

Introduction to Embedded Systems

ระบบสมองกลฝังตัวเบื้องต้น

Sorayut Glomglome

π

เนื้อหา

1. ระบบฝังตัว
2. ไมโครโพรเซสเซอร์
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์
4. กระบวนการพัฒนา
5. ประวัติของ ARM
6. บอร์ดทดลอง

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายหลักการของไมโครໂprocเซسور์
ไมโครคอนໂโทรลเลอร์ และระบบผึ้งตัว
2. อธิบายหลักการของระบบผึ้งตัว
3. อธิบายกระบวนการพัฒนาระบบผึ้งตัว

π

How do they differ?

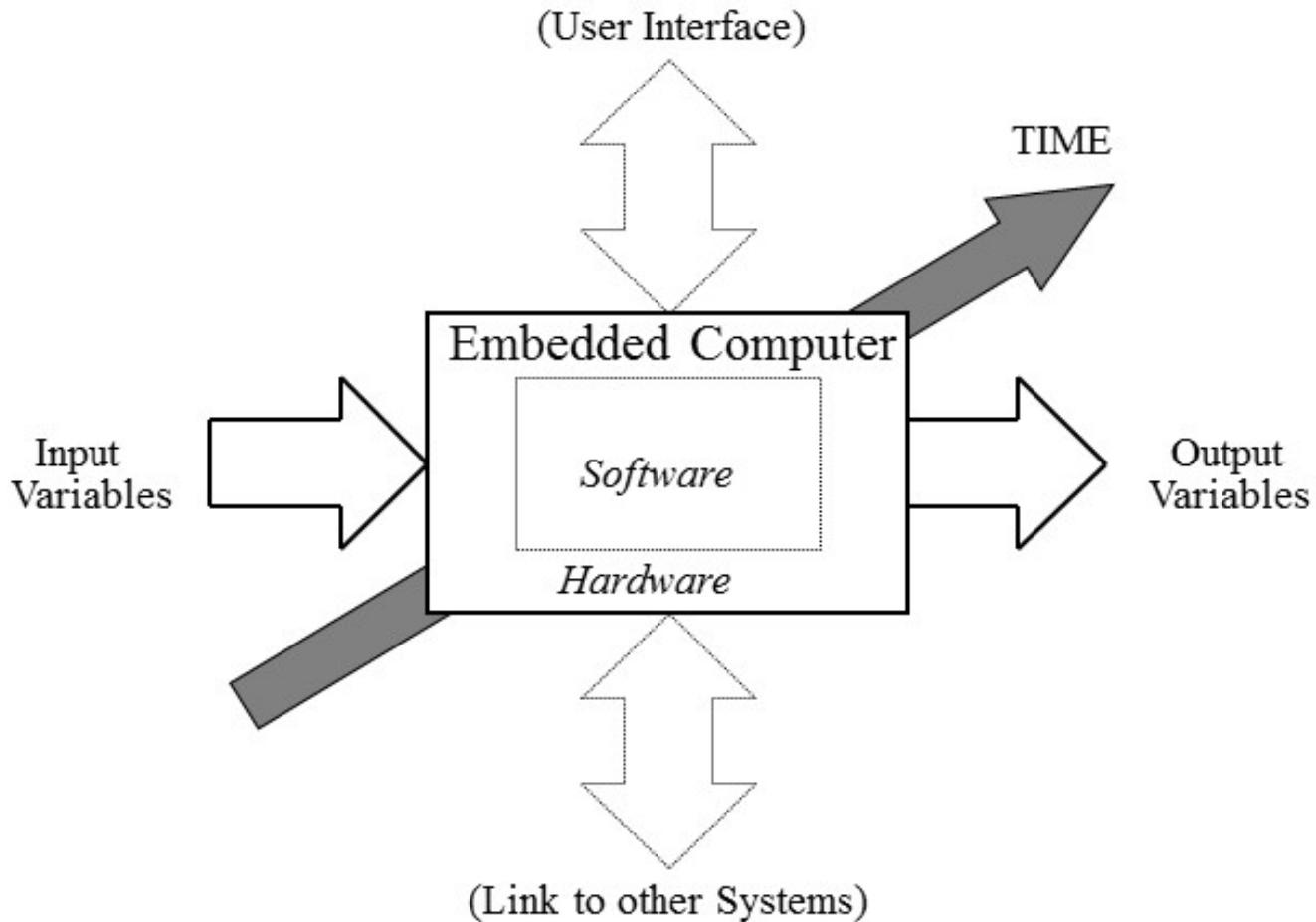


ระบบฝังตัว (Embedded Systems)

- ระบบฝังตัว คือ อุปกรณ์ที่มีคอมพิวเตอร์ควบคุมอยู่ภายใน แต่ไม่ใช่ระบบเพื่อการประมวลผล
- ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ
 - Ubiquitous, invisible
 - Hidden (computer inside)
 - Dedicated purpose

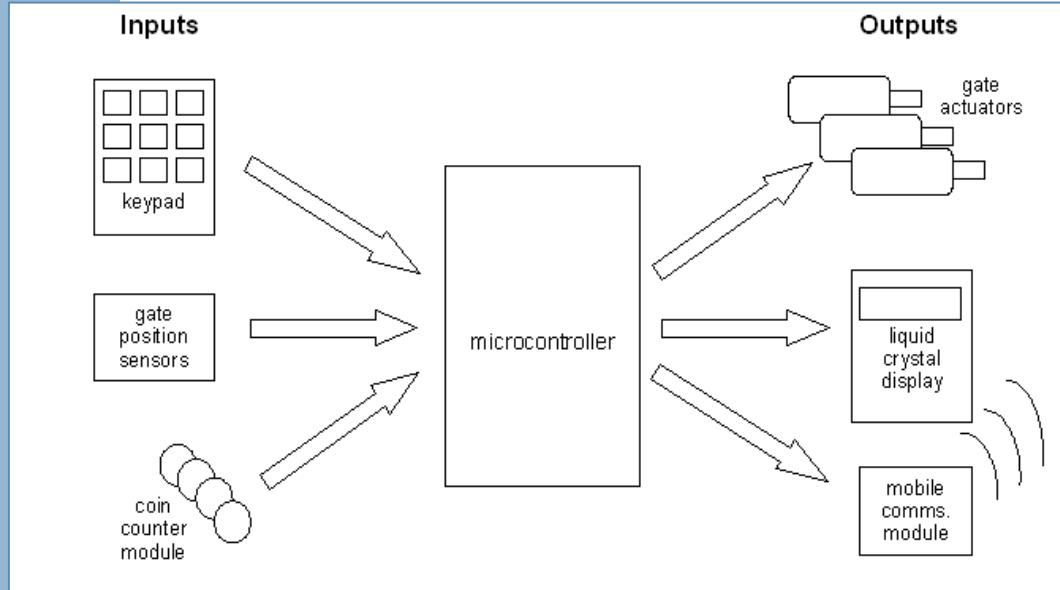


แผนผังอย่างง่ายของระบบฝังตัว



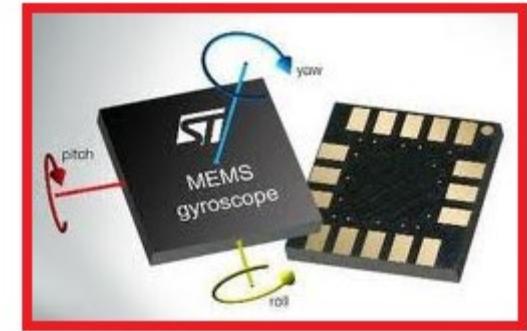
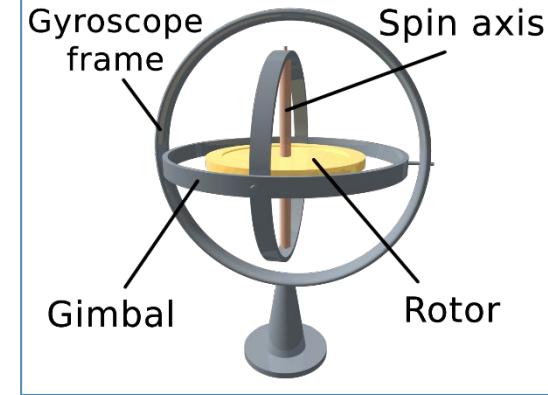
เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ

- เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เป็นตัวอย่างที่ดีของระบบฝังตัว โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นหัวใจสำคัญของเครื่อง
- อุปกรณ์อินพุต ได้แก่ ปุ่มกดและเครื่องยอดเหรียญ
- อุปกรณ์เอาต์พุต ได้แก่ หน้าแสดงผลและมอเตอร์สำหรับควบคุมการจ่ายสินค้า
- การติดต่อสื่อสาร เช่น 3G/4G

