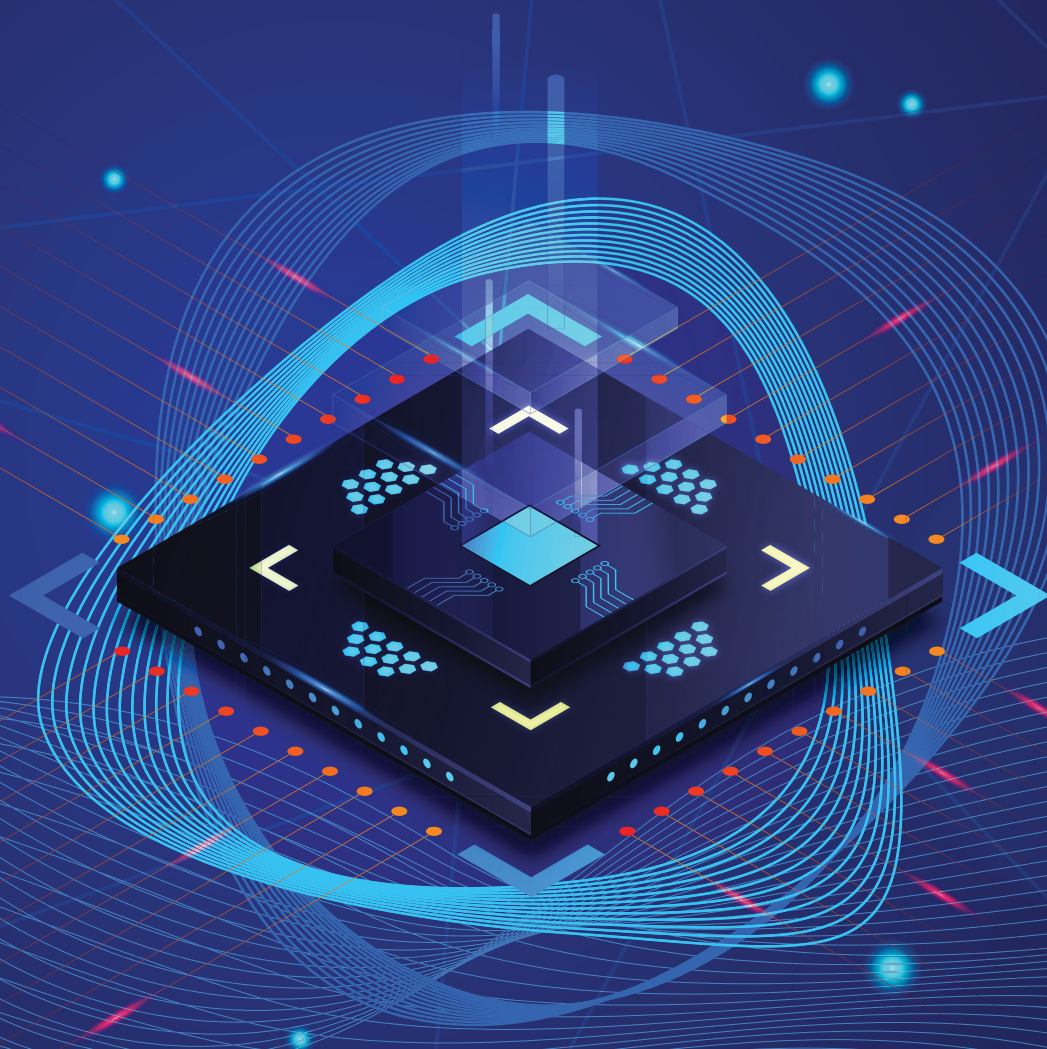


สถาปัตยกรรม คอมพิวเตอร์



ปีทมา ลงกานี

วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์

ปัทมา ลงกานี

วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

หนังสือเล่มนี้สร้างขึ้นสำหรับผู้สนใจในการหาความรู้ทางสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ เนื้อหาของหนังสือประกอบด้วยวิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์ การนำเสนอข้อมูล ลอจิก หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ การจัดการส่วนนำเข้า ส่วนส่งออก แบบจำลองการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ ในเบื้องต้น และการประยุกต์การออกแบบการทำงานของคอมพิวเตอร์สู่สถาปัตยกรรมอื่น ๆ ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถอธิบายหลักการการทำงานของคอมพิวเตอร์ เข้าใจความแตกต่างและความสามารถของคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ใช้ความรู้ที่ได้ในการแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น หากหนังสือเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้อ่านสามารถให้คำแนะนำเพิ่มเติมเข้ามาได้ที่คิวอาร์โค้ดด้านล่าง ทั้งนี้ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์กับนักศึกษาและผู้อ่านในการทำความเข้าใจหลักการเบื้องต้นของสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ และสามารถใช้เป็นคู่มือเพื่อเตรียมพร้อมรับความรู้ทางคอมพิวเตอร์ที่เป็นศาสตร์ขั้นสูงต่อไป

ปัทมา ลงกาณี



กรุณาแสกนคิวอาร์โค้ด
เพื่อกรอกข้อมูลคำแนะนำ

สารบัญ

คำนิยม	I
คำนำ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII

บทที่ 1 ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ 1

1. ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์	2
2. การปฎิบัติคอมพิวเตอร์	6
3. หน่วยความจำ	12
4. อุปกรณ์ส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก	13
5. ระบบคอมพิวเตอร์แบบขนาน	17
6. เครือข่าย	18
7. วิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์	19
บทสรุป	20
แบบฝึกหัด	21
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	22

สารบัญ

บทที่ 2 คณิตศาสตร์สำหรับคอมพิวเตอร์ 25

1. ระบบตัวเลข	26
2. ภาษาเครื่องและการแทนข้อมูล	33
3. การบวกและการลบ	41
4. การคูณและการหาร	48
5. จำนวนจริง	64
บทสรุป	75
แบบฝึกหัด	76
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	77

บทที่ 3 ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ 87

1. นิยามประสิทธิภาพ	88
2. สัญญาณนาฬิกา	91
3. การวัดประสิทธิภาพ	95
4. กฎของแอมดาห์ล	102
5. การวัดล้านคำสั่งต่อวินาทีหรือมิลิ	104
บทสรุป	106
แบบฝึกหัด	107
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	110

