

임베디드시스템설계 EMBEDDED SYSTEM DESIGN

CHAPTER 01

ARM Cortex-M 프로세서의 개요



1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계

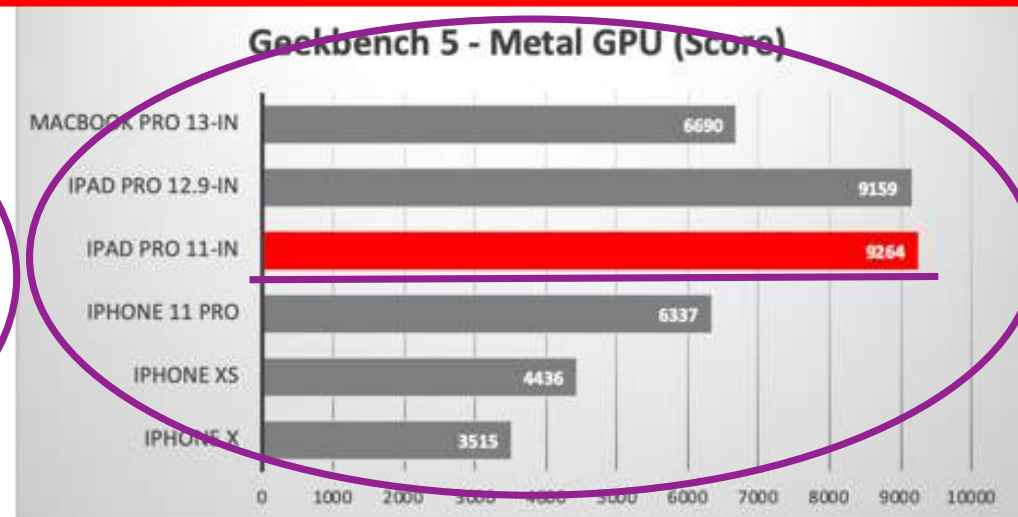
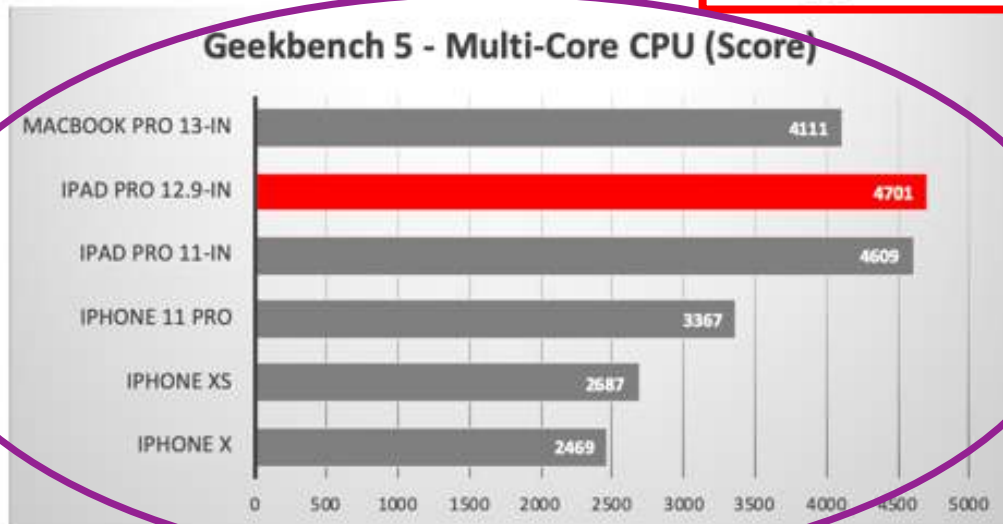
인텔 버리고 ARM 손잡은 '애플'... 모바일 이어 PC 칩 성능↑

현대 ARM은 전 세계에 판매되는 스마트폰의 두뇌 애플리케이션 프로세서(AP) 시장의 90% 이상 장악하고 있다. 애플을 비롯해 퀄컴, 삼성전자, 화웨이 등이 ARM 라이선스를 기반으로 AP를 생산하고 있다. ARM 프로세서는 모바일 용에 최적화돼 연산 성능보다는 저전력·고효율에 강점이 있다는 평가를 받았다. 애플이 PC 제품에 ARM을 적용하지 못한 이유다.

A14

그런데도 애플이 모바일에 이어 PC 제품에 ARM을 채택하기로 한 것은 약점으로 꼽혔던 성능이 개선을 이룬 것이라고 전문가들은 파악하고 있다.

The Apple A12Z Bionic is a 64-bit ARM-based system on a chip (SoC) designed by Apple Inc.



1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계



Kryo 5xx Series [edit]

The Kryo 5xx Series CPUs features semi-custom Prime/Gold and Silver cores derivative of ARM's Cortex-A77 and Cortex-A55 respectively, arranged in configurations with DynamIQ.^[34]

Kryo 585 [edit]

The Kryo 585 CPU was announced with the Snapdragon 865 on 4 December 2019.^[29] Qualcomm claim up to 25% increase in performance and 25% more efficient compared to 855's Kryo 485.^[34]

- 865: 1x Kryo 585 Prime @ 2.84GHz + 3x Kryo 585 Gold @ 2.42GHz + 4x Kryo 585 Silver @ 1.80GHz
- 1x512KB pL2 cache for Prime, 3x256KB pL2 cache for Gold and 4x128KB pL2 cache for Silver
- 4MB sL3 cache and 3MB system level cache
- TSMC 7nm (N7P) Process

Samsung Galaxy Note 20 rumored specs

	Galaxy Note 20	Galaxy Note 20 Plus/Note 20 Ultra
Screen size	6.42 inches (2345 x 1084)	6.87 inches (3096 x 1444)
Screen refresh rate	60Hz or 120Hz	120Hz
CPU	Snapdragon 865 Plus/Exynos 990	Snapdragon 865 Plus/Exynos 990
RAM	8GB	12GB
Storage	128GB	256 or 512GB

Qualcomm® Snapdragon™

865 5G Mobile Platform

SPECIFICATIONS & FEATURES

Artificial Intelligence

- Adreno 650 GPU
- Kryo 585 CPU
- Hexagon 698 Processor
 - Hexagon Tensor Accelerator
 - Hexagon Vector Extensions
 - Hexagon Scalar Accelerator
- Qualcomm Sensing Hub

- Bluetooth features: 1-to-many Bluetooth broadcast, up to 18dB link margin improvement
- Bluetooth audio: Qualcomm® aptX™ Voice audio for super wide band voice calls, Qualcomm® aptX Adaptive audio for robust, low latency, high quality audio, Qualcomm TrueWireless™ Technology
- Qualcomm® 60 GHz Wi-Fi
 - Wi-Fi Standards: 802.11ad, 802.11ay
 - Wi-Fi Spectral Band: 60 GHz
 - Dual channel 10 Gbps

