บทที่ 11
บทนำเรื่องไมโครโปรเซสเซอร์
INTRODUCTION TO MICROPROCESSOR

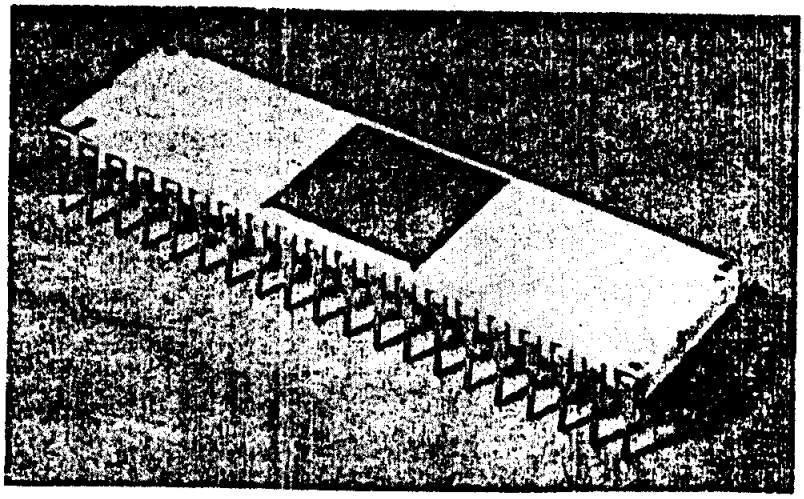
วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาจบบทนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายความหมายของไมโครโปรเซสเซอร์ได้
2. อธิบายหน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์ได้
3. อธิบายโครงสร้างของบัส การมัลติเพล็กซ์ได้
4. พรรณนาส่วนประกอบภายในไมโครโปรเซสเซอร์ได้
5. พรรณนาโครงสร้างของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้
6. เขียนโครงสร้างและอธิบายส่วนประกอบของดิจิตอลคอมพิวเตอร์ได้
7. เขียนโครงสร้างและอธิบายส่วนประกอบของไมโครคอมพิวเตอร์ได้
8. อธิบายการโปรแกรมและซอฟแวร์โดยสังเขปได้

11.1 ความนำ

ไมโครโปรเซสเซอร์เหมือนไอซีขนาดใหญ่ มีขา 40 ขาหรือมากกว่า ดูรูป 11.1



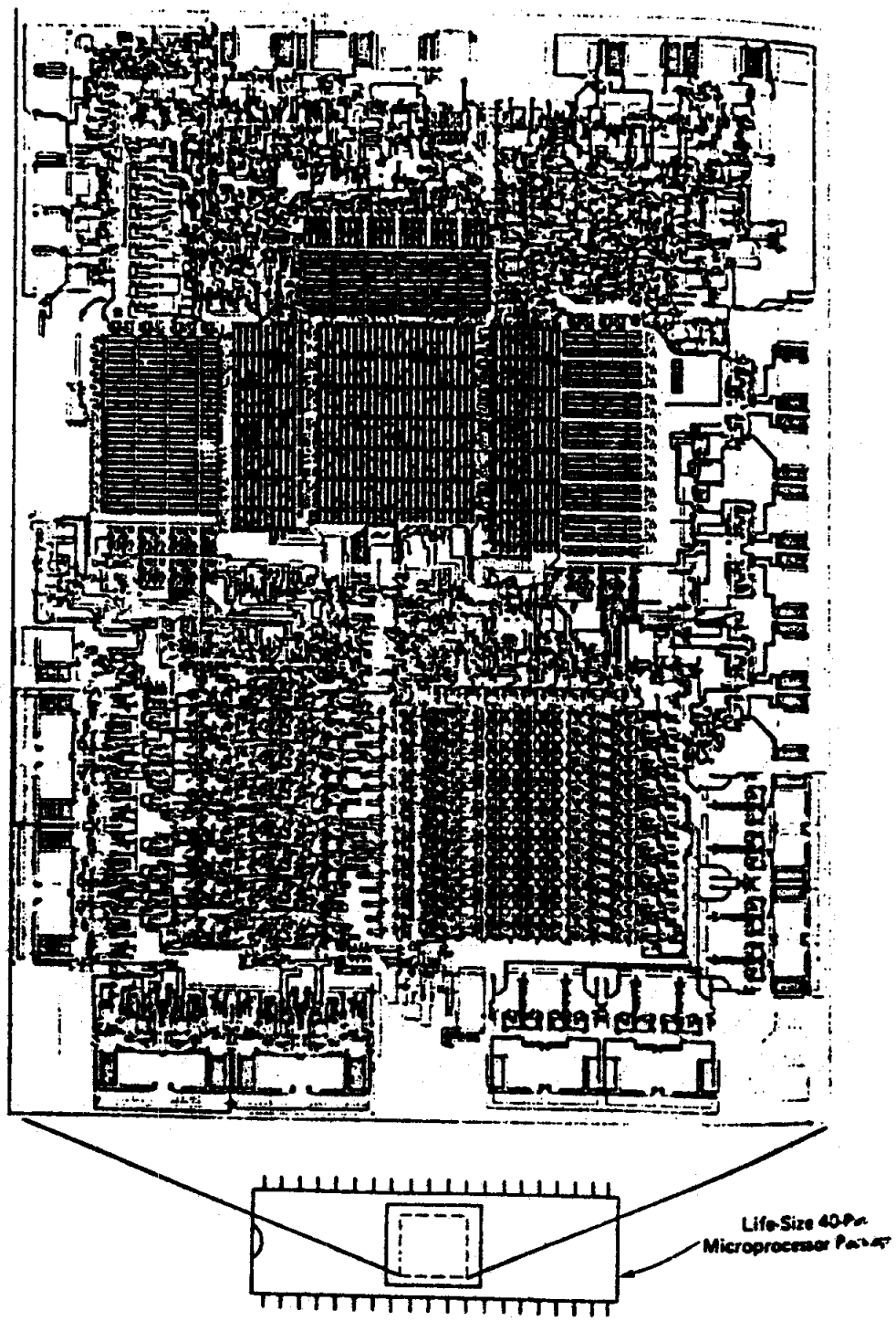
รูป 11.1 ตัวอย่างไมโครโปรเซสเซอร์

ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ประกอบด้วยเกท ฟลิบฟลอบ และรีจิสเตอร์มากมายต่อร่วมกันอยู่บนชิ้นซิลิคอนเดียว (single silicon chip) อาจคิดได้ว่ามันเป็นกล่องสำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ (functional block) ซึ่งคือที่รวมของส่วนประกอบตรรกที่ทำงานร่วมกันตามวัตถุประสงค์อย่างหนึ่ง ๆ กล่องเหล่านี้มีชื่อดังเช่น ALU (Arithmetic-Logic Unit), แอคคิวมิวเลเตอร์ (accumulator), โปรแกรม (program), วงจรนับ (counter), พอยเตอร์ รีจิสเตอร์ (pointer register) และรีจิสเตอร์สำหรับวัตถุประสงค์ทั่ว ๆ ไป

อาจมองได้ว่าไมโครโปรเซสเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรรกที่แปรเปลี่ยนหน้าที่ได้ ไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่ตรรกทั่ว ๆ ไป ได้แก่ แอน, ออ, นอท, และเอ็กซ์คลูสีฟ-ออ เช่นเดียวกับการบวกเลขฐาน 2 รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล และหน้าที่อื่น ๆ มากมาย มันมิได้ทำหน้าที่เหล่านี้พร้อมกัน แต่จะทำทีละหน้าที่ด้วยความเร็วสูง

รหัสคำสั่ง (instruction code) หรือรหัสดำเนินการ (operation code : opcode) เป็นรหัสสำหรับเลือกการทำงานแก่ไมโครโปรเซสเซอร์