สารบัญ

บทที่ 4 ชุดคำสั่งของคอมพิวเตอร์ 117

1. ชุดคำสั่งมีพ	118
2. การทำงานเชิงคณิตศาสตร์	119
3. การทำงานกับหน่วยความจำ	125
4. การดำเนินการตรรกะ	132
5. การทำงานแบบเงื่อนไข	137
6. การแทนค่าชุดคำสั่ง	145
บทสรุป	154
แบบฝึกหัด	155
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	156

บทที่ 5 หน่วยประมวลผล 159

1. การใช้สัญญาณนาฬิกา	160
2. เส้นทางข้อมูลย่อย	162
3. การรวมเส้นทางข้อมูลย่อย	174
4. การทำงานของฮาร์ดแวร์	180
5. การทำงานแบบไปป์ไลน์	192
6. ปัญหาของไปป์ไลน์	202
7. การใช้งานฮาร์ดแวร์ในโลกแห่งความจริง	210
บทสรุป	215
แบบฝึกหัด	216
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	217

สารบัญ

บทที่ 6	หน่วยความจำ	221
1. การทำงานของหน่วยความจำ		222
2. แคช		226
3. หน่วยความจำเสมือน		266
บทสรุป		267
แบบฝึกหัด		268
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6		271
บทที่ 7	ส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก	293
1. หน่วยประกอบส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก		294
2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ส่วนนำเข้าและอุปกรณ์ส่วนส่งออก		296
3. บัส		300
4. ระบบปฏิบัติการ		305
5. หน่วยความจำภายนอก		307
บทสรุป		313
แบบฝึกหัด		314
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7		315
อภิธานศัพท์		317
เอกสารอ้างอิง		329
ดัชนี		335

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1	ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์	3
ภาพที่ 1.2	ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์	4
ภาพที่ 1.3	จำนวนทรานซิสเตอร์ที่มากที่สุดในหนึ่งชิปของแต่ละช่วงเวลา	6
ภาพที่ 1.4	กอร์ดอน มัวร์	8
ภาพที่ 1.5	วิวัฒนาการของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของหน่วยประมวลผล อินเทล	10
ภาพที่ 1.6	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์	11
ภาพที่ 1.7	หน่วยความจำ	12
ภาพที่ 1.8	เมาส์	13
ภาพที่ 1.9	หน้าจอแสดงภาพ	14
ภาพที่ 1.10	ลำดับชั้นของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์	16
ภาพที่ 1.11	ลำดับชั้นของการแปลงภาษาระดับสูงมาเป็นภาษาเครื่อง	16
ภาพที่ 1.12	การเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานคนเดียวเทียบกับการทำงาน โดยคนหลายคน	17
ภาพที่ 1.13	ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ต่อคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงานด้วยกัน	18
ภาพที่ 1.14	การประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน	20
ภาพที่ 2.1	การแทนค่าตัวเลขของสถาปัตยกรรมมิก โดยใช้อักขระจำนวน 32 บิต	35
ภาพที่ 2.2	การแทนค่า 1 เวกเตอร์ของระบบมิก	36
ภาพที่ 2.3	การแทนค่าตัวเลขโดยใช้อักขระจำนวน 32 บิตในระบบ ทูคอมพลิเมนต์	37
ภาพที่ 2.4	แบบจำลองของหน่วยคำนวณและตรรกะ	47
ภาพที่ 2.5	แบบจำลองการทำงานของหน่วยคำนวณและตรรกะ	47
ภาพที่ 2.6	แบบจำลองการคูณ	49
ภาพที่ 2.7	ขั้นตอนการคูณ	50
ภาพที่ 2.8	แบบจำลองการหาร	57
ภาพที่ 2.9	ขั้นตอนการหาร	58
ภาพที่ 2.10	สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ สำหรับการแสดงค่าจำนวนจริง	64

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.11	ขั้นตอนการบวกจำนวนจริง	72
ภาพที่ 3.1	สัญญาณนาฬิกา	91
ภาพที่ 4.1	ภาษามนุษย์	119
ภาพที่ 4.2	หน่วยความจำ	126
ภาพที่ 4.3	ข้อมูลในหน่วยความจำ	126
ภาพที่ 4.4	หน่วยความจำที่ใช้หนึ่งไบต์และสี่ไบต์ในการเก็บหนึ่งหน่วยข้อมูล	130
ภาพที่ 4.5	ขั้นตอนการทำงานของคำสั่งบรรานซ์ถ้าค่าเท่ากัน	137
ภาพที่ 4.6	ขั้นตอนการทำงานของคำสั่งบรรานซ์ถ้าค่าไม่เท่ากัน	138
ภาพที่ 4.7	ขั้นตอนการทำงานของคำสั่งกำหนดค่าเมื่อน้อยกว่า	142
ภาพที่ 4.8	ขั้นตอนการทำงานของคำสั่งกำหนดค่าเมื่อน้อยกว่าโดยทันที	143
ภาพที่ 5.1	การดำเนินการใน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา	161
ภาพที่ 5.2	แบบจำลองหน่วยความจำคำสั่ง	162
ภาพที่ 5.3	แบบจำลองพีซี	163
ภาพที่ 5.4	แบบจำลองของวงจรบวก	163
ภาพที่ 5.5	แบบจำลองส่วนประกอบของเส้นทางข้อมูลสำหรับการอ่านรหัสคำสั่ง	164
ภาพที่ 5.6	แบบจำลองแฟ้มข้อมูลรีจิสเตอร์	166
ภาพที่ 5.7	แบบจำลองเส้นทางข้อมูลย่อยในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์และตรรกะ	166
ภาพที่ 5.8	แบบจำลองฮาร์ดแวร์สำหรับคำสั่งประเภทอาร์	167
ภาพที่ 5.9	แบบจำลองการขยายสัญญาณ	169
ภาพที่ 5.10	แบบจำลองหน่วยความจำ	170
ภาพที่ 5.11	แบบจำลองฮาร์ดแวร์สำหรับคำสั่งประเภทไอ	170
ภาพที่ 5.12	แบบจำลองเส้นทางข้อมูลของคำสั่งบรรานซ์	172
ภาพที่ 5.13	แบบจำลองมัลติเพล็กซ์เซอร์	174
ภาพที่ 5.14	แบบจำลองสถาปัตยกรรมมิพ	175

