โครงการปลูกปัญญา
เฉลิมพระเกียรติ ๘๔ พรรษา

สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์

ไพโรจน์ เสนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
2556

สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์

Computer Architecture

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์ เสนา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

2562

คำนำ

คอมพิวเตอร์คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการจัดการกับข้อมูล ทั้งตัวเลข ตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ คอมพิวเตอร์สามารถทำงานกับชุดคำสั่งหรือโปรแกรมตามที่ผู้ใช้ต้องการโปรแกรมให้ประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ สามารถทำงานได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ใช้ ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

ตำรารายวิชาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์เล่มนี้ ได้เรียบเรียงขึ้นเพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับส่วนประกอบภายในของไมโครโพรเซสเซอร์ การจัดโครงสร้างของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำส่วนประกอบต่าง ๆ มาเชื่อมต่อกัน และการควบคุมด้วยคำสั่ง ซึ่งมีเนื้อหาสาระที่สำคัญตามคำอธิบายรายวิชา รหัส 4122704 ในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 หัวข้อ ได้แก่ บทนำ วิวัฒนาการและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ การคำนวณทางคณิตศาสตร์ของคอมพิวเตอร์หน่วยประมวลผลกลาง คุณลักษณะและหน้าที่ของชุดคำสั่ง หน่วยความจำ ระบบอินพุตเอาต์พุต โดยปัจจุบันได้ปรับปรุงเพิ่มเนื้อหา Arduinoและ Raspberry Pi สำหรับการเรียนการสอน 16 สัปดาห์ต่อภาคเรียน โดยแต่ละหัวข้อใช้เวลาในการศึกษาไม่เท่ากัน เนื่องจากบางหัวข้อต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำความเข้าใจที่แตกต่างกัน

การรวบรวมและเรียบเรียงตำราฉบับนี้ ผู้เขียนหวังว่าจะส่งผลให้การเรียนการสอนรายวิชาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพและมีคุณภาพยิ่งขึ้นไป

ไพโรจน์ เสนา

ฉบับนี้

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	**(1)**
สารบัญ	**(3)**
สารบัญภาพ	**(6)**
สารบัญตาราง	**(15)**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
การจัดองค์ประกอบและสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์	1
โครงสร้างและหน้าที่การทำงาน	3
ประเภทของคอมพิวเตอร์	7
ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์	12
กระบวนการทำงานของคอมพิวเตอร์	16
สรุป	19
คำถามทบทวน	20
เอกสารอ้างอิง	21
บทที่ 2 วิวัฒนาการและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์	**23**
วิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์	23
โมเดลของ von Neumann	29
วิวัฒนาการของไมโครโพรเซสเซอร์	31
การออกแบบระบบคอมพิวเตอร์	38
ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์	44
สรุป	48
คำถามทบทวน	48
เอกสารอ้างอิง	49
บทที่ 3 การคำนวณทางคณิตศาสตร์ของคอมพิวเตอร์	**51**
รูปแบบของข้อมูลในคอมพิวเตอร์	51

การบวกและการลบ 60
การคูณและการหาร 63
ฮาร์ดแวร์การคำนวณทางคณิตศาสตร์ 69
หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และตรรกะ 80
สรุป 83
คำถามทบทวน 83
เอกสารอ้างอิง 84

บทที่ 4 หน่วยประมวลผลกลาง 85
โครงสร้างพื้นฐานของซีพียู 85
ซีพียูตระกูลอินเทล x86 88
วงรอบการทำงานของซีพียู 96
ตัวประมวลผลแบบซิสก์และริสก์ 98
ตัวประมวลผลแบบไปป์ไลน์และซุปเปอร์สเกลาร์ 94
สรุป 102
คำถามทบทวน 102
เอกสารอ้างอิง 105

บทที่ 5 คุณลักษณะและหน้าที่ของชุดคำสั่ง 107
คุณลักษณะพื้นฐานของชุดคำสั่ง 107
โอเปอเรชันและโอเปอแรนด์ 114
รูปแบบคำสั่ง 117
ภาวะการกำหนดเลขที่อยู่ 119
สรุป 124
คำถามทบทวน 124
เอกสารอ้างอิง 125

บทที่ 6 หน่วยความจำ 127
การทำงานของหน่วยความจำ 127
หน่วยความจำภายใน 133

หน่วยความจำภายนอก 142
หน่วยความจำแคชและหน่วยความจำเสมือน 174
สรุป 155
คำถามทบทวน 155
เอกสารอ้างอิง 156

