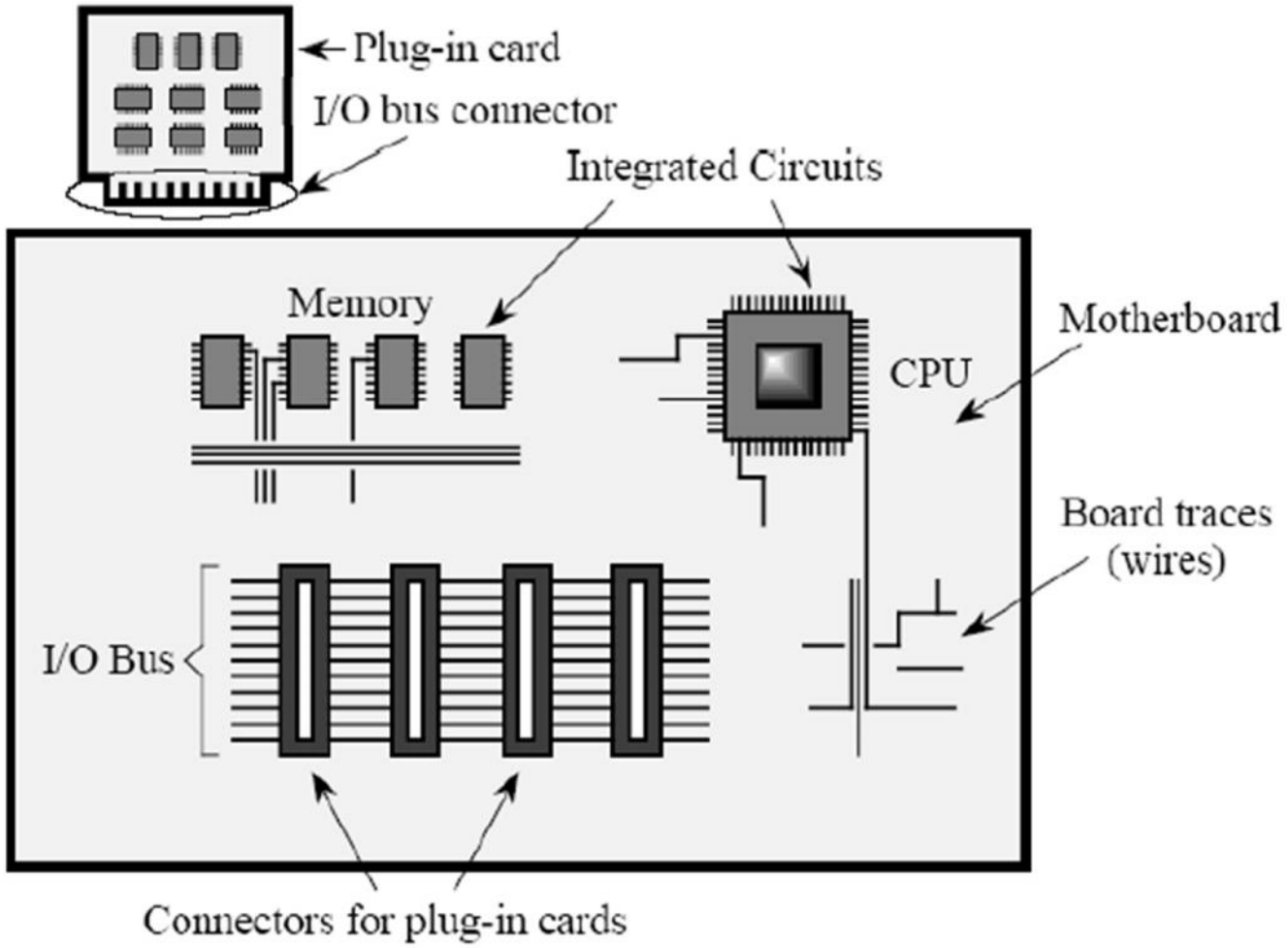
บทที่ 4
บัสและอินเทอร์เฟซ

(Bus & Interface)

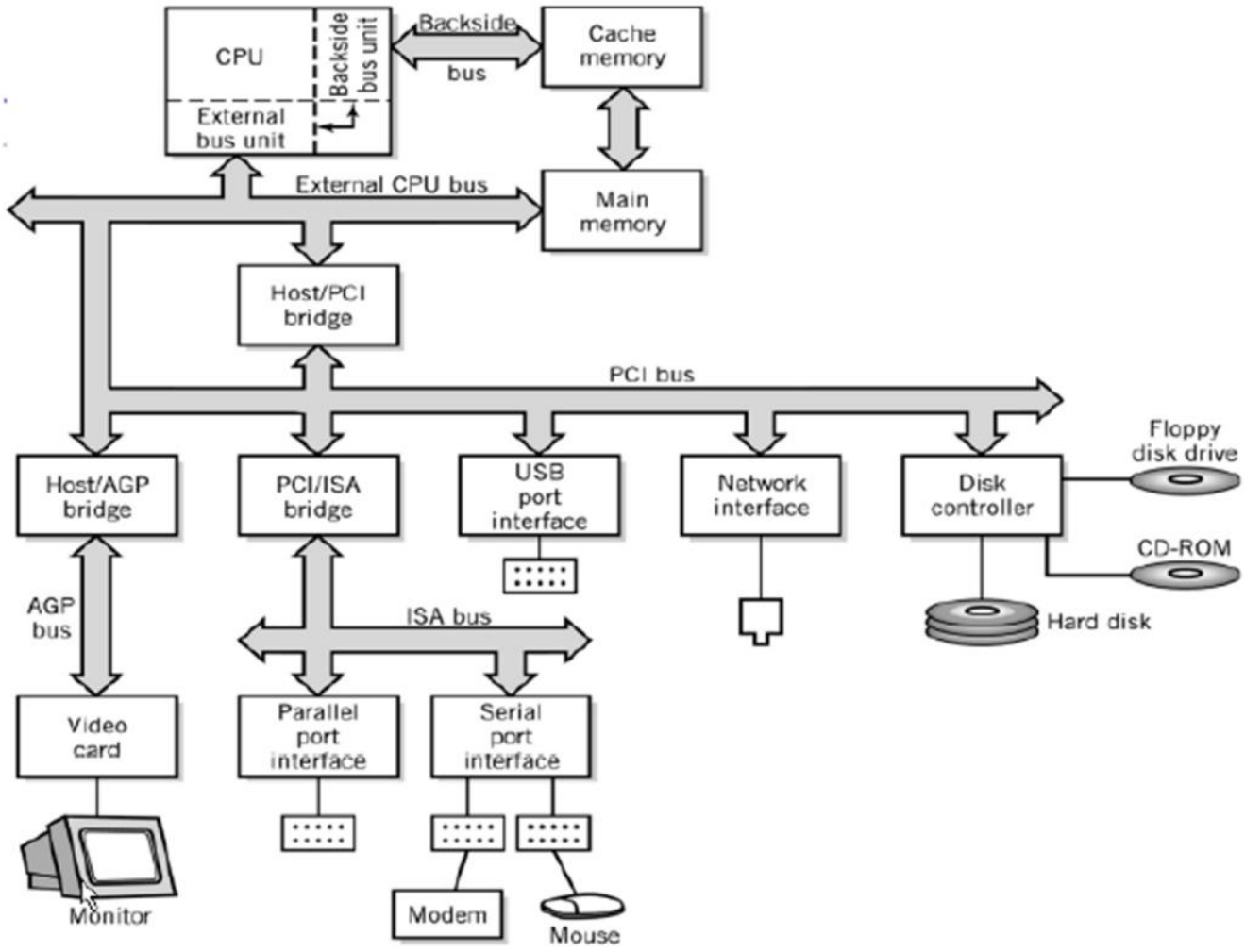
บัสและอินเทอร์เฟซ

คำสั่งที่ถูกเอ็กซิคิวต์ในซีพียูโดยการย้ายข้อมูลในรูปแบบที่ต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปสู่รีจิสเตอร์ หรือระหว่างรีจิสเตอร์กับหน่วยความจำ นอกจากข้อมูลที่เป็นตัวเลขแล้ว ข้อมูลยังสามารถรวมคำสั่งและแอดเดรสไปพร้อม ๆ กันด้วย ดังนั้นข้อมูลที่ถ่ายโอนระหว่างไอโอโมดูล, หน่วยความจำ และซีพียูจะคล้ายกัน การเชื่อมต่อทางกายภาพที่ทำให้ข้อมูลสามารถถ่ายโอนจากแหล่งหนึ่งไปอีกแหล่งหนึ่งในระบบคอมพิวเตอร์เรียกว่า “บัส” (bus)