ในทำนองเดียวกันส่วนของไมโครโปรเซ่สเซอร์ที่เรียกว่า ALU ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นวงจรตรรกแปรเปลี่ยน จะทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งในหน้าที่ตรรกต่าง ๆ ขึ้นกับรหัสดำเนินการเลือกหน้าที่ใดให้



รูป 11.2 รูปขยายของไมโครโปรเซสเซอร์ชิพแบบอินเทล (Intel) (รูปบน) และขนาดจริงของมัน (รูปล่าง)

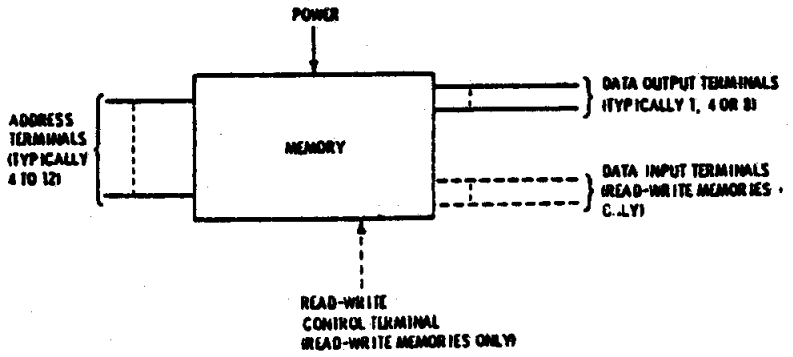
เนื่องจากการดำเนินการต่าง ๆ จะกระทำเป็นลำดับ จึงจำเป็นต้องมีรีจิสเตอร์ความจำ ความจำชุดหนึ่งจำเป็นสำหรับเก็บลำดับของรหัสดำเนินการ ลำดับดังกล่าวนี้เรียกว่าโปรแกรม ชุดความจำอีกอันหนึ่งจำเป็นสำหรับเก็บข้อมูลฐาน 2 ที่ใช้ในการดำเนินการต่าง ๆ และเก็บข้อมูลใหม่ที่เป็นผลลัพธ์ ดังนั้นไมโครโปรเซสเซอร์จึงใช้ควบคู่กับรีจิสเตอร์ความจำเสมอ จำนวนของรีจิสเตอร์ที่ต้องการแปรเปลี่ยนตามงานที่ใช้ซึ่งอาจมีรีจิสเตอร์ตั้งแต่ 2-3 โหลถึงหลายล้านตัว

วงจรตรรกต่าง ๆ ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ต้องถูกตั้งให้ได้จังหวะพร้อมกัน (synchronized) เพื่อให้ทำงานร่วมกันตามลำดับ ตัวอย่างเช่นจะเป็นการผิดถ้ารหัสดำเนินการบอกให้ดำเนินการอย่างหนึ่งก่อนที่จะได้รับข้อมูลถูกต้อง เพื่อที่จะตั้งจังหวะพร้อมกันแก่วงจรทั้งหมดให้เหมาะสม ไมโครโปรเซสเซอร์ทุกตัวจะมีคล้อคซึ่งจะจัดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส (ค่าสลับของ 0 และ 1) ให้แก่วงจร ความถี่ของคล้อคอยู่ระหว่าง 1 และ 4 MHz วงจรสร้างคล้อคอาจอยู่ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ (เช่น 8085) หรือเป็นตัวไอซีแยกต่างหาก (เช่น 8080)

11.2 หน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์
Microprocessor Momory

หน่วยความจำมีไว้สำหรับเก็บข้อมูลซึ่งอาจแทนคำสั่งโปรแกรม, จำนวน, แรงดัน (voltage) อุณหภูมิ หรือสภาพของเครื่องมือ เช่น มอเตอร์, รีเลย์, วาล์ว (valve) หรือตัวควบคุม (control)

หน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์คล้ายกล่องสถานีไปรษณีย์ซึ่งเป็นที่เก็บจดหมาย (ข้อมูล) ชั่วคราวจนกว่าจะเก็บเอาไปใช้งาน เพื่อจะหาจดหมายที่ต้องการต้องรู้ตัวเลขของกล่อง (box number) ตัวเลขนี้คือแอดเดรส (address) สำหรับจดหมายนั้น ๆ ในการใช้ความจำอิเล็กทรอนิกส์เราต้องการแอดเดรสเช่นกัน ซึ่งอยู่ในรูปเลขฐาน 2 เราใช้แอดเดรสเพื่อหยิบข้อมูลที่ต้องการออกจากหน่วยความจำ ถ้าหน่วยความจำเป็นชนิดที่จะเขียน (write) ข้อมูลเข้าไปได้ด้วย เราก็สามารถใช้แอดเดรสเพื่อเขียนเข้าไปในที่ตั้ง (location) ที่ต้องการในหน่วยความจำได้ เราต้องการวิธีการบางอย่างเพื่อให้รู้ว่าข้อมูลใดอยู่ในหน่วยความจำใด ซึ่งเราทำในโปรแกรม และอยู่ในความรับผิดชอบของโปรแกรมเมอร์ (programmer) ที่เตรียมโปรแกรมนั้น



(a)

No. OF ADDRESS TERMINALS	No. OF MEMORY LOCATIONS
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
n	2^n

(b)

รูป 11.3 รูปแทนหน่วยความจำ

รูป 11.3 (a) เป็นกล่องแทนหน่วยความจำ ชุดหนึ่งของขั้ว (terminal) ใช้สำหรับแอดเดรสความจำขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งมีที่ตั้งมากสำหรับเก็บข้อมูล ต้องการขั้วแอดเดรสมากขึ้น แต่ละสภาวะประสมของ 0 และ 1 ที่ขั้วแอดเดรสสามารถแอดเดรสที่ตั้งต่างกันในความจำ ตารางรูป 11.3 (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ตั้งของความจำ และจำนวนขั้วแอดเดรสที่ต้องการ

จำนวนของขั้วข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดคำของหน่วยความจำ (memory word size) ซึ่งคือจำนวนบิทซึ่งแต่ละที่ตั้งเก็บได้ แต่ละบิทจะใช้ขั้วข้อมูลแยกต่างหาก โดยปกติขนาดคำของหน่วยความจำจะเป็น 1, 4 หรือ 8 บิท

ถ้าหน่วยความจำประกอบด้วยชุดของฟลิบฟลอบ จะมี 1 ฟลิบฟลอบสำหรับแต่ละบิทและแต่ละที่ตั้งของความจำบรรจุฟลิบฟลอบมากเท่ากับบิทในแต่ละคำ จำนวนฟลิบฟลอบทั้งหมดในหน่วยความจำเท่ากับจำนวนที่ตั้งของความจำ คูณด้วยจำนวนบิทต่อคำ (ขนาดของคำ) ตัวอย่างเช่น ความจำซึ่งเป็นไอซีที่ใช้บ่อยมีที่ตั้งของความจำ 256 ที่ตั้ง (ใช้ขั้วแอดเดรส

8 ขั้ว) และแต่ละที่ตั้งเก็บคำขนาด 4 บิท (มีขั้วข้อมูล 4 ขั้ว) จำนวนฟลิบฟลอบทั้งหมด 256 × 4 = 1024 ฟลิบฟลอบ เรียกว่าแบบ 256 × 4 บางครั้ง 1024 บิทจะตัดเป็น 1000 ดังนั้นความจำนี้เรียกว่าเป็นความจำขนาด 1 กิโลบิท (1 k-bit)

ถ้าสามารถเขียนข้อมูลเข้าไปในความจำอาจมีขั้วของข้อมูลเข้า และขั้วควบคุมการอ่านเขียนเป็นสิ่งจำเป็น (แสดงด้วยจุดทั้งหลายในรูป 11.3)