สารบัญภาพ

ภาพที่ 5.15	ขั้นตอนของงานของคำสั่ง add \$t1 \$s1 \$s2	182
ภาพที่ 5.16	ขั้นตอนของงานของคำสั่ง lw \$t1, 20(\$s1)	187
ภาพที่ 5.17	ขั้นตอนของงานของคำสั่ง beq \$t1,\$t2 LOOP	191
ภาพที่ 5.18	ระบบการชักผ้า	193
ภาพที่ 5.19	ตัวอย่างการดำเนินการให้เสร็จในหนึ่งรอบและการทำงานแบบไปป์ไลน์	195
ภาพที่ 5.20	ขั้นตอนการดำเนินการแบบไปป์ไลน์ของมิพ	196
ภาพที่ 5.21	ขั้นตอนที่ 1 การเรียกคำสั่งของ lw	197
ภาพที่ 5.22	ขั้นตอนที่ 2 การถอดรหัสคำสั่งและการอ่านค่ารีจิสเตอร์ของ lw	198
ภาพที่ 5.23	ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการตามคำสั่งหรือการคำนวณตำแหน่งที่อยู่ของ lw	199
ภาพที่ 5.24	ขั้นตอนที่ 4 การเข้าถึงหน่วยความจำของ lw	199
ภาพที่ 5.25	ขั้นตอนที่ 5 การเขียนกลับของ lw	200
ภาพที่ 5.26	ขั้นตอนที่ 4 การเข้าถึงหน่วยความจำของ sw	201
ภาพที่ 5.27	ขั้นตอนที่ 5 การเขียนกลับของ sw	202
ภาพที่ 5.28	ตัวอย่างปัญหาด้านโครงสร้าง	203
ภาพที่ 5.29	ไปป์ไลน์การทำงานของ sub \$s0, \$t0, \$t1 และ add \$t2, \$s0, \$t3	205
ภาพที่ 5.30	การส่งต่อ	205
ภาพที่ 5.31	การเกิดบัพเบิล	206
ภาพที่ 5.32	ขั้นตอนการดำเนินการตามคำสั่งบรานซ์	210
ภาพที่ 5.33	การสร้างอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหมวกกันน็อค	210
ภาพที่ 5.34	ส่วนประกอบของระบบหมวกไฟจักรยาน	211
ภาพที่ 5.35	แผงวงจรพิมพ์ของระบบหมวกไฟจักรยาน	212
ภาพที่ 5.36	อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทำระบบตรวจวัดพีเอ็ม 2.5	212
ภาพที่ 5.37	ส่วนประกอบของระบบตรวจวัดพีเอ็ม 2.5	213
ภาพที่ 5.38	ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทำระบบตรวจวัดพีเอ็ม 2.5	214

สารบัญภาพ

ภาพที่ 6.1	ห้องสมุดสถานที่สำหรับการเก็บข้อมูล	223
ภาพที่ 6.2	ลำดับชั้นของหน่วยความจำ	225
ภาพที่ 6.3	ตำแหน่งของหน่วยประมวลผล แคช และหน่วยความจำ	226
ภาพที่ 6.4	หน่วยความจำแคชแบบหลายชั้น	233
ภาพที่ 6.5	การเพิ่มอุปกรณ์สำหรับการค้นหาข้อมูลแบบขนานในแคช การเชื่อมโยงกันเป็นกลุ่มขนาด 4	265
ภาพที่ 6.6	ตัวอย่างของหน่วยความจำเสมือนที่ใช้เพื่อการทำงานของ สองโปรแกรมอย่างอิสระ	266
ภาพที่ 7.1	ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์	294
ภาพที่ 7.2	สถานะการทำงานของคอมพิวเตอร์	299
ภาพที่ 7.3	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ส่วนนำเข้าและอุปกรณ์ส่วนส่งออก	300
ภาพที่ 7.4	ทรานแซคชันของบัสที่ทำงานระหว่างส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก กับหน่วยความจำ	301
ภาพที่ 7.5	ทรานแซคชันของบัสที่ทำงานระหว่างส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก กับหน่วยประมวลผล	302
ภาพที่ 7.6	ด้านบนของจานแม่เหล็ก	308
ภาพที่ 7.7	ด้านหน้าของจานแม่เหล็ก	308
ภาพที่ 7.8	หน่วยความจำแฟลช	311

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	เทคโนโลยีที่ถูกใช้ในหน่วยประมวลผล	7
ตารางที่ 2.1	สัญลักษณ์และการใช้ระบบตัวเลข	26
ตารางที่ 2.2	การนำเสนอรหัสแอสกีเทียบกับค่าเลขฐานสิบ	34
ตารางที่ 2.3	การกำกับตำแหน่งของไบต์	35
ตารางที่ 2.4	การล้นจากการบวกและการลบ	45
ตารางที่ 2.5	การแทนค่าเลขจำนวนจริง 32 บิต ในมีพ	65
ตารางที่ 2.6	การแทนค่าดับเบิล 64 บิต ในมีพ	65
ตารางที่ 3.1	คำอุปสรรคระบบเมตริก	93
ตารางที่ 3.2	สเปคของแต่ละโมเดลของแมคบุ๊ก	94
ตารางที่ 3.3	ค่าที่เกี่ยวข้องในการวัดประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ด้วยเวลาและหน่วยในการวัด	101
ตารางที่ 4.1	การดำเนินการระดับบิตของภาษาซีและมีพ	132
ตารางที่ 4.2	การทำงานระดับบิตของคำสั่งแอนด์	134
ตารางที่ 4.3	การทำงานระดับบิตของคำสั่งออร์	135
ตารางที่ 4.4	การทำงานระดับบิตของคำสั่งนอร์	136
ตารางที่ 4.5	คำสั่งประเภทอาร์จำนวน 32 บิต	146
ตารางที่ 4.6	คำสั่งประเภทไอจำนวน 32 บิต	147
ตารางที่ 4.7	คำสั่งประเภทเจจำนวน 32 บิต	148
ตารางที่ 4.8	การอ้างอิงค่าของคำสั่งมีพแต่ละประเภท	148
ตารางที่ 4.9	รีจิสเตอร์ของมีพและเลขฐานสิบที่สอดคล้อง	149
ตารางที่ 4.10	ตัวอย่างการแทนค่าคำสั่งของภาษามีพ	149
ตารางที่ 5.1	คำสั่งประเภทอาร์	165
ตารางที่ 5.2	คำสั่งประเภทไอ	168
ตารางที่ 5.3	ความหมายของสัญญาณควบคุม	175
ตารางที่ 5.4	การเทียบโค้ดคำสั่งบิตที่ 26-31 และสัญญาณควบคุม	177