บัสและอินเทอร์เฟซ



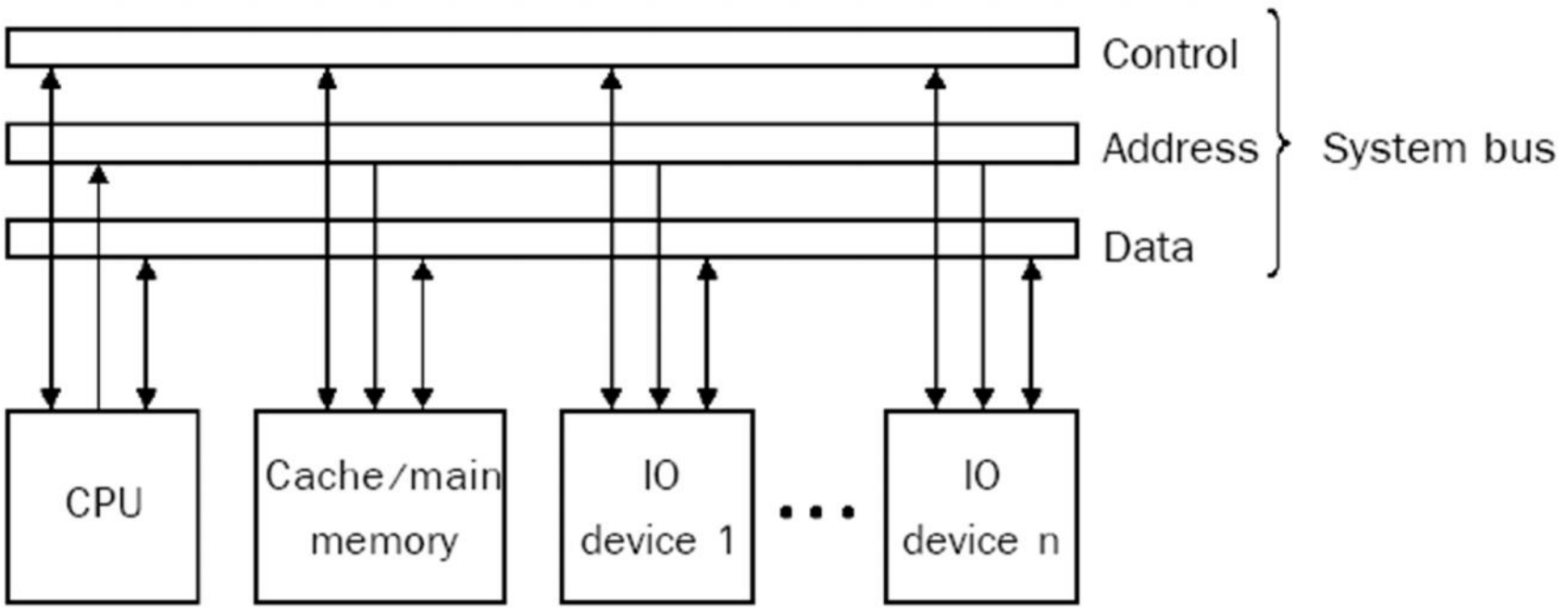
บัสและอินเทอร์เฟซ



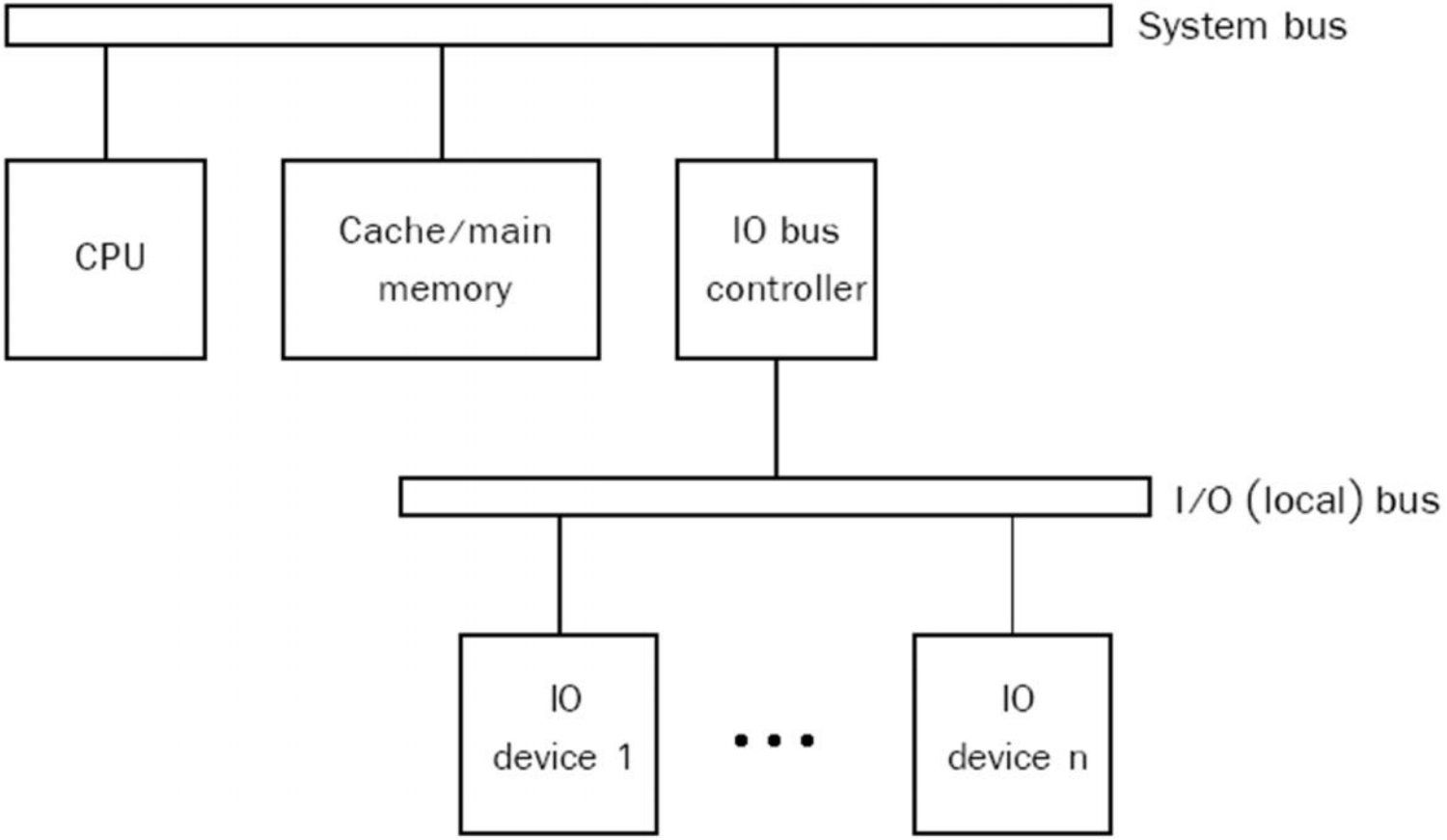
โครงสร้างพื้นฐานของบัส

- บัสมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตั้งแต่สองอุปกรณ์ขึ้นไป
- มีสัญญาณควบคุมให้อุปกรณ์ใดส่งก่อน อุปกรณ์ใดต้องรอ
- ในช่วงเวลาเดียวกันไม่มีอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลพร้อมกัน
- บัสที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อส่วนหลัก ๆ ของคอมพิวเตอร์ (โปรเซสเซอร์, หน่วยความจำ และไอโอ) เรียกว่า **“บัสระบบ” (System bus)**
- ปกติจะมีการโหลดคำสั่งและข้อมูลจากหน่วยความจำไปยังโปรเซสเซอร์
- ส่วนการเขียนข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ลงหน่วยความจำจะทำในทิศทางตรงข้าม
- **การกระทำกับหน่วยความจำผ่านทางบัสระบบ**เป็นคำสั่งที่เป็น **“สเลฟ” (slave)**
- ซีพียูสามารถ**เชื่อมต่อโดยตรงกับบัสระบบ**ทำให้เรียกว่า **“มาสเตอร์” (master)**

