

# Introduction to Embedded Systems

## ระบบสมองกลฝังตัวเบื้องต้น

Sorayut Glomglome

$\pi$

$\pi$

# เนื้อหา

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

# ผลการเรียนรู้

1. อธิบายหลักการของไมโครโปรดเซสเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และระบบผึ้งตัว
2. อธิบายหลักการของระบบผึ้งตัว
3. อธิบายกระบวนการพัฒนาระบบผึ้งตัว

$\pi$

# How do they differ?



# ระบบฝังตัว (Embedded Systems)

- ระบบฝังตัว คือ อุปกรณ์ที่มีคอมพิวเตอร์ควบคุมอยู่ภายใน แต่ไม่ใช่ระบบเพื่อการประมวลผล
- ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ



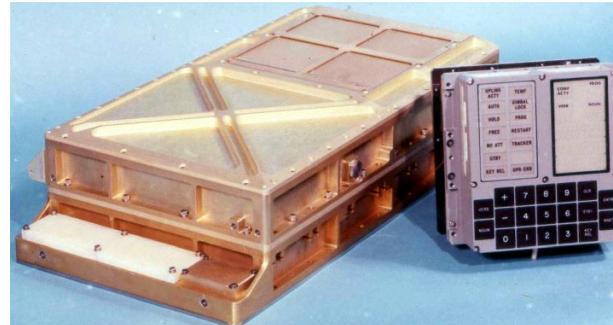
- Ubiquitous, invisible
- Hidden (computer inside)
- Dedicated purpose



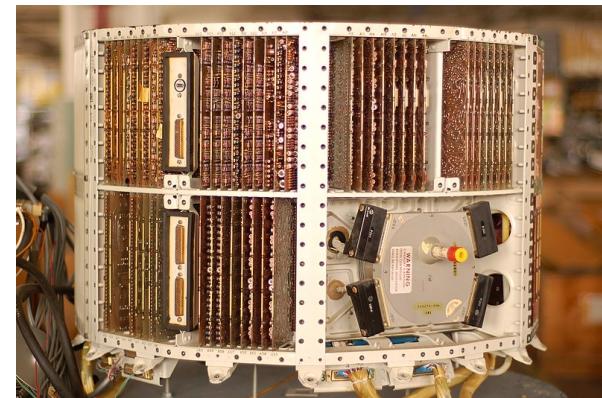
# History of Embedded Systems

- In 1961, Charles Stark Draper developed an integrated circuit to reduce the size and weight of the Apollo Guidance Computer at MIT. The first computer to use ICs, it helped astronauts collect real-time flight data.
- In 1965, Autonetics, now a part of Boeing, developed the D-17B, the computer used in missile guidance system. It is widely recognized as the first mass-produced embedded system.
- In 1968, the first embedded system for a vehicle was released; the Volkswagen 1600 used a microprocessor to control its electronic fuel injection system.

[What is an Embedded System? \(techtarget.com\)](https://www.techtarget.com/whatis/definition/embedded-system)



The DSKEY input module (right) shown alongside the Apollo Guidance Computer's main casing (left).



Autonetics D-17 guidance computer from a Minuteman I missile.

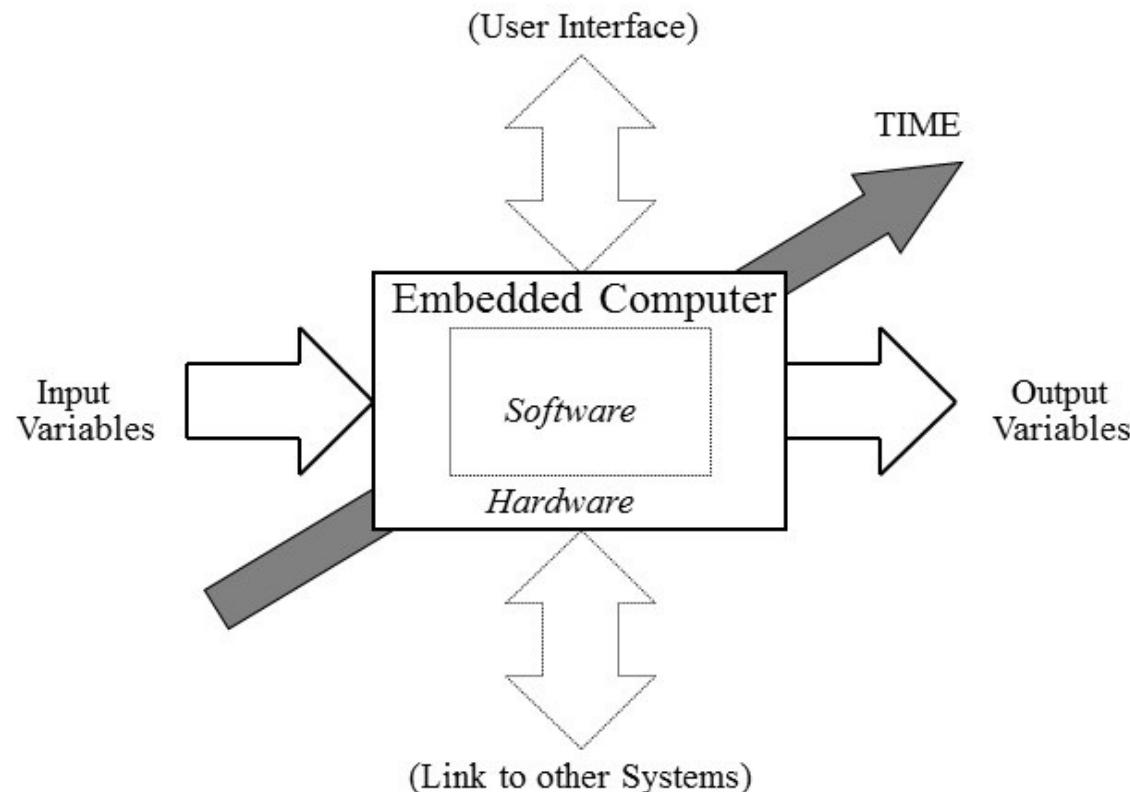
# History of Embedded System

- In 1971, Texas Instruments developed TMS1000, the first microcontroller
  - Commercial in 1974
  - 4 bit, ROM, RAM, 2\$ in bulk order
- In 1971, Intel released commercially the 4004, 4-bit microprocessor used in calculators and small electronics
- In 1972, Intel released the 8080, 8-bit microprocessor
- In 1978, Intel released the 8086, 16-bit microprocessor and started the x86 series.

# History of Embedded System

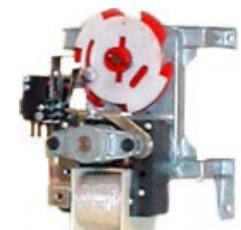
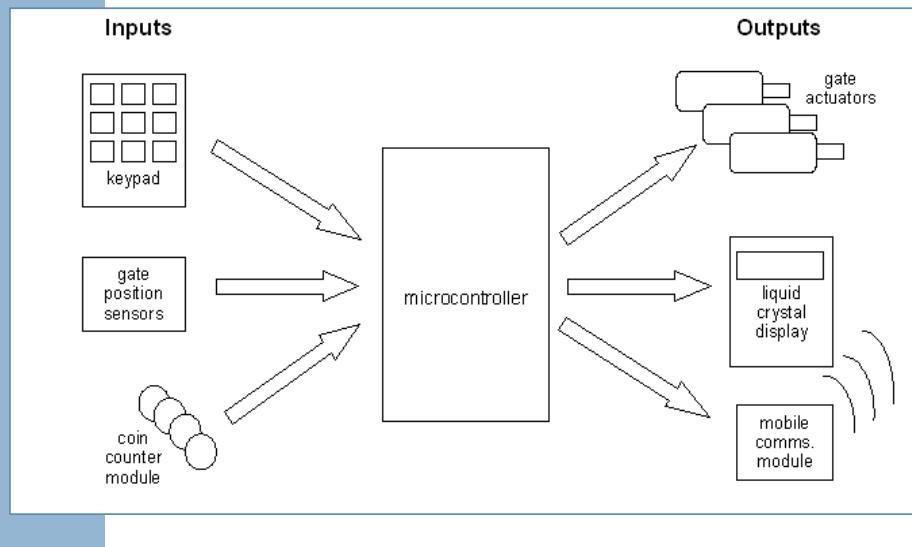
- In 1987, the first embedded operating system, the real-time VxWorks, was released by Wind River.
- In 1996, Microsoft released Windows Embedded CE.
- Late 1990s, the first embedded Linux products began to appear.