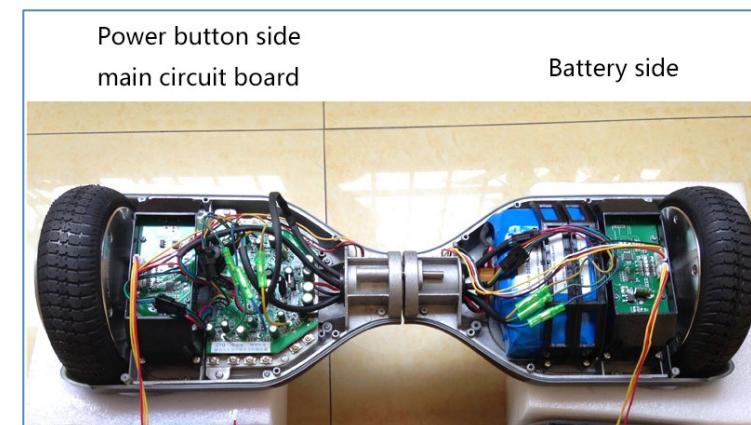


Segway

- Segway เป็นพาหนะชนส่งส่วนบุคคล
- ใช้ gyroscopes เพื่อการรักษาระดับในแนวนอน
- เมื่อไจโรตรวจพบความไม่สมดุล มอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามสัดสัծที่วัดได้ เพื่อไม่ให้ออปิงจนล้ม
- เมื่อน้ำหนักกลับสมดุล มอเตอร์จะหยุดหมุน
- ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่นเซอร์ และตัวกระตุ้น (Actuator)
- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gyroscope_operation.gif



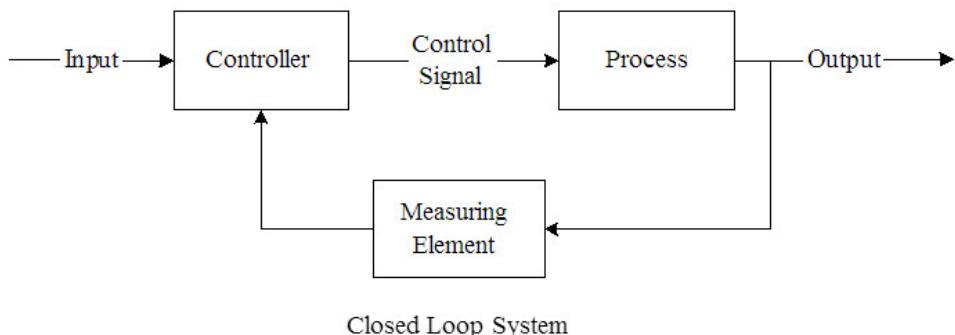
Gyroscope



ระบบควบคุม (Control Systems)

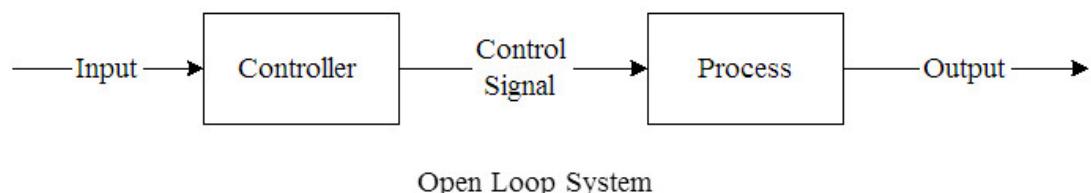
Closed loop control systems

- ใช้ค่าจากเซนเซอร์เพื่อการควบคุมที่แม่นยำ
- เปรียบจุดปัจจุบันกับจุดที่ควรจะเป็น
- ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ
- มีความแม่นยำ
- มักใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพ



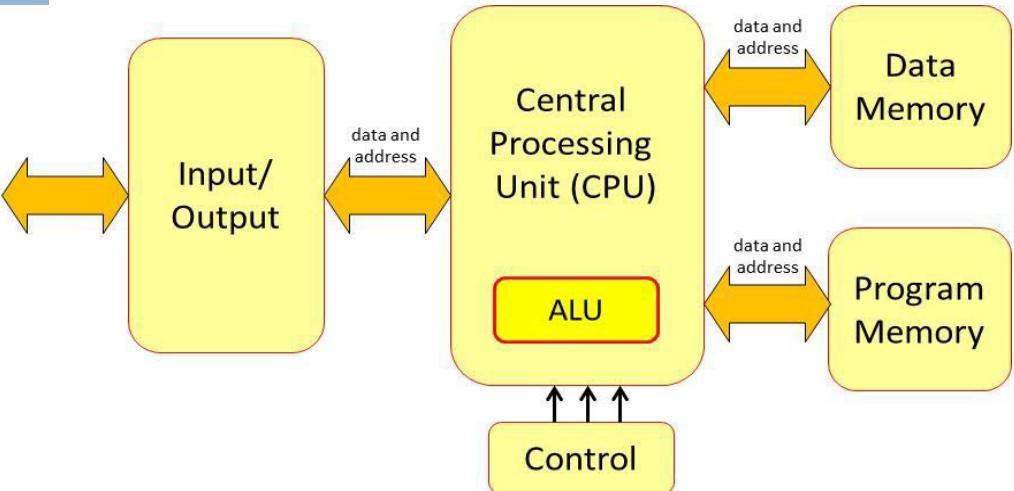
Open loop control systems

- ไม่ใช้สัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์
- ใช้เซนเซอร์ที่ตั้งค่ามาแล้ว
- ใช้การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
- สร้างง่ายกว่า



ไมโครโปรเซสเซอร์

The
Outside
World

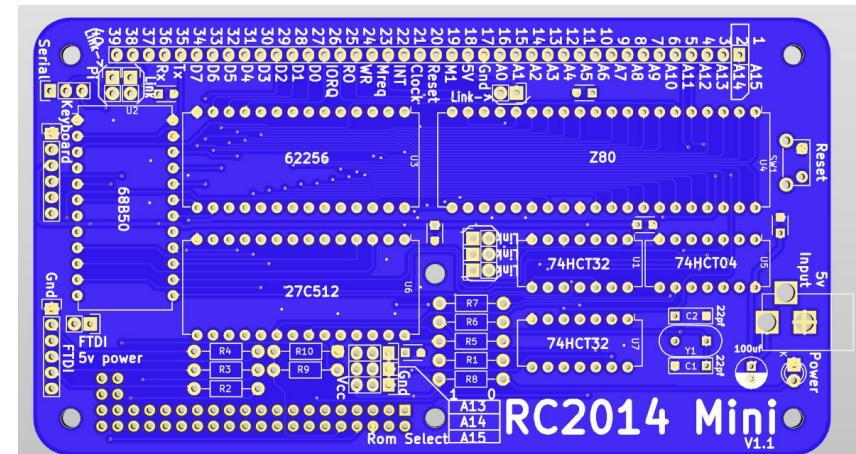


- Intel : 4004, ..8080, ..x86
- Freescale : 6800, ..PowerPC
- ARM, DEC, SPARC, MIPS ...

- คอมพิวเตอร์ ประมวลผลด้วยวงจรดิจิทัล ALU (Arithmetic Logic Unit)
- ALU เป็นส่วนหนึ่งของ CPU (Central Processing Unit) ซึ่งมีวงจรสนับสนุนการทำงานต่างๆ
- ALU ทำงานตามคำสั่ง (Instruction) ที่ป้อนให้
- โปรแกรมประกอบด้วยหลายคำสั่งต่อเนื่องกัน

