

# สารบัญ

<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ระบบการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล.....	1
1.2 แบบจำลองช่องสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	2
1.3 แบบจำลองช่องสัญญาณอุดมคติ.....	7
1.4 การถอดรหัสแบบวนซ้ำ.....	8
1.5 พื้นฐานและคำศัพท์ที่น่าสนใจ.....	9
1.5.1 การตัดสินใจแบบฮาร์ดและแบบซอฟต์แวร์.....	10
1.5.2 อัตราส่วนควรวจะเป็นแบบลอการิทึม.....	10
1.5.3 ข้อมูลเอาต์พุตแบบซอฟต์แวร์ของช่องสัญญาณ.....	12
1.5.4 วงจรถอดรหัสแบบ SISO.....	13
1.6 สรุปท้ายบท.....	15
1.7 แบบฝึกหัดท้ายบท.....	15
<b>บทที่ 2 รหัสเทอร์โบ</b> .....	<b>17</b>
2.1 รหัสคอนโวลูชัน.....	18
2.1.1 การเข้ารหัส.....	18
2.1.2 การถอดรหัส.....	25
2.2 อัลกอริทึม BCJR.....	27
2.2.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณและแผนภาพเทรลลิส.....	27
2.2.2 วงจรตรวจหาเหมาะที่สุด.....	29
2.2.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม BCJR.....	31

2.2.4	อัลกอริทึม BCJR สำหรับบิตข้อมูลแบบไบนารี.....	35
2.2.5	สรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม BCJR.....	36
2.2.6	ข้อสังเกตของอัลกอริทึม BCJR.....	36
2.3	รหัสเทอร์โบ.....	46
2.3.1	วงจรเข้ารหัสเทอร์โบ.....	47
2.3.2	วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์.....	47
2.3.3	วงจรถอดรหัสเทอร์โบ.....	48
2.3.4	วงจรอินเทอร์ลีฟเวอร์.....	50
2.3.5	ผลการทดลอง.....	52
2.3.6	วงจรเข้ารหัสและถอดรหัสเทอร์โบแบบต่ออนุกรม.....	54
2.4	อีควอลไลเซชันแบบเทอร์โบ.....	56
2.4.1	สมรรถนะของอีควอลไลเซอร์แบบเทอร์โบ.....	60
2.5	สรุปท้ายบท.....	62
2.6	แบบฝึกหัดท้ายบท.....	63
<b>บทที่ 3</b>	<b>วงจรตรวจหาแบบซอฟต์แวร์.....</b>	<b>65</b>
3.1	บทนำ.....	66
3.2	อัลกอริทึม MAX-LOG-MAP.....	66
3.2.1	สรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม Max-Log-MAP.....	69
3.2.2	ข้อสังเกตของอัลกอริทึม Max-Log-MAP.....	77
3.3	อัลกอริทึม LOG-MAP.....	77
3.4	อัลกอริทึม SOVA.....	81
3.4.1	การหาค่า LLR ของบิตข้อมูล.....	82
3.4.2	ข้อสังเกตของอัลกอริทึม SOVA.....	87
3.4.3	สรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม SOVA.....	87
3.5	อัลกอริทึม BI-DIRECTIONAL SOVA.....	93
3.5.1	การหาค่า LLR ของบิตข้อมูล.....	95
3.5.2	สรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม SOVA แบบสองทิศทาง.....	97
3.6	ความซับซ้อนของวงจรตรวจหาแบบซอฟต์แวร์.....	102

3.7	สรุปท้ายบท .....	104
3.8	แบบฝึกหัดท้ายบท .....	105
<b>บทที่ 4 รหัสแอสดีพีซี .....</b>		<b>107</b>
4.1	บทนำ.....	107
4.1.1	รหัสบล็อกเชิงเส้น.....	107
4.1.2	เมทริกซ์ตัวกำเนิด.....	108
4.1.3	เมทริกซ์พาริตีเชิง.....	109
4.1.4	ระยะทางน้อยสุดของรหัส.....	110
4.1.5	การถอดรหัสบล็อกเชิงเส้น.....	111
4.2	พื้นฐานของรหัสแอสดีพีซี.....	112
4.2.1	รหัสแอสดีพีซีปรกติ.....	113
4.2.2	รหัสแอสดีพีซีไม่สม่ำเสมอ.....	115
4.2.3	กฎของไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์.....	116
4.3	การเข้ารหัสแอสดีพีซี.....	119
4.4	การถอดรหัสแอสดีพีซี.....	121
4.4.1	พื้นฐานในการถอดรหัสแอสดีพีซี.....	121
4.4.2	วัฏจักรของรหัสแอสดีพีซี.....	125
4.4.3	การหาค่า LLR ของบิตข้อมูล.....	127
4.4.4	อัลกอริทึมการผ่านข่าวสาร.....	132
4.5	การสร้างเมทริกซ์พาริตีเชิง.....	139
4.5.1	รหัสแอสดีพีซีปรกติ.....	139
4.5.2	รหัสแอสดีพีซีแบบแถวลำดับ.....	142
4.5.3	รหัสแอสดีพีซีแบบแถวลำดับที่ถูกรับปรุง.....	143
4.5.4	ข้อสังเกต.....	146
4.6	ผลการทดลอง .....	147
4.6.1	ช่องสัญญาณ AWGN.....	147
4.6.2	ช่องสัญญาณแบบวนซ้ำ.....	150
4.7	สรุปท้ายบท .....	153