CPU

- Kryo 585, Octa-core CPU
- Up to 2.84 GHz
- 64-bit Architecture

Visual Subsystem

- Adreno 650 GPU
- Vulkan® II API support



1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계



arm	사용시간
arm	발열
arm	무게
arm	크기

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계

Samsung's new Galaxy Book S is a Qualcomm-powered laptop with 23 hours of battery life

With a 13-inch screen and LTE connectivity

By Chaim Gartenberg | @gartenberg | Aug 7, 2018, 4:58pm EDT

f t SHARE



Display: 13.3" FHD TFT (16:9) Touch: 10-point multi-touch screen

Dimensions: 305.2 x 203.2 x 6.2-11.8 mm, 0.96 kg

Processor: Qualcomm Snapdragon 8cx, 7nm 64-bit Octa-core processor (Max. 2.84 GHz + 1.8GHz)

RAM: Memory 8GB RAM (LPDDR4X),

Storage: 256 / 512GB+ microSD slot (up to 1TB)

Camera: 720p HD

Battery: 42Wh, up to 23 hours video playback

Other features: Gigabit LTE, Bluetooth 5.0, fingerprint sensor, Dolby Atmos

Hello support

크기 287mm x 208mm x 7.3mm(11.3" x 8.2" x 0.28")

- 디스플레이
- 화면: 13" PixelSense™ 디스플레이
 - 해상도: 2880x1920(267PPI)
 - 가로 세로 비율: 3:2
 - 터치: 10포인트 멀티 터치

메모리 8GB 또는 16GB LPDDR4x RAM

프로세서⁶ Microsoft® SQ1™

기업 고객용 Surface Pro X

매끄러운 디자인과 최고의 이동성에 결합된 역대 가장 얇은
투입원 제품



Powerful processor

First 3GHz ARM processor on PC with 2 teraflops of graphics processing power.

저장 용량⁴ 발착식⁵ SSD(반도체 드라이브) 용량: 128, 256 또는 512GB

배터리 사용 시간³ 최대 13시간 동안 일반적인 장치 사용 가능

그래픽 Microsoft® SQ1™ Adreno™ 685 GPU

- 연결
- USB-C® 2개
 - Surface Connect 포트 1개
 - Surface 키보드 포트
 - 1 x 내장 SIM
 - Surface Dial® 오프 스크린 인터랙션 호환

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계

- ARM 프로세서는 영국의 ARM사에서 개발한 RISC(Reduced Instruction Set Computer) 아키텍처를 가지는 32비트 또는 64비트의 프로세서군을 의미
- ARM 프로세서들은 마이크로 프로세서들이고 휴대폰에 주로 사용됨
- 전세계에서 사용되는 약 98%의 휴대폰에 ARM 프로세서가 사용되고 있음
- 또한, 디지털 미디어와 음악, 휴대용 게임기, 계산기, 컴퓨터 하드 드라이버들에도 사용됨



휴대폰에 사용되는 ARM 프로세서의 예

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계

- ARM 프로세서를 기반으로 한 첫번째 컴퓨터 Acorn Archimedes가 1987년에 개발됨
- 1992년에 ARM6 기술을 사용하여 개발된 애플 컴퓨터가 1980년대 후반의 ARM 기술을 발전시키는데 큰 영향을 미침
- Acorn이 1994년에 개발한 Risc PC에 ARM6 기반의 ARM 610 프로세서를 사용함
- 오늘날 ARM 기술은 애플, Cirrus Loginc, 인텔, LG, Microsoft, Nvidia, Sony, Samsung 등 많은 기업들에서 사용되고 있음

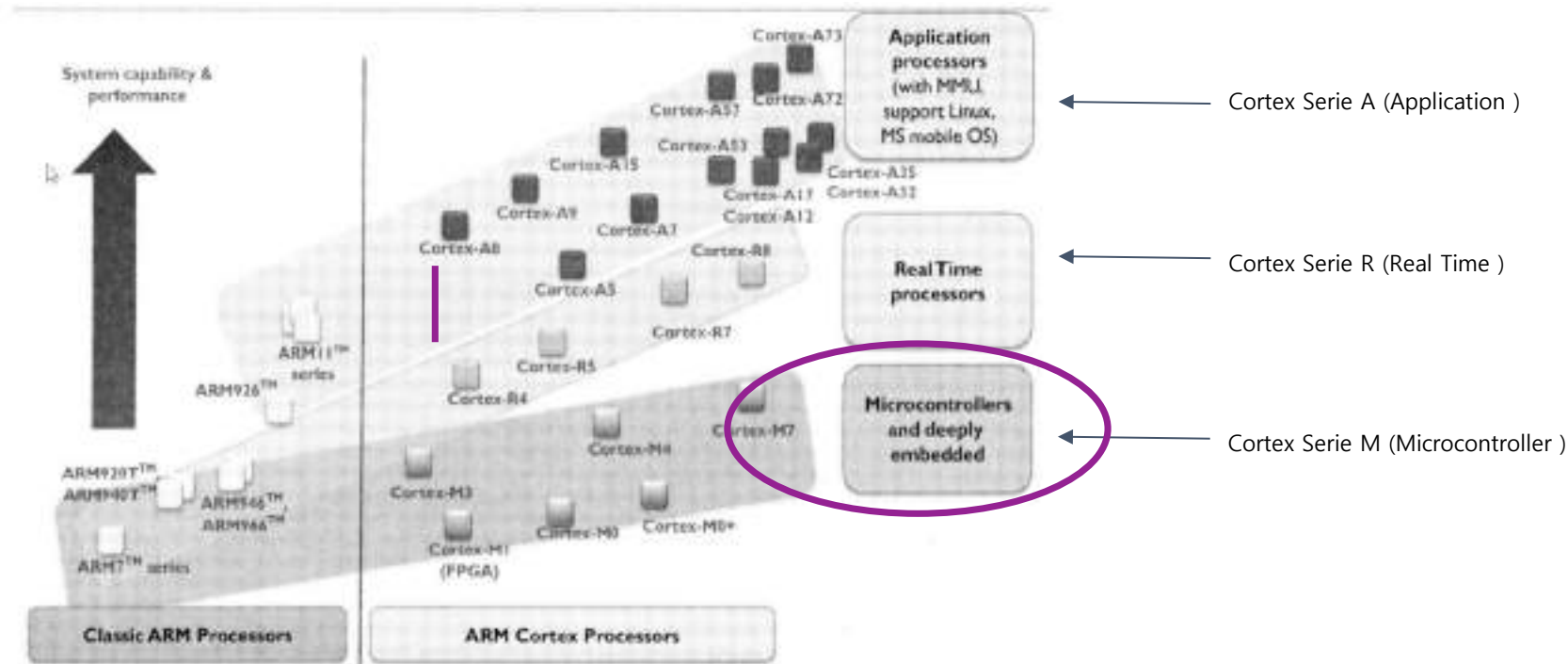


Acorn Archimedes

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

ARM 프로세서의 발전 단계

- ARM 1부터 ARM 17까지는 모두 32비트 프로세서임
- 기술이 발전되면서 A53과 A57, A72는 64비트 아키텍처를 갖고 있음



ARM 프로세서의 주요 발전 단계

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-A 시리즈 : Application용

- ARM Cortex-A는 ARMv7-A(32비트), 또는 ARMv8-A(32/64비트) 아키텍처를 가지며 ARM 명령어와 Thumb/Thumb-2 명령어를 사용함
- 이 시리즈는 복잡한 운영 환경과 고성능이 요구되는 유저 어플리케이션의 구현에 적합함
- 스마트폰, 태블릿 PC와 같은 모바일 기기에 많이 사용됨
- 32비트의 ARMv7-A 아키텍처를 가지는 Cortex-A 시리즈에는 Cortex-A5 그리고 Cortex-A7, Cortex-A8, Cortex-A9, Cortex-A12, Cortex-A15, Cortex-A17 프로세서 등이 있음
- 2012년에 64비트의 ARMv8-A 아키텍처를 가지는 Cortex-A 시리즈도 출시되었는데 Cortex-A32 그리고 Cortex-A35, Cortex-A53, Cortex-A57, Cortex-A72 등이 이에 해당됨

