

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	6
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นที่นำไปสู่แนวคิดของการวิจัย	9
2.1 แนวคิดในการรู้จำตัวอักษรภาษาไทย.....	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2.1 HMM Topology Selection for On-line Thai Handwritten Recognition	13
2.2.2 Discriminative Training for HMM-Based Offline Handwritten Character Recognition	13
2.2.3 The Clustering Technique for Thai Handwritten Recognition	14
2.2.4 An Object-Oriented Expert System for Thai Character Recognition	16
2.2.5 Recognition of Handprinted Thai Character Using the Cavity Features of Character Based on Neural Network	17
2.2.6 Off-line Handwritten Thai Characters from Word Script.....	18
2.2.7 Handwritten Thai Character Recognition Using Fuzzy Membership Function and Fuzzy ARTMAP	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.8	Experimental results of Using Rough Sets for printed Thai Character Recognition	19
2.2.9	Printed Thai Character Recognition using Fuzzy Rough Sets	20
2.2.10	On Thai Character Recognition	21
2.2.11	Thai OCR: A Neural Network Application	23
2.2.12	On-line Thai-English Handwritten Character Recognition using Distinctive Feature	24
2.2.13	On-line Thai Handwritten Character Recognition using Hidden Markov Model and Fuzzy	26
2.2.14	Online Thai Handwritten Character Recognition using Hidden Markov Models and Support Vector Machines	28
2.2.15	Character Recognition System for Cellular Phone with Camera	29
2.2.16	Multi-Modular Architecture Based on Convolutional Neural Network for Online Handwritten Character Recognition	32
2.3	ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการรู้จำ	35
2.3.1	Fuzzy ARTMAP	35
2.3.1.1	ART-1	36
2.3.1.2	Fuzzy ART	37
2.3.1.3	ARTMAP	38
2.3.1.4	Fuzzy ARTMAP	38
2.3.1.5	Adaptive Hamming Net (AHN)	41
2.3.1.6	Gaussian ARTMAP	42
2.3.2	Simplified Fuzzy ARTMAP	43
2.4	ทฤษฎีเบื้องต้นของงานวิจัยนี้	44
2.4.1	การหาคอรัลเลชัน (Cross-Correlation)	44
บทที่ 3	การรู้จำรูปแบบแนวทางใหม่โดยใช้การหาคอรัลเลชัน	47
3.1	กระบวนการก่อนการรู้จำ	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 กระบวนการรู้จำ.....	61
3.3 ตัวอย่างการคำนวณ	68
3.3.1 ข้อมูลใน Training Set	68
3.3.2 ข้อมูลใน Testing Set	97
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	104
4.1 ชุดข้อมูลในการทดลอง.....	104
4.1.1 ชุดข้อมูลภาพเอกสาร	104
4.1.2 ชุดข้อมูลภาพป้ายทะเบียนรถไทย	110
4.2 ผลการทดลอง	111
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	119
5.1 สรุปผลการวิจัย	119
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป	120
บรรณานุกรม	121
ภาคผนวก	125
ประวัติผู้เขียน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบลักษณะของตัวอักษรภาษาไทยในรูปแบบที่มีหัวและไม่มีหัว.....	3
1.2 ตัวอักษรภาษาไทยฟอนต์ไม่มีหัว	7
2.1 ความสามารถในการจัดกลุ่มของตัวอักษรที่คล้ายคลึงกันในแต่ละกลุ่ม ทั้ง 21 กลุ่ม.....	15
2.2 แสดง Q-Code และรูปแบบแต่ละแบบ	16
3.1 กลุ่มระดับตัวอักษรภาษาไทยที่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม.....	48
3.2 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของตัวอักษร “อ”	58
3.3 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของตัวอักษร “ท”	59
3.4 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของตัวอักษร “ส”	59
3.5 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 1	69
3.6 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 2	70
3.7 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 3	71
3.8 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 4	71
3.9 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 5	72
3.10 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Training Set ตัวที่ 6	72
3.11 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 1.....	74
3.12 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 1	75
3.13 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 2.....	78
3.14 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 2.....	78
