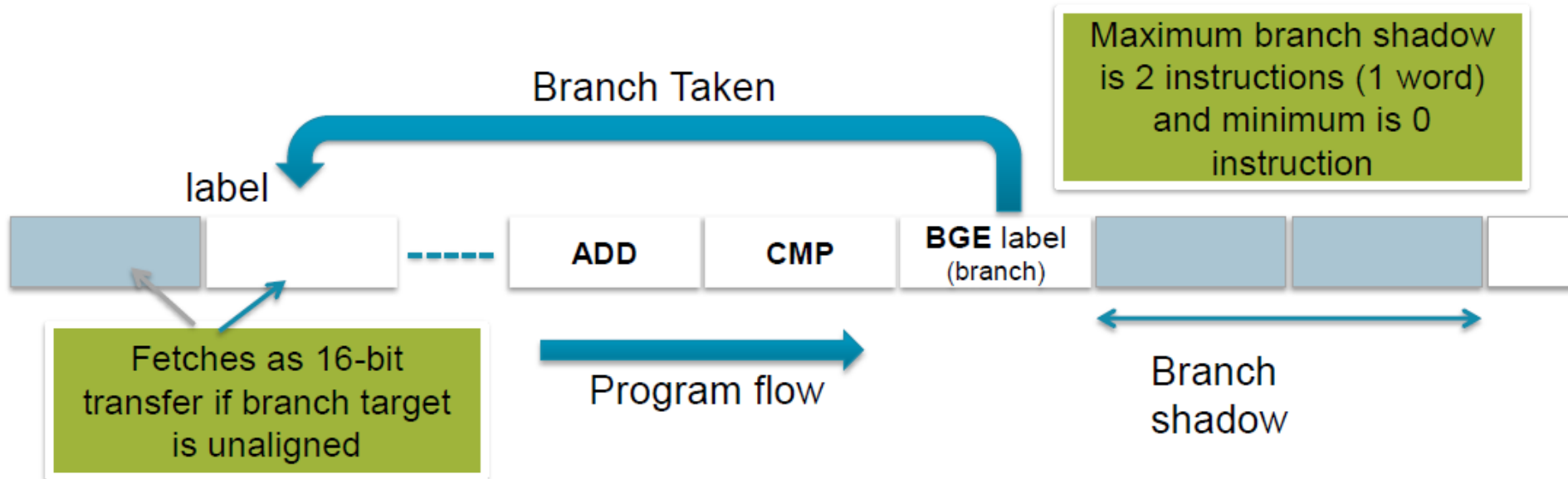
☐ 2 fokozatú pipeline (futószalag) a maximális hatékonyságért

- A billenőkörök és kombinációs logikai áramkörök arányának csökkentése
- Alacsony CPI átlag (Cycles Per Instruction)



Kisebbr ugrási veszteség

Futószalagos (pipelined) processzoroknál az aktuális utasítás végrehajtásakor további utasításokat vesz elő és tárol a processzor ("prefetching"). Minél több fokozatú a futószalag, annál több beolvasott kód megy veszendőbe, ha egy ugróutasítás miatt eltérül a program (branch shadow).



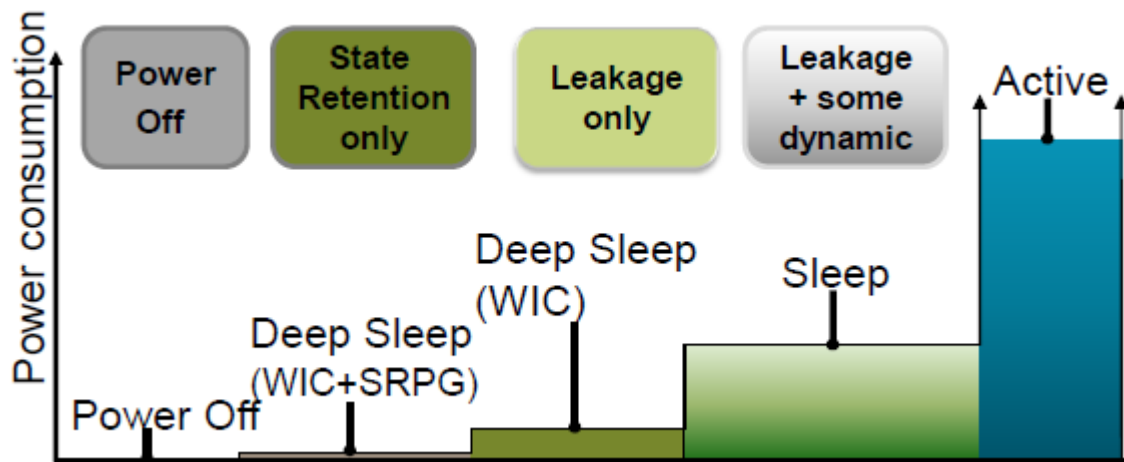
Az áttérés a kétfokozatú futószalagra csökkentette az ugrási veszteséget.

Alvási módok

Az architektúrában definiált alvási módok

- Normál alvás (sleep)
- Mélyalvás (deep sleep)
- Mélyalvás állapotmegőrző funkcióval (deep sleep with SRPG support using WIC) – nW power profile with instant wakeup (processor power down with state retention)

A lehetőségek sora bővíthető MCU specifikus fogyasztásvezérlő regiszterekkel

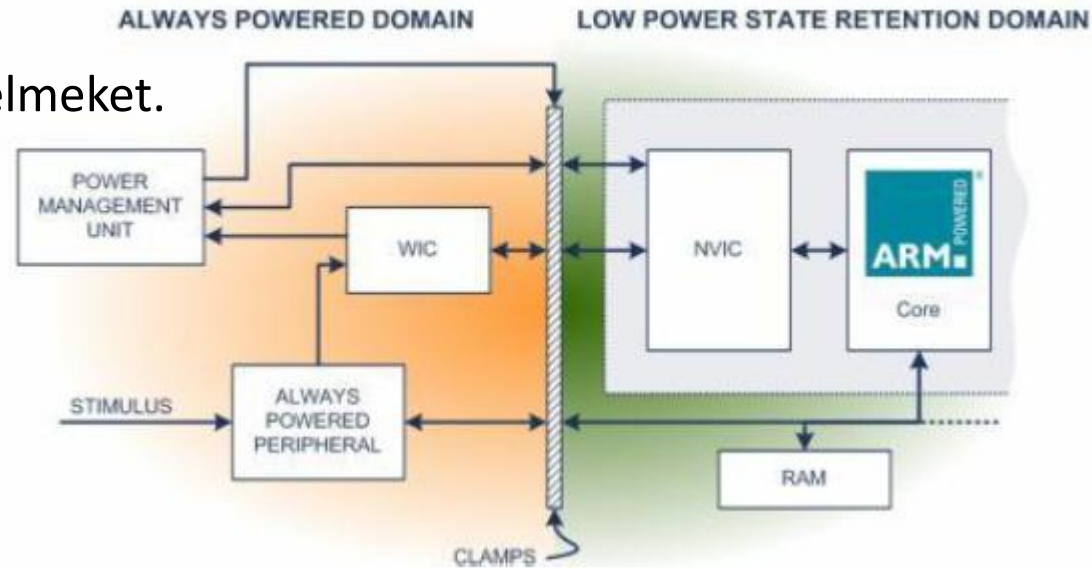


Nem arányos a skála!

