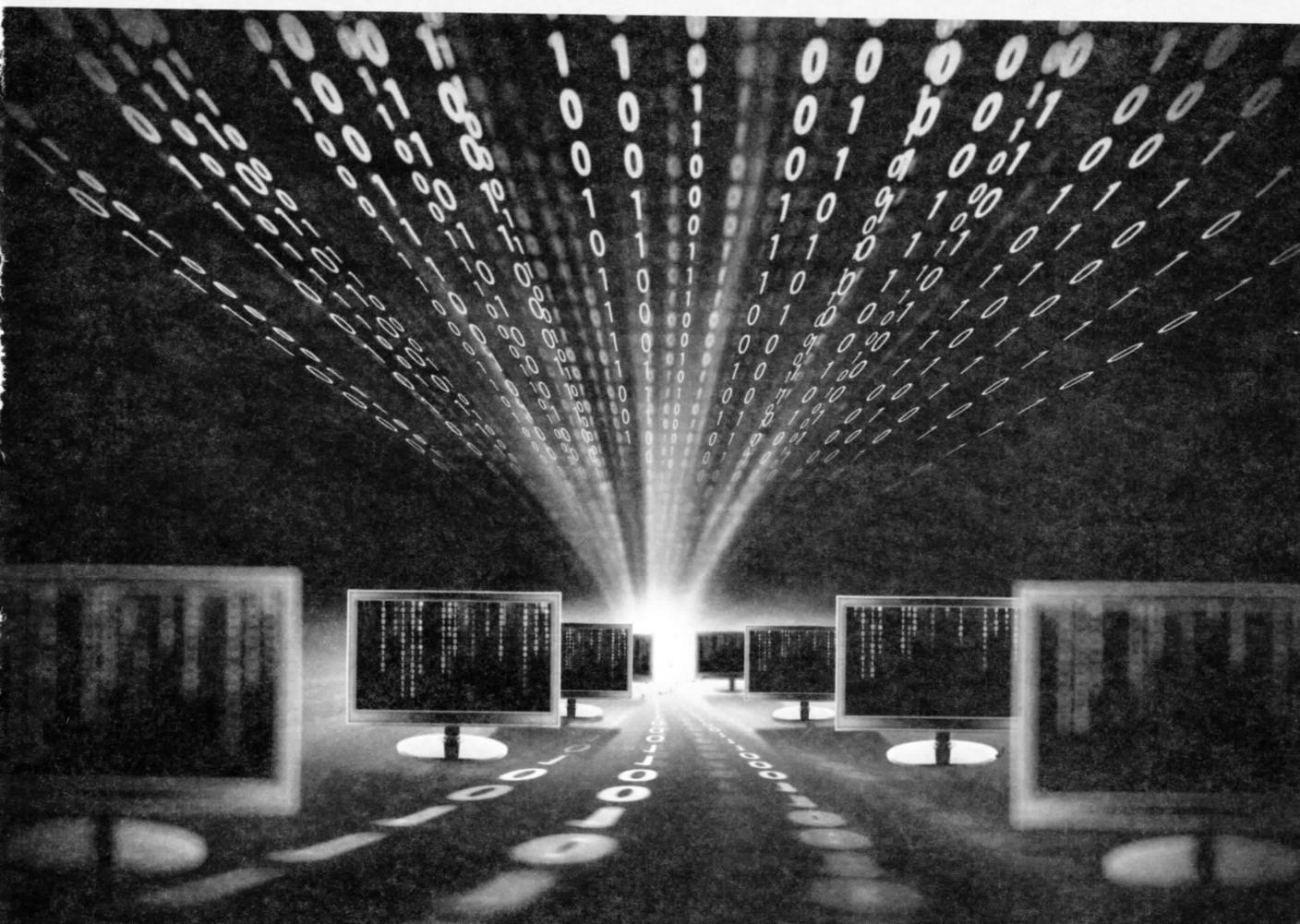


1

unit

(Introduction)

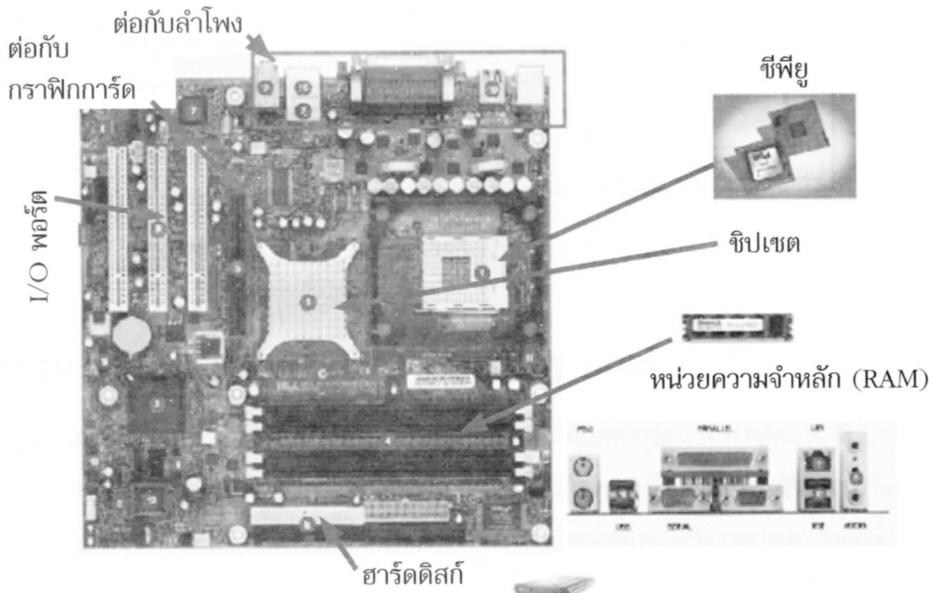


คอมพิวเตอร์มีองค์ประกอบหลายอย่างอยู่ภายใน เข่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ ดิสก์ หน่วยสำรองข้อมูล หน่วยควบคุม สิ่งต่างๆ เหล่านี้ถูกเชื่อมต่อกันเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานทางด้านโครงสร้างและตัวอย่างคอมพิวเตอร์แบบนามธรรม ที่เกิดขึ้นในเบื้องทฤษฎีในดีด กล่าวถึงประวัติความเป็นมาและพัฒนาการของคอมพิวเตอร์โดยย่อ และแนวโน้มของการพัฒนาต่อไปในอนาคต