โครงสร้างพื้นฐานของบัส



โครงสร้างพื้นฐานของบัส



การออกแบบบัส

- ประเภทของบัส (Type)
- การควบคุมบัส (Arbitration)
- รูปแบบการเข้าจังหวะ (Timing)
- ขนาดบัส (Width)
- การถ่ายโอนข้อมูล (Data transfer type)
- การแยกการร้องขอข้อมูล (Split transaction)

ประเภทของบัส

- **Dedicate** : เป็นบัสที่มีการกำหนดหน้าที่ไว้อย่างชัดเจนและถาวร ซึ่งจะเห็นได้ชัดคือบัสย่อยในระบบคอมพิวเตอร์ เช่น แอดเดรสบัส, ดาต้าบัส หรือคอนโทรลบัสที่จะทำหน้าที่กำหนดแอดเดรส, ส่งข้อมูล และสัญญาณควบคุม ตามลำดับ
- **Multiplexed** : บัสที่สามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง ไม่มีการกำหนดอย่างชัดเจนและถาวร การทำหน้าที่อะไรนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุม

การควบคุมบัส

- **Centralized** : มีส่วนที่เรียกว่า “คอนโทรลเลอร์” (Controller) หรือ “อาร์บิเตอร์” (Arbiter) อาจจะเป็นหน่วยแยกหรือรวมอยู่กับโปรเซสเซอร์ก็ได้ โดยส่วนนี้มีหน้าที่จัดสรรเวลาการใช้บัสให้กับส่วนอื่นที่ร้องขอมา
- **Distributed** : ไม่มีคอนโทรลเลอร์ที่คอยควบคุมการใช้บัส แต่จะมีวงจรพิเศษที่เรียกว่า “แอกเซสคอนโทรลลอจิก” (Access Control Logic) อยู่ในตัวเอง และจะทำงานร่วมกันในการแบ่งใช้บัสร่วมกัน

รูปแบบการเข้าจังหวะ

- **Synchronous** : จะมีส่วนหนึ่งบนบัสนั้นที่มีเครื่องกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและทำหน้าที่ส่งชุดสัญญาณ 0 และ 1 ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ
- **Asynchronous :** ไม่มีสัญญาณนาฬิกาของบัส ส่วนที่เป็นมาสเตอร์ของบัสแบบนี้จะวางทุกสิ่งที่ต้องการลงบนบัส (แอดเดรส, ดาต้า และคอนโทรล) และกำหนด MSYN (master synchronization) ส่วนที่เป็นสเลฟจะทำงานของตนและเมื่อเสร็จสิ้นจะกำหนด SSYN (slave synchronization) หลังจากนั้นส่วนที่เป็นมาสเตอร์จะปลดปล่อย MSYN แล้วส่งสัญญาณไปปลดปล่อย SSYN

ขนาดของบัส

- **แอดเดรสบัส**ที่มีความกว้าง (หรือมีจำนวน) มาก ๆ ก็จะทำให้สามารถอ้างอิงแอดเดรสได้มาก
- **ดาต้าบัส**จะมีผลกระทบกับประสิทธิภาพและความเร็วของระบบ นั่นก็คือยิ่งดาต้าบัสมีความกว้าง (หรือมีจำนวน) มากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้การถ่ายโอนข้อมูลทำได้ดี ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นนั่นเอง

การถ่ายโอนข้อมูล

- ทุกบัสสนับสนุนการเขียน (จากมาสเตอร์ไปสเลฟ) และการอ่าน (จากสเลฟไปมาสเตอร์)
- สำหรับแอดเดรสบัส/ดาต้าบัสที่เป็นแบบ multiplexed ในขั้นแรกบัสจะถูกกำหนดให้เป็นแอดเดรสบัสก่อน (เพื่อกำหนดแอดเดรส) หลังจากนั้นจะถูกกำหนดเป็นดาต้าบัส (เพื่อส่งข้อมูล)
- สำหรับคำสั่งการอ่าน จะมีการรอให้ข้อมูลถูกดึงจากสเลฟมาวางบนบัสก่อน
- แต่สำหรับคำสั่งทั้งอ่านและเขียน อาจจะต้องมีการรอ เพื่อการเพิ่มการควบคุมและเลือกอุปกรณ์ให้รับสิทธิ์การใช้บัสต่อไป เช่น กำหนดสิทธิ์ให้อุปกรณ์สามารถอ่านและเขียนได้ เป็นต้น