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-B 시리즈 : Real-time용

- Cortex-R 시리즈는 ARMv7-R 또는 ARMv8-R 아키텍처를 가지며 Thumb/Thumb-2 명령어를 사용함
- 고성능의 임베디드 제품에서 실시간으로 복잡한 알고리즘 제어가 필요한 경우에 적합함
- Cortex-R 시리즈에는 Cortex-R4, Cortex-R5, Cortex-R7, Cortex-R8, Cortex-R52 프로세서 등이 있음

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

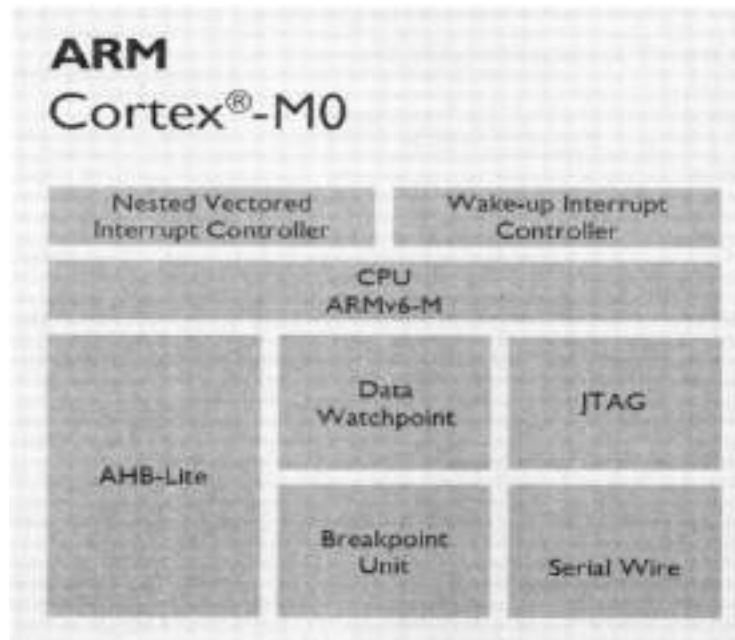
Cortex-M 시리즈 : Microcontroller용

- Cortex-M 시리즈는 ARMv6-M, ARMv7-M, ARMv8-M 아키텍처를 가지며 Thumb/Thumb-2 명령어를 사용함
- 이 시리즈는 마이크로컨트롤러에 적용하는 것을 목표로 개발된 프로세서이므로 다른 시리즈의 프로세서보다 구조가 간단하고 동작 속도가 느리며 가격이 저렴함
- 그러나 기존의 8비트, 16비트의 마이크로컨트롤러보다 훨씬 성능이 뛰어나며 동작 속도도 빠르므로, 각종 산업 분야에서 제어용으로 사용되는 마이크로컨트롤러용으로 적합함
- Cortex-M 시리즈에는 Cortex-M0, Cortex-M0+, Cortex-M1, Cortex-M3, Cortex-M4, Cortex-M7, Cortex-M23, Cortex-M33 프로세서등이 있음

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M0
 - 소형 임베디드 시스템용 프로세서
 - 게이트(gate) 수가 12K 부터 시작하는 아주 작은 프로세서
 - 저렴하고 저전력

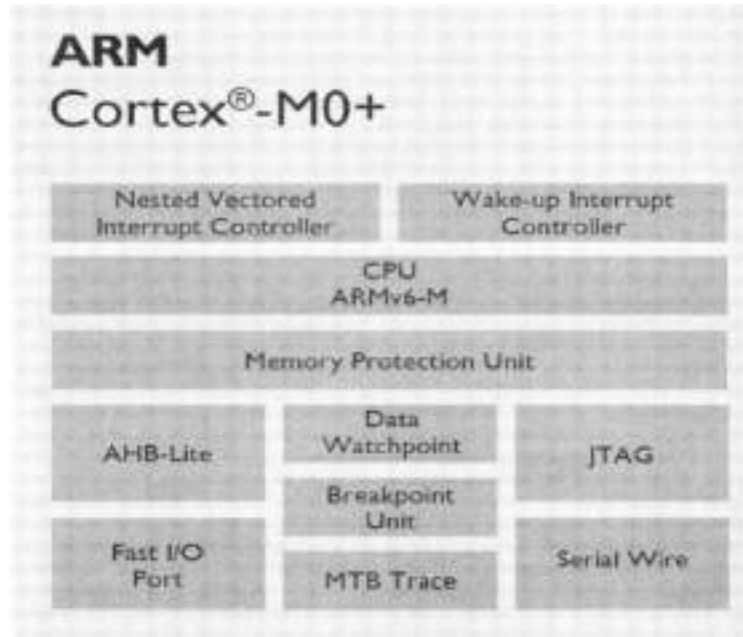


Cortex-M0의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M0+
 - 소형 임베디드 시스템용 프로세서
 - 소비전력이 가장 작은 프로세서
 - Cortex-M0와 비슷하나 추가적인 기능(single cycle I/O와 vector table relocations)을 추가함

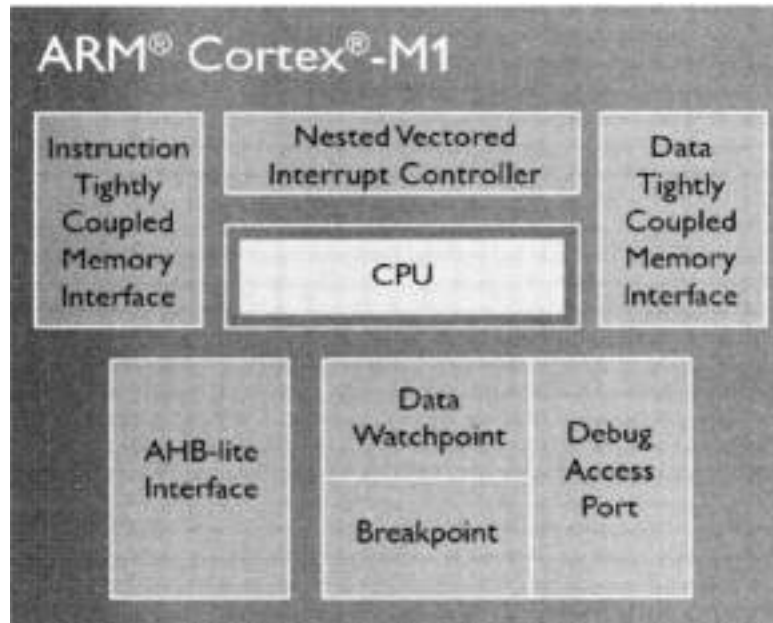


Cortex-M0+의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M1
 - FPGA 설계에 적합한 작은 프로세서
 - FPGA의 메모리 블록을 사용하여 Tightly Coupled Memory(TCM) 수행을 제공
 - Cortex-M0와 같은 명령어 셋을 가짐

