

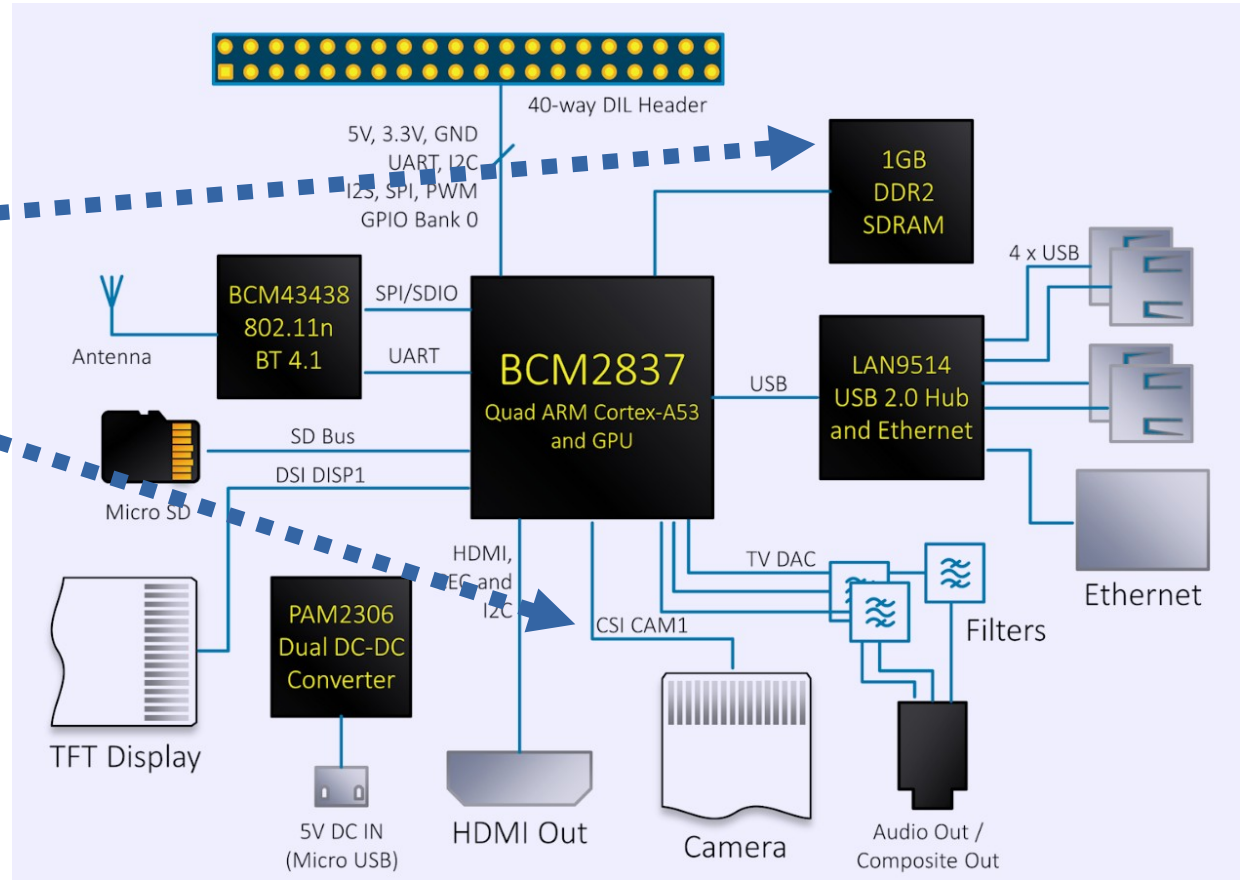
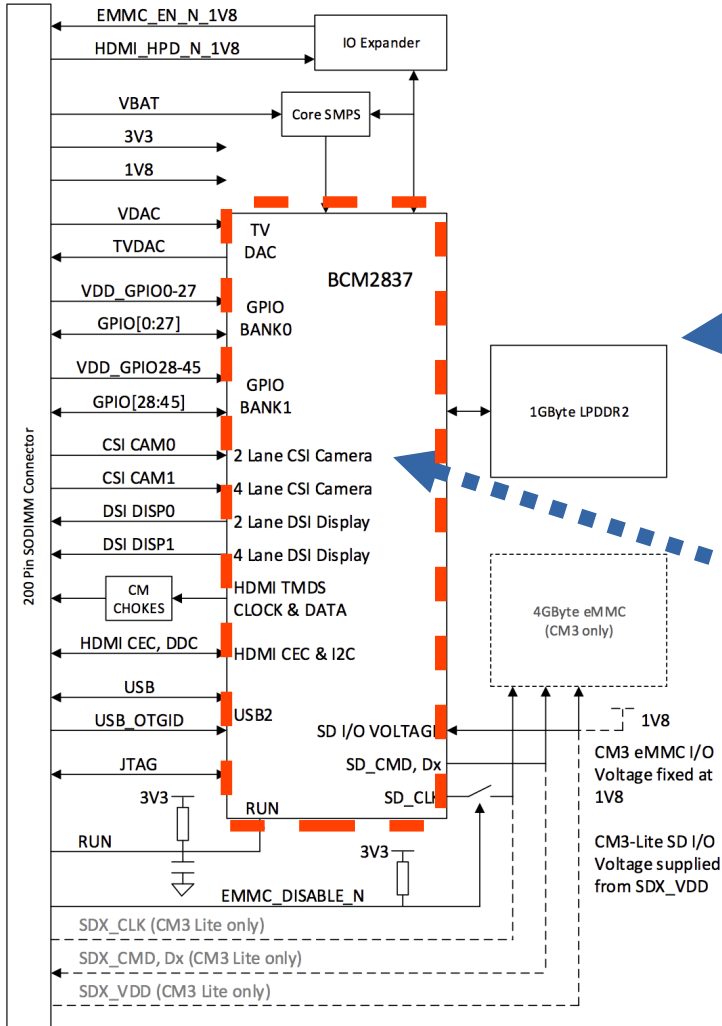
# องค์ประกอบคอมพิวเตอร์และภาษาแอสเซมบลี: กรณีศึกษา Raspberry Pi

รศ.ดร.สุรินทร์ กิตติธรรมกุล

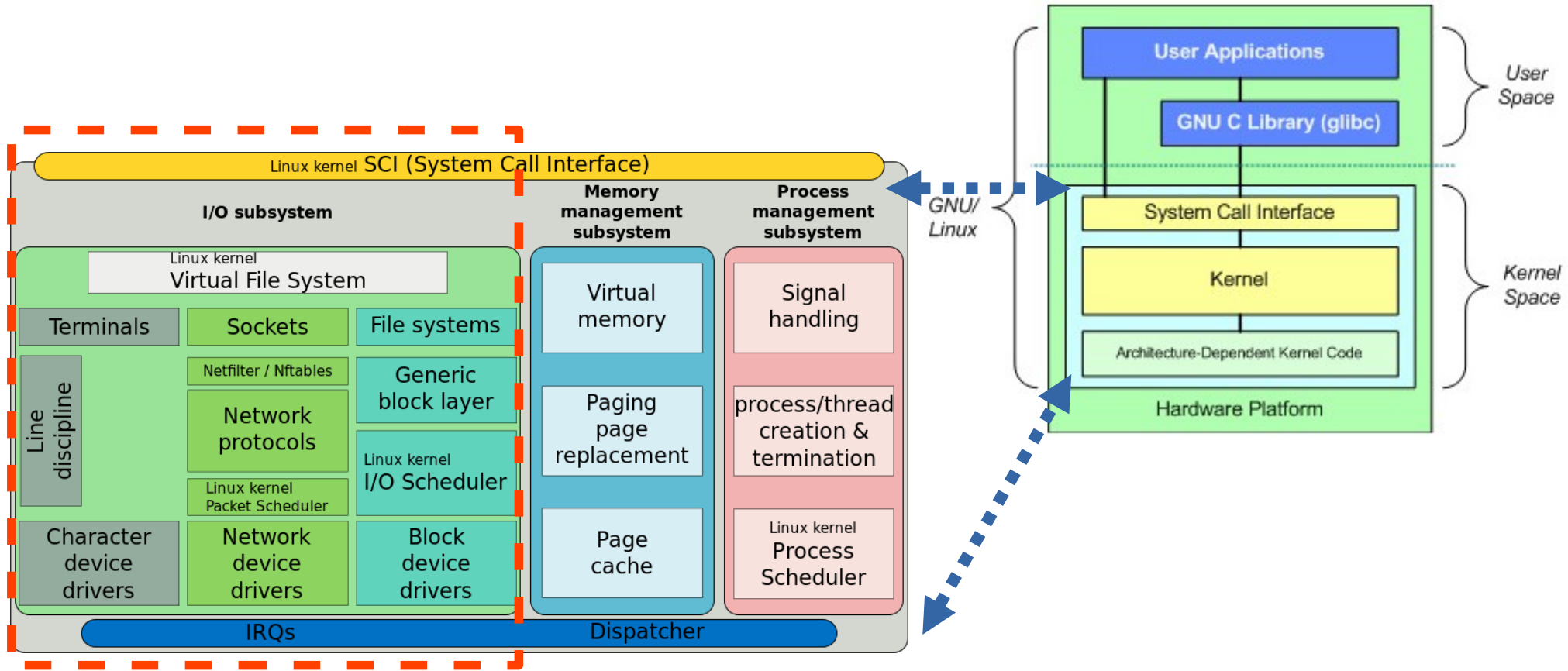
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# สารบัญ

- 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่
- 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก
- 6.3 สัญญาณ CSI สำหรับเชื่อมต่อกล้องขนาดเล็ก
- 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง
- 6.5 สัญญาณภาพและเสียงสำหรับจอทีวี
- 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ
- 6.7 สัญญาณ Ethernet สำหรับสายเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
- 6.8 สัญญาณ WiFi และ Bluetooth สำหรับการสื่อสารไร้สาย
- 6.9 หลักการ Memory Mapped Input/Output
- 6.10 หัวเชื่อมต่อ 40 ขา (40-Pin Header)
- 6.11 ขา GPIO (General Purpose Input Output)
- 6.12 การขัดจังหวะ (Interrupt)
- 6.13 การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access)
- 6.14 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ของบอร์ด Pi3



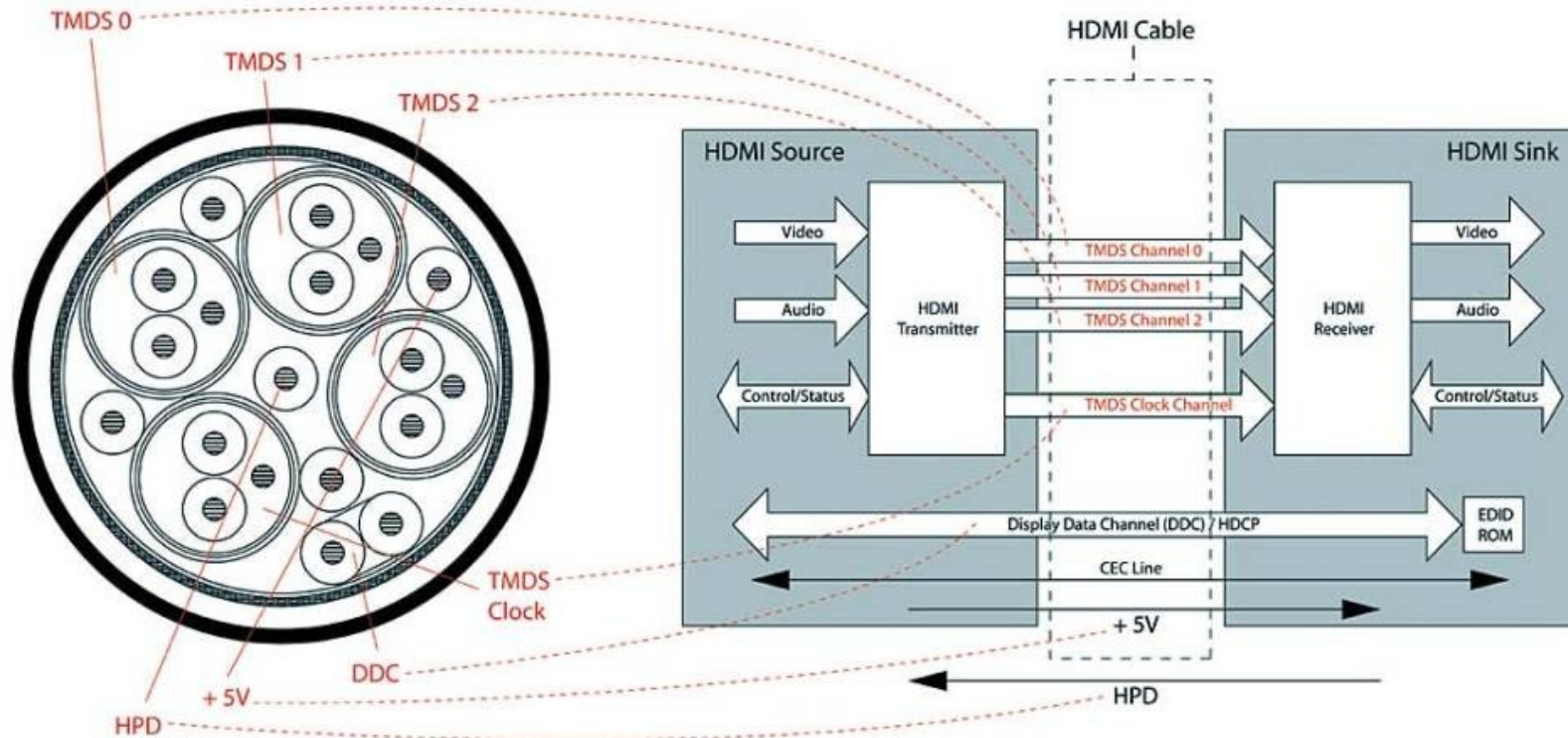
# Input/Output: Software Perspective



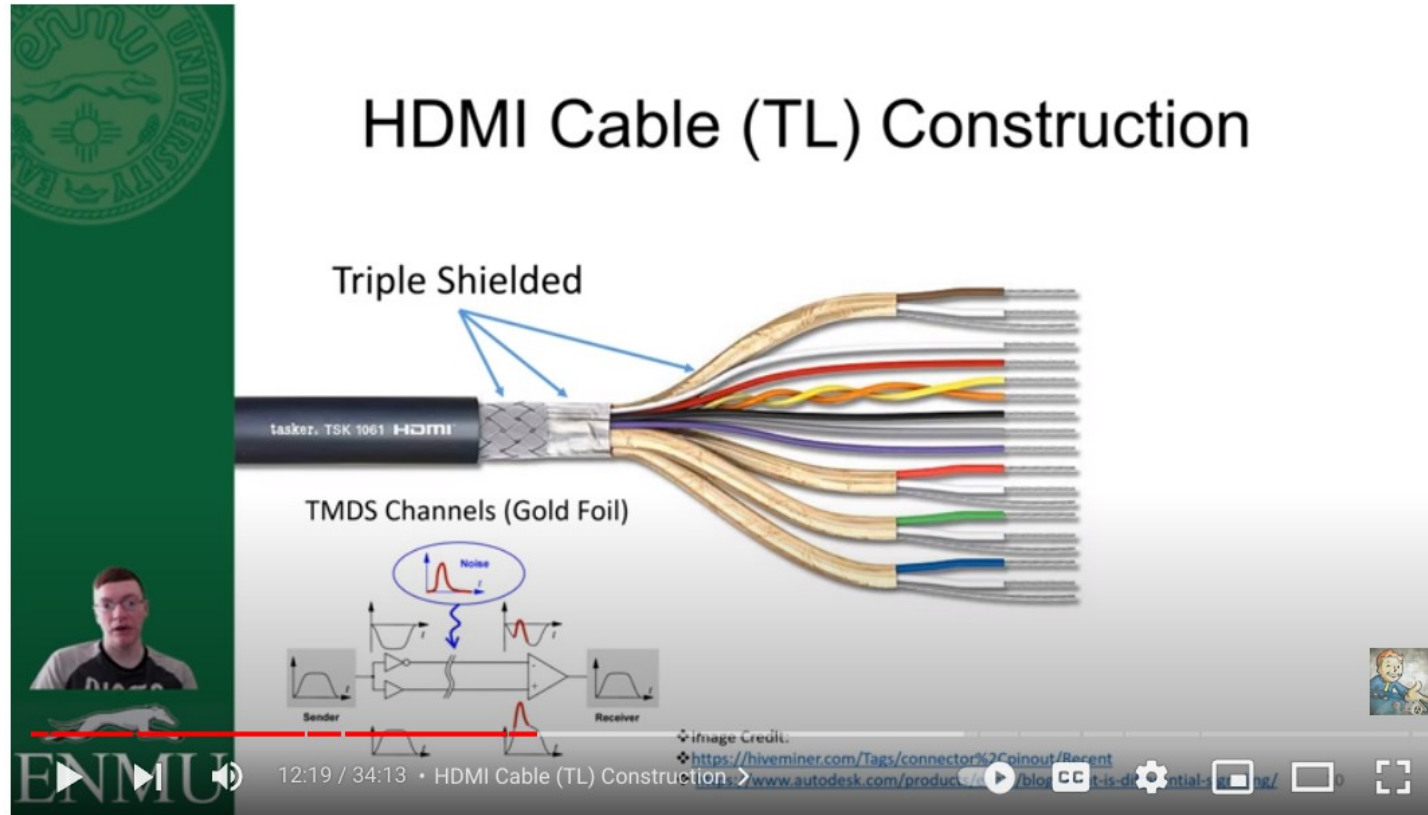
## 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่