Energiatakarékossági eszközök

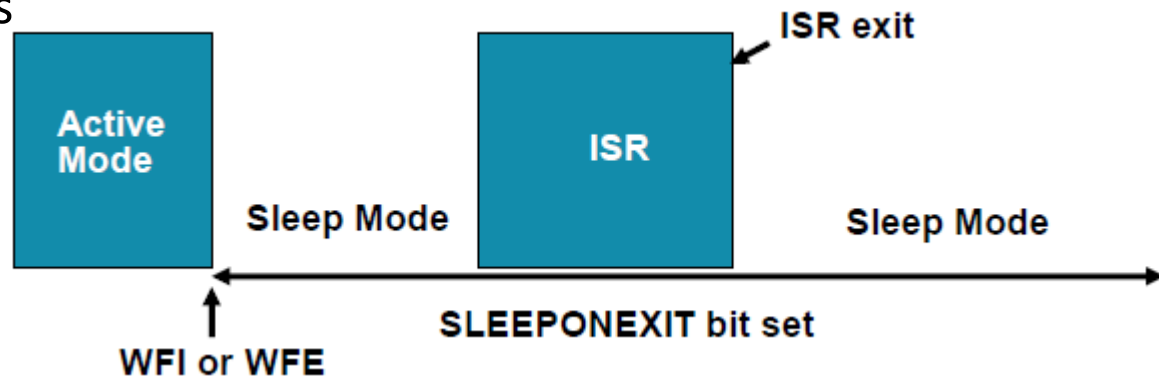
Wakeup Interrupt Controller (WIC)

- A processzor alvó állapotában is detektálja a megszakítási kérélmeket.
- Támogatja az SRPG mélyalvás mód azonnali ébresztését.



Sleep-on-exit

- Lehetővé teszi, hogy a CPU automatikusan alvó állapotba kerüljön, amikor a megszakítás kiszolgálása véget ér.
- Ideális a megszakításvezérelt alkalmazásokhoz.

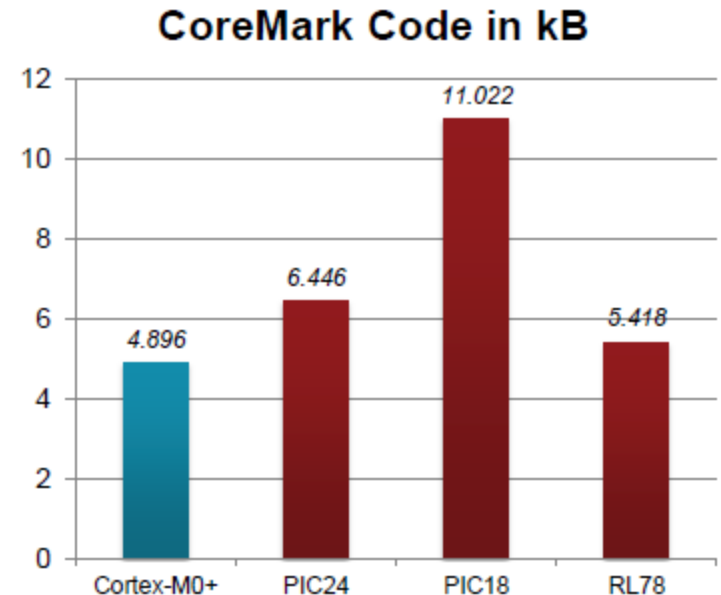


Nagy kódsűrűség

Azt hihetnénk, hogy a 32 bites felépítés pazarlással jár, nagyobb kódméretet eredményez

A hatékony utasításkészletnek és a tömbösített utasításoknak köszönhetően ez pont fordítva van!

Például a **CoreMark** (egy teljesítmény-mérő tesztprogram) megvalósítása a 8/16 bites mikroprocesszorokon terjedelmesebb kódot eredményez, mint a 32 bites Cortex-M0+ CPU esetén.

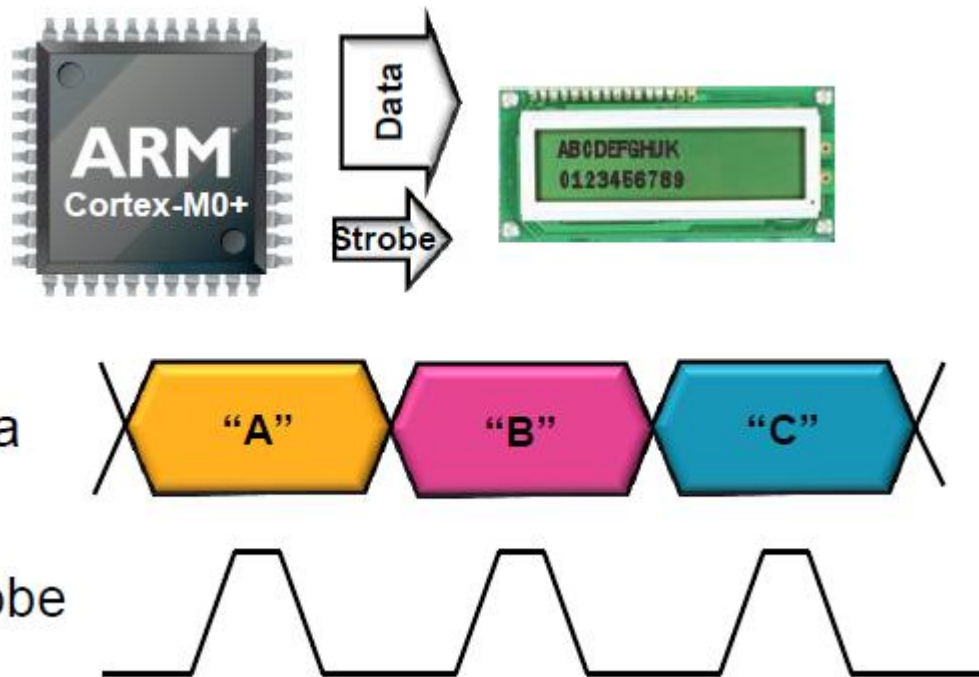


Gyorsabb I/O elérés

Az egyciklusú I/O illesztő előnyei az alkalmazásokra nézve:

- ❖ Gyorsabb GPIO műveletek, értékes ciklusok megtakarítása
- ❖ Jobb energia hatásfok I/O intenzív alkalmazásoknál
- ❖ Gyorsabb reagálás eseményvezérelt alkalmazásoknál