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5.5	หน่วยควบคุมเอแอลยู	178
ตารางที่ 5.6	การเทียบสัญญาณควบคุมการทำงานเอแอลยูกับสัญญาณควบคุมเอแอลยู	179
ตารางที่ 5.7	เวลาที่ใช้ในการทำแต่ละคำสั่งในสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์	194
ตารางที่ 6.1	ตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต จับคู่กับตำแหน่งที่อยู่แคช 2 บิต	248
ตารางที่ 6.2	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่แคช 2 บิต กับตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต โดยอาศัยบิตแท็ก	249
ตารางที่ 6.3	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่แคช 2 บิต กับตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต โดยอาศัยบิตแท็กและบิตวาลิต	249
ตารางที่ 6.4	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต กับแคช การเชื่อมโยงกันเป็นกลุ่มขนาด 2 ขนาด 4 บล็อก	250
ตารางที่ 6.5	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่ของแคชการเชื่อมโยงกันเป็นกลุ่มขนาด 2 ขนาด 4 บล็อกกับตำแหน่งที่อยู่ของหน่วยความจำ 4 บิต	251
ตารางที่ 6.6	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่ของแคชการเชื่อมโยงกันเป็นกลุ่มขนาด 2 ขนาด 4 บล็อก กับตำแหน่งที่อยู่ของหน่วยความจำ 4 บิต	251
ตารางที่ 6.7	แคชขนาด 4 บล็อก สำหรับหน่วยความจำที่มีตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต	252
ตารางที่ 6.8	การจับคู่ตำแหน่งที่อยู่หน่วยความจำ 4 บิต กับแคชแบบการเชื่อมโยงกันทุกตัวขนาด 4 บล็อก	253
ตารางที่ 6.9	ตัวอย่างของความแตกต่างของสถาปัตยกรรมหน่วยความจำที่มีค่าออฟเซตเท่ากับ 1 4 และ 8 ตามลำดับ	255
ตารางที่ 6.10	ตัวอย่างการจับคู่ของแคชและหน่วยความจำ	256
ตารางที่ 6.11	ค่าอุปสรรคและค่าในเลขฐานสิบและเลขฐานสองของหน่วยความจำ	259
ตารางที่ 6.12	ขนาดแคชกับตำแหน่งที่อยู่แคช	260
ตารางที่ 7.1	อัตราส่งข้อมูลของส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก	295

สารบัญตาราง

ตารางที่ 7.2	ปัจจัยของเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ ส่วนนำเข้าและอุปกรณ์ส่วนส่งออกสำหรับเตสก์ท็อป เซิร์ฟเวอร์ และคอมพิวเตอร์แบบฝัง	296
ตารางที่ 7.3	มาตรฐานการเชื่อมต่ออุปกรณ์ส่วนนำเข้าและอุปกรณ์ส่วนส่งออก	303
ตารางที่ 7.4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติหน่วยความจำเอสเอสดี 1 เทระไบต์	312

ตัวอย่าง

คอมพิวเตอร์เริ่มต้นมาจากสวิตช์ที่ใช้สำหรับปิดหรือเปิดไฟ นักวิทยาศาสตร์ได้ทำให้สวิตช์มีความหมายมากขึ้นโดยการนำสวิตช์ไฟมาเรียงต่อกันซึ่งทำให้กลุ่มของสวิตช์ไฟเหล่านี้สามารถแทนรหัสการทำงานได้มากกว่าการปิดหรือเปิดคอมพิวเตอร์ทำงานโดยใช้ระบบไฟฟ้าส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกัน สัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกออกแบบและแทนความหมายเพื่อให้สามารถทำงานตามคำสั่งที่เราต้องการได้ น่าประหลาดใจหรือไม่ที่นักวิทยาศาสตร์สามารถทำให้เราซึ่งสื่อสารโดยภาษามนุษย์สามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานโดยสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างง่ายดาย เราสามารถสั่งการให้คอมพิวเตอร์เก็บภาพที่เราวาด คำนวณผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการที่ซับซ้อน เปิดเพลงให้เราฟัง เปิดหนังสือให้เราดู หรือค้นหาข้อมูลในโลกอินเทอร์เน็ตมาให้เรา แท้จริงแล้วการทำงานเหล่านี้มีพื้นฐานมาจากคำสั่งเพียงไม่กี่คำสั่งและใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือที่เราเรียกว่าฮาร์ดแวร์จำนวนหนึ่งเท่านั้น หนังสือเล่มนี้ จะทำให้ท่านสามารถเข้าใจระบบการทำงานของคอมพิวเตอร์ในเบื้องต้น การแทนค่ารหัสสัญญาณไฟฟ้า การประกอบและการสั่งการให้ฮาร์ดแวร์ทำงาน การทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยประมวลผลส่วนนำเข้า ส่วนส่งออก การจัดการหน่วยความจำ รวมถึงเทคนิคและหลักการพัฒนาคอมพิวเตอร์ในเบื้องต้น เพื่อให้คอมพิวเตอร์และเราเข้าใจกันและกัน