# แผนผังอย่างง่ายของระบบฝังตัว



# เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ

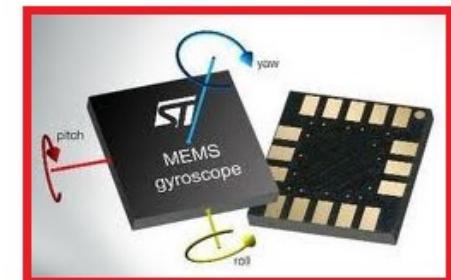
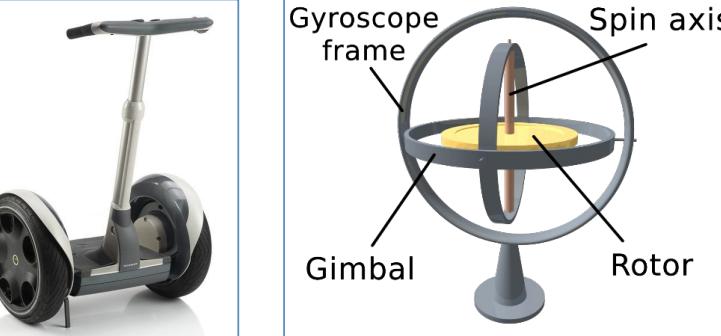
- เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เป็นตัวอย่างที่ดีของระบบฝังตัว โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นหัวใจสำคัญของเครื่อง
- อุปกรณ์อินพุต ได้แก่ ปุ่มกดและเครื่องยอดเหรียญ
- อุปกรณ์เอาต์พุต ได้แก่ หน้าแสดงผลและมอเตอร์สำหรับควบคุมการจ่ายสินค้า
- การติดต่อสื่อสาร เช่น 3G/4G



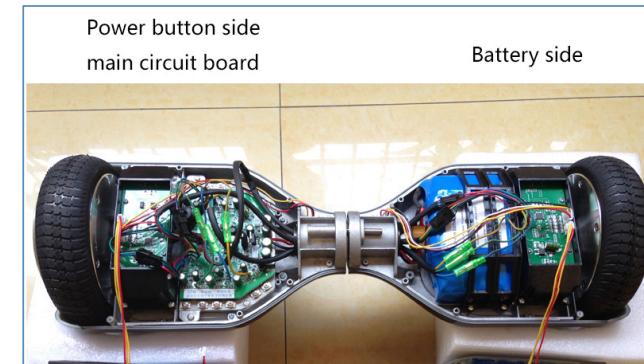
$\pi$

# Segway

- Segway เป็นพาหนะชนิดส่วนบุคคล
- ใช้ gyroscopes เพื่อการรักษาระดับในแนวนอน
- เมื่อไจโรตรวจพบความไม่สมดุล มอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามสัดสัծที่วัดได้ เพื่อไม่ให้เอียงจนล้ม
- เมื่อน้ำหนักกลับสมดุล มอเตอร์จะหยุดหมุน
- ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ และตัวกระตุ้น (Actuator)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gyroscope\\_operation.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gyroscope_operation.gif)



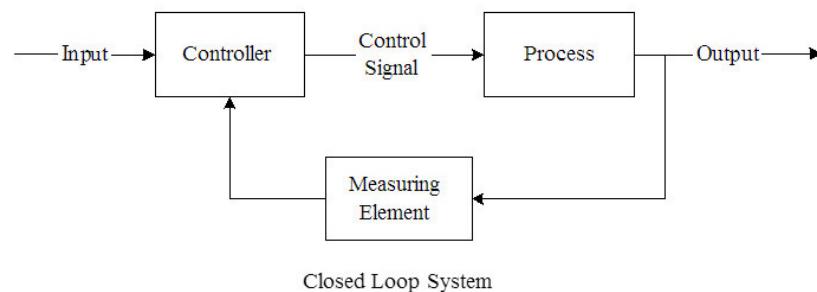
Gyroscope



# ระบบควบคุม (Control Systems)

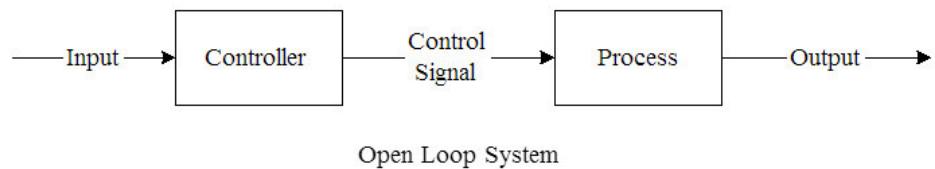
## Closed loop control systems

- ใช้ค่าจากเซนเซอร์เพื่อการควบคุมที่แม่นยำ
- เปรียบจุดปัจจุบันกับจุดที่ควรจะเป็น
- เซน ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ
- มีความแม่นยำ
- มักใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพ

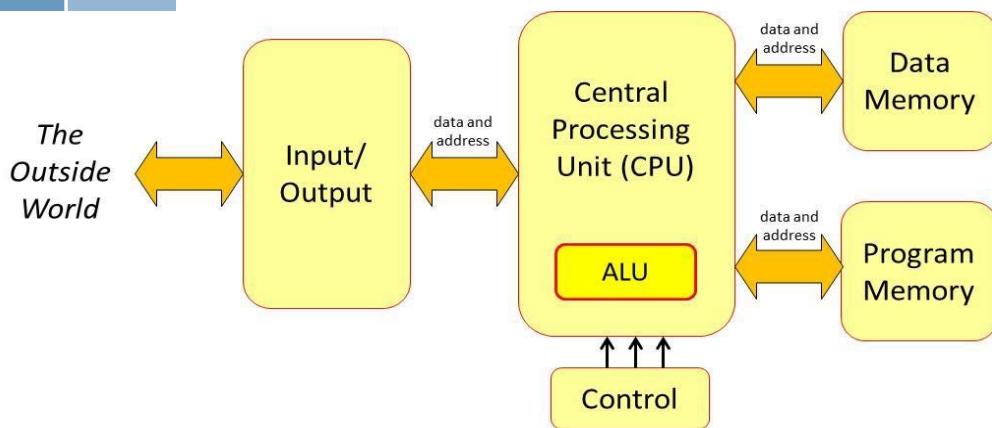


## Open loop control systems

- ไม่ใช้สัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์
- ใช้เซนเซอร์ที่ตั้งค่ามาแล้ว
- เซน การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
- สร้างง่ายกว่า



# ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor)

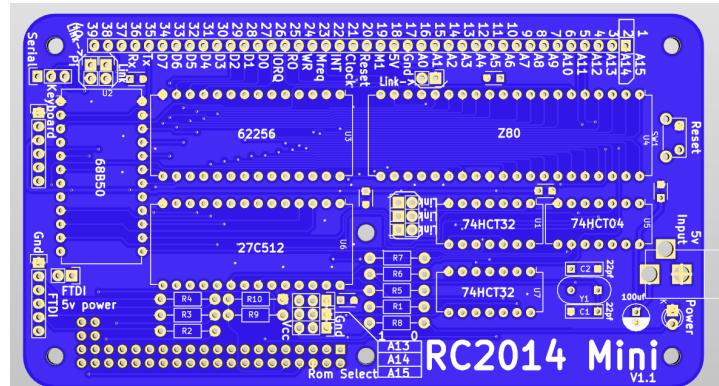


- Intel : 4004, ..8080, ..x86
- Freescale : 6800, ..PowerPC
- ARM, DEC, SPARC, MIPS ...

