

Embedded Systems Programming on STM32 MCU

การโปรแกรมระบบสมองกลฝังตัวบน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32

Serial Peripheral Interface (SPI)

- 🌿 SPI ถูกคิดค้นเมื่อ ค.ศ.1979 โดย Motorola
- 🌿 ปัจจุบันถูกนำไปใช้กันมากในการสื่อสารระหว่าง MCU กับอุปกรณ์รอบข้าง ที่ต้องการความเร็วสูง
 - 💡 ตัวอย่างเช่น SDCard จอแสดงผล ทัชสกรีน
- 🌿 เป็นบัสแบบ full-duplex รับส่งข้อมูลโดยใช้ขาข้อมูล 2 เส้น และการจัดการแบบ master-slave
- 🌿 ถือเป็น Synchronous serial interface
 - 💡 ตามปกติจะมีขาสัญญาณ 4 เส้น (MOSI, MISO, SCLK, CS) (4-wire serial bus)
 - 💡 ในกรณีที่รับส่งสัญญาณบนขาสัญญาณเส้นเดียว อาจเหลือสามเส้น (3-wire serial bus) (MOSI,SCLK,CS)
 - 💡 อุปกรณ์บางประเภทไม่ต้องการส่งข้อมูลกลับ master จะใช้ขาสัญญาณเพียง 3 เส้น (ไม่มี MISO)
 - 🌈 ตัวอย่างเช่น WS2812B ที่เป็น LED สามสีพร้อม controller ในตัว และ MAX7219 ที่ใช้ขับ 7-segment / dot-matrix LED



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI

Serial Peripheral Interface (SPI)

🌿 SPI ประเภทอื่นๆ เช่น

- 🌊 Dual SPI เปลี่ยนขา MISO/MOSI มาเป็น SIO0, SIO1 ใช้รับและส่งข้อมูลคราวละสองบิตต่อสัญญาณนาฬิกา
 - 🌊 SIO0 ส่ง b6,b4,b2,b0 SIO1 ส่ง b7,b5,b3,b1 ทำให้ส่งหนึ่งไบต์ต่อสัญญาณนาฬิกา 4 ลูก
 - 🌊 การทำงานอาจอยู่ในรูปการส่งคำสั่งและ address ใน single mode แล้วรับข้อมูลแบบ dual mode
 - 🌊 หรืออาจเป็น Dual I/O command ที่ส่งคำสั่งเป็น single mode แล้วส่ง address และรับข้อมูลกลับเป็น dual mode
- 🌊 Quad SPI เพิ่มขา SIO2 และ SIO3 ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ 4 บิตต่อสัญญาณนาฬิกา
 - 🌊 การทำงานอาจเป็นการส่งคำสั่งแบบ single mode แล้วส่ง address และข้อมูลแบบ quad
 - 🌊 หรืออาจส่งคำสั่งและ address เป็น single mode แล้วตัวข้อมูลเป็นแบบ quad
- 🌊 SDCard ที่ใช้กันโดยทั่วไป อาจรองรับการจัดการข้อมูลมากกว่าหนึ่งแบบ โดยอาศัยสัญญาณจาก master เพื่อบอกว่าจะทำงานในโหมดใด
 - 🌊 SPI bus mode
 - 🌊 One-bit SD bus mode
 - 🌊 Four-bit SD bus mode
 - 🌊 Two-differential lines SD UHS-II mode



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI

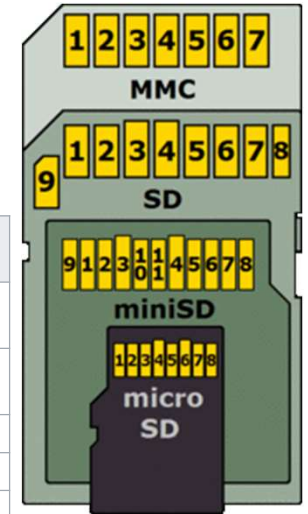
Serial Peripheral Interface (SPI)