- การเชื่อมต่อแบบ HDMI เป็นการถ่ายโอนสัญญาณแบบดิจิทัล สามารถส่งได้ทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงไปพร้อมๆ กันด้วยอัตราบิตเรตสูง ระดับบิตต่อวินาที ความละเอียดภาพที่นิยม คือ 1080 เส้น x 1920 จุด
- การเชื่อมต่อด้วยสัญญาณ HDMI เหมาะสำหรับการแสดงผลจากเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องเล่นมีเดีย (Media Player) ไปยังจอภาพความละเอียดสูงระดับเอชดี (HD) หรือสูงกว่าสำหรับจอความละเอียด Ultra HD
- HDMI เวอร์ชันล่าสุด คือ 2.1 ซึ่งพัฒนาเพื่อรองรับวิดีโอที่ละเอียดสูงเฟรมละ 8000 จุดต่อเส้นที่ 60 เฟรมต่อวินาที (8K60) และเฟรมละ 4000 จุดต่อเส้นที่ 120 เฟรมต่อวินาที (4K120) และเพิ่มถึงเฟรมละ 10,000 จุดต่อเส้น (10K) ซึ่งจะให้อัตราบิตเรตเพิ่มเป็น 48 กิกะบิตต่อวินาที

## 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่



## 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่



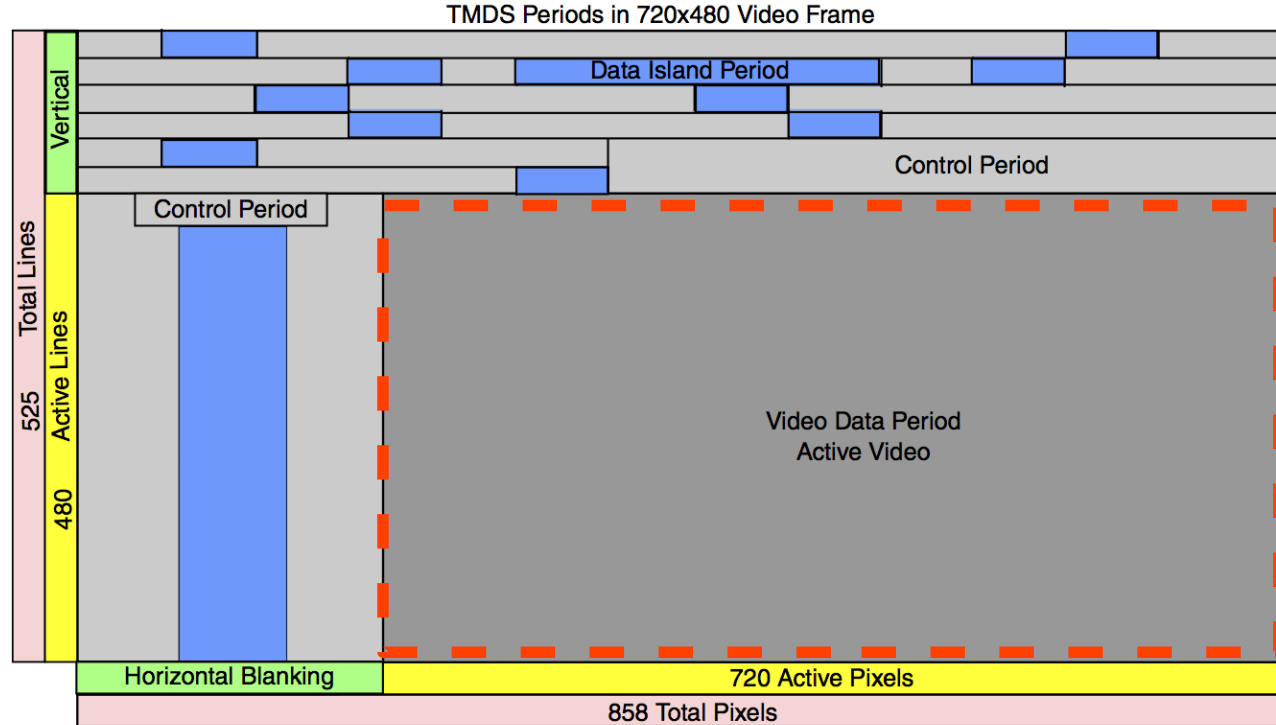
<https://www.youtube.com/watch?v=5acgSK0kWTE>

## 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่

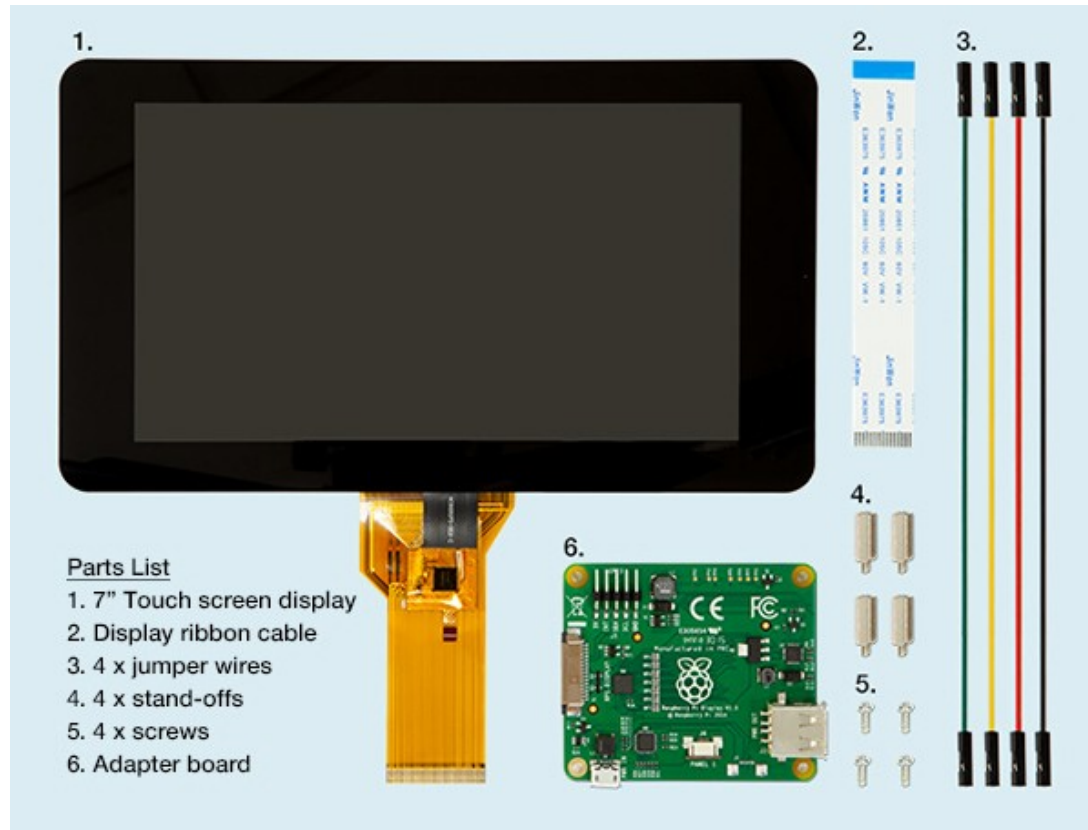
- สัญญาณ HDMI มีช่องสื่อสาร 5 ช่องแยกจากกัน ได้แก่
  - ช่อง TMDS (Transition-Minimized Differential Signaling) ช่อง TMDS จะส่งข้อมูลภาพวิดีโอ เสียง และข้อมูลเป็นดิจิทัล
    - } ช่วงส่งข้อมูลภาพ (Video Data Period) และ
    - } ช่วงส่งแพ็คเกจควบคุม (Control Period) สำหรับสัญญาณควบคุม เช่น สัญญาณ HSYNC และ VSYNC
  - ช่อง DDC (Display Data Channel) ใช้สื่อสารกับเครื่อง Media Player
  - ช่อง CEC (Consumer Electronics Control)
  - ช่อง ARC (Audio Return Channel)
  - ช่อง HEC (HDMI Ethernet Channel)



## 6.1 สัญญาณ HDMI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดใหญ่



## 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก

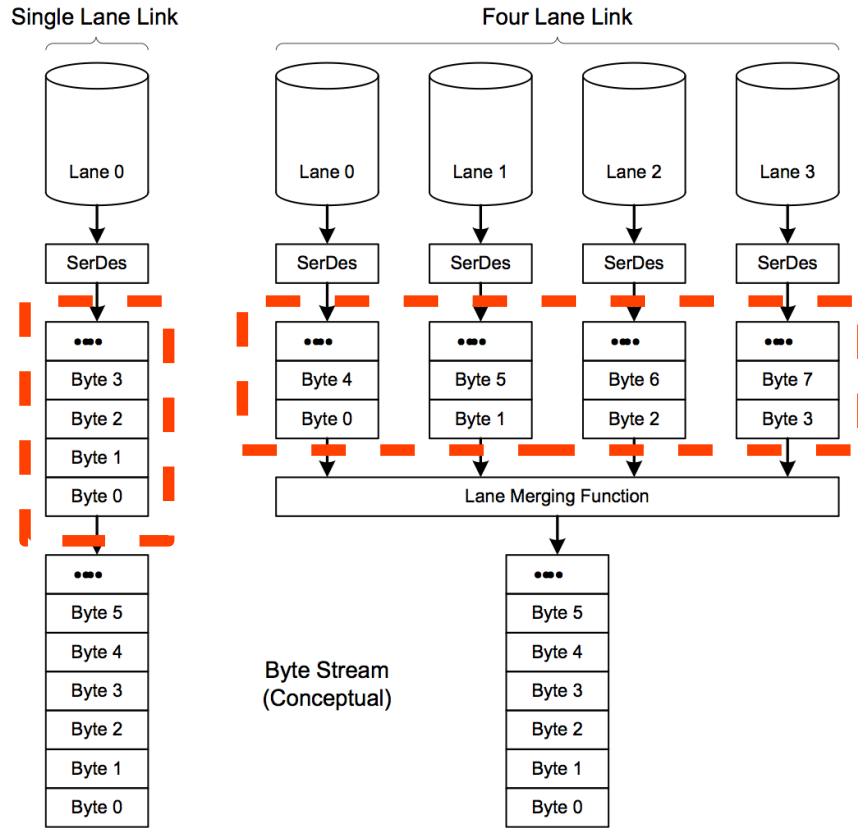


ขา	ชื่อ	หน้าที่
1	Ground	กราวด์
2	Data Lane 1-	ขาลบเลนข้อมูล 1
3	Data Lane 1+	ขาบวกเลนข้อมูล 1
4	Ground	กราวด์
5	Clock N	ขาลบเลนคล็อก
6	Clock P	ขาบวกเลนคล็อก
7	Ground	กราวด์
8	Data Lane 0-	ขาลบเลนข้อมูล 0
9	Data Lane 0+	ขาบวกเลนข้อมูล 0
10	Ground	กราวด์
11		
12		
13	Ground	กราวด์
14	+3.3 V	ไฟเลี้ยงขนาด 3.3 โวลท์
15	+3.3 V	ไฟเลี้ยงขนาด 3.3 โวลท์

## 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก

- สัญญาณ DSI (Display Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อกับแผง LCD ขนาดเล็กกับซีพียูบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค เป็นต้น เพื่อการแสดงผลในรูปแบบของกราฟิกโหมด
- สัญญาณ DSI นี้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานโดยองค์กรชื่อ MIPI (Mobile Industry Processor Interface) <http://www.mipi.org>
- สัญญาณ DSI ใช้ได้กับจอแสดงผลหลายประเภท และไม่ขึ้นกับเทคโนโลยีของจอ เน้นที่การส่งข้อมูลภาพไปยังจอเป็นหลัก จึงมีเลนข้อมูลหลายเลน

## 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก



ขา	ชื่อ	หน้าที่
1	Ground	กราวด์
2	Data Lane 1-	ขาลบเลนข้อมูล 1
3	Data Lane 1+	ขาบวกเลนข้อมูล 1
4	Ground	กราวด์
5	Clock N	ขาลบเลนค็อก
6	Clock P	ขาบวกเลนค็อก
7	Ground	กราวด์
8	Data Lane 0-	ขาลบเลนข้อมูล 0
9	Data Lane 0+	ขาบวกเลนข้อมูล 0
10	Ground	กราวด์
11		
12		
13	Ground	กราวด์
14	+3.3 V	ไฟเลี้ยงขนาด 3.3 โวลท์
15	+3.3 V	ไฟเลี้ยงขนาด 3.3 โวลท์