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

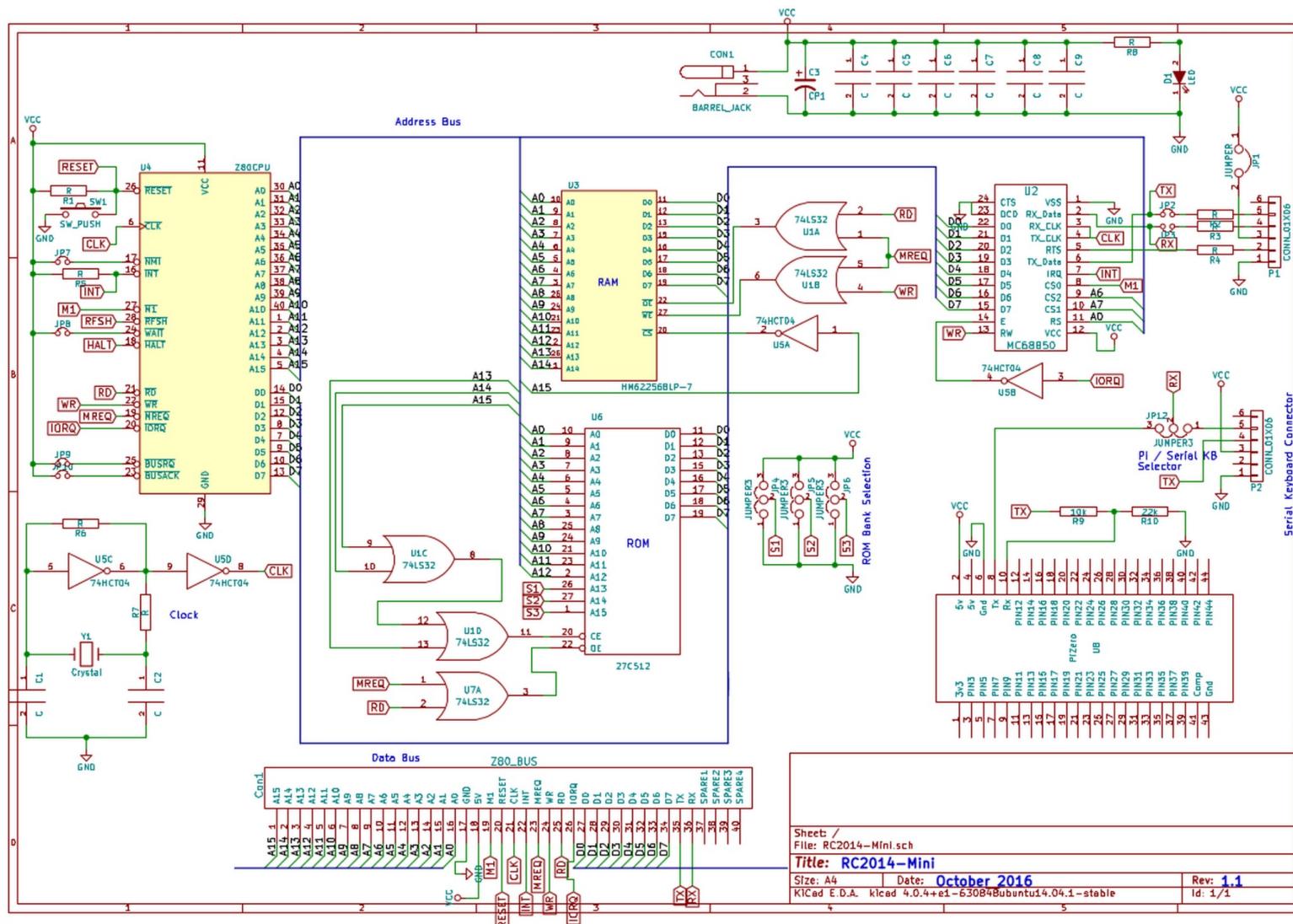
# RC2014 Mini - Single Board **Z80** Computer Kit

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



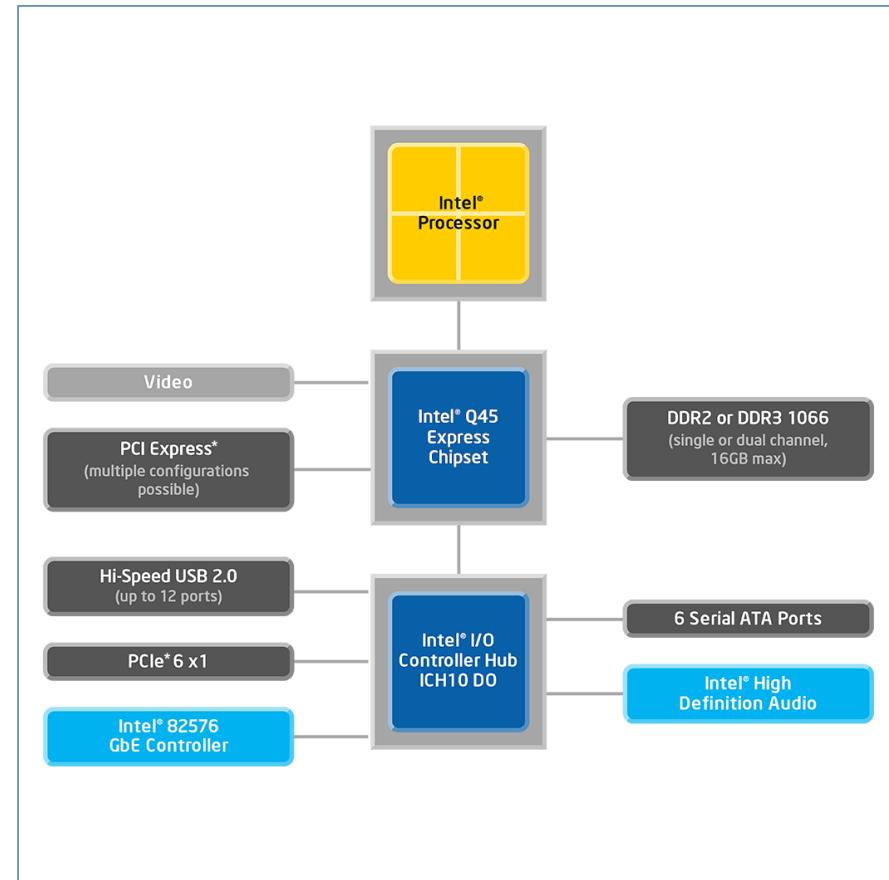
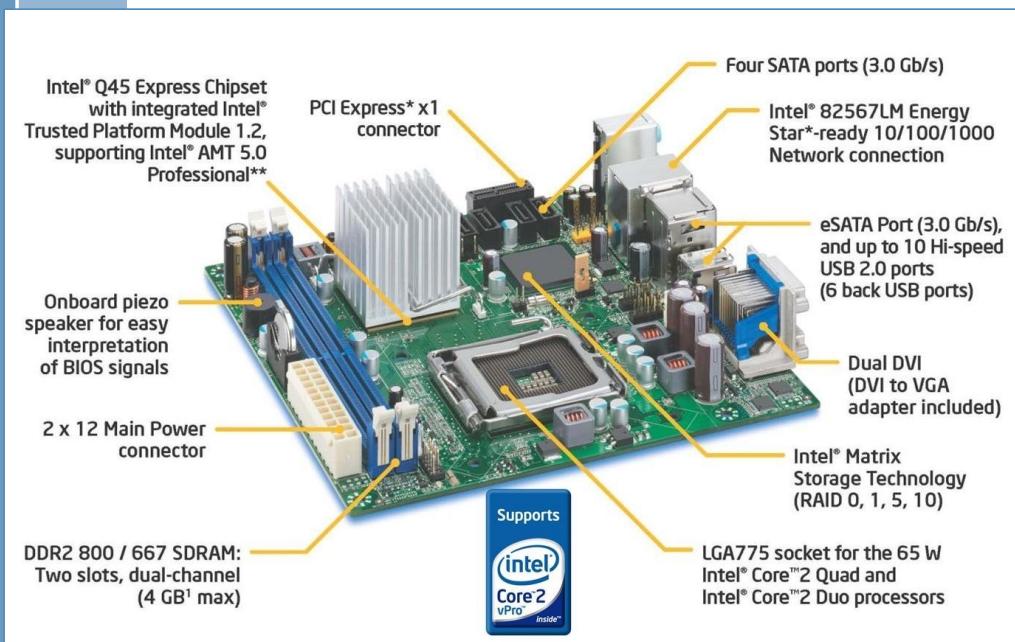
<https://www.tindie.com/products/semachthemonkey/rc2014-mini-single-board-z80-computer-kit/>