■ 1.1 โครงสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์

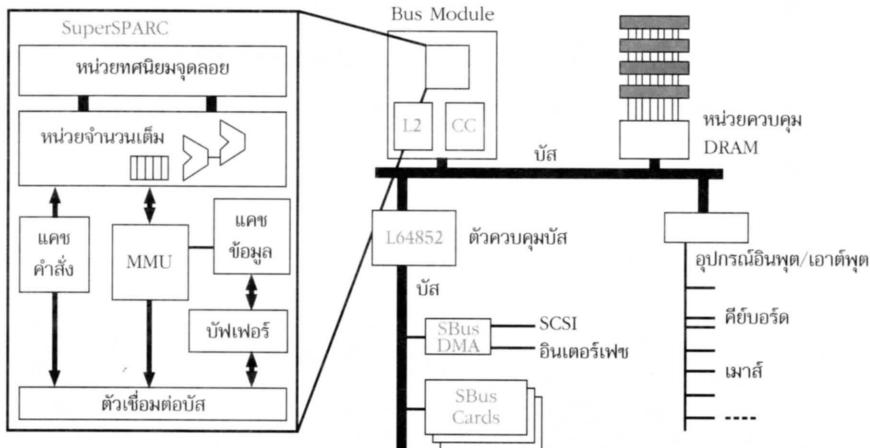
ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยชิปปี้ (Central Processing Unit หรือหน่วยประมวลผลกลาง) DRAM (Dynamic Random Access Memory หรือหน่วยความจำ) ดิสก์ มีเมนบอร์ดที่มีพอร์ตต่างๆ เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เชน อุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุต ส่วนภายในชิปปี้มีหน้าที่ประมวลผลที่ประกอบด้วย Control Unit (หน่วยควบคุม) และ Data Path ที่เชื่อมต่อหน่วยต่างๆ อุปกรณ์อินพุตเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่นำข้อมูลเข้าจากภายนอก ข้อมูลเข้าหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว หรืออาจจะถูกขยายนอยู่ในหน่วยความจำถาวรก็ได้ ส่วน Data Path เป็นส่วนที่เป็นทางเดินของข้อมูลและเป็นทางเดินให้นำข้อมูลมาใช้คำนวณ ในการประมวลผลจะมีการส่งสัญญาณไปควบคุมหน่วยประมวลผล สัญญาณควบคุมจะถูกกำหนดโดย Control Unit และส่งไปตาม Data Path ไปยังจุดต่างๆ ให้ข้อมูลไหลไปยังหน่วยต่างๆ อย่างเหมาะสม เมื่อข้อมูลถูกประมวลแล้ว อาจจะถูกนำไปใช้คำนวณอีกครั้งหนึ่ง หรือถูกนำไปใช้ในหน่วยความจำถาวร ก็ได้ ส่วนต่างๆ เหล่านี้จะเชื่อมต่อด้วยบัสที่เรียกว่า

รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างของค์ประกอบต่างๆ บนเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ และส่วนเชื่อมต่อบนเมนบอร์ดของบริษัท Intel จะพบว่าบนเมนบอร์ดนั้นมีที่วางซีพียูและที่วางชิปเซต มีส่วนเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตต่างๆ เรียกว่า I/O พอร์ต เช่น กราฟิกการ์ดแสดงผล ลำโพง หน่วยความจำ เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบต่างๆ บนเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์
(ที่มา: <http://www.intel.com>)

รูปที่ 1.2 เป็นตัวอย่างของ TI SuperSPARC™ TMS390Z50 ของ Sun SPARCstation20 โครงสร้างนี้แบ่งออกกว่า เพราะมีหน่วยประมวลผลหลายแบบ ประกอบด้วยหน่วยจำนวนเต็ม (Integer Unit) หน่วยเลขทศนิยมจุดลอย (Floating Point Unit) มีหน่วยความจำหลายแบบ เช่น มีแคชคำสั่ง (Instruction Cache) แคชข้อมูล (Data Cache) แคช L2 หน่วยเหล่านี้เชื่อมต่อด้วยบัสซึ่งมีหลายแบบ มีตัวจัดการบัส (Bus Module) และตัวควบคุมบัส (Bus Controller) ทั้งยังเชื่อมต่อกับหน่วยความคุ้มหล่ายตัว รวมทั้งอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตหลายตัว



รูปที่ 1.2 ลักษณะบล็อกไดอะแกรมของ TMS390Z50

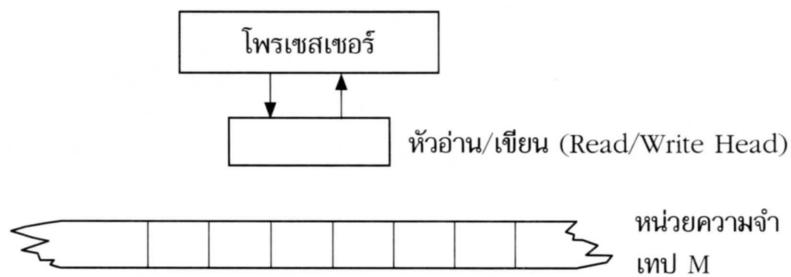
1.2 คอมพิวเตอร์แบบนามธรรม (Abstract Computer)

นักคณิตศาสตร์สมัยก่อนได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยในการคำนวณ ดังเช่นในทฤษฎีเชิงคำนวณ ซึ่งในทฤษฎีเชิงคำนวณนี้ได้พิจารณาถึงการคำนวณที่คอมพิวเตอร์สามารถแก้ปัญหาได้โดยมองความสามารถทั่วไปของคอมพิวเตอร์ ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาทุกเรื่องได้
2. คอมพิวเตอร์สามารถแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีคำตอบเท่านั้น ถ้าปัญหาเป็นปัญหาที่ไม่มีคำตอบแล้ว คอมพิวเตอร์ก็ไม่สามารถสรุปคำตอบได้ เช่นกัน
3. คอมพิวเตอร์ทำงานได้โดยมีความเร็วที่จำกัด

กล่าวโดยรวมได้ว่า “โดยทั่วไปแล้ว คอมพิวเตอร์สามารถแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งได้ถ้ามันถูกโปรแกรมให้หาคำตอบได้ โดยวิธีการหาคำตอบนั้นสามารถทำได้ในเวลาจำกัด”

นาย Alan Turing (ค.ศ. 1912-1954) เป็นผู้คิดค้นคอมพิวเตอร์แบบนามธรรมที่เครื่องทั่วรุ่ง (Turing Machine) ขึ้น ซึ่งได้ถูกใช้ในทฤษฎีเชิงคำนวณที่เป็นการขยายต่อมาจากเครื่องยนต์สถานะจำกัด (Finite State Machine) ในที่นี้จะกล่าวถึงโดยย่อว่าเครื่องทั่วรุ่งสามารถทำอะไรได้บ้าง ปกติแล้วเครื่องทั่วรุ่งมีลักษณะทางโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1.3