## 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก

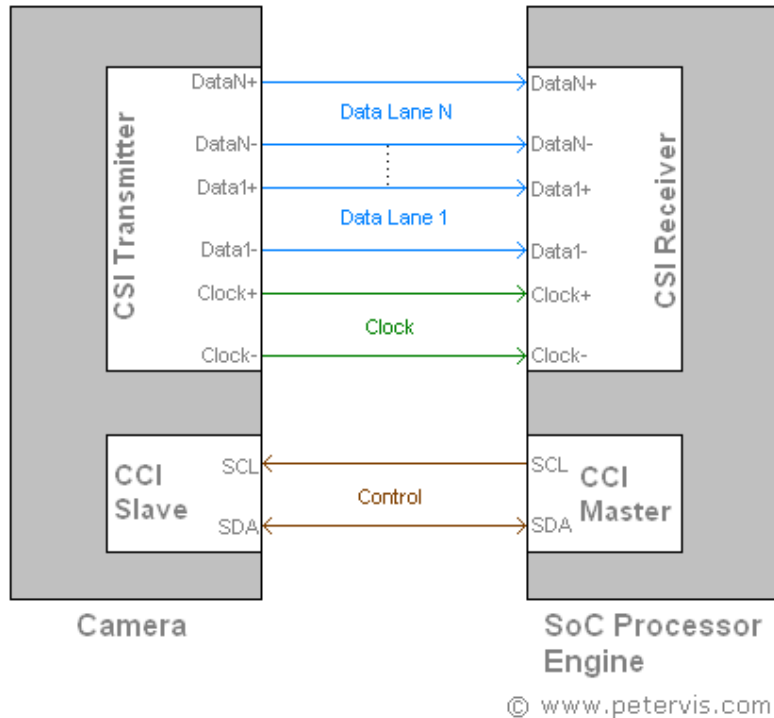
- สัญญาณ DSI แบ่งเป็นชนิดเลนเดี่ยว (Single Lane) และหลายๆ เลนตั้งแต่ 2 เลนขึ้นไป เพื่อกระจายการส่งข้อมูลแต่ละไบต์ข้อมูล ไปแต่ละเลน
- ข้อมูลไบต์ที่ 0, 4, 8, ... จะส่งมาทางเลนหมายเลข 0
- ข้อมูลไบต์ที่ 1, 5, 9, ... จะส่งมาทางเลนหมายเลข 1
- ข้อมูลไบต์ที่ 2, 6, 10, ... จะส่งมาทางเลนหมายเลข 2
- ข้อมูลไบต์ที่ 3, 7, 11, ... จะส่งมาทางเลนหมายเลข 3 และสลับกันไปแบบนี้เรื่อยๆ
- การส่งข้อมูลจำนวนหลายๆ เลนพร้อมกันทำได้เร็วขึ้น รองรับการแสดงผลที่ละเอียดมากขึ้น เปลี่ยนแปลงภาพต่อวินาทีได้มากขึ้น การเคลื่อนไหวของภาพจึงต่อเนื่องไม่กระตุก
- เมื่อปลายทางรับข้อมูลได้สำเร็จ วงจรรับจะนำข้อมูลเหล่านั้นมารวมกัน (Lane Merging Function)

## 6.2 สัญญาณ DSI สำหรับจอภาพ LCD ขนาดเล็ก



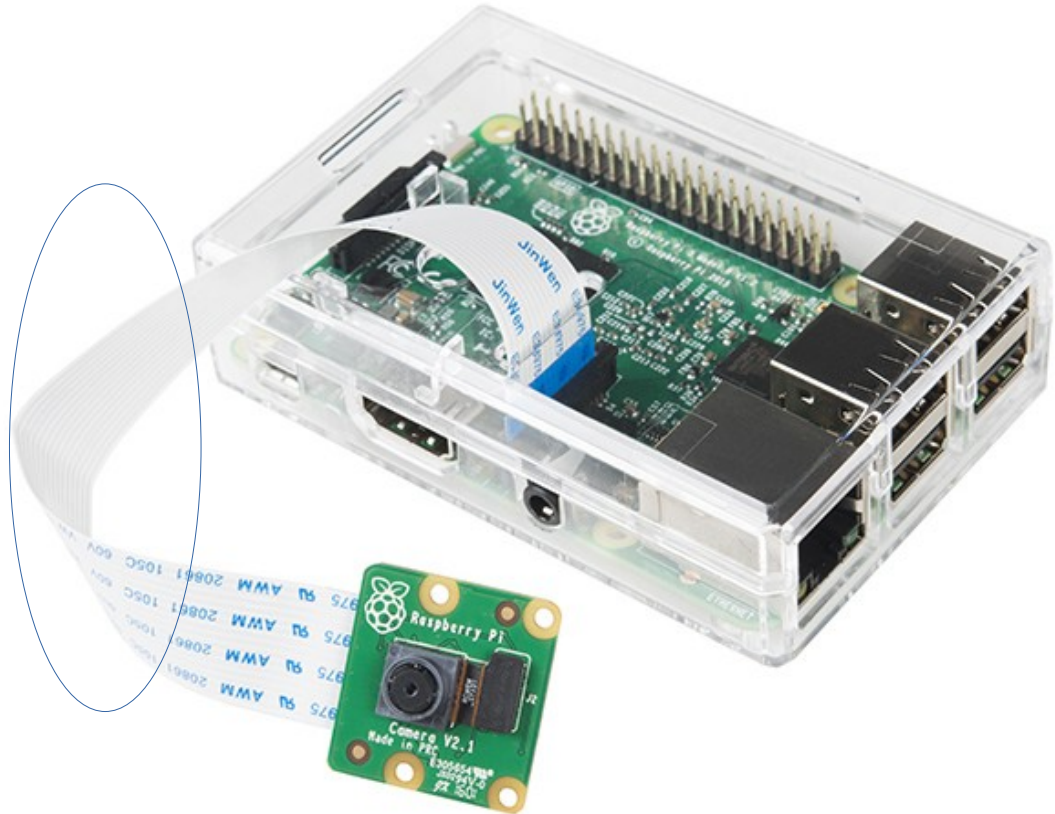
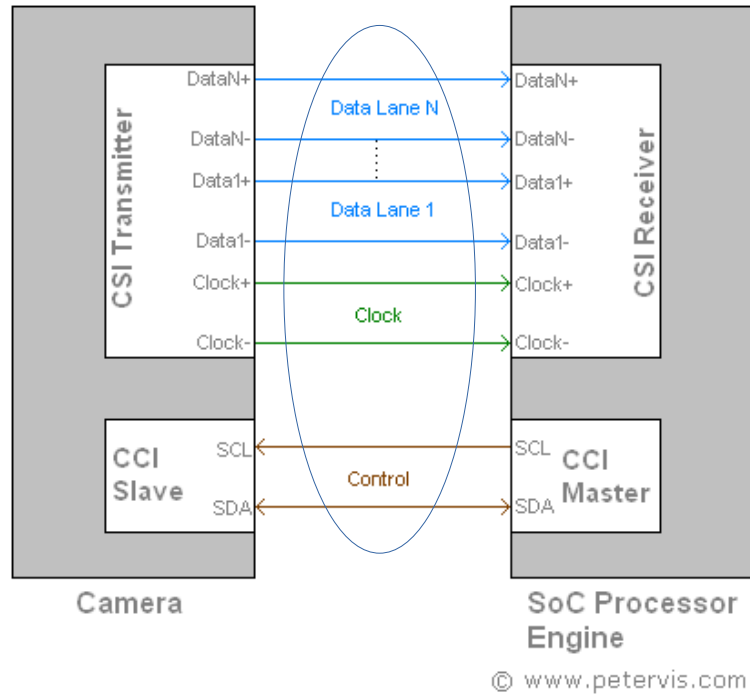
<https://www.youtube.com/watch?v=sxuwbJPXSqk>

## 6.3 สัญญาณ CSI สำหรับเชื่อมต่อกับกล้องขนาดเล็ก



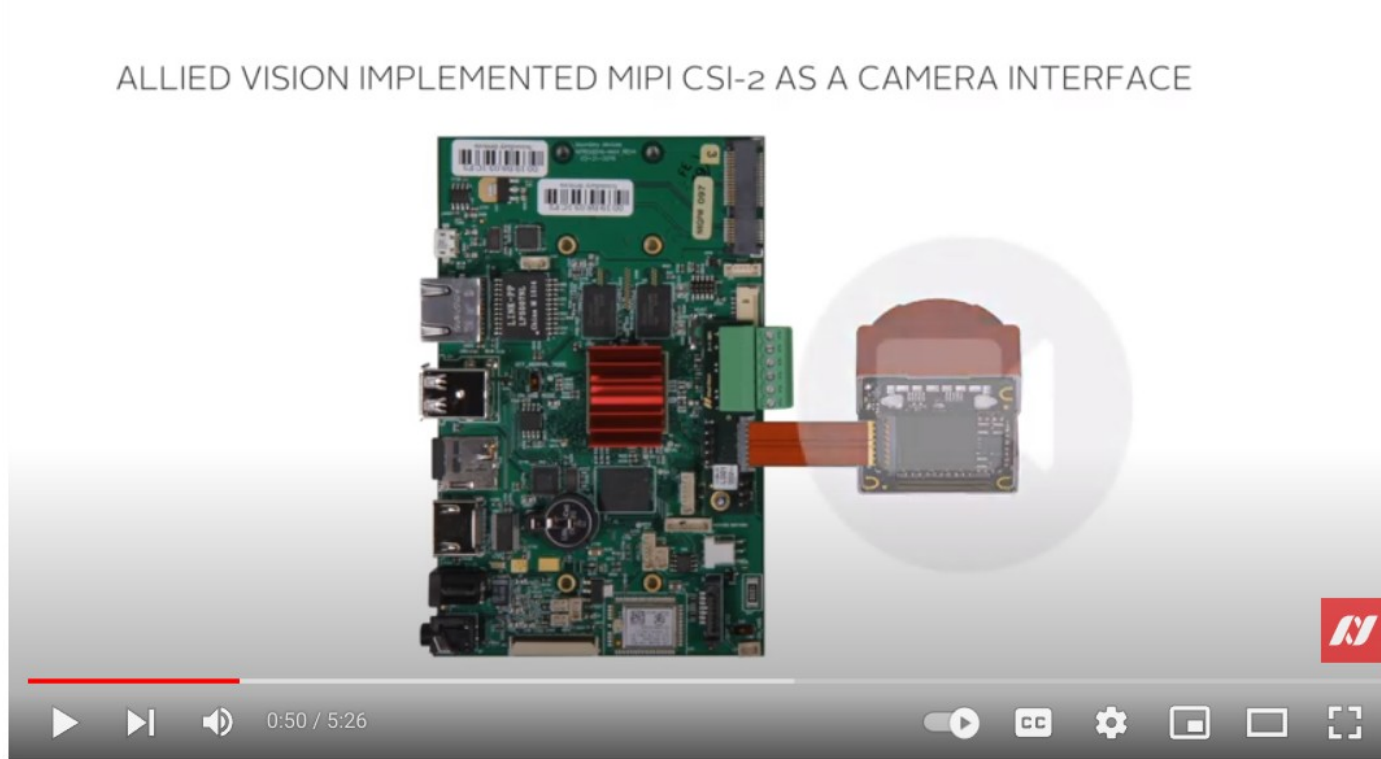
- มาตรฐาน CSI: Camera Serial Interface มีความคล้ายคลึงกับสัญญาณ DSI ซึ่งกำหนดโดยองค์กรเดียวกัน คือ MIPI.org
- ข้อมูลภาพจากกล้องจะส่งผ่านสายด้วยเลนข้อมูลจำนวนหนึ่งเพื่อไปรวมกันเป็นภาพเดียวที่ปลายทางแต่ละเลนมีการส่งข้อมูลที่ละไบต์และอนุกรม
- ข้อมูลจะส่งแบบซิงโครนัสตามสัญญาณค็อก และสัญญาณควบคุมมาตรฐาน I2C

## 6.3 สัญญาณ CSI สำหรับเชื่อมต่อกล้องขนาดเล็ก



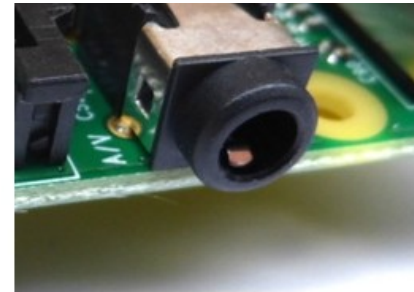
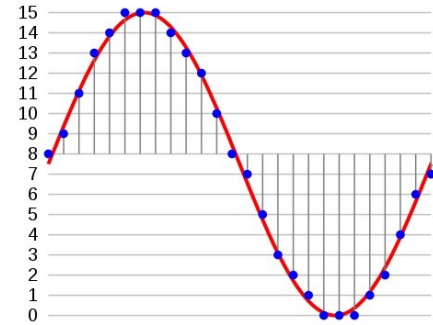
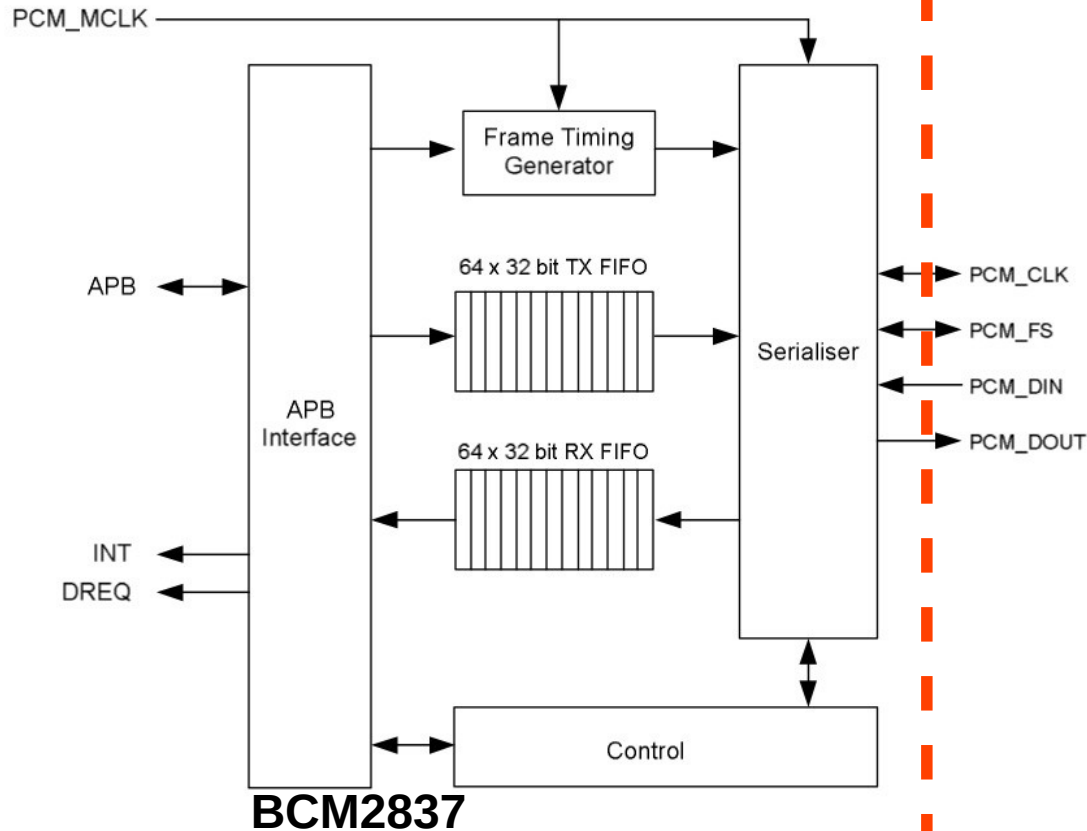


## 6.3 สัญญาณ CSI สำหรับเชื่อมต่อกล้องขนาดเล็ก



[https://www.youtube.com/watch?v=8REu\\_h7bzHM](https://www.youtube.com/watch?v=8REu_h7bzHM)