3.15 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 3.....	82
3.16 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 3	83
3.17 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 4.....	87
3.18 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 4.....	87
3.19 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 5.....	91
3.20 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 5.....	92
3.21 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Hidden Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 6.....	96
3.22 ค่า Weight Vector ที่ชั้น Cluster Layer ในการเรียนรู้ครั้งที่ 6.....	96
3.23 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Testing Set ตัวที่ 1	98
3.24 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทางของภาพตัวอักษรใน Testing Set ตัวที่ 2	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.25 การแทนค่ารหัสแทนเส้นทิศทางของภาพตัวอักษรใน Testing Set ตัวที่ 3	99
4.1 ตัวอย่างรูปแบบตัวอักษรไทยที่ไม่มีหัวที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ทั้งหมด 39 ฟอนต์	104
4.2 ผลการทดสอบตัวอักษร 39 รูปแบบตัวอักษรด้วยโปรแกรม ThaiOCR และ ArnThai	111
4.3 ผลการทดสอบป้ายทะเบียนรถไทย 506 ป้ายด้วยโปรแกรม ThaiOCR และ ArnThai	113
4.4 ชุดข้อมูล Training Set และ Testing Set ในการทดลองทั้งหมด 16 ครั้ง.....	114
4.5 การทดลองในการรู้จำชุดข้อมูลภาพเอกสาร (อ้างอิงตามตารางที่ 4.4).....	114
4.6 ผลการทดลองในการรู้จำป้ายทะเบียนรถไทย (อ้างอิง Training Set ตามตารางที่ 4.4)	115
4.7 ผลการทดลองในการรู้จำชุดข้อมูลภาพเอกสารที่แบ่งย่อยกรอบตัวอักษรออกเป็น 16 กรอบย่อย (อ้างอิง Training Set ตามตารางที่ 4.4)	117
4.8 ผลการทดลองในการรู้จำชุดข้อมูลภาพเอกสารที่แบ่งย่อยกรอบตัวอักษรออกเป็น 4 กรอบย่อย (อ้างอิง Training Set ตามตารางที่ 4.4)	118

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างรูปแบบข้อมูลภาพตัวอักษรที่ใช้ในการทดลอง.....	5
1.2 ตัวอย่างแสดงผลการรู้จำเมื่อผ่านโปรแกรมการรู้จำ AmThai 2.5 Lite.....	5
2.1 ภาพแสดงแนวคิดในการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบออฟไลน์	9
2.2 ภาพแสดงแนวคิดในการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์	10
2.3 การแบ่งระดับของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....	11
2.4 การแบ่งกลุ่มระดับโดยการหาจุดศูนย์กลางของกรอบภาพตัวอักษรที่มีส่วนของการเหลื่อมล้ำเกินสองระดับ	11
2.5 แผนภาพการทำงานของระบบในการรู้จำตัวอักษร	12
2.6 อัลกอริทึมสำหรับการจัดรวมกลุ่มตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย.....	15
2.7 การแบ่งกรอบตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วน	19
2.8 The Membership Function of DEPTH.....	19
2.9 โครงสร้างของระบบรู้จำตัวอักษร โดยใช้ Fuzzy-Rough Sets (a) ภาพโดยรวมของระบบ (b) รายละเอียดของการจัดแบ่งกลุ่มลำดับชั้นที่ 1 (c) รายละเอียดของการจัดแบ่งกลุ่มลำดับชั้นที่ 2.....	22
2.10 กลุ่มทั้ง 5 กลุ่มที่มีสมาชิกประกอบไปด้วยตัวอักษรมากกว่า 1 ตัวอักษรที่แตกต่างกัน	22
2.11 ระบบการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ HMM และ Fuzzy Logic.....	27
2.12 ระบบการรู้จำโดยอาศัยวิธี Support Vector Machines และ Hidden Markov Models.....	29
2.13 รูปแบบตัวอักษรเกาหลีทั้ง 6 รูปแบบ	32
2.14 กระบวนการรู้จำโดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบการรู้จำตัวอักษรด้วยกล้องถ่ายรูปที่นำไปประยุกต์ใช้งานบน Mobile Device.....	33
2.15 สถาปัตยกรรม TDNN	34
2.16 ขั้นตอนก่อนการรู้จำสำหรับใช้ในการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ที่เป็นภาษาลาติน	35
2.17 วิธีการของ Static และ Dynamic Information Coupling.....	35
2.18 สถาปัตยกรรมของ ART.....	36
2.19 สถาปัตยกรรมของ ARTMAP, Fuzzy ARTMAP	38
2.20 สถาปัตยกรรมของ AHN	42
2.21 สถาปัตยกรรมของ Simplified Fuzzy ARTMAP (SFAM).....	43
2.22 (ก) รูปคลื่น x, y แบบต่อเนื่องทางเวลา (ข) ค่าโครสคอร์รีเลชันที่ได้ประมาณ 0.9 แสดงว่ารูปคลื่น x, y มีความสัมพันธ์คล้ายคลึงกันมากที่ delay = 40 จากทั้งหมด 4000 delay.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 (x) ชุดข้อมูล x และ (y) ชุดข้อมูล y (r) ค่าคออสโคร์รีเลชัน (เมื่อทำการ normalized) ที่ได้ประมาณ 1 ($r=1$) แสดงว่าชุดข้อมูล x, y มีความสัมพันธ์เหมือนกันที่ $\text{delay} = -2$	46