SPI bus mode

MMC pin	SD pin	miniSD pin	microSD pin	Name	I/O	Logic	Description
1	1	1	2	nCS	I	PP	SPI Card Select [CS] (Negative logic)
2	2	2	3	DI	I	PP	SPI Serial Data In [MOSI]
3	3	3		VSS	S	S	Ground
4	4	4	4	VDD	S	S	Power
5	5	5	5	CLK	I	PP	SPI Serial Clock [SCLK]
6	6	6	6	VSS	S	S	Ground
7	7	7	7	DO	O	PP	SPI Serial Data Out [MISO]
	8	8	8	NC nIRQ	. O	. OD	Unused (memory cards) Interrupt (SDIO cards) (negative logic)
	9	9	1	NC	.	.	Unused
		10		NC	.	.	Reserved
		11		NC	.	.	Reserved

Four-bit SD bus mode

MMC pin	SD pin	miniSD pin	microSD pin	Name	I/O	Logic	Description
.	1	1	2	DAT3	I/O	PP	SD Serial Data 3
.	2	2	3	CMD	I/O	PP, OD	Command, Response
.	3	3		VSS	S	S	Ground
.	4	4	4	VDD	S	S	Power
.	5	5	5	CLK	I	PP	Serial clock
.	6	6	6	VSS	S	S	Ground
.	7	7	7	DAT0	I/O	PP	SD Serial Data 0
	8	8	8	DAT1 nIRQ	I/O O	PP OD	SD Serial Data 1 (memory cards) Interrupt Period (SDIO cards share pin via protocol)
	9	9	1	DAT2	I/O	PP	SD Serial Data 2
		10		NC	.	.	Reserved
		11		NC	.	.	Reserved



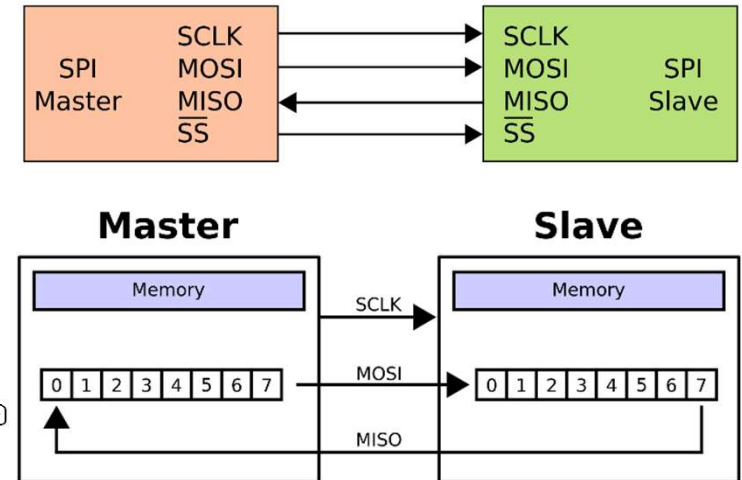
Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI

SPI : Characteristics

🌿 ขาสัญญาณ

- 🔵 SCLK/SCK (Serial Clock) สัญญาณนาฬิกาจาก master
- 🔵 MOSI (Master Out Slave In) ข้อมูลส่งจาก master ไปยัง slave
- 🔵 MISO (Master In Slave Out) ข้อมูลส่งจาก slave กลับไปยัง master
- 🔵 CS/SS (Chip/Slave Select) สัญญาณจาก master กำหนด slave ที่ต้องการติดต่อ
 - 🌈 ปกติมักจะเป็น Active low (ส่งลอจิก 0 เพื่อต้องการติดต่อ)



🌿 กลไกพื้นฐานการทำงานมีลักษณะเป็น shift register ภายใน master และ slave

- 🔵 เมื่อต้องการส่งข้อมูล จะใช้สัญญาณ SCLK เพื่อดันบิตข้อมูลใน shift register หนึ่งตัวจาก master ไปยัง slave (ผ่าน MOSI)
- 🔵 และใช้สัญญาณเดียวกันนั้นในการดันข้อมูลกลับจากทาง slave ไปยัง master (ผ่าน MISO)
- 🔵 จึงเห็นได้ว่าการรับและส่งข้อมูลพร้อมกันสองทาง