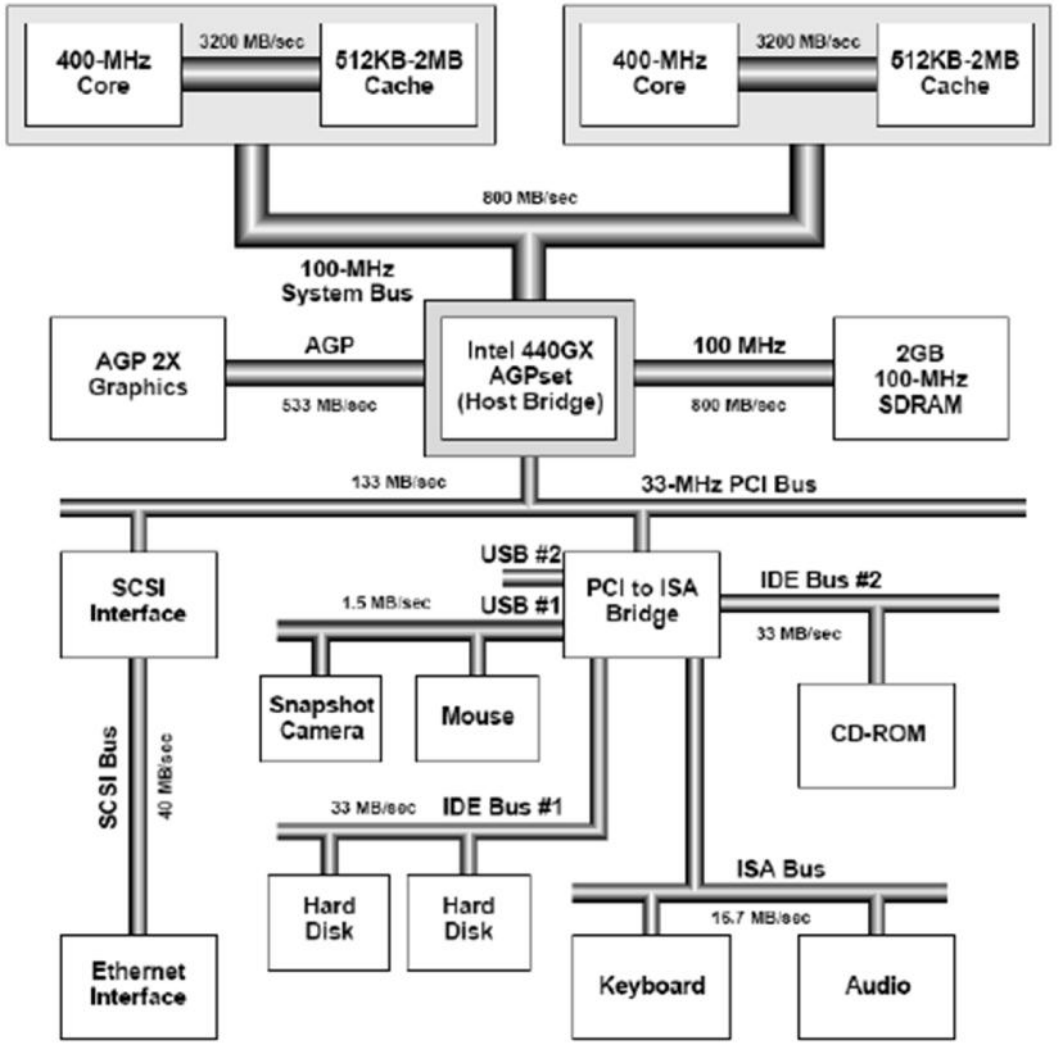
การแยกการร้องขอข้อมูล

ออปชัน	บัสประสิทธิภาพสูง	บัสราคาต่ำ
บัส	แยกแอ็ดเดรสและดาต้าบัสออกจากกัน	มีแอ็ดเดรสและดาต้าบัสหลายเส้น
ความกว้างดาต้าบัส	ยิ่งกว้างยิ่งเร็ว	แคบกว่าถูกกว่า
ขนาดการถ่ายโอน	ถ่ายโอนได้ครั้งละหลายเวิร์ด	ถ่ายโอนครั้งละเวิร์ด
บัสมาสเตอร์	มัลติเพิลมาสเตอร์ (ต้องมีตัวควบคุม)	มาสเตอร์เดียว (ไม่ต้องมีตัวควบคุม)
Split transaction?	มี - แยกแพ็กเก็ตของการร้องขอและการตอบรับ โดยใช้แบนด์วิธมากกว่า (ต้องมีมัลติเพิลมาสเตอร์)	ไม่มี – มีการเชื่อมต่ออย่างต่อเนื่องที่ราคาต่ำกว่าแต่มีความเชื่อถือต่ำกว่า
การเข้าจังหวะ	ซิงโครนัส	อะซิงโครนัส

สถาปัตยกรรมของบัสแบบ Bridge

- มุมมองทางลอจิกทุกดีไวซ์จะเชื่อมต่อโดยตรงกับบัสระบบ
- แต่สำหรับมุมมองทางโอเปอเรชันนั้นสิ่งเหล่านี้เป็นภาระหนักของบัส ระบบเนื่องจากดีไวซ์ต่าง ๆ ไม่สามารถถ่ายโอนข้อมูลระหว่างกันได้อย่างต่อเนื่อง
- ในขณะที่ทุกดีไวซ์เชื่อมต่อกับบัสระบบในเวลาเดียวกันนั้น อาจจะมีการถ่ายโอนข้อมูลที่หลากหลายซึ่งไม่เกี่ยวข้องกันเลยในระบบ เช่น ดีไวซ์ทางด้านกราฟิกอาจจะมีการเปลี่ยนสีบนจอภาพในเวลาเดียวกับแคชกำลังดึงข้อมูลจากหน่วยความจำ และไอโอกำลังถ่ายโอนข้อมูลในเครือข่ายก็ได้

สถาปัตยกรรมของบัสแบบ Bridge



มาตรฐานของบัส

	IDE/ATA	SCSI	PCI	PCI - X
ความกว้างดาต้าบัส	16 บิต	8 หรือ 16 บิต	32 หรือ 64 บิต	32 หรือ 64 บิต
อัตราสัญญาณนาฬิกา	มากถึง 100 MHz	10 MHz (Fast)		
		20 MHz (Ultra)		
		40 MHz (Ultra2)		
		80 MHz (Ultra3 หรือ Utra160)		
		160 MHz (Ultra4 หรือ Ultra320)	33 หรือ 66 MHz	66, 100, 133 MHz
จำนวนบัสมาสเตอร์	1	หลาย	หลาย	หลาย
แบนด์วิธ (สูงสุด)	200 MB/s	320 MB/s	533 MB/s	1066 MB/s
การเข้าจังหวะ	อะซิงโครนัส	อะซิงโครนัส	ซิงโครนัส	ซิงโครนัส
มาตรฐาน	-	ANSI X3.131	-	-

มาตรฐานของบัส

	HP HyperPlane Crossbar	IBM SP	Sun Gigaplane-XB
ความกว้างดาต้าบัส	64 บิต	128 บิต	128 บิต
อัตราสัญญาณนาฬิกา	120 MHz	111 MHz	83.3 MHz
จำนวนบัสมาสเตอร์	หลาย	หลาย	หลาย
แบนด์วิธต่อพอร์ตสูงสุด	960 MB/s	1700 MB/s	1300 MB/s
แบนด์วิธรวมสูงสุด	7680 MB/s	14200 MB/s	10667 MB/s
การเข้าจังหวะ	ซิงโครนัส	ซิงโครนัส	ซิงโครนัส
มาตรฐาน	-	-	-

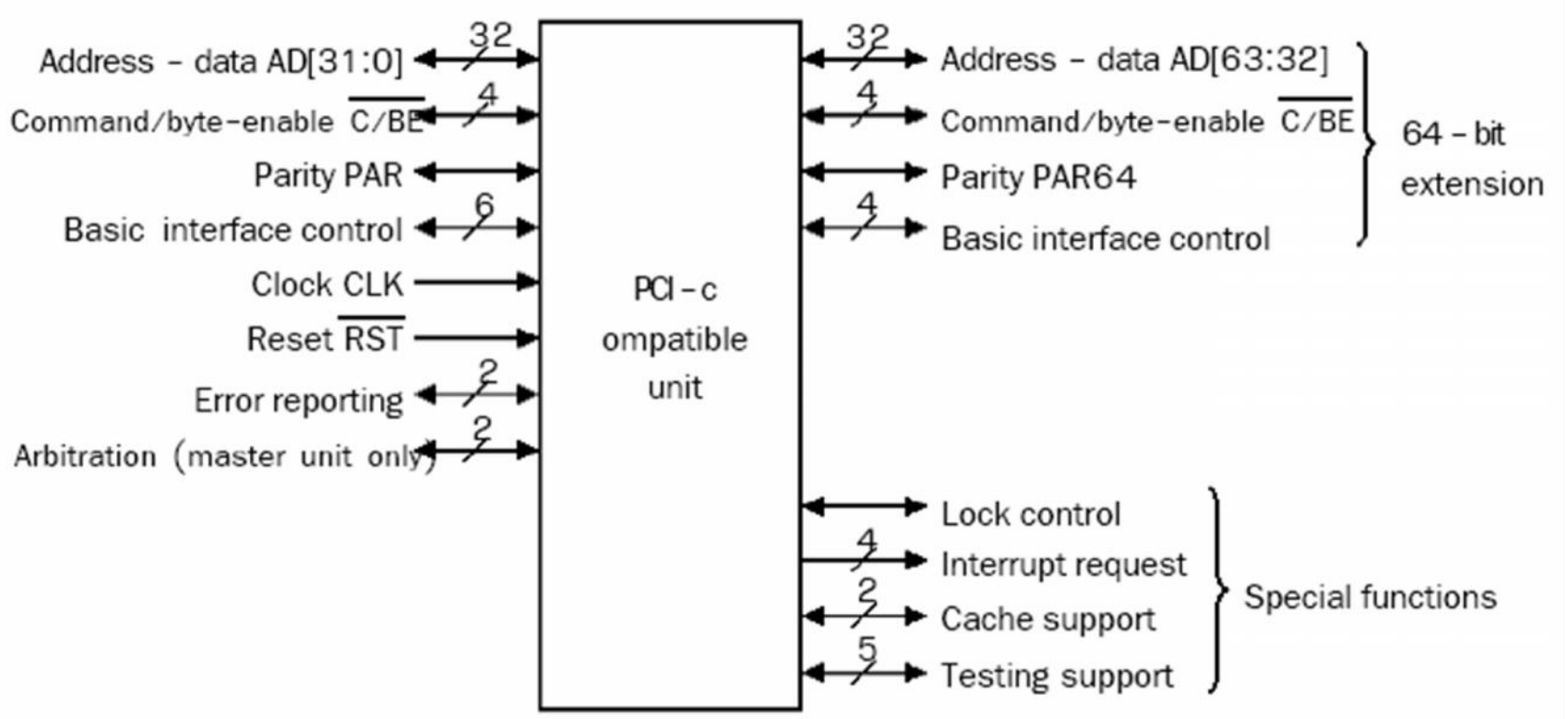
PCI (Peripheral Component Interconnect)