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

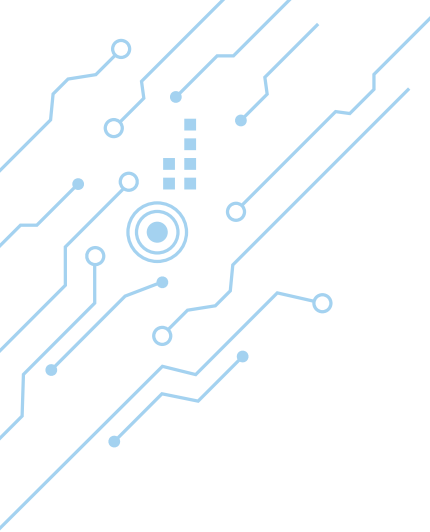
ISBN (e-Book) : 978-616-398-630-6



บทที่

1

ส่วนประกอบ
ของคอมพิวเตอร์



ในบทนี้ผู้อ่านจะได้ทราบถึงภาพรวมของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนนำเข้า ส่วนส่งออก หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ ภาษาระดับสูง และภาษาระดับต่ำ นอกจากนี้ผู้อ่านจะได้ทราบถึงวิวัฒนาการและการทำงานร่วมกันของส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์

1. ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ (Computer Component)

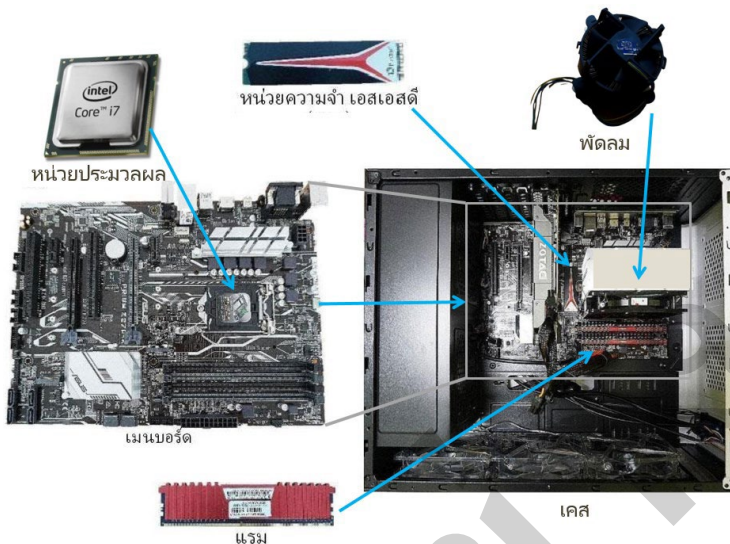
ระบบคอมพิวเตอร์พื้นฐาน (basic computer's component) ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนนำเข้า (input) ส่วนส่งออก (output) หน่วยความจำ (memory or storage) หน่วยควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ (controller) และเส้นทางข้อมูล (datapath) สามารถรวมเรียกหน่วยควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์และเส้นทางข้อมูลว่า หน่วยประมวลผล (processor) ดังภาพที่ 1.1 เคยสงสัยหรือไม่ว่าทำไมเราจึงต้องมีส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์เหล่านี้ ลองจินตนาการตามบะหมี่สำเร็จรูป อันดับแรกเราต้องฉีกซอง ใส่ น้ำ ใส่ ไข่ และใส่ผัก จากนั้นจึงนำบะหมี่ใส่ไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที เมื่อครบ 2 นาทีเราจึงนำบะหมี่สำเร็จรูปออกมาแล้วรับประทานได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของคอมพิวเตอร์ เนื้อ ไข่ และผัก เทียบได้กับส่วนนำเข้า ซึ่งส่วนนำเข้าจะถูกนำไปผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อแปลงให้กลายเป็นส่วนส่งออกหรือบะหมี่สำเร็จรูปที่พร้อมรับประทาน กระบวนการแปลงส่วนนำเข้าให้กลายเป็นส่วนส่งออกจะเกิดขึ้นโดยไม่โครเวฟซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลายส่วนที่ทำงานร่วมกัน ส่วนประกอบเหล่านี้จะถูกควบคุมการทำงานผ่านตัวควบคุมเพื่อให้การทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นไปอย่างราบรื่น การทำงานของไมโครเวฟสามารถเทียบได้กับการทำงานของหน่วยประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการส่งสัญญาณควบคุมผ่านเส้นทางข้อมูลไปยังส่วนประกอบต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันอย่างราบรื่น นอกจากนี้หากเราไม่สามารถทานบะหมี่สำเร็จรูปได้หมด เราจะต้องนำ

บะหมี่นั้นและส่วนที่เหลือจากการทำบะหมี่ เช่น เนื้อ ไข่ และผัก เก็บไว้ในตู้เย็น ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงต้องมีส่วนประกอบที่ใช้เก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหน่วยประมวลผล รวมถึงจัดเก็บข้อมูลที่ถูกใช้ในส่วนนำเข้าและอาจเก็บข้อมูลที่สร้างในส่วนส่งออก เราเรียกในส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเหล่านี้ว่าหน่วยความจำ



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ (ภาพโดยผู้เขียน)

อุปกรณ์ส่วนนำเข้าหลักในระบบคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย แป้นพิมพ์ (keyboard) เมาส์ (mouse) ระบบจอสัมผัส (touch screen) อุปกรณ์ส่วนส่งออกหลักได้แก่ หน้าจอแสดงผล (monitor) เครื่องพิมพ์ (printer) โปรเจคเตอร์ (projector) ทั้งนี้ยังมีอุปกรณ์ส่วนนำเข้าและอุปกรณ์ส่วนส่งออกอีกมากที่ไม่ได้กล่าวถึง แต่ละอุปกรณ์ต่างมีเทคโนโลยีในการทำงานที่หลากหลายและมีมาตรฐานในการเรียกที่ต่างกัน เช่น ภาพที่ 1.2 หากเราเปิดฝาคอโรนเครื่องคอมพิวเตอร์ออก เราจะเห็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น หน่วยความจำเอสเอสดี (Solid State Drive : SSD) แรม (Random Access Memory : RAM) หน่วยประมวลผล พัดลม (fan) ในเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นเราอาจพบส่วนประกอบอื่น เช่น ฮาร์ดดิสก์ (hard disk) หน่วยความจำแฟลช (flash memory) ซีดี (Compact Disc : CD) เอสดีการ์ด (Secure Digital Card : SD card) อุปกรณ์ที่กล่าวมานี้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถจับต้องได้ เราเรียกอุปกรณ์ที่จับต้องได้เหล่านี้ว่า ฮาร์ดแวร์ (hardware) ตัวอย่างฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ได้แก่