RC2014 Mini - Single Board Z80 Computer Kit

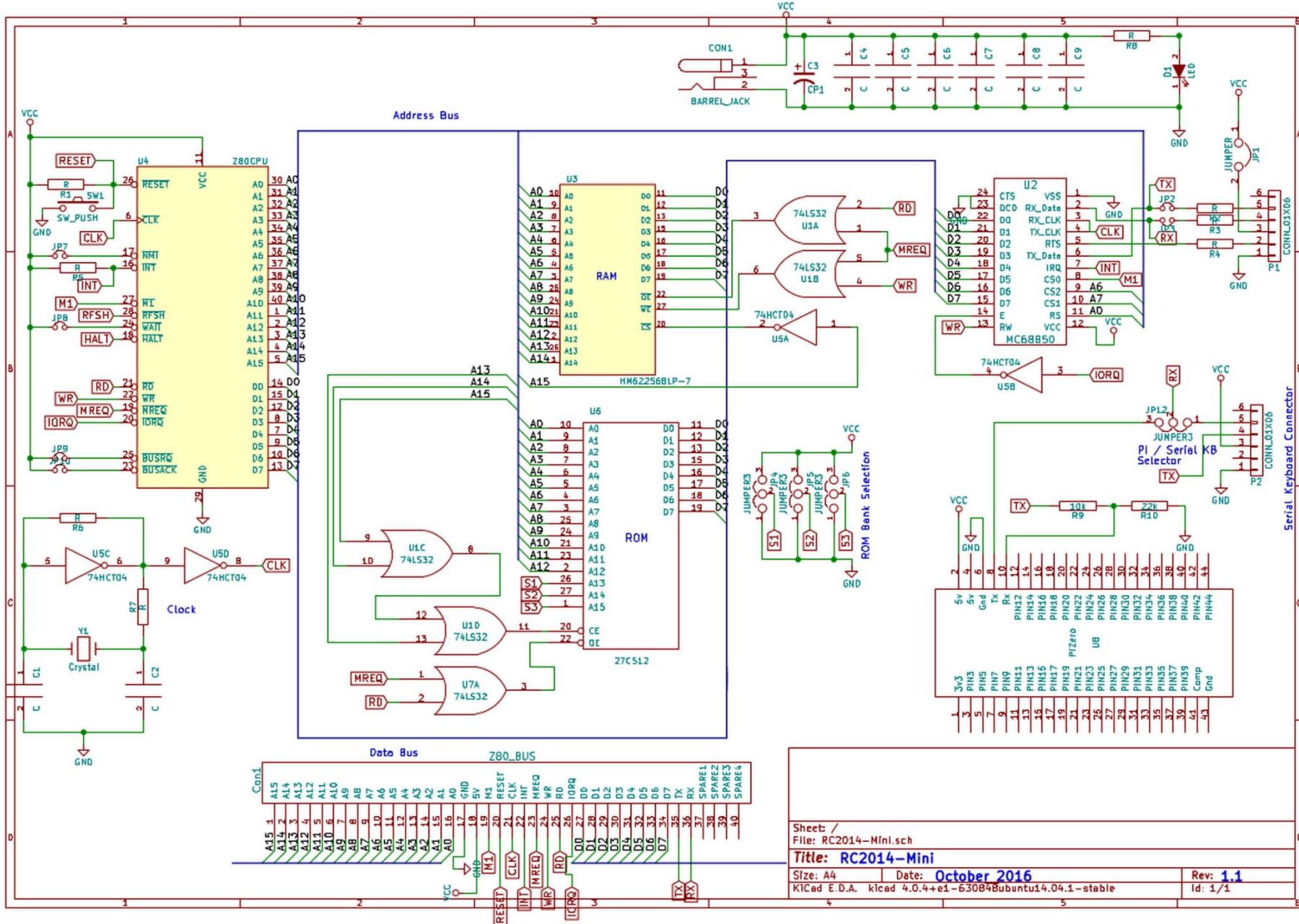
- Z80
- 62256 Static RAM
- 27C512 EPROM
- MC68B50 UART



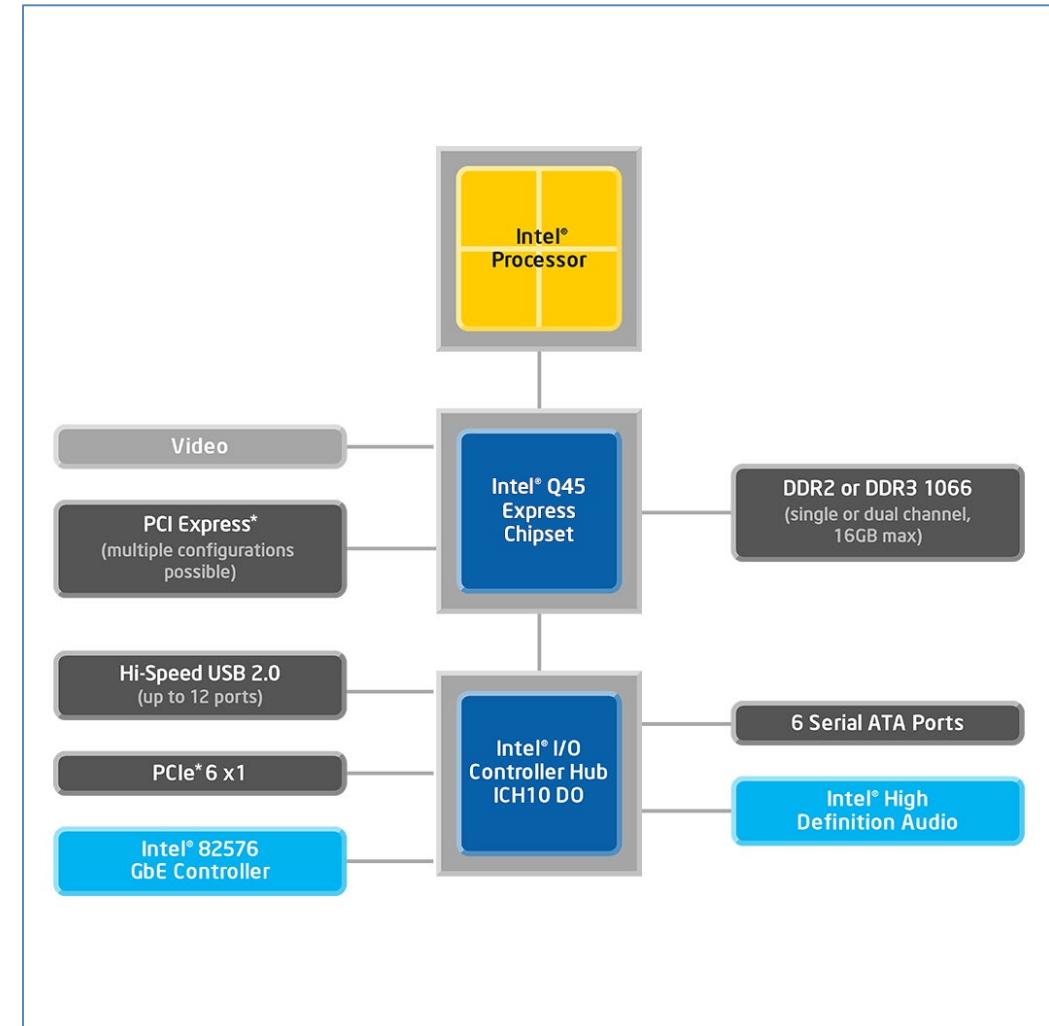
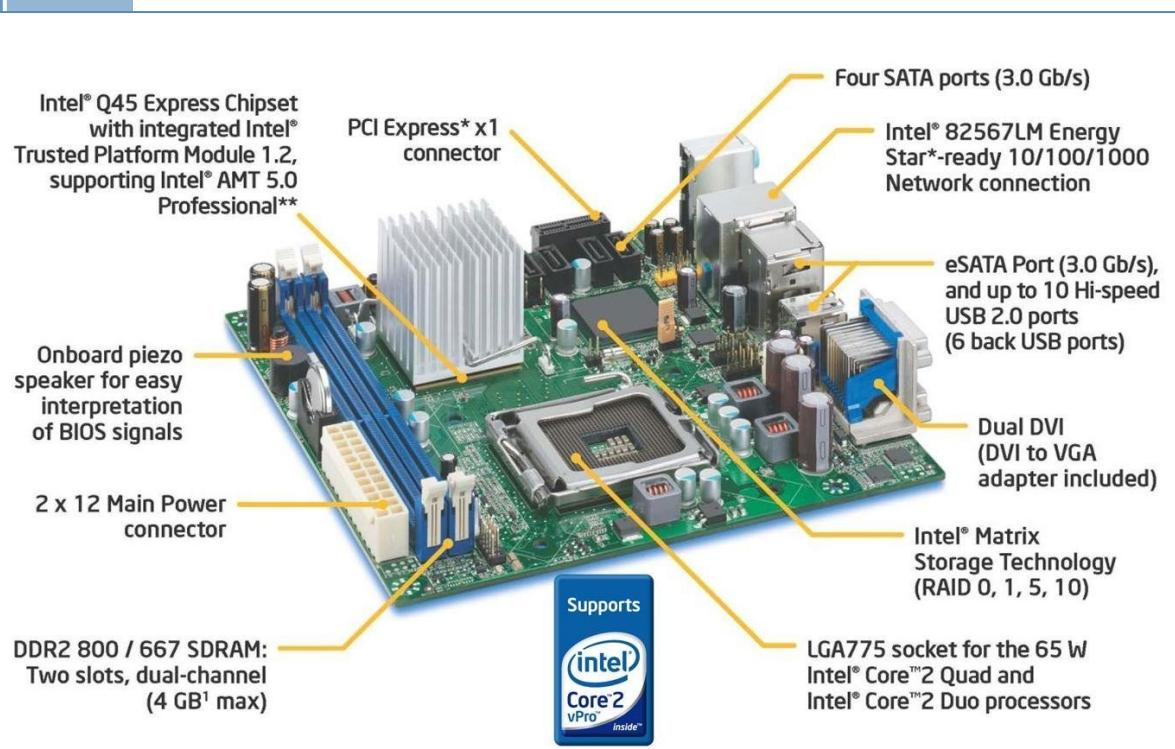
<https://www.tindie.com/products/semachthemonkey/rc2014-mini-single-board-z80-computer-kit/>