- มีอัตราเร็ว 2 แบบคือ 33 และ 66 เมกะเฮิร์ต ปัจจุบันบนเมนบอร์ดมีสล็อตสูงสุด 5 สล็อตสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ และสามารถรองรับการทำงานของการ์ด PCI แบบบัสมาสเตอร์ (สนับสนุนการถ่ายโอนข้อมูลความเร็วสูง โดยไม่ผ่าน DMA) เช่น SCSI หรือ LAN card เป็นต้น
- ความกว้างของดาต้าบัสมีทั้งแบบ 32 และ 64 บิต โดยมีแบนด์วิธสูงสุดที่ 533 เมกะบิตต่อวินาที และสามารถถ่ายโอนข้อมูลในรูปแบบของ Burst Mode
- แรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับบัสแบบ PCI นี้มี 2 แบบคือ ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด +3.3 โวลต์ สำหรับเครื่องพีซีทั่วไป และแรงดันขนาด +5 โวลต์ สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC เช่น Alpha ของ DEC เป็นต้น

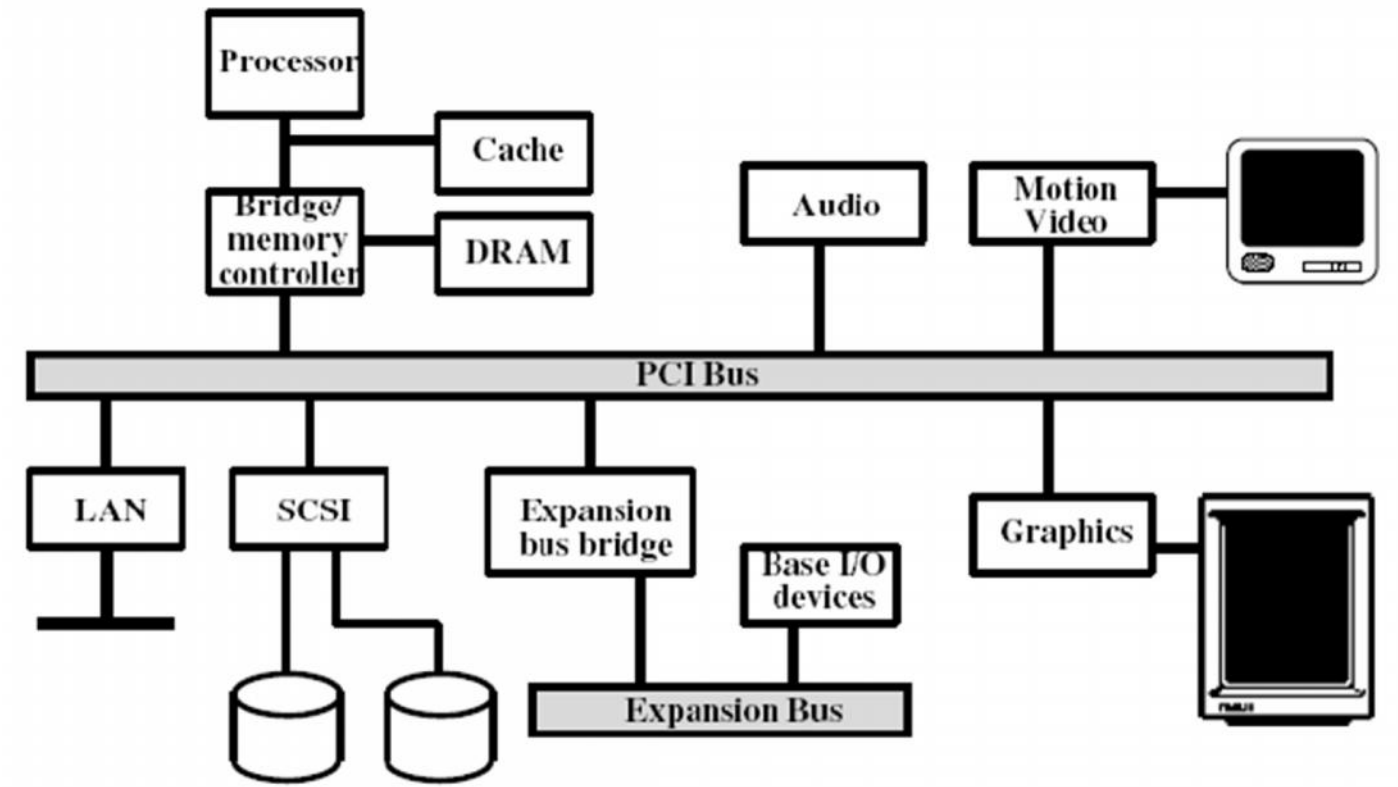
PCI (Peripheral Component Interconnect)

- ใช้เทคนิคที่ใช้แอดเดรสบัส/ดาต้าบัสเป็นแบบ multiplexed ทำให้ลดขนาดจำนวนขาของสล็อต PCI
- ใช้ระบบ Plug & Play ทำให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องตั้งค่าคอนฟิกกุเรชัน ทำให้ลดปัญหาการเกิดอินเทอร์รัพต์
- มีระบบ Write Posting และ Read Prefetching ทำให้ประหยัดเวลาในการเตรียมการเขียนและอ่านข้อมูล
- เป็นระบบบัสที่ไม่ขึ้นกับโปรเซสเซอร์ ทำให้สามารถใช้อุปกรณ์ร่วมกันได้ เป็นการลดค่าใช้จ่าย และการซ่อมบำรุง
- มีการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดในระหว่างการถ่ายโอนข้อมูล

PCI (Peripheral Component Interconnect)

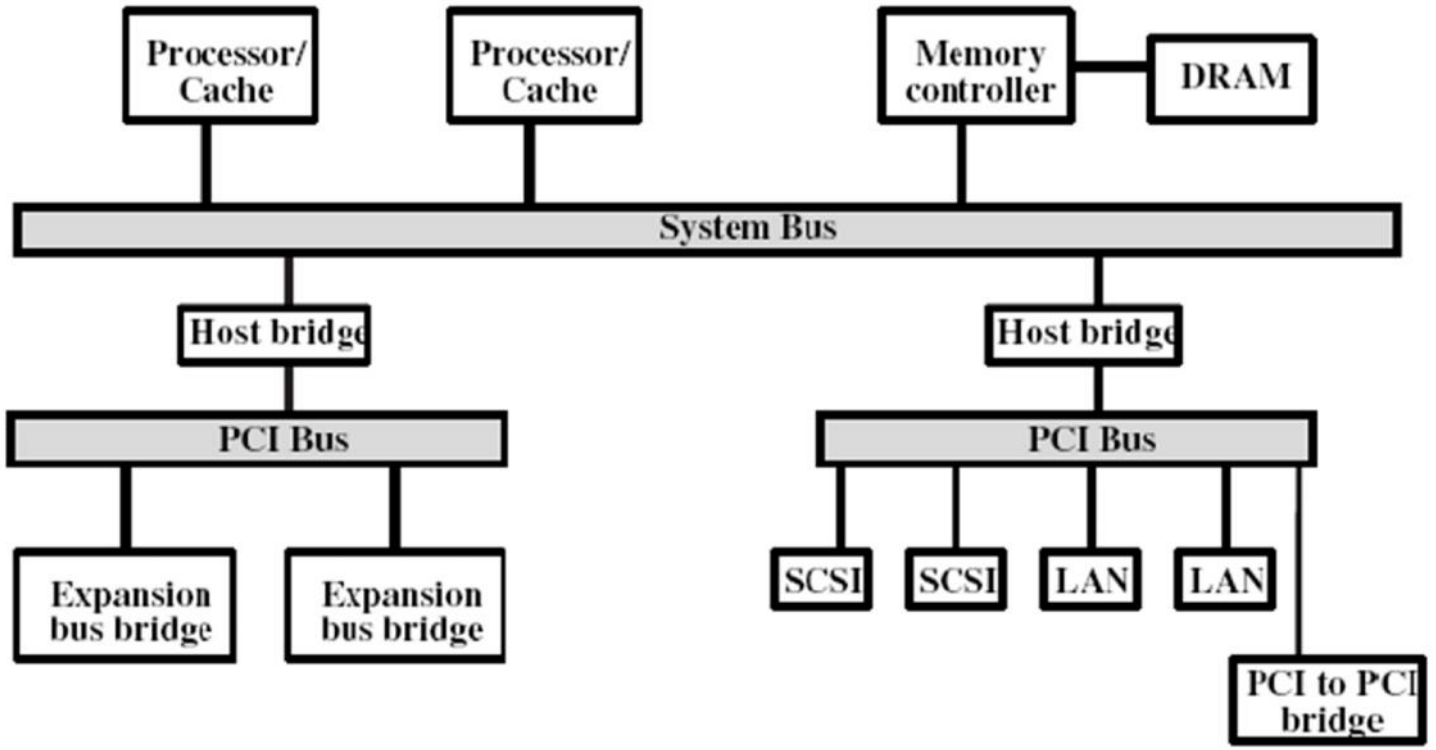


PCI (Peripheral Component Interconnect)