Példa: LCD modul vezérlése GPIO porton keresztül – kiíratás,
1 karakter/iteráció



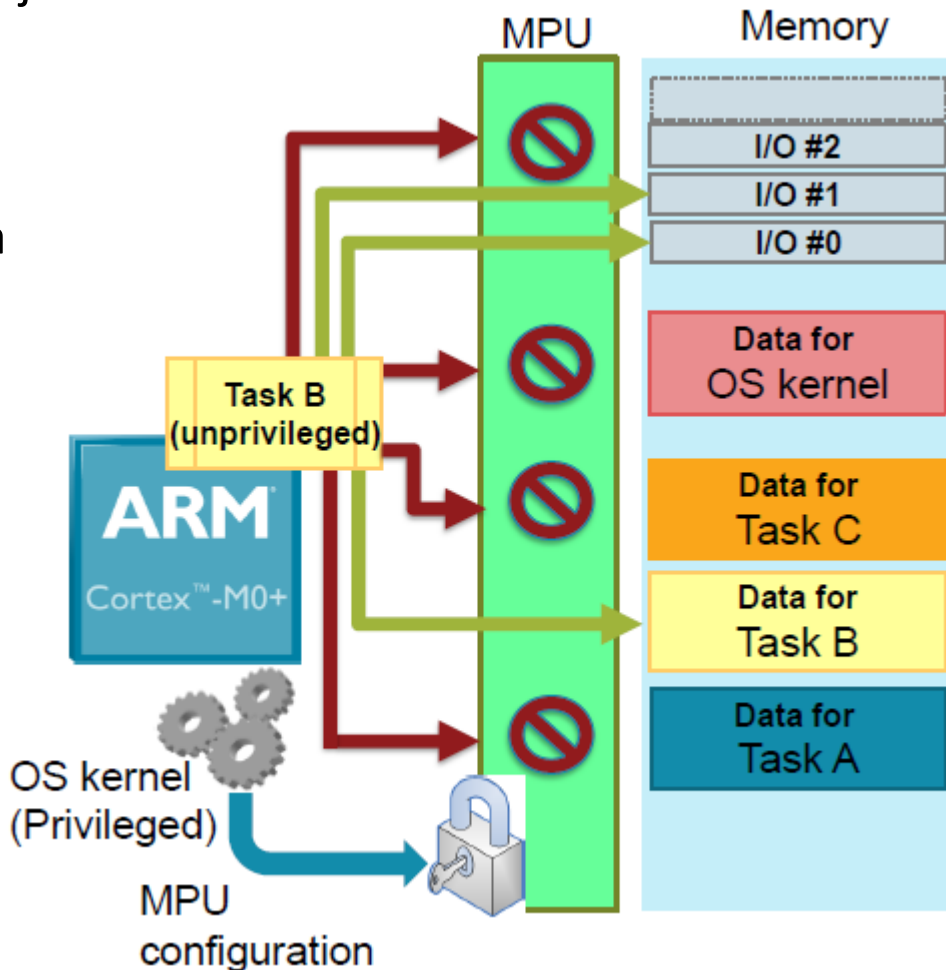
Clock cycles per loop

- MSP430 - 12 cycles
- 78K - 10 cycles
- 8051* - 15 cycles
- Cortex-M0+ - 9 cycles

* Optimized assembly code

Memóriavédelmi egység (MPU)

- ❑ Ez az opcionális modul megakadályozza az alkalmazói taszkot, hogy hozzáférjen az OS, vagy más taszkok adataihoz
- ❑ Növeli a rendszer megbízhatóságát
- ❑ Legfeljebb 8 tartomány konfigurálása
 - Cím
 - Méret
 - Memória attribútum
 - Hozzáférési engedélyek