ຮູບທີ 1.3 ລັກຂະນະຂອງເຄື່ອງຫວັງ

ສ່ວນຕ່າງໆ ຂອງເຄື່ອງຫວັງທີ່ແສດງໃນຮູບທີ 1.3 ໄດ້ແກ່

- ເຫດ M ເປັນຫນ່າຍຄວາມຈຳທີ່ມີຄວາມຍາວໄມ່ຈຳກັດ ແປ່ງເປັນລົກໂຄກໜຶ່ງໆ ອາຈະ ເປັນໜ່ອງວ່າງ ທີ່ຮູບເກີບອັກຊາຮໍ່ນິ້ງຕ້ວ (Symbol) ໃນຫຼຸດຂອງອັກຊາທີ່ກຳໜັດໄວ້ເທົ່ານັ້ນ
- ໂພຣເຊສເບ່ອຣ P ເປັນຄຸປໂກຣນີທີ່ເກີບສຕານະ (State) ໃນການທຳການ ຈະເຫື່ອມກັນຫວ່າງ່ານ/ເສີຍນ ວິທີສາມາດຮັບອ່ານຂໍ້ມູນຈາກບົລືກໜຶ່ງໃນເຫດແລະເສີຍນ ອັກຊາຮັບໄປໃນບົລືກບົນເຫດ ທີ່ເສີຍນຫັບອັກຊາເກົ່າ ກາຍໃນໜຶ່ງໜ່ວຍເວລາ

ໂພຣເຊສເບ່ອຣຄວາມຄຸມໃຫ້ເລືອນເຫດໄປທີ່ລະໜຶ່ງບົລືກໂຄກ ໂດຍໃຫ້ໄປທາງໜ້າຍທີ່ຂອງບົລືກທີ່ຫວ່າງ່ານປັບປຸງບັນຫຼື້ອງຢູ່

ຮູບແບບຂອງຄຳສັ່ງຂອງໂພຣເຊສເບ່ອຣນີ້ປະກອບດ້ວຍ (S_h , T_i , O_j , S_k) ໂດຍທີ່

S_h = ສຕານະປັບປຸງບັນຂອງໂພຣເຊສເບ່ອຣ

T_i = ອັກຊາກາຍໃຫ້ຫວ່າງ່ານ ໃນ ເວລາປັບປຸງບັນ

O_j = Action ທີ່ຈະໃຫ້ໂພຣເຊສເບ່ອຣທຳ

S_k = ສຕານະໃໝ່ຂອງໂພຣເຊສເບ່ອຣ

ຄຳສັ່ງນີ້ໝາຍຄວາມວ່າ ຄ້າສຕານະກ່ອນໜ້າ ຕີ້ວ S_h ແລະ ອັກຊາກາຍໃຫ້ຫວ່າງ່ານ ຕີ້ວ T_i ຈະທຳໃຫ້ເກີດ Action O_j ແລະ ເປັນສຕານະໃໝ່ເປັນ S_k

Action O_j ที่เป็นไปได้ ได้แก่

- T_j เป็นการเขียนอักษร T_j บนเทปหัวอักษรเก่า T_i
- R ทำการเลื่อนเทป เพื่อให้หัวอ่านไปทางขวาจากที่เดิมหนึ่งบล็อก (เทปถูกเลื่อนไปทางซ้าย)
- L ทำการเลื่อนเทป เพื่อให้หัวอ่านไปทางซ้ายจากที่เดิมหนึ่งบล็อก (เทปถูกเลื่อนไปทางขวา)
- H เป็นการหยุดการทำงาน

เครื่องทั่วไปสามารถใช้คำนวนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ สำหรับในการคำนวนฟังก์ชัน $Z = F(x)$ ของเครื่องทั่วไป จะมีขั้นตอนดังนี้

- เข้ารหัสอินพุต x บนเทปเปล่า M
- ป้อนโปรแกรมเรอร์คำสั่งต่างๆ ตามขั้นตอนเพื่อการคำนวนฟังก์ชัน F
- จากนั้นเครื่องทั่วไปจะเริ่มทำการคำนวน เอ็กซ์คิวต์คำสั่ง เลื่อนหัวอ่านบนเทป M ไปมา และเขียนผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างการทำงานบนเทป M
- เมื่อจบขั้นตอนการคำนวน เครื่องทั่วไปหยุดการทำงานและเขียนผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้คือ Z บนเทป

จะเห็นได้ว่าเครื่องทั่วไปมีลักษณะคล้ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน คือมีเทปเปรียบเสมือนหน่วยความจำ ในยุคหนึ่งเทปก็คือหน่วยความจำที่มีขนาดไม่จำกัด มีการควบคุมการเลื่อนหัวอ่านซึ่งจะหมายถึงตัวหน่วยควบคุม (Control Unit) ดังนั้นตัวหน่วยควบคุมจะถูกโปรแกรมเพื่อให้ทำงานฟังก์ชัน $F(x)$ และอาจจะถูกโปรแกรมให้ทำการประมวลผลโปรแกรมใดๆ โดยโปรแกรมที่ต้องการทำงานจะถูกเขียนไว้บนเทปพร้อมทั้งอินพุตของโปรแกรม เครื่องทั่วไปแบบนี้จะเรียกว่า Universal Turing Machine ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนชีพซูที่รันโปรแกรมใดๆ ก็ได้ (General Purposed CPU) ในปัจจุบันนั่นเอง

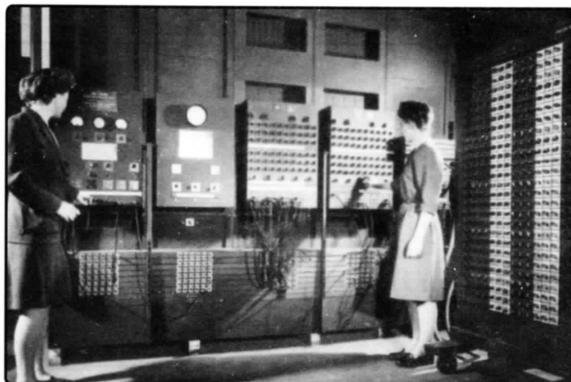
1.3 การพัฒนาของคอมพิวเตอร์

พัฒนาการของคอมพิวเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ยุคหลักๆ ได้แก่ Mechanical Era และ Electronic Era

ในยุค Mechanical Era เป็นยุคเริ่มต้น มีพัฒนาการที่เกิดขึ้นในยุคนี้ได้แก่ เครื่อง Babbage's Difference Engine พัฒนาโดยนาย Charles Babbage มีเครื่อง Analytical Engine ที่ถูกพัฒนาโดยนาย Charles Babbage เช่นกัน และยังมีการพัฒนาอื่นๆ โดยนาย Konrad Zuse และนาย Howard Aiken

ในยุค Mechanical Era การพัฒนาส่วนใหญ่จะใช้หลักการของการเคลื่อนไหวอุปกรณ์ ส่วนต่างๆ การเคลื่อนไหวเหล่านี้ใช้เวลามาก กล้ายเป็นความชวดในเวลาที่ใช้ประมวลผล ในยุคต่อมาที่อิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนามากขึ้น การเคลื่อนไหวทางแมคคานิก (Mechanic) เหล่านี้จะถูกแทนที่ด้วยการใช้อิเล็กตรอน (Electron) เช่นว่า การเคลื่อนไหวของล้ำแสงอิเล็กตรอนทำให้อุปกรณ์ทำงานได้เร็วขึ้น เนื่องจากล้ำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วมาก ยุคนี้แบ่งเป็นยุคย่อยๆ ที่มีพัฒนาการต่างๆ กัน ดังนี้