4.8 แบบฝึกหัดท้ายบท .....	154
<b>บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานการถอดรหัสแบบวนซ้ำ .....</b>	<b>155</b>
5.1 โทมมิ่งรีคัพเวอร์แบบวนซ้ำ.....	155
5.1.1 แบบจำลองช่องสัญญาณ .....	157
5.1.2 โทมมิ่งรีคัพเวอร์แบบที่ใช้กันทั่วไป.....	158
5.1.3 เพอเซอร์ไวเวอร์โทมมิ่งรีคัพเวอร์.....	162
5.1.4 เพอเซอร์ไวเวอร์โทมมิ่งรีคัพเวอร์แบบวนซ้ำ.....	167
5.2 การลดผลกระทบของความขรุขระเชิงความร้อนแบบวนซ้ำ.....	181
5.2.1 แบบจำลองช่องสัญญาณ .....	183
5.2.2 แบบจำลองสัญญาณ TA.....	184
5.2.3 วิธีการตรวจหาและแก้ไข TA .....	185
5.2.4 วิธีการตรวจหาและแก้ไข TA แบบวนซ้ำ.....	188
5.2.5 ผลการทดลอง.....	189
5.2.6 สรุปผลการทดลอง.....	192
5.3 สรุปท้ายบท.....	193
5.4 แบบฝึกหัดท้ายบท .....	194
<b>บทที่ 6 เทคโนโลยี BPMR .....</b>	<b>195</b>
6.1 บทนำ .....	196
6.2 วิศวกรรมการของเทคโนโลยี BPMR .....	198
6.2.1 สื่อบันทึก.....	198
6.2.2 ระบบการบันทึกเชิงแม่เหล็กสำหรับ BPMR.....	199
6.2.3 การประมวลผลสัญญาณในระบบ BPMR .....	201
6.3 ผลตอบสนองสัญญาณพัลส์ของระบบ BPMR.....	204
6.3.1 การจำลองผลตอบสนองสัญญาณพัลส์แบบสองมิติ.....	205
6.3.2 ผลกระทบที่เกิดจากไอแลนด์และรูปทรงของหัวอ่าน.....	212
6.4 แบบจำลองของสัญญาณอ่านกลับในระบบ BPMR .....	217
6.4.1 ค่าประมาณของสัญญาณพัลส์ BPMR .....	218