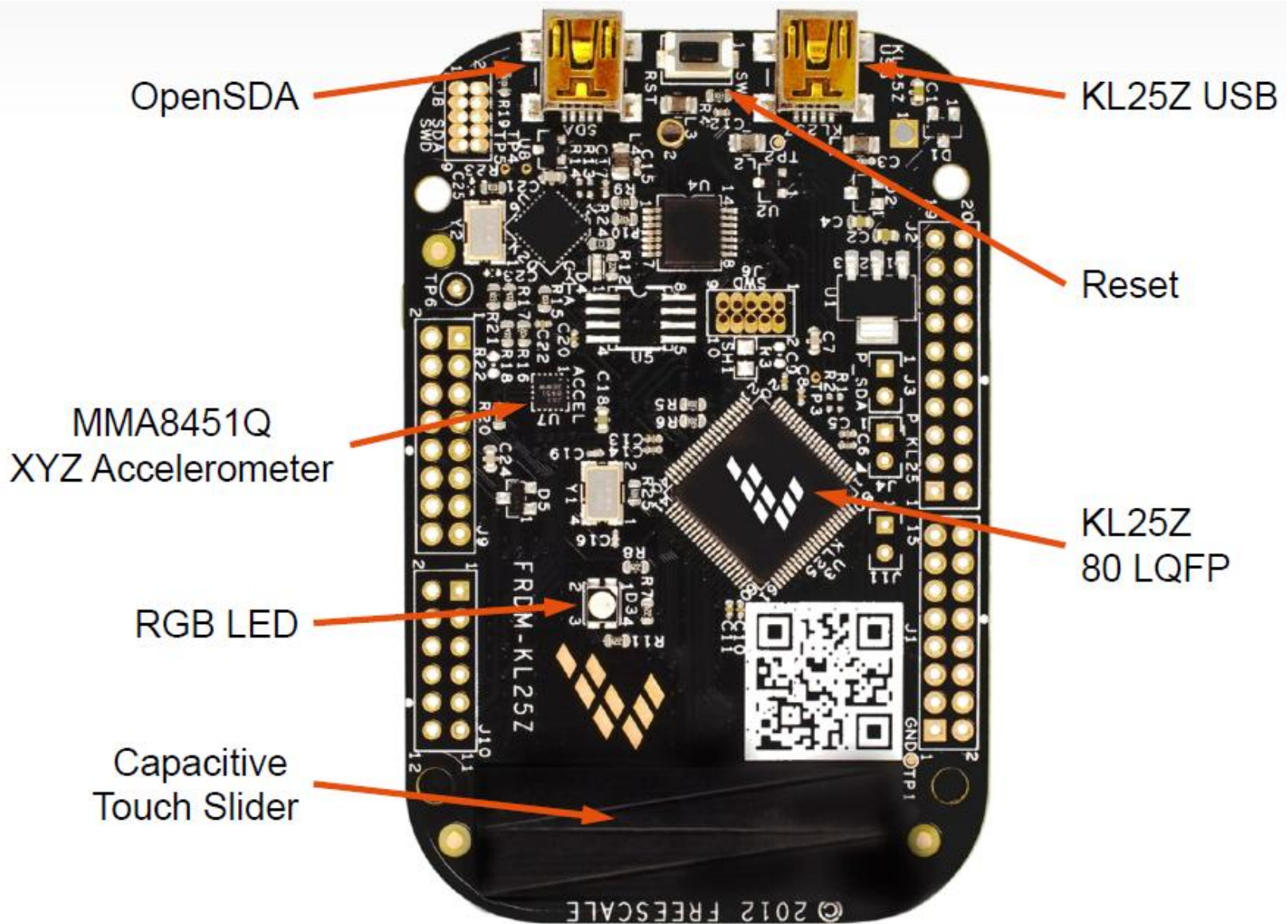
A FRDM-KL25Z kártya



Jellemzők

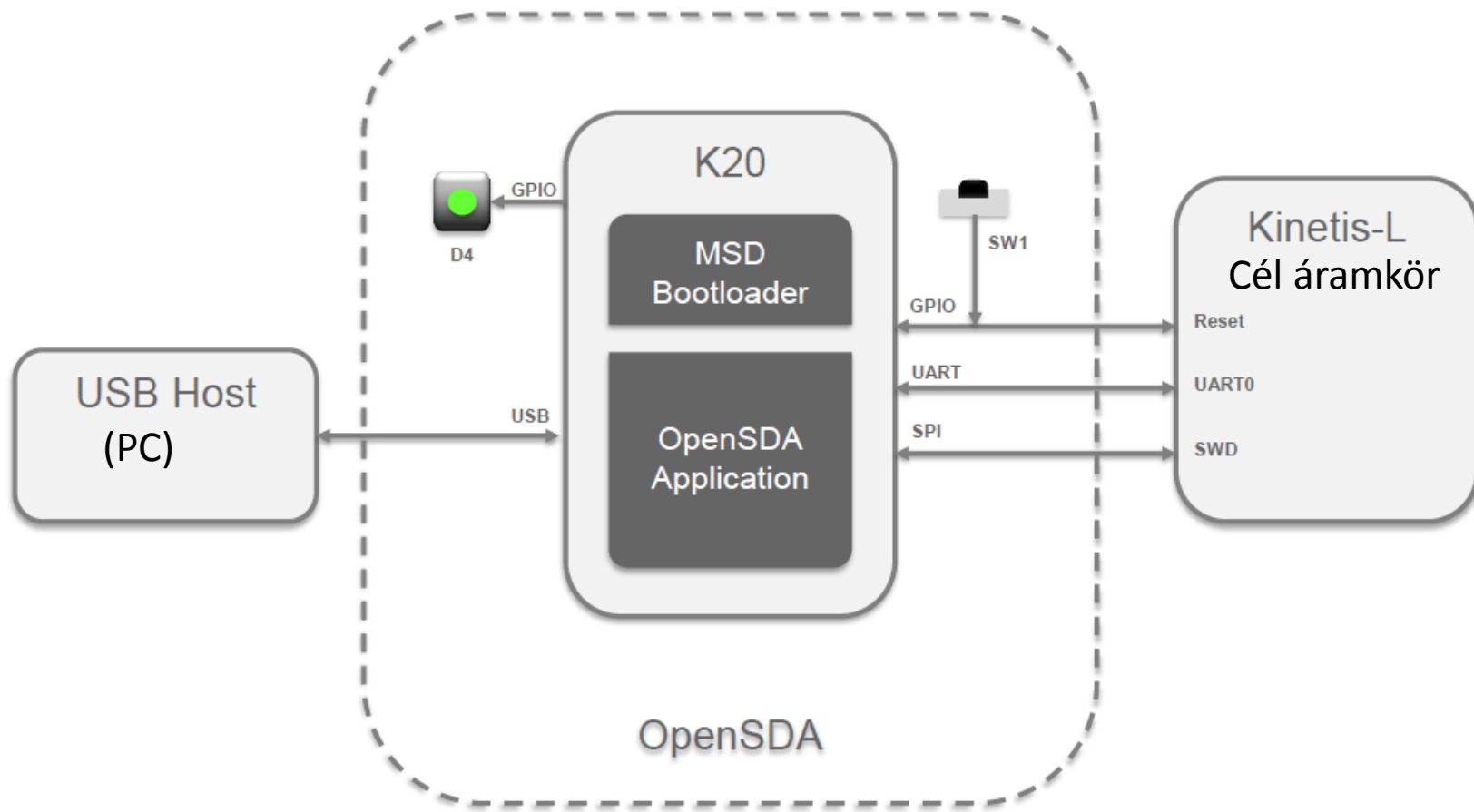
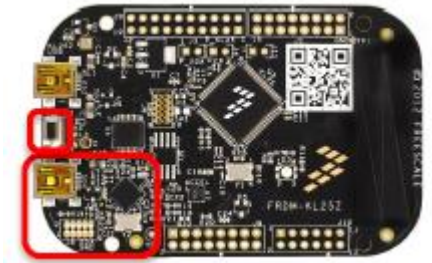
- ❖ **MKL25Z128VLK4** MCU – 48 MHz, 128 KB flash, 16 KB SRAM, USB OTG (FS), 80LQFP
- ❖ Érintésérzékelő csúszka, **MMA8451Q** gyorsulásmérő, RGB LED
- ❖ Könnyű hozzáférés az MCU I/O portokhoz (Arduino kompatibilis csatlakozók)
- ❖ Fejlett OpenSDA hibakereső és nyomkövető
- ❖ Tömegtároló típusú programozás – nem kell telepíteni semmit a demókhöz.
- ❖ Gyárilag P&E Multilink típusú illesztés, amit célszerű mbed firmware-re cserélni.
- ❖ **mbed** fejlesztői környezet is támogatja