ยุคที่ 1 การคิดค้นในยุคนี้นาย John Atanasoff เป็นคนแรกที่สร้างคอมพิวเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Computer) โดยใช้หลอดสูญญากาศ (Vacuum Tube) และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน มีการพัฒนาเครื่องที่ชื่อ ENIVAC (รูปที่ 1.4) ซึ่งพัฒนาโดยนาย John Mauchly และนาย Presper Eckert จากมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย ในปี ค.ศ. 1943 และสร้างเสร็จในปี ค.ศ. 1946 โดยเครื่องนี้ใช้งานถึงปี ค.ศ. 1955



รูปที่ 1.4 เครื่อง ENIVAC
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/ENIVAC>)

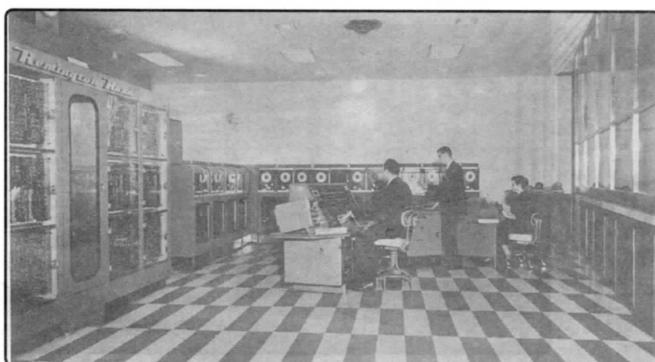
ลักษณะเด่นของเครื่อง ENIVAC ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การรองรับเลขแบบฐานลิบ มีรีจิสเตอร์ พิเศษที่ใช้สะสมค่า (Accumulator) ขนาด 10 หลัก การโปรแกรมทำได้โดยใช้วิธีเปิด/ปิดสวิตช์ มีจำนวนหลอดสูญญากาศถึง 18,000 ตัว มีขนาด 30 ตัน มีน้ำดกร้างและยาวเท่ากับ 15,000 ตารางฟุต ใช้กำลังเท่ากับ 140 กิโลวัตต์ สามารถทำการบวกได้ถึง 5,000 ตัวดำเนินการ (Operation) ต่อวินาที

เครื่อง ENIVAC เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นแรกที่ใช้แนวคิดของการเก็บโปรแกรมที่หน่วยความจำ (ในปี ค.ศ. 1949) ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 เครื่อง ENIVAC
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/ENIVAC>)

เครื่อง UNIVAC I เป็นเครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการเลือกตั้งในปี ค.ศ. 1947 ดังแสดงในรูปที่ 1.6 และได้พัฒนาต่อมาเป็นเครื่อง UNIVAC II (ปี ค.ศ. 1952) ที่มีหน่วยความจำที่เพิ่มขึ้นและทำงานเร็วขึ้น

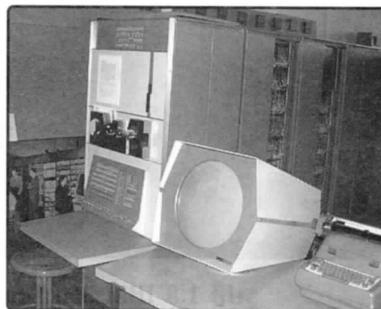


รูปที่ 1.6 เครื่อง UNIVAC
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/UNIVAC>)

ยุคนี้เป็นช่วงเวลาที่เกิดเครื่องคอมพิวเตอร์ IAS Computer ซึ่งพัฒนาโดยนาย John von Neumann จาก Princeton Institute for Advanced Study (IAS) ในปี ค.ศ. 1952 ซึ่งเป็นเครื่องที่คล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เครื่องนี้จะใช้แนวคิดของการจัดเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำ ส่วน ALU¹ จะทำงานกับเลขฐานสอง มีหน่วยควบคุมที่ทำการอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำและตัวรับคำสั่ง และมีการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต

นอกจากนี้ ยังมีเครื่อง Whirlwind I และเครื่อง IBM ซึ่งใช้ระบบพันธ์การ์ดเครื่องแรก เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1953 เครื่อง IBM 701 นี้ใช้แนวคิดของการจัดเก็บโปรแกรมในหน่วยความจำ เช่นกัน ได้ถูกใช้ในการคำนวณงานประยุกต์ทางวิทยาศาสตร์ ในปี ค.ศ. 1955 ได้มีการสร้างเครื่อง IBM 702 เพื่อใช้ในงานประยุกต์ทางธุรกิจ และเป็นต้นแบบของ IBM 700/7000 Series

ยุคที่ 2 เป็นยุคที่มีการพัฒนาทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ดีขึ้น มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ๆ เกิดขึ้น ทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น มีราคาถูกลง และหนาแน่นมากขึ้น มีเทคโนโลยีของทราบชีสเทอร์กิดขึ้น ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลง ราคาถูกลง มีการใช้กำลังต่ำลง และลดการเกิดความร้อนได้มากขึ้น การใช้ทราบชีสเทอร์นี้ได้ถูกคิดค้นขึ้นที่ AT&T Bell Labs (ปี ค.ศ. 1947) โดยนาย Williams Shockley และคณะ ในยุคนี้ เครื่องจะมีรีจิสเทอร์ใช้งานมากขึ้น ทำงานกับคำสั่งที่ขับข้อนามากขึ้นได้ มีการใช้รูปแบบการแทนค่าแบบทศนิยม มีการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกในยุคนี้ยังมีภาษาโปรแกรมต่างๆ เกิดขึ้น ทั้งภาษาโปรแกรมขั้นสูงและตัวแปลภาษา (Compiler) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เกิดในยุคของทราบชีสเทอร์นี้ ได้แก่ เครื่อง NCR เครื่อง PDP-1 ดังแสดงในรูปที่ 1.7 รวมทั้งเครื่อง IBM 7000

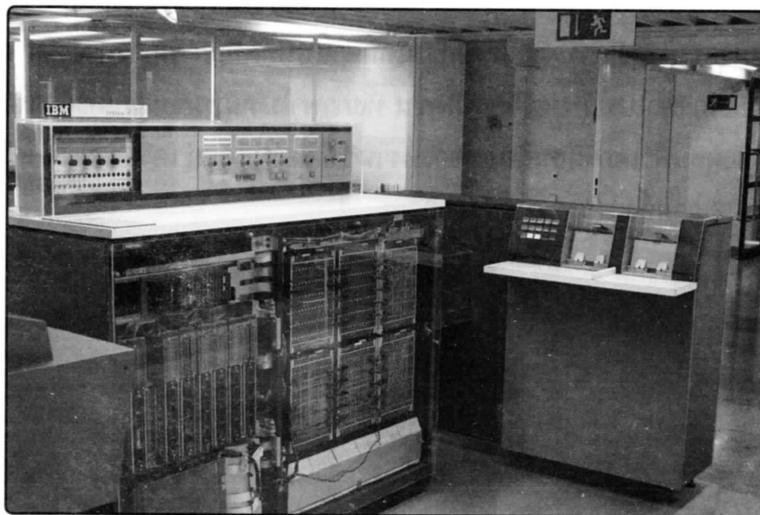


รูปที่ 1.7 เครื่อง PDP-1
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/PDP-1>)

