

## บทที่ 2

# วิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์

1.1 ประวัติของคอมพิวเตอร์

1.2 เอกสารอ้างอิงและเว็บไซต์ที่ควรรู้

### วัตถุประสงค์

- แนะนำประวัติความเป็นมาของคอมพิวเตอร์
- วิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์

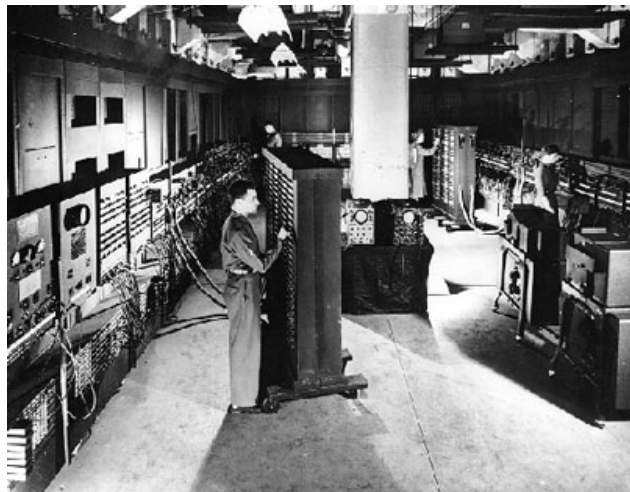
ประวัติของคอมพิวเตอร์เป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังเป็นการแนะนำโครงสร้างและหน้าที่ของคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี ต่อไปเราก็จะเน้นที่ประเด็นในเรื่องประสิทธิภาพ การพิจารณาความต้องการในการใช้งานทรัพยากรคอมพิวเตอร์ และเราจะกล่าวถึงวิวัฒนาการของระบบเพื่อเป็นตัวอย่าง ได้แก่ เพนเทียม

## 2.1 ประวัติของคอมพิวเตอร์

### ยุคแรก : หลอดสุญญากาศ (Vacuum tube)

ENIAC หรือชื่อเต็มคือ Electronics Numerical Integrator and Computer ออกแบบและสร้างขึ้นโดย John Mauchly และ John Presper Eckert จากมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย นับเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องแรกของโลกที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

โครงการนี้เกิดขึ้นมาจากความต้องการของสหรัฐอเมริกาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยหน่วยงานชื่อ BRL ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการพัฒนาตารางกำหนดระยะและวิธีการยิงอาวุธ การสร้างตารางที่วุ่นวายนี้ให้ถูกต้องแม่นยำภายในเวลาที่เหมาะสมเป็นเรื่องที่ยากยิ่ง การสร้างตารางการยิงสำหรับอาวุธหนึ่งๆ โดยใช้คนเพียงหนึ่งคนอาจใช้เวลาหลายชั่วโมงหรืออาจกินเวลาเป็นหลายวันก็ได้ จึงเกิดแนวคิดในการหาวิธีสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์จากหลอดสุญญากาศเพื่อใช้ในการสร้างตารางนี้ เริ่มสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1943



รูป 2.1 เครื่อง ENIAC



รูป 2.2 หลอดสุญญากาศของ ENIAC

และสำเร็จเมื่อปี ค.ศ.1946 เครื่องนี้มีขนาดใหญ่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยใช้พื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางฟุต หนัก 30 ตัน และใช้หลอดสุญญากาศมากกว่า 18,000 หลอด เมื่อใช้งานจะกินไฟถึง 140 กิโลวัตต์ สามารถทำการบวกได้ 5,000 ครั้งต่อวินาที ENIAC จัดเป็นเครื่องที่คำนวณโดยใช้เลขฐานสิบแทนที่จะเป็นฐานสองเหมือนคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน หน่วยความจำประกอบด้วย 20 accumulator<sup>1</sup> ซึ่งแต่ละตัวจะใช้เก็บเลข 0-9 ในฐานสิบ โดยใช้วงแหวนของหลอดสุญญากาศ 10 หลอดแทนเลขแต่ละตัว เมื่อหลอดใดมีสถานะเปิด ก็จะมีหมายถึงเลขจำนวนนั้นๆ ในฐานสิบ

<sup>1</sup> หรือ AC คือ ชื่อของรีจิสเตอร์ภายในชิพที่ใช้เก็บหนึ่งในสองของตัวถูกดำเนินการ (operands) สำหรับคำสั่ง

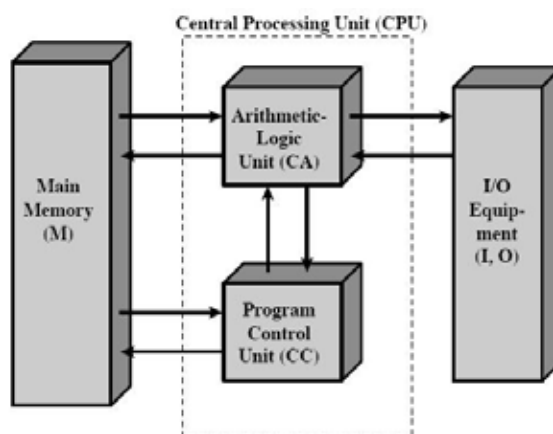
ข้อเสียของเครื่องก็คือ การโปรแกรมการทำงานทำได้โดยการตั้งสวิตช์ร่วมกับการเสียบหรือถอดสายเคเบิล