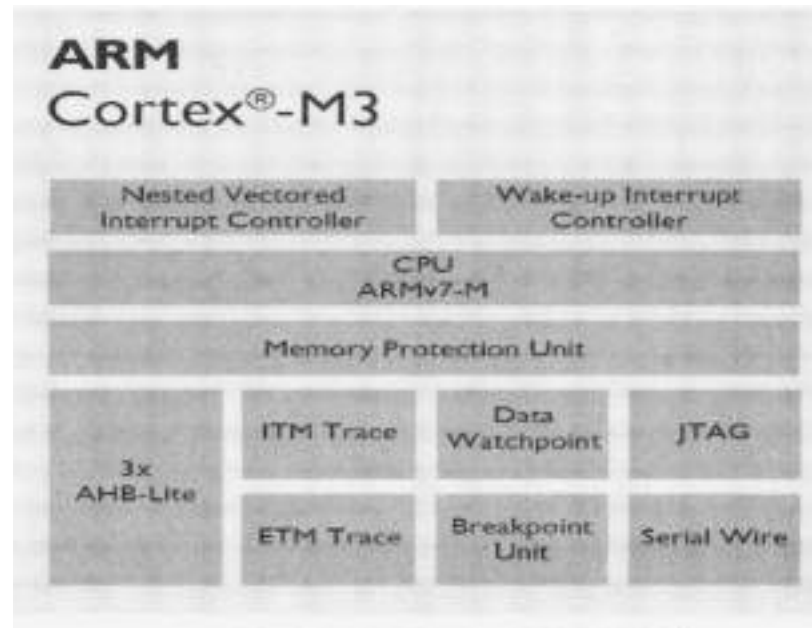


Cortex-M1의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M3
 - Cortex-M 프로세서의 기본적인 모델
 - Hardware driver와 Multiply-Accumulate(MAC)을 가지고 있음
 - Debug와 trace 기능으로 인해 소프트웨어 개발자가 어플리케이션 개발을 용이하게 할 수 있음

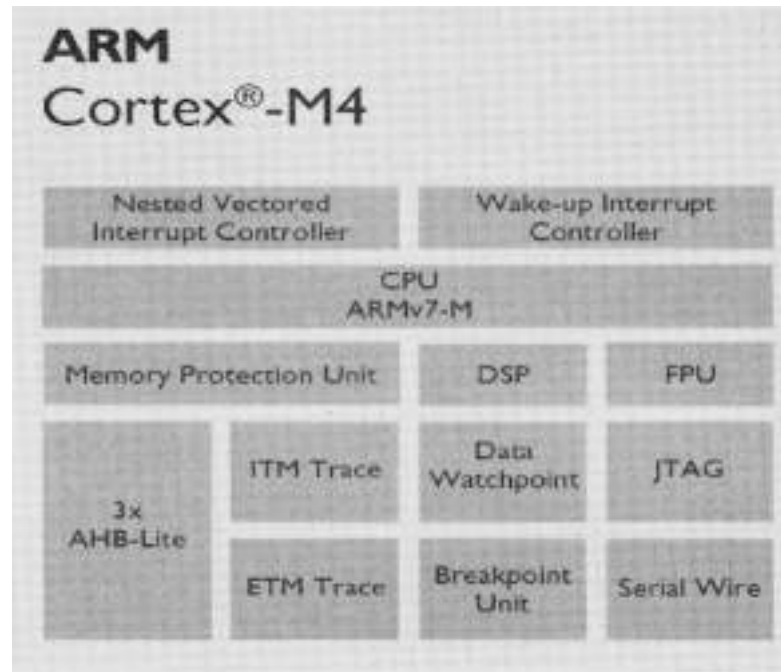


Cortex-M3의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M4
 - Cortex-M3의 모든 기능을 제공하며 추가적으로 Digital Signal Processing(DSP) 명령어를 지원함
 - 옵션 요소인 Floating Point Unit(FPU)을 가지고 있음

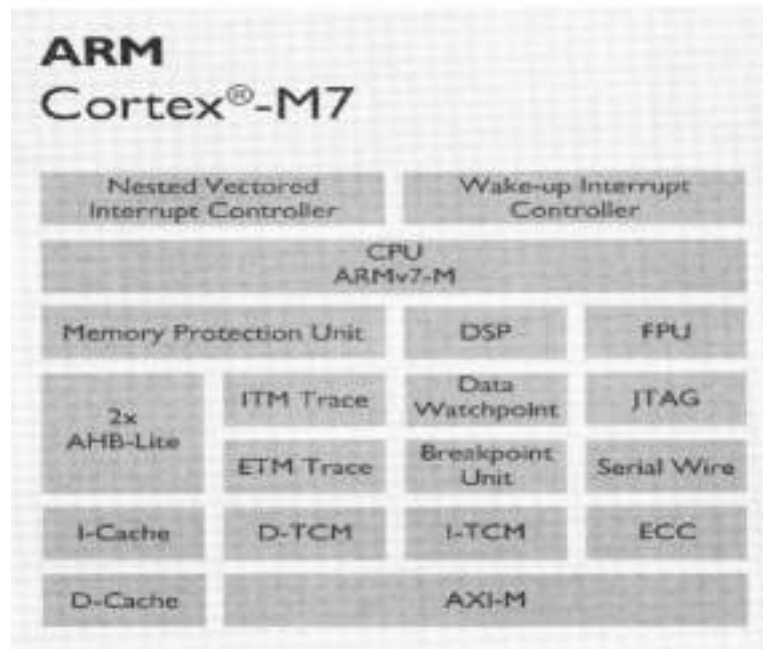


Cortex-M4의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 시리즈 프로세서의 종류

- Cortex-M7
 - 고급(high-end) 마이크로컨트롤러와 processing 어플리케이션에 적합한 고성능 프로세서
 - Cortex-M4에서 가능한 ISA 기능을 모두 가지고 있음
 - 두 배 정도의 FPU와 캐시 메모리, Tightly Coupled Memory(TCM)를 가지고 있음