หน่วยความจำของระบบไมโครโปรเซสเซอร์มีหลายแบบและหลายขนาด โปรแกรมส่วนใหญ่หรือทั้งหมดมักเก็บใน ROM (read-only-memory) โดยเฉพาะไมโครโปรเซสเซอร์ที่ทำงานเฉพาะเจาะจงอย่างหนึ่งซ้ำ ๆ และสำหรับโปรแกรมที่ช่วยในการใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ โปรแกรมแบบนี้จะคงที่ ผู้ใช้ไม่จำต้องเปลี่ยนแปลงมัน จึงไม่ต้องมีการเขียนเข้าไปในโปรแกรม เมื่อใส่โปรแกรมเช่นนี้เข้าไปใน ROM ก็จะไม่ต้องเสี่ยงต่อการสูญหายของโปรแกรมเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ โปรแกรมและข้อมูลชั่วคราวมักเก็บไว้ในความจำสำหรับอ่านเขียน (read-write memory) เรียกว่า RAM (random-access memory) ซึ่งประกอบด้วยฟลิบฟลอบหลายชุด ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใหญ่ขึ้นซึ่งต้องการความจุของหน่วยความจำมาก อาจใช้เทปแม่เหล็ก (magnetic tape) จานแม่เหล็ก (magnetic disc) แบบฟลอบปี ดิสค์ (floppy disc) และความจำอื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์เล็ก ๆ ไม่ต้องใช้ความจุของความจำขนาดนี้

ประเภทของความจำแบบเฉพาะซึ่งใช้บ่อยในไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับเก็บโปรแกรม คือ PROM (Programmable ROM) และ EPROM (Erasable and Programmable ROM) ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมได้ แทนที่จะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปจากโรงงานผลิตอย่าง ROM EPROM นั้นมีหน้าต่างควอทซ์ (quartz) เล็ก ๆ ที่ชิพ (chip) สำหรับให้แสงอุลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ความเข้มสูงผ่านเข้าไปลบสิ่งที่บรรจุอยู่ในความจำได้ จึงทำให้สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงโปรแกรมใน EPROM ได้

11.3 ขนาดคำของไมโครโปรเซสเซอร์
Microprocessor Word Size

วงจรตรรกซึ่งแปรเปลี่ยนหน้าที่ได้ ถ้ารับข้อมูลอินพุทซึ่งเป็นบิทเดี่ยว 2 อัน A และ B อย่างในรูป 11.4 และทำงานเพื่อให้ได้คำตอบเอาท์พุท 1 บิทเรียกว่าวงจรจขนาด 1 บิท ถ้าใช้วงจรดังกล่าว 4 วงจรให้ทำงานในเวลาเดียวกัน เรียกว่าเป็นวงตรรกขนาด 4 บิท

ไมโครโปรเซสเซอร์ MC 14500 B ของ Motorola เป็นชนิด 1 บิท ซึ่งใช้ในการควบคุมอุตสาหกรรม

ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่จะทำงาน 4, 8, หรือ 16 บิทในเวลาเดียวกัน ไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิท (เรียกว่าไบท์ (byte)) จะให้คำข้อมูลขนาด 8 บิท

ประโยชน์ของการที่มีขนาดคำใหญ่ (ทำงานด้วยขนาดคำที่ใหญ่ในขณะเวลาเดียวกัน) ก็คืองานตรรกที่ซับซ้อนสามารถกระทำได้รวดเร็วกว่าและใช้โปรแกรมที่ง่ายกว่า ระบบไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิท จะทำงานเร็วกว่าแบบระบบ 4 บิท และระบบ 16 บิททำงานเร็วกว่าแบบ 8 บิท

11.4 โครงสร้างของบัส การมัลติเพล็กซ์ และตรรก 3 สถานะ

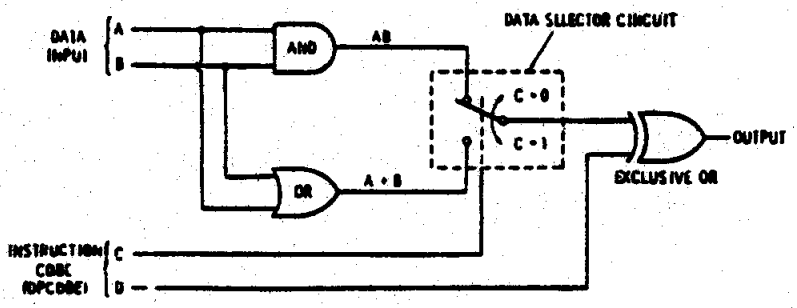
Bus Structure, Multiplexing, and Tri-State Logic

เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานครั้งหนึ่งมากกว่า 1 บิท แต่ละบิทข้อมูลต้องการขั้วของมันเอง อย่างไรก็ตามเป็นไปได้ที่ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทจะใช้ขั้วเดียวกัน ซึ่งกระทำโดยการมัลติเพล็กซ์ข้อมูลบนบัสข้อมูล 2 ทาง

สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิท บัสข้อมูลแบบมัลติเพล็กซ์ประกอบด้วยคอนดัคเตอร์ (conductors) 8 อัน บางขณะไมโครโปรเซสเซอร์เป็นแหล่งสัญญาณส่งการประสมของสัญญาณสูงและต่ำไปยังความจำภายนอก บางขณะข้อมูลส่งมาจากความจำหรือแหล่งสัญญาณอื่นมาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ แน่นอนที่ต้องมีการจัดเตรียมเพื่อว่าที่เวลาแต่ละขณะจะมีเพียงแหล่งข้อมูลเดียวเท่านั้นที่ต่อกับสายบัส แต่ละมัลติเพล็กซ์ บัสคอนดัคเตอร์เหมือนกับสายโทรศัพท์ซึ่งผู้พูดที่ปลายทั้งสองของสายสามารถผลัดกันส่งข่าวสารสู่กันได้ด้วยสายเดียวกัน

นอกจากมีบัสข้อมูลแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์ทั้งหมดต้องมีแอดเดรสบัสด้วย ซึ่งประกอบด้วยขั้วชุดหนึ่งมีสายต่อไปยังหน่วยความจำภายนอกและเครื่องมือขอบนอก (peripheral equipment) แอดเดรสบัสเป็นชนิดทิศทางเดียว โดยมีแหล่งของสัญญาณคือไมโครโปรเซสเซอร์เสมอ สภาวะประสมเฉพาะของ 0 และ 1 ซึ่งเป็นตัวแอดเดรสเครื่องมือที่จะรับหรือส่งข้อมูลเข้าที่ขั้วของแอดเดรสบัส

เป็นไปได้ที่จะใช้บัสเดี่ยวสำหรับทั้งข้อมูลและแอดเดรส และโดยความเป็นจริงแล้วแบบนี้กระทำกันในไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนมาก แอดเดรสและสัญญาณข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์ และแหล่งข้อมูลภายนอก (ปกติคือหน่วยความจำ) ทั้งหมดนี้ผลัดกันใช้บัสอันเดียวกัน ไมโครโปรเซสเซอร์จะชี้ประเภทของสัญญาณที่จะปรากฏที่บัสนี้โดยสัญญาณซึ่งอยู่ที่สายควบคุมมากมาย

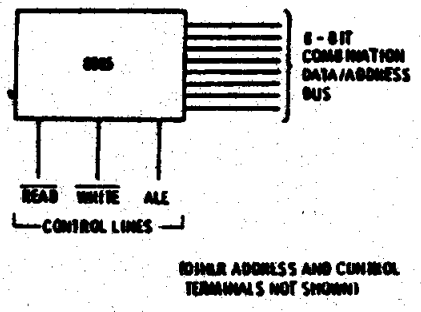


(A) Circuit diagram.