แต่ถึงกระนั้น ENIAC ก็ไม่ได้ถูกใช้งานอย่างที่ตั้งใจไว้ เพราะเมื่อเครื่องสร้างเสร็จก็สายเกินกว่าจะนำไปใช้ แต่ถึงกระนั้นก็ยังได้ใช้งานในการคำนวณที่ซับซ้อนเพื่อดูความเป็นไปได้ในการสร้างระเบิดไฮโดรเจน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องนี้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำงานทั่วไปได้ ไม่เฉพาะเจาะจงว่าต้องงานหนึ่งงานใดเท่านั้น

**The von Neumann Machine** เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นจากแนวคิดที่ต้องการให้คอมพิวเตอร์สามารถเก็บโปรแกรมไว้ในเครื่องได้ (stored-program concept) โดยนักคณิตศาสตร์ที่มีชื่อเสียงชื่อ John von Neumann ซึ่งเป็นที่ปรึกษาในโครงการ ENIAC ด้วย ในขณะเดียวกัน Alan Turing ก็เสนอแนวคิดนี้เช่นกัน แต่ผลงานตีพิมพ์ครั้งแรกนั้นเกิดขึ้นในปี ค.ศ.1945 โดย von Neumann นำเสนอเพื่อใช้ในการสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)

ในปี ค.ศ.1946 von Neumann และคณะเริ่มออกแบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถเก็บโปรแกรมได้ โดยให้ชื่อว่า IAS computer เครื่องนี้แล้วเสร็จเมื่อปี ค.ศ.1952 และถือเป็นต้นแบบของคอมพิวเตอร์ทั่วไปในยุคต่อมา โครงสร้างของเครื่อง IAS computer แสดงดังรูป 2.3 ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักดังนี้

- หน่วยความจำหลัก (M) เก็บข้อมูลและคำสั่ง
- หน่วยคำนวณและตรรกะ (CA) กระทำการกับข้อมูลในรูปเลขฐานสอง
- หน่วยควบคุม (CC) แปลคำสั่งที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำและทำงานตามคำสั่งนั้น
- อุปกรณ์รับส่งข้อมูล (I/O) ที่ถูกใช้งานโดยหน่วยควบคุม



รูป 2.3 โครงสร้างของเครื่องคอมพิวเตอร์ IAS

**Commercial Computers** ในช่วงทศวรรษที่ 1950 อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ได้ถือกำเนิดขึ้นจากบริษัทผลิตคอมพิวเตอร์ยักษ์ใหญ่ 2 บริษัทได้แก่ IBM และ Sperry

ในปี ค.ศ.1947 Eckert และ Mauchly ได้จัดตั้งบริษัท Eckert-Mauchly Computer Corporation ขึ้นเพื่อผลิตคอมพิวเตอร์สำหรับธุรกิจ เครื่องแรกที่เกิดคือ UNIVAC I (Universal Automatic Computer) ซึ่งใช้ในการทำสำมะโนประชากรในปี 1950 และกลายเป็นส่วนหนึ่งของแผนก UNIVAC ในบริษัท Sperry-Rand Corporation ที่ผลิตเครื่องรุ่นต่างๆ ในตระกูลนี้ออกมา UNIVAC I จึงถือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับธุรกิจเครื่องแรกที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และทางด้านธุรกิจ หลังจากนั้นก็ได้ผลิตเครื่อง UNIVAC II ซึ่งมีประสิทธิภาพของหน่วยความจำมากขึ้นและมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในปี ค.ศ.1953 บริษัท IBM ก็ผลิตเครื่องมือประมวลผลแบบตอกบัตร (punched-card processing) ที่สามารถเก็บโปรแกรมไว้ในเครื่องได้เป็นเครื่องแรก คือ เครื่อง 701 และได้ผลิตเครื่องในตระกูล 700/7000 ตามมาอีกหลายรุ่นที่สามารถใช้งานได้ทั้งทางวิทยาศาสตร์และเชิงธุรกิจ จนกลายเป็นผู้ผลิตหลักที่ผลิตเครื่องแบบตอกบัตรและเป็นยักษ์ใหญ่ในวงการผลิตคอมพิวเตอร์