🌿 การส่งข้อมูลในลักษณะหลายไบต์ กระทำในลักษณะเป็นบิตต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งหมดชุดข้อมูล

- 🔵 ตัวอย่างเช่น หากมีข้อมูลส่งทั้งหมด 4 ไบต์ หมายความว่า จะมีบิตข้อมูลส่งไปทั้งหมด 32 บิตข้อมูลในคราวเดียว



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI

SPI : Characteristics

Timing diagram

Clock Polarity (CPOL)

Idle at 0 (CPOL=0) สถานะปกติของ SCK เป็น 0 เมื่อไม่มีการรับส่งข้อมูล

Idle at 1 (CPOL=1) สถานะปกติของ SCK เป็น 1 เมื่อไม่มีการรับส่งข้อมูล

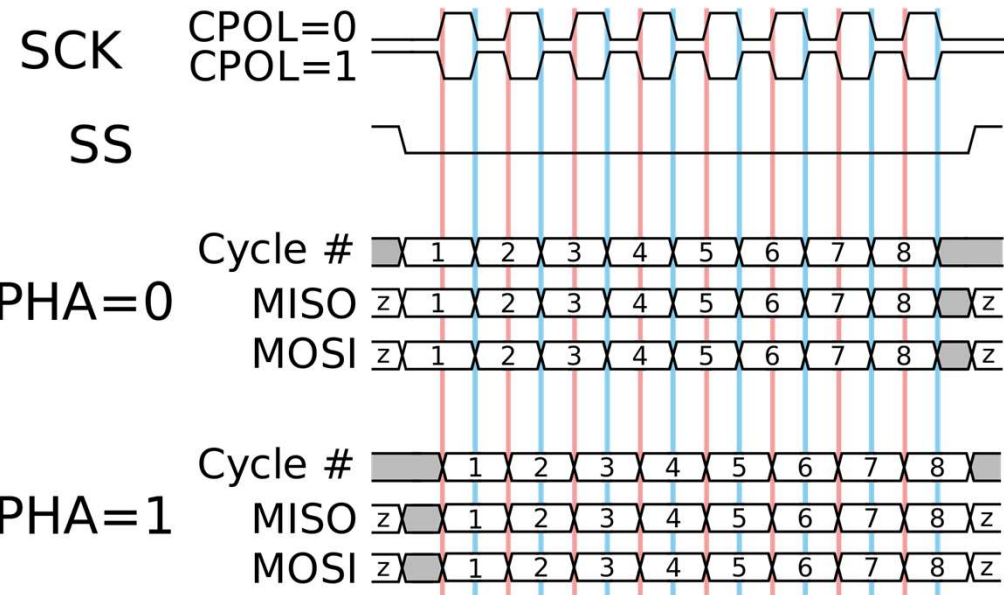
Clock Phase (CPHA)

เขียน/อ่านในจังหวะต้นสัญญาณ SCK (CPHA=0)

เขียน/อ่านในจังหวะกลางสัญญาณ SCK (CPHA=1)