บทที่ 7 ระบบอินพุตเอาต์พุต 157
ระบบบัสและการเชื่อมโยง 157
การควบคุมอินพุตเอาต์พุต 170
Arduino และ Raspberry Pi 180
สรุป 186
คำถามทบทวน 187
เอกสารอ้างอิง 188

บรรณานุกรม 189

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การจัดองค์ประกอบของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์แบบทั่วไป	2
1.2	ส่วนประกอบพื้นฐานของคอมพิวเตอร์	4
1.3	ระดับชั้นของคอมพิวเตอร์ 6 ชั้น	5
1.4	ผังการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์	7
1.5	ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ เครื่องเวิร์กสเตชัน มินิคอมพิวเตอร์	9
1.6	เครื่องแท็บเล็ตและพีดีเอที่ใช้ในปัจจุบัน	10
1.7	ไมโครคอมพิวเตอร์แบบแผ่นวงจรเดียวสำหรับใช้ในการศึกษา	11
1.8	ชิงเกิลชิปไมโครคอมพิวเตอร์	11
1.9	ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ในระดับบนสุด	15
1.10	ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์	15
1.11	การประมวลผลข้อมูล	16
1.12	ส่วนประกอบหลักในมุมมองระดับบนสุดของระบบคอมพิวเตอร์	17
2.1	ลักษณะโครงสร้างของไอซี	26
2.2	แผนภาพสถาปัตยกรรมของ ฟอน นอยมันน์	30
2.3	สัญลักษณ์ของวงจรลอจิกเชิงผสม	39
2.4	สัญลักษณ์และตารางความจริงของวงจรลบเลขแบบ Half-Subtracter	40
2.5	วงจรบวกเลขแบบ Half-Subtracter	41
2.6	ลักษณะของวงจรเชิงลำดับ	41
2.7	การมองระดับเรจิสเตอร์ที่เป็นกล่องดำ	43
2.8	ระบบคอมพิวเตอร์และองค์ประกอบ	44
2.9	ลักษณะของสัญญาณนาฬิกา	45
3.1	การแปลงข้อมูลด้วยอุปกรณ์อินพุตเพื่อให้คอมพิวเตอร์นำไปใช้งาน	51
3.2	ฟอร์แมตมาตรฐานของข้อมูลที่ใช้งานในปัจจุบัน	52
3.3	ผังรหัส ASCII	54
3.4	ตารางรหัส EBCDIC	55
3.5	ตัวอย่างยูนิโค้ดของตัวอักษรภาษาไทย	55

3.6 การจัดเก็บข้อมูลขนาด 32 บิต 56
3.7 ตัวอย่างการเกิดโอเวอร์โฟลว์ 58
3.8 การบวกเลขจำนวนเต็มโดยใช้ 2’s complement 62
3.9 การบวกเลขจำนวนเต็มโดยใช้ 1’s complement 63
3.10 Booth’s algorithm สำหรับการคูณแบบ 2’s complement 66
3.11 ตัวอย่างการคูณจำนวนเต็ม 2 จำนวนโดยใช้อัลกอลิทึ่มของบูธ
ด้วย 2’s complement 67
3.12 ตัวอย่างการหารจำนวนเต็มไม่มีเครื่องหมาย 68
3.13 ผังงานของการหารเลขฐานสองแบบไม่มีเครื่องหมาย 69
3.14 สัญลักษณ์และตารางความจริงของวงจรบวกแบบ Half-Adder 70
3.15 แสดงวงจรบวกแบบ Half-Adder 71
3.16 สัญลักษณ์และตารางความจริงของวงจรบวกแบบ Full-Adder 71
3.17 วงจรบวกแบบ Full-Adder 72
3.18 แผนภาพการบวกแบบขนาน 4 บิต 73
3.19 วงจร Full-Adder ที่สร้างเอาต์พุตตัวทดปรากฏและตัวทดแพร่กระจาย
สำหรับใช้ใน Look-Ahead Carry 74
3.20 วงจรบวกและลบเลข 75
3.21 วงจรบวกและลบขนาด 4 บิต 76
3.22 วงจร Serial Multiplier 77
3.23 วงจร Parallel Pipelined Array Multiplier 78
3.24 วงจร Serial Divider 79
3.25 อินพุตและเอาต์พุตของเอแอลยู 80
3.26 พื้นฐานของเอแอลยูเชิงผสมขนาด 4 บิต 81
3.27 โครงสร้างของเอแอลยูเชิงลำดับ 82
4.1 องค์ประกอบพื้นฐานของซีพียูกับบัสระบบ 86
4.2 โครงสร้างภายในของซีพียู 87
4.3 โครงสร้างภายในของซีพียูเบอร์ 8086 88
4.4 เรจิสเตอร์ทั่วไปและเรจิสเตอร์พิเศษของซีพียูเบอร์ 8086 90
4.5 เรจิสเตอร์ชี้คำสั่งแฟล็กของซีพียูเบอร์ 8086 91
4.6 การจัดขาและลักษณะภายนอกของซีพียูเบอร์ 8086 92