<http://rc2014.co.uk/modules/rc2014-mini/>

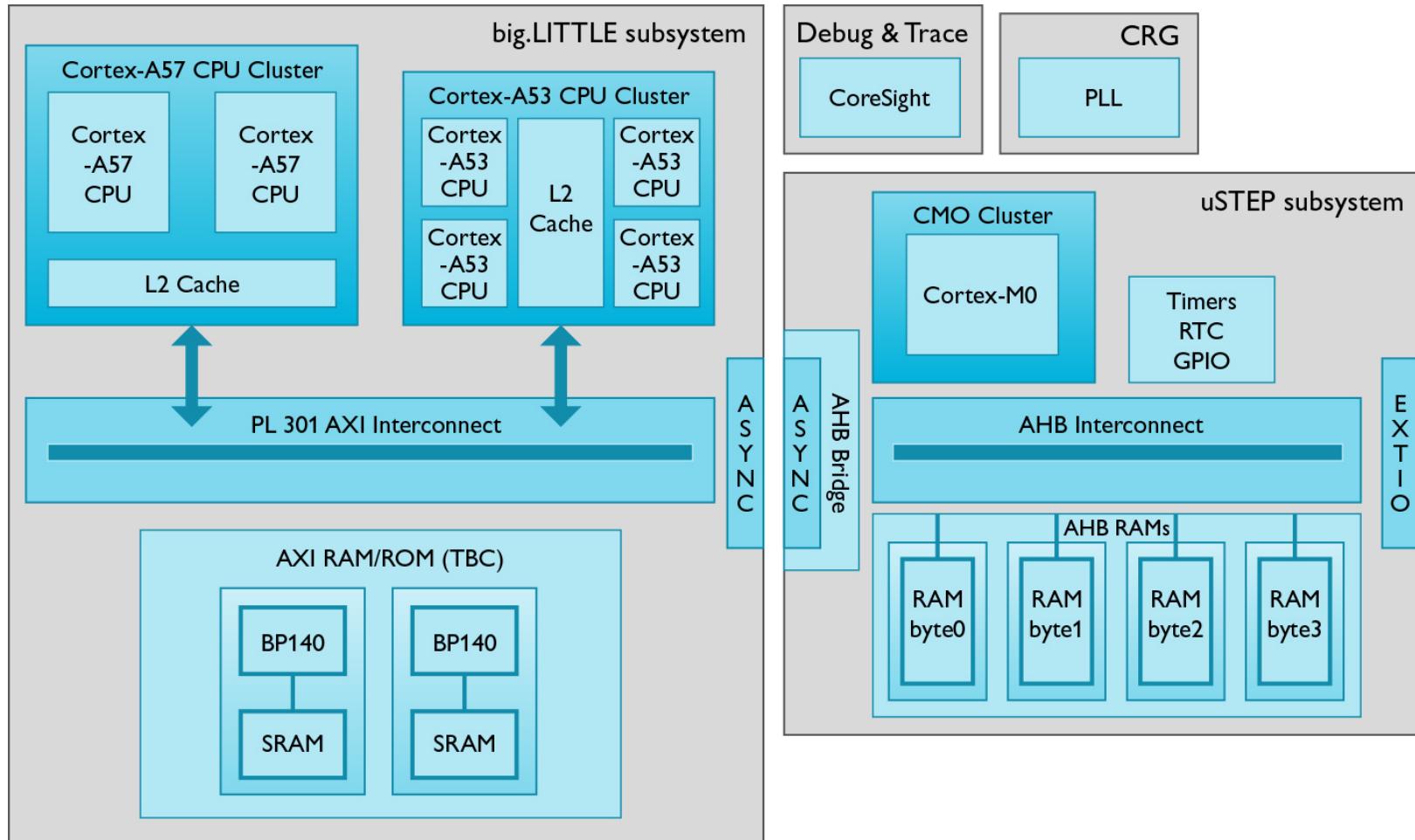
π



Intel Core2 และ Q45 Chipset

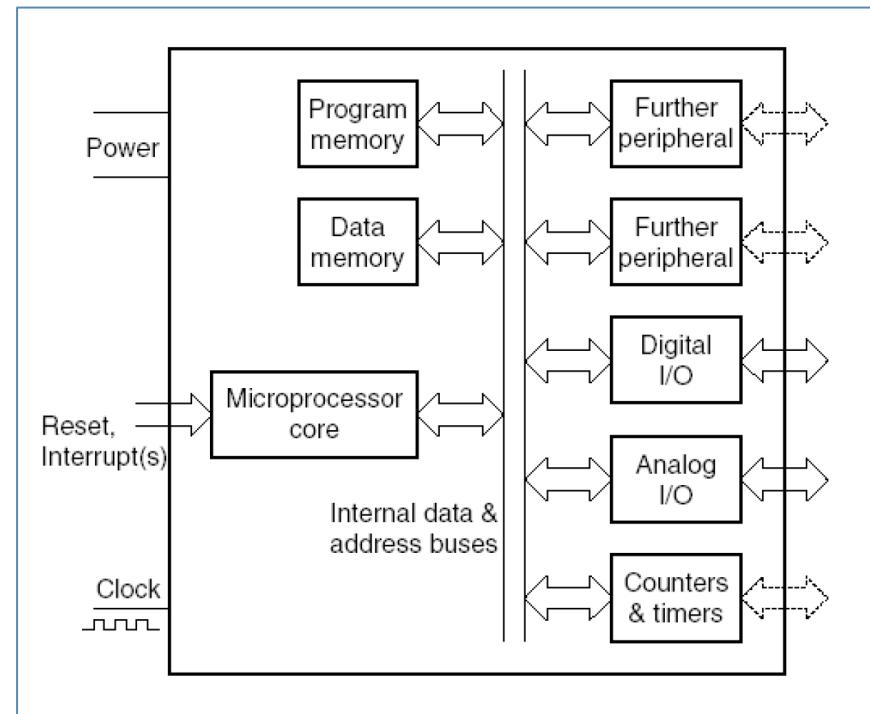
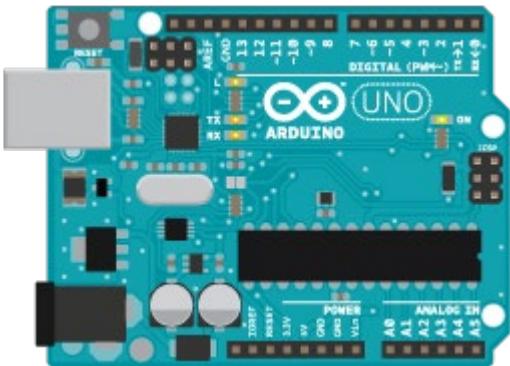


Cortex-A57 Block Diagram



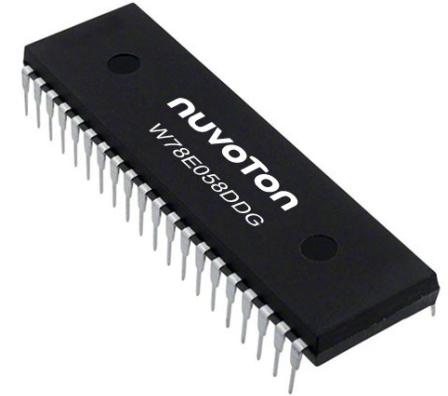
ไมโครคอนโทรลเลอร์

- ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่จำเป็นของคอมพิวเตอร์ได้แก่ โปรเซสเซอร์คอร์ หน่วยความจำ และ อินพุต-เอาต์พุต
- ใช้เพื่อควบคุมสิ่งต่างๆ
- PIC, 8051, ARM7TDMI, Cortex
- Arduino