## 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง



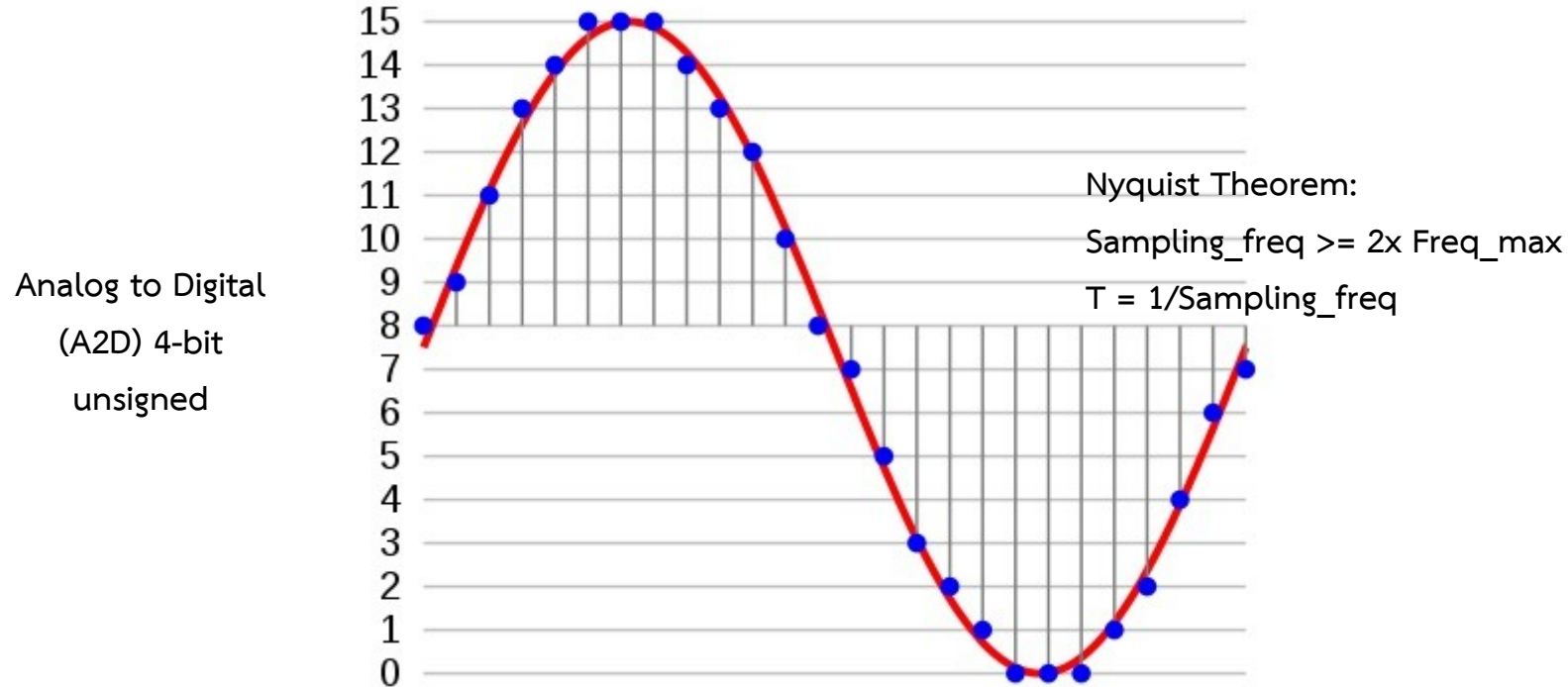
## 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง

- สัญญาณชนิด PCM คือ สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานเกิดจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital: A2D) เป็นเลขจำนวนเต็มชนิดไม่มีเครื่องหมาย
- นิยมแพร่หลายในอดีตจนถึงปัจจุบัน และใช้กับแผ่นซีดี (Compact Disc) โทรศัพท์บ้านพื้นฐาน และอื่นๆ
- ชิพ BCM2837 บนบอร์ด Pi3 สามารถแปลงข้อมูลเสียงที่ได้จากการประมวลผลในรูปแบบ PCM แล้วแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งต่อไปให้กับลำโพงภายนอก

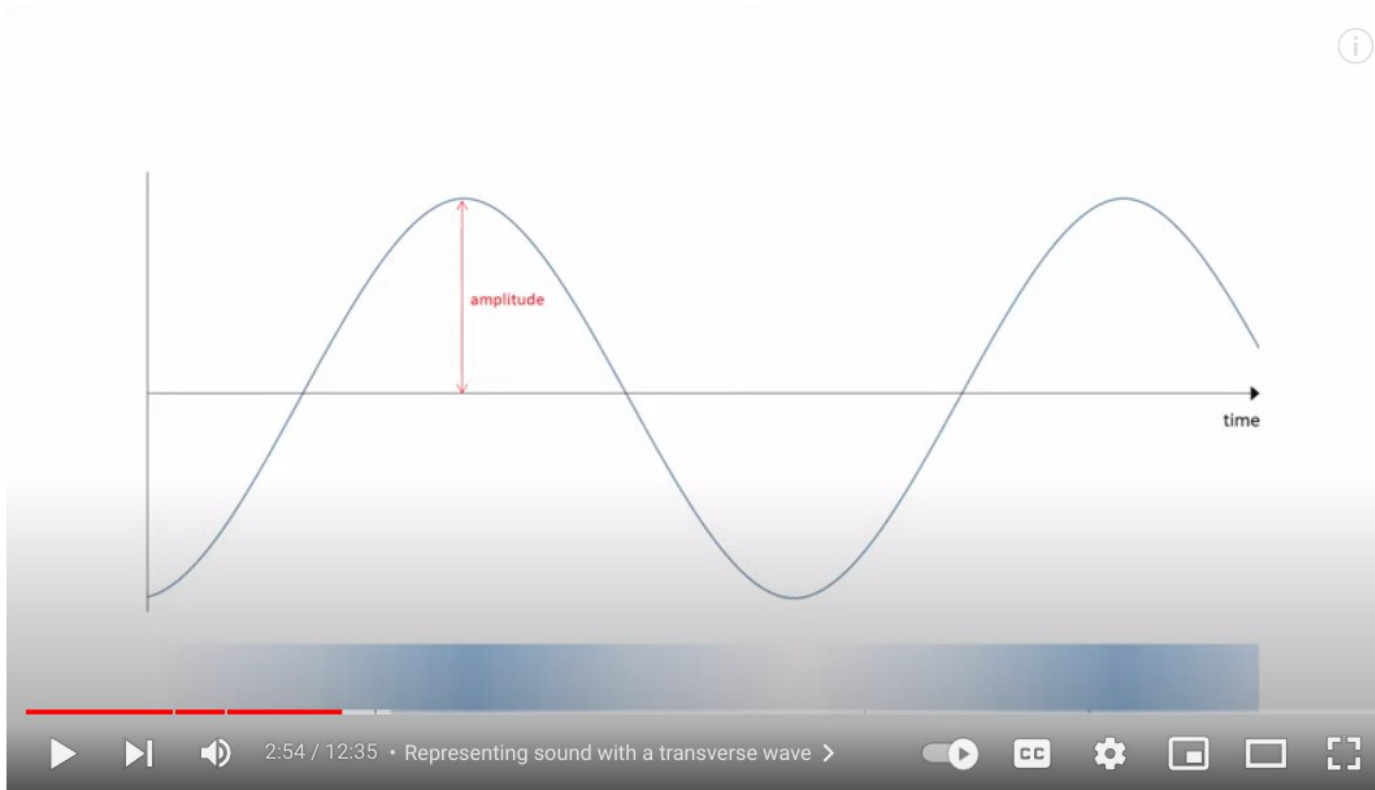
## 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง

- Nyquist Theorem:  $\text{Sampling\_freq} \geq 2 \times \text{Freq\_max}$ ,  $T = 1/\text{Sampling\_freq}$
- รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) และการสุ่มค่าของคลื่นไซน์นี้ ด้วยความถี่สูงเป็น 26 เท่าของความถี่เดิม แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิด PCM ด้วยความละเอียด 16 ระดับให้กลายเป็นข้อมูลขนาด 4 บิตต่อการสุ่ม 1 ครั้ง
- สัญญาณเสียงสนทนาผ่านโทรศัพท์จะสุ่มด้วยความถี่ 8,000 ครั้งต่อวินาที ซึ่งจะตรงกับคาบเวลา  $1/8,000 = 125$  ไมโครวินาที ด้วยความละเอียด 256 ระดับ หรือ 8 บิต
- สัญญาณเสียงเพลงคุณภาพระดับแผ่นซีดี จะสุ่มด้วยความถี่ 44,100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งจะตรงกับคาบเวลา  $1/44,100 = 22.67$  ไมโครวินาที ด้วยระดับความละเอียด 65,536 ระดับ เพื่อให้เป็นข้อมูลขนาด 16 บิต

## 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง

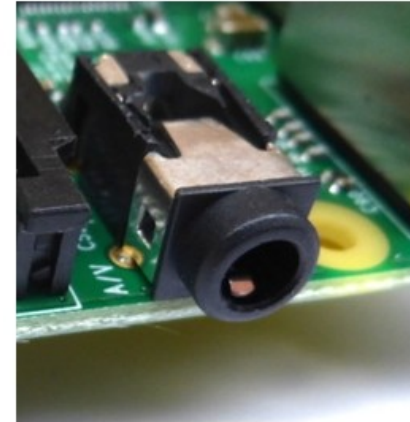
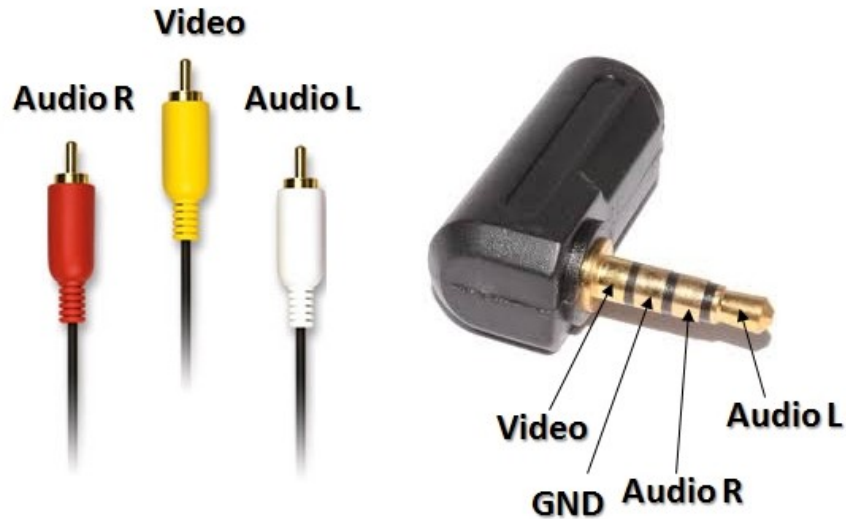


## 6.4 สัญญาณ PCM สำหรับสัญญาณเสียง

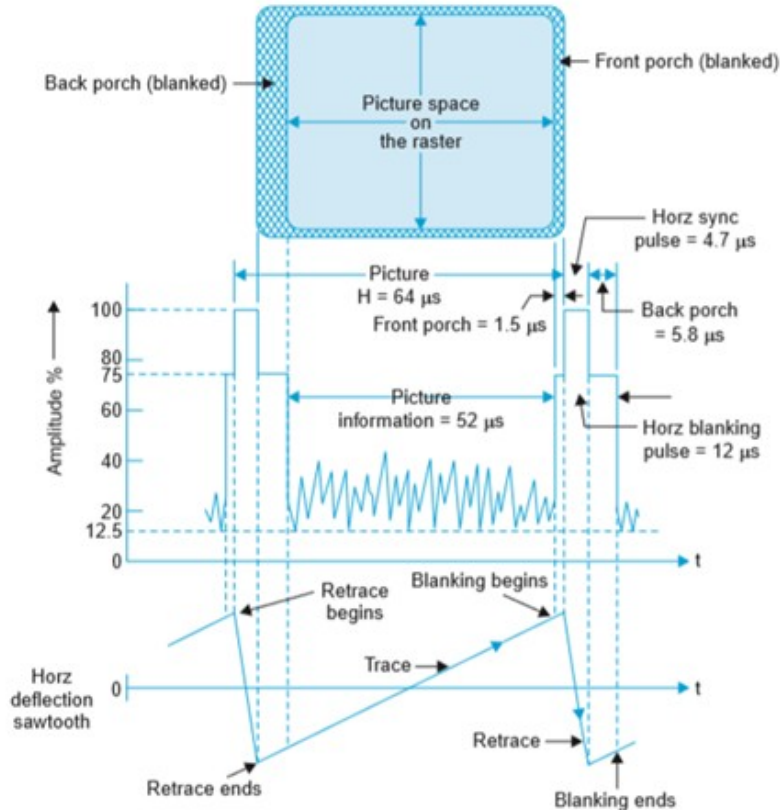


<https://www.youtube.com/watch?v=lbrf6LHloGc>

## 6.5 สัญญาณภาพและเสียงสำหรับจอทีวี



## 6.5 สัญญาณภาพและเสียงสำหรับจอทีวี



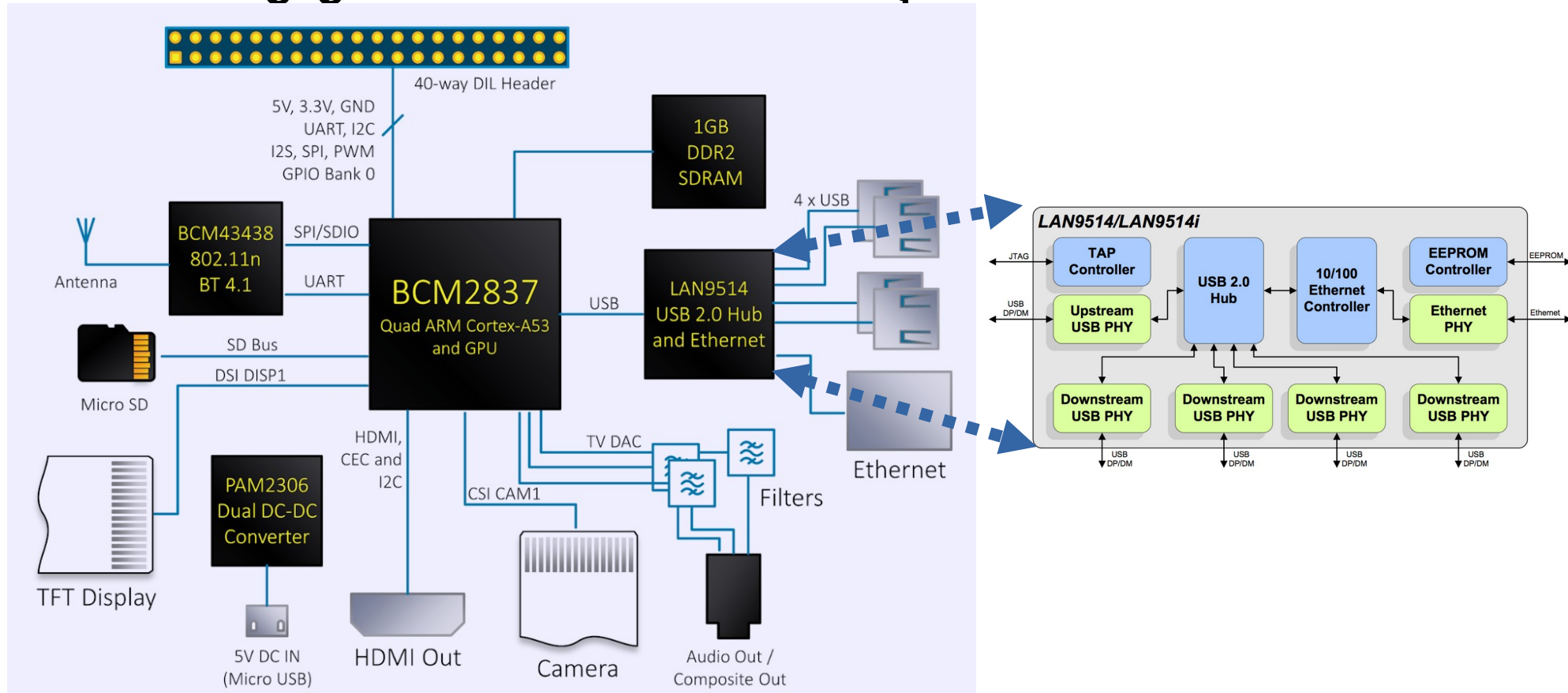
- บอร์ด Pi3 สามารถเชื่อมต่อกับจอทีวี โดยใช้สัญญาณภาพและเสียง
- สัญญาณภาพเรียกว่า สัญญาณคอมโพสิทวิดีโอ มีความละเอียดต่ำกว่าสัญญาณ HDMI
- สัญญาณเสียงเป็นแบบสเตอริโอ สำหรับลำโพงซ้ายและขวา
- สัญญาณเสียง มีรายละเอียดในหัวข้อก่อนหน้า