4.7 สรุปการใช้งานขาต่าง ๆ ของซีพียูเบอร์ 8086 93
4.8 แผนภาพของระบบคอมพิวเตอร์ 98
4.9 วงรอบคำสั่งของคอมพิวเตอร์ 97
4.10 โครงสร้างการเอ็กซิคิวต์คำสั่งระหว่างซิสก์และริสก์ 99
4.11 การประมวลผล 104
5.1 วงรอบคำสั่งแบบพื้นฐาน 108
5.2 แผนภาพของวงรอบคำสั่ง 109
5.3 การเปรียบเทียบคำสั่งเพื่อเอ็กซิคิวต์ Y = A x B + C x C ที่ใช้จำนวน
ที่อยู่อ้างอิง 114
6.1 การแบ่งหน่วยความจำออกเป็นลำดับชั้น ราคา และประสิทธิภาพ 132
6.2 การจัดชั้นหน่วยความจำโดยแบ่งเป็นกลุ่ม 133
6.3 โครงสร้างการเก็บข้อมูลใน 1 เซลล์ 134
6.4 การเขียนอ่านเซลล์หน่วยความจำ 137
6.5 โครงสร้างของดีแรมขนาด 64 กิโลบิต 138
6.6 โครงสร้างภายนอกของชิปหน่วยความจำและขาสัญญาณ 138
6.7 โครงสร้างภายนอกเป็นมอดูลของเอสดีแรมและอาร์ดีแรม 139
6.8 โครงสร้างฮาร์ดดิสก์ 143
6.9 ตัวอย่าง RAID ในระดับต่าง ๆ 146
6.10 ตัวอย่างหน่วยความจำแฟลชแบบต่าง ๆ 147
6.11 โครงสร้างและตัวอย่างสื่อเก็บข้อมูลแบบแสง 148
6.12 การจัดวางและการทำงานของหน่วยความจำแคช 150
6.13 การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างแคชกับซีพียูและแคชกับหน่วยความจำหลัก 152
7.1 บัสบนแผงวงจรหลักของไมโครคอมพิวเตอร์ 158
7.2 โครงสร้างบัสระบบของไมโครคอมพิวเตอร์ 158
7.3 โครงสร้างการเชื่อมโยงภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 159
7.4 รูปแบบของบัสหน่วยความจำและไอโอบัส 160
7.5 การจัดเรียงไอโอมอดูล 161
7.6 แผนภาพของไอโอมอดูล 161
7.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับบัสแบบ PCI ของเครื่องเดสก์ท็อป 165
7.8 daisy chained ของ SCSI 166

7.9 การเชื่อมต่อของ AGP 167
7.10 ช่องเสียบและพอร์ทต่าง ๆ บนแผงหลักของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 168
7.11 สถาปัตยกรรมระบบบัสแบบเดิมและแบบ LTD 170
7.12 การควบคุมอินพุตเอาต์พุตด้วยโปรแกรม 171
7.13 การเปลี่ยนแปลงของหน่วยความจำและเรจิสเตอร์สำหรับอินเทอร์รัพท์ 176
7.14 แผนภาพสำหรับดีเอ็มเอโดยทั่วไป 177
7.15 ดีเอ็มเอและจุดแยกของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ในวงรอบคำสั่ง 179
7.16 การจัดรูปแบบการทำงานของดีเอ็มเอ 180
7.17 Arduino Board รุ่นต่าง ๆ 182
7.18 ส่วนประกอบบน Arduino UNO R3 Board 182
7.19 รายละเอียดบน Arduino UNO R3 Board 183
7.20 หน้าต่างของ Arduino IDE 183
7.21 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 3 Board 184
7.22 หน้าต่างของ Raspbian OS 185
7.23 การใช้ Raspberry Pi ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 186

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มุมมองในระดับเรจิสเตอร์ 42

4.1 ตัวอย่างพัฒนาการของซีพียูบริษัทอินเทลตั้งแต่รุ่น Pentium เป็นต้นมา 95

6.1 คุณสมบัติหลักของหน่วยความจำ 128

6.2 ประเภทของหน่วยความจำสารกึ่งตัวนำ 134

7.1 อัตราการถ่ายโอนข้อมูลของอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต 162

7.2 มาตรฐานของบัสที่มีการใช้งานในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 164

บรรณานุกรม

กอบเกียรยรติ สระอุบล. 2561. **พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi,** กรุงเทพฯ : อินเตอร์มีเดีย.