A FRDM-KL25Z kártya



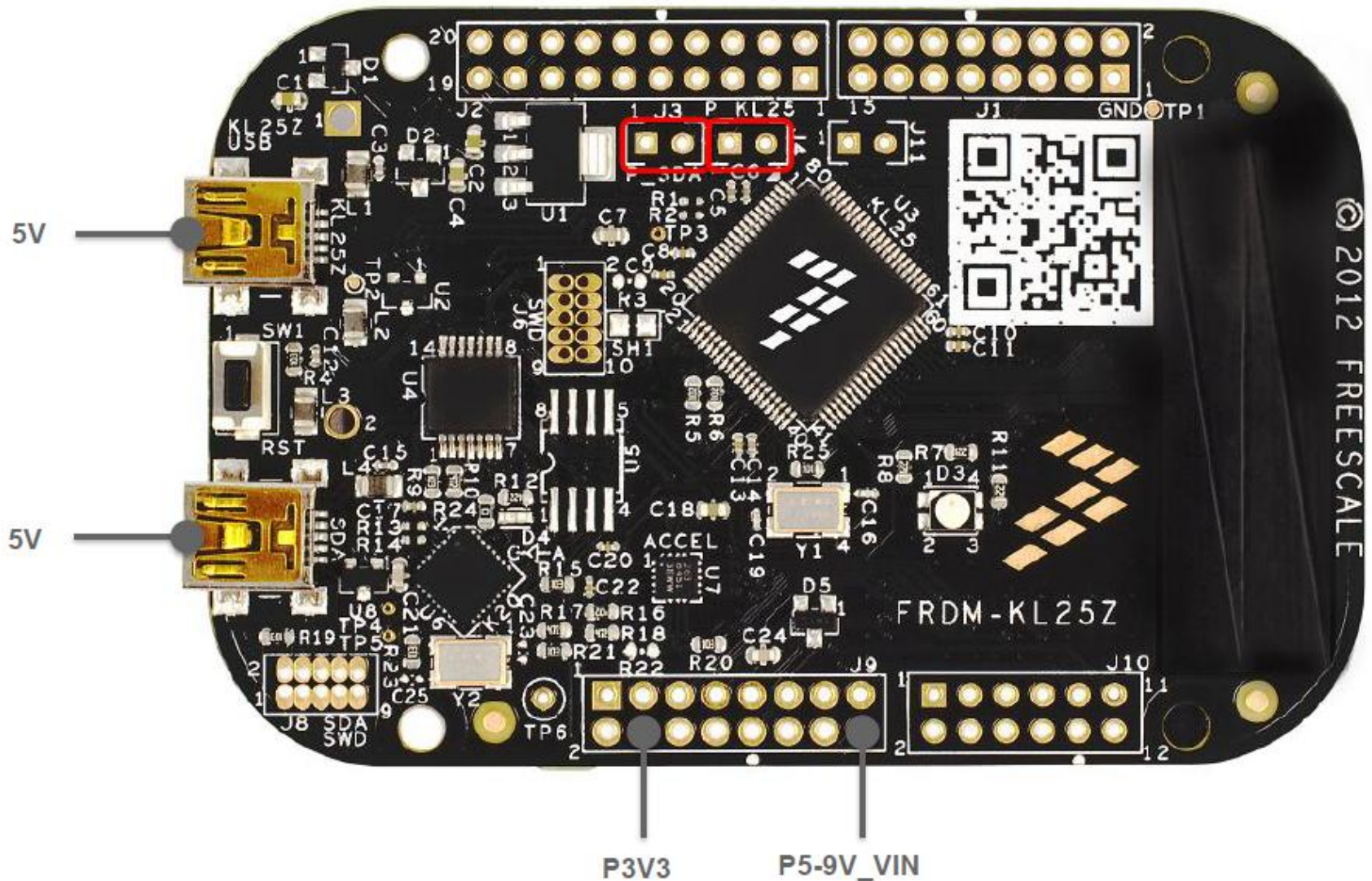
OpenSDA - nyomkövető

- ❖ Hardveres programozó és nyomkövető
- ❖ Soros kommunikáció (USB virtuális soros port)
- ❖ RESET áramkör a target mikrovezérlő újraindításához
- ❖ Beépített bootloader az OpenSDA alkalmazás frissítéséhez



Tápellátási lehetőségek

További lehetőség: elemes táplálás (CR2032) a kártya hátoldalán.



NXP (Freescale) MKL25Z128VLK4

A Kinetis KL25 termékcsaládba tartozó mikrovezérlő az alábbi jellemzőkkel rendelkezik:

Performance

- 48 MHz ARM® Cortex®-M0+ core

Memories and memory interfaces

- Up to 128 KB program flash memory
- Up to 16 KB SRAM

System peripherals

- Nine low-power modes to provide power optimization based on application requirements
- COP Software watchdog
- 4-channel DMA controller, supporting up to 63 request sources
- Low-leakage wakeup unit
- SWD debug interface and Micro Trace Buffer
- Bit Manipulation Engine

Clocks

- 32 kHz to 40 kHz or 3 MHz to 32 MHz crystal oscillator
- Multi-purpose clock source
- 1 kHz LPO clock

Operating Characteristics

- Voltage range: 1.71 to 3.6 V
- Flash write voltage range: 1.71 to 3.6 V
- Temperature range (ambient): -40 to 105°C

Human-machine interface

- Low-power hardware touch sensor interface (TSI)
- Up to 66 general-purpose input/output (GPIO)

Communication interfaces

- USB full-/low-speed On-the-Go controller with on-chip transceiver and 5 V to 3.3 V regulator
- Two 8-bit SPI modules
- One low power UART module
- Two UART modules
- Two I2C module

Analog Modules

- 16-bit SAR ADC
- 12-bit DAC
- Analog comparator (CMP) containing a 6-bit DAC and programmable reference input

Timers

- Six channel Timer/PWM (TPM)
- Two 2-channel Timer/PWM modules
- Periodic interrupt timers
- 16-bit low-power timer (LPTMR)
- Real time clock

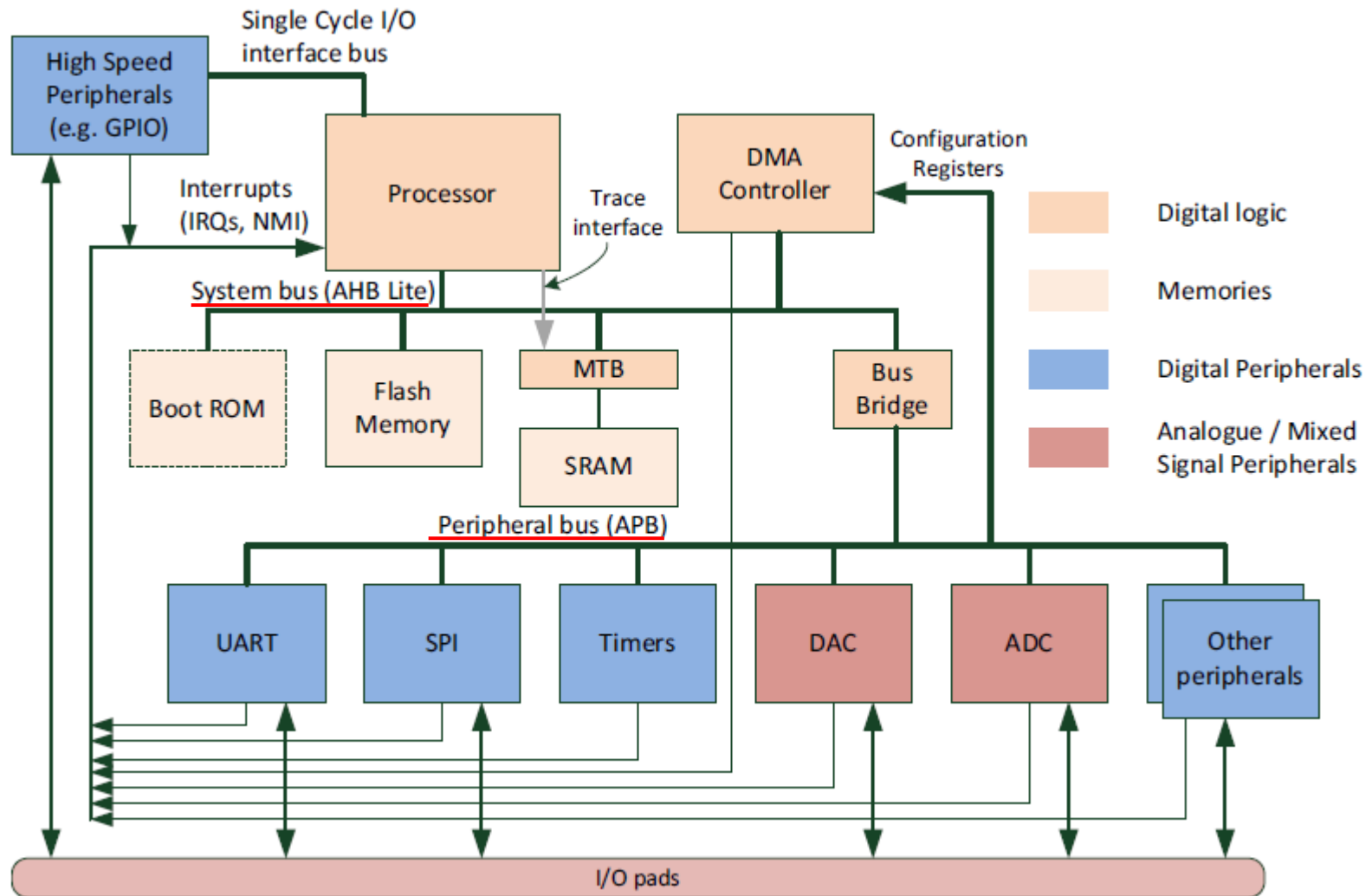
Security and Integrity modules

- 80-bit unique identification number per chip

Tokozás: 80 pin LQFP

Adatlap: [KL25P80M48SF0.pdf](#) Referencia kézikönyv: [KL25 Sub-Family Reference Manual](#)