ก) เครื่องเดสก์ทอป

PCI (Peripheral Component Interconnect)

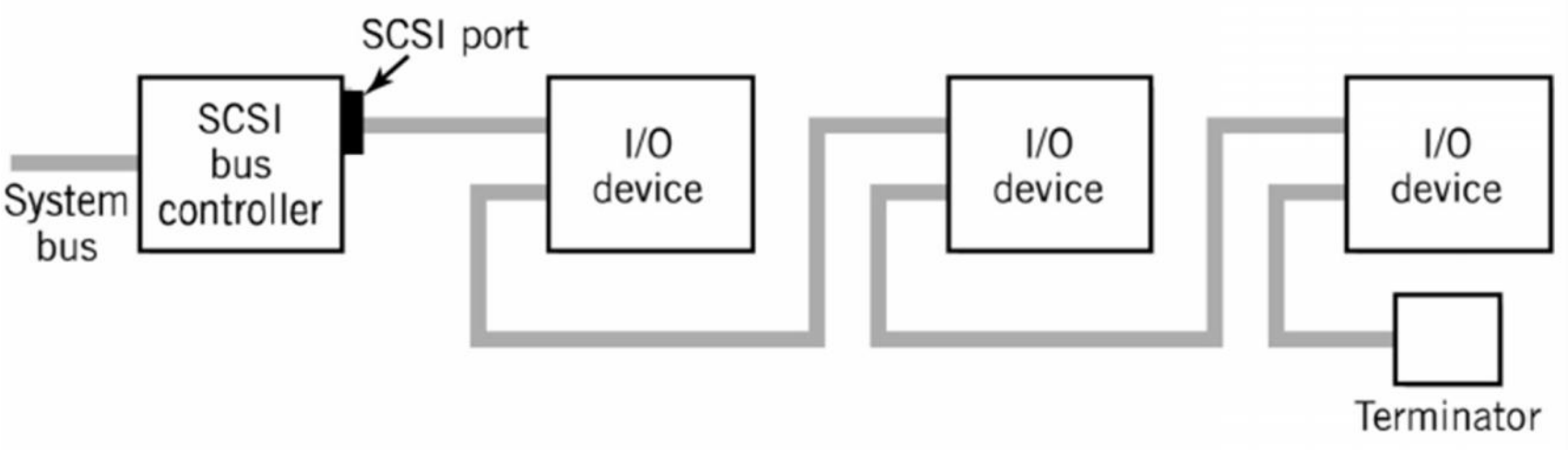


ข) เครื่องเซิร์ฟเวอร์

SCSI (Small Computer System Interface)

- บัสแบบขนานทั่วไปที่ออกแบบมาเพื่อทำงานเป็นสากลกับไอโอดีไวซ์ เช่น ฮาร์ดดิสก์, เครื่องพิมพ์, ซีดีรอม, สแกนเนอร์ และเทป เป็นต้น
- แต่บัสแบบ SCSI มีการกำหนดแอดเดรสให้แต่ละดีไวซ์
- บัสแบบ SCSI ถูกออกแบบให้เป็น “daisy chained” ที่แต่ละดีไวซ์จะเชื่อมต่อกับดีไวซ์อื่น โดยตัวที่สองจะเชื่อมต่อกับตัวที่หนึ่ง ตัวที่สามจะเชื่อมต่อกับตัวที่สอง เป็นเช่นนี้เรื่อยไป
- ดีไวซ์ตัวสุดท้ายจะมีเทอร์มิเนเตอร์ (terminator) เพื่อป้องกันการสะท้อนของสัญญาณกลับเข้ามาที่บัสในลักษณะผิดทิศทาง
- มีเทอร์มิเนเตอร์ที่คอนโทรลเลอร์ของบัสแบบ SCSI ไอโอแต่ละตัวจะมีคอนโทรลเลอร์เฉพาะอยู่ในตัวเอง

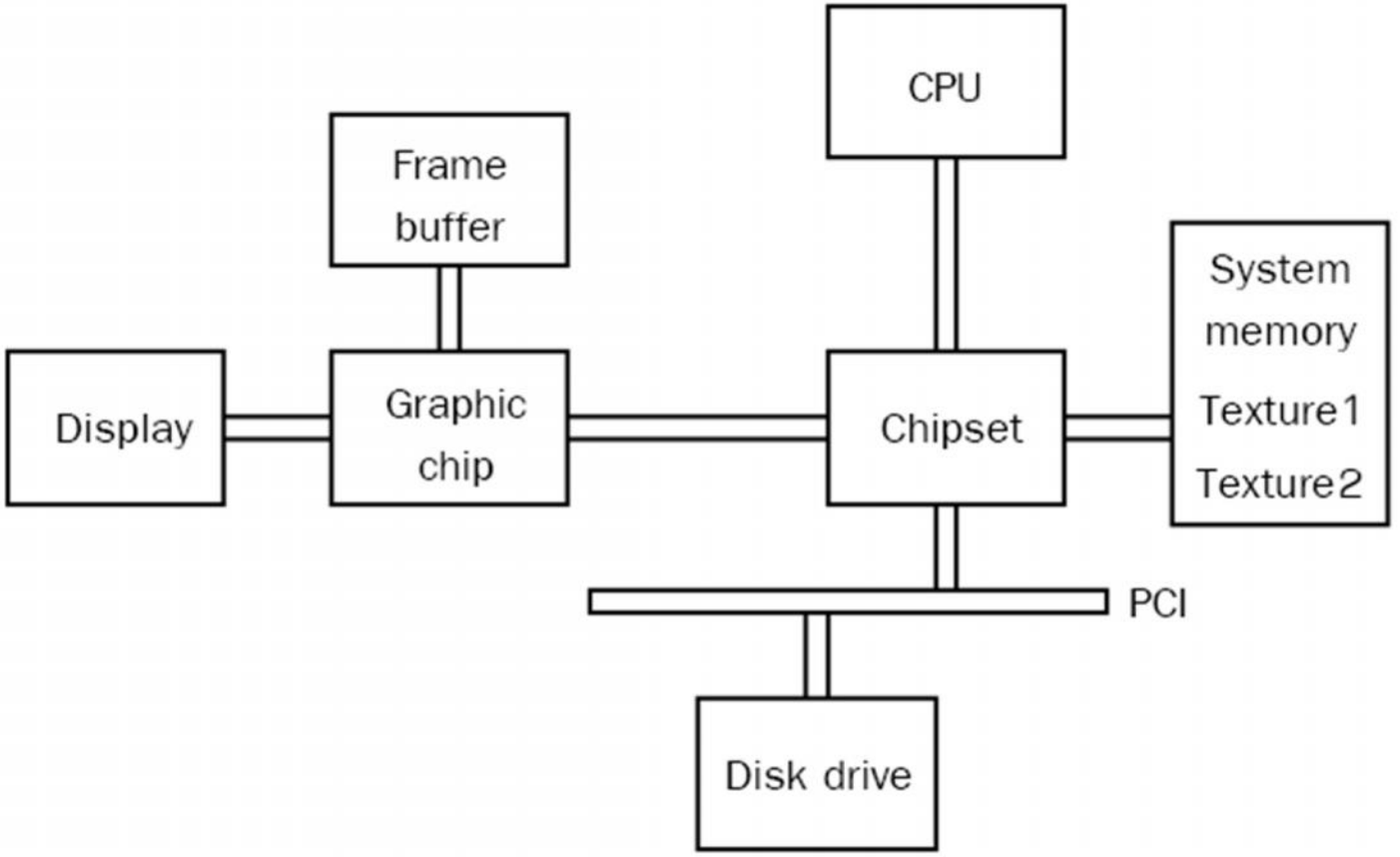
SCSI (Small Computer System Interface)