## ยุคที่สอง : ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

การเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้น เมื่อมีการนำ ทรานซิสเตอร์มาใช้แทนหลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิกอน เรียกว่า solid-state device มีขนาดเล็กและราคาถูก และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าหลอดสุญญากาศ ผลิตโดย Bell Labs ในปี ค.ศ.1947 ก่อให้เกิดปฏิวัติในวงการอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ บริษัท NCR และ RCA เป็นผู้ นำในการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์จากทรานซิสเตอร์ในช่วงยุคทศวรรษที่ 1950 ตามมาด้วย IBM ที่ผลิตเครื่องใน ตระกูล 7000 รวมทั้งเป็นยุคของการก่อตั้งบริษัท Digital Equipment Corporation หรือ DEC ที่เริ่มผลิต คอมพิวเตอร์เครื่องแรกคือ PDP-1 ซึ่งเป็นบริษัทที่เริ่มสร้างมินิคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อเสียงอย่างมากในยุคที่สาม

การใช้ทรานซิสเตอร์ ทำให้เกิดยุคที่สองของคอมพิวเตอร์ และเป็นจุดเริ่มในการแบ่งคอมพิวเตอร์ ออกเป็นยุคตามเทคโนโลยีทางฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการสร้างคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตาราง 2.1 เมื่อเกิดยุคใหม่ขึ้น คอมพิวเตอร์ก็จะประสิทธิภาพในการประมวลผลดีขึ้น มีความจุของหน่วยความจำมากขึ้น และเครื่องมีขนาดเล็ก ลง รวมทั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงด้านอื่นๆ ด้วย ดังเช่นในยุคที่สองจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของหน่วยประมวลผล คณิตศาสตร์และตรรกะ (ALU) และหน่วยควบคุม (CU) ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้น มีการใช้ภาษาระดับสูง และ เริ่มมีซอฟต์แวร์ระบบเกิดขึ้น

ยุค	ช่วงเวลา	เทคโนโลยี	ความเร็ว (คำสั่ง/วินาที)
1	1946 – 1957	หลอดสุญญากาศ	40,000
2	1958 – 1964	ทรานซิสเตอร์	200,000
3	1965 – 1971	SSI	1,000,000
4	1972 – 1977	LSI	10,000,000
5	1978 –	VLSI	100,000,000

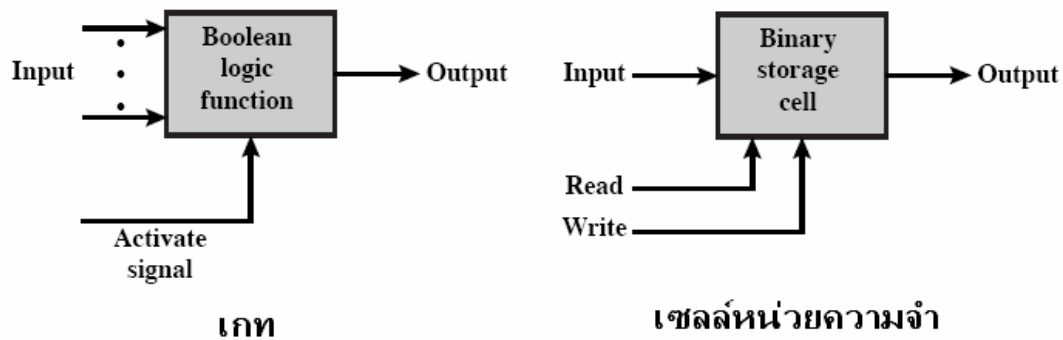
ตาราง 2.1 ยุคของคอมพิวเตอร์

## ยุคที่สาม : วงจรรวม หรือ ไอซี (Integrated circuit: IC)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงทศวรรษที่ 1950 และ 1960 ประกอบขึ้นจากทรานซิสเตอร์ที่บรรจุไว้ใน แพ็กเก็ตซึ่งเรียกว่า discrete component หลายๆ ตัวมารวมกัน ภายใน discrete component นี้จะบรรจุ ทรานซิสเตอร์โดยบัดกรีหรือใช้สายเพื่อเชื่อมไว้กับแผงวงจร (circuit board) กรรมวิธีการผลิตนี้ยุ่งยากและมี ค่าใช้จ่ายสูง และก่อให้เกิดปัญหาในแวดวงอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ที่ต้องการผลิตเครื่องที่มีประสิทธิภาพ สูงขึ้น โดยจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมากถึงหลักแสนในการผลิต ซึ่งเป็นเรื่องที่ยาก