6.4.2	ค่าประมาณของสัญญาณพัลส์ BPMP ที่มีสัญญาณรบกวนสี่บันทึก.....	220
6.4.3	แบบจำลองช่องสัญญาณ BPMP ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาแบบสมมูล.....	222
6.4.4	แตรีกมิสเรจิสเตรชัน.....	224
6.5	สรุปท้ายบท.....	226
6.6	แบบฝึกหัดท้ายบท.....	228
<b>บทที่ 7 การออกแบบทาร์เก็ตและอีควอไลเซอร์สำหรับระบบ BPMP.....</b>		<b>229</b>
7.1	ทาร์เก็ตหนึ่งมิติและอีควอไลเซอร์หนึ่งมิติ.....	230
7.2	ทาร์เก็ตสองมิติที่มีมุมเป็นศูนย์และอีควอไลเซอร์หนึ่งมิติ.....	233
7.2.1	เมื่อทราบช่องสัญญาณ H.....	233
7.2.2	เมื่อไม่ทราบช่องสัญญาณ H.....	237
7.3	ทาร์เก็ตสองมิติแบบสมมาตรและอีควอไลเซอร์หนึ่งมิติ.....	238
7.4	ทาร์เก็ตสองมิติแบบอสมมาตรและอีควอไลเซอร์หนึ่งมิติ.....	239
7.5	ทาร์เก็ตสองมิติและอีควอไลเซอร์สองมิติ.....	240
7.6	วงจรตรวจหาวีเทอร์บีที่ใช้ในระบบ BPMP.....	245
7.6.1	วงจรตรวจหาวีเทอร์บีหนึ่งมิติ.....	245
7.6.2	วงจรตรวจหาวีเทอร์บีสองมิติ.....	249
7.7	ผลการทดลอง.....	253
7.7.1	สมรรถนะของอีควอไลเซอร์สองมิติ.....	256
7.7.2	ผลกระทบของสัญญาณรบกวนสี่บันทึกและแตรีกมิสเรจิสเตรชัน.....	257
7.7.3	สมรรถนะของระบบ BPMP แบบวนซ้ำ.....	258
7.8	สรุปท้ายบท.....	261
7.9	แบบฝึกหัดท้ายบท.....	262
<b>บทที่ 8 เทคโนโลยี HAMR.....</b>		<b>263</b>
8.1	บทนำ.....	264
8.2	หลักการเขียนข้อมูลของระบบ HAMR.....	265
8.3	พื้นฐานแบบจำลองวิลเลียม-คอมสต็อกเชิงความร้อน.....	266
8.3.1	โพรไฟล์อุณหภูมิ.....	267

8.3.2	คู่อิสเทอริซิส.....	268
8.3.3	แบบจำลองวิลเลียม-คอมสต็อก.....	270
8.3.4	แบบจำลองวิลเลียม-คอมสต็อกเชิงความร้อน.....	271
8.4	ระบบ HAMR แบบแนวนอน.....	275
8.4.1	การหาค่า $dM(x)/dx$ .....	275
8.4.2	การหาค่า $dM(H)/dH$ .....	276
8.4.3	การหาค่า $dH_d/dx$ .....	277
8.4.4	การหาค่า $dH_d/dx$ .....	279
8.4.5	การหาค่า $dH_c/dT \times dT/dx$ .....	281
8.4.6	การหาจุดศูนย์กลางการเปลี่ยนสถานะ $x_0$ .....	283
8.4.7	การหาพารามิเตอร์การเปลี่ยนสถานะ $a$ .....	284
8.5	ระบบ HAMR แบบแนวตั้ง.....	285
8.6	แบบจำลองไมโครแทรก.....	291
8.7	ลักษณะเฉพาะของระบบ HAMR.....	293
8.7.1	ระบบ HAMR แบบแนวนอน.....	294
8.7.2	ระบบ HAMR แบบแนวตั้ง.....	302
8.7.3	ข้อควรระวังในการใช้แบบจำลองวิลเลียม-คอมสต็อกเชิงความร้อน.....	304
8.8	สรุปท้ายบท.....	305
8.9	แบบฝึกหัดท้ายบท.....	305
ก	ฟังก์ชันลอการิทึมจาโคเบียน.....	307
ข	กฎของไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์.....	309
ค	ความสมมูลของสมการ (4.30) และ (4.32).....	311
ง	การหาค่าประมาณแบบซอฟต์แวร์ สำหรับช่องสัญญาณ PR2.....	313
	บรรณานุกรม.....	317
	ดรรชนี.....	327

ชื่อ  
๕๐ ก.ค. ๕๕

# การประมวลผลสัญญาณ สำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล

เล่ม 3 : การออกแบบวงจรภาครับขั้นสูง

## Signal Processing for Digital Data Storage Volume III : Advanced Receiver Design

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์  
ห้ามลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนใด ส่วนหนึ่งในหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ  
นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนเท่านั้น

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ  
ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์  
การประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เล่ม 3 : การออกแบบวงจรภาครับขั้นสูง /  
ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. — นครปฐม: โปรแกรมวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2554

ISBN : 978-974-350-900-1  
พิมพ์ครั้งที่ 1  
สิงหาคม 2554  
348 หน้า  
ราคา 270 บาท

เลขหมู่ 621.3976  
๗ 621  
2554 (ค.3)  
เลขทะเบียน 19312  
วันที่ 2 0/ก.ค. 2555  
114218

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE  
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
1110014022

ผู้จัดพิมพ์ : รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์  
พิมพ์ที่ : บริษัท เพชรเกษม พรินติ้ง กรุ๊ป จำกัด  
18/49 ถ.ทรงพล ต.ลำพลา อ.เมือง จ.นครปฐม 73000  
โทรศัพท์ : 0-3425-9758-9, 0-3425-9111  
โทรสาร : 0-3425-3465

1123

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี