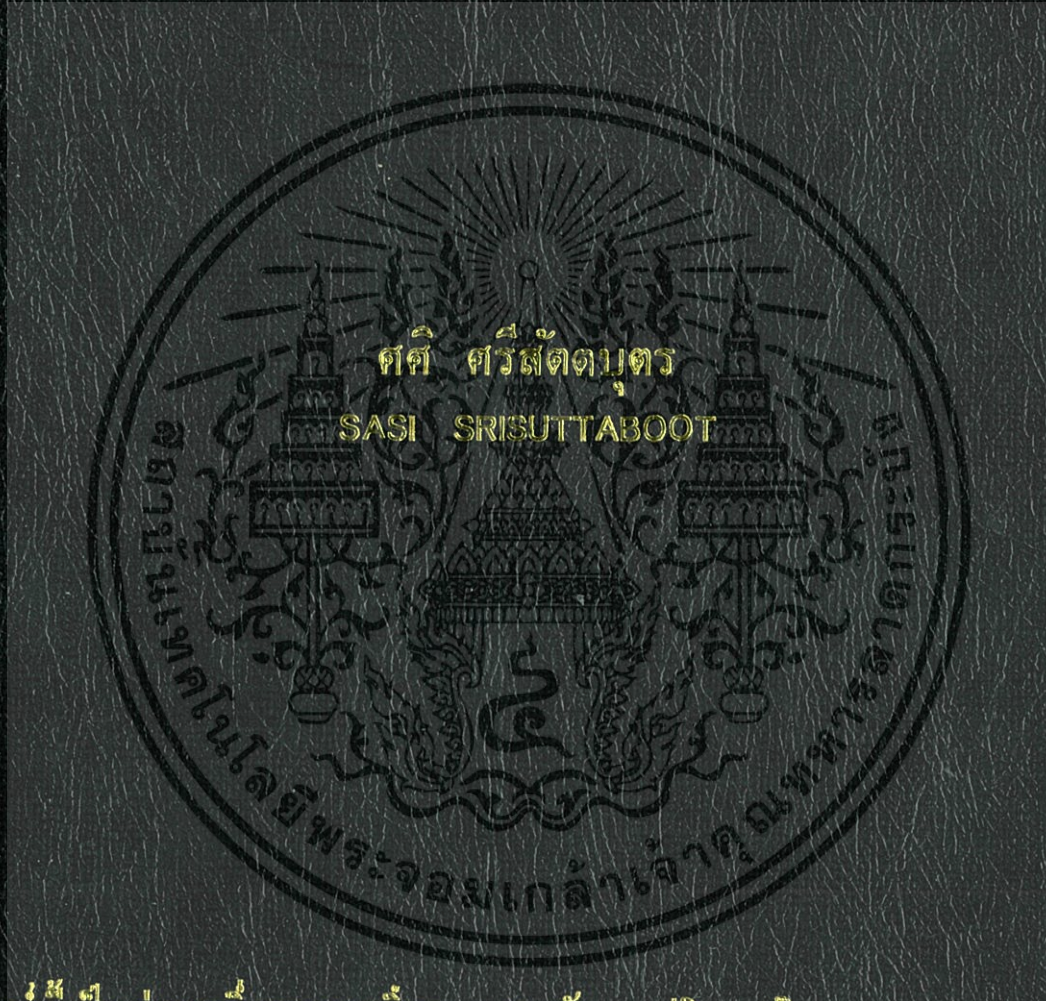


การตรวจหาใบหน้าบนพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC FACE DETECTION IN A COMPLEX BACKGROUND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1214-7

การตรวจหาใบหน้าบนพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC FACE DETECTION IN A COMPLEX BACKGROUND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ. ศ. 2547

ISBN 974-15-1214-7
รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

AUTOMATIC FACE DETECTION IN A COMPLEX BACKGROUND



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONKUT'S OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-15-1214-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจหาใบหน้าบนพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ
นักศึกษา	นาย ศศิ ศรีสัตตบุตร
รหัสประจำตัว	43061444
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

บทคัดย่อ

กระบวนการตรวจหาใบหน้ามนุษย์เป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับระบบการรู้จำใบหน้าแบบอัตโนมัติ การตรวจหาใบหน้ามนุษย์ที่สมบูรณ์แบบควรจะตรวจหาใบหน้าภายในภาพที่มีพื้นฉากซับซ้อนได้ ถึงแม้ว่าจะมีใบหน้าจำนวนมากภายในภาพก็ตาม โดยไม่จำกัดตำแหน่งและขนาดของใบหน้า นอกจากนี้วิธีการตรวจหาใบหน้ายังสามารถตรวจหาใบหน้าที่ยื่นในทิศทางใดๆ ได้อีกด้วย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการตรวจหาใบหน้าบนพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ โดยใช้ความแตกต่างของค่าระดับสีเทาระหว่างใบหน้ากับพื้นฉาก และใช้ลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าอันได้แก่ตาทั้งสองข้างและปาก ระบบการตรวจหาใบหน้าแบบอัตโนมัตินี้จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนกล่าวคือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ Seeded region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน [1] ส่วนภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับส่วนภาพที่กำหนดไว้จะถูกพิจารณาว่าเป็นส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้า ขั้นตอนที่สองส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้าผ่านการแปลงเป็นภาพไบนารี การหาขอบภาพและดำเนินการ Morphology ถูกใช้เพื่อตรวจหาลักษณะเด่นที่คาดว่าจะใบตา และตามด้วยการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะใบตาทั้งสองข้าง ขั้นตอนที่สามเป็นการหาพื้นที่ของใบหน้าจากตำแหน่งคู่ลักษณะเด่นที่จับคู่กันได้และสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับภาพ Template mosaic ที่กำหนดไว้ และสุดท้ายใช้ Hough transform [2,3] เพื่อยืนยันความถูกต้องของการตรวจสอบโดยการค้นหาตำแหน่งของปาก ผลลัพธ์ของการทดลองกับ 192 ใบหน้าจากภาพจำนวน 172 ภาพ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหาใบหน้าที่มีขนาดแตกต่างกันและใบหน้าที่ทำมุมเอียงจากแนวระนาบได้ถูกต้อง 98.43 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Automatic Face Detection in a Complex Background
Student	Mr. Sasi Srisuttaboot
Student ID.	43061444
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Kaset Sirisantiamrid

ABSTRACT

The process of human face detection is an importance step of the automatic face recognition system. The complete human face detection should extract a face in complex background although having many face in an image and unlimited the position and size. The face detection method will also detect moreover with any rotation angles. This thesis presents the automatic face detection in a complex background using the difference of gray levels between face and background, and using the features that existing on face such as both two eyes and mouth. This automatic face detection system have 3 steps, first step is an image segmentation process by using seeded region growing based on localizing histogram [1]. The segmented regions that have nearly same shape as specified region considered as candidate face region. Second step, the candidate face region performed binarization, edge detection and morphological operations are used for detecting the feature that expect to eyes and following by matching pair of feature that expected to both two eyes. Third step determines the area of face from position of matched feature pair and constructs 8x8-mosaic image. Then, calculate the correlation coefficient to compare with template mosaic image and finally, Hough transform used to confirm the accuracy of detection by searching the position of mouth. [2,3] The experimental result with 192 faces from 172 images, show that the proposed method can detect face of the different sizes and tilted face about x-axis by accuracy of 98.43 percent.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สาริต อินทจักร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ตรวจสอบ แก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จ เสร็จสิ้น

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นสุดที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า



ศศิ ศิริสัตตบุตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ.....	4
2.1 ฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน.....	4
2.2 การเลือกค่า Threshold ที่เหมาะสม.....	5
2.3 การหมุนภาพ.....	8
2.4 มอไฟโลยี.....	10
2.4.1 ไคเลชัน.....	12
2.4.2 อีโรชัน.....	13
2.4.3 โอเพนนิ่งและโคลสซิง.....	13
2.5 การหาขอบภาพ.....	16
2.6 ฮาฟทรานส์ฟอร์ม.....	17
บทที่ 3 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับการตรวจหาใบหน้ามนุษย์.....	21
3.1 ปัญหาที่พบในระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์.....	21
3.2 วิธีการที่ใช้ในระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์.....	22
3.2.1 Knowledge-based Method.....	22
3.2.2 Feature-based Method.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 Template Matching Method.....	23
3.2.4 Appearance-based Method.....	24
3.3 การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์.....	25
บทที่ 4 การหาส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์.....	26
4.1 การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Seeded Region Growing บนพื้นฐานของ ฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน.....	27
4.1.1 การเลือก Seed Points จากฮิสโตแกรม.....	28
4.1.2 การขยายพื้นที่ส่วนภาพ.....	32
4.1.3 การรวมพื้นที่ส่วนภาพ.....	33
4.2 การพิจารณาส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์.....	36
4.3 การหุนส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	41
บทที่ 5 การหาตำแหน่งของตาที่ปรากฏบนใบหน้า.....	50
5.1 การตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด.....	51
5.2 การตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะตาจากลักษณะเด่นทั้งหมด.....	58
5.3 การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง.....	61
5.3.1 จับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะตาทั้งหมด.....	63
5.3.2 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีขนาดแตกต่างกัน.....	64
5.3.3 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน.....	65
5.3.4 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไป.....	65
5.3.5 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน.....	67
บทที่ 6 การหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า.....	71
6.1 การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง.....	72
6.2 การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 จากภาพใบหน้าที่ตรวจพบ.....	74
6.3 การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้า.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้ากับรูปแบบภาพ ใบหน้าที่กำหนดไว้.....	80
6.5 การหาค่าแห่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีฮาฟทรานส์ฟอร์ม.....	85
6.5.1 กำหนดขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่.....	86
6.5.2 หาขอบภาพด้วยวิธี Sobel operator เฉพาะแนวนอนภายใน ขอบเขตบริเวณปาก.....	87
6.5.3 แบ่งบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง.....	87
6.5.4 ตรวจสอบบริเวณที่เป็นตำแหน่งของปาก โดยพิจารณาจากจำนวน จุดขอบภาพ.....	89
6.5.5 หาตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายที่แท้จริงของบริเวณปาก.....	90
บทที่ 7 ผลการทดลอง.....	95
7.1 ขั้นตอนการทำงานของ การตรวจหาใบหน้านามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน.....	95
7.2 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	97
7.3 ผลการทดลองการตรวจหาใบหน้านามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน.....	101
7.4 สรุปผลการทดลอง.....	134
บทที่ 8 บทสรุปและวิจารณ์.....	136
8.1 บทสรุปและวิจารณ์.....	136
8.2 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต.....	139
เอกสารอ้างอิง.....	140
ภาคผนวก.....	142
ประวัติผู้เขียน.....	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พิกัดจุดภาพที่ได้จากการหมุนภาพด้วยสมการที่ 2.5 และ 2.6.....	9
2.2 พิกัดจุดภาพที่ได้จากการหมุนภาพแบบย้อนกลับด้วยสมการที่ 2.7 และ 2.8.....	10
4.1 ค่าระดับสีเทาของ Seed points ขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทั้งทางด้านค่าต่ำ และค่าสูง ทั้ง 4 กลุ่มค่าระดับสีเทา ที่ได้จากภาพที่ 4.4.....	30
7.1 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน จากภาพที่ 7.6 และ 7.7 (ตัวอย่างที่ 1).....	103
7.2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน จากภาพที่ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2).....	109
7.3 ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้าด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการ ของ Yang และ Huang [8] และวิธีการของ Chow และ Li [9].....	133
7.4 ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ที่ได้จากข้อมูล ภาพทั้ง 4 กลุ่ม.....	134
7.5 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลในการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนใน ภาพขนาดต่างๆ.....	134

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟฮิสโตแกรมบ่งบอกความถี่ของระดับสีเทาในภาพลักษณะต่างๆ.....	4
2.2 กระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชันและฮิสโตแกรมก่อนและหลังกระบวนการ.....	5
2.3 การวนรอบหาจุดตัดที่แสดงค่า Threshold ที่เหมาะสม.....	6
2.4 ลักษณะของ Threshold และกราฟฮิสโตแกรมแบบต่างๆ.....	7
2.5 ภาพขนาด 3x3 จุดภาพ ก่อนกระทำการหมุนภาพ.....	8
2.6 การหมุนภาพที่ 2.5 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา ด้วยสมการที่ 2.5 และ 2.6.....	8
2.7 การหมุนภาพที่ 2.5 แบบย้อนกลับในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา ด้วยสมการที่ 2.7 และ 2.8.....	9
2.8 (A) เซต A (B) คุณสมบัติการเคลื่อนย้ายของเซต A ด้วย $x = (x_1, x_2)$ (C) เซต B (D) คุณสมบัติการสะท้อนของเซต B (E) เซต A และคอมพลีเมนต์ของเซต A (F) คุณสมบัติความแตกต่างของเซต $A - B$	11
2.9 (A) เซต A (B) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (C) ผลลัพธ์ของ กระบวนการไดเลชัน A ด้วย Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (D) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (E) ผลลัพธ์ของกระบวนการ ไดเลชัน A ด้วย B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	12
2.10 (A) เซต A (B) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (C) ผลลัพธ์ของ กระบวนการอีโรชัน A ด้วย B จาก Structuring element รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (D) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (E) ผลลัพธ์ของกระบวนการ อีโรชัน A ด้วย B จาก Structuring element รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	13
2.11 (A) เซต A (B) กระบวนการอีโรชัน A ด้วย Structuring element รูปวงกลม (C) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชัน (D) กระบวนการไดเลชัน (E) ภาพ ผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชันหรือกระบวนการโอเพนนิ่ง (F) กระบวนการ ไดเลชัน (G) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชัน (H) กระบวนการอีโรชัน (I) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันหรือกระบวนการโคลสซิง.....	14
2.12 การประยุกต์ใช้มอโฟโลยีกำลังสัญญาณภาพรบกวน (A) ภาพวัตถุรูปสี่เหลี่ยมผืน ผ้าสัญญาณภาพรบกวน และ Structuring element B รูปวงกลม (Disk) (B) ภาพ ผลลัพธ์กระบวนการอีโรชัน (C) ภาพผลลัพธ์กระบวนการโอเพนนิ่ง (D) ภาพผลลัพธ์ กระบวนการไดเลชันจากภาพ C (E) ภาพผลลัพธ์กระบวนการโคลสซิง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.13 ทิศทางของ Gradient ที่จุดขอบภาพ (x, y) ของวัตถุ.....	16
2.14 Mask ขนาด 3x3 สำหรับหาค่า Gradient (A) แนวแกน x (B) แนวแกน y	17
2.15 (A) ภาพระดับสีเทา (B) ขอบภาพที่ได้จากวิธี Sobel operator.....	17
2.16 ทิศทางของ Gradient ที่จุดภาพต่างๆ บนเส้นตรงเดียวกัน.....	18
2.17 Accumulator cell สองมิติ.....	19
2.18 เส้นตรงในระนาบภาพ x, y ที่มีค่า ρ และ θ แตกต่างกันออกไป.....	19
2.19 (A) ขอบภาพที่ได้จากภาพที่ 2.15 (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหา เส้นตรงและวงกลมด้วยวิธีการ [2,3].....	20
3.1 การใช้ภาพ Mosaic ตรวจหาใบหน้าตามหลักการของ Yang และ Huang [8].....	22
3.2 การตรวจหาบริเวณตาทั้งสองข้างและปากจากงานวิจัยของ Chow และ Li [9].....	23
3.3 Deformable template จากงานวิจัยของ Huang และ Chen [10].....	24
3.4 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมตรวจหาใบหน้ามนุษย์ จากงานวิจัยของ Rowley [11].....	25
4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อน.....	26
4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้า.....	27
4.3 ภาพระดับสีเทาและฮิสโตแกรมที่ประกอบไปด้วยค่าระดับสีเทา 4 กลุ่ม.....	28
4.4 ตำแหน่ง Local minimum และ Local maximum จากฮิสโตแกรมในภาพที่ 4.3.....	29
4.5 การแบ่งภาพระดับสีเทาเป็น 4 ส่วน และตำแหน่ง Local minimum, local maximum จากฮิสโตแกรม.....	30
4.6 Seed points ทั้งหมด ที่ได้จากฮิสโตแกรม.....	32
4.7 ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ.....	33
4.8 ภาพที่ได้จากกระบวนการรวมพื้นที่ส่วนภาพ (A) 10 กลุ่มค่าระดับสีเทา 4937 ส่วนภาพ (B) 8 กลุ่มค่าระดับสีเทา 3262 ส่วนภาพ.....	35
4.9 ขั้นตอนการพิจารณาหาส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์.....	37
4.10 (A) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีทั้งหมดจำนวน 738 ส่วนภาพ (B) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 728 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่ติดกับ ขอบของภาพจำนวน 3 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนด จำนวน 2 ส่วนภาพ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์จำนวน 5 ส่วนภาพ.....	38

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพที่มีทั้งหมดจำนวน 630 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 617 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 4 ส่วนภาพ (E) ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนดจำนวน 1 ส่วนภาพ และ (F) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 8 ส่วนภาพ.....	39
4.12 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพที่มีทั้งหมดจำนวน 959 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 949 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 5 ส่วนภาพ และ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 5 ส่วนภาพ.....	40
4.13 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพที่มีทั้งหมดจำนวน 2085 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 2081 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 3 ส่วนภาพ และ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 1 ส่วนภาพ.....	41
4.14 (A) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายวงรี ทำมุม θ กับแนวระนาบ (B) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ซึ่งผ่านกระบวนการหมุนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	42
4.15 ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพ 4.10E มุม θ ที่ทำกับกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางของแต่ละส่วนภาพ.....	43
4.16 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.15 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	44
4.17 ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 8 ส่วนภาพ จากภาพ 4.11F มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางของแต่ละส่วนภาพ.....	45
4.18 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 8 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.17 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	46
4.19 ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพ 4.12E มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางของแต่ละส่วนภาพ.....	47
4.20 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.19 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมืออนุญาตเห็นาไปไซ้ประโยชน์คนดานการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.21 ส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์จากภาพ 4.13E มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบและจุดศูนย์กลางของแต่ละส่วนภาพ.....	48
4.22 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์ จากภาพที่ 4.19 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ.....	48
5.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า.....	50
5.2 ขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด.....	51
5.3 ภาพใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไป จะมีรูปร่างคล้ายวงรี และมีอัตราส่วน ความยาวมากกว่าความกว้างเล็กน้อย.....	52
5.4 ตัวอย่างส่วนภาพจากภาพที่ 4.18 ซึ่งมีขนาดความกว้างน้อยกว่า 50x50 จุดภาพ.....	53
5.5 ตัวอย่างส่วนภาพจากภาพที่ 4.20 ซึ่งมีอัตราส่วนความยาวมากกว่า ความกว้างเกิน 2.5 เท่า.....	53
5.6 ภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์ ซึ่งผ่านกระบวนการ ฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน และแปลงให้เป็นภาพไบนารี.....	54
5.7 ภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์ และภาพผลลัพธ์ จากการหาขอบภาพด้วย Sobel operator.....	55
5.8 (A) ขอบภาพที่ได้จากภาพที่ 5.7A (B) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไคเลชันจาก ภาพ A (C) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันจากภาพ B หรือกระบวนการ โอเพนนิ่ง (D) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันจากภาพ C (E) ภาพผลลัพธ์ ของกระบวนการไคเลชันจากภาพ D หรือกระบวนการโคลสซิง (โดยในกระบวนการ มอโฟโลยีทั้งหมดจะใช้ Structuring element รูปวงกลมขนาด 5x5 จุดภาพ).....	56
5.9 (A) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแปลงภาพไบนารีจากภาพที่ 5.6A (B) ภาพ ผลลัพธ์ของกระบวนการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงจากภาพที่ 5.8E (C) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมภาพไบนารีกับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด 38 ส่วนภาพ.....	56
5.10 ภาพผลลัพธ์จากการรวมภาพไบนารีกับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี.....	57
5.11 ขั้นตอนการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะ เป็นตาทั้งสองข้างจากลักษณะเด่นทั้งหมด.....	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.12 ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลาง (cgx,cgy) อยู่ในบริเวณ 10 เปอร์เซ็นต์ของขอบนอกของใบหน้าจะถูกพิจารณาว่า ไม่ใช่ลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง.....	59
5.13 ลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง จะต้องมีความกว้างอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของใบหน้า และมีขนาดความสูงไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของใบหน้า.....	59
5.14 (A) ลักษณะเด่นทั้งหมด 38 ส่วนภาพที่ตรวจพบจากภาพที่ 5.9C (B) ลักษณะเด่นที่อยู่ในบริเวณขอบนอกของใบหน้าจำนวน 20 ส่วนภาพ (C) ลักษณะเด่นที่มีขนาดความกว้างและความยาวไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จำนวน 10 ส่วนภาพ (D) ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาจำนวน 8 ส่วนภาพ.....	60
5.15 ภาพผลลัพธ์การตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาจากลักษณะเด่นทั้งหมด จากภาพที่ 5.10C, F, I และ L (ภาพซ้ายมือ) และภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตา จากลักษณะเด่นทั้งหมด (ภาพขวามือ).....	61
5.16 ขั้นตอนการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาแห่งของตาทั้งสองข้าง.....	62
5.17 ลายเส้นของคู่ตาที่จับคู่ได้จากลักษณะเด่นทั้ง 8 ส่วนภาพ จากภาพที่ 5.14D.....	63
5.18 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นจากภาพที่ 5.17 โดยกำหนดให้ลักษณะเด่นที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าเป็ตาข้างซ้าย และที่มีค่ามากกว่าเป็ตาข้างขวา.....	64
5.19 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดภาพและขนาดพื้นที่แตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์.....	65
5.20 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน.....	66
5.21 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันในแนวนอนน้อยเกินไป.....	66
5.22 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบเดียวกัน หรือมีระยะห่างกันในแนวแกนตั้งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ตาหน้ามนุษย์.....	67
5.23 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาแห่งของคู่ตาที่ปรากฏบนใบหน้า ที่ถูกต้อง (ภาพซ้ายมือ) และคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในตำแหน่งสูงกว่าหรือลักษณะเด่นที่เป็นคิ้วนั่นเอง (ภาพขวามือ).....	68
5.24 (A) ภาพใบหน้าในบางกรณีจะทำมุมกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป (B) ใบหน้าที่ผ่านกระบวนการหมุนส่วนภาพ ในทิศทางที่ถูกต้องตามความเป็นจริง (C) ใบหน้าที่ผ่านกระบวนการหมุนส่วนภาพ ในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง.....	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.25 คู่ตาที่มีจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งอยู่ในซีกล่างของใบหน้า จะกำหนดให้ตาข้างที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าเป็นตาข้างขวา และข้างที่มีค่ามากกว่าเป็นตาข้างซ้าย ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ใบหน้าอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง (A) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 5.24B (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 5.24C.....	70
6.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า.....	71
6.2 การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า โดยอาศัยตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงของตาทั้งสองข้าง (A) ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกบนของใบหน้า (B) ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกล่างของใบหน้า.....	72
6.3 (A) ภาพผลลัพธ์การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางที่ถูกต้อง (B) ภาพผลลัพธ์การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง.....	73
6.4 (A) ภาพขนาด 40x40 จุดภาพ (B) ภาพที่ปรับขนาดในแนวนอนให้เล็กลงเท่ากับ 8x40 จุดภาพ (C) ภาพที่ได้จากภาพ B ที่ปรับขนาดในแนวตั้งให้เล็กลงเหลือเท่ากับ 8x8 จุดภาพ (D) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ที่ขยายขนาดจากภาพ C.....	75
6.5 ตัวอย่างภาพใบหน้าที่ตรวจพบซึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไป (ภาพซ้ายมือ) และภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ที่สร้างจากภาพใบหน้าที่ดังกล่าว (ภาพขวามือ).....	76
6.6 ภาพบริเวณใบหน้าที่นำมาสร้างเป็น Template ภาพใบหน้า (A) ภาพบริเวณใบหน้าที่แสดงตกระทบทางด้านหน้าโดยตรง (B) ภาพใบหน้าที่แสดงตกระทบจากทางด้านขวา(C) ภาพใบหน้าที่แสดงตกระทบจากทางด้านซ้าย.....	77
6.7 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่นำมาสร้างเป็นรูปแบบใบหน้า (Template) ก่อนทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน.....	78
6.8 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่นำมาสร้างเป็นรูปแบบใบหน้า (Template) หลังทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน.....	78
6.9 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่นำมาสร้างเป็นรูปแบบใบหน้า (Template) หลังทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน ที่พลิกภาพสลับจากขวาไปซ้าย และซ้ายไปขวา (A) จากภาพที่ 6.8B (B) จากภาพที่ 6.8C.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาดเห็นาเบไซบระเเยชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.10 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้า ที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ ตามทิศทางของแสงและเงา (A) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยตรง (B) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวา (C) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้าย	79
6.11 การหาค่าสหสัมพันธ์ของ $w(x,y)$ กับ $f(x,y)$	80
6.12 (A) ภาพใบหน้าที่ตรวจพบ (B) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้า (C) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าเมื่อผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน.....	81
6.13 (A) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวา เท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ (B) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านหน้าโดยตรงเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ (C) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้ายเท่ากับ 58 เปอร์เซ็นต์.....	82
6.14 ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่ตรวจพบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ.....	82
6.15 บางกรณีภายในหนึ่งใบหน้า อาจตรวจพบตำแหน่งของคู้ตามากกว่าหนึ่งคู้ต.....	83
6.16 การตรวจหาภาพบริเวณใบหน้าที่ถูกตัด เมื่อภายในหนึ่งใบหน้ามีตำแหน่งของคู้ตปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งคู้ โดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มากที่สุดเป็นหลัก.....	84
6.17 ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งของปากด้วยวิธีการฮัฟทรานส์ฟอร์ม.....	85
6.18 ขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่.....	86
6.19 ตัวอย่างขอบภาพภายในบริเวณปากที่ได้จากการหาขอบภาพด้วย Sobel operator.....	87
6.20 ตาทั้งสองข้างและปากจะเอียงทำมุมค่อนข้างใกล้เคียงกันเสมอ.....	87
6.21 ตัวอย่างแนวลายเส้นที่มีค่า ρ และมุม θ แตกต่างกันภายในภาพ.....	88
6.22 ตัวอย่างวิธีการแบ่งส่วนภาพของบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง ด้วยหลักการฮัฟทรานส์ฟอร์ม จากภาพที่ 6.19A และ B.....	88
6.23 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพของบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง ด้วยหลักการฮัฟทรานส์ฟอร์ม จากภาพที่ 6.19C, D และ E.....	89
6.24 ตัวอย่างการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ จากทั้ง 5 ส่วนภาพ.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.25 ภาพผลลัพธ์แสดงการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ จากทั้ง 5 ส่วน ภาพ โดยการพิจารณาจำนวนจุดขอบภาพ จากภาพที่ 6.19B, C, D และ E.....	90
6.26 Array ขนาด 1 มิติ แทนแนวลายเส้นจุดขอบภาพของตำแหน่งปากที่ปรากฏ.....	91
6.27 ตำแหน่งพิกัดอ้างอิงของจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายในชั้นตอนแรก.....	91
6.28 การพิจารณาหาตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้นของแนวลายเส้น.....	92
6.29 ผลลัพธ์การตรวจหาจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของแนวลายเส้น.....	92
6.30 ตำแหน่งพิกัดจุดกึ่งกลางของแนวลายเส้นขอบภาพ ที่มีตำแหน่งของ ปากปรากฏอยู่หรือตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนภาพใบหน้านั่นเอง.....	93
6.31 ผลลัพธ์การหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการฮัพพารานส์ฟอร์ม.....	93
7.1 โครงสร้างของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน.....	96
7.2 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายจากกล้อง CCD ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	98
7.3 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการสแกนจากหนังสือนิตยสารต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	99
7.4 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Henry A. Rowley face database ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	100
7.5 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Bio ID face database ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	101
7.6 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 และผลลัพธ์ของการแบ่งส่วนภาพ.....	101
7.7 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 1.....	102
7.8 ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาภาพใบหน้ามนุษย์ จากตัวอย่างที่ 1.....	105
7.9 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ตัวอย่างที่ 2.....	106
7.10 ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแบ่งส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2.....	107
7.11 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 13 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2.....	107
7.12 ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาภาพใบหน้ามนุษย์ จากตัวอย่างที่ 2.....	114
7.13 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.2.....	115
7.14 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.3.....	116
7.15 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.4.....	118
7.16 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.5.....	119
7.17 ตัวอย่างผลลัพธ์การระบุตำแหน่งตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียงความเป็นจริง.....	120
7.18 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง.....	120
7.19 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง.....	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมืออนุญาตเห็นาไปไซประะโยชนตาดนการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.20 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง.....	121
7.21 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง.....	122
7.22 ความผิดพลาดแบบที่หนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	122
7.23 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง และส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้า มนุษย์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ จำนวน 2 ส่วนภาพ.....	123
7.24 ผลลัพธ์ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ได้จากส่วนภาพแรก ในภาพที่ 7.23.....	123
7.25 ความผิดพลาดแบบที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นกับส่วนภาพที่สอง จากภาพที่ 7.23.....	123
7.26 ความผิดพลาดแบบที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	124
7.27 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	124
7.28 ความผิดพลาดแบบที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นกับส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้า ในภาพที่ 7.27.....	125
7.29 ความผิดพลาดแบบที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	125
7.30 ภาพ Mosaic ที่มีขนาด Cells แตกต่างกัน (A) Cells ขนาด 32x32 จุดภาพ (B) Cells ขนาด 28x28 จุดภาพ (C) Cells ขนาด 24x24 จุดภาพ (D) Cells ขนาด 20x20 จุดภาพ (E) Cells ขนาด 16x16 จุดภาพ (F) Cells ขนาด 12x12 จุดภาพ (G) Cells ขนาด 8x8 จุดภาพ (H) Cells ขนาด 4x4 จุดภาพ (I) Cells ขนาด 1x1 จุดภาพ.....	127
7.31 Cells จำนวน 4x4 Cells ที่ใช้ตรวจหาตำแหน่งบริเวณที่คาดว่าจะเป็นบริเวณใบหน้า.....	128
7.32 การตรวจหาใบหน้าตามวิธีการของ Yang และ Huang [8] (A) บริเวณภาพ Mosaic ขนาด 4x4 Cells ที่คาดว่าจะเป็นใบหน้า (B) บริเวณภาพ Mosaic ขนาด 8x8 Cells ที่ใช้ตรวจหาตำแหน่งของตาและปาก (C) ขอบภาพของตา ทั้งสองข้างและปาก.....	129
7.33 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Knowledge-based method ตามหลักการของ Yang และ Huang [8] ซึ่งไม่สามารถตรวจหาใบหน้าที่เอียงหรือไม่ตั้งฉาก กับแนวระนาบได้.....	130
7.34 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Knowledge-based method ตามหลักการของ Yang และ Huang [8] ซึ่งไม่สามารถตรวจหาใบหน้าที่เอียงหรือไม่ตั้งฉาก กับแนวระนาบได้.....	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.35 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Feature-based method ตามหลักการของ Chow และ Li [9] (A) ภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (B) กลุ่มจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง (C) ลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ (D) บริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากปรากฏอยู่.....	131
7.36 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Feature-based method ตามหลักการของ Chow และ Li [9] (A) ภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการมอไฟโลยีแบบโอเพนนิ่งภายในบริเวณใบหน้า (C) ลักษณะเด่นทั้งหมดในบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ.....	132
7.37 การตรวจหาใบหน้าในภาพที่มีผลกระทบจากแสงและเงา ตามหลักการของ Chow และ Li [9] (A) ภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการมอไฟโลยีแบบโอเพนนิ่งภายในบริเวณใบหน้า (C) บริเวณตาและปากกลืนไปกับพื้นฉากหลังทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ถูกต้องได้.....	133
8.1 ตัวอย่างภาพใบหน้าที่มีสิ่งบดบัง ทำให้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้.....	137
8.2 ตัวอย่างภาพที่มีระดับสีเทาสว่างมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จากการแบ่งส่วนภาพได้.....	138
8.3 ตัวอย่างภาพที่มีแสงเงามากเกินไป ทำให้ไม่สามารถตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จากการแบ่งส่วนภาพได้.....	138

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ระบบการตรวจหาภาพใบหน้าและการรู้จำภาพใบหน้ามนุษย์ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer vision) ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลาย อาทิ เช่นระบบงานรักษาความปลอดภัย การติดตามค้นหาบุคคล เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากใบหน้ามนุษย์เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่ง ที่สามารถนำมาใช้ในการบ่งชี้ตัวบุคคลได้เป็นอย่างดี เพราะใบหน้าของแต่ละบุคคลมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็น คิ้ว ดวงตา จมูก ปาก รวมไปถึงขนาดและรูปร่างของใบหน้า

ระบบการรู้จำใบหน้ามนุษย์ในปัจจุบันยังไม่สามารถกล่าวได้ว่ามีความสมบูรณ์แบบ เนื่องจากใบหน้าของมนุษย์มีรูปแบบที่ซับซ้อน ใบหน้าของแต่ละบุคคลก็มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไปอย่างสิ้นเชิง การที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถบ่งชี้ตัวบุคคลโดยอาศัยลักษณะเฉพาะบนใบหน้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำจึงเป็นเรื่องที่ยาก ปัญหาที่สำคัญของระบบการรู้จำใบหน้ามนุษย์คือไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดและขนาดของใบหน้าที่ปรากฏในภาพได้อย่างถูกต้อง เพราะหากว่าไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดและขนาดของใบหน้าในภาพได้แล้ว การพิจารณาลักษณะเฉพาะบนใบหน้าในภาพนั้นๆ ก็ไม่สามารถที่จะกระทำต่อไปได้ จะเห็นได้ว่ากระบวนการตรวจหาใบหน้ามนุษย์เป็นกระบวนการที่สำคัญ และเป็นขั้นตอนแรกของระบบการรู้จำใบหน้ามนุษย์ นั่นคือทำอย่างไรจึงจะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลแทนมนุษย์ได้ว่าในภาพที่กำลังพิจารณา มีใบหน้าของมนุษย์ปรากฏอยู่หรือไม่ หากมีจะมีอยู่ที่ใบหน้า อยู่ที่ตำแหน่งพิกัดใด และมีรูปร่างอย่างไร