แบ่งเป็นโหมด (mode) ดังนี้

Mode	CPOL	CPHA
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG

PRESENTER

TODAY TOPIC IS

SPI

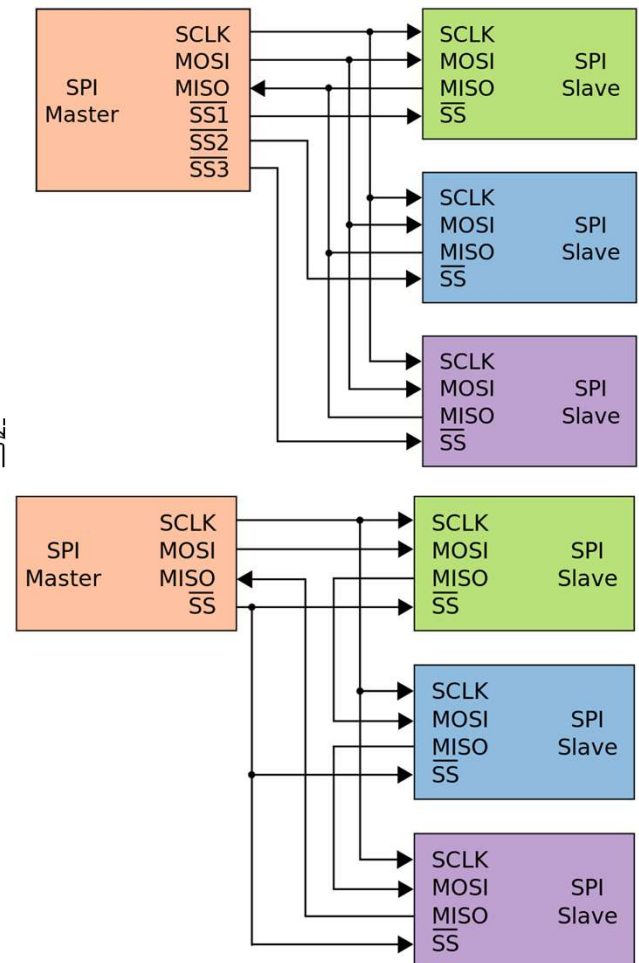
SPI : Topology



ลักษณะการต่ออุปกรณ์ผ่าน SPI

- แบบแยก slave ตัว master มีขาสัญญาณ SS/CS มากกว่าหนึ่งเส้น แต่ละเส้นต่อไปยัง slave แต่ละตัว และส่งสัญญาณ active ไปที่ slave เพียงตัวเดียว
- แบบ daisy-chain ขา MISO ของ slave ตัวแรกต่อไปยัง MOSI ของตัวที่สอง และเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้สัญญาณที่ slave ตัวแรกส่งกลับคืน จะส่งไปยัง slave ตัวที่สองแทน master และเป็นเช่นนี้เรื่อยไป จนสัญญาณที่ส่งคืนจาก slave ตัวสุดท้ายจึงย้อนกลับไปยัง master

ตัวอย่างการต่อในลักษณะนี้เห็นได้ใน WS2812B และ MAX7219



การต่อแบบ Daisy-chain



SPI ใน STM32

- 🌱 รองรับเป็นทั้ง master และ slave
- 🌱 ทำงานได้ทั้งเป็น full-duplex และ half-duplex
 - 💡 ในโหมด half-duplex ขาสัญญาณจะเหลือเพียงเส้นเดียว (MOMI)
- 🌱 รองรับการทำงานแบบ 1bit 2bit และ 4bit (Quad SPI)
 - 💡 ขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณและรุ่น/เบอร์ย่อย
- 🌱 รองรับการจัดการแบบ SDIO
 - 💡 ขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณและ รุ่น/เบอร์ย่อย
- 🌱 ความเร็วของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณและรุ่น/เบอร์ย่อย
 - 💡 STM32 บางรุ่นย่อย จะกำหนดความละเอียดของความเร็วสัญญาณนาฬิกาได้จำกัด ในขณะที่รุ่นสูงขึ้นไปมักจะสามารถกำหนดความถี่ได้ละเอียดและตรงความต้องการได้ดีกว่า



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI



สรุปหัวข้อ

- 🌱 SPI เป็นบัสสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมซึ่งโครNSSอีกรูปแบบหนึ่ง
 - 🌐 แตกต่างจากบัส I2C ตรงที่ SPI อาจแยกสายสัญญาณส่งและรับข้อมูลออกจากกัน และการส่งบิตข้อมูลไม่มี ACK แทรก
ระหว่างบิต
- 🌱 สัญญาณนาฬิกาสูงกว่า I2C ในระดับ MHz (อาจสูงถึงหลักสิบถึงร้อย MHz)
- 🌱 การต่อ slave หลายตัวพ่วงเข้าด้วยกันอาจทำในลักษณะควบคุมแยกด้วย CS/SS หรือต่อแบบ daisy-chain



Asst.Prof. Thanwa SRIPRAMONG
PRESENTER

TODAY TOPIC IS
SPI