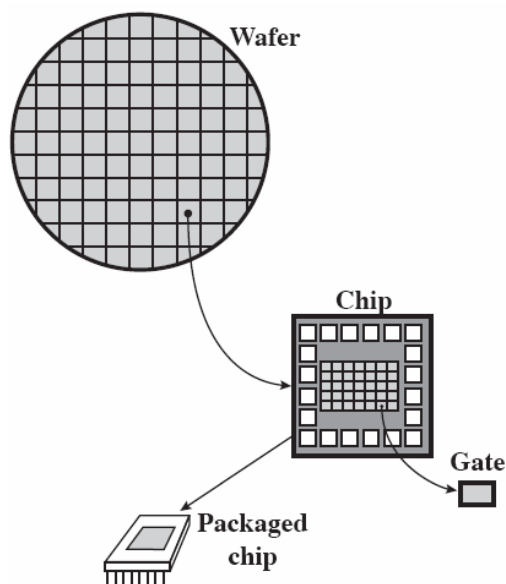
Microelectronics ในปี ค.ศ.1958 ถือได้ว่าเป็นปีที่มีการปฏิวัติวงการอุตสาหกรรม เป็นยุคเริ่มต้นของ ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ นั่นคือ การประดิษฐ์แผงวงจรรวมหรือไอซี ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ หรือ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด เล็ก เกิดจากความพยายามที่จะลดขนาดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลง การสร้างคอมพิวเตอร์เพื่อให้มี ความสามารถในการจัดเก็บ เคลื่อนย้าย ประมวลผลและควบคุมการทำงานได้ จะต้องใช้ส่วนประกอบหลัก 2

ส่วน ดังรูปที่ 2.4 คือ เกท (gate) และเซลล์หน่วยความจำ (memory cell) เกทเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่ทางตรรกะหรือบูลีน เช่น IF A and B are TRUE then C is TRUE (AND gate) อุปกรณ์นี้เรียกว่าเกท เนื่องจากใช้ในการควบคุมทิศทางของข้อมูลได้ ส่วนเซลล์หน่วยความจำเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลเป็นบิตได้ ซึ่งในขณะใดขณะหนึ่งจะเป็นได้ 1 ใน 2 สถานะ



รูป 2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานของคอมพิวเตอร์

นอกจากเกทและเซลล์หน่วยความจำเป็นจำนวนมากแล้ว คอมพิวเตอร์ยังประกอบด้วยตัวเชื่อมต่อ (Interconnection) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองอีกด้วยส่วนประกอบเหล่านี้สามารถผลิตได้โดยใช้สารกึ่งตัวนำ

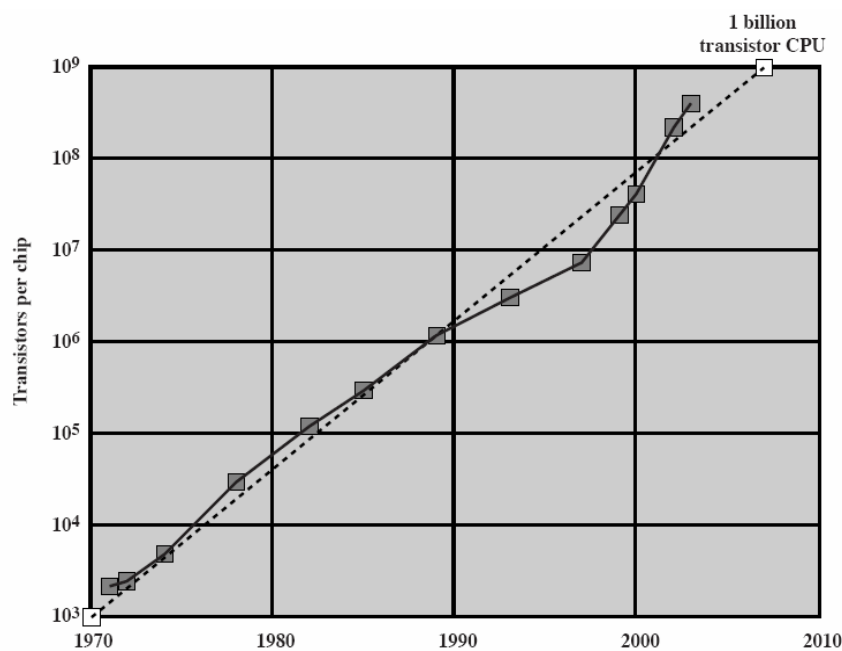


รูป 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นซิลิกอน ชิป และเกท

(semiconductor) เช่น แผ่นซิลิกอน ดังนั้นจึงสามารถสร้างวงจรรวมหรือทรานซิสเตอร์หลายๆ ตัวบนแผ่นซิลิกอน (Wafer) แผ่นเดียวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากรูปจะเห็นว่า แผ่นซิลิกอนจะถูกแบ่งออกเป็นตารางเล็กๆ ขนาดมิลลิเมตร แบบแปลนของวงจรมจะถูกสร้างขึ้นบนพื้นที่เหล่านี้ และจะตัดออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกว่า ชิป (Chip) แต่ละชิปจะประกอบด้วยเกท และเซลล์หน่วยความจำจำนวนมาก จากนั้นก็นำชิปนี้ไปบรรจุอยู่บนแพ็คเกจ (package) เพื่อป้องกันชิปและมีหัวเข็ม (pin) ที่นำไปติดกับอุปกรณ์อื่นหรือเชื่อมต่อกับแผงแผงวงจรที่มีขนาดใหญ่กว่า