Cortex-M7의 구성

1.1 ARM Cortex-M 기반의 마이크로컨트롤러

Cortex-M 프로세서의 비교

항목	M3	M4	M7
동작 속도 (DMIPS/MHz)	1,25	1,25	2,14
CoreMark/MHz	3,32	3,40	5,04
명령어/데이터 버스	32	32	64
pipe line	3	3	6
DSP	없음	지원	지원
FPU	없음	옵션(Single precision)	옵션(Single/ Double precision)
MPU	0~8	0~8	0~16
Bit banding	지원	지원	없음
M7에만 있는 항목	-	-	Cache, TCM ECC, AXI-M
40nm Area(m ² m)	0,03	0,04	n/a

Cortex-M3, Cortex-M4와 Cortex-M7의 주요 차이점

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Cortex-M3 프로세서의 특징

- ARMv7-M 아키텍처의 Cortex-M3 프로세서 코어를 내장
- 1.25 DMIPS/MHz의 처리속도
- 3-스테이지(stage) 파이프라인을 가짐
- 16비트 명령어와 32비트 명령어가 혼합된 Thumb-2 명령어 셋을 사용
- 명령 버스와 데이터 버스가 분리되어 있는 하버드(Harvard) 구조를 가짐
- 빠른 인터럽트 처리 : 항상 12사이클에 처리되며, 테일-체이닝 방식을 사용할 경우는 6사이클에 처리도 가능함
- 메모리 보호 유닛(MPU)을 이용한 메모리 보호 기능이 가능
- 플래시 메모리 사용이 1사이클에 가능

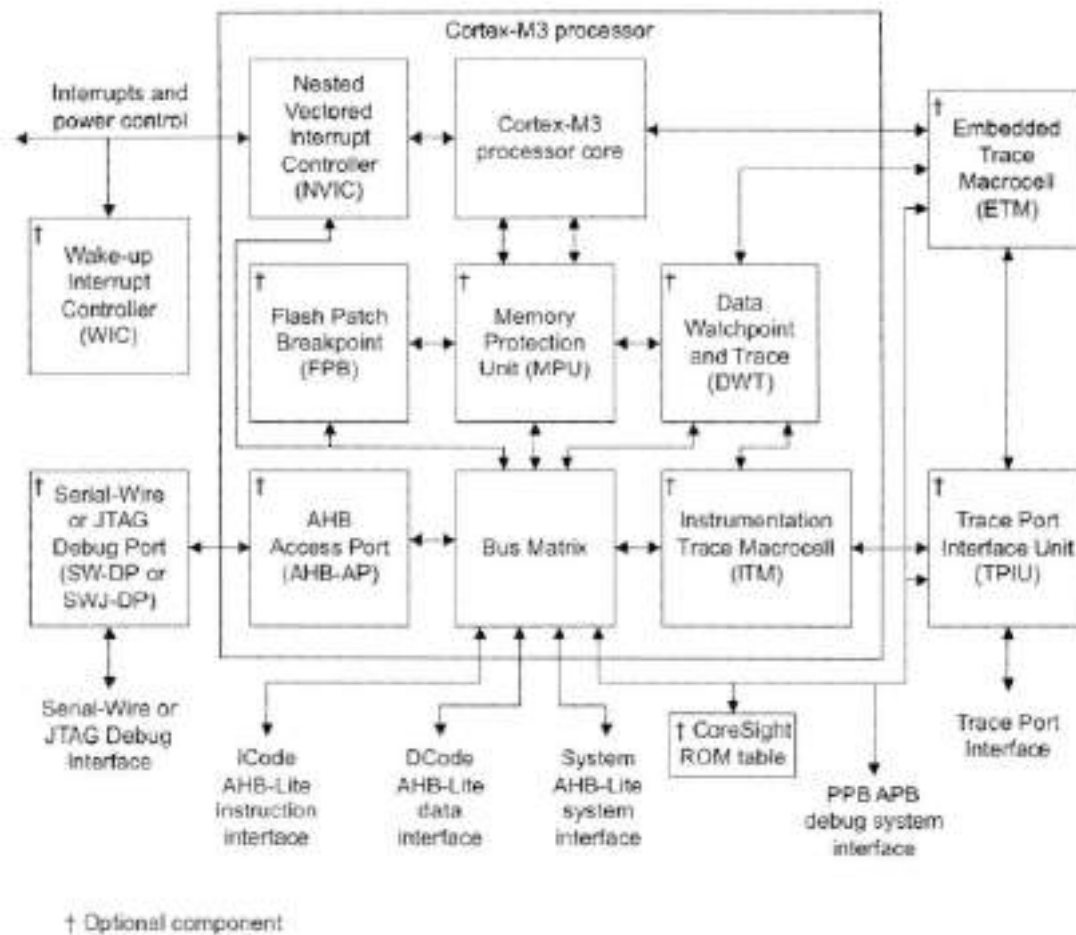
1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Cortex-M3 프로세서의 특징

- 곱셈 연산이 1사이클에 가능하며 나눗셈 연산은 하드웨어적으로 처리
- 전력 소모 절감을 위한 각종 슬립 모드 지원
- 효율적인 프로그램 개발을 위한 디버거 지원
- 리셋, 인터럽트 등을 포함한 모든 프로그램이 C 언어로 가능하도록 설계됨
- 칩 제조시 옵션으로 추가가 가능한 항목
 - MPU(Memory Protection Unit) : 0 또는 8개 영역

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Cortex-M3 프로세서의 구성



Cortex-M3 프로세서의 구성도

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Cortex-M3 프로세서의 구성

- NVIC(Nested Vector Interrupt Controller) : 인터럽트 제어를 담당함
- Cortex-M3 Core : Cortex-M3 프로세서의 코어
ALU(arithmetic Logic Unit), 레지스터 등으로 구성됨
- FPB(Flash Patch and Breakpoint) : 디버깅을 위한 장치
- MPU(Memory Protection Unit) : 메모리 보호 유닛
- DWT(Data Watchpoint and Trace) : 디버깅을 위한 장치
- AHB Access Port(AHB-AP) : 디버깅을 위한 장치
- Bus Matrix : 프로세서 내부의 버스 연결을 위한 장치
- ITM(Instrumentation Trace Macrocell) : 디버깅을 위한 장치

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Cortex-M3 프로세서의 구성

- WIC(Wake-up Interrupt Controller) : 웨이크 업 인터럽트의 처리를 위한 장치
- Serial-Wire or JTAG Debug Port(SW-DP or SWJ-DP) : 디버깅을 위한 장치
- CoreSight ROM table : Core 구동을 위한 데이터가 들어있는 ROM
- TPIU(Trace Port Interface Unit) : 디버깅 을 위한 장치
- ETM(Embedded Trace Macrocell) : 디버깅을 위한 장치
- Interrupts and power control : 인터럽트, 파워 제어용
- Serial-Wire or JTAG Debug Interface : 디버깅용
- DCode AHB-Lite data interface : D-code 버스(Data Code용 AHB-Lite 버스)