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

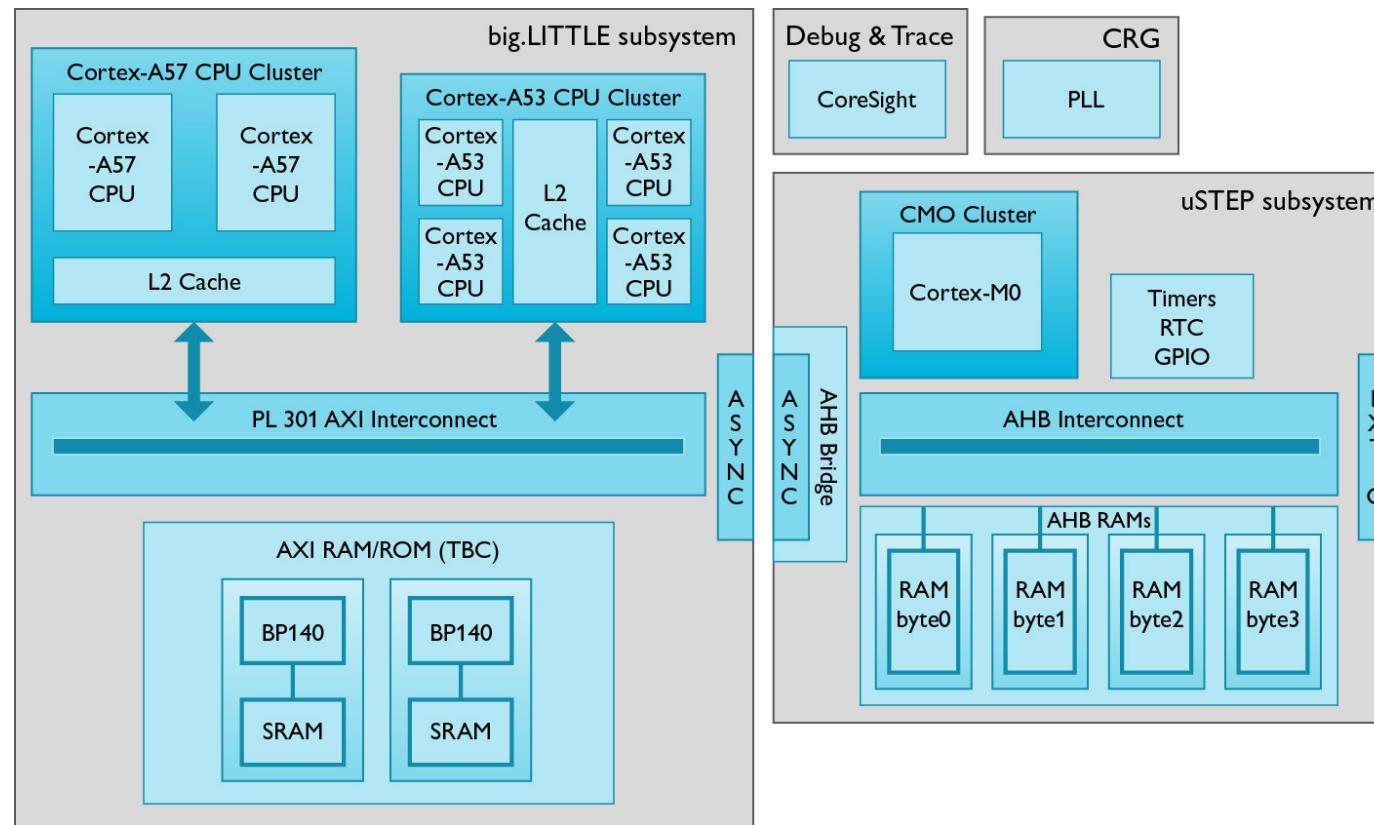


$\pi$

# Intel Core2 และ Q45 Chipset

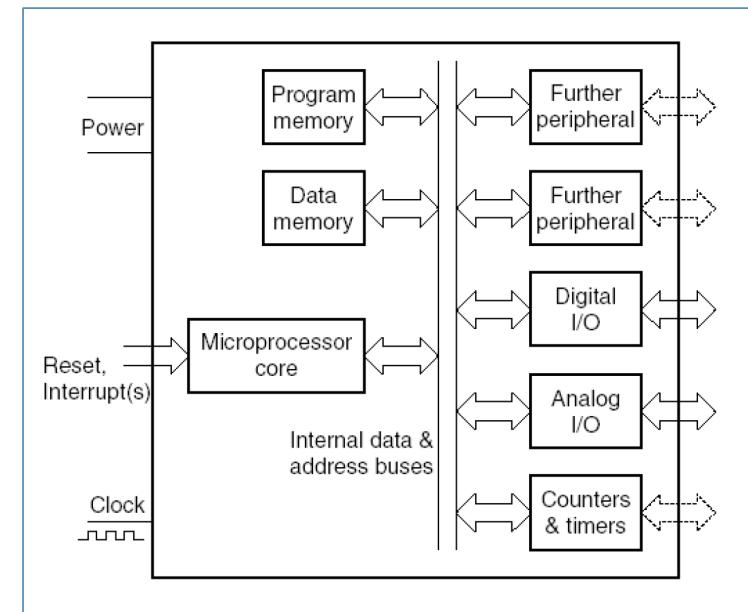


# Cortex-A57 Block Diagram



# ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

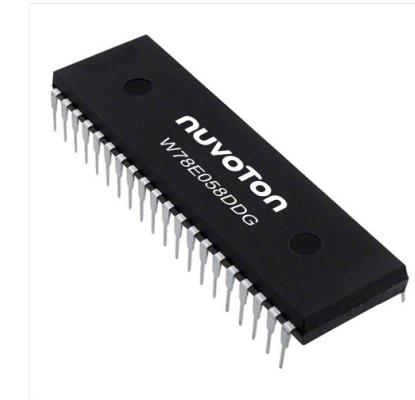
- ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่จำเป็นของคอมพิวเตอร์ ได้แก่ โปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ และ อินพุต-เอาต์พุต
- ใช้เพื่อควบคุมสิ่งต่างๆ
- PIC, 8051, ARM7TDMI, Cortex
- Arduino



$\pi$

# Intel MCS-51 (8051 Microcontroller)

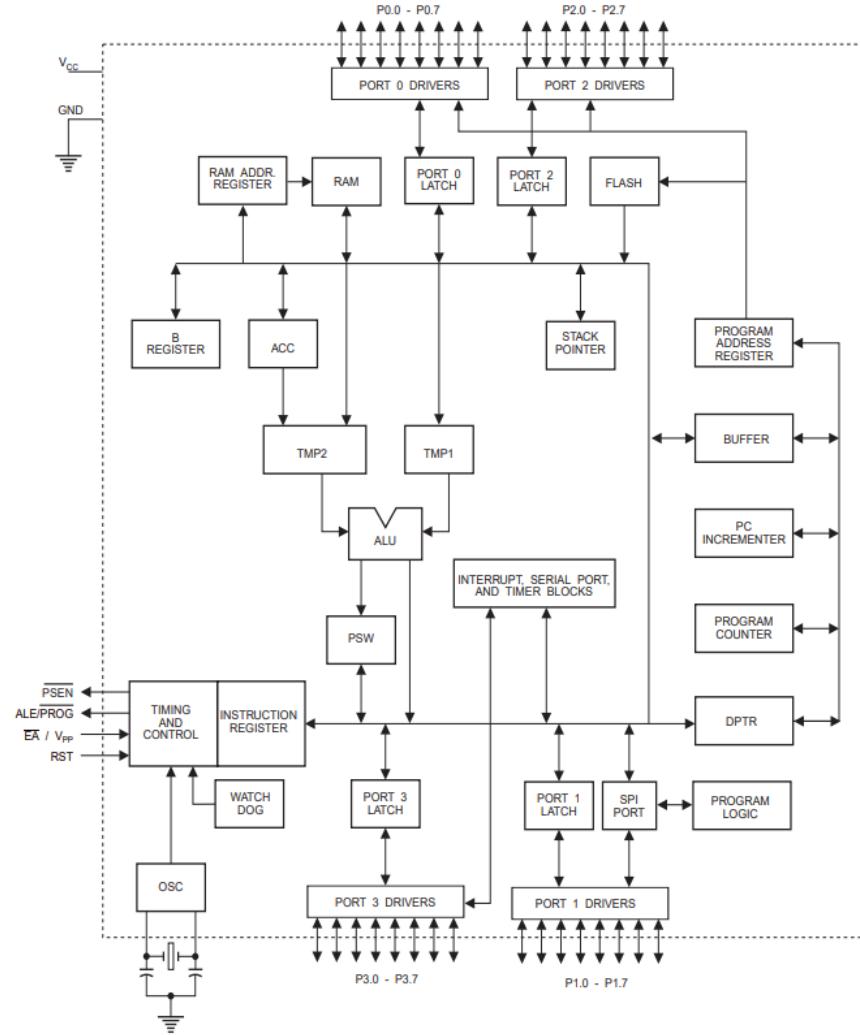
Part No.	W78E058DDG
Flash (Kbytes)	32
SRAM (Kbytes)	512
ISP ROM (Kbytes)	4
I/O	up to 36
Timer (16-bit)	3
Connectivity-UART	1
Connectivity-SPI	-
Connectivity-I <sup>2</sup> C	-
PWM (8-bit)	-
ADC (10-bit)	-
INT	4
ISP	✓
Special Function	6T/12T option, Extra I/O port
Operating Temp. Range (°C)	-40 ~ +85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