ภาพที่ 1.2 ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ (ภาพโดยผู้เขียน)

1.1 แผงวงจรหลัก (Motherboard)

แผงวงจรหลักเป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากแผ่นวงจรพิมพ์พลาสติก (Print Circuit Board : PCB) เชื่อมต่อส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ทุกชิ้นให้ทำงานร่วมกัน โดยตัวอย่างส่วนประกอบที่ถูกระบุในแผงวงจรหลัก ได้แก่ หน่วยประมวลผลและวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ซึ่งทำหน้าที่แปลงส่วนนำเข้าให้กลายเป็นส่วนส่งออก แคช (cache) เป็นหน่วยความจำของหน่วยประมวลผลทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการประมวลผล และตัวเชื่อมต่อ (connector) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

1.2 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit : CPU)

หน่วยประมวลผลกลางคือส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เปรียบเหมือนสมองของคอมพิวเตอร์โดยทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่งการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (arithmetic operation) และคำสั่งจัดการสัญญาณส่วนนำเข้าและส่วนส่งออก เป็นต้น โดยส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลกลางมีดังต่อไปนี้

1.2.1 เส้นทางข้อมูล

เส้นทางข้อมูลประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ที่ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ ได้แก่ หน่วยคำนวณและตรรกะ (Arithmetic Logic Unit : ALU) ซึ่งเป็นส่วนดำเนินการทางคณิตศาสตร์ และส่วนดำเนินการทางตรรกะ บูลีน (boolean operation) เช่น การบวก การลบ การแอนด์ (and) การออร์ (or) การนอร์ (nor) การน็อท (not) เป็นต้น เส้นทางข้อมูลยังประกอบไปด้วยส่วนประกอบอื่น เช่น หน่วยความจำคำสั่ง (instruction memory) หน่วยความจำทั่วไป (data memory) หน่วยความจำรีจิสเตอร์ (register file) และวงจรวก (adder)

1.2.2 หน่วยควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์

หน่วยควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเส้นทางข้อมูล หน่วยความจำ อุปกรณ์ส่วนนำเข้า และอุปกรณ์ส่วนส่งออก ทำให้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการทำงานที่ต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้

1.2.3 แคช

แคชคือหน่วยความจำขนาดเล็ก สามารถรับและส่งข้อมูลได้รวดเร็ว ใช้สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับการดำเนินการต่าง ๆ ของหน่วยประมวลผลกลาง

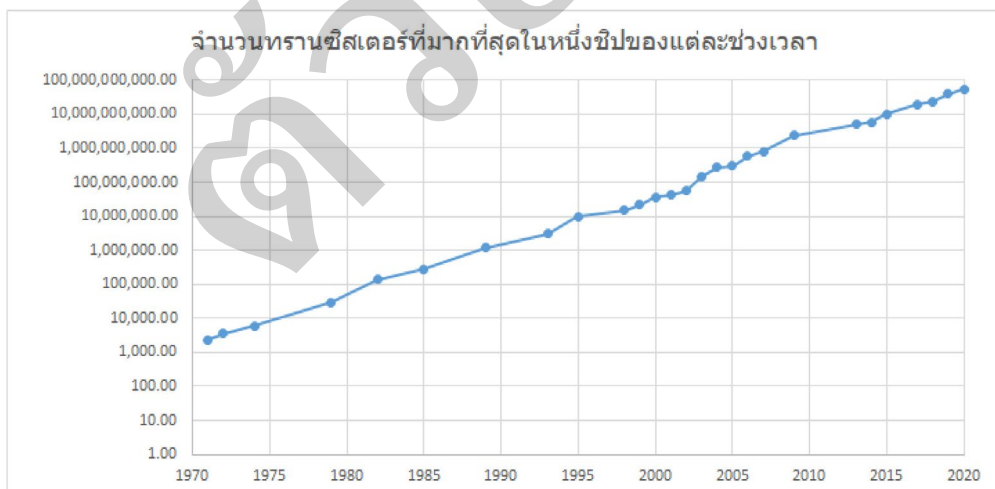
การออกแบบและใช้งานหน่วยประมวลผลกลางมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามยุคสมัย อย่างไรก็ตามแนวทางการพัฒนาขั้นพื้นฐานส่วนใหญ่ก็ยังคงไม่เปลี่ยนจากเดิม ทั้งนี้ผู้อ่านจะได้เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหน่วยประมวลผลกลางในบทที่ 5

1.3 หน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (program) ชุดคำสั่ง (instruction set) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ระบบปฏิบัติการ ภาพที่ 1.2 แสดงภาพของหน่วยความจำแอสเอสดี ซึ่งเป็นหน่วยความจำประเภทหนึ่งใช้ในการเก็บข้อมูล มีความเร็วและเสถียรกว่าฮาร์ดดิส ทั้งนี้ผู้อ่านจะได้เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหน่วยความจำและประเภทของหน่วยความจำในบทที่ 6

2. การปฏิวัติคอมพิวเตอร์ (Computer Evolution)

ถ้ามีคนหลายคนทำงานร่วมกันและทุกคนทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ การทำงานแบบนี้มักจะสามารถผลิตงานได้มากกว่าคนเพียงคนเดียวทำงาน การทำงานของกลุ่มทรานซิสเตอร์ (transistor) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการสร้างงานก็เช่นกัน โดยทรานซิสเตอร์หลายตัวมีแนวโน้มที่จะผลิตงานได้มากกว่าทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว ห้องหนึ่งห้องสามารถบรรจุคนตัวเล็กได้มากกว่าการบรรจุคนตัวใหญ่ ถ้าทุกคนทำงานด้วยประสิทธิภาพเท่ากันห้องที่บรรจุคนตัวเล็กจำนวนมากจึงน่าจะผลิตงานได้มากกว่าห้องขนาดเดียวกันที่บรรจุคนตัวใหญ่จำนวนน้อย ดังนั้นแนวโน้มในการพัฒนาเทคโนโลยีจึงไปในทิศทางที่เพิ่มจำนวนทรานซิสเตอร์และลดขนาดของทรานซิสเตอร์ โดยมีผลพลอยได้จากการที่ทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็กลงคืออัตราเร็วที่ใช้ผลิตทรานซิสเตอร์จะมีปริมาณน้อยลงทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลง ตัวอย่าง จำนวนทรานซิสเตอร์ที่มากที่สุดหนึ่งในชิป (chip) ของแต่ละช่วงเวลา สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 1.3 วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังคงมีการวิวัฒนาการไปในทางการเพิ่มจำนวนความจุของทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดค่าใช้จ่าย ตารางที่ 1.1 แสดงเทคโนโลยีที่ถูกใช้ในหน่วยประมวลผลและประสิทธิภาพต่อราคาของแต่ละเทคโนโลยี