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

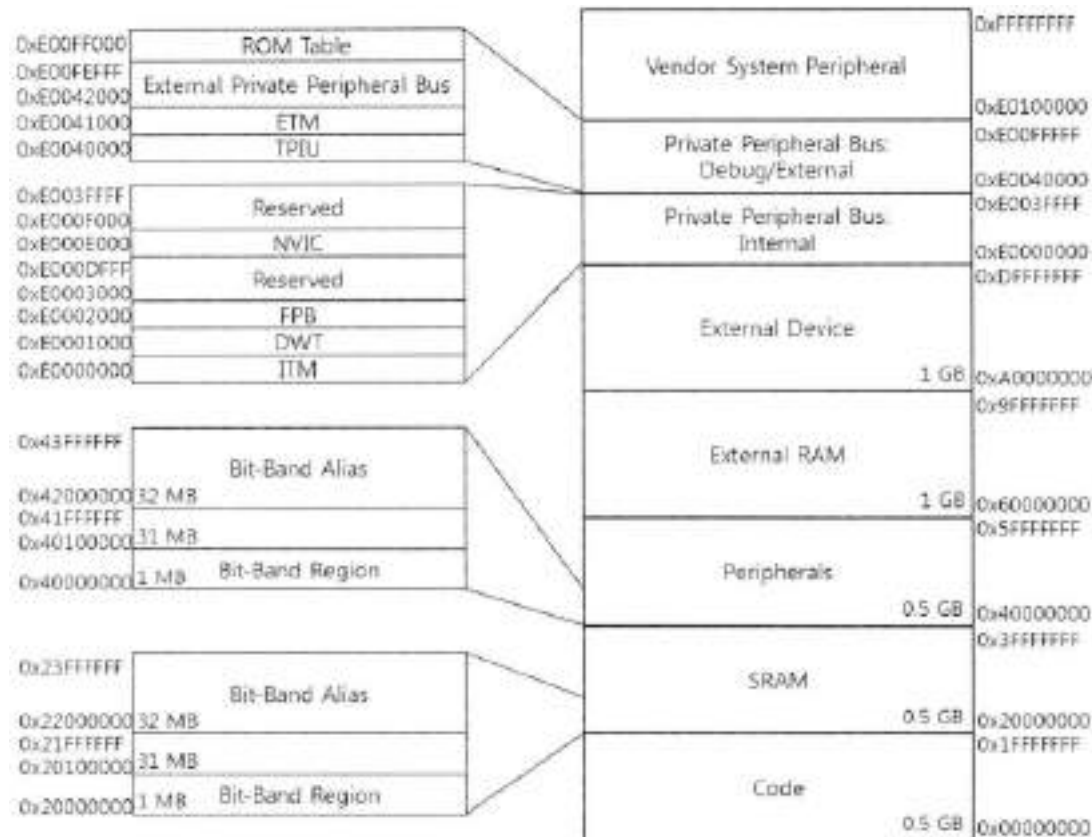
Cortex-M3 프로세서의 구성

- Serial-Wire or JTAG Debug Port(SW-DP or SWJ-DP) : 디버깅을 위한 장치
- CoreSight ROM table : Core 구동을 위한 데이터가 들어있는 ROM
- TPIU(Trace Port Interface Unit) : 디버깅 을 위한 장치
- ETM(Embedded Trace Macrocell) : 디버깅을 위한 장치
- Interrupts and power control : 인터럽트, 파워 제어용
- Serial-Wire or JTAG Debug Interface : 디버깅용
- DCode AHB-Lite data interface : D-code 버스(Data Code용 AHB-Lite 버스)
- System AHB- Lite system interface : System용 AHB-Lite 버스
- PPB APB debug system interface : 디버깅용
- Trace Port interface : 디버깅용

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

메모리 맵(Memory map)

- Cortex-M3과 Cortex-M4의 메모리 맵에 대한 설명은 동일함
- Cortex-M3/M4 프로세서는 코드, SRAM, 주변장치, 외부 메모리 등을 위한 영역이 4GB 메모리 영역에 미리 정의되어진 고정형 메모리 맵을 가짐



Cortex-M3/M4 프로세서의 메모리 맵

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

메모리 맵(Memory map)

- 메모리 맵은 크게 다음과 같이 구성되며, 각 영역의 주소, 크기 등은 <표 1-2-3>에 보다 자세히 나와있음
 - 코드(Code) 영역
 - SRAM 영역
 - 주변장치(Peripherals) 영역
 - 외부 RAM(External RAM) 영역
 - 외부 디바이스(External Device) 영역
 - PPB(Private Peripheral Bus) 영역 및 제조사 시스템 주변장치 (Vendor system peripheral)

▼ 표 1-2-3 Cortex-M3 프로세서의 메모리 맵의 구성

영역	크기	주소	비고
Code	0.5GB	0x0000,0000 ~ 0x1FFF,FFFF	프로그램 코드용
SRAM	0.5GB	0x2000,0000 ~ 0x3FFF,FFFF	내부 SRAM용
주변장치	0.5GB	0x4000,0000 ~ 0x5FFF,FFFF	주변장치용
외부 RAM	1GB	0x6000,0000 ~ 0x9FFF,FFFF	외부 RAM 연결용
외부 디바이스	1GB	0xA000,0000 ~ 0xDFFF,FFFF	외부 디바이스용
PPB(내부, 외부)	0.5GB	0xE000,0000 ~ 0xE00F,FFFF	내부/외부의 PPB
제조사 시스템 주변장치		0xE010,0000 ~ 0xFFFF,FFFF	제조사에서 구성
합계	4GB	0x0000,0000 ~ 0xFFFF,FFFF	