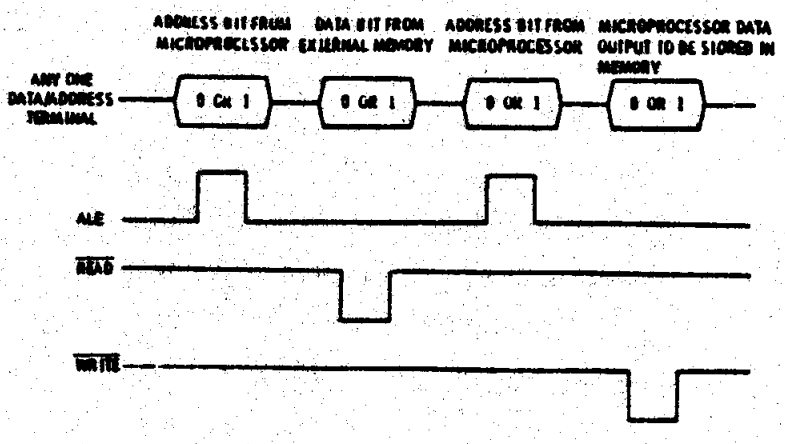
INSTRUCTION CODE			
C	D	OUTPUT	OPERATION
0	0	AB	AND
0	1	$\overline{AB}$	NAND
1	0	A + B	OR
1	1	$\overline{A + B}$	NOR

(B) Circuit functions.

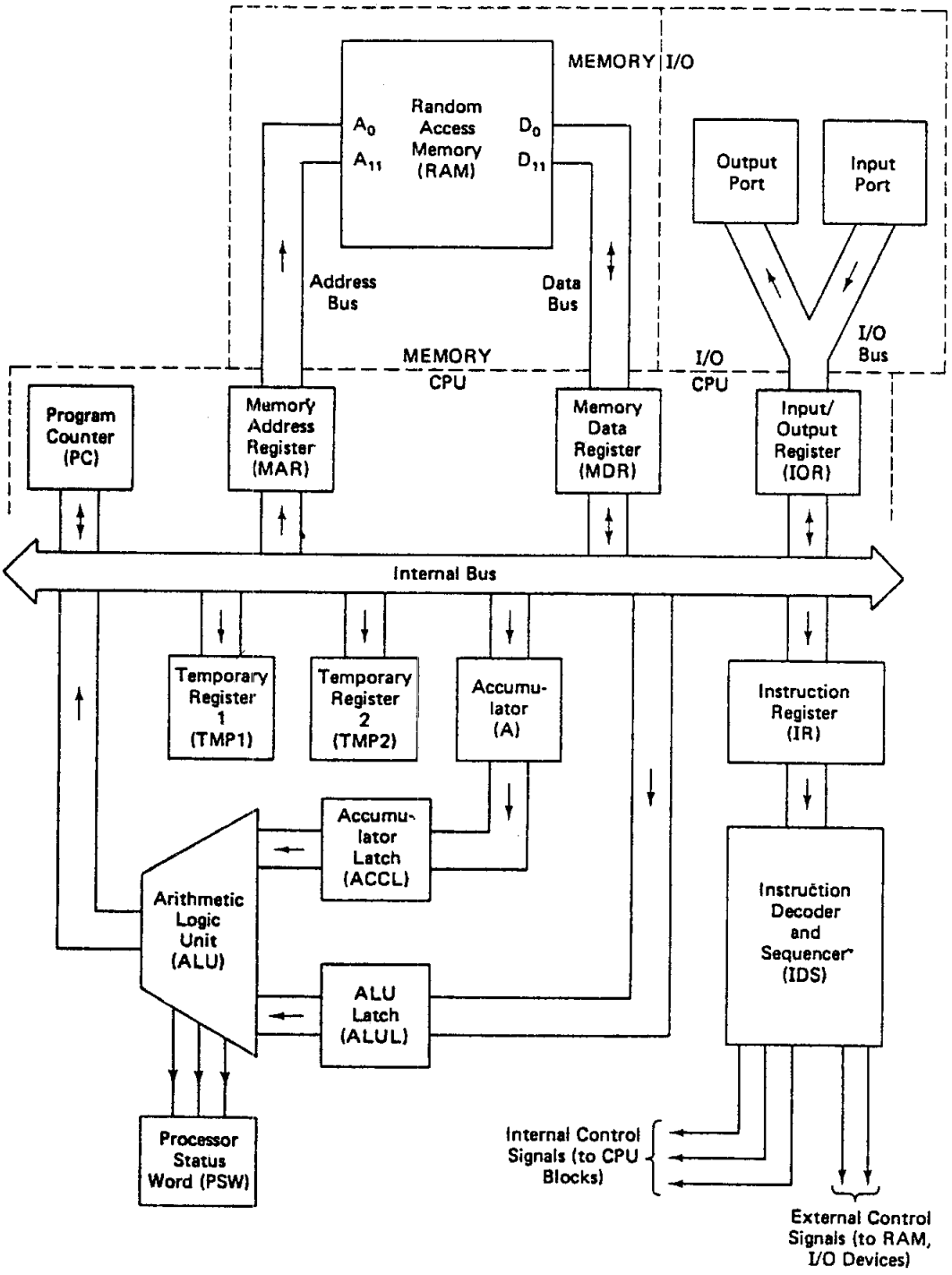
รูป 11.4 วงจรตรรกอย่างง่ายที่แปรเปลี่ยนหน้าที่ได้



รูป 11.5 ไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 แสดงข้อมูลมัลติเพล็กซ์ แอดเดรสบัส และสายควบคุม



รูป 11.6 แผนภาพจังหวะเวลาของสายข้อมูล/แอดเดรส และควบคุมของ 8085

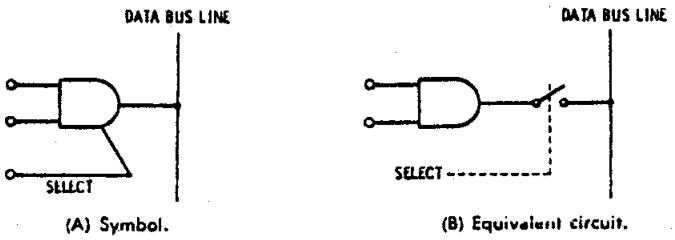


รูป 11.7 โครงสร้างอย่างง่ายของบัส พร้อมด้วย RAM และ I/O ลูกศรในรูปแสดงทิศทางของบัส

ตัวอย่างเช่นไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 มีขั้วควบคุม 3 ขั้วเรียก $\overline{\text{read}}$, $\overline{\text{write}}$ และ ALE (address latch enable) ดังรูป 11.5 เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ให้เอาท์พุทเป็นแอดเดรสที่บัสร่วมของข้อมูล/แอดเดรส เอาท์พุทของ ALE จะสูง ซึ่งที่เวลาอื่น ๆ ทั้งหมดจะต่ำ เมื่อข้อมูลถูกวางอยู่ที่บัสโดยไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อให้ส่งผ่านไปยังหน่วยความจำภายนอก เส้นควบคุมของ $\overline{\text{write}}$ จะต่ำ เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลจากภายนอก ศักย์ของขั้ว $\overline{\text{read}}$ จะต่ำ สัญญาณควบคุมทั้งสามจะถูกตั้งจังหวะให้พร้อมกันด้วยสัญญาณที่บัสของข้อมูล/แอดเดรส ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยแผนภาพเวลาดังรูป 11.6 (สังเกตเครื่องหมายบาร์บนชื่อสัญญาณควบคุมว่าแสดงถึงสัญญาณซึ่ง active low ซึ่งหมายความว่าปกติแล้วสัญญาณจะสูงแต่จะต่ำเพื่อแสดงหรือทำให้เกิดเหตุการณ์ขึ้น)

ไมโครโปรเซสเซอร์บางตัวใช้ขั้วของแอดเดรสและข้อมูลแยกจากกันทั้งหมด แม้แต่ขั้วของข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทก็อาจแยกจากกัน ไมโครโปรเซสเซอร์อื่นใช้การมัลติเพล็กซ์ต่างออกไป โดยมากใช้บัสข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมัลติเพล็กซ์บิทของแอดเดรสบางอันบนบัสนี้ แต่มีขั้วแอดเดรสรวมด้วย ตัวอย่าง National SC/MP (8060) ใช้ 16 แอดเดรสบิท โดยมี 12 ขั้วแยกต่างหากจากกัน ในขณะที่อีก 4 ขั้วที่เหลือถูกมัลติเพล็กซ์บนบัสข้อมูล 8 บิทแบบ 2 ทิศทาง