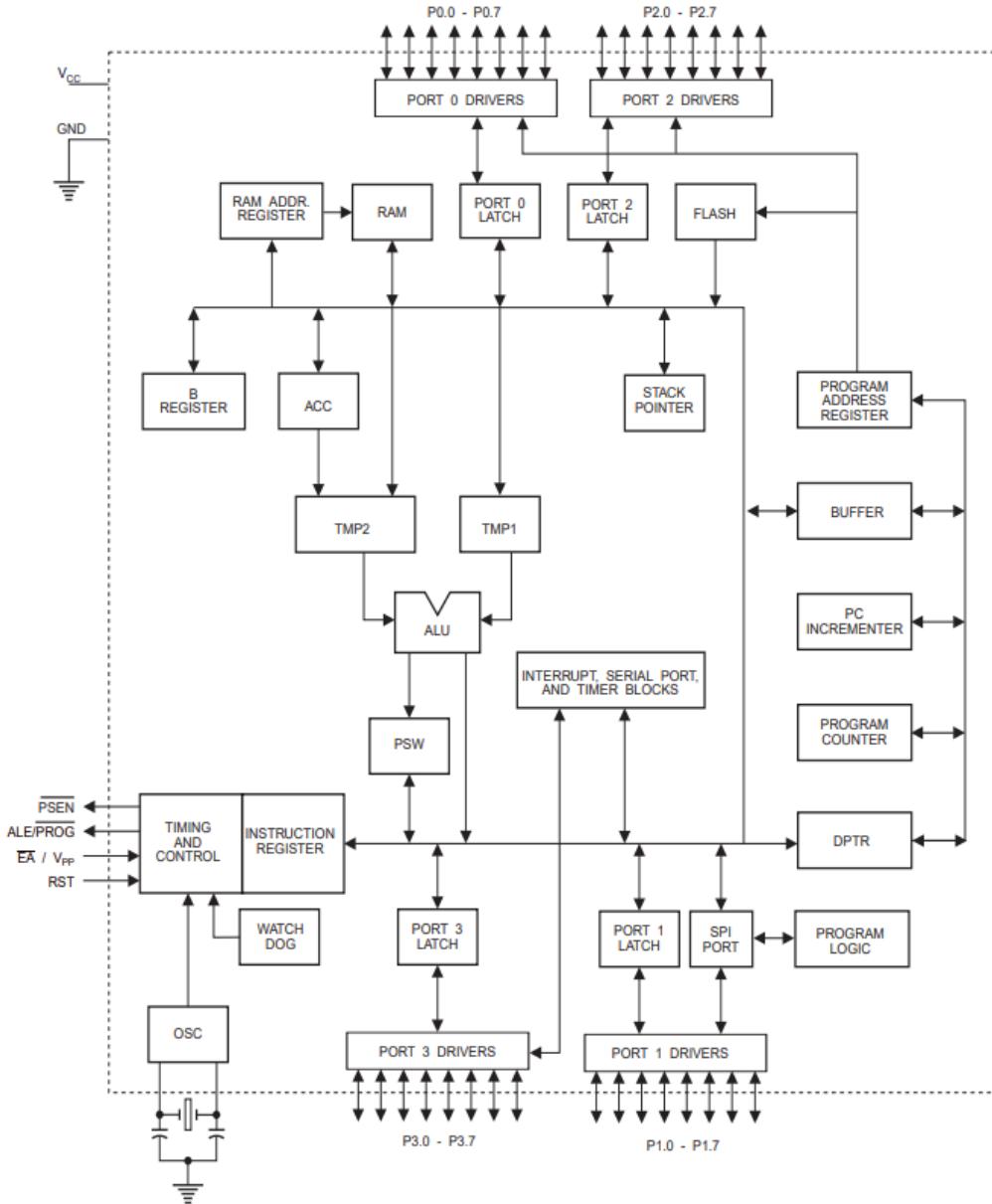
Intel MCS-51 (8051 Microcontroller)

Part No.	W78E058DDG
Flash (Kbytes)	32
SRAM (Kbytes)	512
ISP ROM (Kbytes)	4
I/O	up to 36
Timer (16-bit)	3
Connectivity-UART	1
Connectivity-SPI	-
Connectivity-I ² C	-
PWM (8-bit)	-
ADC (10-bit)	-
INT	4
ISP	✓
Special Function	6T/12T option, Extra I/O port
Operating Temp. Range (°C)	-40 ~ +85
Comp.	-
Chip Package	PDIP40



<https://direct.nuvoton.com/en/w78e058ddg>

Block Diagram



FitBit

Fitbit Flex

- <https://www.ifixit.com/Teardown/Fitbit+Flex+Teardown/16050>



Fitbit Charge 2

- <http://www.techinsights.com/about-techinsights/overview/blog/fitbit-charge-2-teardown/>

การพัฒนาโปรแกรม

- Machine Code
- Assembly
- High Level Language (Bare Metal)
 - C, C++
 - Hardware Abstraction Layer (HAL)
- Real-time operating system
 - FreeRTOS, TheadX, mbedOS, Apache Mynewt, MicroC/OS-III, Contiki
- Linux (Embedded Linux)

Example 3.6: Write code that reads from variable N multiplies by 5, adds 25, and stores the result in variable M. Both variables are 32-bit.

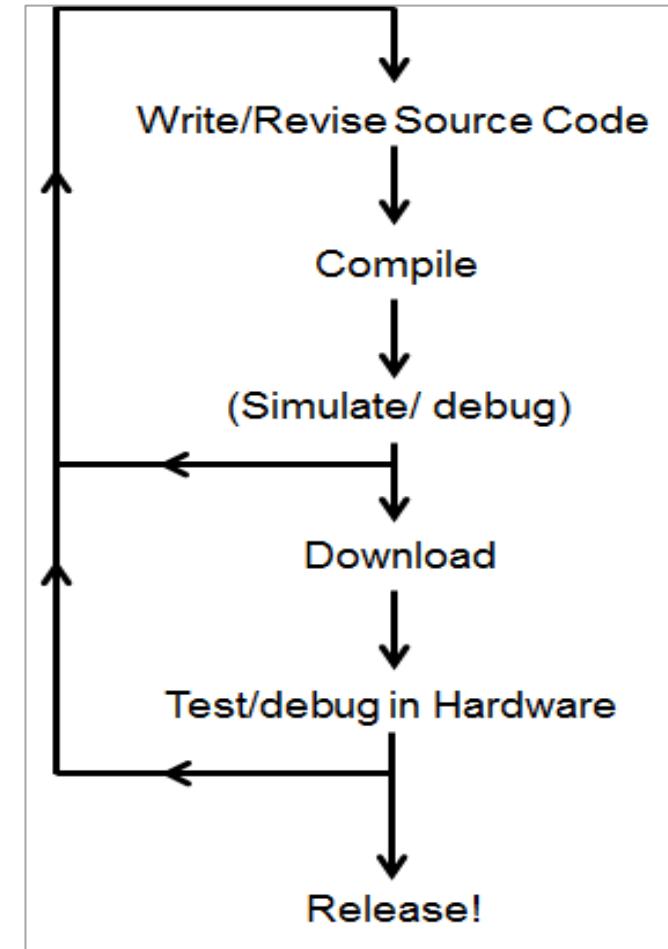
Solution: First, we perform a 32-bit read, bringing N into Register R1. Second we multiply by 5 and add 10, and lastly we store the result into M. Since the value gets larger, overflow could occur. This solution ignores the overflow error.

<pre>LDR R3, =N ; R3 = &N (R3 points to N) LDR R1, [R3] ; R1 = N MOV R0, #5 ; R0 = 5 MUL R1, R0, R1 ; R1 = 5*N MOV R0, #25 ; R0 = 25 ADD R0, R0, R1 ; R0 = 25+5*N LDR R2, =M ; R2 = &M (R2 points to M) STR R0, [R2] ; M = 25+5*N</pre>	// C implementation M = 5*N+25;
--	------------------------------------

Program 3.8. Example code showing a 32-bit multiply and addition.