ในช่วงแรก แพ็คเกจจะประกอบด้วยเกทและเซลล์หน่วยความจำจำนวนไม่มากนัก จึงเรียกวางจรรวมนี้ว่า small-scale integration หรือ SSI ต่อมาจึงสามารถผลิตให้บรรจุส่วนประกอบเหล่านี้ได้มากขึ้นภายในชิปเดียว อัตราการเติบโตแสดงดังรูป 2.6 ซึ่งเป็นไปตามกฎของมัวร์ (Moore's law) ที่เป็นผู้ร่วมก่อตั้งบริษัทอินเทล ในปี ค.ศ.1965 โดยมัวร์ตั้งข้อสังเกตว่าจำนวนทรานซิสเตอร์ที่บรรจุอยู่ในหนึ่งชิปจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในทุกๆ ปี และทำนายว่าจะยังคงเป็นแบบนี้ต่อไปในอนาคต ซึ่งก็เป็นจริงดังที่มัวร์ว่าไว้เป็นเวลาหลายสิบปีต่อมา

จนกระทั่งอัตราเริ่มลดลงกลายเป็นจำนวนสองเท่าในรอบ 18 เดือนในช่วงทศวรรษที่ 1970 และเป็นเช่นนั้นต่อมาจนถึงปัจจุบัน



รูป 2.6 อัตราการเติบโตของจำนวนทรานซิสเตอร์ที่บรรจุในหนึ่งชิป

จากกฎของมัวร์ทำให้เกิดผลสืบเนื่องดังต่อไปนี้

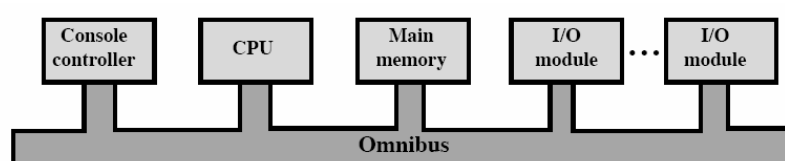
1. ราคาของชิปแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงในช่วงที่มีการเติบโต
2. ความหนาแน่นของทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มขึ้นบนชิป ทำให้เส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างกันสั้นลง ดังนั้นความเร็วในการทำงานจึงเพิ่มขึ้น
3. คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลง ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งานได้หลากหลาย
4. เกิดความต้องการที่จะลดพลังงานและความร้อนที่เกิดขึ้น
5. การเชื่อมต่อระหว่างกันบนชิปลดลง ทำให้ไม่เสถียร (reliability)

IBM System/360 ในปี ค.ศ.1964 บริษัท IBM สร้างเครื่องเมนเฟรมตระกูล System/360 ขึ้นมาแทนตระกูล 7000 ซึ่งไม่มีลักษณะที่เข้ากันได้ (compatible) กับเครื่องรุ่นเก่าอีกต่อไป และจัดเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดการสร้างคอมพิวเตอร์แบบ family อย่างแท้จริง นั่นคือ คอมพิวเตอร์ที่อยู่ใน family เดียวกันจะมีความเข้ากันได้ ทำให้ใช้โปรแกรมประยุกต์ร่วมกันได้ โดยเครื่องแต่ละรุ่นจะมีราคาแตกต่างกันไปตามประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้น และมีลักษณะดังนี้

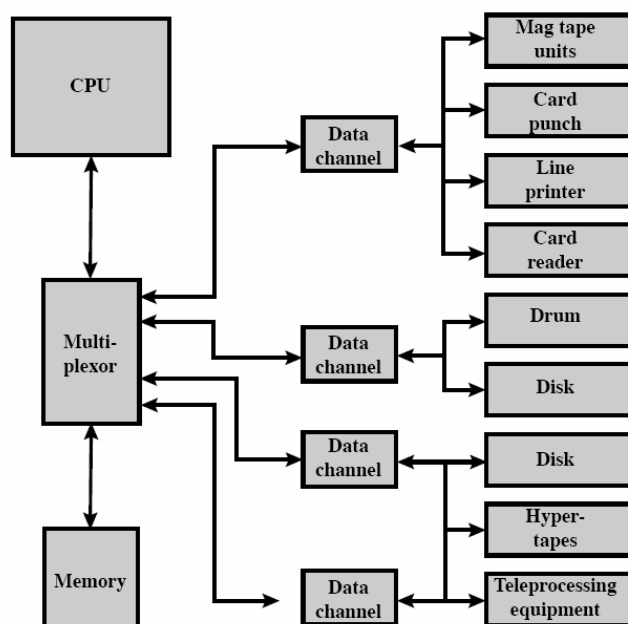
- มีชุดคำสั่งที่เหมือนหรือคล้ายกัน
- มีระบบปฏิบัติการที่เหมือนหรือคล้ายกัน
- ความเร็วในการทำงานเพิ่มขึ้น
- จำนวน I/O ports เช่น จำนวนเทอร์มินอลเพิ่มมากขึ้น
- ขนาดของหน่วยความจำเพิ่มขึ้น
- ราคาสูงขึ้น