พวก TTL (Transistor-to-Transistor Logic) ประสบปัญหาถ้าใช้กับระบบมัลติเพล็กซ์บัส บัสคอนดัคเตอร์อาจจะต่อกับเอาท์พุทของเกทต่าง ๆ อุปกรณ์แบบ 3 สถานะ ดังรูป 11.8 ช่วยแก้ปัญหานี้ รูปนี้แสดงแอนเกท เกทอื่น ๆ ได้แก่ นอ, แนน, ออ, นอท ก็มีแบบ 3 สถานะ



รูป 11.8 แอนเกทแบบไทรสเตท

3 สถานะมิได้หมายความว่าเกทมีระดับเอาท์พุท 3 ค่าหรืออินพุท 3 อัน ระดับสัญญาณเอาท์พุทของเกทชนิด 3 สถานะจะยังคงอยู่ที่ระดับสูง (1) หรือต่ำ (0) เงื่อนไขที่ 3 เทียบเท่ากับไม่ได้ต่อ (not connected) หรือวงจรเปิด ในความเป็นจริงแล้วในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ "ไม่ได้ต่อ" เป็นสภาวะปกติของเกท ดังนั้นเมื่อเอาท์พุทของเกทเป็นที่ต้องการของบัส เกทนั้นก็จะถูกต่อเข้ากับบัสโดยสัญญาณที่ขั้ว "select" ของมัน

ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่เป็น 3 สถานะในตัวเอง แผนภาพจังหวะเวลาในรูป 11.6 แสดงว่าเบอร์ 8085 มีบัสของข้อมูล/แอดเดรสเป็น 3 สถานะ เส้นต่อระหว่างคาบของข้อมูลมักจะวาดให้อยู่กึ่งกลางระหว่างค่าต่ำและสูง แต่จริง ๆ แล้วบัสเปิดตลอดเวลาดังกล่าว ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่เกทที่ไปด้วยกันและหน่วยความจำเป็นอุปกรณ์แบบ 3 สถานะ

11.5 ภายในไมโครโปรเซสเซอร์
Inside the Microprocessor

อิเล็กทรอนิกส์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ค่อนข้างซับซ้อน เกทและรีจิสเตอร์จำนวนมากมายมหาศาลที่สร้างขึ้นเป็นไมโครโปรเซสเซอร์อาจรวมกลุ่มเป็นกล่องทำหน้าที่ รูป 11.9 แสดงวงจรสำคัญที่สุดภายในไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ซึ่งแทนด้วยกล่องดังกล่าว แต่ละกล่องประกอบด้วยเกทและ/หรือรีจิสเตอร์จำนวนมาก บางกล่องเราก็ละไว้เพื่อให้แผนภาพง่ายขึ้น

รีจิสเตอร์และแลทช์ (latches) ที่แสดงอยู่นั้นเป็นความจำภายในซึ่งเป็นชุดของฟลิป-ฟลอบเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ทำงาน คำข้อมูล 8 บิทจะเคลื่อนอย่างสม่ำเสมอระหว่างรีจิสเตอร์ภายในหรือระหว่างรีจิสเตอร์ภายในและภายนอก เช่นเดียวกับที่ถูกเปลี่ยนแปลง (modify) โดย ALU

แอคคิวมิวเลเตอร์

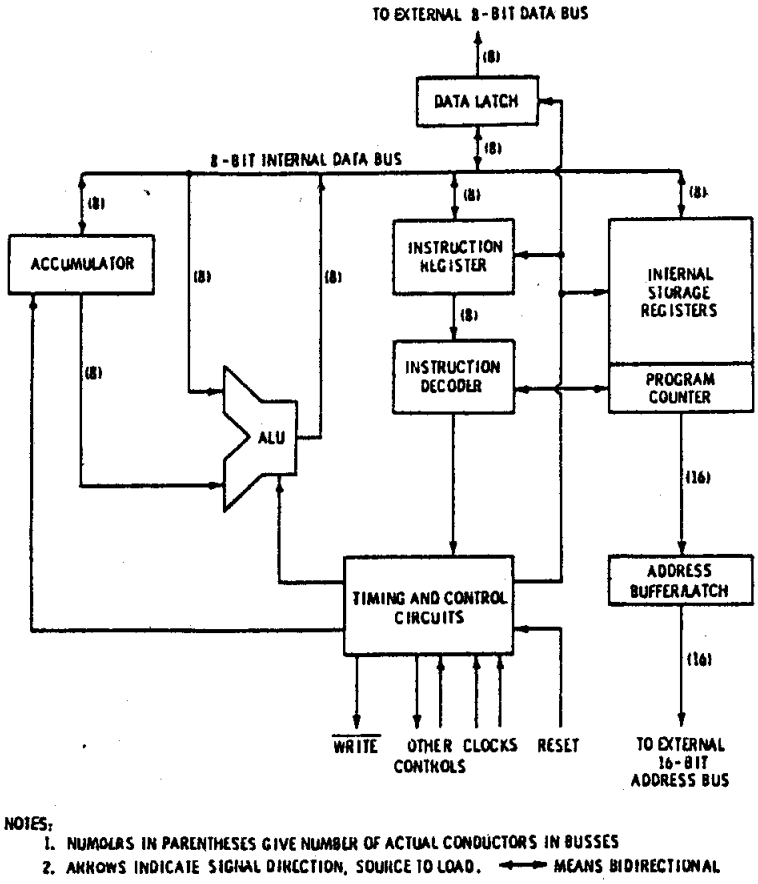
เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิท เมื่อ ALU ถูกใช้หนึ่งในคำขนาด 8 บิทที่เป็นอินพุทเข้า ALU ต้องมาจากแอคคิวมิวเลเตอร์เสมอ และคำตอบผลลัพธ์ขนาด 8 บิทก็จะเก็บไว้ในแอคคิวมิวเลเตอร์ การถ่ายเทที่งหมดของข้อมูลบนบัสข้อมูลภายนอกทั้งเข้าและออกจากไมโครโปรเซสเซอร์จะผ่านทางแอคคิวมิวเลเตอร์

ALU (Arithmetic-Logic Unit)

เป็นส่วนที่เป็นศูนย์กลางของการคำนวณของไมโครโปรเซสเซอร์ ALU รับคำ 8 บิท 2 คำเป็นอินพุท และผลิตผลลัพธ์ 8 บิทจากการทำงานทางคณิตศาสตร์หรือตรรก

วงจรนับโปรแกรม (Program Counter)

วงจรนับขนาด 16 บิทนี้ปกติจะนับเพิ่ม 1 ครั้งภายหลังที่แต่ละคำสั่งถูกปฏิบัติ เพื่อสร้างแอดเดรสต่อไปซึ่งเป็นที่เก็บคำสั่งโปรแกรม (opcode) ต่อไป อย่างไรก็ตามถ้าโปรแกรมมีคำสั่งอันหนึ่งให้กระโดดไปยังลำดับใหม่ของคำสั่ง รายละเอียด (เนื้อหา) ของวงจรนับโปรแกรมจะถูกแทนที่โดยหรือแลกเปลี่ยนกับค่าในรีจิสเตอร์อีกอันหนึ่ง



รูป 11.9 แผนภาพแสดงภายในไมโครโปรเซสเซอร์ 8080

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register)

รหัสดำเนินการของคำสั่งโปรแกรมที่เข้ามาในไมโครโปรเซสเซอร์โดยบัสข้อมูลถูกเก็บอยู่ในรีซิสเตอร์คำสั่ง จนกว่าคำสั่งจะถูกปฏิบัติจนเสร็จสมบูรณ์

วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder)

จะแปลงรหัสคำสั่ง 8 บิทให้เป็นสัญญาณเข้าสู่วงจรควบคุม ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของข้อมูลที่ต้องการ และการทำงานขึ้น