## 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

- ในตำราเล่มนี้จะกล่าวถึง USB เวอร์ชัน 2.0 ซึ่งเป็นพื้นฐานและมีคุณสมบัติ ดังนี้
- สามารถโอนถ่ายข้อมูลทั่วไป สัญญาณเสียง และสัญญาณภาพได้สูงสุดถึง
  - 1.5 (Low Speed) 12 (Full Speed) และ 48 (High Speed) เมกะบิตต่อวินาที
- สามารถจ่ายไฟเลี้ยงความต่างศักย์ 5 โวลต์ 0.5 แอมแปร์ให้แก่อุปกรณ์ขนาดเล็ก และสูงสุด 1 แอมแปร์สำหรับพอร์ตพิเศษ
- สายเคเบิลมีความยาวไม่เกิน 5 เมตร เนื่องจากความต้านทานของสายจะทำให้เกิดโวลเตจตกคร่อม (Voltage Drop) ในสาย จนทำให้ความต่างศักย์ไปเลี้ยงอุปกรณ์ไม่เพียงพอ
- "Hot Swapping" รองรับการต่อเชื่อม ถอดออก และรีเซ็ตอุปกรณ์ที่ต่ออยู่โดยไม่ต้องรีเซ็ตหรือรีบูทระบบโอเอส

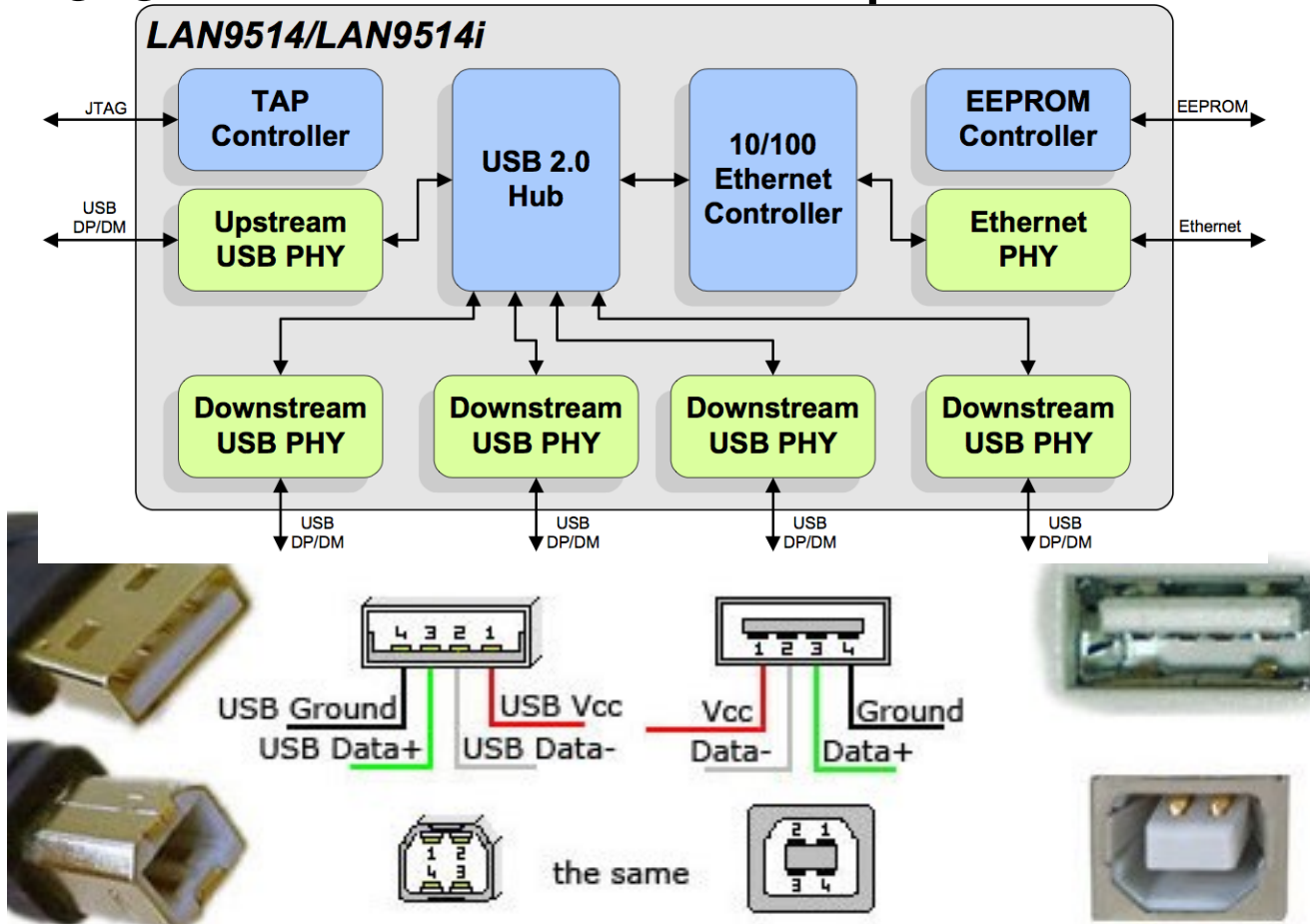
## 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ



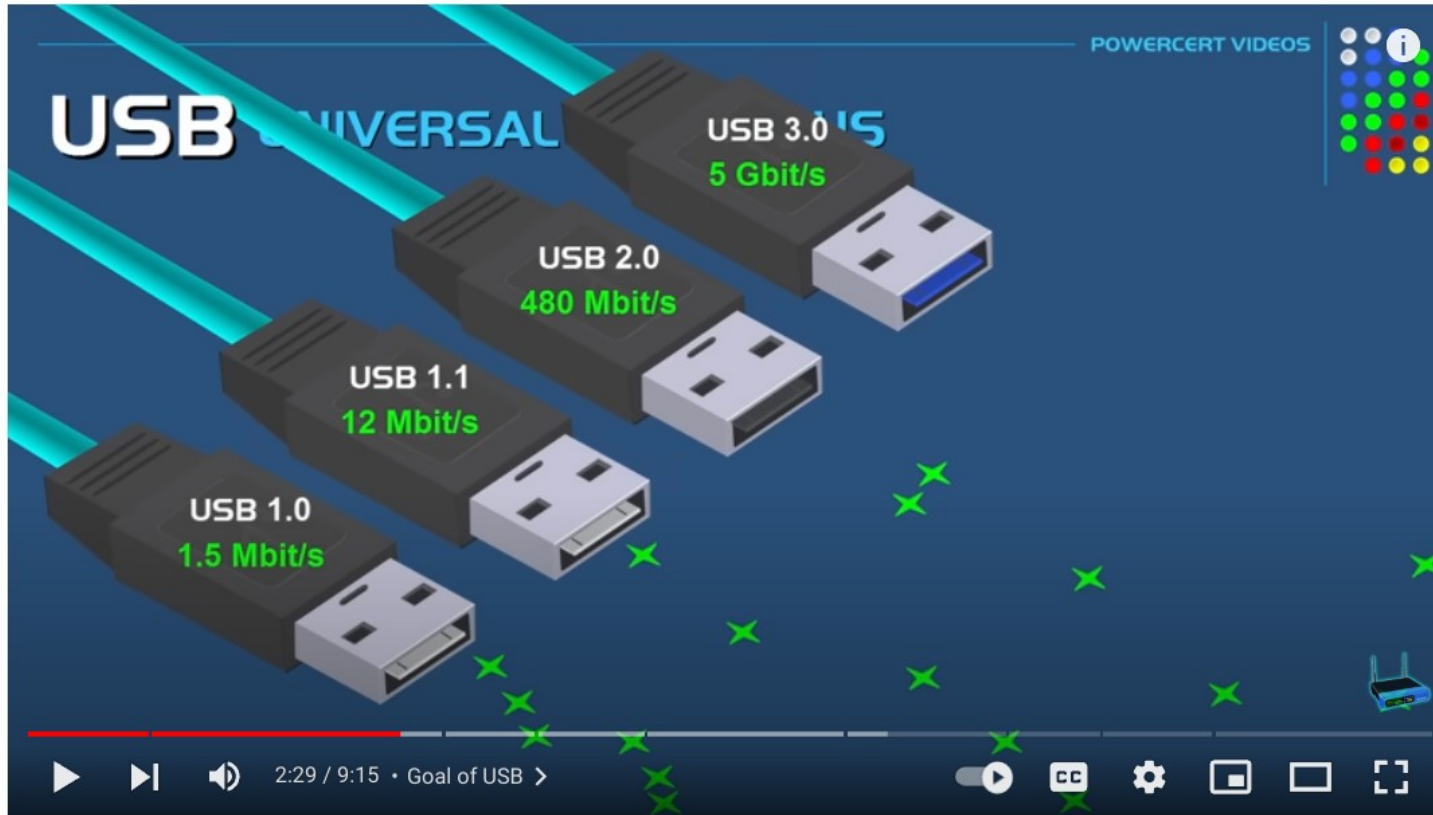
## 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

- เนื่องจากภายในชิป BCM2837 จะมีรูทฮับ (Root Hub) เพียง 1 พอร์ต
- โครงสร้างของไอซี LAN9514 ถูกออกแบบให้ LAN9514 มี USB Hub (Upstream) จำนวน 1 พอร์ต เพื่อเชื่อมกับรูทฮับในชิป BCM2837 และขยายจำนวนพอร์ต (Downstream) เพิ่มเป็น 4 พอร์ต เพื่อต่อเชื่อมกับคีย์บอร์ดเมาส์ และอุปกรณ์ USB อื่นๆ
- ภายใน LAN9514 ยังมีโมดูล Ethernet สำหรับเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบใช้สาย ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป
- ในทางปฏิบัติชิป LAN9514 มีพอร์ต IEEE 1149.1 TAP (Test Access Port) CONTROLLER เพื่อใช้สำหรับทดสอบวงจรภายใน

## 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

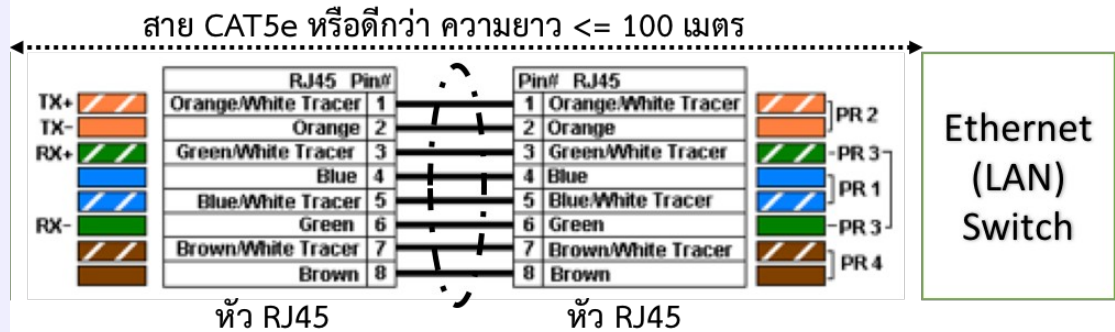
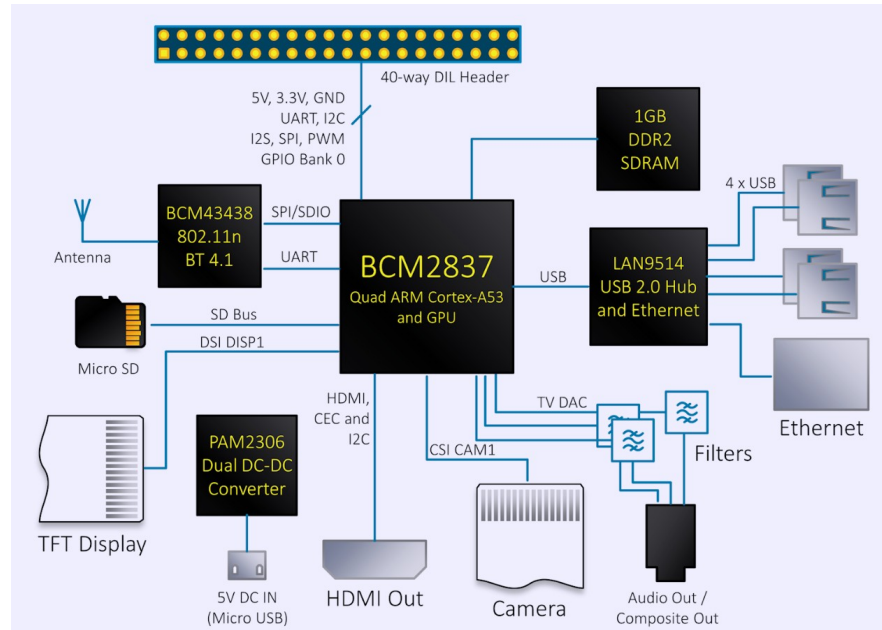