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอ การตรวจหาใบหน้าบนภาพระดับสีเทาที่มีพื้นฉากซับซ้อนแบบอัตโนมัติ โดยใช้สมมติฐานว่าใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏในภาพจะมีระดับสีเทาที่แตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉาก และบริเวณใบหน้าเองก็จะมีลักษณะเด่นเฉพาะเช่น ตาทั้งสองข้างและปาก ปรากฏอยู่ ระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัตินี้ ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการทำงานสามขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ ขั้นตอนที่หนึ่งแบ่งภาพเป็นส่วนย่อยๆ ตามระดับสีเทาที่แตกต่างกันด้วยวิธีการ Seeded region growing [1] แล้วพิจารณาว่าบริเวณใดมีรูปร่างตรงกันหรือใกล้เคียงกับรูปแบบของใบหน้าที่กำหนดไว้ จากนั้นหมุนภาพบริเวณดังกล่าวให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ ขั้นตอนที่สองตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่บนใบหน้าทั้งหมด แล้วพิจารณาหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตาทั้งสองข้าง โดยใช้ภาพไบนารี (Binary image) ภาพซึ่งผ่านกระบวนการหาขอบภาพและกระบวนการมอโฟโลยี (Morphology) บริเวณใดที่ไม่ใช่ก็จะตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไป ในขั้นตอนที่สามนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ได้มากำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า และตรวจสอบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบใบหน้าที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) สุดท้ายทำการตรวจหาบริเวณปากที่ปรากฏอยู่บนใบหน้าด้วยวิธีฮาฟทรานส์ฟอร์ม (Hough transform) [2,3] เพื่อความถูกต้องอีกครั้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ก็เพื่อศึกษาวิจัยระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพระดับสีเทาที่มีพื้นฉากซับซ้อนแบบอัตโนมัติ ว่าในภาพดังกล่าวมีใบหน้าของมนุษย์ปรากฏอยู่หรือไม่ หากมีจะมีอยู่ที่ใบหน้า อยู่ที่ตำแหน่งพิกัดใดและมีขนาดเท่าใดบ้าง โดยไม่จำกัดว่าใบหน้าจะมีลักษณะเอียงหรือหมุนไปจากแนวระนาบที่องศาใดก็ตาม

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพระดับสีเทาที่มีพื้นฉากซับซ้อนแบบอัตโนมัติ โดยแต่ละใบหน้าที่ปรากฏในภาพอาจจะมีขนาดและตำแหน่งแตกต่างกันเอียงหรือหมุนไปจากแนวระนาบ ซึ่งภาพที่นำมาพิจารณาจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- 1.3.1 ใบหน้าที่ปรากฏในภาพจะต้องไม่มีสิ่งบดบัง อาทิเช่น แว่นกันแดด สวมหมวก หรือมีผ้าปิด เป็นต้น
- 1.3.2 ภาพที่พิจารณาจะต้องไม่มีแสงเงามากจนเกินไป ทำให้บริเวณใบหน้าโดยเฉพาะตาสองข้างและปากถูกบดบังหรือกลืนไปกับพื้นฉาก
- 1.3.3 ใบหน้าที่ปรากฏในภาพ จะต้องมีความกว้างและความยาวไม่น้อยกว่า 50 x 50 จุดภาพ

1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ในส่วนที่เหลือประกอบไปด้วย บทที่ 2 พื้นฐานการประมวลผลด้วยภาพ (Digital image processing) และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ได้นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและแนวความคิดที่น่าสนใจของงานวิจัยด้านการตรวจหาใบหน้ามนุษย์ที่ผ่านมา

บทที่ 4 ขั้นตอนที่หนึ่งของระบบการตรวจหาใบหน้า คือการแบ่งส่วนภาพเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อพิจารณาหาบริเวณส่วนภาพที่คาดว่าเป็นใบหน้า บทที่ 5 ขั้นตอนที่สองตรวจหาตำแหน่งตาทั้งสองข้างจากลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่ในบริเวณใบหน้าทั้งหมด บทที่ 6 ขั้นตอนที่สามตรวจสอบว่า

บริเวณใบหน้าที่ตรวจพบคือใบหน้าที่ถูกต้องหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) และตรวจหาบริเวณปากบนใบหน้านั้นๆ

บทที่ 7 กล่าวถึงภาพรวมของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อน ขั้นตอนการทำงาน และผลการทดลองทั้งหมด บทที่ 8 บทสรุปและวิจารณ์ผลของงานวิจัย จุดเด่นจุดด้อย และแนวทางแก้ไขพัฒนางานวิจัยต่อไป



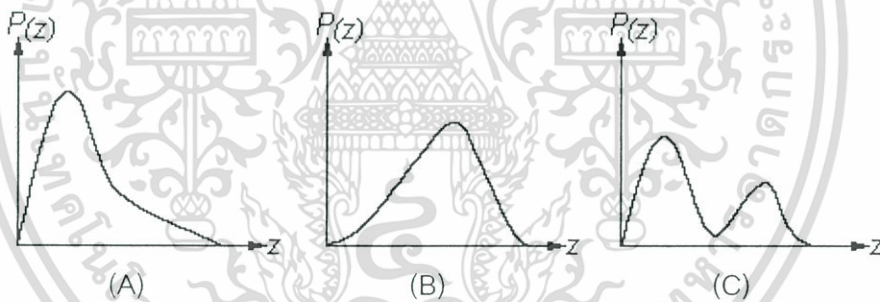
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ

รูปภาพ (Image) ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันความเข้มของแสง $f(x,y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของจุดภาพในระบบสองมิติ ค่าของ $f(x,y)$ ที่จุด x และ y จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสว่างหรือค่าระดับสีเทา (Grey level) ของรูปภาพที่จุดภาพ (Pixel) นั้น โดยทั่วไปค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพจะมีขนาด 8 บิต คือมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255

ฮิสโตแกรมคือกราฟบ่งบอกความถี่ของแต่ละระดับสีเทาในภาพนั้นๆ จากภาพที่ 2.1 แขนนอนเป็นระดับสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 และแกนตั้งเป็นความถี่ของจุดภาพในแต่ละระดับสีเทา ถ้าจุดภาพส่วนใหญ่รวมกันอยู่ทางด้านระดับความเข้มต่ำ ภาพก็จะมีมืด (Dark) ดังภาพ 2.1A ถ้าจุดภาพส่วนใหญ่รวมกันอยู่ทางด้านระดับความเข้มสูง ภาพก็จะสว่าง (Bright) ดังภาพ 2.1B ส่วนในภาพ 2.1C นั้น ภาพอาจประกอบไปด้วยวัตถุสองชนิดที่มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันอย่างชัดเจน (หรืออาจเป็นวัตถุเพียงหนึ่งชนิดที่มีระดับค่าสีเทาแตกต่างกับพื้นฉาก) หากฮิสโตแกรมของภาพไม่กระจายไปทั่วทุกส่วน ภาพนั้นอาจจะไม่คมชัด หรือมีคุณภาพไม่ดี



ภาพที่ 2.1 กราฟฮิสโตแกรมบ่งบอกความถี่ของระดับสีเทาในภาพลักษณะต่างๆ

2.1 ฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน

เทคนิคการทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น [4] สามารถทำได้โดยการปรับปรุงฮิสโตแกรมของภาพ ซึ่งเรียกว่า ฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน (Histogram equalization) หากกำหนดให้ z เป็นค่าระดับสีเทาแบบต่อเนื่อง (Continuous) ของภาพอินพุต ฮิสโตแกรมของภาพอินพุตคือ $P(z)$ และ $Q(z)$ คือฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน

ความสัมพันธ์ของฮิสโตแกรมในภาพอินพุต (Z_i) กับภาพที่ผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอิควอไลเซชัน (Z_i') ที่แต่ละค่าระดับสีเทาแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\int_0^{Z_i} P(z) dz = \int_0^{Z_i'} Q(z) dz = \left(\frac{M \times N}{Z_{\max}} \right) Z_i' \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $M \times N$ คือความกว้างและความยาวของภาพอินพุต

Z_{\max} คือค่าระดับสีเทาสูงสุด

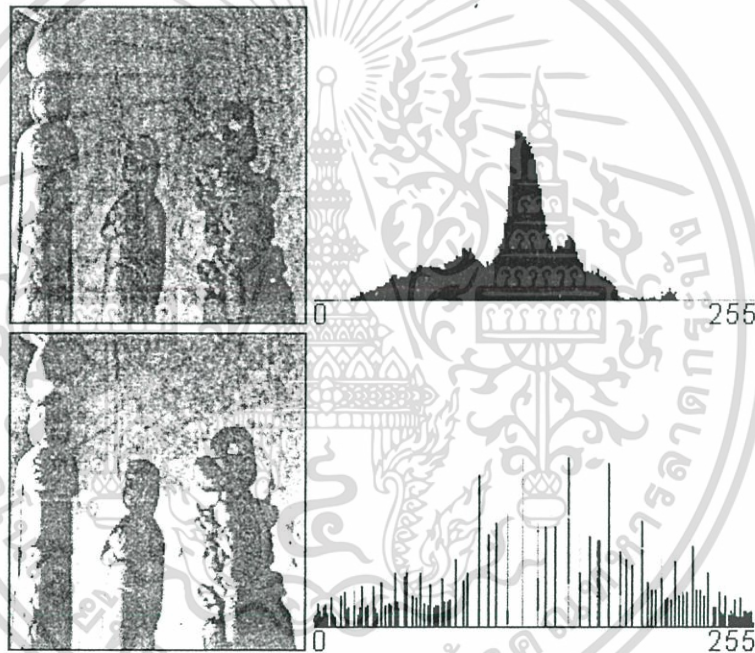
จากสมการที่ 2.1 จะได้

$$Z_i' = \left(\frac{Z_{\max}}{M \times N} \right) \int_0^{Z_i} P(z) dz \quad (2.2)$$

กำหนดให้ $H(z)$ เป็นฮิสโตแกรมแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ของภาพอินพุต จะได้

$$Z_i' = \left(\frac{Z_{\max}}{M \times N} \right) \sum_{i=0}^{Z_i} H(z) \quad (2.3)$$

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของกระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชัน โดยภาพด้านบนเป็นภาพอินพุตและฮิสโตแกรม ส่วนภาพด้านล่างเป็นภาพที่ผ่านกระบวนการแล้วพร้อมทั้งฮิสโตแกรม ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพที่ได้มีความคมชัด ช่วยให้แยกแยะวัตถุที่อยู่ในภาพนั้นๆ ได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 2.2 กระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชันและฮิสโตแกรมก่อนและหลังกระบวนการ

2.2 การเลือกค่า Threshold ที่เหมาะสม

การเลือกค่า Threshold นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับสีเทาที่แบ่งแยกส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นพื้นฉาก โดยแปลงภาพระดับสีเทา 256 ระดับให้เป็นภาพไบนารี (Binary image) คือ 0 กับ 1 ซึ่งค่า Threshold ที่เหมาะสมกับแต่ละภาพก็จะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำสมการเลือกค่า Threshold อัตโนมัติตามวิธีของ [5] โดยกำหนดให้จุดภาพสีดำแทนด้วยค่า 1 และจุดภาพสีขาวแทนด้วยค่า 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{k+1} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)i}{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)} + \frac{\sum_{i=T_{k+1}}^N n(i)i}{\sum_{i=T_{k+1}}^N n(i)} \right] \quad (2.4)$$

Selected Threshold = T_{k+1} , ถ้า $T_{k+1} - T_k < \epsilon$

เมื่อ T_k, T_{k+1} คือค่า Threshold ที่ค่าระดับสีเทาที่ k และ $k+1$

i คือค่าระดับสีเทา

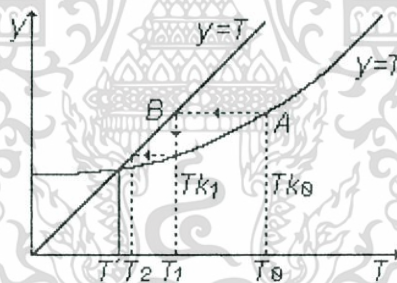
$n(i)$ คือความถี่ของจุดภาพที่ค่าระดับสีเทาที่ i