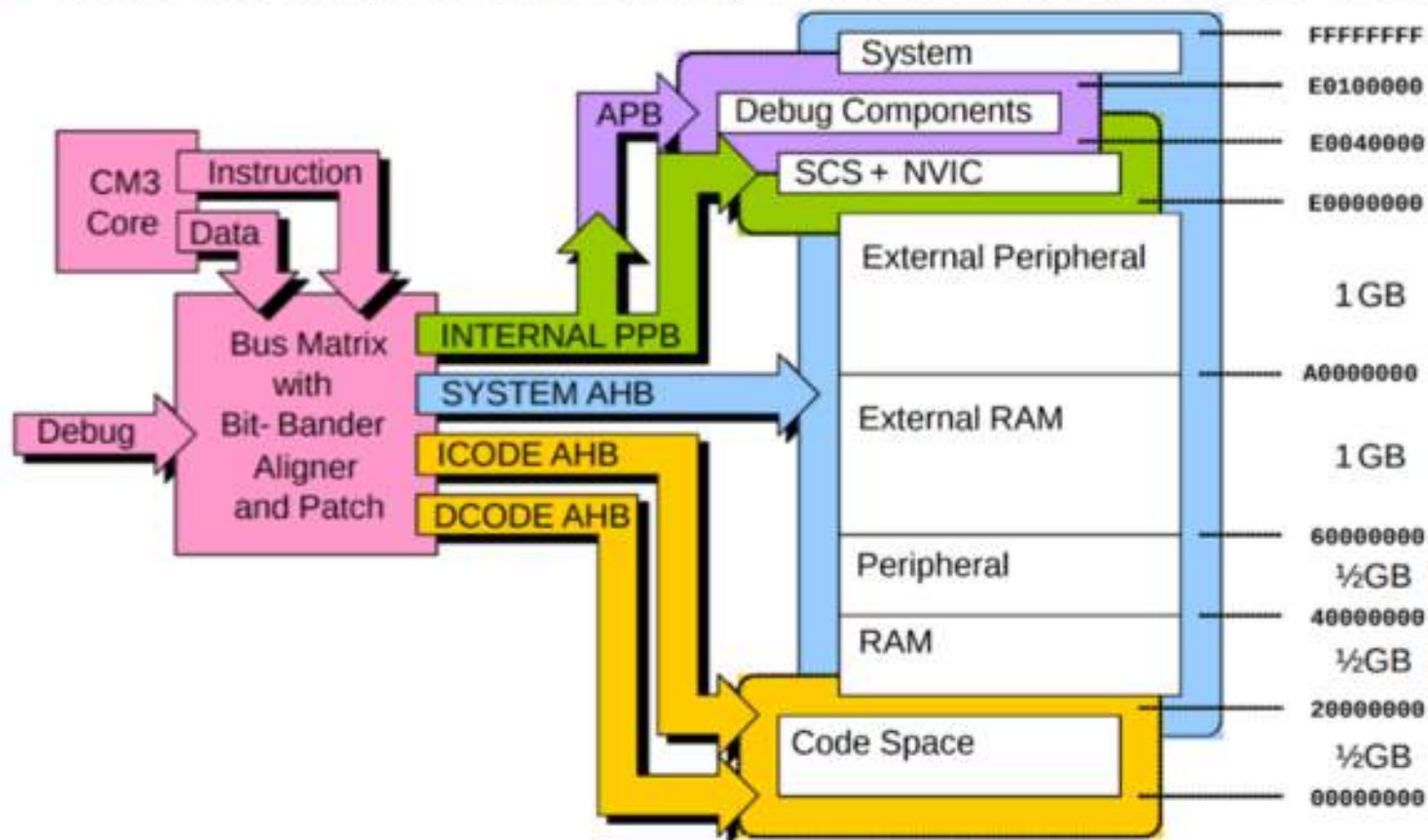
[주] 벡터 테이블, 플래시 메모리 등은 Code 영역에 위치한다.

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

메모리 맵(Memory map)

Memory Map

- Very simple linear 4GB memory map
- The Bus Matrix partitions memory access via the AHB and PPB buses



1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

메모리 맵(Memory map)

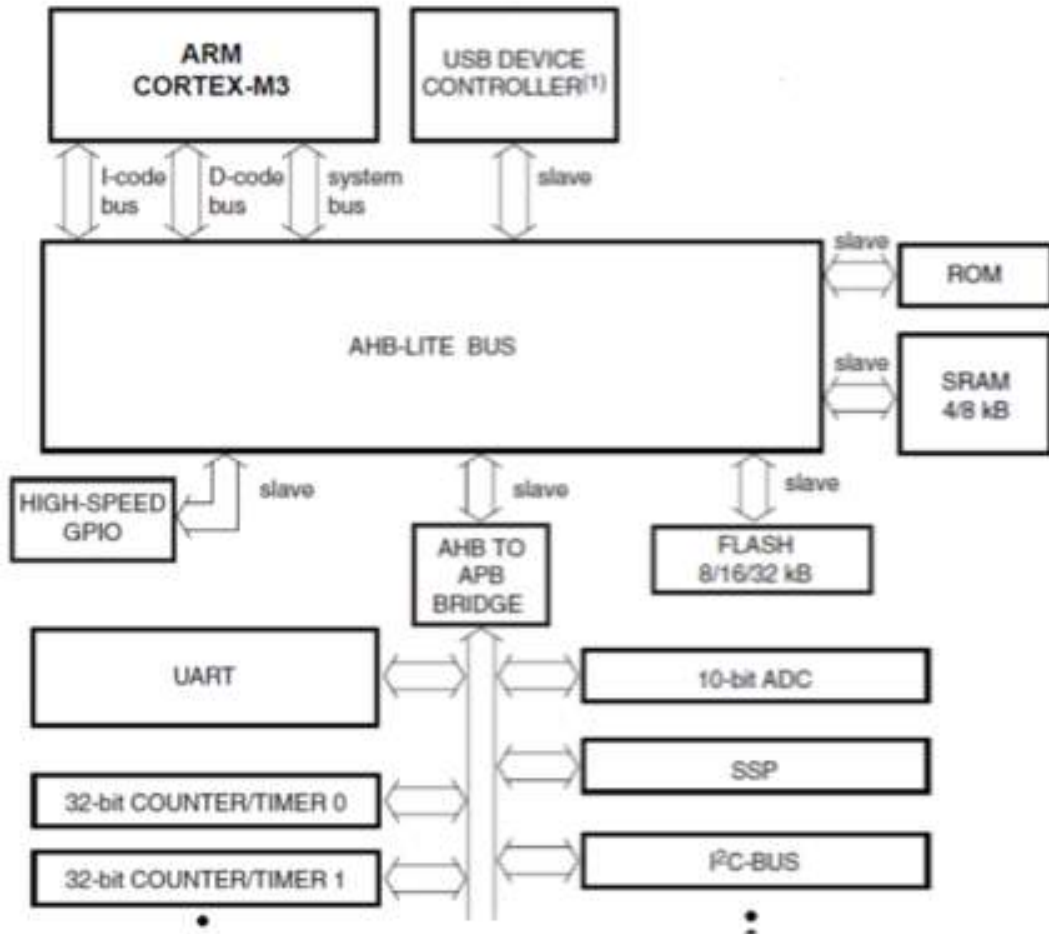
- 코드(Code) 영역
 - 주로 프로그램 코드가 저장되는 영역
 - 코드 영역에서는 2개의 버스(I-code 버스, D-code 버스)를 통해 명령어 인출과 데이터 액세스가 동시에 이루어지므로 가장 속도가 빠름
 - 일반적으로 벡터 테이블, 플래시 메모리, 시스템 메모리 등이 이 영역에 위치함
- SRAM 영역
 - Cortex-M3/M4 기반 MCU의 내부에 있는 SRAM을 위한 영역
 - 비트밴드 연산이 가능하며 하위 1MB(0x2000.0000 ~ 0x200F.FFFF)는 비트밴드 영역으로, 상위의 32MB(0x2200.0000 ~ 0x23FF.FFFF)는 비트밴드 앨리어스 영역으로 할당됨
- 주변장치(Peripheral) 영역
 - Cortex-M3/M4 기반 MCU의 내부에 있는 주변장치를 위한 영역으로서 GPIO, 타이머, UART 등의 주변장치가 여기에 위치함
 - 이 영역도 비트밴드 연산이 가능함
 - 비트밴드 기능을 이용하면 특정 주변장치의 제어 레지스터의 제어 비트나 상태 비트를 비트 단위로 쉽고 빠르게 변경할 수 있으므로 주변장치의 동작 제어를 효율적으로 할 수 있음