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

$\pi$

### Block Diagram



$\pi$

# 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/>

$\pi$

## Step 1 Fitbit Flex Teardown



- So many goodies in one package! The Fitbit Flex comes with the following:
  - Two adjustable wristbands: one large, one small
  - Wireless sync dongle
  - Charging cable
- The Flex tracker sports some cool tech specs, too.
  - Bluetooth 4.0 syncing
  - Memory to store 30 days of data
  - 5-day battery life

$\pi$

## Step 2



- With less effort than [peeling an orange](#), we peel the Fitbit Flex tracker out of the flexible wrist strap.
- Although it seems like a small consideration, we appreciate how easy it is to separate the electronics from the wrist strap—the component most likely to wear out.

$\pi$

### Step 3



- Normally we would compare the device to other similar devices. Unfortunately, we don't really have much to compare the Flex to. How about a half dollar?
- The Flex may be slightly larger than a half dollar (though smaller than half a dollar bill), but it will cost you 200 of them.
  - i* If anyone pays for a Fitbit Flex with half dollars, we would love to hear about it.
- The back of the Flex reveals the model number, FB401, and provides a nice insertion arrow. It's not quite disassembly information, but it's something, right?

$\pi$

## Step 4



- The first things we notice on the Flex are the waterproof contacts. This is good news for those who might be sweating while wearing, or tearing down, the Flex.
  - ⓘ For the record, the Flex claims to be watertight up to 10 meters, or 264 simultaneous Gatorade showers.
- This tiny gizmo fits snugly in its USB charger when its lithium-polymer battery needs juice.
  - ⓘ Not to worry, it won't take the place of your smartphone on the charger each night—this little gadget has a reported battery life of 5 days.

$\pi$

## Step 5



- With no visible point of entry, we figure the path to victory can be carved with judicious application of sharp tools.
  - i* Around here, we're big fans of [Dozuki](#). We're also big fans of dozukis. When saw comes to gadget, you know it's a teardown.
- ⚠ Remember that teardowns are for fun and should not be followed as disassembly instructions.  
Please do not cut into your device with a dozuki.**

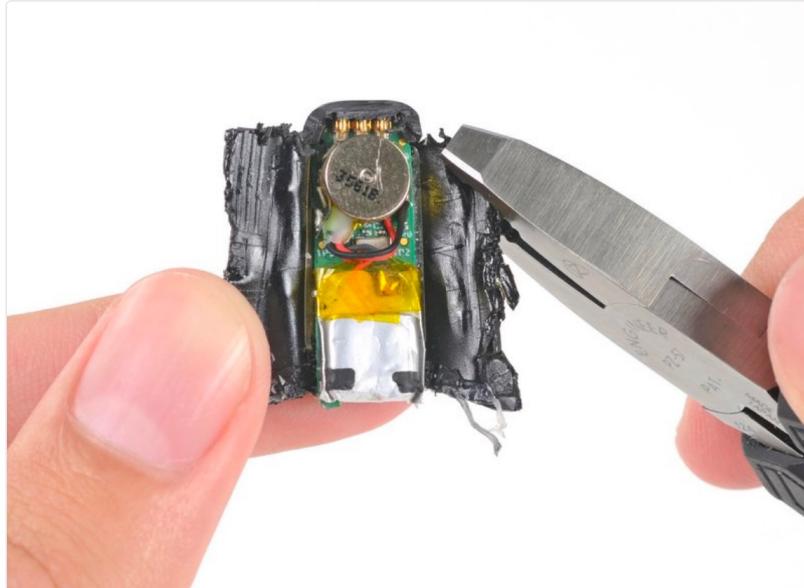
## Step 6



- Our first extraction: the light guides for the LEDs that pass for a display on this slim, dare we say emaciated, unit.
  - Next out is the Bluetooth antenna, used for communicating with devices and the accompanying dongle.
- ⓘ* Oops! We appear to have a tiny hitchhiker; that's a piece of the motherboard hanging on to the antenna.
- To those of you following along at home: you don't need to chop up your PCB.
  - P.S. Don't follow along at home.

$\pi$

## Step 7



TOOL USED ON THIS STEP:  
**Rotary Tool**

\$49.99



- Pulling components out through the top of the Flex worked for a little while, but it's time to get to the good stuff.
  - Using our handy [rotary tool](#), we cut through the plastic casing of the Flex tracker.
  - Well hello there, Rico Suave! Peeling back the Flex's stylish plastic jacket reveals the components we've been looking for.
- ⓘ Repairability update: This little guy is never, [ever](#), [ever](#) going back together.

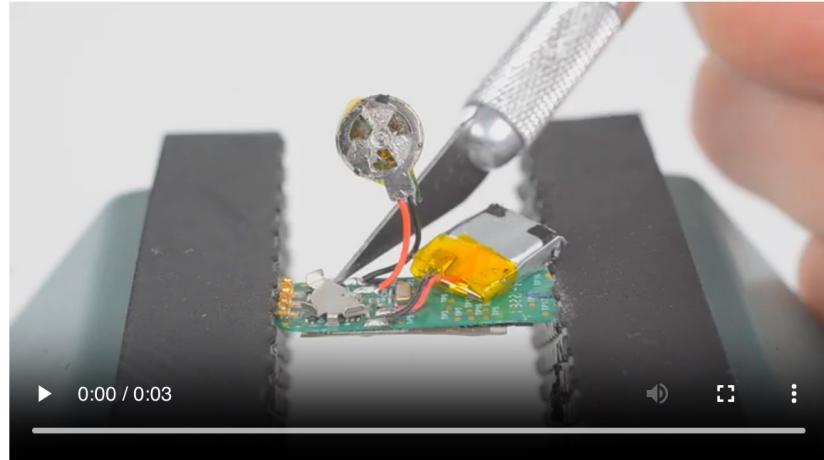
## Step 8



- The main board slides right away from the contact pins. Now we can get to the juicy bits.
- Small and encased in a thin sheet of metal tape, the battery is soldered to the motherboard. By this point, a replaceable battery is the least of our worries.
- We're getting some [good vibrations](#) from the prominent vibrator that functions as an alarm.

$\pi$

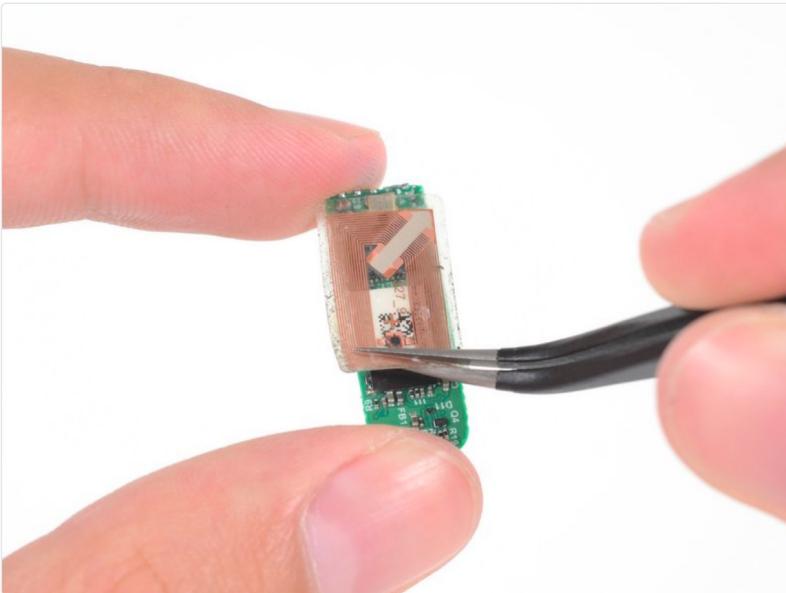
## Step 9



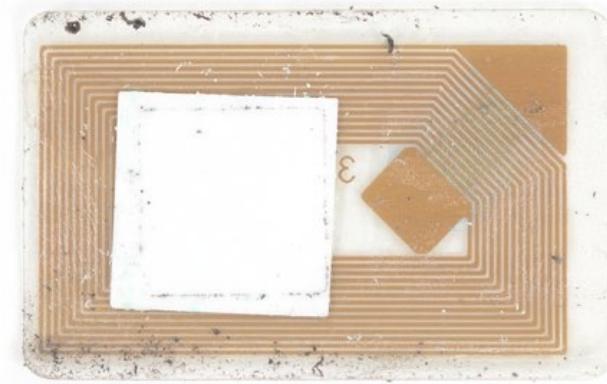
- This is how your vibrator works in your Fitbit Flex.