N คือค่าระดับสีเทาสูงสุด มีค่าเท่ากับ 255

ϵ คือค่าคงที่ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

สำหรับภาพระดับสีเทา 8 บิตนั้น ค่า Threshold จะเป็นค่าจำนวนเต็ม ที่มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 จากสมการที่ 2.4 จุดภาพใดที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ T_{k+1} ก็จะเป็น 0 และจุดภาพใดที่มีค่าน้อยกว่า T_k ก็จะเป็น 1

ดังแสดงในภาพที่ 2.3 กำหนดให้เส้นกราฟ $y=T$ แทนค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 และเส้นกราฟ $y=Tk$ แทนค่า Threshold ของระดับค่าสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ค่า Threshold ที่เหมาะสมก็คือจุดตัดระหว่างเส้นกราฟทั้งสองเส้น

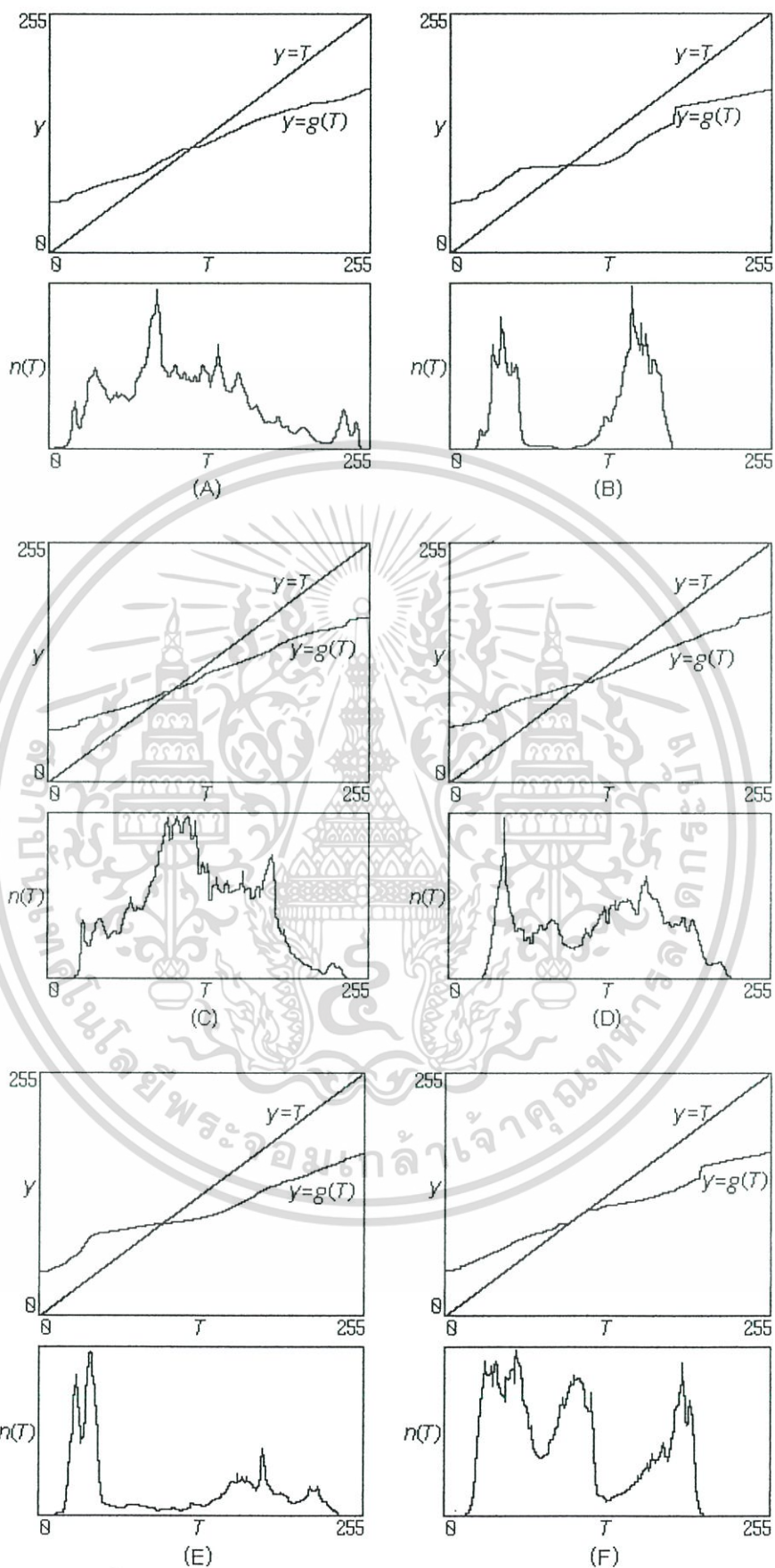


ภาพที่ 2.3 การวนรอบหาจุดตัดที่แสดงค่า Threshold ที่เหมาะสม

ในทางคณิตศาสตร์ การคำนวณวนรอบหาจุดตัดที่แสดงค่า Threshold ที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยสร้างกราฟ $y=T$ และ $y=Tk$ แล้วเริ่มกำหนดค่า Threshold T_0 ลากไปตัดกับเส้นกราฟ $y=Tk$ ที่จุด $A=(T_0, Tk_0)$ และเส้นกราฟ $y=T$ ที่จุด $B=(T_1, Tk_1)$ ก็จะได้ค่า Threshold ใหม่คือ T_1 ออกมาจากนั้นใช้ค่า T_1 กระทำวนรอบแบบเดิมเพื่อให้เกิด T_2 และ T_3 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่า $T_k = T_{k+1}$ ซึ่งก็คือค่า Threshold ที่เหมาะสม

ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของเส้นกราฟ $y=T$ และ $y=Tk$ ตำแหน่งจุดตัดของค่า Threshold ที่เหมาะสม และกราฟฮิสโตแกรมที่แตกต่างกันไป สำหรับกราฟฮิสโตแกรมแบบ Bimodal จะได้แก่ภาพที่ 2.4 B, D และ E ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของ Threshold และกราฟฮิสโตแกรมแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหมุนภาพ

การหมุนภาพเป็นการแปลงอีกแบบหนึ่ง การหมุนภาพทุกครั้งจะต้องกำหนดว่าจุดใดเป็นจุดหมุนเสมอ หลังจากทำการหมุน ภาพที่ได้จะคงยังมีรูปร่าง ลักษณะดั้งเดิม แต่ภาพจะมีการจัดวางที่แตกต่างไปจากเดิมอันเนื่องมาจากการหมุนนั่นเอง โดยทั่วไปจะใช้สมการหมุนภาพดังนี้

$$x' = (x \cos \theta) - (y \sin \theta) \quad (2.5)$$

$$y' = (x \sin \theta) + (y \cos \theta) \quad (2.6)$$

เมื่อ x', y' คือพิกัดจุดภาพใหม่ที่ได้จากการหมุน

x, y คือพิกัดจุดภาพของภาพเดิม

θ คือมุมที่ต้องการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยมีจุดกำเนิดเป็นจุดหมุน

สำหรับการหมุนภาพโดยสมการที่ 2.5 และ 2.6 พิกัดจุดภาพใหม่ที่คำนวณได้อาจไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม จึงทำให้การระบุค่าระดับสีเทาในแต่ละจุดภาพที่ได้จากการหมุน อาจไม่ถูกต้องนัก ตัวอย่างเช่นการหมุนภาพขนาด 3x3 จุดภาพ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา โดยมีจุด G เป็นจุดหมุน ดังภาพที่ 2.5 ก็จะได้พิกัดจุดภาพใหม่ของแต่ละจุดภาพแสดงในตารางที่ 2.1 และภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการหมุนดังภาพที่ 2.6

A	B	C
D	E	F
G	H	I

ภาพที่ 2.5 ภาพขนาด 3x3 จุดภาพ ก่อนกระทำการหมุนภาพ

จากตารางที่ 2.1 พบว่าที่พิกัดจุดภาพ $(-1,1)$ และ $(1,1)$ จะมีค่าระดับสีเทาที่ได้จากการหมุนทับซ้อนกัน (A และ D, H และ I) ส่วนที่พิกัดจุดภาพ $(0,2)$ จะไม่มีค่าระดับสีเทาใดๆ ที่ได้เนื่องจากการหมุนภาพ ลักษณะของภาพที่ได้จากการหมุนจะเป็นดังภาพที่ 2.6

	C	
B	-	F
A,D	E	H,I
	G	

ภาพที่ 2.6 การหมุนภาพที่ 2.5 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา ด้วยสมการที่ 2.5 และ 2.6 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พิกัดจุดภาพที่ได้จากการหมุนภาพด้วยสมการที่ 2.5 และ 2.6

ค่าระดับสีเทา	พิกัดจุดภาพเดิม ก่อนการหมุนภาพ	พิกัดจุดภาพใหม่ ที่ได้จากการคำนวณ	พิกัดจุดภาพใหม่ ที่เป็นจำนวนเต็ม
A	(0, 2)	(-1.414, 1.414)	(-1, 1)
B	(1, 2)	(-0.707, 2.121)	(-1, 2)
C	(2, 2)	(0, 2.828)	(0, 3)
D	(0, 1)	(-0.707, 0.707)	(-1, 1)
E	(1, 1)	(0, 1.414)	(0, 1)
F	(2, 1)	(0.707, 2.121)	(1, 2)
G	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
H	(1, 0)	(0.707, 0.707)	(1, 1)
I	(2, 0)	(1.414, 1.414)	(1, 1)

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการหมุนภาพโดยตรงด้วยสมการที่ 2.5 และ 2.6 จิตยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการหมุนภาพแบบย้อนกลับ (Backward rotation) [6] มีสมการดังนี้

$$x = (x' \cos \theta) + (y' \sin \theta) \quad (2.7)$$

$$y = (-x' \sin \theta) + (y' \cos \theta) \quad (2.8)$$

การหมุนภาพแบบย้อนกลับด้วยสมการที่ 2.7 และ 2.8 นี้ สามารถแก้ปัญหาเรื่องการทับซ้อนและขาดหายของข้อมูลที่ได้จากการหมุนภาพโดยตรง เพราะอาศัยการคำนวณแบบย้อนกลับเพื่อหาว่า ค่าระดับสีเทาของแต่ละตำแหน่งพิกัดในภาพใหม่จะตรงกับตำแหน่งพิกัดใดในภาพเดิมที่ต้องการหมุนนั่นเอง ตัวอย่างวิธีการหมุนภาพแบบย้อนกลับภาพที่ 2.5 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา โดยมีจุด G เป็นจุดหมุน จะได้ตำแหน่งพิกัดของภาพเดิมดังตารางที่ 2.2 และได้ภาพที่ผ่านกระบวนการหมุนแบบย้อนกลับดังรูปที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การหมุนภาพที่ 2.5 แบบย้อนกลับ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 45 องศา ด้วยสมการที่ 2.7 และ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 พิกัดจุดภาพที่ได้จากการหมุนภาพแบบย้อนกลับด้วยสมการที่ 2.7 และ 2.8