A mikrovezérlő blokkvázlata



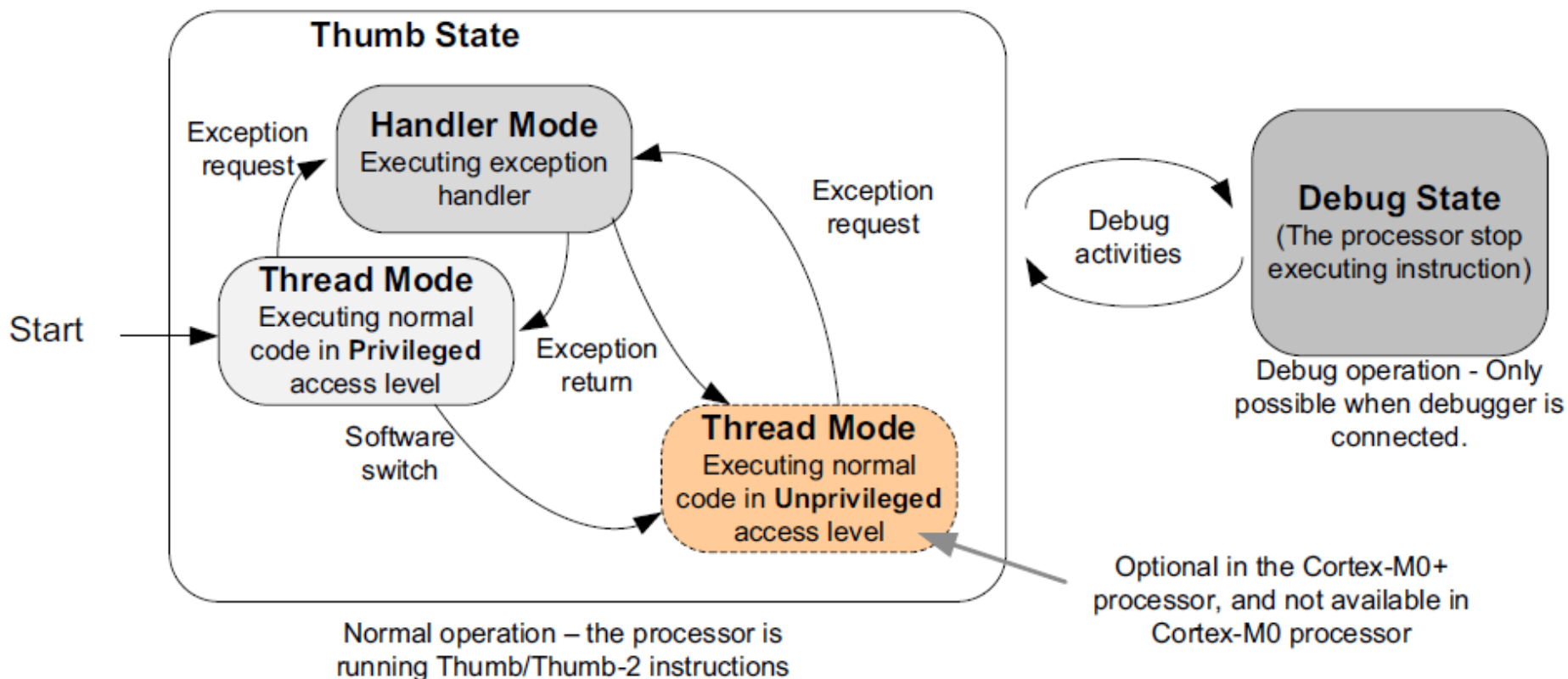
A CPU rendszerbusza a komplex AMBA AHB Lite, ehhez kapcsolódik a periféria busz (APB). A gyors perifériák egy speciális illesztőn keresztül a CPU-hoz csatlakoznak.

Működési módok és állapotok

Két állapot: Kódfuttatás / nyomkövetés

Két működési mód: Kezelői mód (megszakítás kiszolgálás) / Programszál mód

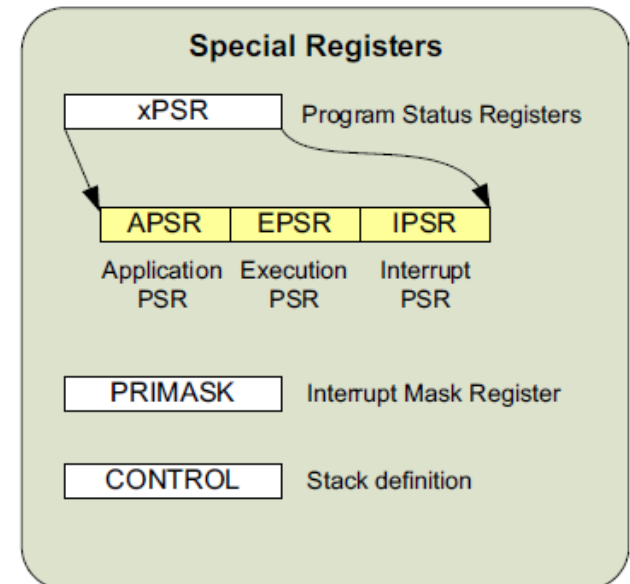
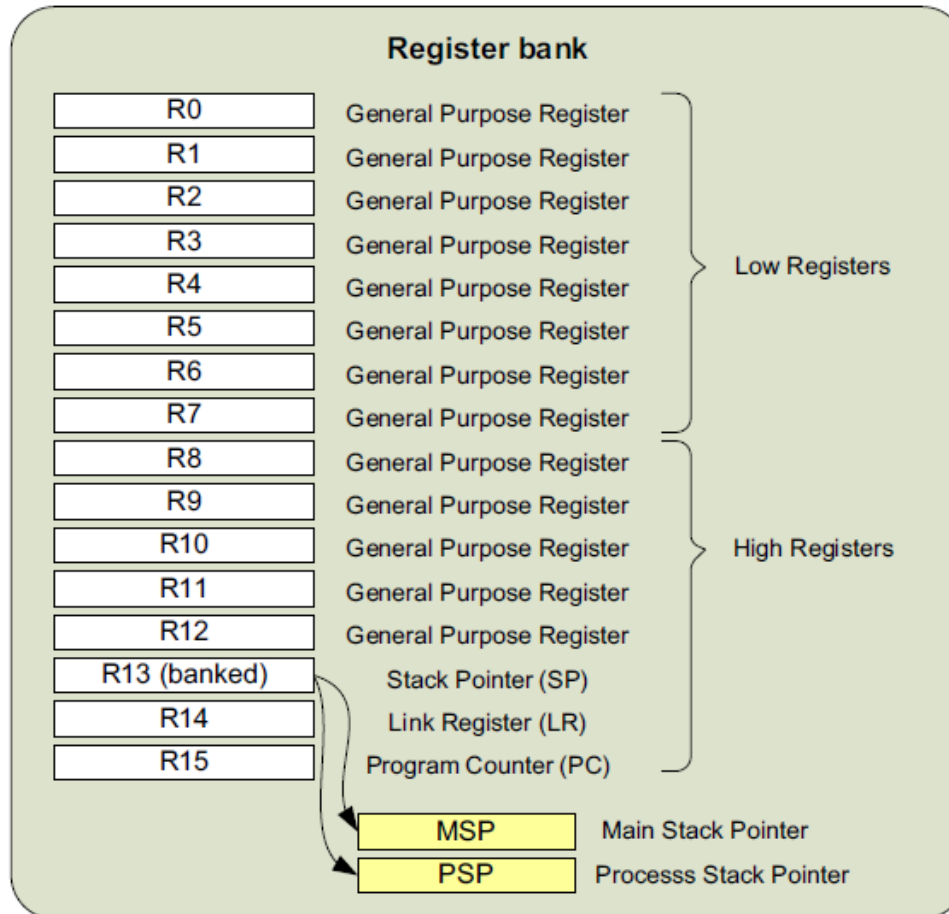
Két privilégium szint: Privilegizált / Nem privilegizált



Általános és speciális regiszterek

R0 – R12: általános célú regiszterek (megszakításkor csak **R0 – R7** kerül elmentésre automatikusan, illetve számos utasítással csak ezek a regiszterek címezhetők közvetlenül).