DEC PDP-8 หลังจาก IBM ผลิตเครื่อง System/360 ในช่วงเวลาไล่เลี่ยกัน บริษัท DEC ก็ได้ผลิตเครื่องมินิคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูก และมีขนาดเล็กลงจนวางบนโต๊ะในห้องปฏิบัติการได้ แต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องเมนเฟรมขึ้น อีกทั้งยังไม่จำเป็นต้องตั้งในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ นั่นคือเครื่อง PDP-8 และมีเครื่องอื่นๆ ใน family เดียวกันเหมือนกับ IBM ด้วยราคาที่ถูกลงและขนาดที่เล็กทำให้บริษัทผู้ผลิตรายอื่น ชื้อเครื่อง PDP-8 แล้วนำไปประกอบเป็นระบบใหญ่เพื่อนำออกขาย ดังเช่นบริษัท Original Equipment Manufacturers (OEMs) ที่เริ่มมีส่วนแบ่งหลักในตลาดคอมพิวเตอร์

โครงสร้างของ PDP-8 ที่โดดเด่น ก็คือโครงสร้างแบบบัส (bus structure) ซึ่งแตกต่างจากเครื่อง IBM เช่น 700/7000 หรือ system/360 ที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบ central-switched คือใช้ multiplexor ในการควบคุมการติดต่อระหว่างหน่วยความจำ ซีพียู และช่องทางสื่อสารข้อมูล (หรือ data channel ที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์รอบข้าง) รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทั้งสองแบบ



โครงสร้างแบบบัสของ PDP-8



โครงสร้างแบบ Multiplexor ของ IBM 7094

รูป 2.7 โครงสร้างของ PDP-8 เปรียบเทียบกับโครงสร้างของ IBM 7094

โครงสร้างแบบบัสของ PDP-8 เรียกว่า Omnibus ประกอบด้วยสายสัญญาณ 96 สายที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณควบคุม ตำแหน่งของหน่วยความจำ และข้อมูล เนื่องจากส่วนประกอบในระบบทุกส่วนมีการใช้ชุดสายสัญญาณร่วมกัน และถูกควบคุมโดยซีพียู ดังนั้นสถาปัตยกรรมแบบนี้จึงมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถเพิ่มหน่วยรับส่งข้อมูลในภายหลังได้ง่าย โครงสร้างแบบบัสนี้เป็นต้นแบบที่ใช้ในเครื่องมินิคอมพิวเตอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

## ยุคต่อมา

หลังจากยุคที่สาม ข้อตกลงในการแบ่งยุคของคอมพิวเตอร์ไม่มีความชัดเจนและไม่ค่อยมีความหมายมากนัก จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่ายุคที่สี่และยุคที่ห้าจะแยกจากกันโดยดูจากใช้เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไอซีที่ก้าวหน้าขึ้น โดย large-scale integration หรือ LSI จะมีส่วนประกอบตั้งแต่ 1,000 ขึ้นขึ้นไปบนชิปไอซีหนึ่งชิป ส่วน Very-large-scale integration หรือ VLSI จะมีจำนวนมากกว่า 10,000 ขึ้นขึ้นไป และในปัจจุบันชิป VLSI บรรจุส่วนประกอบไปถึง 100,000 ขึ้นขึ้นไป การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ทำให้ซอฟต์แวร์และการสื่อสารเริ่มมีความสำคัญไม่แพ้ฮาร์ดแวร์ การพัฒนาที่เกิดขึ้นใหม่เพื่อการประยุกต์ใช้ในเชิงธุรกิจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายๆ ในช่วงทศวรรษที่ 1970 ดังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

**Semiconductor memory** การนำเทคโนโลยีไอซีมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ครั้งแรก คือ การสร้างโปรเซสเซอร์ (ALU และ CU) บนชิปไอซี ต่อมาภายหลังก็พบว่าเทคโนโลยีนี้ก็สามารถนำมาสร้างหน่วยความจำได้เช่นกัน ในช่วงทศวรรษที่ 1950 และ 1960 หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่สร้างขึ้นจากวงแหวนแม่เหล็ก (ferromagnetic ring) ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1/16 นิ้ว วงแหวนนี้จะผูกติดอยู่บนตะแกรงลวดที่แขวนอยู่ในคอมพิวเตอร์ วงแหวนแม่เหล็ก (หรือเรียกว่า core) นี้ทำให้เกิดแม่เหล็กได้สองทิศทาง แต่ละทิศทางจะแทนค่าเป็น 0 และ 1 หน่วยความจำแบบนี้เข้าถึงได้เร็ว โดยใช้เวลาเพียงเสี้ยววินาที (หนึ่งในล้านวินาที) ในการอ่านข้อมูลหนึ่งบิต แต่ก็มีข้อเสียคือมีราคาแพง ขนาดใหญ่ และข้อมูลจะถูกทำลายภายหลังการอ่าน (destructive) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ใช้ในการเรียกข้อมูลกลับคืนทันทีที่มีการดึงข้อมูลออก