ภาพที่ 1.3 จำนวนทรานซิสเตอร์ที่มากที่สุด在一个ชิปของแต่ละช่วงเวลา^[1,2]

ตารางที่ 1.1 เทคโนโลยีที่ถูกใช้ในหน่วยประมวลผล^[3-7]

เทคโนโลยี	ชื่อทางการค้า	ราคา (บาท)	ความถี่ สัญญาณ นาฬิกา (เฮิรซ์)	ความถี่ สัญญาณนาฬิกา ต่อราคา (เฮิรซ์ : บาท)
หลอดสุญญากาศ	RCA 6146B / 8298A Vacuum Tube NOS NIB	1,383	175	4
ทรานซิสเตอร์	TIP41 NPN Transistor RCA	174	1,000,000	176,991
แผงวงจรการประมวลผล	GI AY-3-8910A Integrated Circuit (IC) - Genuine	200	2,500,000	384,615
แผงวงจรการประมวลผล ขนาดใหญ่	IC VLSI LQFP-48 VS1053B VS1053B-L QFP-48 GM	171	13,000,000	2,342,342
แผงวงจรการประมวลผล ขนาดใหญ่มาก	ULSI US83C87 FPU DX/ DLC-40MHz Advanced Math Coprocessor 387 PGA68 40MHz 80387	550	40,000,000	2,234,637

วิวัฒนาการของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ใช้ในหน่วยประมวลผลมีดังต่อไปนี้

2.1 หลอดสุญญากาศ (Vacuum Tube)

หลอดสุญญากาศคือเทคโนโลยีที่นำมาใช้ก่อนที่จะมีการผลิตทรานซิสเตอร์ สร้างขึ้นมาด้วยหลอดแก้วขนาด 5 ถึง 10 เซนติเมตร นำอากาศออกให้มากที่สุด และใช้แสงอิเล็กตรอนในการเคลื่อนย้ายข้อมูล

2.2 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการนำกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิดเปิดที่ถูกควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้า ทำให้เราสามารถกำหนดคำสั่งสัญญาณไฟฟ้าลงในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ทำงานตามที่เรต้องการได้

2.3 วงจรรวมหรือไอซี (Integrated Circuit : IC)

วงจรรวมทำมาจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำไฟฟ้าโดยบรรจุทรานซิสเตอร์จำนวนสิบตัวถึงพันตัวในแผงควบคุมหนึ่งแผง

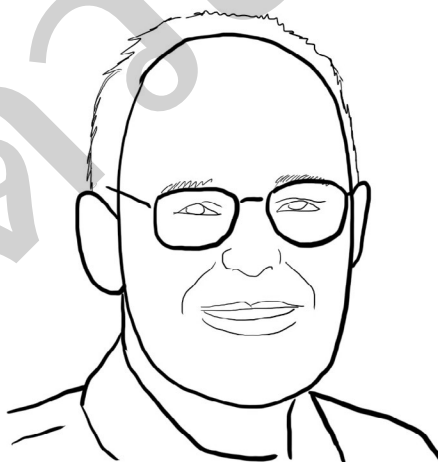
2.4 วงจรรวมขนาดใหญ่ (Very Large-Scale Integrated Circuit : VLSI)

วงจรรวมขนาดใหญ่เป็นแผงวงจรที่นำเอาทรานซิสเตอร์หนึ่งแสนถึงหนึ่งล้านตัวมาใส่ในแผงวงจรเดียวเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.5 วงจรรวมขนาดใหญ่มาก (Ultra Large-Scale Integrated Circuit : ULSI)

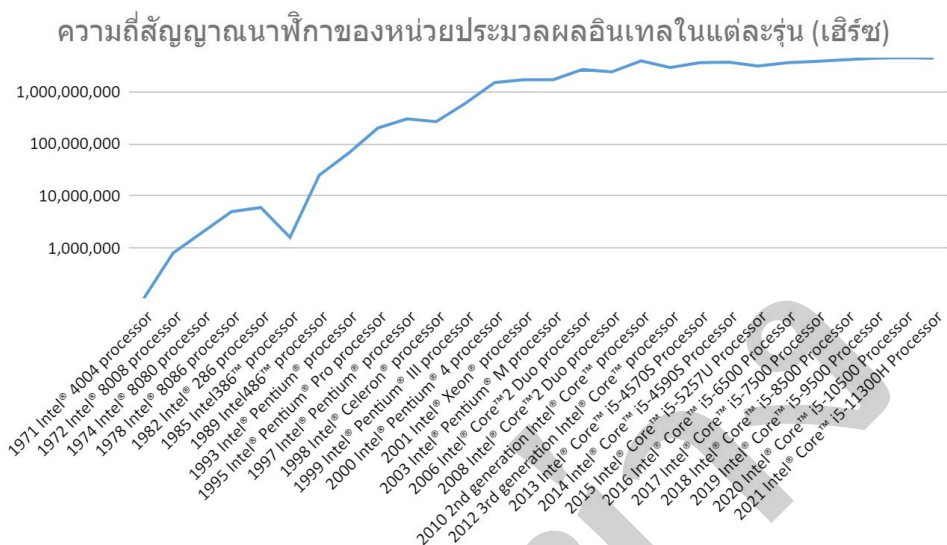
วงจรรวมขนาดใหญ่มากเป็นแผงวงจรที่นำเอาทรานซิสเตอร์มากกว่าหนึ่งล้านตัวมาใส่ในแผงวงจรเดียวเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เหล่านี้ได้ถูกกำหนดไว้ตามกฎหมายของมัวร์ (Moore's law) ซึ่งกล่าวโดย กอร์ดอน มัวร์ (Gordon Moore) ภาพที่ 1.4 อดีตซีอีโอและผู้ร่วมก่อตั้งบริษัทอินเทล (Intel Corporation) กฎของมัวร์กล่าวว่าจำนวนทรานซิสเตอร์ในแผงวงจรรวมจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ สองปีโดยประมาณ และกฎข้อนี้ได้เป็นแรงบันดาลใจให้บริษัทอินเทล ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตแผงวงจรอินเทล (Intel Chip) ใช้วางเป้าหมายในการพัฒนาแผงวงจรอินเทล^[8]