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

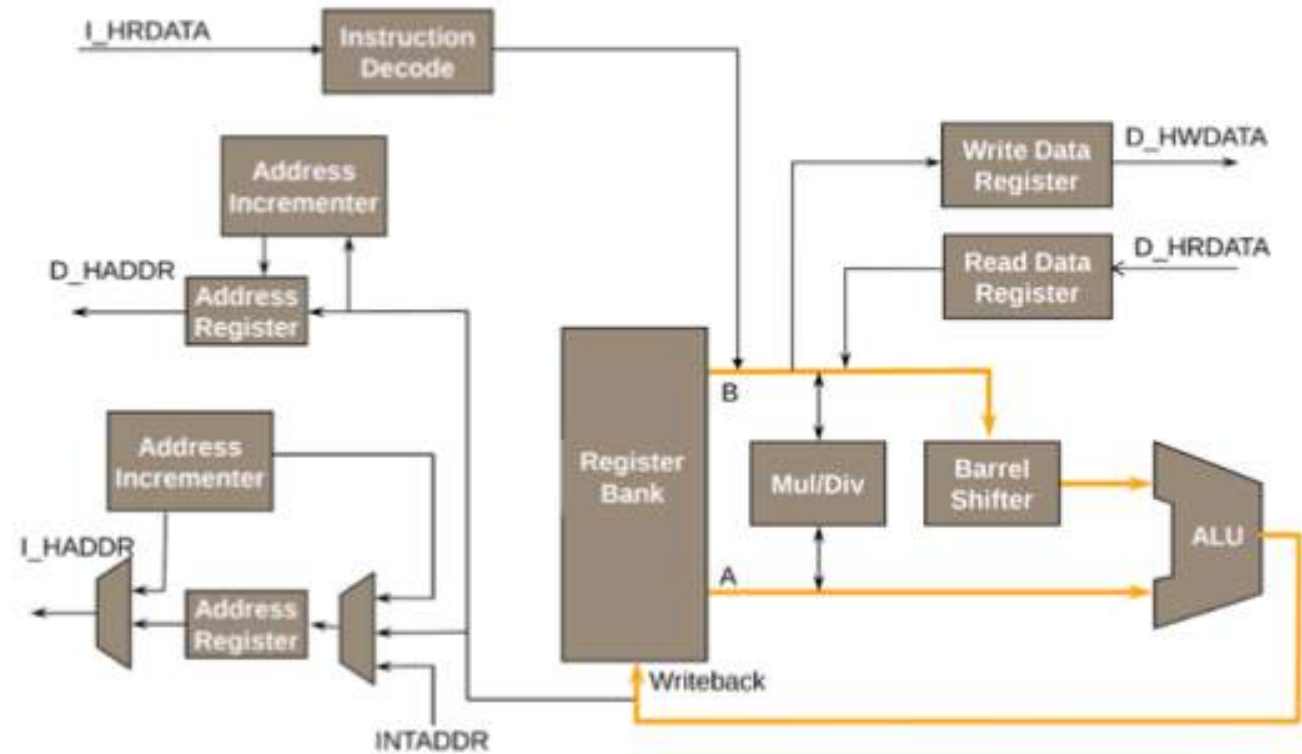
메모리 맵(Memory map)

- 외부 RAM 영역
 - 외부 RAM을 위한 영역
 - 사용자가 작성한 프로그램의 실행이 가능함
- 외부 디바이스 영역
 - 사용자가 작성한 프로그램의 실행이 허용되지 않음
- 내부 PPB 영역 및 외부 PPB 영역
 - PPB 영역은 내부 PPB 영역과 외부 PPB 영역으로 나눌 수 있음
 - 내부 PPB 영역은 프로세서 내부에 있는 AHB PPB 버스에 연결된 주변장치를 위한 영역이며 시스템 제어 영역 (System control space), FPB, DWT 및 ITM 이 여기에 위치함
 - 외부 PPB 영역은 프로세서 내부의 APB PPB 버스에 연결된 주변 장치나 프로세서 외부에 위치한 주변장치를 위한 영역이며 ROM 테이블, ETM, TPIU와 외부 PPB 버스가 여기에 위치함
- 제조사 시스템 주변장치(Vendor system peripheral) 영역
 - 각 제조사에서 구성하는 영역
 - 주로 제조사의 시스템 주변장치를 위한 영역
 - 명령어 실행은 허용되지 않음

1.2 ARM Cortex-M3 프로세서



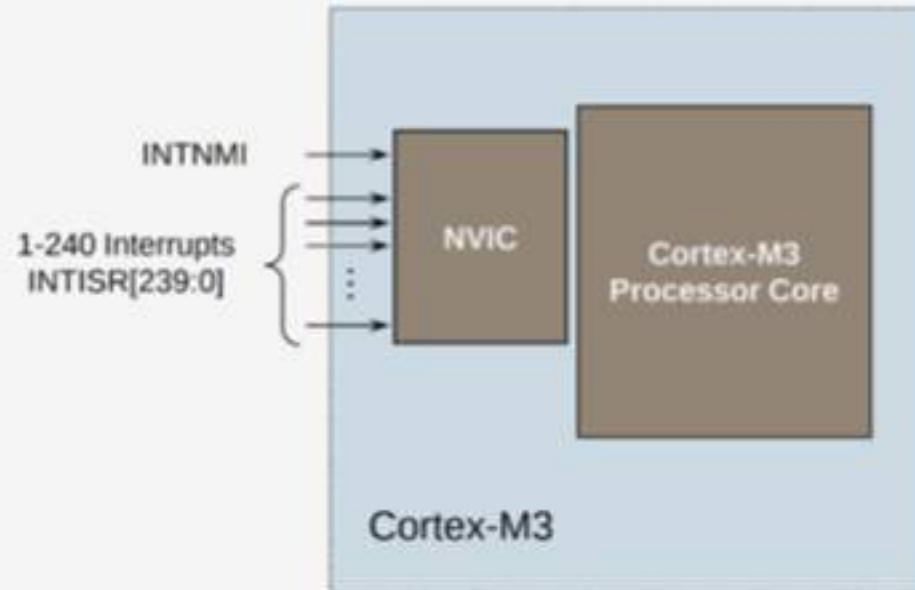
Cortex-M3 Datapath



1.2 ARM Cortex-M3 프로세서

Interrupt Handling

- One Non-Maskable Interrupt (INTNMI) supported
- 1-240 prioritizable interrupts supported
 - Interrupts can be masked
 - Implementation option selects number of interrupts supported
- Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC) is tightly coupled with processor core
- Interrupt inputs are active HIGH



숙제 #1

1. 마이크로프로세서와 마이크로컨트롤러의 차이?
2. Cortex-M 프로세서와 Cortex-M 기반의 마이크로프로세서의 차이?
3. JTAG?
 - 손으로 작성 후 파일로 만들어서 일주일 후 밤 12시까지 제출
 - 파일이름은 "학번-이름.zip"
 - 1시간 딜레이 마다 10% 감점