¹ ย่อมาจาก Arithmetic Logic Unit

ยุคที่ 3 เป็นยุคที่มีการใช้งานรวมหรือไอซี (Integrated Circuit) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นพัฒนาการของไอซี คือ ทำให้สามารถบรรจุทรานซิสเตอร์หลายตัวได้ในแผ่นซิลิโคนแผ่นเล็กๆ ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง มีการกำเนิดเครื่อง IBM System/360 Series ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ในยุคนี้เป็นแนวคิดของการใช้ตระกูล (Family) เช่น IBM/360 Family ซึ่งมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกัน หรือตระกูล Intel x86 ที่มีสถาปัตยกรรมพื้นฐานคล้ายกันมากในตระกูลเดียวกัน ทำให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปอย่างสะดวกขึ้น อาจจะทำให้โปรแกรมสามารถย้ายไปทำงานบนแพลตฟอร์มที่อยู่ในตระกูลเดียวกันได้โดยแทบไม่ต้องมีการแก้ไขโปรแกรมเลย เรียกว่ามีแนวคิดของ Backward Compatibility เกิดขึ้น กล่าวคือ โปรแกรมที่ทำงานได้บนเครื่องรุ่นรุ่นเก่าสามารถนำมาทำงานได้บนเครื่องรุ่นใหม่กว่า ถึงแม้ว่าองค์ประกอบของเครื่องรุ่นใหม่และรุ่นเก่าจะไม่เหมือนกันก็ตาม โดยไม่ต้องทำการปรับแก้ไขโปรแกรม

ในเครื่องตระกูล IBM/360 ดังแสดงในรูปที่ 1.8 นี้ จะมีชุดคำสั่งแบบเดียวกัน มีการใช้ระบบปฏิบัติการแบบเดียวกัน แต่ในรุ่นใหม่ๆ จะมีขนาดของหน่วยความจำใหญ่ขึ้น มีการเพิ่มพอร์ตและเพิ่มความเร็วในการทำงานขึ้น



รูปที่ 1.8 IBM 360 Series
(ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/IBM_360)

นอกจากนี้ ยังมีแนวคิดของซูเปอร์คอมพิวเตอร์ (Supercomputers) เกิดขึ้นอีก เช่น เครื่อง CDC เป็นต้น เครื่องมินิคอมพิวเตอร์ (Minicomputer) ที่เกิดขึ้น เช่น DEC และ VAX (รูปที่ 1.9) เป็นต้น รวมทั้งเครื่อง DEC ซึ่งเป็นเครื่องมินิคอมพิวเตอร์รุ่นแรก ใช้สำหรับงานประยุกต์ แบบฝังตัว ในสมัยนั้นมีราคาถึง 16,000 เหรียญสหรัฐ และมีเครื่อง Cray I เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1978 (รูปที่ 1.10) ซึ่งเป็นเครื่องแบบเวกเตอร์ (Vector Machine) เครื่องแรก เป็นแนวคิดการทำงาน แบบขนาน และมีแนวคิดของการใช้โครงสร้างบัสเกิดขึ้นดังในตัวอย่างของ OMNIBUS



รูปที่ 1.9 เครื่อง VAX-11/780
(ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Equipment_Corporation)



รูปที่ 1.10 เครื่อง Cray I
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cray-1>)

ในปี ค.ศ. 1971 บริษัท Intel ได้พัฒนาชิปปีย์ 4004 ชิ้น ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นแรกที่มีขนาด 4 บิต สำหรับทำงานเลขอย่าง ละในปี ค.ศ. 1970 ได้พัฒนาเป็นชิปปีย์ 8080 ซึ่งเป็นชิปปีย์แบบ General Purposed ตัวแรกที่นำไปใช้ในงานลักษณะต่างๆ จากนั้นเป็นต้นมา ก็ได้มีชิปปีย์ของตระกูล Intel เกิดขึ้นจำนวนมาก เช่น 8086, 8088, 80286, Celeron, Pentium, Itanium จนถึง Intel i5 ในปัจจุบัน เป็นต้น

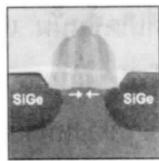
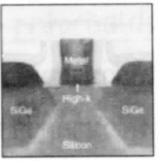
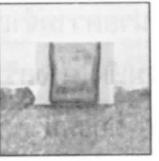
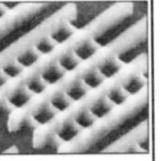
ยุคที่ 4 ถึงปัจจุบัน เรียกว่า “ว่ายุค VLSI Generation (Very Large Scale Integration) เป็นยุคของการพัฒนาไปอีกขั้นสูง ไอชีที่มีความสามารถบรรจุทรานชิสเตอร์ได้มาก many ทำให้เกิดการผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยต้นทุนที่ต่ำและอุปกรณ์มีขนาดเล็ก และจากนี้ไปก็จะเข้าสู่ยุคของ Ultra Large Scale Integration ซึ่งสามารถบรรจุทรานชิสเตอร์ได้ 1,000,000,000 ต่อชิป ด้วยเทคโนโลยีแบบนาโนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

นาย Gordon Moore หนึ่งในผู้ก่อตั้งบริษัท Intel ได้กล่าวไว้ว่า “จำนวนทรานชิสเตอร์ต่อชิปจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุกปี” เมื่อพิจารณาจากปี ค.ศ. 1970 จะพบว่าอัตราดังกล่าวได้ลดลงโดยจำนวนทรานชิสเตอร์ต่อชิปจะเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าทุก 18 ถึง 24 เดือน และค่าใช้จ่ายต่อชิปจะค่อนข้างคงที่ การที่จำนวนทรานชิสเตอร์ต่อชิปมากขึ้น หมายความว่า ความหนาแน่นของทรานชิสเตอร์ในชิปจะมีมากขึ้น ระยะห่างต่างๆ ภายในชิปน้อยลง และเมื่อชิปมีขนาดเล็กลง จะทำให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานมากขึ้น ลดการใช้กำลัง และลดการเชื่อมต่องบ จึงเพิ่มความเสถียรของระบบมากขึ้น จากคำกล่าวของนาย Gordon Moore ที่ผ่านมานั้น สอดคล้องกับความเป็นจริงในระยะเวลาต่อมา เช่น ในปี ค.ศ. 1971 เครื่อง Intel 4004 มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 2,300 ตัว และเครื่อง Ultra Space III มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 16 ล้านตัว เครื่อง Intel Xeon ปี ค.ศ. 2001 มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 42 ล้านตัว เป็นต้น