R13 a veremtár mutatója, **R14** a visszatérési címet tartalmazza, **R15** az utasítás számláló.



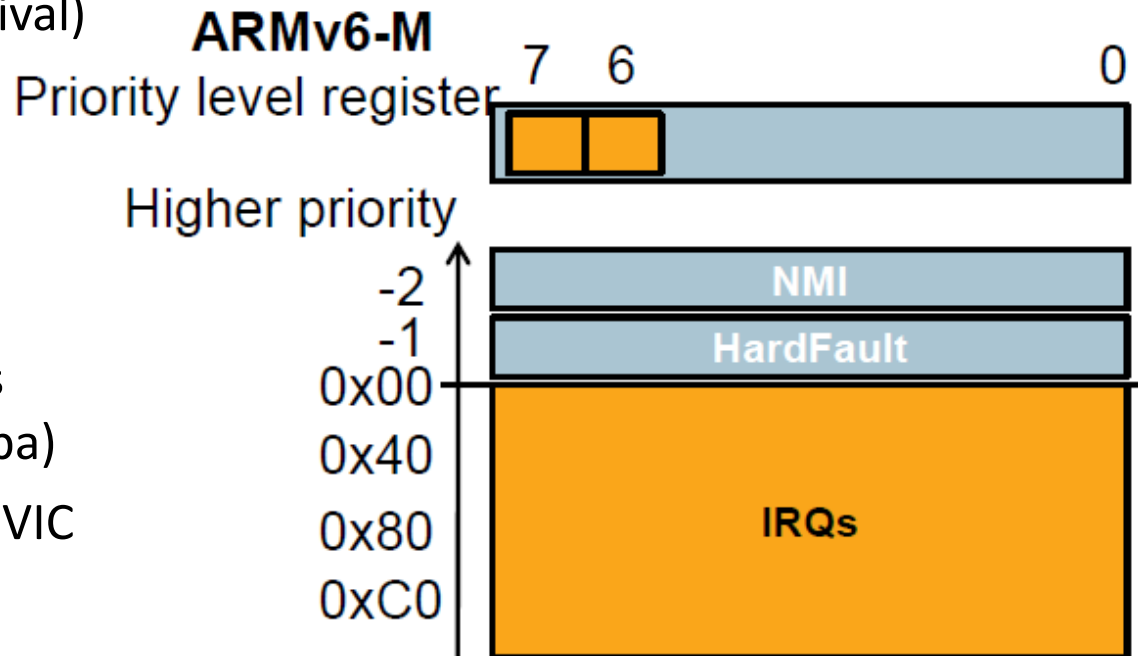
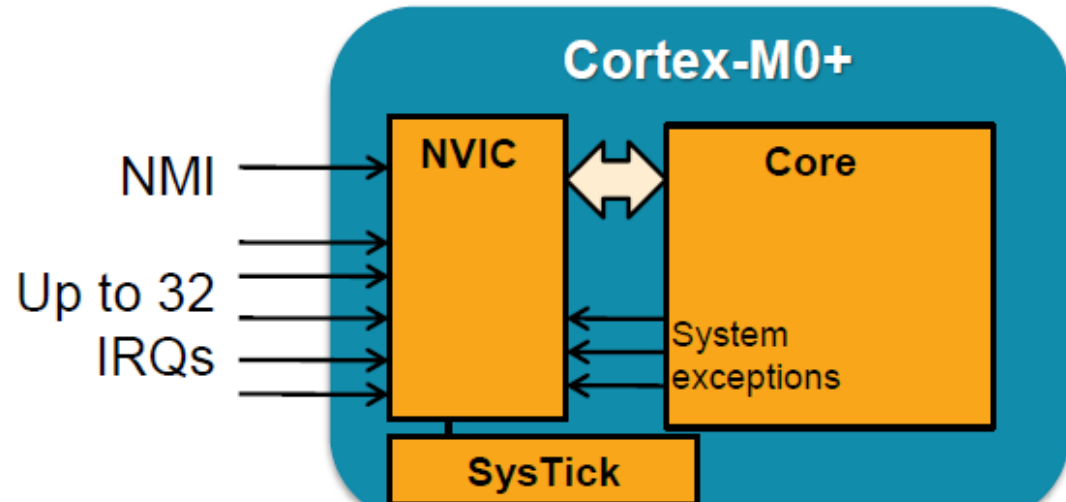
Megszakítási rendszer

☐ Többszintű vektoros megszakításkezelő (NVIC)

- Megszakítás priorizálás
- Megszakítások maszkolása
- Többszintű megszakítás
- Megszakítások láncolása (tail chaining & late arrival)