AGP (Accelerated Graphics Port)

- AGP ไม่เป็นระบบบัส
- แต่ AGP เป็นบัสที่ใช้กับการ์ดจอเพื่อการแสดงผลภาพเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ รวมทั้งภาพยนตร์ หรือ วิดีโอแบบจอคอมพิวเตอร์
- มีขนาดของบัสเป็น 32 บิตเช่นเดียวกับ PCI
- AGP สามารถวิ่งได้ที่ความเร็วสูงสุด ในขณะที่ PCI วิ่งได้ความเร็วเพียงครึ่งหนึ่ง เช่น ถ้าโปรเซสเซอร์ทำงานที่ 100 เมกะเฮิร์ต AGP ก็สามารถทำงานได้ที่ความเร็ว 100 เมกะเฮิร์ตในขณะที่ PCI ทำงานได้ที่ความเร็ว 50 เมกะเฮิร์ตเท่านั้น ทำให้ PCI ไม่สามารถรองรับความเร็วในการประมวลผลเชิงภาพกราฟิก โดยเฉพาะกราฟิก 3 มิติ ทำให้มีการพัฒนา AGP ขึ้นมา

AGP (Accelerated Graphics Port)



USB (Universal Serial BUS)

- สามารถเชื่อมต่อดีไวซ์ได้ถึง 127 ดีไวซ์ในคอมพิวเตอร์เครื่องเดียว
- ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที หรือ 60 เมกะไบต์ต่อวินาที (ใน USB 2.0) ทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพ
- ลดการใช้รีซอร์ส IRQ และสล็อต (Slot) สำหรับการ์ดต่าง ๆ ที่เป็นอุปกรณ์ต่อพ่วงในคอมพิวเตอร์ได้อย่างมาก
- เปิดสวิตช์ก็สามารถใช้งานได้ทันที ไม่จำเป็นต้องปิดแล้วเปิดเครื่องใหม่
- สนับสนุนการทำงานแบบ Plug & Play
- สนับสนุนการทำงานแบบ Hot Swap ที่สามารถถอด-ใส่อุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องปิดสวิตช์คอมพิวเตอร์ และใช้งานต่อได้ทันที

USB (Universal Serial BUS)

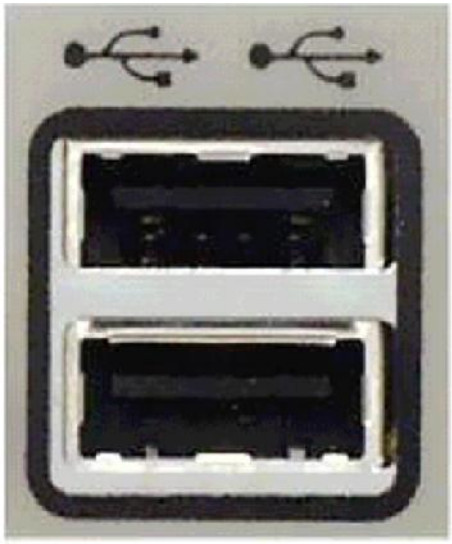
- USB มีคอนเน็กเตอร์เฉพาะที่ไม่เหมือนคอนเน็กเตอร์ของดีไวซ์อื่น ๆ ทำให้ช่วยป้องกันความผิดพลาดในการเชื่อมต่อดีไวซ์ผิดประเภท
- ดีไวซ์ที่เชื่อมต่อกับพอร์ต USB ใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ เช่น เมาส์, กล้องดิจิตอล จะใช้ไฟจากบัส USB ได้ทันที แต่ถ้าดีไวซ์นั้นใช้ไฟฟ้าแรงดันสูง เช่น เครื่องพิมพ์, สแกนเนอร์, โมเด็ม จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟแยกต่างหาก เช่น จากเต้าเสียบ
- ความยาวของสายสัญญาณของดีไวซ์ USB สามารถยาวได้ถึง 5 เมตร หากต้องการความยาวมากกว่านั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater)
- สามารถขยายดีไวซ์มาตรฐานที่เชื่อมต่อนั้นด้วยไดร์เวอร์มาตรฐาน

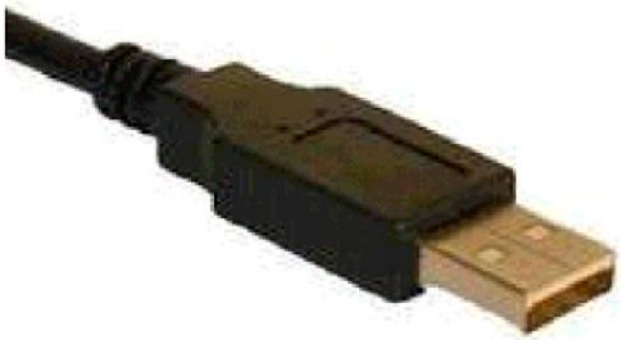
USB (Universal Serial BUS)

- การเชื่อมต่อทำได้ง่ายเนื่องจากมีสายสัญญาณเพียง 4 เส้น คือ V+, V-, D+ และ D- โดยสายข้อมูล (D+ และ D-) นั้นจะเป็นสายตีเกลียวคู่
- มีระบบ Suspend เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน
- มีการกำหนดค่าแอดเดรสของดีไวซ์ต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ ทำให้ลดข้อผิดพลาดในการเกิดอินเทอร์รัพต์ของดีไวซ์
- มีระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดในการถ่ายโอนข้อมูลไปมาระหว่าง USB กับ USB Interface ในกรณีเกิดข้อผิดพลาดในถ่ายโอนข้อมูล จะพยายามรับส่งข้อมูลกันใหม่อีกครั้ง
- สนับสนุนการถ่ายโอนข้อมูล 4 ระบบคือ Bulk, Isochronous, Interrupt และ Control Transfer

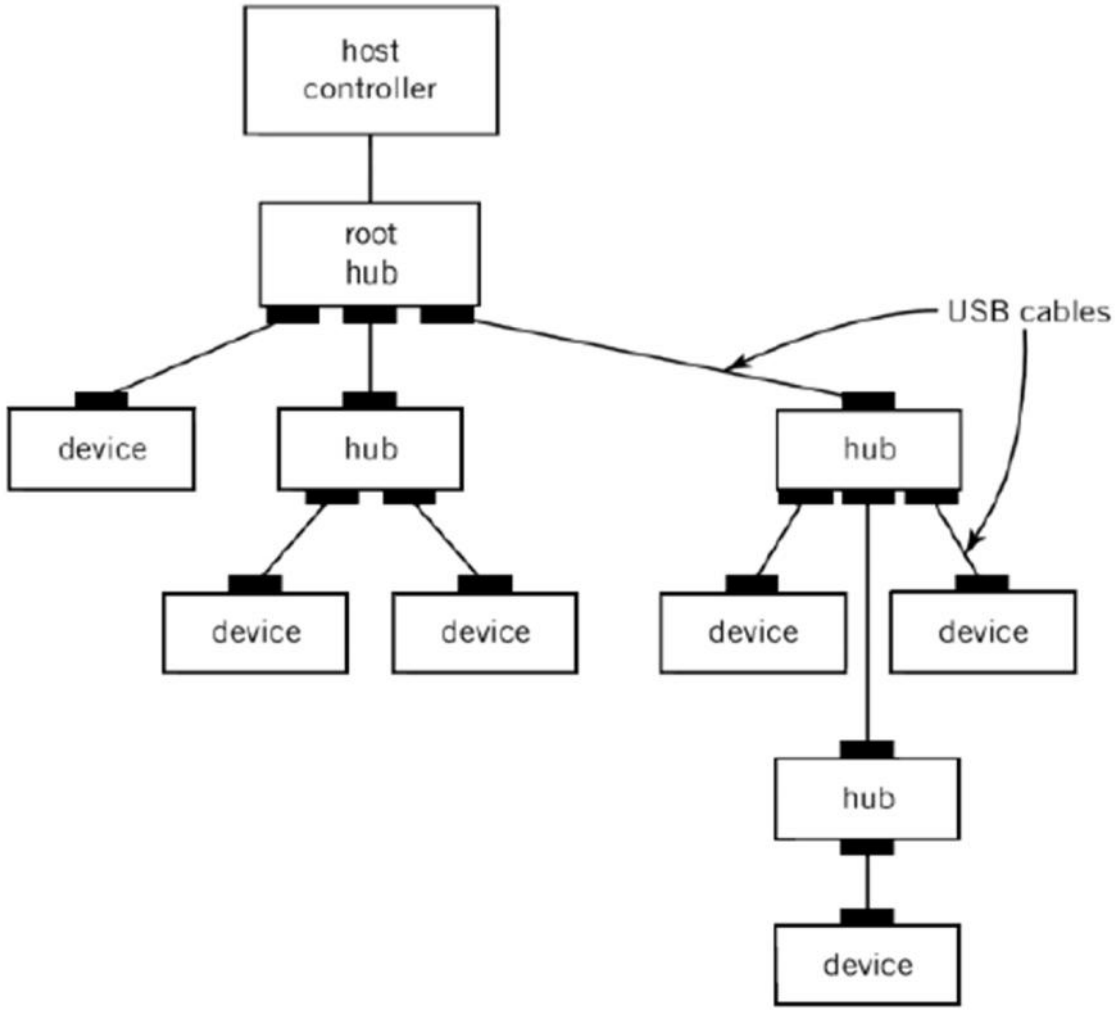
USB (Universal Serial BUS)