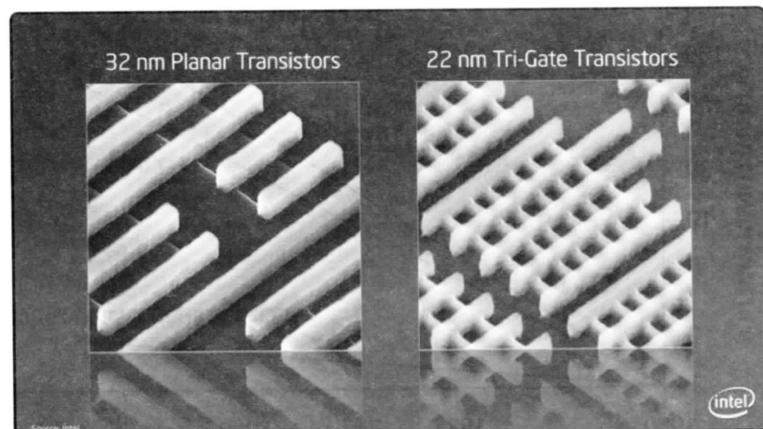
จากสถิติข้อมูลในอดีตพบว่า ในปี ค.ศ. 1971 เครื่อง Intel 4004 มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 2,300 ตัว เครื่อง Ultra Space II (2 กิกะไฮรตซ์) มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 16 ล้านตัว เครื่อง Intel Xeon (ค.ศ. 2001) มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 42 ล้านตัว เครื่อง Intel Pentium 4 มีความถี่ 3 กิกะไฮรตซ์ ใช้เทคโนโลยีแบบนาโนขนาด 130 นาโนเมตร ขนาดของ Die เป็น 250 ตารางมิลลิเมตร (mm^2) มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 55 ล้านตัว และเครื่อง HP PA-8500 มีจำนวนทรานชิสเตอร์ 140 ล้านตัว

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตได้ก้าวไปไกลมาก แต่ยังคงมีความพยายามที่จะทำให้จำนวนทรานชิสเตอร์ต่อชิปเพิ่มขึ้นตามกฏของนาย Gordon Moore อยู่ รูปที่ 1.11 แสดงการพัฒนา

ของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป ซึ่งในปี ค.ศ. 2011 บริษัท Intel ได้ผลิต 3D Tri-gate ชิ้น ซึ่งจะนำไปใช้กับการผลิตชิปขนาด 22 นาโนเมตร รูปที่ 1.12 แสดงรายละเอียดของชิปแบบ 3D เทียบกับ 2D โดยบริษัท Intel คาดว่าชิปดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 37% และประหยัดพลังงาน เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแบบสองมิติขนาด 32 นาโนเมตร ชิปตัวแรกที่จะใช้ทรานซิสเตอร์แบบใหม่ นี้คือ Ivy Bridge ซึ่งเป็นรุ่นที่ต่อจาก Sandy Bridge ในปัจจุบัน

ปี ค.ศ.	2003	2005	2007	2009	2011
ขนาด	<u>90 nm</u>	<u>65 nm</u>	<u>45 nm</u>	<u>32 nm</u>	<u>22 nm</u>
เทคโนโลยี	Invented SiGe Strained Silicon	2 nd Gen. SiGe Strained Silicon	Invented Gate-Last High-k Metal Gate	2 nd Gen. Gate-Last High-k Metal Gate	Tri-Gate
					

รูปที่ 1.11 พัฒนาการของเทคโนโลยีของชิป
(ที่มา: <http://www.i3.in.th/content/view/5500>)

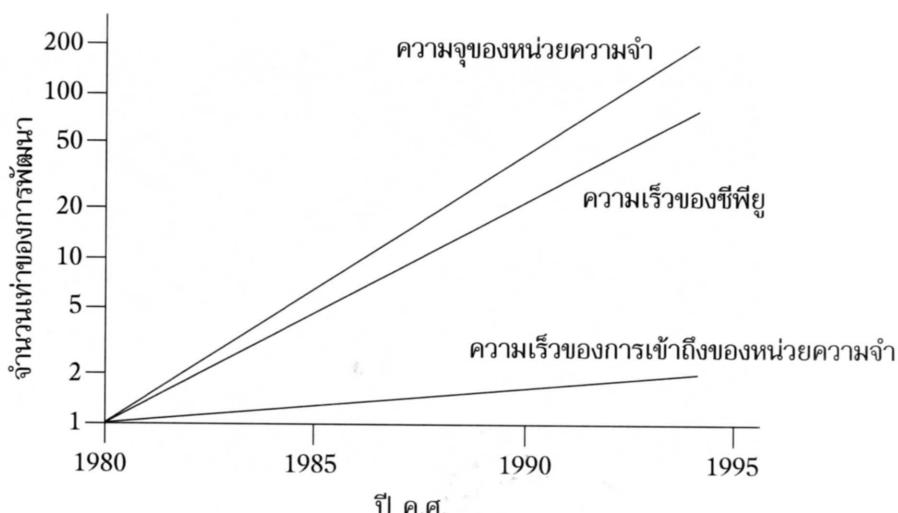


รูปที่ 1.12 ความแตกต่างของชิปแบบ 2D และแบบ 3D
(ที่มา: <http://www.i3.in.th/content/view/5500>)

สำหรับหน่วยความจำนั้นก็ได้มีการพัฒนาด้วยกัน โดยเน้นการพัฒนาด้านความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล การเพิ่มอัตรารับ/ส่งข้อมูล เพิ่มความจุของหน่วยความจำ แต่การพัฒนาหน่วยความจำเติบโตในอัตราที่มากกว่าอัตราการพัฒนาของความเร็วของชิปปี้ ซึ่งก่อให้เกิดข้อง่วงระหว่างความเร็วของชิปปี้กับหน่วยความจำที่เรียกว่า von Neumann Bottleneck ที่ยังทำให้ชิปปี้ต้องรอการอ่านหรือเขียนค่าในหน่วยความจำอยู่

อัตราการเพิ่มขึ้นของความจุของหน่วยความจำจากอดีตจนถึงปี ค.ศ. 2005 พบว่าความจุของหน่วยความจำจะเพิ่มขึ้น 4 เท่าทุก 3 ปี จนปี ค.ศ. 1996 และจากนั้นความจุจะเพิ่มขึ้น 2 เท่าทุก 2 ปี แต่อย่างไรก็ตี จากข้อมูลของแหล่งต่างๆ ได้แสดงให้เห็นว่าการเติบโตด้านความเร็วในการเข้าถึงของหน่วยความจำเป็นไปอย่างช้าๆ เทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น เป็นการพัฒนาทางด้านสถาปัตยกรรมเชิงโครงสร้างให้สามารถเข้าถึงหน่วยความจำได้พร้อมกันหลายๆ หน่วย คือ เป็นการเพิ่มแบบตัวต่อของหน่วยความจำมากกว่า แต่ในเทคโนโลยีใหม่ๆ ของหน่วยความจำนั้นได้แสดงถึงการลดการใช้กำลังงานของ หน่วยความจำรุ่นใหม่ๆ หรือเป็นการประหยัดพลังงานนั้นเอง