ภาพที่ 1.4 กอร์ดอน มัวร์ (ภาพโดยผู้เขียน)

ในการควบคุมแต่ละส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ให้ทำงานร่วมกันอย่างราบรื่นเปรียบได้กับการควบคุมกลุ่มคนที่หลากหลายที่แต่ละคนใช้จังหวะเวลาในการทำงานที่ต่างกันมาทำงานร่วมกัน ในการควบคุมคนเหล่านี้ให้ทำงานเพื่อให้ถึงจุดหมายเดียวกันในเวลาพร้อมกันเป็นสิ่งที่ไม่ง่าย อย่างไรก็ตามการกำหนดจังหวะการทำงานจะทำให้คนที่หลากหลายสามารถทำงานร่วมกันได้พร้อมเพรียงกันมากขึ้นและทำให้เราสามารถควบคุมคนเหล่านั้นได้ง่ายขึ้น สังเกตจากการเดินสวนสนามของกองทัพบกที่ทุกคนในกองทัพบกเดินโดยพร้อมเพรียงทำให้แม่ทัพสามารถควบคุมการเดินได้ง่ายกว่าการเดินของชาวบ้านในท้องตลาดที่แต่ละคนมีจังหวะและทิศทางการเดินที่หลากหลาย ในการควบคุมการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณนาฬิกา (clock signal) ไปพร้อมกับสัญญาณไฟฟ้าเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันอย่างพร้อมเพรียง ความถี่สัญญาณนาฬิกา (clock frequency or clock rate) หรือจำนวนสัญญาณนาฬิกาต่อหนึ่งหน่วยเวลาและพลังงานที่คอมพิวเตอร์ใช้มีความเกี่ยวข้องกัน เปรียบเทียบความถี่สัญญาณนาฬิกากับความถี่ของก้าวในการเดินและการวิ่ง ในระยะทางที่เท่ากันการวิ่งจะทำให้เราถึงจุดหมายได้เร็วกว่าการเดินเนื่องจากเราใช้จำนวนก้าวที่เร็วกว่า อย่างไรก็ตามการวิ่งจะทำให้ร่างกายผลิตความร้อนออกมามากกว่าการเดินและเราจะรู้สึกร้อนเมื่อเราถึงจุดหมายปลายทางมากกว่าการเดิน สิ่งนี้เกิดขึ้นเพราะพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ กระแสไฟฟ้าจากการใช้งานของคอมพิวเตอร์จะเปลี่ยนเป็นความร้อน เมื่อหน่วยประมวลผลใช้ความเร็วสูงในการประมวลผล จำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุมการทำงานของแต่ละส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์ในแต่ละช่วงเวลาจะมากขึ้นทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น ความถี่สัญญาณนาฬิกาที่น้อยจะเท่ากับความเร็วของคอมพิวเตอร์ที่ช้าลงและทำให้เกิดความร้อนที่ลดลง สรุปว่าความถี่สัญญาณนาฬิกาและพลังงานที่ใช้มีความเกี่ยวข้องกันและเป็นเหตุผลให้คอมพิวเตอร์มีพัดลมเป็นหนึ่งในส่วนประกอบเพื่อใช้ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ และคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงมักจะต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ หรือใช้พัดลมหลายตัวในการระบายความร้อน นอกจากนี้ในระยะเวลาที่เท่ากันการวิ่งจะทำให้เดินทางได้ไกลกว่าการเดิน ดังนั้นความถี่สัญญาณนาฬิกาที่เร็วกว่าจะทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานหนึ่งงานเสร็จเร็วกว่า หรือผลิตงานได้มากกว่าในเวลาเท่ากัน ด้วยเหตุผลนี้นักวิทยาศาสตร์และเหล่าวิศวกรจึงพยายามหาวิธีเพิ่มความถี่สัญญาณนาฬิกาของคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะผลิตงานได้มากขึ้นในเวลาที่น้อยลง อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนาฬิกาของคอมพิวเตอร์ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในหลายปีที่ผ่านมาแต่กลับเริ่มชะลออัตราการเพิ่มลงดังภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.5 วิวัฒนาการของความถี่สัญญาณนาฬิกาของหน่วยประมวลผลอินเทล^[2,9]

เหตุผลของการชะลอตัวของการเพิ่มความถี่สัญญาณนาฬิกาเกิดจากขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมความร้อนของหน่วยประมวลผลขนาดไมโคร (microprocessors) ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้เปลี่ยนแนวคิดในการพัฒนาหน่วยประมวลผลใหม่ โดยเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผลในคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง เพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณงานที่คอมพิวเตอร์เครื่องนั้นสามารถทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลาดังภาพที่ 1.6 โดยเราจะเรียกหน่วยประมวลผลที่มีหน่วยการประมวลผลย่อยมากกว่าหนึ่งหน่วยว่าหน่วยประมวลผลแบบมัลติคอร์ (multi-core processor) และจะเรียกหน่วยการประมวลผลย่อยแต่ละหน่วยว่าคอร์ (core) เช่น ควอดคอร์ (quad core) จะหมายถึงความถี่สัญญาณนาฬิกาของหน่วยประมวลผลย่อยสี่หน่วยอยู่ในหน่วยประมวลผลใหญ่หน่วยเดียว แนวทางในการพัฒนาหน่วยประมวลผลแบบมัลติคอร์จะเป็นไปในรูปแบบการเพิ่มจำนวนคอร์รวมถึงการพิจารณาปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากการพัฒนาประสิทธิภาพ เช่น การประหยัดพลังงาน และการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงาน เป็นต้น^[10]