กระบวนการพัฒนา

- เขียนโค้ด
- คอมไพล์ให้ได้ binary machine code ด้วยคอมเพเลอร์
- ดาวน์โหลด binary image ลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์



ประวัติเกี่ยวกับ ARM

- ในปี 1981 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ผลิตโดย Acorn Computer ได้รับความนิยมในการใช้งานในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในสหราชอาณาจักร ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ 8 บิต สร้างด้วยเทคโนโลยี MOS
- ในช่วงเวลาเดียวกัน IBM ได้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ซึ่งสร้างโดยไมโครโปรเซสเซอร์ของ Intel ขนาด 16 บิต ออกขาย
- ในช่วงปี 1980s ยอดขาย IBM PC เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้คู่แข่งขนาดเล็กขายเครื่องได้น้อยลง



ประวัติเกี่ยวกับ ARM

- นักออกแบบที่ Acorn ตระหนักว่า
 - พวกรถสามารถออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ไม่ต้องซื้อจากบริษัทอื่น
 - อนาคตของพวกรถอาจไม่ใช่การเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งเครื่อง
 - ไม่ต้องมีโรงงาน Silicon ผลิตชิป
 - ขาย IP (Intellectual Property)
- พวกรถจัดตั้ง บ. **Advanced RISC Machines** จำกัด ต่อมาเรียกย่อๆ ว่า **ARM** เพื่อดำเนินธุรกิจตามหลักการด้านบน

ปี 2016 SoftBank ซื้อกิจการ ARM มูลค่า 31 Billion USD

SoftBank surprised the technology world with [a plan to acquire British chip designer ARM Holdings](#) for £23.4 billion (\$31.4 billion) back in July, the biggest ever purchase of a European technology company. After less than two months, SoftBank is announcing today that the transaction is complete. The total acquisition price is approximately £24 billion (\$31 billion), and ARM will now be delisted from the London Stock Exchange tomorrow.

SoftBank is expected to use the ARM deal to bolster its Internet of Things plans. While ARM only made around \$1.5 billion in revenue last year, its low-power and efficient chips are shifting computing worldwide. SoftBank's investment is clearly long-term, and it's likely [another wild bet that will pay off for the company](#).

ปี 2020 Nvidia เสนอซื้อ ARM \$40 Billion

- Deal's terminated
in Feb 2022

[Nvidia Deal to Buy Arm From SoftBank Is Off After Setbacks](#)

[Nvidia Deal to Buy Arm From SoftBank Is Off After Setbacks -
The New York Times \(nytimes.com\)](#)

[Nvidia \(NVDA\) Quietly Prepares to Abandon \\$40 Billion Arm Bid
- Bloomberg](#)

Nvidia Corp. is quietly preparing to abandon its purchase of Arm Ltd. from SoftBank Group Corp. after making little to no progress in winning approval for the \$40 billion chip deal, according to people familiar with the matter.

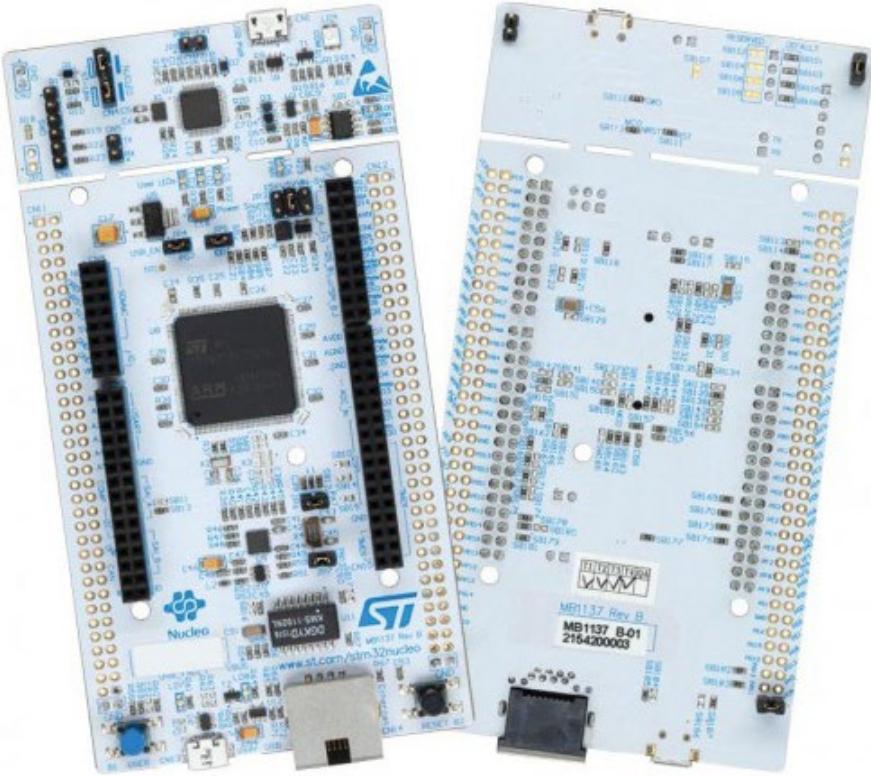
The purchase -- poised to become the biggest semiconductor deal in history when it was announced in September 2020 -- has drawn a fierce backlash from regulators and the chip industry, including Arm's own customers. The U.S. Federal Trade Commission sued to stop the transaction in December, arguing that Nvidia would become too powerful if it gained control over Arm's chip designs.

สรุป

- ในระบบฝังตัวมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและตัดสินใจ
- คอมพิวเตอร์ในระบบฝังตัวมักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์
- ซึ่งประกอบด้วยไมโครprocเซสเซอร์คอร์ หน่วยความจำ และอุปกรณ์ต่อพ่วง
- การออกแบบระบบฝังตัวเป็นการออกแบบรวมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
- ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตัวจะมีชุดคำสั่งไว้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม
- ใช้ภาษาระดับสูงในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นคอมไพล์ โค้ด เพื่อเปลี่ยนเป็น Binary ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าใจ
- ARM เป็นบริษัทที่พัฒนาไมโครprocเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตระกูลที่นิยมใช้ในระบบฝังตัว

NUCLEO-F767ZI

- บอร์ดสำหรับการทดลอง NUCLEO-F767ZI
- ARM 32-bit Cortex-M7 + DPFPU
- 2 MB Flash / 512 KB SRAM
- 3 user LED shared with Arduino™
- 1 user and 1 reset push-buttons
- Board expansion connectors:
 - Arduino™ Uno V3
 - ST morpho extension pin headers
- Flexible power-supply options
 - ST-LINK USB VBUS or external sources
 - On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with USB reenumeration capability. Three different interfaces supported on USB: mass storage, virtual COM port and debug port



<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f767zi.html>

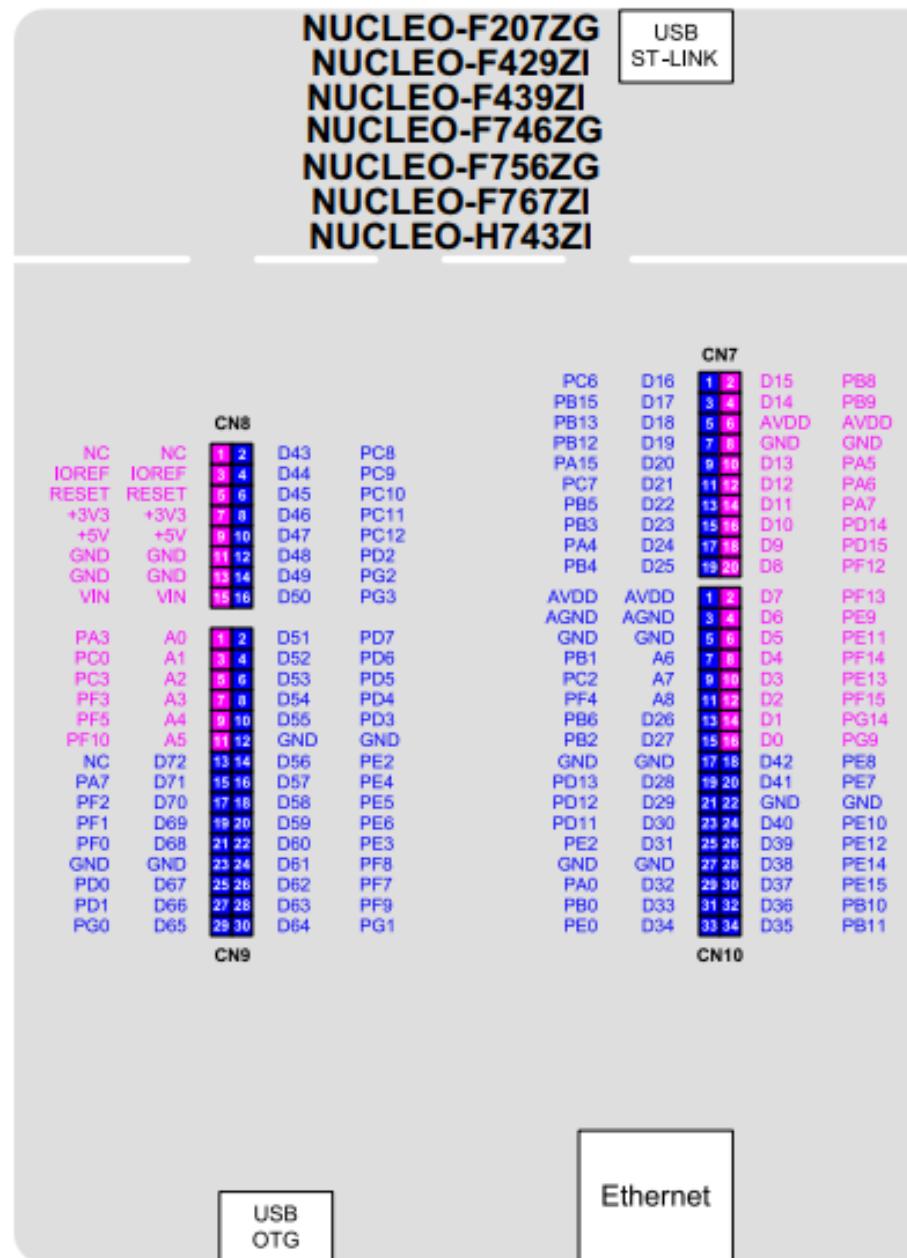
<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-F767ZI/>

คุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์

- ARM® 32-bit Cortex®-M7 CPU with FPU at 216 MHz
- Up to 2 Mbytes of Flash memory
- Up to 512 Kbytes of SRAM
- Up to 168 I/O ports with interrupt capability, 166 I/O ports are 5 V-tolerant
- 3×12 bit Analog to Digital converters
- 2×12 bit Digital to Analog converters
- Up to 18 timers
- Up to 28 communication interfaces
 - Up to 4 x I2C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 4 USARTs
 - 6 SPIs
 - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY



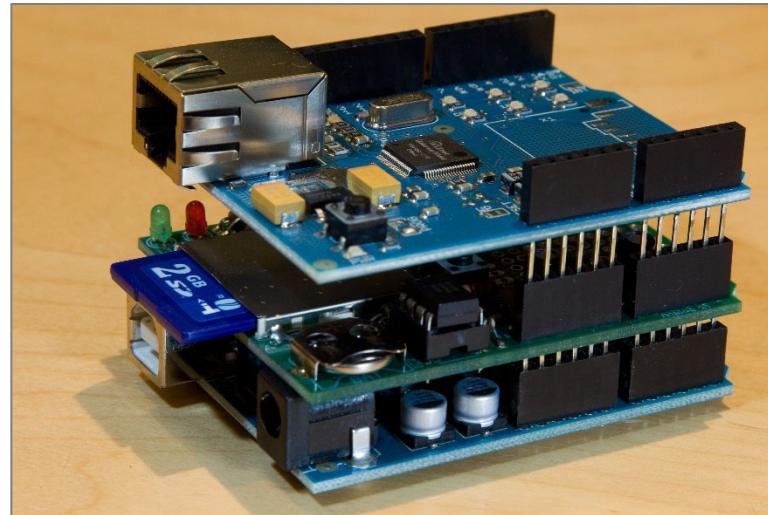
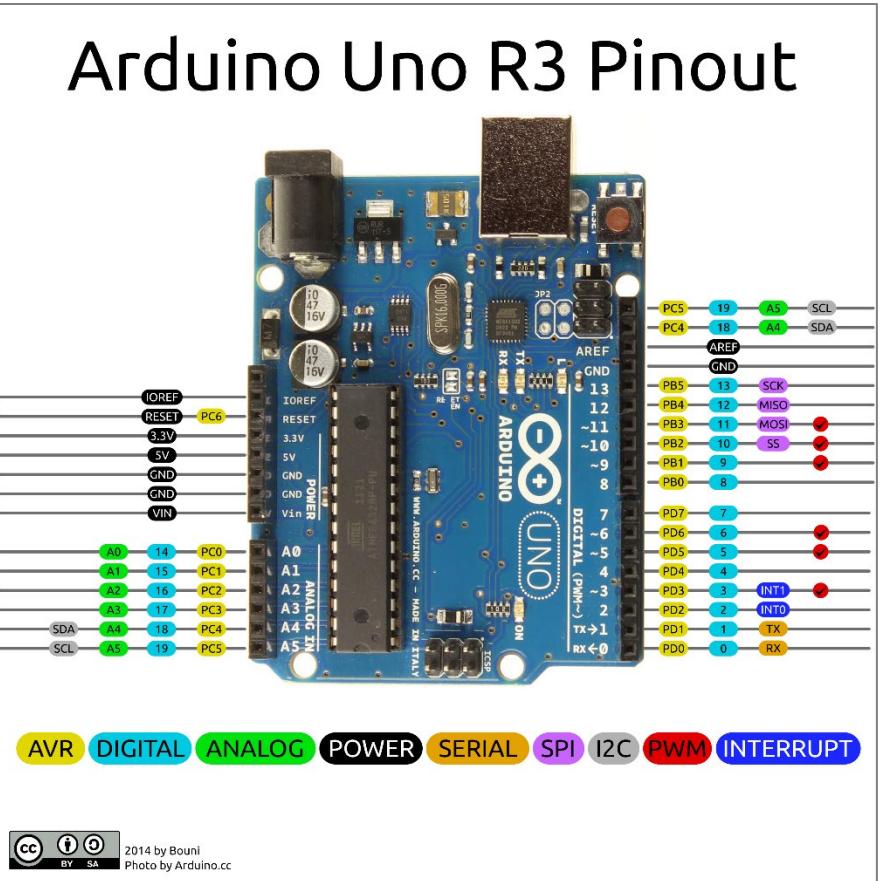
Pinout



<https://goo.gl/T7CJRT>

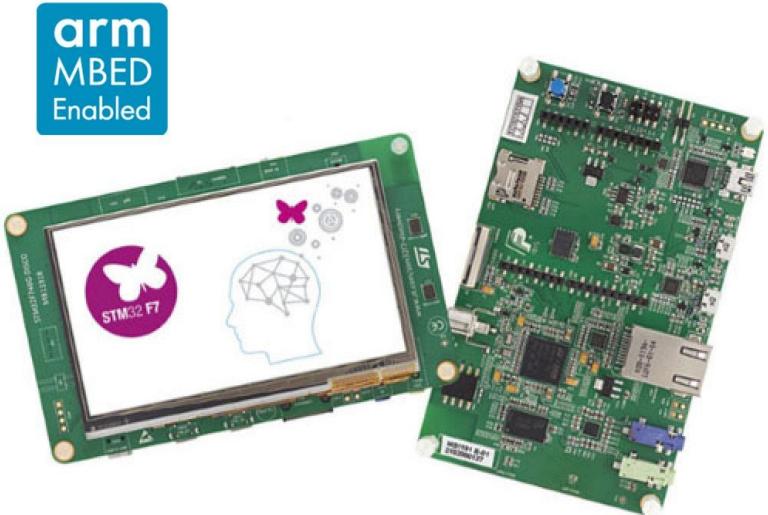
- Arduino subset of Zio = AD to A5 and D0 to D15
- Zio extension = A6 to A8 and D16 to D72