รูปที่ 1.13 แสดงความแตกต่างระหว่างการเพิ่มความจุของหน่วยความจำ ความเร็วของหน่วยความจำ และความเร็วของชิปปี้ จะเห็นว่าพัฒนาการด้านความจุของหน่วยความจำเป็นไปได้เร็วมาก แต่พัฒนาการของความเร็วของการเข้าถึงของหน่วยความจำเป็นไปช้าที่สุด



รูปที่ 1.13 กราฟแสดงอัตราการเติบโตของความเร็วของโปรเซสเซอร์ ความเร็วของหน่วยความจำ และความจุของหน่วยความจำ

ดังนั้น จึงต้องมีเทคนิคอื่นๆ มากช่วยในการลดช่องว่างระหว่างความเร็วของชีพียูและหน่วยความจำนี้ เทคนิคเหล่านี้ประกอบด้วย การเพิ่มจำนวนบิตที่อ่านได้ในหนึ่งรอบ ได้แก่ การเพิ่มความกว้างของหน่วยความจำและของบัสที่ใช้ การใช้แคชและลดเวลาการเข้าถึงด้วยวิธีต่างๆ การเพิ่มแบนด์วิดธ์ (Bandwidth) ของการเชื่อมต่อต่างๆ เช่น บัส เป็นต้น

สรุปได้ว่า การพัฒนาจากที่ผ่านมาในอดีต ได้แก่

- ชีพียูเพิ่มความเร็วประมาณ 2 เท่าต่อ 1.5 ปี
- เทคโนโลยีไอซีมีการเพิ่มความจุของทรานซิสเตอร์ประมาณ 30% ต่อปี
- ความจุของหน่วยความจำเพิ่มขึ้น 40 ถึง 60% ต่อปี แต่รอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) ของหน่วยความจำเพิ่มในอัตราที่ช้ากว่า กล่าวคือ แบนด์วิดธ์ของชิปเพิ่มเป็น 2 เท่าของอัตราการลดลงของเวลาในการทำงาน (Latency) ของหน่วยความจำ และราคาต่อบิต (Cost Per Bit) ลดลงประมาณ 25% ต่อปี
- ดิสก์แบบแม่เหล็ก (Magnetic Disk) มีความจุเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 เท่าต่อปี
- เทคโนโลยีเน็ตเวิร์กเปลี่ยนความเร็วจาก 10 เมกะบิตเป็น 100 เมกะบิตภายใน 10 ปี และเพิ่มความเร็วจาก 100 เมกะบิตเป็นอีกหนึ่งแบบ 1 กิกะบิตในเวลา 5 ปี

■ 1.4 แนวโน้มของเทคโนโลยี

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบการเดินทางของเทคโนโลยี โดยแบ่งออกเป็นด้านๆ เช่น ดิสก์ หน่วยความจำ เน็ตเวิร์ก และชีพียู โดยจะเปรียบเทียบในยุคปี ค.ศ. 1980 และปี ค.ศ. 2000 จะเปรียบเทียบในด้านแบนด์วิดธ์ (หมายถึงจำนวนเหตุการณ์หรืองานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เช่น กรณีของแบนด์วิดธ์ของเน็ตเวิร์ก หรืออัตราการรับ/ส่งข้อมูลของดิสก์) และเทียบกับเวลาที่ประมวลผลหรือทำงาน (Execution Time/CPU Time) เช่น เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล หรือเวลาในการเข้าถึงดิสก์ เป็นต้น

สำหรับดิสก์ ดังกรณีของดิสก์ CDC (Waren I, 1983) จะพบว่ามีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 0.6 เมกะไบต์ต่อวินาที และใช้เวลาทำงาน (Latency) เท่ากับ 48 มิลลิวินาทีและไม่มีแคช แต่สำหรับดิสก์ Seagate รุ่น 373453 ในปี ค.ศ. 2003 มีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 86 เมกะไบต์ต่อวินาที

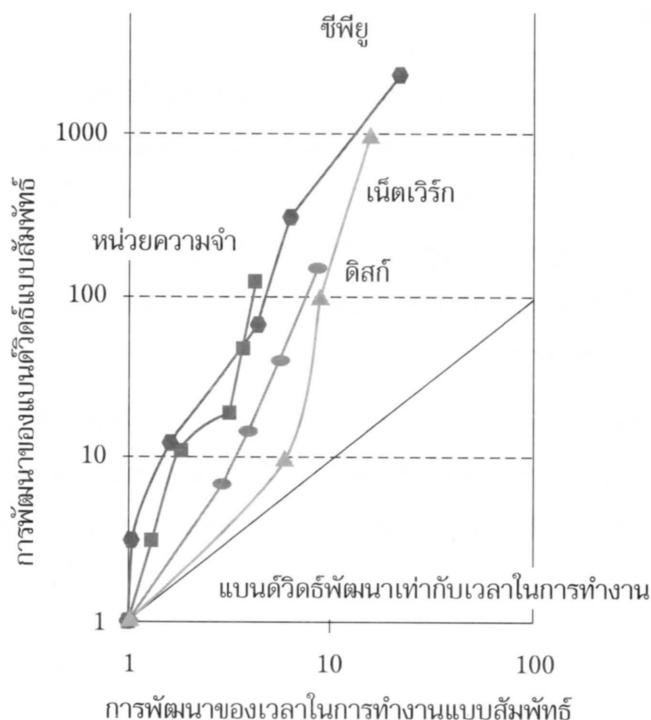
ใช้เวลาในการทำงาน (Latency) เท่ากับ 5.7 มิลลิวินาที และมีแคชขนาด 8 เมกะไบต์ จะพบว่า แบบดั้งเดิมมากกว่าเดิมถึง 140 เท่า แต่ใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นเพียง 8 เท่า

กรณีหน่วยความจำ ปี ค.ศ. 1980 เป็นรูปแบบ Asynchronous ซึ่งมีอัตราการรับ/ส่งข้อมูล เท่ากับ 13 เมกะไบต์ต่อวินาที และใช้เวลาในการทำงานเท่ากับ 225 นาโนวินาที ไม่สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบบล็อก แต่ในปี ค.ศ. 2000 ได้พัฒนาเป็นแบบ DDR (Synchronous) ซึ่งมีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลเท่ากับ 1,600 เมกะไบต์ต่อวินาที และใช้เวลาในการทำงานเท่ากับ 52 นาโนวินาที สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบบล็อกแบบ Page Mode (ดังจะได้กล่าวถึงในบทเกี่ยวกับ Storage ต่อไป) จากสูตรที่ 1.14 จะพบว่าแบบดั้งเดิมมากกว่าเดิม 120 เท่า แต่เวลาในการทำงานมากขึ้นเพียง 4 เท่า ถ้าพิจารณาเทียบการเติบโตของทั้งแบบดั้งเดิมและเวลาในการทำงานในกราฟเดียวกัน จะเห็นว่าถ้าอัตราการเติบโตเท่ากัน จะเป็นเส้นตรงกลาง ($Y = X$) แต่ในกราฟ จะเห็นว่าแบบดั้งเดิมเติบโตเร็วกว่า และจะเห็นว่าการเติบโตของแบบดั้งเดิมต้องกว่าเมื่อเทียบกับกรณีของหน่วยความจำ