พิกัดจุดภาพ ของภาพใหม่	พิกัดจุดภาพของ ภาพเดิมที่คำนวณได้	พิกัดจุดภาพของภาพ เดิมที่เป็นจำนวนเต็ม	ค่าระดับสีเทา
(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	G
(0, 1)	(0.707, 0.707)	(1, 1)	E
(0, 2)	(1.414, 1.414)	(1, 1)	E
(0, 3)	(2.121, 2.121)	(2, 2)	C
(1, 1)	(1.414, 0)	(1, 0)	H
(1, 2)	(2.121, 0.707)	(2, 1)	F
(-1, 1)	(0, 1.414)	(0, 1)	D
(-1, 2)	(-1.414, 2.121)	(1, 2)	B

จากภาพที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าที่พิกัดจุดภาพ (0,1) และ (0,2) จะมีค่าระดับสีเทาเท่ากัน (คือค่าระดับสีเทาเท่ากับ E) และค่าระดับสีเทาที่บางตำแหน่งจากภาพเดิมอาจหายไปเมื่อทำการหมุนมาแล้วคือ A และ I อย่างไรก็ตาม ภาพใหม่ที่ได้จากการหมุนภาพแบบย้อนกลับนี้จะชัดเจน และมีลักษณะใกล้เคียงกับภาพเดิมมากกว่าการหมุนภาพโดยตรง

2.4 มอโฟโลยี

รูปภาพนั้นสามารถอธิบายในรูปแบบของเซตได้ เช่น เซตของจุดภาพสีดำภายในภาพไบนารี มอโฟโลยี (Morphology) เป็นวิธีการประมวลผลภาพในรูปแบบของเซตอีกแบบหนึ่ง ซึ่งใช้อธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของภาพเช่น รูปร่าง (Shape) ขอบภาพ (Boundary) เส้นโครงร่าง (Skeleton) และมักถูกนำไปใช้ทั้งในขั้นตอนก่อน และหลังกระบวนการต่างๆ (Pre process and post process) ทั้งการกรอง (Filtering) การทำภาพให้บาง (Thinning) การตัดส่วนเกินของภาพ (Pruning) การกำจัดสัญญาณภาพรบกวน เป็นต้น

กำหนดให้ A และ B เป็นเซตในระนาบสองมิติ (Z^2) โดยที่ $a = (a_1, a_2)$ และ $b = (b_1, b_2)$ ตามลำดับ จะสามารถอธิบายคุณสมบัติการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation) ของเซต A ด้วย $x = (x_1, x_2)$ เขียนแทนด้วย $(A)_x$ ได้ดังนี้

$$(A)_x = \{c | c = a + x, \text{ for } a \in A\} \quad (2.9)$$

คุณสมบัติการสะท้อน (Reflection) ของเซต B เขียนแทนด้วย \hat{B} คือ

$$\hat{B} = \{x | x = -b, \text{ for } b \in B\} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

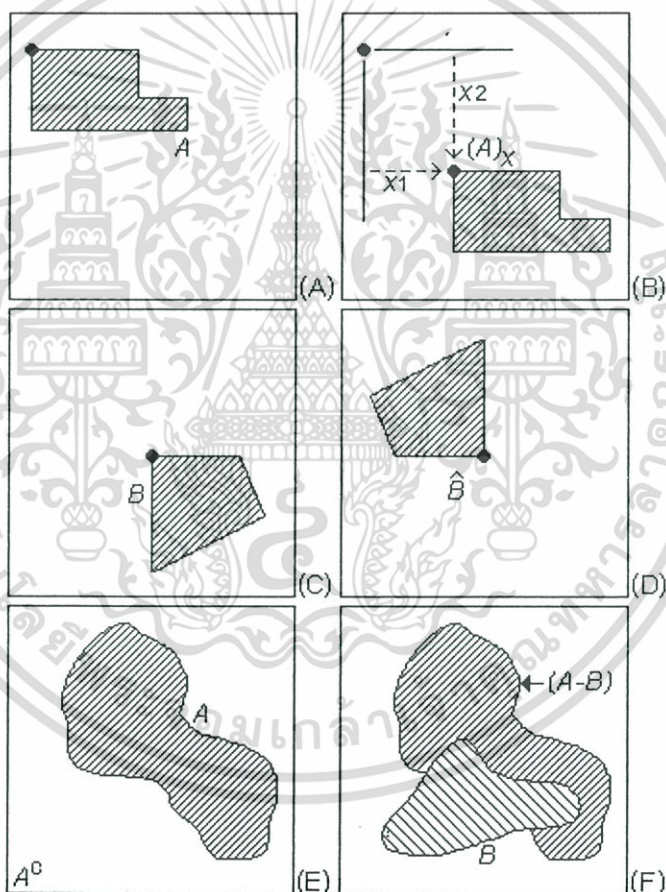
คุณสมบัติคอมพลิเมนต์ (Complement) ของเซต A คือ

$$A^c = \{x | x \notin A\} \quad (2.11)$$

คุณสมบัติความแตกต่างระหว่างเซต A กับ B เขียนแทนด้วย $A - B$ คือ

$$A - B = \{x | x \in A, x \notin B\} = A \cap B^c \quad (2.12)$$

ภาพที่ 2.8 อธิบายคุณสมบัติต่างๆ ตามทฤษฎีมอโฟโลยี ภาพที่ 2.8A และ B แสดงคุณสมบัติการเคลื่อนย้ายของเซต A ด้วย $x = (x_1, x_2)$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซต A จะมีรูปร่างดั้งเดิม แต่ย้ายตำแหน่งไปตามพิกัดของ $x = (x_1, x_2)$ ภาพที่ 2.8C และ D แสดงคุณสมบัติการสะท้อนของเซต B ภาพที่ 2.8E เป็นคุณสมบัติการคอมพลิเมนต์ของเซต A และภาพที่ 2.8F แสดงคุณสมบัติความแตกต่างของเซต A ในภาพที่ 2.8E กับเซต B



ภาพที่ 2.8 (A) เซต A (B) คุณสมบัติการเคลื่อนย้ายของเซต A ด้วย $x = (x_1, x_2)$ (C) เซต B (D) คุณสมบัติการสะท้อนของเซต B (E) เซต A และคอมพลิเมนต์ของเซต A (F) คุณสมบัติความแตกต่างของเซต $A - B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ไดเลชัน

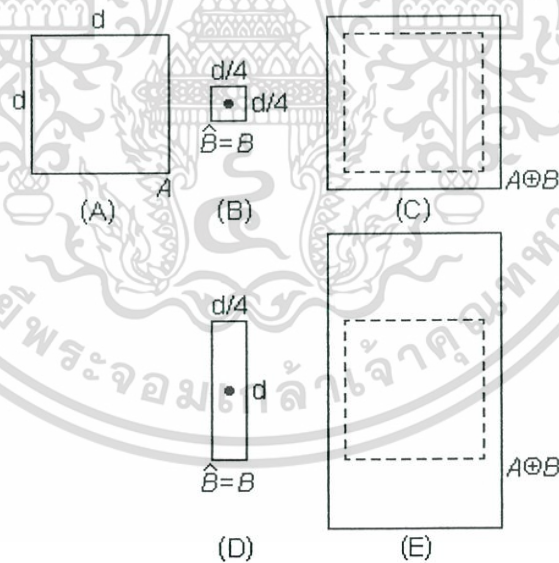
กำหนดให้เซต A และ B เป็นเซตใน Z^2 และ \emptyset แทนเซตว่าง กระบวนการไดเลชัน A ด้วย B (Dilation of A by B) เขียนแทนด้วย $A \oplus B$ คือ

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.13)$$

กระบวนการไดเลชันสามารถอธิบายได้ดังนี้ ลำดับแรกเซต B หรือ Structuring element จะถูกดำเนินการด้วยการสะท้อนกลับและเคลื่อนย้ายด้วย x สำหรับกระบวนการไดเลชัน A ด้วย B ก็คือทุกๆ ตำแหน่ง x ที่เคลื่อนผ่านโดยที่มี \hat{B} กับ A ซ้อนทับกันอยู่นั่นเอง หรืออาจเขียนเป็นสมการในรูปของเซตได้อีกแบบคือ

$$A \oplus B = \{x | [(\hat{B})_x \cap A] \subseteq A\} \quad (2.14)$$

ภาพที่ 2.9A และ 2.9B แสดงเซต A รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเซต B หรือ Structuring element รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก (ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า B และ \hat{B} จะมีรูปร่างเหมือนกัน) เส้นประในภาพ 2.9C คือขอบเขตเดิมของเซต A ส่วนเส้นทึบคือขอบเขตใหม่ของผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการไดเลชัน A ด้วย B หรือทุกๆ จุดของเซต \hat{B} ที่เคลื่อนผ่านด้วย x และทับซ้อนกับเซต A ส่วนภาพ 2.9D และ 2.9E เป็น Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและผลลัพธ์ที่ได้ของกระบวนการไดเลชัน A ด้วย B นี้



ภาพที่ 2.9 (A) เซต A (B) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (C) ผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชัน A ด้วย Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (D) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (E) ผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชัน A ด้วย B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

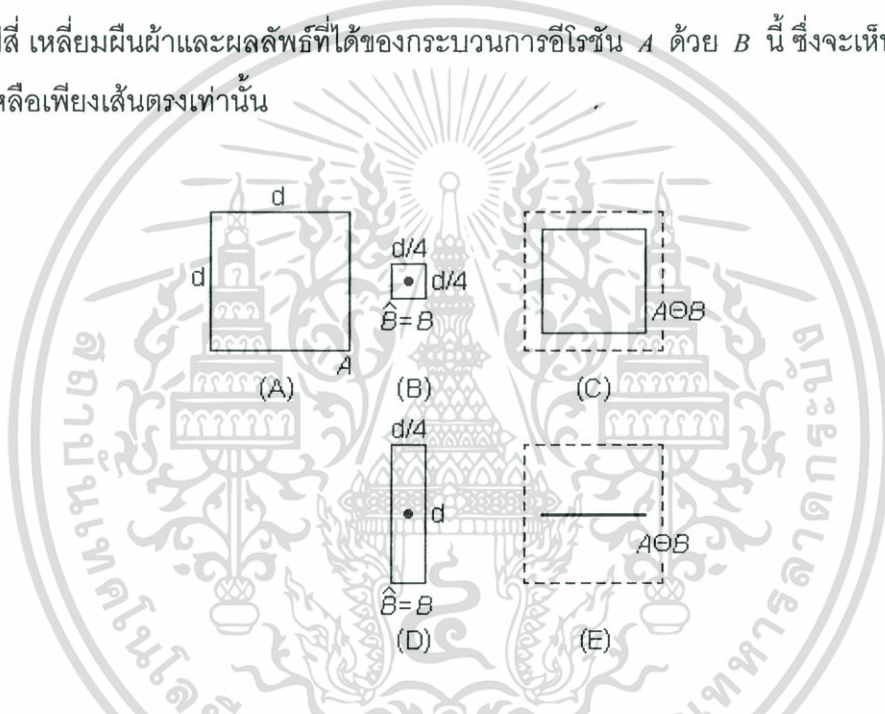
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 อีโรชัน

กำหนดให้เซต A และ B เป็นเซตใน Z^2 และ \emptyset แทนเซตว่าง กระบวนการอีโรชัน A ด้วย B (Erosion of A by B) เขียนแทนด้วย $A \ominus B$ คือ

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (2.15)$$

กระบวนการอีโรชัน A ด้วย B คือเซตของทุกๆ ตำแหน่ง x ซึ่งเซต B เคลื่อนที่ผ่านและอยู่ในขอบเขตของ A ดังเช่นในภาพที่ 2.10A และ 2.10B เซต A และ Structuring element B มีลักษณะเหมือนกับภาพที่ 2.9 เส้นประในภาพ 2.10C คือขอบเขตเดิมของเซต A ส่วนเส้นทึบคือขอบเขตใหม่ของผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B หรือทุกๆ จุดที่จุดศูนย์กลางของเซต B เคลื่อนที่ผ่านและทับซ้อนกับเซต A ส่วนภาพ 2.9D และ 2.9E เป็น Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและผลลัพธ์ที่ได้ของกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B นี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้เหลือเพียงเส้นตรงเท่านั้น



ภาพที่ 2.10 (A) เซต A (B) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (C) ผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B จาก Structuring element รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (D) Structuring element B รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (E) ผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B จาก Structuring element รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.4.3 โอเพนนิ่งและโคลสซิง

จากหัวข้อที่ผ่านมาสรุปได้ว่า กระบวนการโดเลชันคือการเพิ่มขยายพื้นที่ภาพ และกระบวนการอีโรชันคือการตัดลดพื้นที่ภาพนั่นเอง ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงกระบวนการโอเพนนิ่งและโคลสซิง (Opening and Closing) ซึ่งเป็นสองกระบวนการที่นำหลักการของโดเลชันและอีโรชันมาประยุกต์ใช้ โดยกระบวนการโอเพนนิ่งจะทำให้ขอบมุมของภาพที่ยื่นออกมาราบเรียบมากขึ้นและ

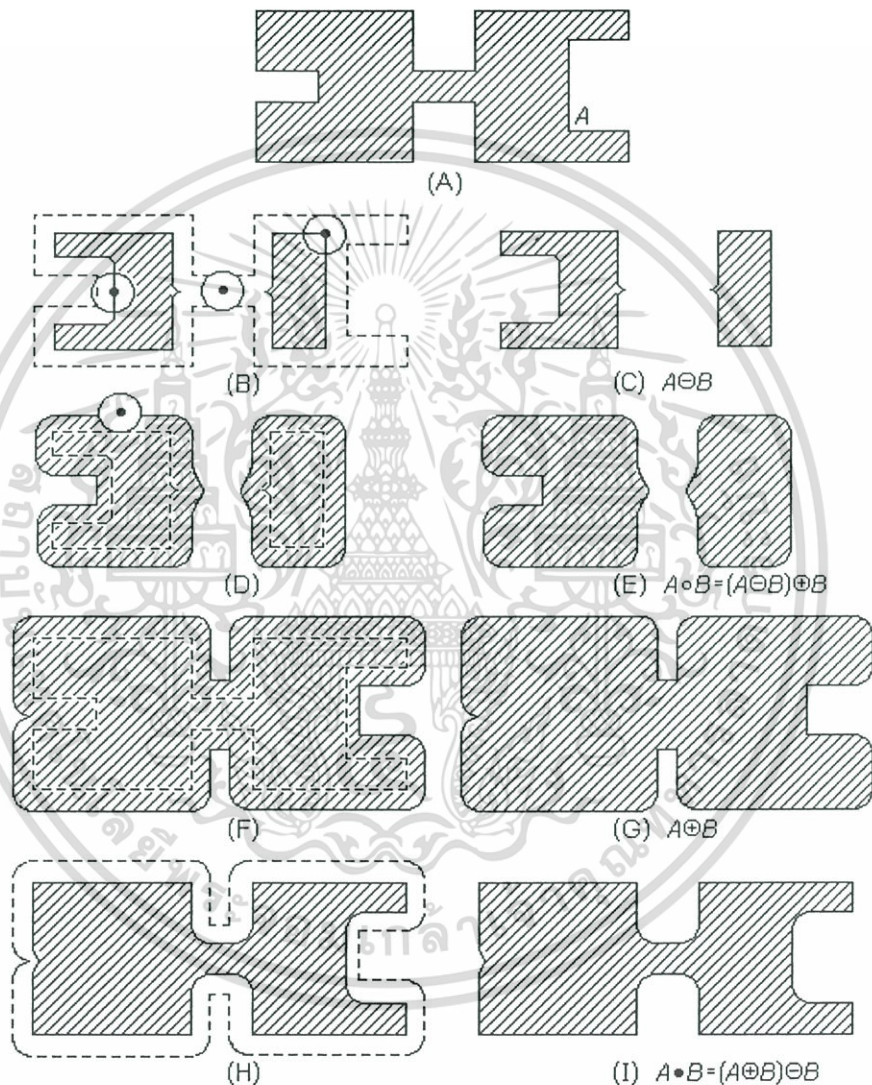
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดส่วนเชื่อมต่อนที่เล็กและบางของภาพออกไป กระบวนการโคลสซิงทำให้ขอบมุมของภาพราบเรียบเช่นกัน แต่จะตรงข้ามกับกระบวนการโอเพนนิ่งกล่าวคือจะถมพื้นที่ในช่องว่างที่เล็กและแคบให้เต็ม กระบวนการโอเพนนิ่ง A ด้วย B เขียนแทนด้วย $A \circ B$ คือ

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.16)$$

กระบวนการโคลสซิง A ด้วย B เขียนแทนด้วย $A \bullet B$ คือ

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.17)$$

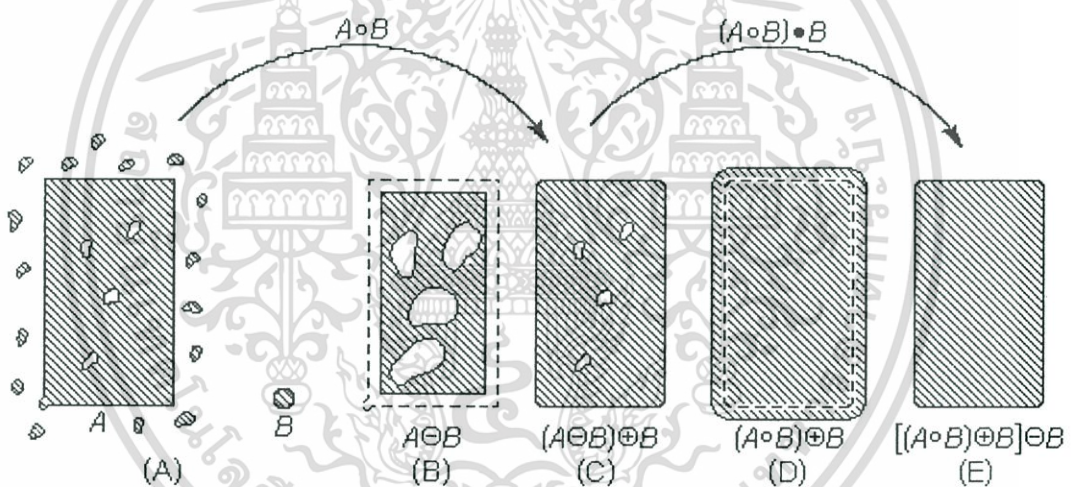


ภาพที่ 2.11 (A) เซต A (B) กระบวนการอีโรชัน A ด้วย Structuring element รูปวงกลม (C) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชัน (D) กระบวนการไดเลชัน (E) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชันหรือกระบวนการโอเพนนิ่ง (F) กระบวนการไดเลชัน (G) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไดเลชัน (H) กระบวนการอีโรชัน (I) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันหรือกระบวนการโคลสซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือกระบวนการโอเพนนิ่ง A ด้วย B จะได้มาจากกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำกระบวนการไดเลชันอีกครั้งหนึ่ง เช่นเดียวกันกระบวนการโคลสซิง A ด้วย B ก็ได้มาจากกระบวนการไดเลชัน A ด้วย B แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำกระบวนการอีโรชันอีกครั้งนั่นเอง

ภาพที่ 2.11A เป็นตัวอย่างกระบวนการโอเพนนิ่งและโคลสซิงเซต A ด้วย Structuring element รูปวงกลม ในภาพ 2.11B แสดงทุกๆ ตำแหน่งรอบเซต A ที่ Structuring element รูปวงกลมทำกระบวนการอีโรชันและเมื่อเสร็จสิ้นแล้วจะเห็นได้ว่า บริเวณเชื่อมต่อแคบๆ ตรงกลางจะถูกกำจัดออกไปดังในภาพ 2.11C เนื่องจากความกว้างของบริเวณนั้นน้อยกว่าความกว้างของ Structuring element นั่นเอง ภาพ 2.11D เป็นการนำภาพที่ผ่านกระบวนการอีโรชันแล้วมาทำกระบวนการไดเลชันอีกครั้ง ภาพ 2.11E ก็คือผลลัพธ์ของกระบวนการโอเพนนิ่งนั่นเอง และเช่นเดียวกัน ภาพ 2.11F ถึง I แสดงกระบวนการโคลสซิงเซต A ด้วย Structuring element รูปวงกลม ภาพผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ออกมาจะเห็นได้ว่าบริเวณช่องว่างแคบๆ ทางด้านซ้ายถูกถมจนเต็ม อันเนื่องมาจากบริเวณช่องว่างนั้นแคบกว่าความกว้างของ Structuring element นั่นเอง



ภาพที่ 2.12 การประยุกต์ใช้มอโฟโลยีกำจัดสัญญาณภาพรบกวน (A) ภาพวัตถุรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สัญญาณภาพรบกวน และ Structuring element B รูปวงกลม (Disk) (B) ภาพผลลัพธ์กระบวนการอีโรชัน (C) ภาพผลลัพธ์กระบวนการโอเพนนิ่ง (D) ภาพผลลัพธ์กระบวนการไดเลชันจากภาพ C (E) ภาพผลลัพธ์กระบวนการโคลสซิง

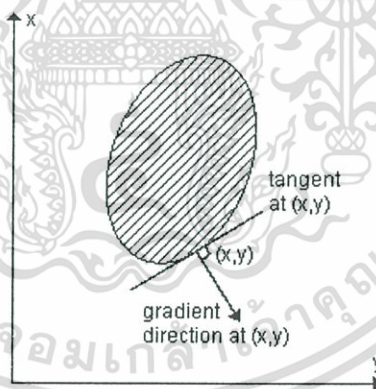
ภาพที่ 2.12 เป็นตัวอย่างการใช้อมอโฟโลยีกำจัดสัญญาณภาพรบกวนในภาพไบนารี โดยภาพ 2.12A คือภาพวัตถุรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสี่เหลี่ยมบนพื้นจากสีขาว และสัญญาณภาพรบกวนทั้งในและนอกบริเวณวัตถุเอง (เซต A ประกอบด้วยวัตถุสี่เหลี่ยม สัญญาณภาพรบกวนสี่เหลี่ยมบนพื้นจากสีขาว ภายนอกวัตถุกับสีขาวในพื้นที่วัตถุสี่เหลี่ยม) และ Structuring element B รูปวงกลม (Disk) ในขั้นแรก จะทำกระบวนการอีโรชัน A ด้วย B ดังในภาพ 2.12B แล้วทำกระบวนการไดเลชันภาพผลลัพธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวด้วย Structuring element เดียวกัน ดังในภาพ 2.12C ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการโอเพนนิ่ง A ด้วย B จะเห็นได้ว่าสัญญาณภาพรบกวนภายในวัตถุยังคงเหมือนเดิมแต่สัญญาณภาพรบกวนภายนอกวัตถุถูกกำจัดออกไป เนื่องจาก Structuring element รูปวงกลมมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของสัญญาณภาพรบกวนนั่นเอง จากนั้นนำภาพผลลัพธ์จากภาพ 2.12C มาทำกระบวนการไดเลชันและอีโรชันดังในภาพ 2.12D และภาพ 2.12E ตามลำดับ ซึ่งภาพ 2.12E ก็คือภาพผลลัพธ์ของกระบวนการโคลสซิงนั่นเอง ภาพผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ออกมาจะพบว่าสัญญาณภาพรบกวนภายในวัตถุถูกกำจัดออกไป