## 6.6 สัญญาณ USB 2.0 สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

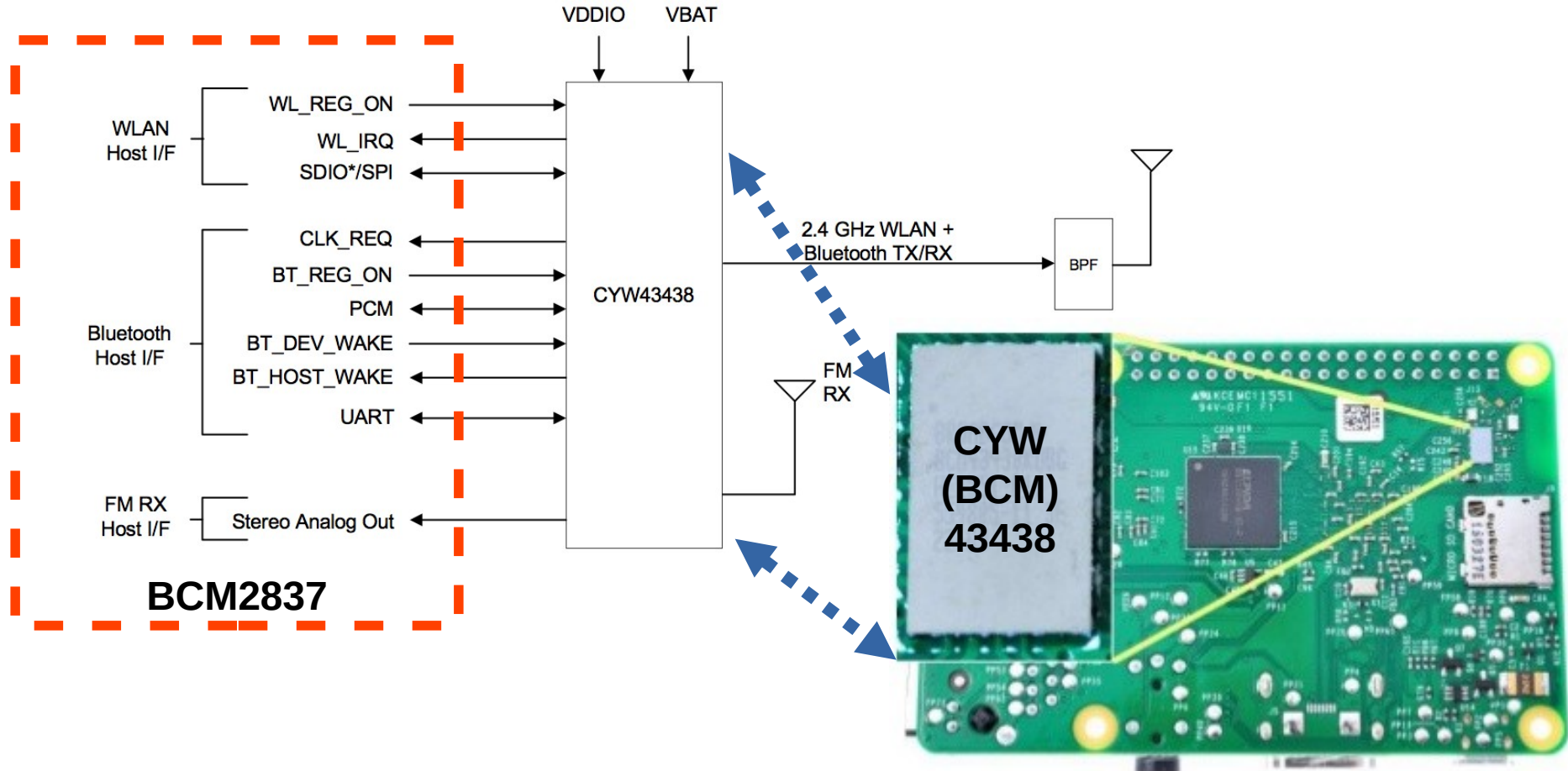


<https://www.youtube.com/watch?v=plZREjck9jg>

## 6.7 สัญญาณ Ethernet สำหรับสายเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

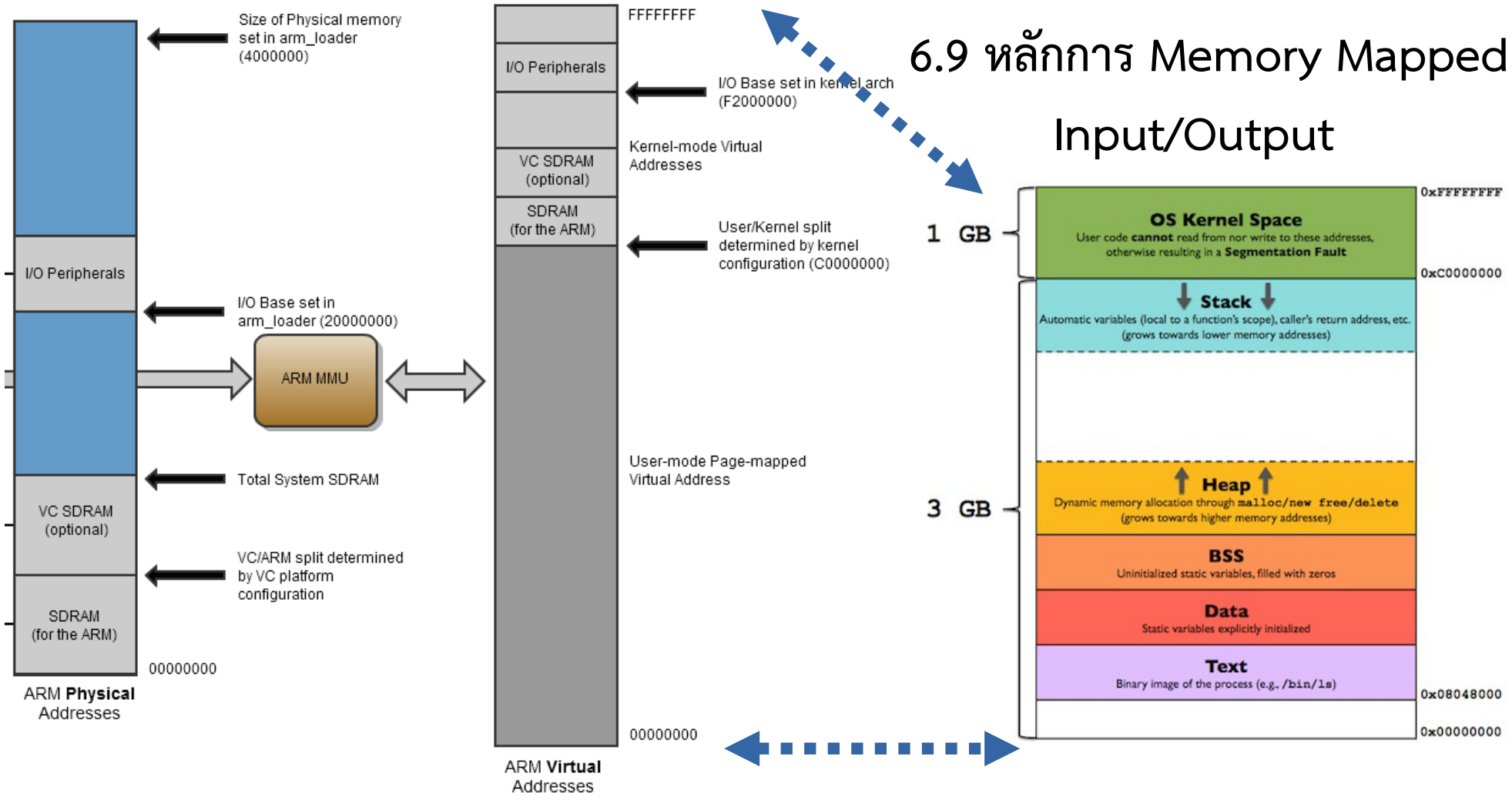


## 6.8 สัญญาณ WiFi และ Bluetooth สำหรับการสื่อสารไร้สาย

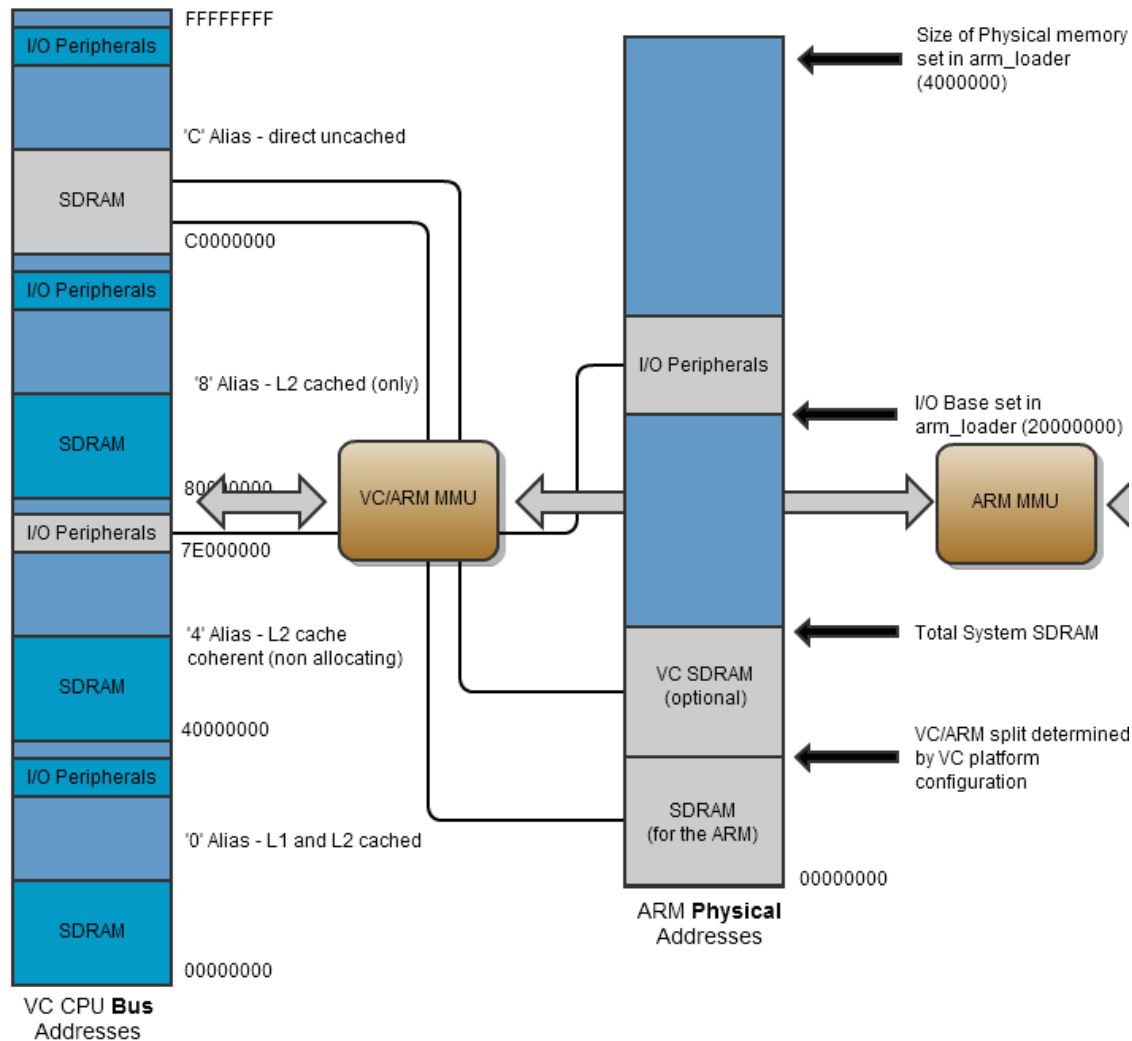




## 6.9 หลักการ Memory Mapped Input/Output







## 6.9 หลักการ Memory Mapped Input/Output

การอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยังแอดเดรส  
กายภาพเหล่านี้ ทำได้การใช้คำสั่ง LDR  
และ STR เหมือนกับหน่วยความจำปกติ  
ทั่วไป โดยผู้ผลิตฮาร์ดแวร์ได้กำหนด  
หมายเลขแอดเดรสของบัสตามตารางที่  
6.4 โดยแอดเดรสบัสเริ่มต้นที่หมายเลข  
0x7E000000 หรือ 0x7E00\_0000

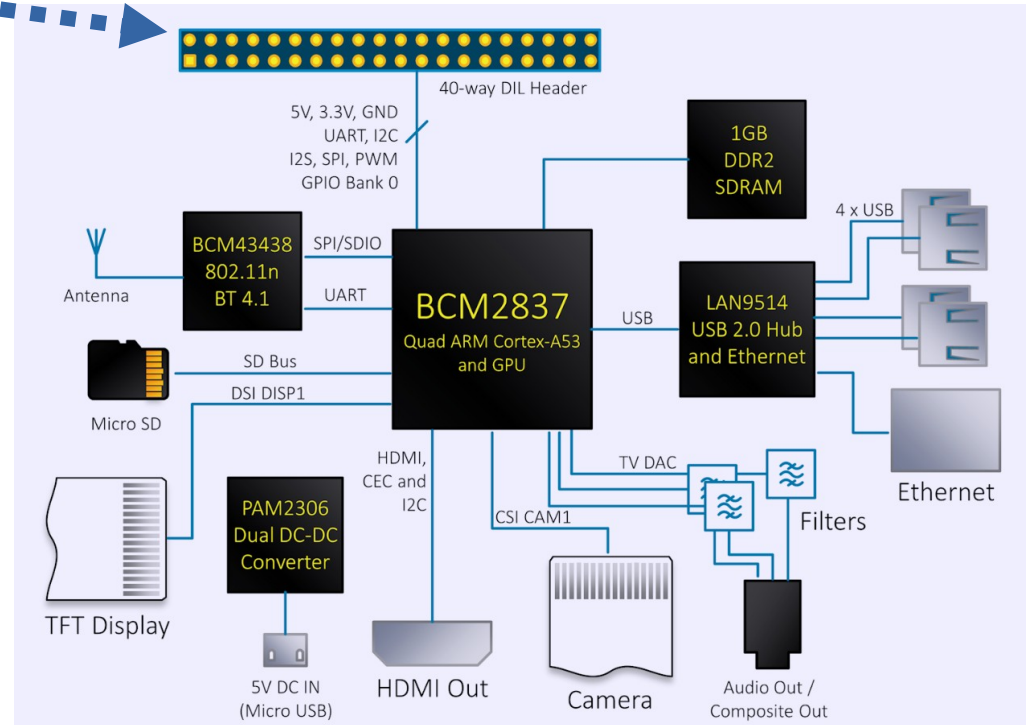


## 6.10 หัวเชื่อมต่อ 40 ขา (40-Pin Header)

Raspberry Pi 3 GPIO Header				
Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I²C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I²C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I²C ID EEPROM)		(I²C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Rev. 2  
29/02/2016

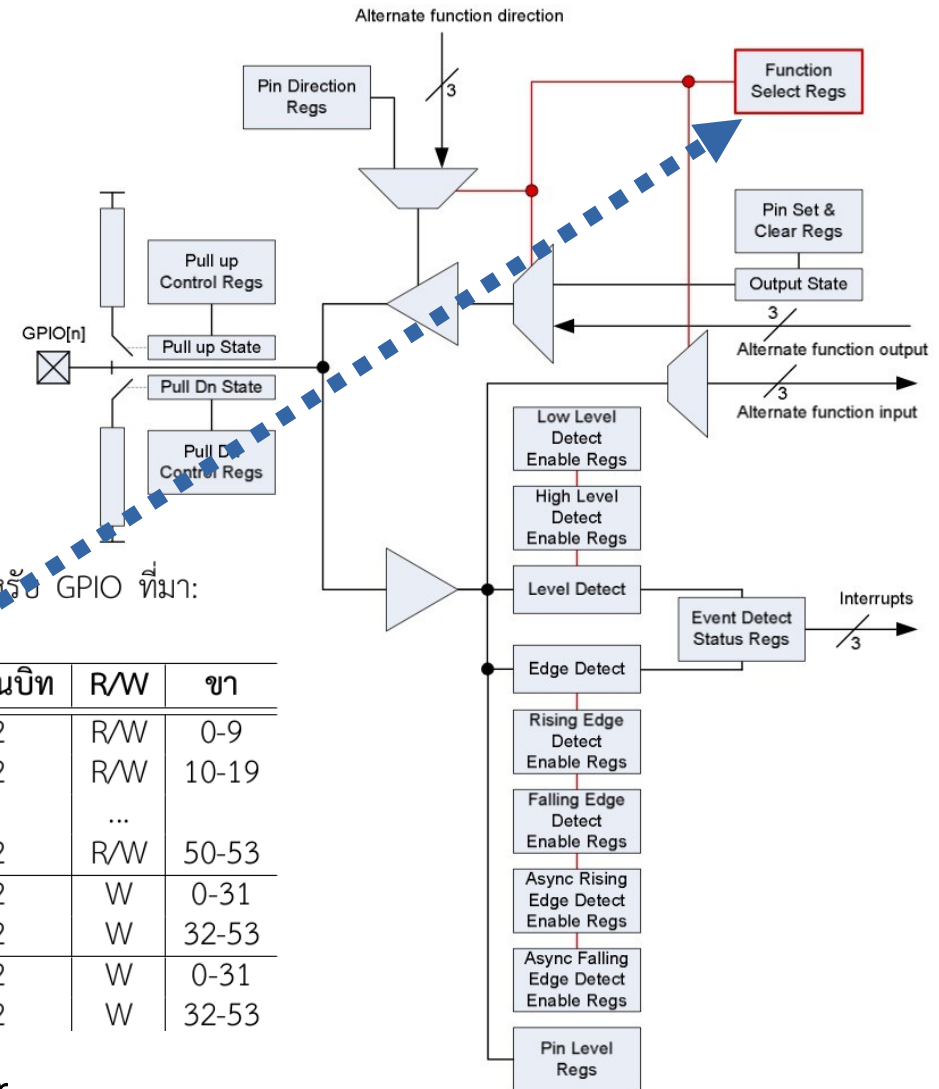
[www.element14.com/RaspberryPi](http://www.element14.com/RaspberryPi)