แลทช์ข้อมูล (Data Latch)

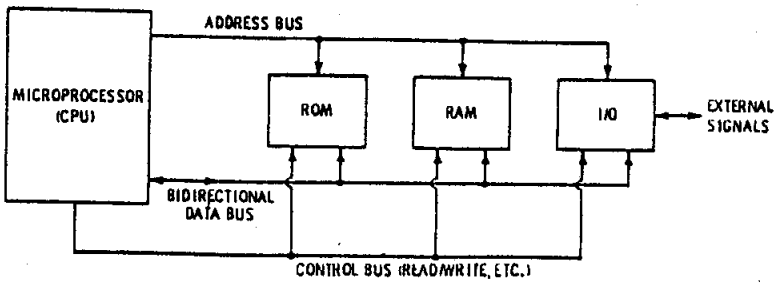
เป็นรีจิสเตอร์แบบ 3 สถานะ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิท ซึ่งเก็บข้อมูลสำหรับเคลื่อนเข้าสู่หรือออกจาก 8080

11.6 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่สมบูรณ์
The Complete Microprocessor System

ไมโครโปรเซสเซอร์เกือบทั้งหมดไม่ทำงานโดยลำพัง แม้ว่าไมโครโปรเซสเซอร์จะมี ROM และ RAM อยู่ภายในซึ่งเพียงพอที่จะใช้งานง่าย ๆ ได้ก็ตาม การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่จะไปด้วยกันกับไอซีที่เพิ่มเติมเข้าไปอีกเป็นจำนวนมากเป็นหน่วยความจำ

ก่อนหน้านี้ไมโครโปรเซสเซอร์ต้องการไอซีภายนอกจำนวนมากกว่าปัจจุบัน ไมโครโปรเซสเซอร์ยุคสอง (second generation) รวมวงจรเสริมเข้าด้วยกันซึ่งรวมถึงตัวผลิตสัญญาณคล้อคเข้าไปในตัวไมโครโปรเซสเซอร์ ในเวลาเดียวกันก็เพิ่มอัตราเร็วของการทำงานด้วย ต้องการแหล่งจ่ายกำลังที่ง่ายขึ้น และรูปโฉมเพิ่มเติมที่ใหม่ พัฒนาการดังกล่าวนี้นำไปสู่ระบบซึ่งแทนได้ด้วยแผนภาพรูป 11.10

ถ้ารับชื่อจากงานในขอบข่ายคอมพิวเตอร์ บางครั้งเรียกไมโครโปรเซสเซอร์ว่า CPU (Central Processing Unit) โปรแกรมโดยปกติจะเก็บใน ROM แม้ว่าโปรแกรมที่ปรับปรุงหรือชั่วคราวสามารถจะเก็บใน RAM RAM อาจเก็บข้อมูลและผลลัพธ์ระหว่างกลางของการคำนวณด้วย แผนภาพที่เขียนว่า I/O (input/output) เป็น RAM อีกอันหนึ่งและอาจจะถือว่าเป็นเช่นนั้นได้โดยไมโครโปรเซสเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามมันก็แตกต่างจาก RAM อื่น ๆ ในความเข้าถึงได้สู่โลกภายนอกรีจิสเตอร์ I/O อาจต่อโดยตรงกับอุปกรณ์ดังเช่นการแสดงภาพโดย LED (LED displays), คีย์บอร์ด (keyboards), รีเลย์ หรืออุปกรณ์ควบคุมสำหรับวาล์ว และมอเตอร์



รูป 11.10 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์

ในระบบธรรมดาแบบหนึ่ง โปรแกรมสั่งไมโครโปรเซสเซอร์ให้ตรวจสอบอินพุทต่าง ๆ เป็นคาบ แล้วไมโครโปรเซสเซอร์จะปฏิบัติการหนึ่งในจำนวน subroutines มากมายขึ้นกับค่าที่พบตัวอย่างเช่นในตัวควบคุมอุตสาหกรรมอันหนึ่งมันสามารถตรวจสอบสัญญาณซึ่งแสดงสถานะของสวิตช์, วาล์ว, มอเตอร์ และเซนเซอร์ (sensors : temperature, pressure, etc.) มอเตอร์จะปิดหรือเปิด หรือการเปิดปิดวาล์วขึ้นกับผลลัพธ์ของการตรวจสอบ

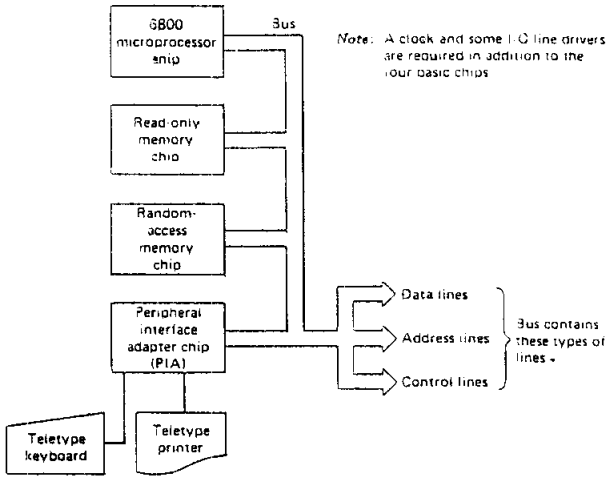
ตัวอย่างระบบอีกอันหนึ่งคือเครื่องพิมพ์ CRT (cathode-ray tube) ซึ่งเมื่อเรากดคีย์ต่าง ๆ ของคีย์บอร์ดทำให้เกิดภาพสัญลักษณ์บนจอ ไมโครโปรเซสเซอร์อาจแสดงเอาท์พุทของคีย์บอร์ดอย่างต่อเนื่อง ทันทีที่มันตรวจสอบแล้วว่าคีย์ถูกกด มันจะตัดสินจากรหัสฐาน 2 ซึ่งเป็นอินพุทว่าเป็นคีย์ใดและปฏิบัติการ subroutine ที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดลักษณะที่ถูกต้องปรากฏบนจอ

จงสังเกตว่าทั้งสองตัวอย่างอาจมีคาบของความถี่เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ไม่ได้มีงานต้องทำมาก บ่อยครั้งที่มันมีเวลาสำรองระหว่างการตรวจสอบสถานะของอินพุท ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่มีข้อกำหนดสำหรับใช้เวลาสำรองนี้ในรูปของขั้วของความรู้สึกอินเทอรัปท์ (interrupt sense terminals) ซึ่งทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถทำงานตามโปรแกรมหนึ่งได้นานตราบเท่าที่ไม่มีโปรแกรมอื่นที่สำคัญกว่าให้มันทำ สัญญาณบนขั้วอินเทอรัปท์ บอกไมโครโปรเซสเซอร์ว่าโปรแกรมที่มีลำดับความมาก่อนสูงต้องได้รับการปฏิบัติการเดี๋ยวนี้ ดังนั้นโปรแกรมที่สำคัญน้อยกว่าจึงถูกขัดจังหวะชั่วคราว อย่างไรก็ตามไมโครโปรเซสเซอร์จำได้ว่ามันอยู่ที่ใด และเมื่อทำงานที่มาก่อนเสร็จสิ้นลง มันก็จะกลับไปสู่โปรแกรมดั้งเดิมและทำต่อจากจุดที่มันละมาต่อไป

จงพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้ ไมโครโปรเซสเซอร์หนึ่งกำลังถูกใช้ให้ควบคุมระบบความร้อนและการปรับอากาศในตึกหลังหนึ่ง ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวเดียวกันนี้อาจถูกใช้สำหรับระบบบอกเหตุ (alarm system) ซึ่งเงื่อนไขน่ากลัวใด ๆ (ได้แก่ ควัน, อุณหภูมิสูง, การเข้ามา