Arduino Uno R3 Pinout and Shield



π

32F746G Discovery



<https://www.st.com/en/evaluation-tools/32f746gdiscovery.html>

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Discovery-F746NG/>

B-L475E-IOT01A

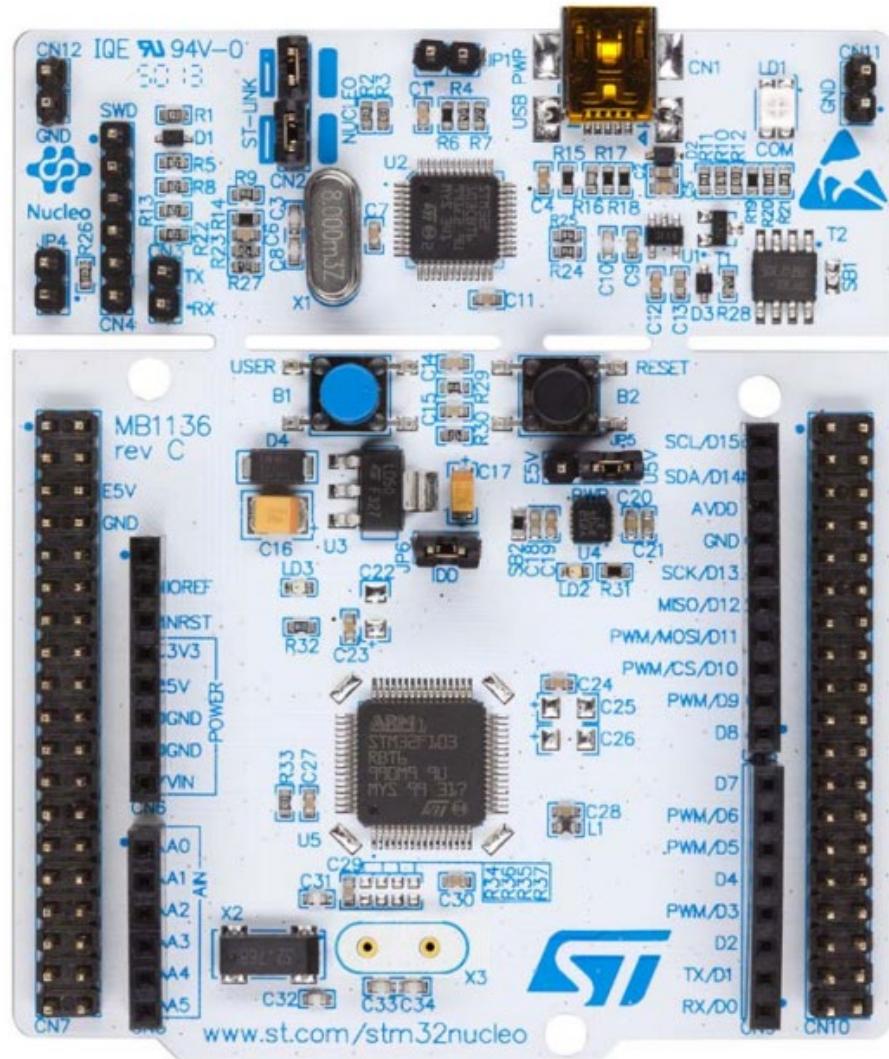


<https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l475e-iot01a.html>

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Discovery-L475E-IOT01A/>

NUCLEO-F411RE

- บอร์ดสำหรับการทดลอง NUCLEO-F411RE
- ARM 32-bit Cortex-M4 CPU with FPU 100 MHz
- 512 KB Flash / 128 KB SRAM
- 1 user LED shared with Arduino™
- 1 user and 1 reset push-buttons
- Board expansion connectors:
 - Arduino™ Uno V3
 - ST morpho extension pin headers
- Flexible power-supply options
 - ST-LINK USB VBUS or external sources
 - On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with USB reenumeration capability. Three different interfaces supported on USB: mass storage, virtual COM port and debug port

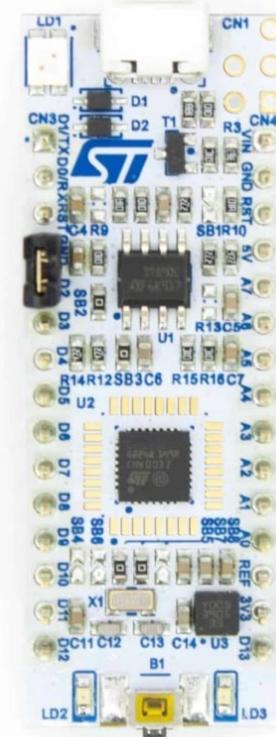


<http://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f411re.html>

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-F411RE/>

NUCLEO-L432KC

- บอร์ดสำหรับการทดลอง NUCLEO-L432KC
- ARM 32-bit Cortex-M4 CPU 80 MHz
- 256 KB Flash / 64 KB SRAM
- 1 user LED
- 1 reset push-button
- Board expansion connectors:
 - Arduino™ Nano V3
- Flexible power-supply options
 - ST-LINK, USB VBUS, or external sources
 - On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with USB reenumeration capability. Three different interfaces supported on USB: mass storage, virtual COM port and debug port

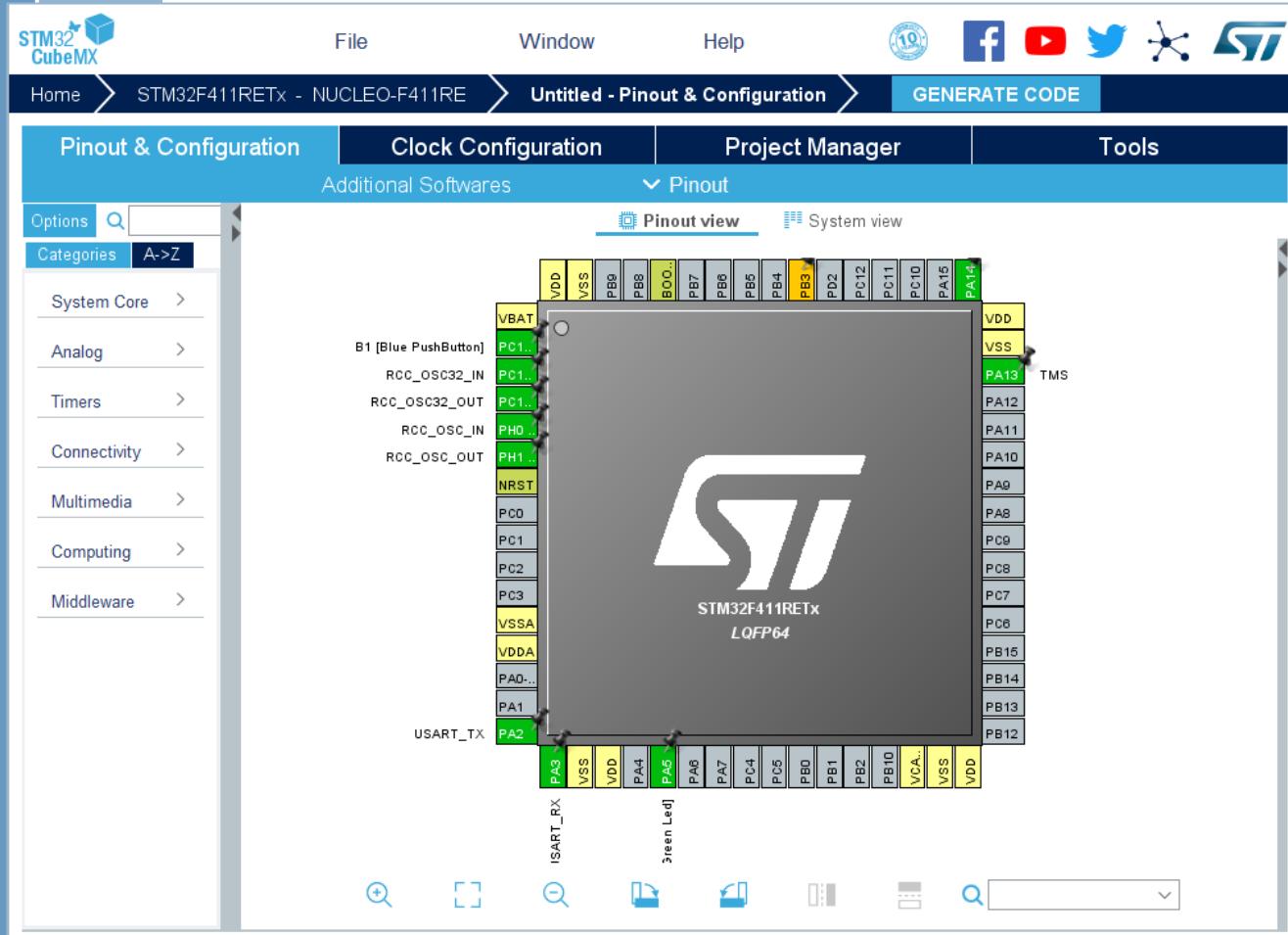


<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-l432kc.html>

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-L432KC/>



การพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วย STM32CubeMX



- Intuitive STM32 microcontroller selection
- Microcontroller **graphical configuration**:
 - Pinout with automatic conflict resolution
 - Clock tree with dynamic validation of configuration
 - Peripherals and middleware functional modes and initialization with dynamic validation of parameter constraints
 - Power sequence with estimate of consumption results
- **C code project generation** covering STM32 microcontroller initialization compliant with IAR™, Keil™ and GCC compilers.
- Available as a standalone software running on Windows®, Linux® and macOS®

Toolchains

- Cross platform toolchain
- Editor / Compiler / Linker / Debugger



<http://www.keil.com/>



<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>