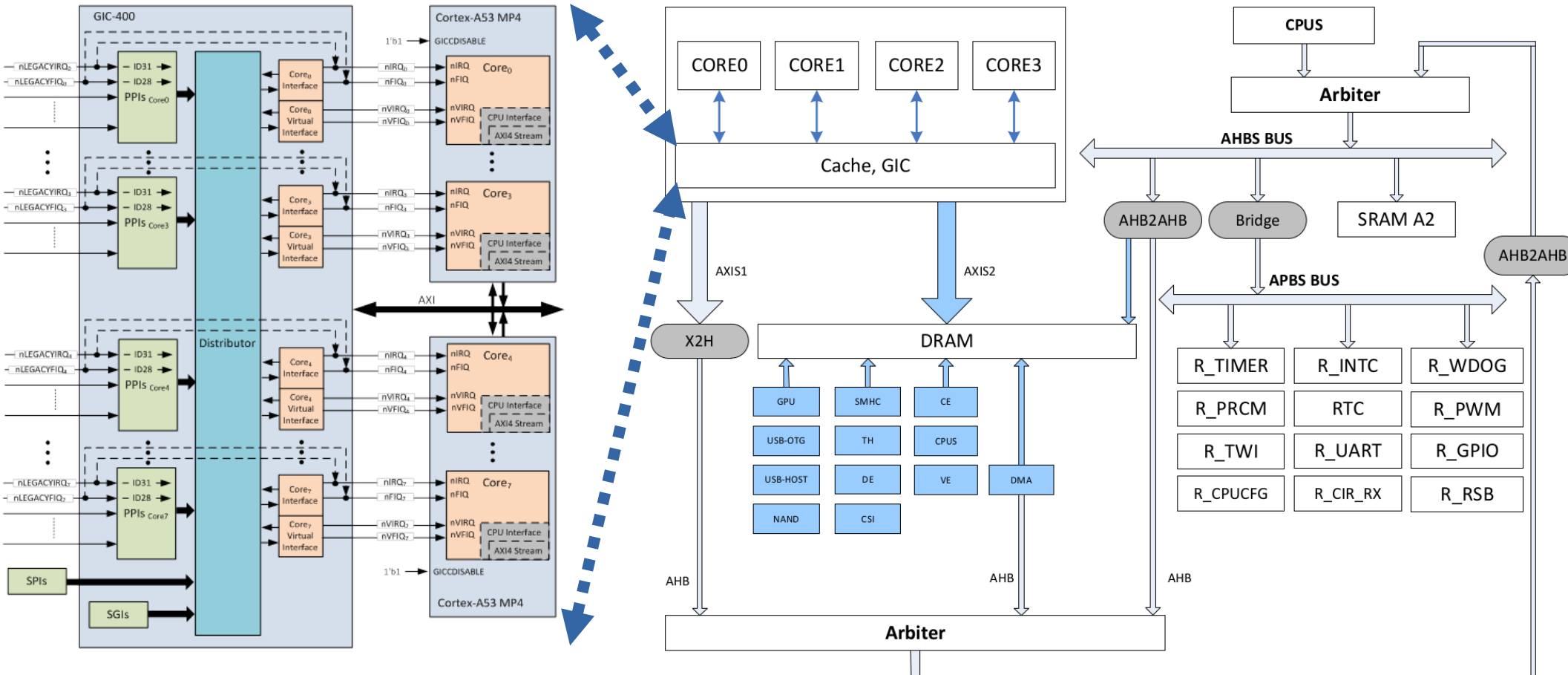
## 6.11 ขา GPIO (General Purpose Input Output)

Table 6.6: ตารางแอดเดรสในหน่วยความจำเริ่มต้นที่หมายเลข 0x7E20\_0000 สำหรับ GPIO ที่มา: [Broadcom \(2012\)](#)

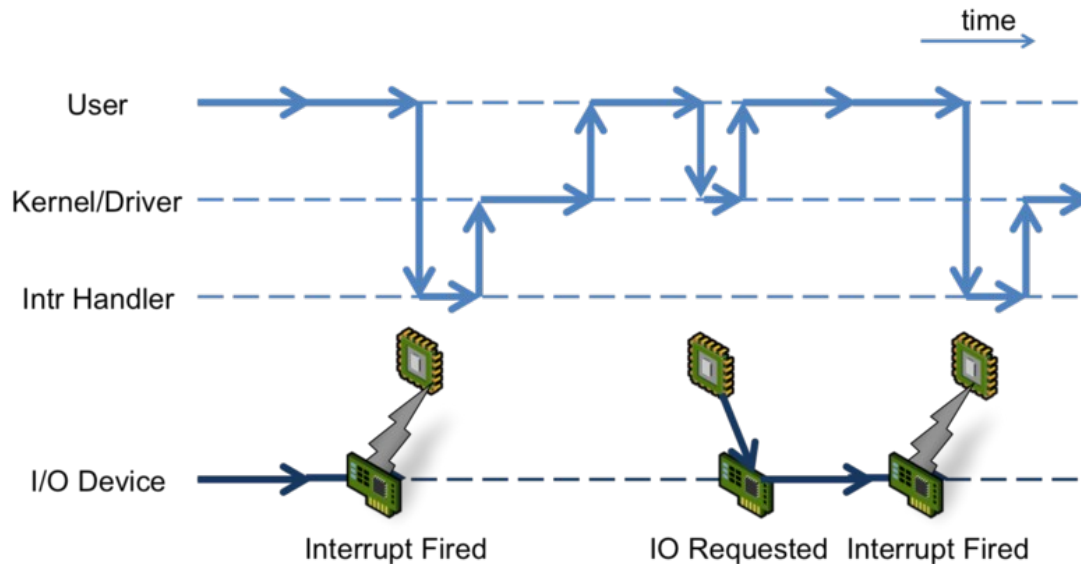
แอดเดรสบัส	รีจิสเตอร์	รายละเอียด	จำนวนบิต	R/W	ขา
0x7E20_0000	GPFSSEL0	GPIO Function Select 0	32	R/W	0-9
0x7E20_0004	GPFSSEL1	GPIO Function Select 1	32	R/W	10-19
...	...	...	...	...	...
0x7E20_0014	GPFSSEL5	GPIO Function Select 5	12	R/W	50-53
0x7E20_001C	GPSET0	GPIO Pin Output Set 0	32	W	0-31
0x7E20_0020	GPSET1	GPIO Pin Output Set 1	22	W	32-53
0x7E20_0028	GPCLR0	GPIO Pin Output Clear 0	32	W	0-31
0x7E20_002C	GPCLR1	GPIO Pin Output Clear 1	22	W	32-53



## 6.12 การขัดจังหวะ (Interrupt)

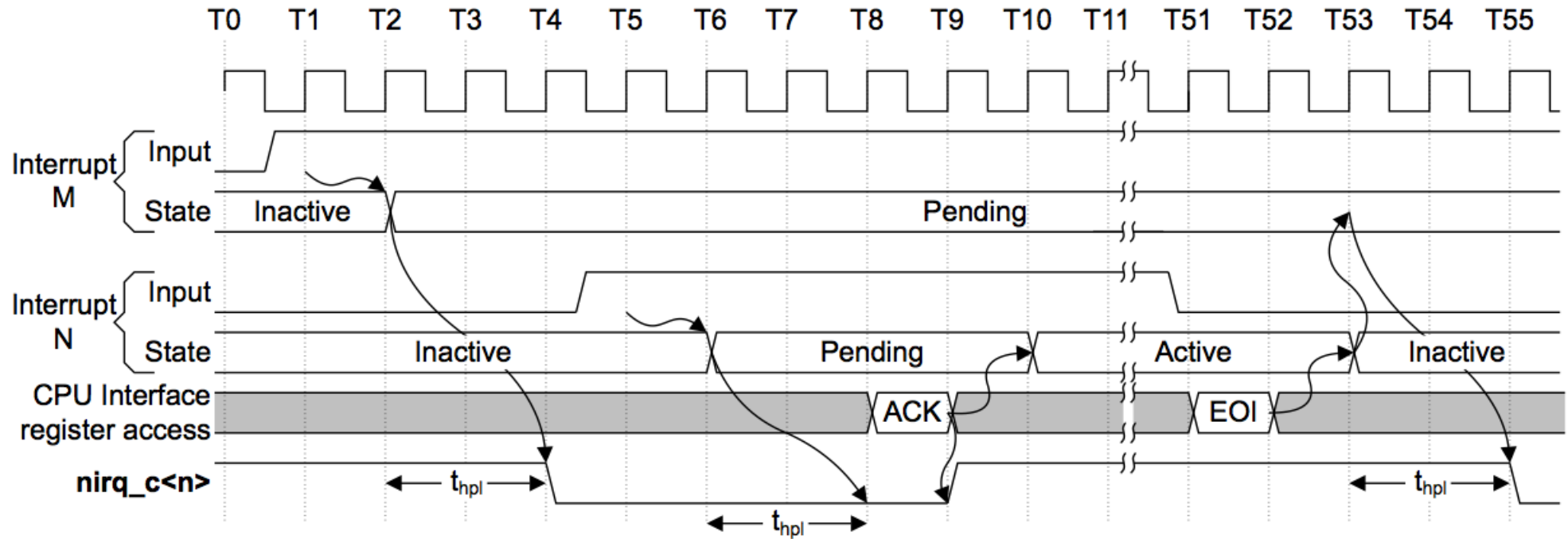


## 6.12 การขัดจังหวะ (Interrupt)



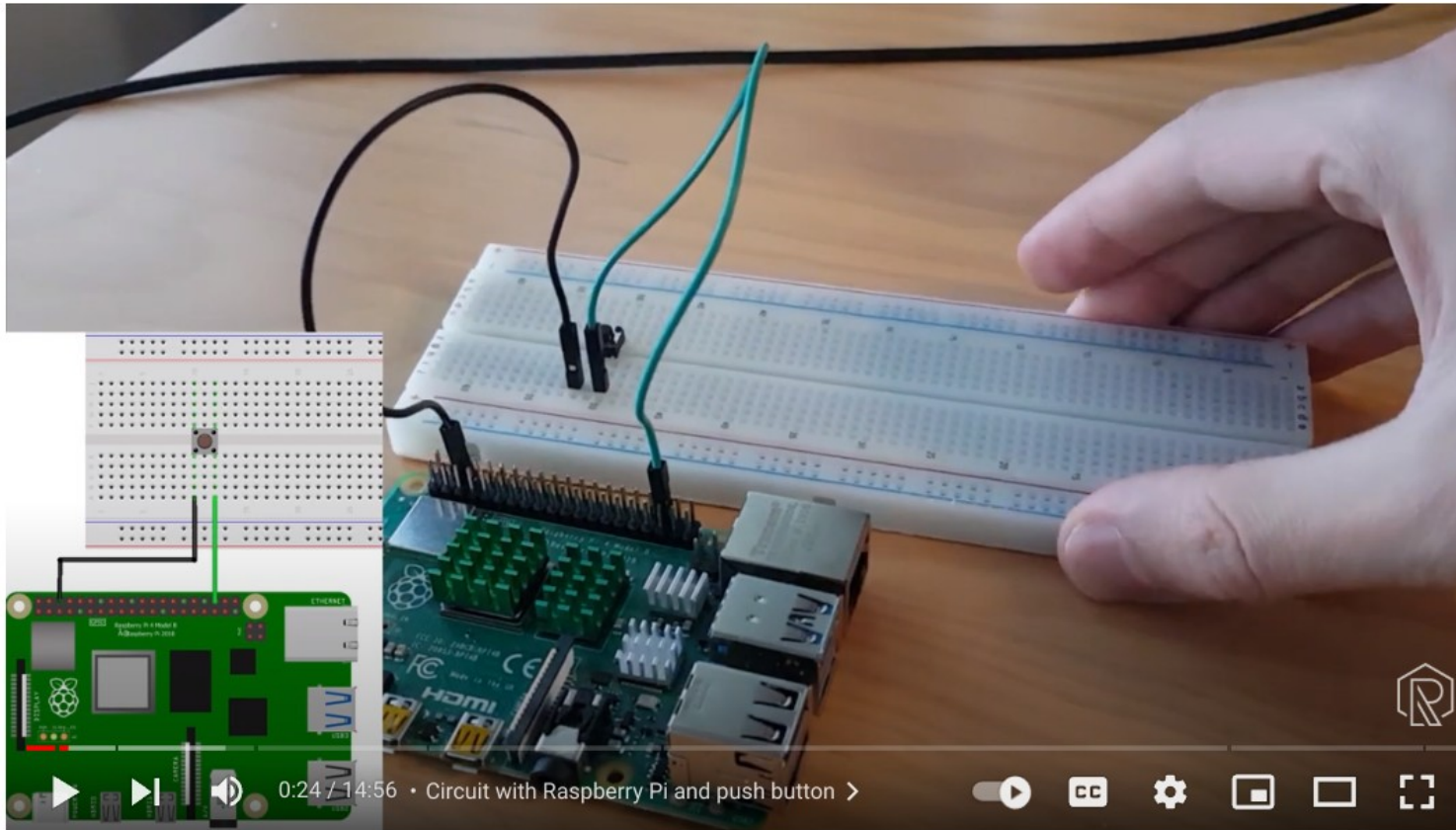
- กลไกการขัดจังหวะเกิดขึ้นจากการใช้งานวงจรอินพุตเอาต์พุต
- Kernel/Driver จะเป็นผู้จัดการขบวนการรับส่งข้อมูลแทนโปรแกรมหรือ User
- โปรแกรมย่อยที่ซีพียูจะต้อง Execute สำหรับสัญญาณ Interrupt แต่ละแบบเรียกว่า Interrupt Handler หรือ Interrupt Service Routine (ISR)
- ซีพียูจะไม่เสียเวลารอคอยการทำงานของวงจร IO มากจนซีพียูไม่มีโอกาสทำงานโปรแกรมอื่นๆ

## 6.12 การขัดจังหวะ (Interrupt)





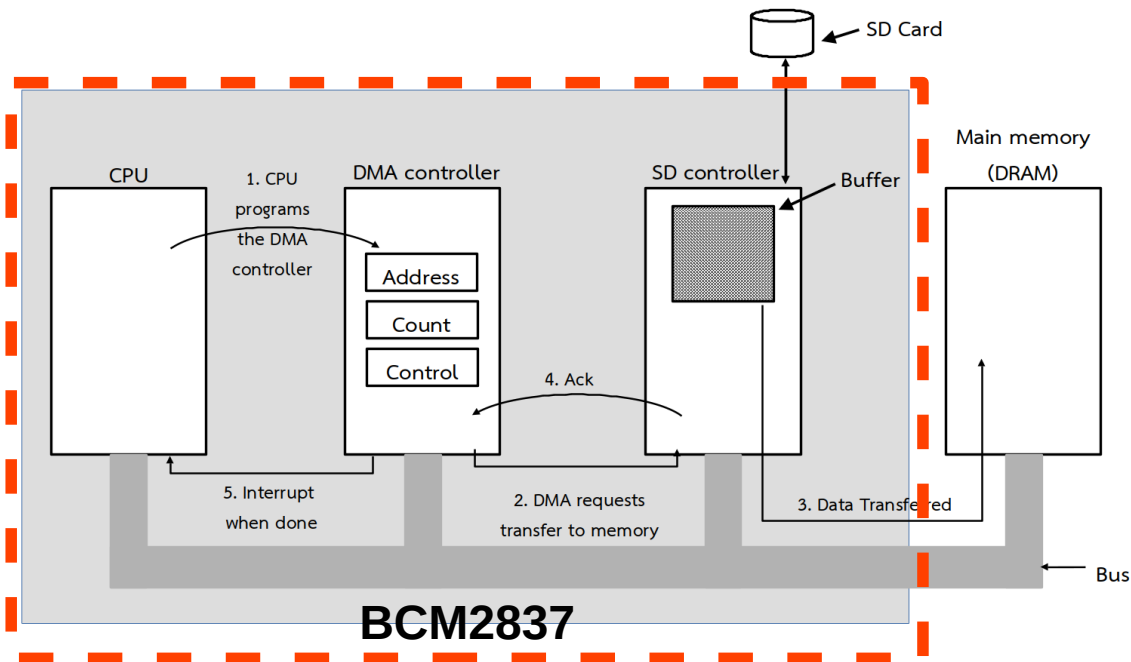
## 6.12 การขัดจังหวะ (Interrupt)