โดยพลการ) แทรกแซงโปรแกรมปกติและเริ่มริให้เกิดสัญญาณเตือน, การแสดงผล (displays) ซึ่งอธิบายประเภทของการคุกคามที่เกิดขึ้น, ไฟเตือน หรือเสียงโทรศัพท์เรียกตำรวจ เป็นต้น หลังจากโปรแกรมที่เข้ามาแทรกแซงสำเร็จไปแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะกลับไปปฏิบัติโปรแกรมดั้งเดิมต่อไป

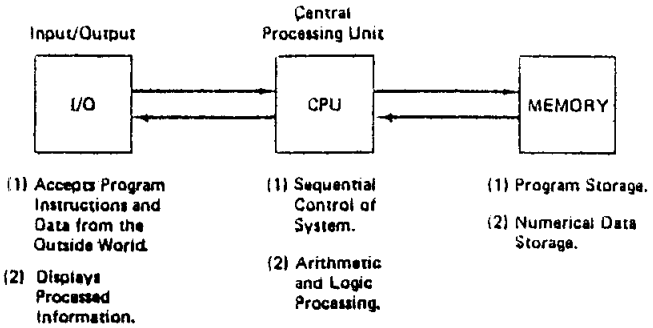
อาจเรียกระบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่สมบูรณ์ได้ว่าไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามันมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์บ่อย ๆ ในระหว่างที่เดินเครื่องอยู่



รูป 11.11 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วย 4 หน่วย

11.7 ดิจิตอลคอมพิวเตอร์
Digital Computer

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถโปรแกรมได้และทำปฏิบัติการเกี่ยวกับข้อมูลตัวเลขด้วยขบวนการคณิตศาสตร์พื้นฐาน และขบวนการตรรก



รูป 11.12 แผนภาพกล่องแสดงส่วนประกอบของดิจิตอลคอมพิวเตอร์ และหน้าที่ของมัน

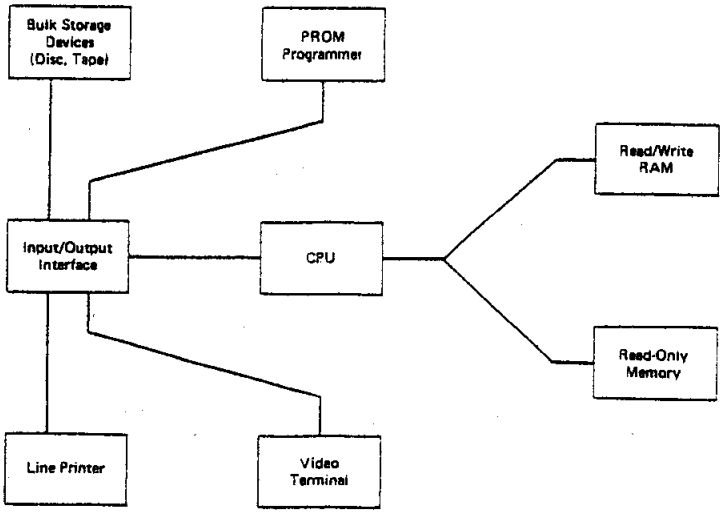
11.8 ระบบคอมพิวเตอร์
Computer System

รูป 11.3 แสดงระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันในทางปฏิบัติ ซึ่งอาจอธิบายส่วนประกอบบางอันโดยสังเขปได้ดังนี้

Video Terminal เป็นส่วนของคีย์บอร์ดคล้ายเครื่องพิมพ์ และจอภาพ ซึ่งแสดงผลตอบสนองที่ได้จาก CPU ไปปรากฏบนจอ (CRT)

Line Printer เป็นอุปกรณ์พิมพ์ตัวเลขและสัญลักษณ์ที่มีความเร็วสูง ซึ่งจัดหาสำเนากระดาษของโปรแกรม และข้อมูลตัวเลข

Bulk Storage เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บซึ่งมีความจุมากกว่า RAM



รูป 11.13 ระบบคอมพิวเตอร์ในทางปฏิบัติ

11.9 การโปรแกรมและซอฟแวร์
Programming and Software

ไมโครโปรเซสเซอร์ และไอซีที่เกี่ยวเนื่องกัน, แผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuit board), ตู้, สายต่อ, การแสดงผล (display) และคีย์บอร์ด เรียกว่า ฮาร์ดแวร์ ลำดับของคำสั่งหรือโปรแกรม ซึ่งทำให้ฮาร์ดแวร์ทำงานต่าง ๆ สารพัดเรียกว่า ซอฟแวร์ ซอฟแวร์รวมถึงเอกสารประกอบทั้งหมดที่เขียนขึ้นสัมพันธ์กับโปรแกรมซึ่งช่วยในการใช้งาน, ทำความเข้าใจ และการแปรเปลี่ยน (modification)

Address	Opcode
0000000000010101	11000001
0000000000010110	00000000
0000000000010111	11100100
0000000000011000	11111111
0000000000011001	11001001
0000000000011010	00000001
0000000000011011	10011010
0000000000011100	00000000

รูป 11.14 ตัวอย่างโปรแกรม

ไมโครโปรเซสเซอร์เห็นโปรแกรมจริง ๆ เป็นชุดของรหัสดำเนินการค่าเลขฐาน 2 โดยปกติมีความกว้างขนาด 8 บิท และเก็บอยู่ในหน่วยความจำ โปรแกรมสามารถลงไว้บนกระดาษในรูปแบบที่ให้คนใช้มากกว่าให้เครื่องใช้โดยตรง ตัวอย่างเช่น โปรแกรมจริง ๆ ที่ยกมาให้ดูเพียงเล็กน้อยดังรูป 11.14 ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 นั่นคือเป็นภาษาเครื่อง (machine language) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ National 8060 (SC/MP) มันไปรับข้อมูลจากที่ตั้งของความจำเฉพาะอันหนึ่ง แล้วเติมเสริมข้อมูลนั้น แล้วเก็บค่าที่ได้นี้ในที่ตั้งทันทีตามข้อมูลดั้งเดิม

เนื่องจากโปรแกรมมากมายมีขั้นตอนเป็นพัน ๆ การเขียนและวิเคราะห์โปรแกรมจึงเป็นงานหนักมาก และเนื่องจากเหตุผลสำคัญในการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ก็คือการทำให้การออกแบบตรรกที่ซับซ้อนง่ายขึ้น ดังนั้นการจัดเตรียมและการลำดับรายการของโปรแกรมที่เป็นไปตามขั้นตอนจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้

การลดรูปให้ง่ายขึ้นเกิดขึ้นเมื่อสามารถหลีกเลี่ยงการเขียน 0, 1 บ่อยครั้ง ซึ่งสามารถกระทำถ้าค่าทางเลขฐาน 2 ถูกจัดกลุ่ม ออกเป็นกลุ่มละ 4 บิท และให้ชื่อใหม่ดังนี้

0000 = 0	0110 = 6	1100 = C
0001 = 1	0111 = 7	1101 = D
0010 = 2	1000 = 8	1110 = E
0011 = 3	1001 = 9	1111 = F
0100 = 4	1010 = A	
0101 = 5	1011 = B	

ซึ่งเรียกว่ารหัสฐาน 16 (hexadecimal coding) และใช้อย่างกว้างขวางในซอฟแวร์ของไมโครโปรเซสเซอร์ ส่วนของโปรแกรมข้างต้นจึงอาจเขียนใหม่ในรูปของรหัสฐาน 16 ดังนี้

Address	Opcode (Hexadecimal)
0015	C1
0016	00
0017	E4
0018	FF
0019	C9
001A	01
001B	9A
001C	00