ต่อมาในปี ค.ศ.1970 Fairchild ผลิตหน่วยความจำแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor memory) ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยภายในหนึ่งชิปสามารถเก็บข้อมูลได้ 256 บิตและมีขนาดเท่ากับวงแหวนแม่เหล็กเพียงหนึ่งวง นอกจากนี้ ข้อมูลจะไม่ถูกทำลายภายหลังการอ่าน และยังมีความเร็วสูงกว่าวงแหวนอีกด้วย โดยใช้ความเร็วในการอ่านข้อมูลหนึ่งบิตเพียงหนึ่งในพันล้านวินาที แต่ราคาต่อบิตก็ยังสูงกว่าแบบวงแหวน จนกระทั่งในปี ค.ศ.1974 ราคาต่อบิตของหน่วยความจำแบบสารกึ่งตัวนำลดลงจนต่ำกว่าราคาต่อบิตของวงแหวน ทำให้ราคาของหน่วยความจำลดลงและมีความจุเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้เครื่องมีขนาดเล็กลง ทำงานได้เร็วขึ้นและหน่วยความจำมีขนาดใหญ่ขึ้นภายในช่วงเวลาไม่กี่ปี การพัฒนาเทคโนโลยีหน่วยความจำร่วมกับเทคโนโลยีโปรเซสเซอร์ทำให้คอมพิวเตอร์เปลี่ยนแปลงไปภายในช่วงเวลาไม่ถึงหนึ่งทศวรรษ ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่และราคาแพงจะยังคงตลาดหลัก แต่ก็เทคโนโลยีใหม่ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ทั่วไปในสำนักงาน และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือพีซีขึ้น (Personal computer : PC) นับจากปี ค.ศ.1970 เป็นต้นมา หน่วยความจำแบบสารกึ่งตัวนำก็พัฒนามาแล้วหลายยุค เริ่มตั้งแต่ความจุ 1K, 4K, 16K, 64K, 256K, 1M, 4M, 16M, 256M จนกระทั่งปัจจุบันที่สามารถจุได้ถึงหลักกิกะบิตในชิปหนึ่งตัว จะเห็นได้ว่าแต่ละยุคจะมีความจุเพิ่มขึ้น 4 เท่าของยุคก่อนหน้า ในขณะที่ราคาต่อบิตและเวลาในการเข้าถึงข้อมูลก็ลดลงด้วยเช่นกัน

**Microprocessors** นอกจากความจุของหน่วยความจำบนชิปจะเพิ่มขึ้น ความจุของส่วนประกอบบนชิปโปรเซสเซอร์ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เมื่อเวลาผ่านไปส่วนประกอบหลายๆ ตัวก็สามารถบรรจุรวมกันอยู่บนชิปเดียวได้มากขึ้นเรื่อยๆ จำนวนชิปที่ประกอบขึ้นเป็นหน่วยประมวลผลหนึ่งตัวในคอมพิวเตอร์ก็ลดน้อยลงเรื่อยๆ เช่นกัน



จนกระทั่งในปี ค.ศ.1971 บริษัทอินเทลผลิตชิป 4004 สำเร็จเป็นครั้งแรก ชิป 4004 นี้เป็นชิปที่สามารถบรรจุ ส่วนประกอบต่างๆ ของซีพียูไว้ในชิปเดียว ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของไมโครโปรเซสเซอร์

ชิป 4004 สามารถบวกและคูณเลข 4 บิตสองตัวได้ ถ้าเทียบกับเครื่องในปัจจุบัน ชิป 4004 อาจเป็น เพียงชิปโบราณล้ำสมัย แต่ในขณะนั้นถือได้ว่า เป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการของไมโครโปรเซสเซอร์ วิวัฒนาการนี้จะเห็นได้จากจำนวนบิตที่สามารถประมวลผลได้ในหนึ่งครั้ง ซึ่งการประเมินแบบนี้ทำได้ยากและไม่ ชัดเจน การวัดที่ดีที่สุดอาจวัดได้จากขนาดความกว้างของบัสข้อมูล (data bus) ซึ่งก็คือจำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถนำเข้ามาหรือส่งออกจากโปรเซสเซอร์ได้ในครั้งหนึ่ง การวัดอีกวิธีหนึ่งก็คือจำนวนบิตใน accumulator หรือ ในชุดของรีจิสเตอร์ทั่วไป ซึ่งโดยมากแล้วจำนวนบิตที่ได้จากการวัดทั้งสองแบบนี้จะมีขนาดเท่ากัน แต่ก็อาจไม่ เป็นเช่นนั้นเสมอไป ตัวอย่างเช่น ไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวที่พัฒนาขึ้นโดยสามารถประมวลผลกับตัวเลข ขนาด 16 บิตที่เก็บในรีจิสเตอร์ได้ในครั้งหนึ่งๆ แต่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้เพียงครั้งละ 8 บิต