$\pi$

## Step 10

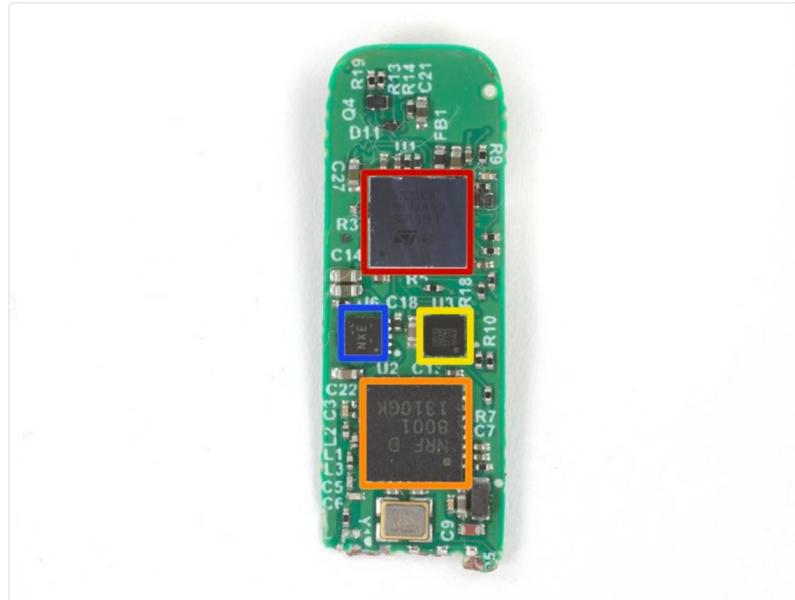


- Stuck right on to the front of the board we find a near field communications (NFC) antenna.
- The NFC tag enables a tap launch of the Flex tracker's associated mobile app with "select NFC-enabled Android devices."
- *(i)* "It's like magic."
- This little guy looks like a likely candidate for the NFC controller.



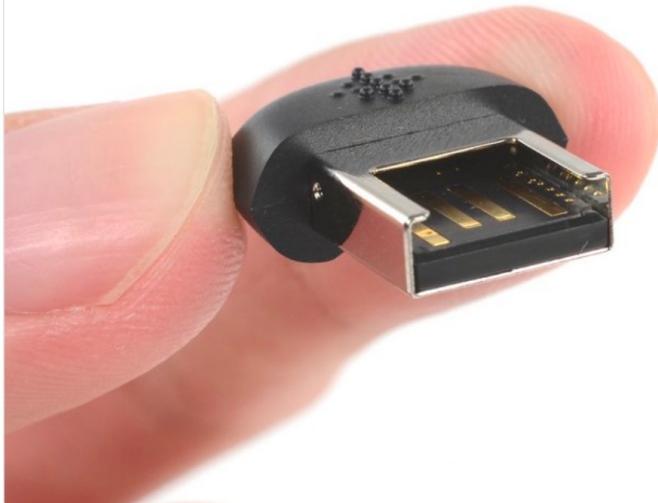
$\pi$

## Step 11



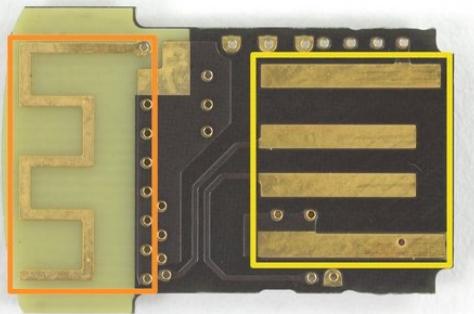
- The motherboard flexes to show us what it's repping:
  - STMicroelectronics [32L151C6](#) Ultra Low Power ARM Cortex M3 Microcontroller
  - Nordic Semiconductor [nRF8001](#) Bluetooth Low Energy Connectivity IC
  - STMicroelectronics [LIS2DH](#) 3-Axis Accelerometer
  - Charger IC: TI [BQ24040](#)

## Step 12

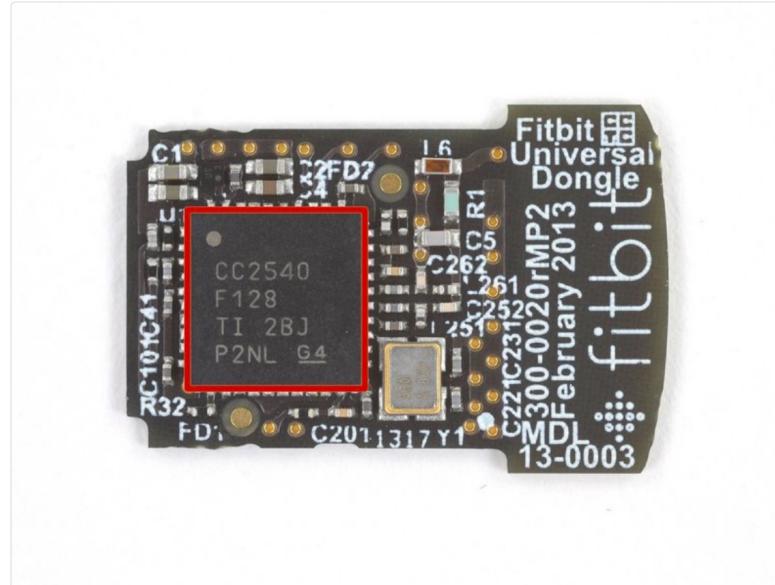


- We just couldn't keep our scalpels to ourselves, so we ripped into the Flex's dongle as well.
- Plastic aside, we get to the goodies.
- We quickly free the dongle board from the metal casing of the USB plug.

$\pi$



### Step 13



- Enough lolligagging, let's *cut* to the chase. This diminutive USB board houses all of the hardware needed to communicate with the Flex — and your computer:
  - Texas Instruments [CC2540F128](#) 2.4 GHz Bluetooth Low Energy SoC
- On the contact side:
  - BLE Antenna
  - USB connection contacts

$\pi$

## Step 14

 Edit



- Fitbit Flex Repairability Score: **2 out of 10** (10 is easiest to repair)
  - Solid waterproofing, no moving parts, and lightweight construction make the Flex a very durable device, with the potential to last a long time.
  - The wrist strap is similarly constructed and can be easily replaced.
- It's impossible to open the device without destroying it or at least compromising the waterproofing, making internal repairs infeasible.
- The Flex's inaccessible (and non-replaceable) battery limits the life of the device.

# การพัฒนาโปรแกรม

- Machine Code
- Assembly
- High Level Language (Bare Metal)
  - C, C++
  - Hardware Abstraction Layer (HAL)
- Real-time operating system
  - FreeRTOS, ThreadX, 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.

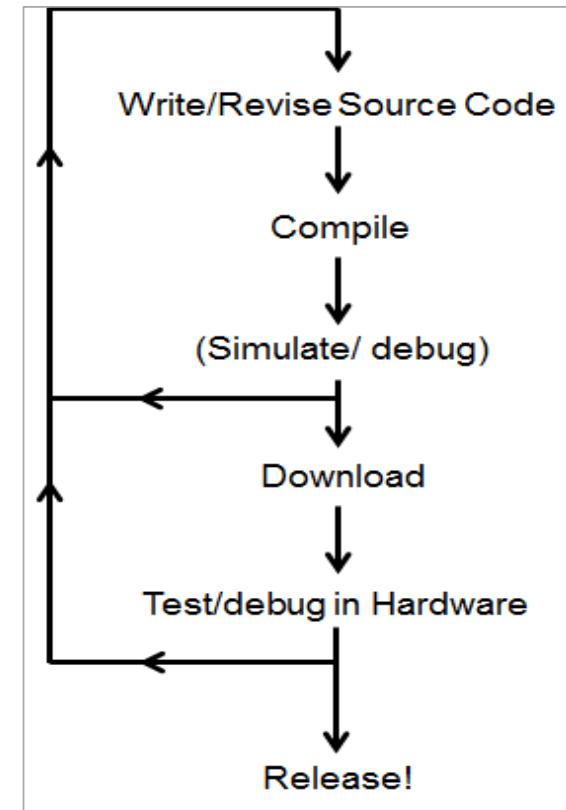
**Solution:** First, we perform a 32-bit read, bringing N into Register R1. Second we multiply by 5 and add 10, and lastly we store the result into M. Since the value gets larger, overflow could occur. This solution ignores the overflow error.

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

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

# กระบวนการพัฒนา

- เขียนโค้ด
- คอมไพล์ให้ได้ binary machine code ด้วย คอมไพล์เลอร์
- ดาวน์โหลด binary image ลง สูไมโครคอนโทรลเลอร์



# ประวัติเกี่ยวกับ ARM

- ในปี 1981 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ผลิตโดย Acorn Computer ได้รับความนิยมในการใช้งานในโรงเรียน และมหาวิทยาลัยในสหราชอาณาจักร ซึ่งเป็น คอมพิวเตอร์ 8 บิต สร้างด้วยเทคโนโลยี MOS
- ในช่วงเวลาเดียวกัน IBM ได้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ มีประสิทธิภาพสูงกว่า ซึ่งสร้างโดยไมโครโปรดเซสเซอร์ ของ Intel ขนาด 16 บิต ออกขาย
- ในช่วงปี 1980s ยอดขาย IBM PC เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้คุ้นเคยขนาดเล็กขายเครื่องได้น้อยลง



## ประวัติเกี่ยวกับ ARM

- นักออกแบบที่ Acorn ตระหนักว่า
  - พวกรู้ความสามารถออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ไม่ต้องซื้อจากบริษัทอื่น
  - อนาคตของพวกรู้อาจไม่ใช่การเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งเครื่อง
  - ไม่ต้องมีโรงงาน Silicon ผลิตชิป
  - ขาย IP (Intellectual Property)
- พวกรู้จัดตั้ง 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.

π

# 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.

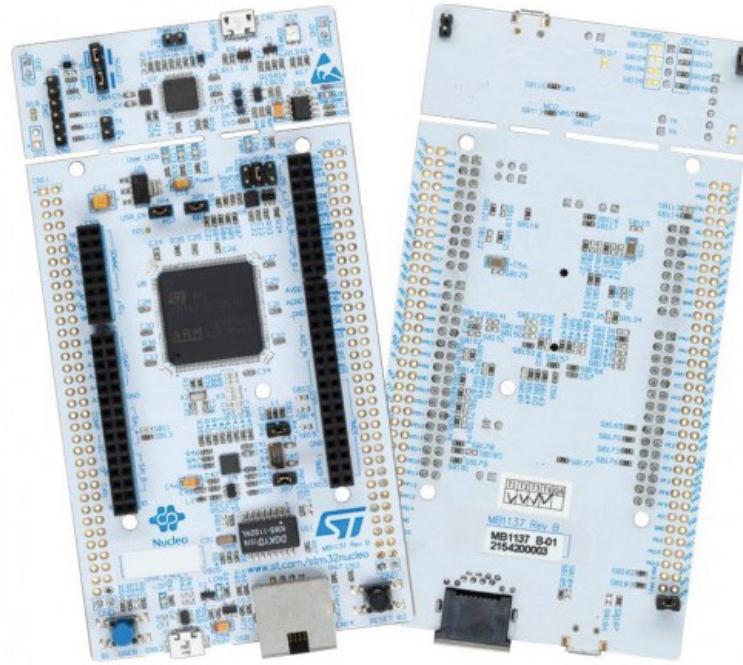
The purchase -- poised to become the biggest semiconductor deal in history when it was announced in September 2020 -- has drawn a fierce backlash from regulators and the chip industry, including Arm's own customers. The U.S. Federal Trade Commission sued to stop the transaction in December, arguing that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

# สรุป

- ในระบบฝังตัวมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและตัดสินใจ
- คอมพิวเตอร์ในระบบฝังตัวมักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์
- ซึ่งประกอบด้วยไมโครprocเซสเซอร์คอร์ หน่วยความจำ และอุปกรณ์ต่อพ่วง
- การออกแบบระบบฝังตัวเป็นการออกแบบรวมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
- ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตัวจะมีชุดคำสั่งไว้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม
- ใช้ภาษาระดับสูงในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นคอมไพล์ โคด เพื่อเปลี่ยนเป็น Binary ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าใจ
- ARM เป็นบริษัทที่พัฒนาไมโครprocเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่นที่นิยมใช้ในระบบฝังตัว

# 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/>

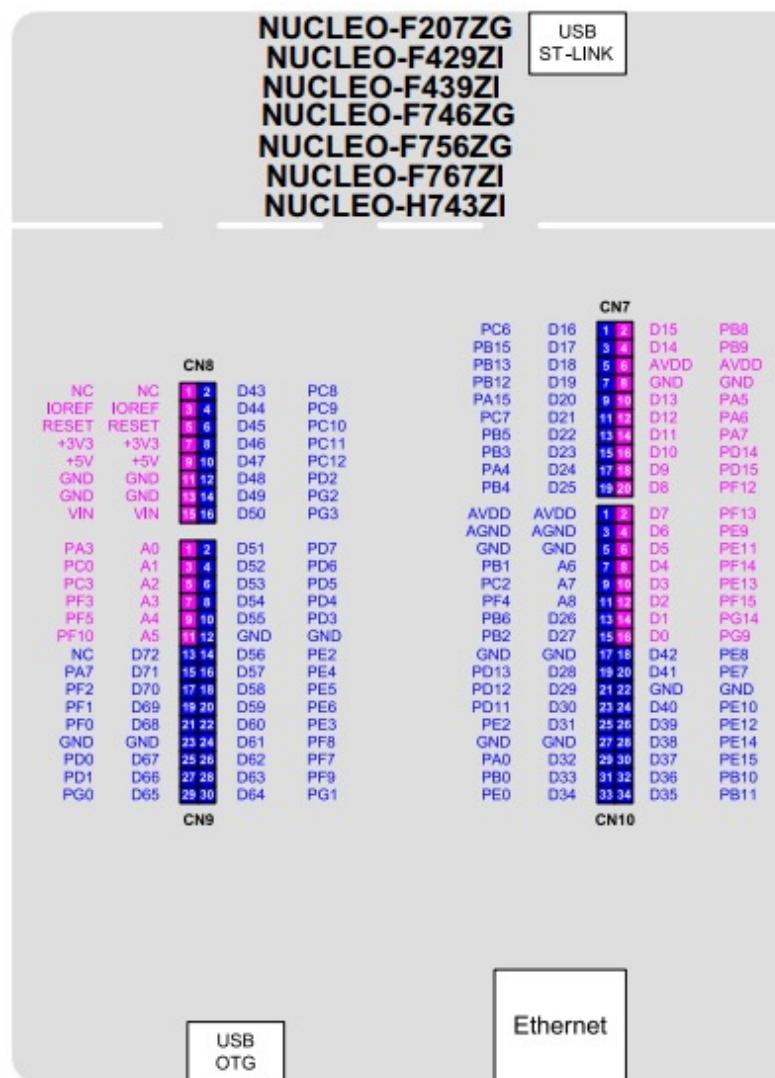
# คุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์

- 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
- 3x12 bit Analog to Digital converters
- 2x12 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