รหัสนี้ยังคงจัดเป็นภาษาเครื่อง แม้ว่าค่าเลขฐาน 2 จะถูกเขียนในรูปลัดก็ตาม

ขั้นต่อไปในการลดรูปเพื่อช่วยโปรแกรมเมอร์เรียกว่ารหัสหรือภาษา mnemonic แทนที่จะเขียนรหัสดำเนินการโปรแกรมเมอร์จะเขียนกลุ่มของอักษรซึ่งบอกให้เครื่องทำงาน เช่น ตัวอย่างโปรแกรมข้างบนเขียนเป็นภาษา mnemonic และอ่านออกเสียงได้ดังนี้

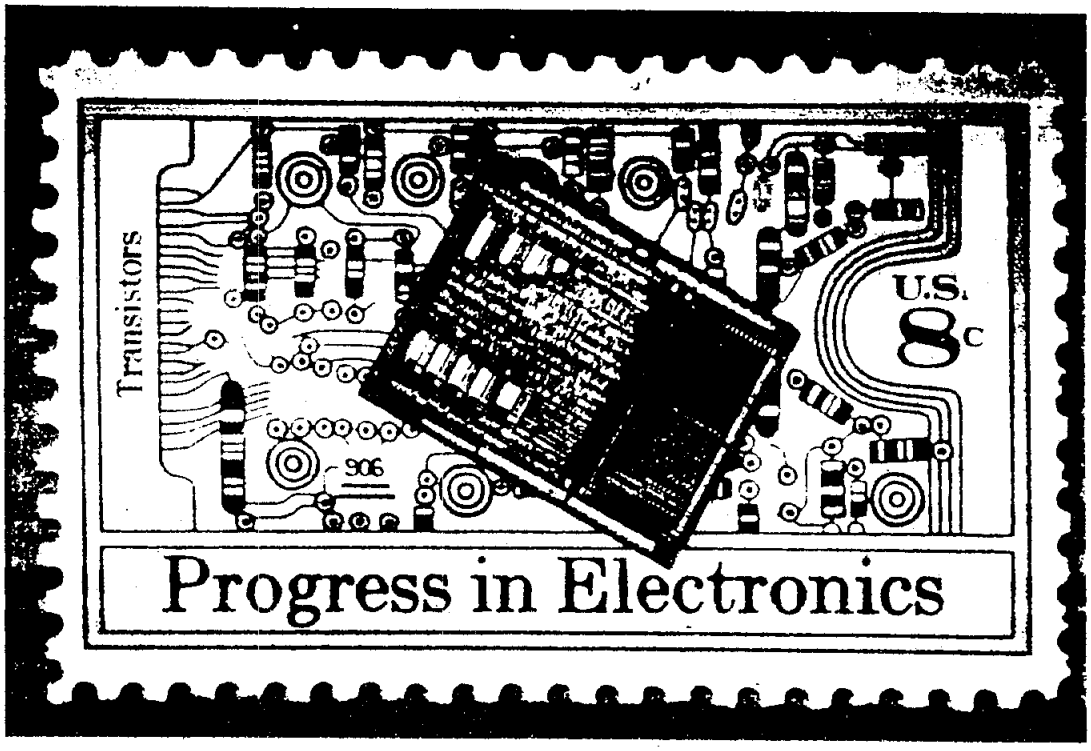
```
LD          "load"
00
XRI         "exclusive-or immediate"
FF
ST          "store"
01
JZ          "jump if zero"
00
```

บรรทัดที่ 2, 4, และ 6 ไม่ใช่คำสั่งแต่เป็นข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดแอดเดรสสำหรับ load, store และ jump เมื่อคำสั่ง JZ มาถึง ไมโครโปรเซสเซอร์จะตรวจสอบค่าปัจจุบันในแอคคิว-มิวเลเตอร์ ถ้าเป็น 0 มันจะกระโดดไปยังแอดเดรสใหม่สำหรับความต่อเนื่องของคำสั่ง มิฉะนั้น (ถ้าไม่เป็น 0) มันจะเพิกเฉยต่อคำสั่ง และจะทำคำสั่งตามลำดับเดิมในปัจจุบันต่อไป คำสั่งแบบนี้เป็นคำสั่งที่คอมพิวเตอร์ได้รับการบอกเล่าว่ามันสามารถตัดสินใจได้

ไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละประเภทมีรหัสภาษาเครื่อง และรหัส mnemonic ที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการแปลจาก mnemonic ไปเป็นภาษาเครื่องจึงเป็นขบวนการที่เขียนเป็นตารางง่าย ๆ อันนี้ทำให้มันไปใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์อีกอันหนึ่งซึ่งมีโปรแกรมเฉพาะของมันในการแปล ระบบดังกล่าวนี้เรียกว่า assembler ซึ่งในกรณีนี้ภาษา mnemonic อาจเรียกว่าภาษา assembly โปรแกรมเมอร์เข้ารหัส mnemonic ลงในคีย์บอร์ด ซึ่ง assembler ผลิตบัญชีฐาน 16 หรือฐาน 2 ที่สอดคล้องกัน

รหัส mnemonic อาจเรียกว่า source code และรหัสภาษาเครื่องเรียกว่า object code

โปรแกรมเมอร์อาจเขียนโปรแกรมเป็นภาษาระดับสูงขึ้น เช่น BASIC, ALGOL, FORTRAN, etc. ภาษาเหล่านี้คล้ายคลึงกับภาษาอังกฤษธรรมดาผสมกับสมการคณิตศาสตร์ แต่ว่าแต่ละภาษาจะมีกฎเกณฑ์เฉพาะของมัน เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถแปลภาษาเหล่านี้ให้เป็น object code แบบฐาน 16 หรือฐาน 2 ได้ 1 statement ของภาษาระดับสูงเมื่อแปลเป็น object code แล้วมักจะได้ออกมาเป็นหลายขั้นตอน



รูป 11.15 ไอซีของไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 32 บิท มีขนาดของชิพเพียง 1.5 cm^2 แต่มีกำลังดำเนินการเท่า ๆ กับมินิคอมพิวเตอร์บางเครื่อง

สรุป

ไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่ควบคุมและประมวลผลหน้าที่ของคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ประกอบด้วยเกท ฟลิบฟลอบและรีจิสเตอร์มากมายต่อร่วมกันบนซิลิคอนชิพ (เป็นไอซีประเภท LSI)

หน่วยความจำของระบบไมโครโปรเซสเซอร์มีหลายแบบ หลายขนาดได้แก่ ROM ใช้เก็บโปรแกรมส่วนใหญ่ RAM สำหรับเก็บข้อมูลและโปรแกรมชั่วคราว ส่วน PROM และ EPROM เป็นหน่วยความจำซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมได้

ไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อนำมาต่อร่วมกับหน่วยความจำ และอินเตอร์เฟสโมดูล (interface module) แล้วเรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ในระบบคอมพิวเตอร์ (เช่น ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ไมโครคอมพิวเตอร์)

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีหน่วยความจำประกอบอยู่ภายในชิพของมันจะเป็นไอซีชนิด LSI ที่เรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชิพ (one-chip microcomputer)

แบบฝึกหัด

11.1 จงอธิบายไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ ทั้ง 2 อย่างนี้มีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

11.2 ROM และ RAM แตกต่างกันอย่างไร หน่วยความจำ 2 ประเภทนี้ มีหน้าที่อย่างไรในไมโครคอมพิวเตอร์

11.3 ทำไมบัสข้อมูลในไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่จึงเป็นชนิด 2 ทิศทาง ในขณะที่แอดเดรสบัสเป็นชนิดทิศทางเดียว

11.4 ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 4 บิท 8 บิท 16 บิท หมายความว่าอย่างไร

11.5 จงอธิบายโครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์โดยสังเขป

11.6 จงเขียนโครงสร้างและอธิบายไมโครคอมพิวเตอร์

11.7 จงเขียนโครงสร้างของดิจิตอลคอมพิวเตอร์ และอธิบายโดยย่อ

11.8 จงพรรณนาความหมายของการโปรแกรม และซอฟแวร์

11.9 จงอธิบายความหมายของคำต่อไปนี้ รหัส mnemonic, assembler, รหัสภาษาเครื่อง