กนิษฐา ศรีเอนก. (2553). **สถาปัตยกรรมของซีพียู.** ค้นเมื่อ พฤษภาคม 31, 2556, จาก http://dusit.ac.th/~msportfolio/media/kanitha_sri

จักรกฤษณ์ แร่ทอง. (2547). **RAID: Redundant Arrays of Inexpensive Disks.** ค้นเมื่อ พฤษภาคม 31, 2556, จาก http://www.nextproject.net/contents/?00030

จักรกฤษณ์ แร่ทอง. (2552). **เทคโนโลยีบัสคอมพิวเตอร์.** ค้นเมื่อ มิถุนายน 4, 2555, จาก http://www.nextproject.net/contents/default.aspx?00065

จันทนา จันทราพรชัย. (2555). **สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์และการออกแบบ : Computer architecture and design.** กรุงเทพฯ : ท้อป.

ชัชชัย คุณบัว. (2562). **IoT สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล และจันทนา ผ่องเพ็ญศรี. (2551). **สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ธีรวุธ จิตพรมมา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2559**). เริ่มต้นเรียนรู้และพัฒนาอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) กับ NodeMCU.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

ธีรวุธ จิตพรมมา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2559). **เริ่มต้นใช้งาน NETPIE กับ ESP8266 / NodeMCU12E.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

นิพนธ์ บาดกลาง**.** (2549). **ระบบคอมพิวเตอร์และสถาปัตยกรรม.** ค้นเมื่อ ธันวาคม 21, 2553, จาก http://web.yru.ac.th/~nipon/Archi_html/pdf/architec.html

น้ำทิพย์ รัตนาวงษ์ไชยยา และคนอื่น ๆ . (2547). **ยุคของคอมพิวเตอร์.** ค้นเมื่อ มกราคม 10, 2555, จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/evolution/ComAge.htm

ไพศาล โมลิสกุลมงคล และคนอื่น ๆ . (2547). **สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์.** กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์.

ไพโรจน์ เสนา. (2554). **เอกสารประกอบการสอนรายวิชาดิจิทัลเบื้องต้น.** นครศรีธรรมราช : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ยืน ภู่วรวรรณ**.** (2542). **สถาปัตยกรรมของ CPU 8086.** ค้นเมื่อ พฤษภาคม 1, 2555, จาก http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/hardware/z8086/cpu8086.html

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2556). **การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของคอมพิวเตอร์.** ค้นเมื่อ พฤษภาคม 29, 2556, จาก http://th.wikipedia.org/wiki/

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2556). **สถาปัตยกรรม ฟอน นอย มันน์.** ค้นเมื่อ พฤษภาคม 29, 2556, จาก http://th.wikipedia.org/wiki/

สัลยุทธ์ สว่างวรรณ. (2546). **สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ Computer Organization and Architecture.** กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

โอภาส ศิริครรชิตถาวร กฤษดา ใจเย็น และคนอื่นๆ . (2559). **Raspberry Pi 3 บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก: รู้จักและการใช้งานเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

โอภาส ศิริครรชิตถาวร กฤษดา ใจเย็น และคนอื่นๆ . (2559). **Raspberry Pi 3 บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก: ติดต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอินพุตเอาต์พุต GPIO เล่มที่ 1.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

Andrew S. Tanenbaum. (2006). **Structured Computer Organization (5th ed.).** Prentice Hall.

Build Your Own Computer. (2008). **Getting to Know Computer Motherboards.** Retrieved June 4, 2012, from http://www.build-your-own-computer.net/computer-motherboards.html

Jeff Tyson and Ed Grabianowski. (2001). **How PCI Work.** Retrieved July 4, 2013, from http://computer.howstuffworks.com/pci1.htm

Mano, M. M. (1993). **Computer System Architecture** (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Miles J. Murdocca, Vincent P. Heuring. (1999). **Computer Architecture.** Prentice Hall.

Stallings, W. (1993). **Computer Organization and Architecture** (3rd ed.). New York: Macmillan.