- ส่วนประกอบ USB
  - ฮาร์ดแวร์
    - USB Controller/Root Hub
    - USB Hubs
    - อุปกรณ์ USB
  - ซอฟต์แวร์
    - USB Device Driver
    - USB Driver
    - Host Controller Driver





USB (Universal Serial BUS)



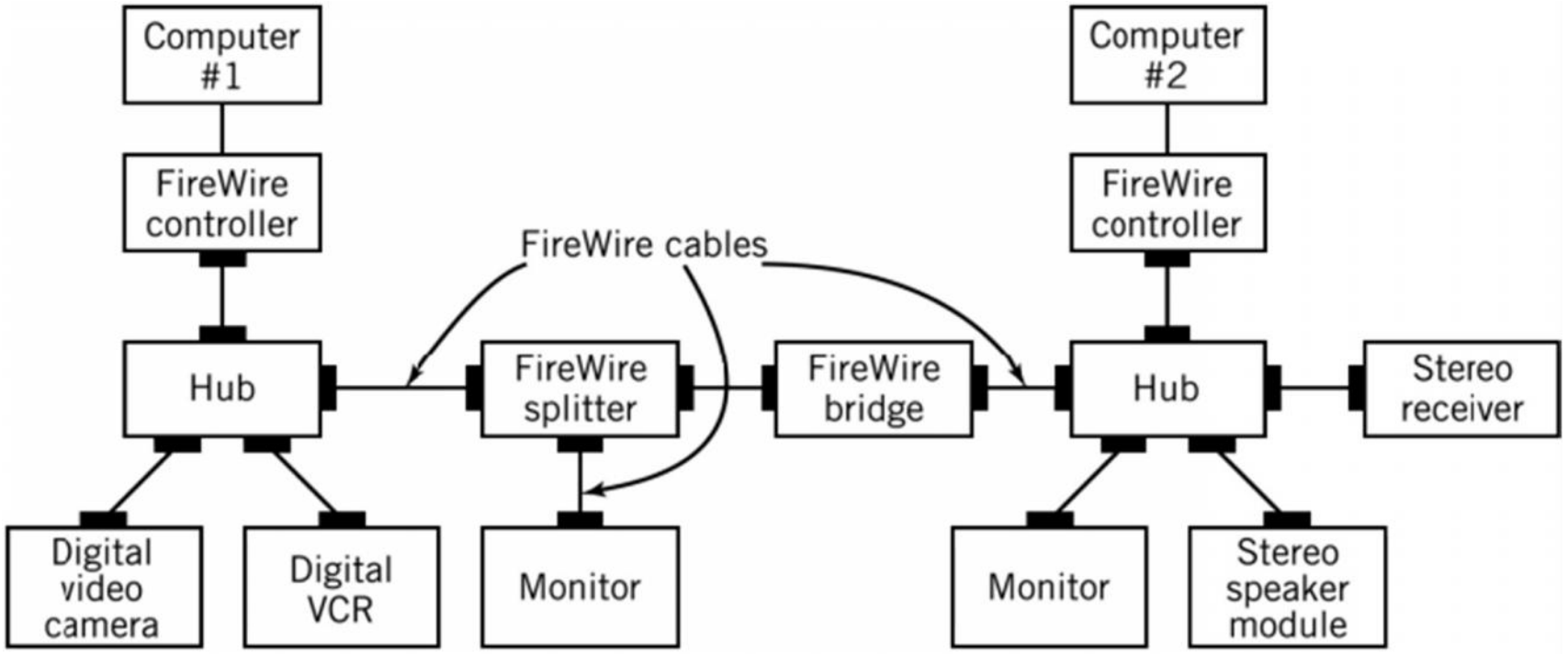
FireWire หรือ IEEE1394

- บัสแบบอนุกรมเช่นเดียวกับ USB
- มีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลอยู่ที่ 3.2 กิกะบิตต่อวินาที
- ดีไวซ์ที่เป็น FireWire สามารถเชื่อมต่อแบบ daisy chained หรือจะเชื่อมต่อเข้ากับฮับก็ได้
- ใช้อุปกรณ์เครือข่าย เช่น repeater, splitter หรือ bridge เพื่อขยายบัสแบบ FireWire ให้สามารถขยายระยะทางในการเชื่อมต่อและเพิ่มจำนวนดีไวซ์ที่เข้ามาเชื่อมต่อได้
- FireWire สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยสายทองแดงและสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic)

FireWire หรือ IEEE1394

- แต่ละส่วนของบัสสามารถเชื่อมต่อดีไวซ์ได้มากถึง 63 ดีไวซ์
- ดีไวซ์สามารถเชื่อมต่อหรือถอดออกจากระบบได้ทุกเวลาแม้ในขณะที่ระบบยังทำงานอยู่
- สนับสนุนการถ่ายโอนข้อมูลแบบ isochronous ที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้แพ็กเก็ตโปรโตคอล
- ข้อแตกต่างหลักระหว่าง FireWire กับ USB ก็คือดีไวซ์คอนโทรลเลอร์แต่ละตัวของ FireWire จะเชื่อมต่อกันอย่างอิสระทำให้ต้องใช้โฮสต์บัสคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นดีไวซ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อซึ่งกันและกันโดยไม่จำเป็นต้องทำงานผ่านคอมพิวเตอร์

FireWire หรือ IEEE1394



เปรียบเทียบ USB กับ Firewire

คุณสมบัติ	USB (USB 2.0)	FireWire (IEEE1394b)
บัสที่มีสัญญาณไฟฟ้า	✓	✓
Plug & Play	✓	✓
อัตราการถ่ายโอนข้อมูล	12 Mbps (480 Mbps)	100, 200, 400 Mbps (800, 1600, 3200 MbpsX
รูปแบบโครงสร้างบัส	Star-hub	Arbitrary acyclic graph
Root node (Host controller, bus manager)	At system design time	Negotiated by devices whenever a new device is connected
ความยาวสูงสุดของเคเบิล	5 เมตร (5 เมตร)	5 เมตร (100 เมตร)
จำนวนสายในเคเบิล	4 : 4.5 V, Ground, +Data, -Data	6 : 8-40 V, Ground, 2 Twisted Pairs: Optional 4-pin mini-cable without power
เวลาวงรอบบัส (เวลาต่อเฟรม)	1 ms	125 µs
รับโหลดแบบอะซิงโครนัสสูงสุดต่อแพ็กเก็ต	64 ไบต์ที่ความเร็วบัส 12 Mbps	2048 ไบต์ที่ความเร็วบัส 400 Mbps
รับโหลดแบบไอโซโครนัสสูงสุดต่อแพ็กเก็ต	1024 ไบต์ที่ความเร็วบัส 12 Mbps	4096 ไบต์ที่ความเร็วบัส 400 Mbps
เปอร์เซ็นต์รวมของวงรอบบัสในการถ่ายโอนข้อมูลแบบไอโซโครนัส	90	80