วิวัฒนาการถัดมาของไมโครโปรเซสเซอร์เกิดขึ้นในปี ค.ศ.1972 เมื่อมีการผลิตชิปอินเทล 8008 ซึ่งถือ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิตตัวแรก ทั้งอินเทล 4040 และ 8008 เป็นชิปที่ผลิตมาเพื่อใช้งานเฉพาะด้าน ต่อมาในปี ค.ศ.1974 มีการผลิตชิป 8080 ขึ้นซึ่งถือเป็นไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิตตัวแรกที่ผลิตสำหรับใช้งาน ทั่วไป และยังมีความเร็วสูงกว่าชิป 8008 เนื่องจากมีชุดคำสั่งที่มากขึ้นและสามารถอ้างถึงหน่วยความจำได้มาก ขึ้น ในขณะเดียวกัน ก็ได้มีการพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 16 บิตขึ้น จนกระทั่งในช่วงปลายทศวรรษที่ 1970 ไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 16 บิตเพื่อใช้งานทั่วไปได้ถือกำเนิดขึ้น หนึ่งในนั้นก็คือชิป 8086 ต่อมาบริษัท Hewlett-Packard และ Bell Labs ได้พัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 32 บิตขึ้นในปี ค.ศ.1981 ตามมาด้วยบริษัทอินเทลที่ ผลิตชิป 80386 ซึ่งเป็นแบบ 32 บิตเช่นกันในปี ค.ศ.1985 วิวัฒนาการของไมโครโปรเซสเซอร์ในยุคต่างๆ แสดง ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

(a) 1970s Processors

	4004	8008	8080	8086	8088
Introduced	1971	1972	1974	1978	1979
Clock speeds	108 kHz	108 kHz	2 MHz	5 MHz, 8 MHz, 10 MHz	5 MHz, 8 MHz
Bus width	4 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits
Number of transistors	2,300	3,500	6,000	29,000	29,000
Feature size (μm)	10		6	3	6
Addressable memory	640 Bytes	16 KBytes	64 KBytes	1 MB	1 MB
Virtual memory	—	—	—	—	—

(b) 1980s Processors

	80286	386TM DX	386TM SX	486TM DX CPU
Introduced	1982	1985	1988	1989
Clock speeds	6 MHz - 12.5 MHz	16 MHz - 33 MHz	16 MHz - 33 MHz	25 MHz - 50 MHz
Bus width	16 bits	32 bits	16 bits	32 bits
Number of transistors	134,000	275,000	275,000	1.2 million
Feature size (μm)	1.5	1	1	0.8 - 1
Addressable memory	16 megabytes	4 gigabytes	16 megabytes	4 gigabytes
Virtual memory	1 gigabyte	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes

ตาราง 2.2 วิวัฒนาการของอินเทลไมโครโปรเซสเซอร์ ช่วงปีทศวรรษ 1970 และ 1980

(c) 1990s Processors

	486TM SX	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Introduced	1991	1993	1995	1997
Clock speeds	16 MHz - 33 MHz	60 MHz - 166 MHz,	150 MHz - 200 MHz	200 MHz - 300 MHz
Bus width	32 bits	32 bits	64 bits	64 bits
Number of transistors	1.185 million	3.1 million	5.5 million	7.5 million
Feature size ( $\mu\text{m}$ )	1	0.8	0.6	0.35
Addressable memory	4 gigabytes	4 gigabytes	64 gigabytes	64 gigabytes
Virtual memory	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes

(d) Recent Processors

	Pentium III	Pentium 4	Itanium	Itanium 2
Introduced	1999	2000	2001	2002
Clock Speeds	450 - 660 MHz	1.3 - 1.8 GHz	733 - 800 MHz	900 MHz - 1 GHz
Bus Width	64 bits	64 bits	64 bits	64 bits
Number of Transistors	9.5 million	42 million	25 million	220 million
Feature size ( $\mu\text{m}$ )	0.25	0.18	0.18	0.18
Addressable Memory	64 gigaBytes	64 gigaBytes	64 gigaBytes	64 gigaBytes
Virtual Memory	64 teraBytes	64 teraBytes	64 teraBytes	64 teraBytes

Source: Intel Corp. <http://www.intel.com/intel/museum/>

ตาราง 2.3 วิวัฒนาการของอินเทลไมโครโปรเซสเซอร์ ช่วงปีทศวรรษ 1990 และปัจจุบัน

## 2.2 เอกสารอ้างอิงและเว็บไซต์ที่ควรรู้

Chapter 2 William Stalling. *Computer organization and architecture: designing for performance*.

วิดีโอเกี่ยวกับ ENIAC ที่ <http://www.youtube.com/watch?v=KmYZxqyEgW0>

<http://www.intel.com>