3.1 การแยกบรรทัดและตัวอักษร โดยใช้ฮิสโตแกรม และการหาขอบภาพ	47
3.2 การแบ่งกลุ่มระดับโดยการหาจุดศูนย์กลางของกรอบภาพตัวอักษร	48
3.3 กรอบภาพตัวอักษร “อ”	48
3.4 การหาจุดกึ่งกลางของวงกลมที่มีจุดปลายเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองจุดอยู่บนจุดปลายของขอบตัวอักษรสำหรับการทำ Skeleton	49
3.5 รูปแบบของภาพลายเส้นตัวอักษรหลังจากการทำ Skeleton	49
3.6 ภาพ 8-neighborhood ของพิกเซล P1	50
3.7 แสดงรูปภาพที่จะทำให้เงื่อนไขข้อที่ 1 เป็นเท็จ	50
3.8 แสดงรูปภาพที่จะทำให้เงื่อนไขข้อที่ 2 เป็นเท็จ	50
3.9 แสดงรูปภาพที่จะทำให้เงื่อนไขข้อที่ 3 เป็นเท็จ	51
3.10 แสดงรูปภาพที่จะทำให้เงื่อนไขข้อที่ 4 เป็นเท็จ	51
3.11 การแบ่งกรอบภาพตัวอักษรออกเป็น 4 Quadrants	51
3.12 เมตริกขนาด 3x3 Pixels ที่ใช้ในการหาจุด Endpoint มีทั้งหมด 8 รูปแบบ	52
3.13 กรอบภาพตัวอักษรที่มีจุด Endpoint 2 จุด	52
3.14 กรอบภาพตัวอักษรที่มีจุด Endpoint 3 จุด	52
3.15 กรอบภาพตัวอักษรที่มีจุด Endpoint 4 จุด	53
3.16 แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอักษร “อ”	54
3.17 แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอักษร “ท”	54
3.18 แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอักษร “ส”	54
3.19 รหัสแทนเส้นตัวอักษรทั้งหมด 9 รหัส	55
3.20 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษร “อ” ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	57
3.21 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษร “ท” ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	57
3.22 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษร “ส” ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 โครงสร้างของระบบการรู้จำตัวอักษรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้โดยอาศัย Hierarchical Normalized Cross-Correlation (HNCC) Neural Network	60
3.24 สถาปัตยกรรมของครอสคอร์รีเลชันนิวรอลเน็ตเวิร์ค	61
3.25 รูปแบบข้อมูล Training Set (a) ตัวอักษรตัวที่ 1 คือ “ก” (b) ตัวอักษรตัวที่ 2 คือ “ข” (c) ตัวอักษรตัวที่ 3 คือ “ค” (d) ตัวอักษรตัวที่ 4 คือ “ก” (e) ตัวอักษรตัวที่ 5 คือ “ข” (f) ตัวอักษรตัวที่ 6 คือ “ค”	68
3.26 ข้อมูลภาพตัวอักษรใน Training Set ที่มีการ Resize [29, 25] และทำการ Skeleton แล้ว (a) ตัวอักษรตัวที่ 1 คือ “ก” (b) ตัวอักษรตัวที่ 2 คือ “ข” (c) ตัวอักษรตัวที่ 3 คือ “ค” (d) ตัวอักษรตัวที่ 4 คือ “ก” (e) ตัวอักษรตัวที่ 5 คือ “ข” (f) ตัวอักษรตัวที่ 6 คือ “ค”	69
3.27 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 1 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	74
3.28 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 2 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	75
3.29 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 3 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	79
3.30 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 4 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	84
3.31 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 5 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	88
3.32 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Training ตัวที่ 6 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	93
3.33 รูปแบบข้อมูล Testing Set (a) ตัวอักษรตัวที่ 1 คือ “ก” (b) ตัวอักษรตัวที่ 2 คือ “ข” (c) ตัวอักษรตัวที่ 3 คือ “ค”	97
3.34 ข้อมูลภาพตัวอักษรใน Testing Set ที่มีการ Resize [29, 25] และทำการ Skeleton แล้ว (a) ตัวอักษรตัวที่ 1 คือ “ก” (b) ตัวอักษรตัวที่ 2 คือ “ข” (c) ตัวอักษรตัวที่ 3 คือ “ค”	98
3.35 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Testing ตัวที่ 1 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.36 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Testing ตัวที่ 2 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	102
3.37 แสดงทิศทางของเส้นตัวอักษรในการ Testing ตัวที่ 3 ตามการจัดเรียงกรอบย่อยของภาพ ตัวอักษรตามลำดับของทิศทางเส้นตัวอักษรเพื่อกำหนดรหัสแทนเส้นตัวอักษร	103
4.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพป้ายทะเบียนรถไทยที่ใช้ในการทดลอง	110
5.1 แสดงวิธีการ Thinning ตัวอักษรด้วยวิธีต่าง ๆ (a) กรอบตัวอักษร (b) Hilditch's Algorithm (c) Skeletonization (d) Thinning ถายเส้นตัวอักษร	120