<https://www.youtube.com/watch?v=T67VfwiJPMg>

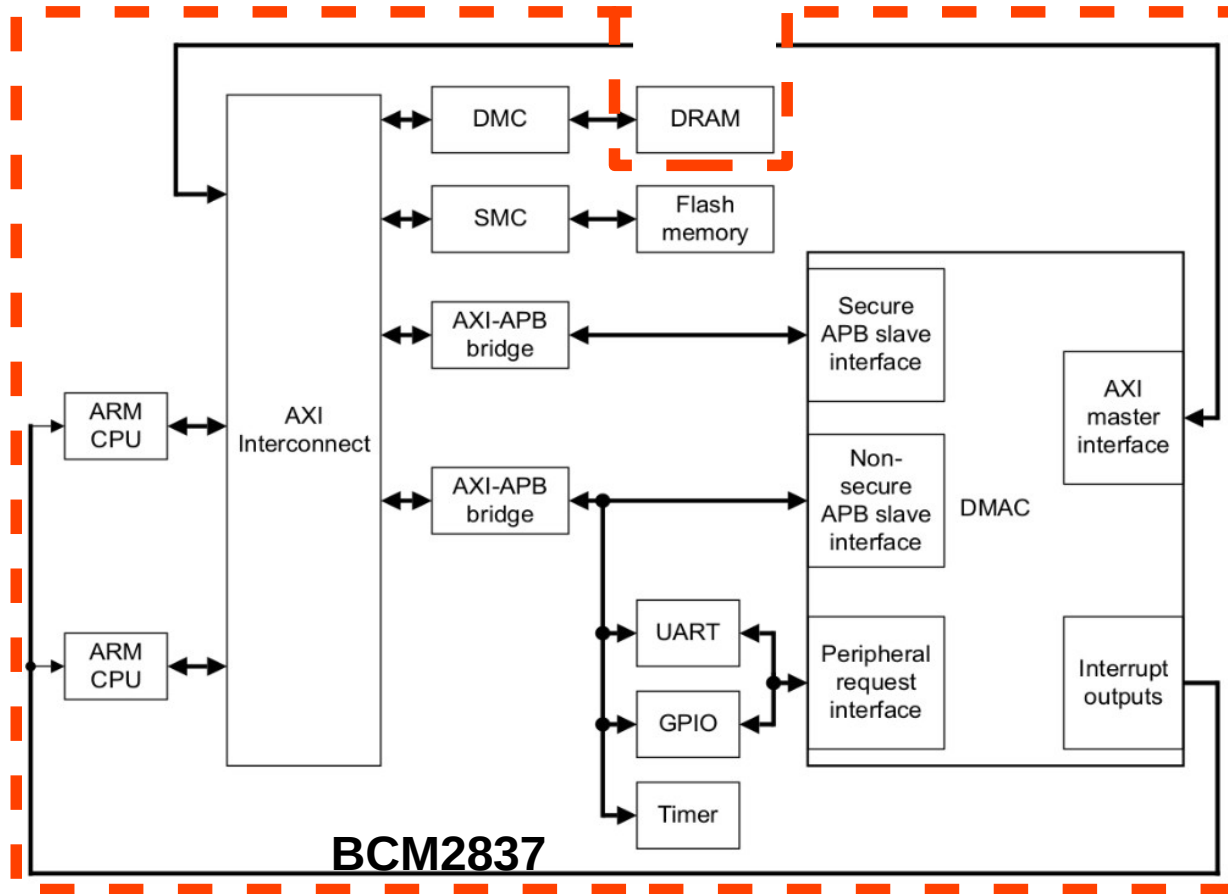


## 6.13 การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMA)



1. โปรแกรมสั่งให้ซีพียูตั้งค่าควบคุมกับวงจร DMA Controller
2. DMAC เริ่มต้นโดยการส่งสัญญาณ Request ไปยัง Disk Controller เพื่ออ่านข้อมูลจากดิสก์
3. อ่านข้อมูลจากดิสก์ไปเขียนลงในหน่วยความจำ DRAM จนแล้วเสร็จ
4. SD Controller ส่งสัญญาณตอบรับ (Acknowledge) ไปยัง DMAC
5. DMAC ส่งสัญญาณ Interrupt ไปยังซีพียู เพื่อแจ้งว่าแล้วเสร็จ

## 6.13 การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access)



การรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต DMA จะทำหน้าที่เคลื่อนย้ายข้อมูลจาก FIFO ของวงจรเชื่อมต่อไปยังหน่วยความจำหลัก และการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ DMAC (DMA Controller) จะทำหน้าที่เคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำหลัก ไปยัง FIFO ของวงจรนั้นๆ

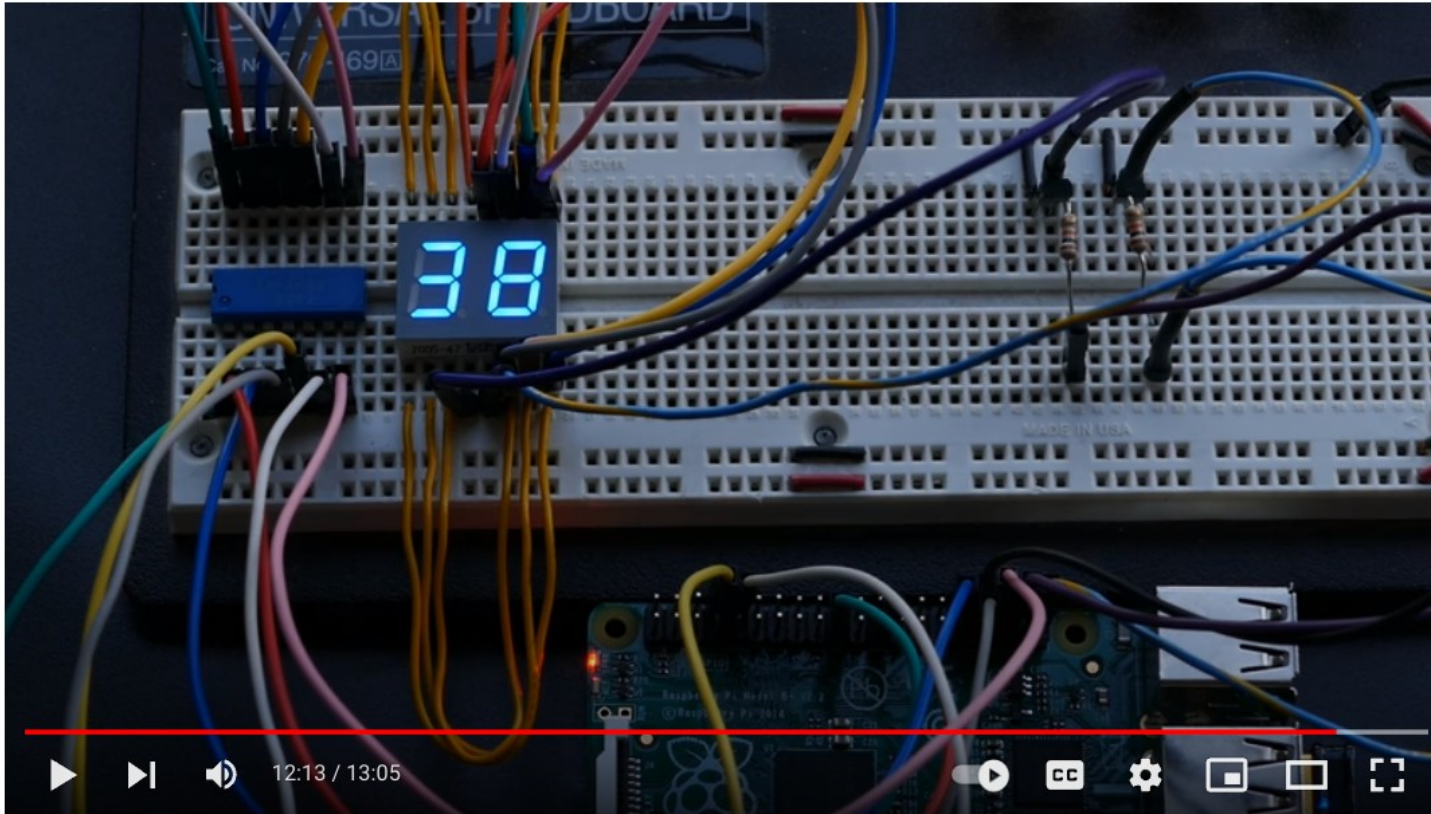
ตารางที่ 6.4: ตารางเชื่อมโยงระหว่างบัสแอดเดรสสำหรับหมายเลขหัวข้อของตำราเล่มนี้ เริ่มต้นที่หมายเลข 0x7E

บัสแอดเดรส (Bus Address)	ชื่อ (Name)
0x7E00_0000	...
0x7E00_1000	...
0x7E00_2000	...
0x7E00_3000	System Timer
0x7E00_7000	DMA Controller
0x7E00_8000	Interrupt Register
0x7E00_B400	Timer
0x7E20_0000	General Purpose I/O
0x7E20_1000	Universal Async. Rx Tx
0x7E20_3000	Pulse Code Modulation
0x7E20_4000	SPI0
0x7E20_5000	Serial Controller (I <sup>2</sup> C)
0x7E21_4000	SPI/BSC Slave
0x7E21_5000	mini UART, SPI1, SPI2
0x7E30_0000	External Mass Media Controller
0x7E98_0000	Universal Serial Bus

## 6.13 การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMA)

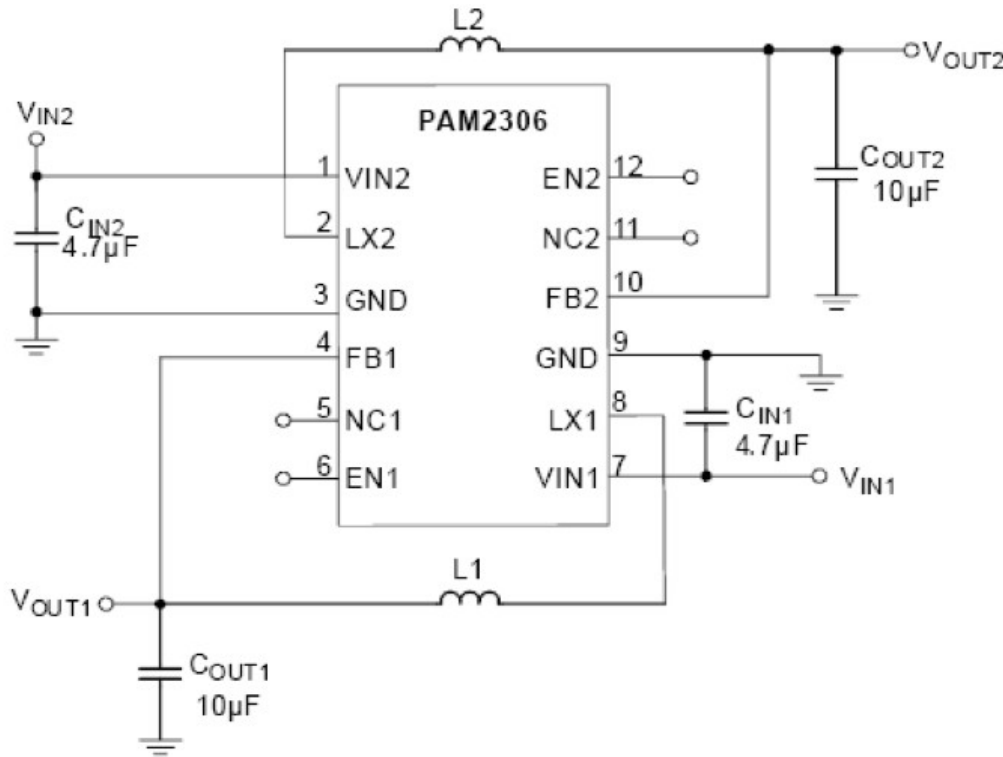
- ขบวนการ DMA เริ่มต้นจาก DMA Controller อ่านค่าการติดตั้งใน CB (Control Block) ในหน่วยความจำไปตั้งค่ารีจิสเตอร์ CONBLK\_AD ภายใน DMA ช่อง (Channel) ที่ยังว่างอยู่ หลังจากนั้น วงจร DMA ช่องนั้นจะเริ่มทำงานด้วยตนเอง
- DMA ช่อง 0 เริ่มต้นการตั้งค่าที่แอดเดรส 0x7E00\_7000
- DMA ช่อง 1 เริ่มต้นการตั้งค่าที่แอดเดรส 0x7E00\_7100
- DMA ช่อง 2 เริ่มต้นการตั้งค่าที่แอดเดรส 0x7E00\_7200
- ...
- DMA ช่อง 14 เริ่มต้นการตั้งค่าที่แอดเดรส 0x7E00\_7e00
- DMA ช่อง 15 เริ่มต้นการตั้งค่าที่แอดเดรส 0x7EE0\_5000

## 6.13 การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMA)



[https://www.youtube.com/watch?v=RzdxFCg\\_jHo&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=RzdxFCg_jHo&t=1s)

## 6.14 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ของบอร์ด Pi3



แหล่งจ่ายไฟของบอร์ดมาจากอแดปเตอร์ (Adaptor) แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นไฟกระแสตรงความต่างศักย์ 5 โวลต์จะไหลผ่านฟิวส์และไดโอด เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ด Pi3 แล้วจึงถูกแปลงจาก 5 โวลต์ให้ลดลง (Step Down) เป็น 3.3 และ 1.8 โวลต์ด้วยชิป PAM2306 และ 1.2 โวลต์ด้วยชิป RT8088A ตามลำดับ

# References

- [https://www.researchgate.net/figure/Block-Diagram-of-Micro-SD-card\\_fig6\\_306236972](https://www.researchgate.net/figure/Block-Diagram-of-Micro-SD-card_fig6_306236972)
- <https://gabrieletolomei.wordpress.com/miscellanea/operating-systems/in-memory-layout/>
- <https://freedompenguin.com/articles/how-to/learning-the-linux-file-system>
- <https://www.techpowerup.com/174709/arm-launches-cortex-a50-series-the-worlds-most-energy-efficient-64-bit-processors>
- [https://www.researchgate.net/figure/NVIDIA-Tegra-2-mobile-processor-11\\_fig1\\_221634532](https://www.researchgate.net/figure/NVIDIA-Tegra-2-mobile-processor-11_fig1_221634532)
- Harris, D. and S. Harris (2013). Digital Design and Computer Architecture (1st ed.). USA: Morgan Kauffman Publishing.
- <https://learn.adafruit.com/resizing-raspberry-pi-boot-partition/edit-partitions>

# References

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer\\_interaction](https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer_interaction)
- <https://community.arm.com/developer/ip-products/processors/b/processors-ip-blog/posts/programmer-s-guide-for-armv8-a>
- [https://xdevs.com/article/rpi3\\_oc/](https://xdevs.com/article/rpi3_oc/)
- [https://www.gsmarena.com/a\\_look\\_inside\\_the\\_new\\_proprietary\\_apple\\_a6\\_chipset-news-4859.php](https://www.gsmarena.com/a_look_inside_the_new_proprietary_apple_a6_chipset-news-4859.php)
- [https://www.slideshare.net/kleinerperkins/2012-kpcb-internet-trends-yearend-update/25-Global\\_Smartphone\\_Tablet\\_Shipments\\_Exceeded](https://www.slideshare.net/kleinerperkins/2012-kpcb-internet-trends-yearend-update/25-Global_Smartphone_Tablet_Shipments_Exceeded)
- <https://www.aliexpress.com/item/32329091078.html>
- <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=63750>
- <https://www.youtube.com/watch?v=2ciyXehUK-U>