ในกรณีของเน็ตเวิร์ก ในปี ค.ศ. 1978 ได้มีอีเทอร์เน็ตมาตรฐาน 802.3 ขึ้น ในมาตรฐานนี้ ใช้สายส่งเป็นแบบ Coaxial Cable มีอัตรารับ/ส่งข้อมูลเท่ากับ 10 เมกะบิตต่อวินาที และมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 3,000 มิลลิวินาที แต่ในปี ค.ศ. 2003 สายส่งเป็นแบบเส้นทองแดงมี 5 เส้น และมีอัตรารับ/ส่งเป็น 10,000 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งมากกว่าเดิม 1,000 เท่า และมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 190 มิลลิวินาที ซึ่งต้องกว่าเดิม 15 เท่า

สำหรับชีพียู ในปี ค.ศ. 1982 ได้มีชีพียู Intel 80286 ความถี่ 12.5 เมกะเฮิรตซ์ มี MIPS เท่ากับ 2 และมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 320 นาโนวินาที ไม่มีแคช มีบัส 16 บิต มีจำนวนพินเท่ากับ 68 พิน แต่ในปี ค.ศ. 2001 ชีพียู Intel Pentium 4 มีความถี่ 1,500 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเร็วกว่าเดิม 120 เท่า มี MIPS เท่ากับ 4,500 (ซึ่งเร็วกว่าเดิม 2,250 เท่า) และมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 15 นาโนวินาที (ซึ่งต้องกว่าเดิม 20 เท่า) มีแคช 2 ระดับ และแยกแคชคำลั่งและแคชข้อมูลออกจากกัน มีบัส 64 บิต มีจำนวนพินเท่ากับ 423 ขา

พิจารณากราฟการเติบโตของแบบดั้งเดิมเทียบกับเวลาในการทำงานของทั้ง 4 กรณีดังกล่าว ในสูตรที่ 1.14 จะเห็นว่าในกรณีของแบบดั้งเดิมของชีพียูจะเติบโตได้ตื้อสุด และเปรียบเทียบกับเวลาในการทำงาน จะเห็นว่าในขณะที่แบบดั้งเดิมเพิ่มขึ้น 2 เท่า แต่กรณีของเวลาในการทำงานจะตื้อเพียง 1.2 ถึง 1.4 เท่า



รูปที่ 1.14 กราฟแสดงการเติบโตของแบบดิจิตอลเทียบกับเวลาในการทำงาน (Latency) ในกรณีของดิสก์ หน่วยความจำ เน็ตเวิร์ก และชีพีย์

มีเหตุผลหลายอย่างที่สนับสนุนว่า เพราะเหตุใดแบบดิจิตอลจึงเติบโตเร็วกว่าเวลาในการทำงาน เช่น ในกฎหมายของนาย Moore จะพบว่าเมื่อมีการพัฒนาด้านยาร์ดแวร์ จำนวนทรานซิสเตอร์มากขึ้น ทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น เมื่อจำนวนพินมากขึ้น ทำให้อัตรารับ/ส่งข้อมูลนั้นดีขึ้น แต่ว่าเมื่อทรานซิสเตอร์เล็กลงและมีจำนวนมากขึ้น มีจุดเชื่อมต่อมากและมีสายสัญญาณที่ยาว ทำให้เวลาในการทำงานก็ข้างลง นอกจากนี้ ในการปรับปรุงต่างๆ ที่ทำให้เวลาในการทำงานลดลง มักจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มแบบดิจิตอลทั้งสิ้น แต่ในทางกลับกัน ไม่ได้เป็นเช่นนั้นเสมอไป และเมื่อพิจารณาจากแบบดิจิตอล ถ้าแบบดิจิตอลมีค่ามาก ผู้ใช้ก็จะเข้าใจได้ว่าเครื่องนั้นทำงานได้เร็ว ดังนั้น การใช้แบบดิจิตอลเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพของเครื่องจะเป็นที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

■ 1.5 สรุป

เครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ชิปปี้ หน่วยความจำ บัส อินพุต/เอาต์พุต เป็นต้น ส่วนต่างๆ เหล่านี้วางแผนอยู่บนเมนบอร์ดของเครื่อง ในปัจจุบันโครงสร้างของเมนบอร์ดได้มีการพัฒนาไปหลายรูปแบบ และองค์ประกอบอื่นๆ ได้เพิ่มขึ้นมาเพื่อช่วยในการประมวลผลให้เร็วขึ้น เช่น หน่วยทศนิยมจุดลอย หน่วยกราฟิก หน่วยควบคุมอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต และยังรวมไปถึงการออกแบบในลักษณะ 2 ชิปปี้ หรือ Dual Core หรือ 4 ชิปปี้ (Quad Core) เพื่อช่วยในการคำนวณอีกด้วย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงพัฒนาการของคอมพิวเตอร์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และกล่าวถึงลักษณะของคอมพิวเตอร์แบบนามธรรมที่ได้เกิดขึ้นจากนักคณิตศาสตร์ก่อนที่เครื่องคอมพิวเตอร์จะกำเนิดขึ้น อันได้แก่ เครื่องทั่วไป แนวโน้มของเทคโนโลยี พัฒนาการของเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งส่วนประกอบต่างๆ ในแต่ละยุค

คำถ้ามก้ายบท

1. คำกล่าวของนาย Gordon Moore มีว่าอย่างไร
2. เครื่องทั่วringคล้ายกับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันอย่างไร
3. Von Neumann Bottleneck คืออะไร
4. จบออกองค์ประกอบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์มา 3 อย่าง
5. ทำไมคนจึงสนใจในการเพิ่มแบบดิจิตอลมากกว่าเวลาในการทำงาน
6. จงยกตัวอย่างกรณีที่การเพิ่มแบบดิจิตอลไม่ได้สนับสนุนการลดเวลาในการทำงาน
7. พัฒนาการที่สำคัญของคอมพิวเตอร์ในยุคแรกคืออะไร
8. อัตราการเติบโตของเทคโนโลยีของหน่วยความจำต่างจากอัตราการพัฒนาของชิปปิ้งอย่างไร ง้ออธิบาย
9. กำลังต่างจากพลังงานอย่างไร
10. เครื่อง IBM/360 มีพัฒนาการอะไรที่สำคัญต่อประวัติศาสตร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์
11. จงออกแบบเครื่องทั่วringเพื่อตรวจสอบว่าเลขฐานสองใดๆ ที่เข้ามาเป็นจำนวนคู่หรือไม่
12. ในส่วนของหน่วยความจำ ชิปปิ้ง ดิสก์ เน็ตเวิร์ก ส่วนใดมีพัฒนาการด้านแบบดิจิตอลที่ดีที่สุด