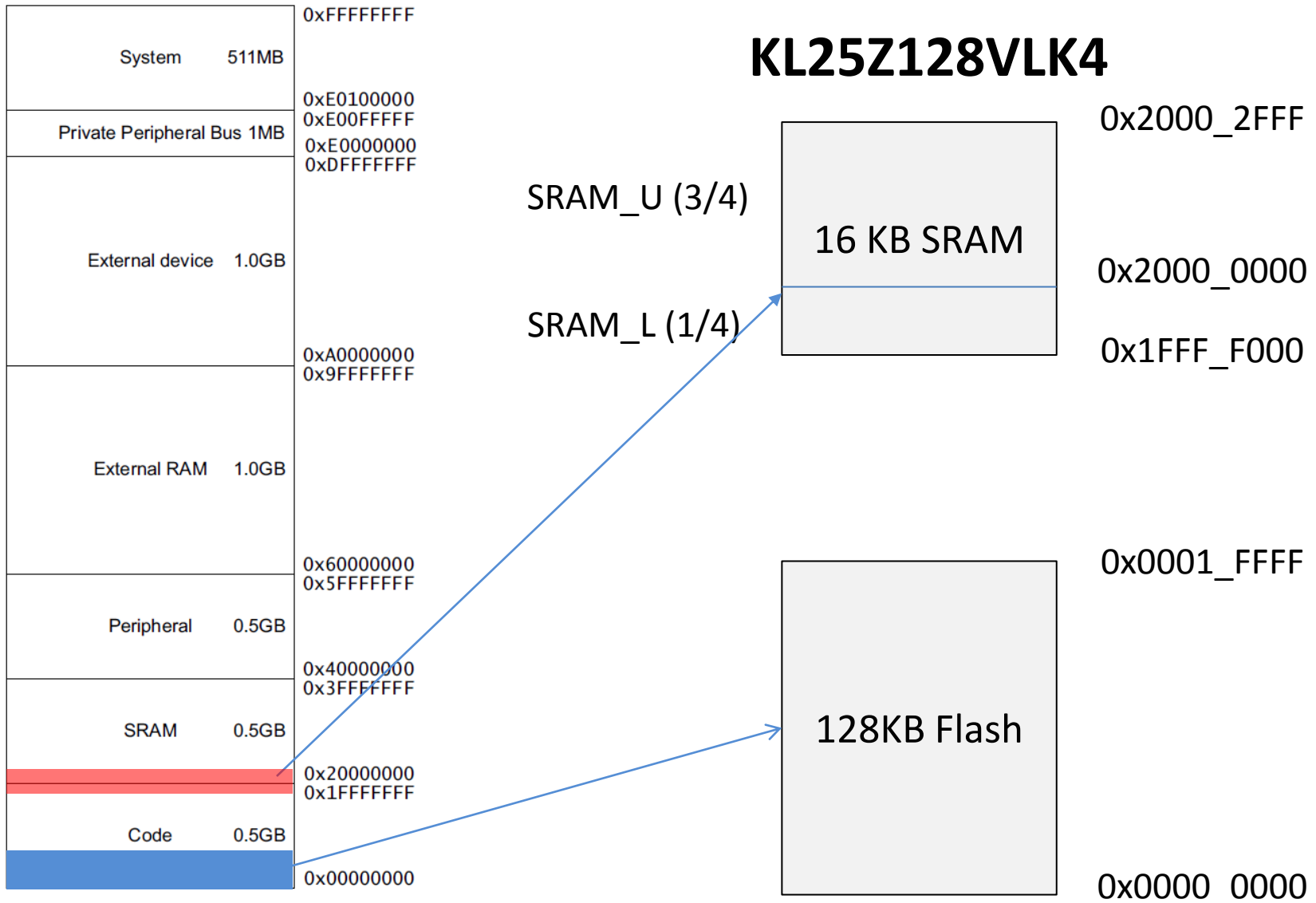
☐ Könnyű használat

- Megszakításkezelő C nyelven írható
- Automatikus hardveres adatmentés (veremtárba)
- CMSIS függvények az NVIC kezelés támogatására



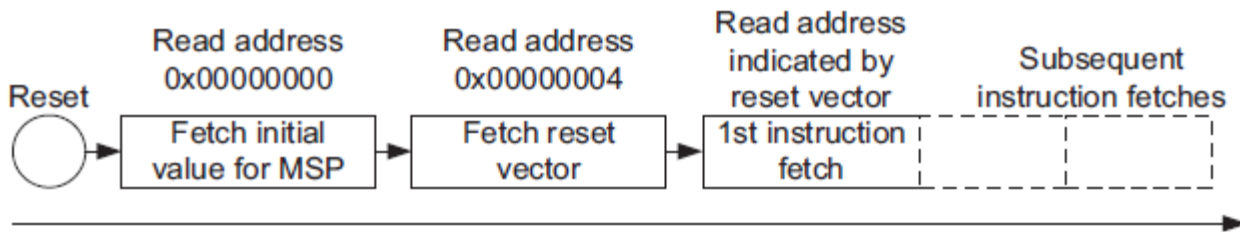
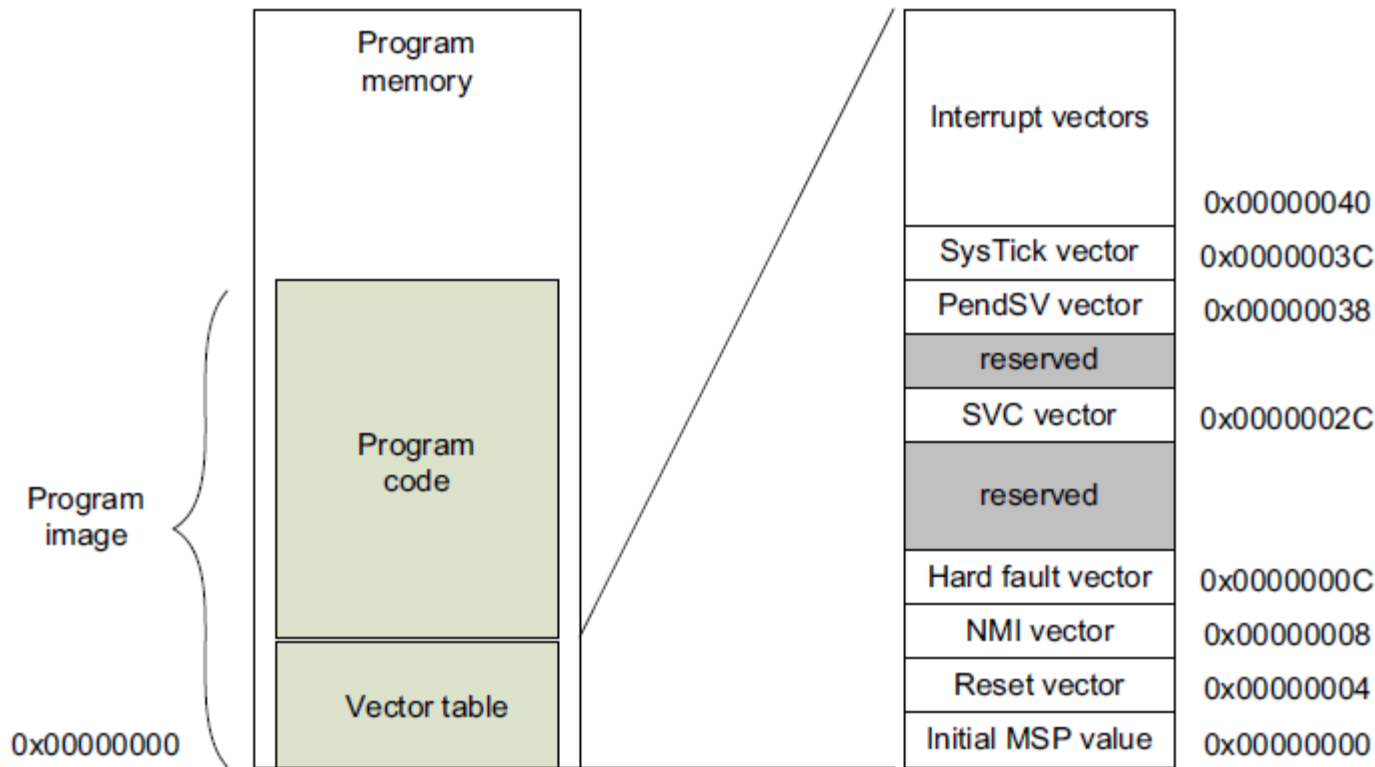
Memória térkép

KL25Z128VLK4



A programindítás folyamata

A vektortábla első két eleme a veremtár és a futtatandó program kezdőcímét tartalmazza. RESET után ezek *automatikusan betöltődnek* a megfelelő regiszterekbe (R13 és R15).





freescale™
FRDM-KL25Z

Additional Peripherals



- PTE24 SCL
- PTE25 SDA
- PTA14 INT1
- PTA15 INT2

freescale
MMA8451Q
Accelerometer

- LED1 PTB18 PWM
- LED2 PTB19 PWM
- LED3 PTD1 PWM

RGB
LED

Capacitive Touch Slider

- PTB16
- PTB17