<https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f767zi.html>

$\pi$

# Pinout

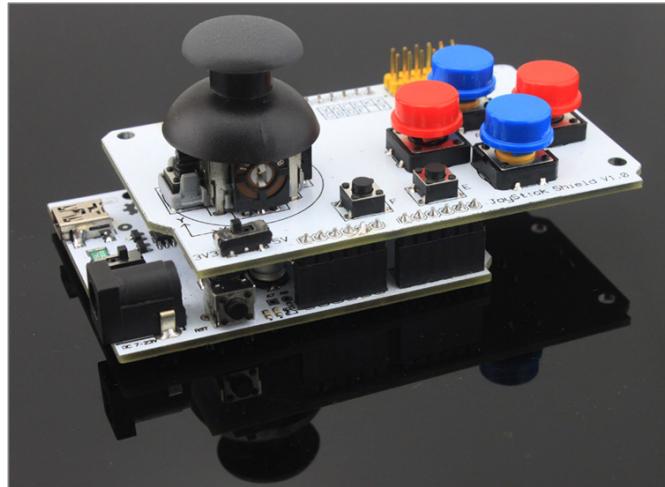
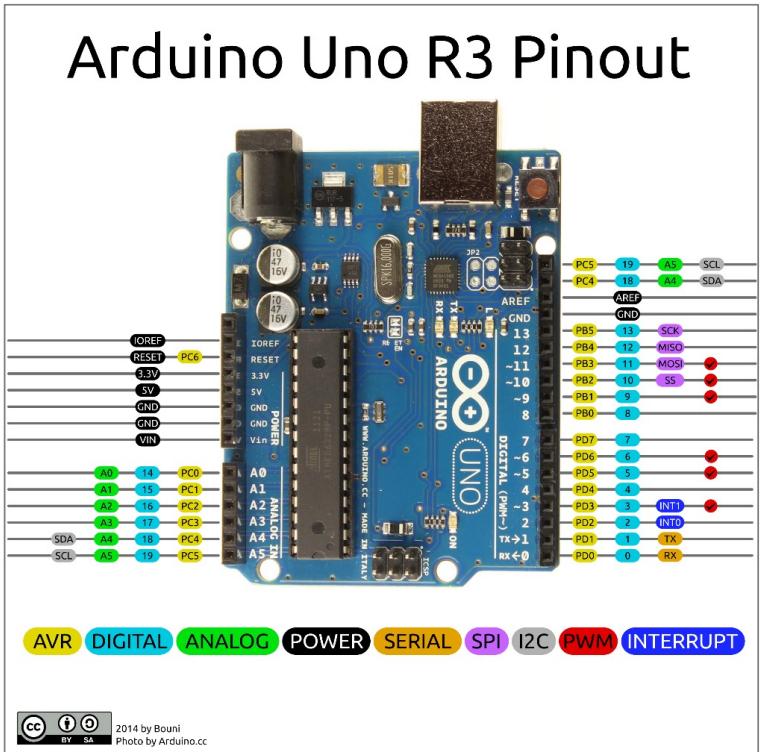


<https://goo.gl/T7CJRT>

■ Arduino subset of Zio = A0 to A5 and D0 to D15  
■ Zio extension = A6 to A8 and D16 to D72

$\pi$

# Arduino Uno R3 Pinout and Shield



$\pi$

## 32F746G Discovery



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

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

## B-L475E-IOT01A



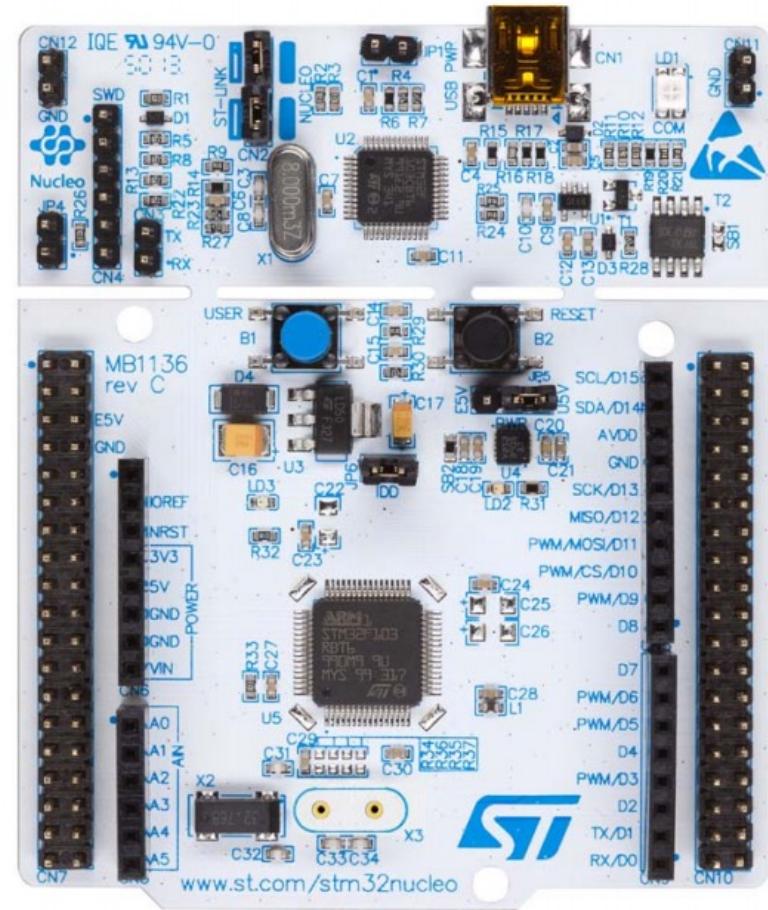
<https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l475e-iot01a.html>

<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

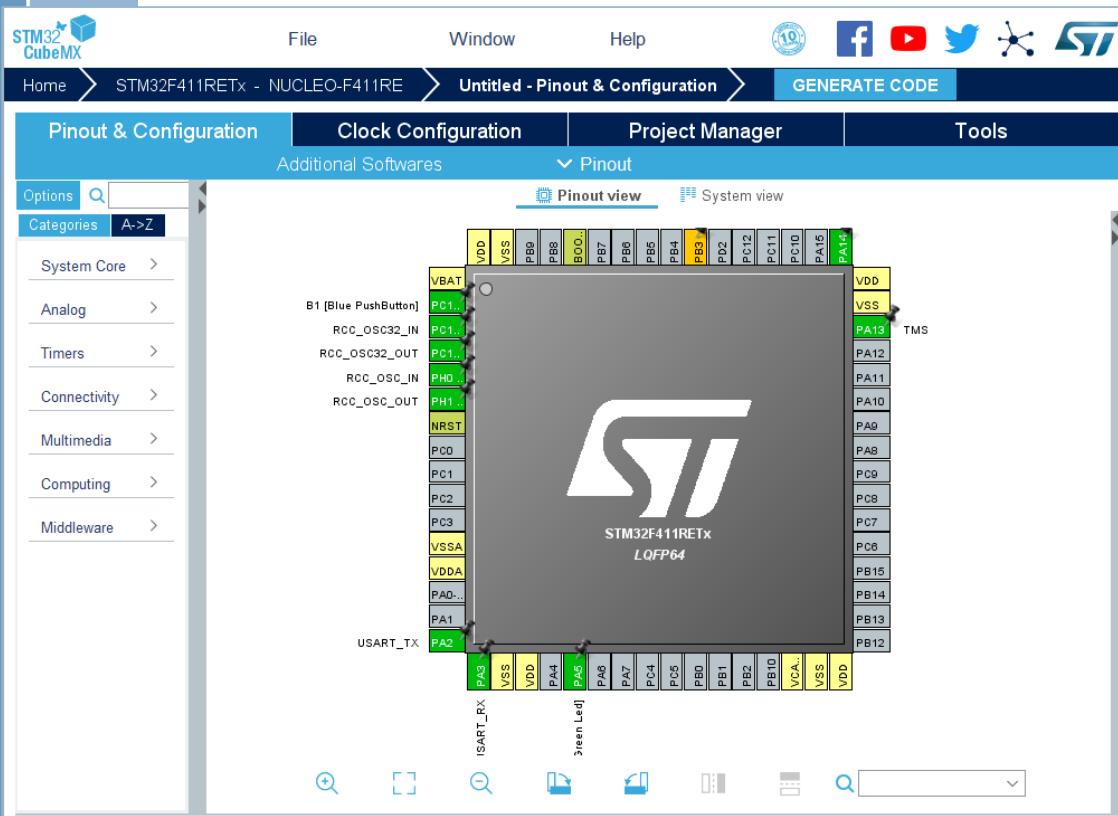
- บอร์ดสำหรับการทดลอง NUCLEO-L432KC
- ARM 32-bit Cortex-M4 CPU 80 MHz
- 256 KB Flash / 64 KB SRAM
- 1 user LED
- 1 reset push-button
- Board expansion connectors:
  - Arduino™ Nano V3
- Flexible power-supply options
  - ST-LINK, USB VBUS, or external sources
  - On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer 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®

$\pi$

# Toolchains

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



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



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