2.5 การหาขอบภาพ

การตรวจหาตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏในภาพสามารถทำได้หลายวิธีการ อาทิเช่น การแบ่งส่วนภาพตามค่าระดับสีเทา การแบ่งส่วนภาพตามลักษณะพื้นผิวของวัตถุ เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยให้สามารถจำแนกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นฉากได้อย่างชัดเจน การหาขอบภาพ (Edge detection) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ขอบเขตของแต่ละวัตถุในภาพปรากฏชัดเจนมากขึ้น

วิธีการหาขอบภาพมีหลากหลายวิธีการ Sobel operator เป็นวิธีการหาขอบภาพที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีการคำนวณไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และยังสามารถหาทิศทางของ Gradient ทั้งในแนวแกน x และแกน y ได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.13 ทิศทางของ Gradient ที่จุดขอบภาพ (x, y) ของวัตถุ

สมการที่ใช้คำนวณหาขนาดและทิศทางของ Gradient (Gradient Magnitude and Gradient direction) ในแต่ละจุดภาพ มีดังนี้

$$\text{gradient magnitude } (x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.18)$$

$$\text{gradient direction } (x, y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2.19)$$

เมื่อ G_x, G_y คือค่า Gradient ในแนวแกน x และแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดภาพใดที่มีค่าขนาด Gradient มากกว่าค่า Threshold ที่กำหนดไว้ จะพิจารณาให้เป็นจุดขอบภาพ สำหรับค่า Gradient ในแนวแกน x และแกน y (G_x, G_y) หาได้จากการคอนโวลูชัน (Convolution) แต่ละจุดภาพด้วย Mask ขนาด 3×3 ทั้งในแนวแกน x และแกน y ดังในภาพที่ 2.14

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

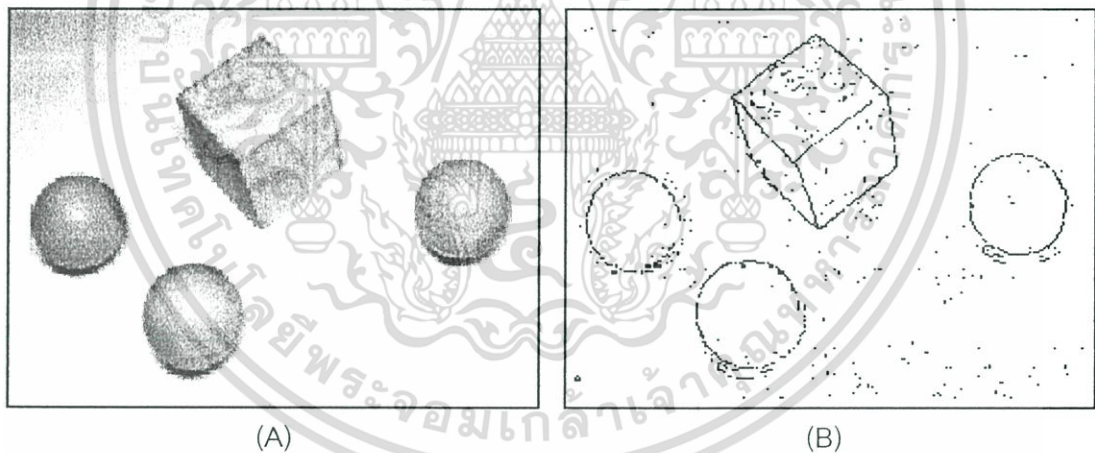
(A)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(B)

ภาพที่ 2.14 Mask ขนาด 3×3 สำหรับหาค่า Gradient (A) แนวแกน x (B) แนวแกน y

ภาพที่ 2.15A เป็นภาพระดับสีเทาของวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูปทรงกลม ภาพที่ 2.15B เป็นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel operator จะเห็นได้ว่าแต่ละจุดภาพที่ปรากฏคือจุดขอบภาพของแต่ละวัตถุ ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงขอบเขตของแต่ละวัตถุได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

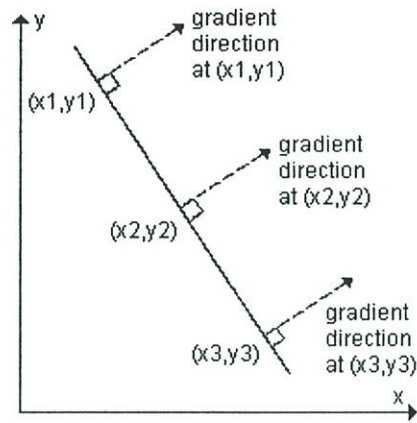


ภาพที่ 2.15 (A) ภาพระดับสีเทา (B) ขอบภาพที่ได้จากวิธี Sobel operator

2.6 ฮาฟทรานส์ฟอร์ม

ฮาฟทรานส์ฟอร์ม (Hough transform) เป็นวิธีการตรวจหารูปร่างของวัตถุลักษณะต่างๆ ภายในภาพ อาทิเช่น เส้นตรง วงกลม และวงรี เป็นต้น เนื่องจากวัตถุโดยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นหากสามารถตรวจหาจุดภาพที่แสดงรูปร่างของวัตถุเหล่านี้ได้ ก็จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งและขนาดของวัตถุต่างๆ ภายในภาพได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 ทิศทางของ Gradient ที่จุดภาพต่างๆ บนเส้นตรงเดียวกัน

จากภาพที่ 2.16 แสดงทิศทาง Gradient ของเส้นตรง จะเห็นได้ว่าเส้นตรงมีคุณสมบัติที่ชัดเจนอย่างหนึ่งคือ แต่ละจุดภาพที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน จะมีค่าทิศทางของ Gradient ที่เท่ากันทุกจุดภาพนั่นเอง สำหรับการนำวิธีฮาฟทรานส์ฟอร์มมาตรวจหาเส้นตรงมักจะใช้สมการโพล่า (Polar equation) คือ

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (2.20)$$

เมื่อ x, y คือตำแหน่งพิกัดของจุดภาพบนระนาบภาพ x, y

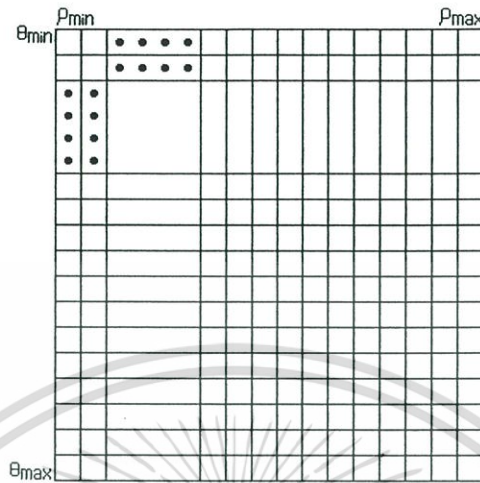
ρ คือระยะทางตั้งฉากจากเส้นตรงถึงจุดกำเนิดในระนาบภาพ x, y

θ คือมุมจากแกน x ถึงเส้นตั้งฉาก

จากนั้นสร้าง Accumulator cell สองมิติ ซึ่งมีส่วนประกอบของ ρ, θ กับทุกๆ จุดภาพ พิกัด x, y ของจุดภาพใดๆ ที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันจะสะสมอยู่ใน Accumulator cell ตำแหน่งเดียวกันโดยมีค่า ρ, θ เท่ากัน ดังนั้นถ้าจำนวนที่สะสมใน Accumulator cell ตำแหน่งใดมีค่ามากกว่าค่า Threshold ที่กำหนดไว้จะถูกแปลงกลับไปเป็นพิกัด x, y ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเส้นตรงดังกล่าวมีพิกัดที่จุดใดบ้างบนระนาบภาพ x, y

อย่างไรก็ตามการตรวจหาเส้นตรง หรือรูปทรงอื่นๆ ด้วยฮาฟทรานส์ฟอร์มมีข้อเสียอยู่หลายประการคือ ต้องการพื้นที่ของหน่วยความจำมากสำหรับ Accumulator cell และใช้เวลาในการคำนวณมาก จากข้อเสียนี้ บทความ [2,3] ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงฮาฟทรานส์ฟอร์มให้ดีขึ้น โดยมีแนวคิดในการปรับปรุงคือหาจุดปลายหัวท้ายของแต่ละลายเส้น ถ้ากำหนดให้จุดปลายเริ่มต้นเป็น P_i และจุดปลายสุดท้ายเป็น P_j นำคู่ของจุดปลายหัวท้ายของแต่ละลายเส้นมาคำนวณหาค่า ρ_{ij} และ θ_{ij} ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของจุดปลายทั้งสองด้วยสมการที่ 2.20 จากนั้นนำจุดภาพที่อยู่กึ่งกลางระหว่างจุดปลายหัวท้ายทั้งสองมาคำนวณหาค่า ρ และ θ แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่า ρ_{ij} และ θ_{ij} ถ้าค่า ρ และ θ ค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่า ρ_{ij} และ θ_{ij} แสดงว่าจุดภาพดังกล่าวเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน แต่ถ้าค่า ρ และ θ ไม่เท่ากับค่า ρ_{ij} และ θ_{ij} จุดภาพดังกล่าวอาจจะเป็นวงกลม วงรี หรือส่วนโค้งอื่นๆ



ภาพที่ 2.17 Accumulator cell สองมิติ



ภาพที่ 2.18 เส้นตรงในระนาบภาพ x, y ที่มีค่า ρ และ θ แตกต่างกันไป

อย่างไรก็ตามลายเส้นที่ตรวจพบอาจจะเป็นเส้นสั้นๆ ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ดังนั้นจะทำการพิจารณาลายเส้นที่พบว่าเป็นเส้นตรงที่ปรากฏในภาพจริง หรือเป็นลายเส้นที่เกิดจากสัญญาณรบกวน โดยคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น (P_b) ของจุดภาพสีดำทั้งหมดต่อจุดภาพสีขาวและดำทั้งหมดในภาพ

$$P_b = \frac{\text{BlackPixel}}{\text{BlackPixel} + \text{WhitePixel}} \quad (2.21)$$

ถ้ากำหนดให้ C_{ij} เป็นจำนวนจุดภาพสีดำทั้งหมดตลอดแนวลายเส้น และ n_{ij} เป็นจำนวนจุดภาพสีขาวและดำทั้งหมดตลอดแนวลายเส้น เมื่อ i และ j คือจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของลายเส้นตามลำดับ คำนวณน้ำหนัก W_{ij} ของแต่ละลายเส้นหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_{ij} = \begin{cases} C_{ij} \ln\left(\frac{C_{ij}}{n_{ij}Pb}\right) + (n_{ij} - C_{ij}) \ln\left(\frac{n_{ij} - C_{ij}}{n_{ij}(1 - Pb)}\right), & \text{if } \frac{C_{ij}}{n_{ij}} \geq Pb \\ 0, & \text{if } \frac{C_{ij}}{n_{ij}} < Pb \end{cases} \quad (2.22)$$

ในกรณีที่ค่าน้ำหนัก W_{ij} ของลายเส้นมีค่ามากกว่าศูนย์ ลายเส้นนั้นจะถูกเลือกและใช้คำนวณในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าเท่ากับศูนย์ก็จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวน

สุดท้ายคำนวณหาจุดปลายหัวท้ายที่แท้จริงของแต่ละลายเส้น เนื่องจากจุดปลายหัวท้ายของลายเส้นที่หาได้ในขั้นตอนที่ผ่านมาอาจไม่ใช่จุดปลายหัวท้ายที่แท้จริง เพราะวาลายเส้นอาจจะถูกตัดขาดเป็นช่วงๆ อันเนื่องจากสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงต้องหาจุดปลายหัวท้ายที่แท้จริงโดยการคำนวณหา Maximum scoring (S_{ij}) จากการสุ่มเลือกจุดปลายหัวท้ายในหลายๆ จุด นั่นคือ

$$S_{ij} = \frac{C_{ij} - n_{ij}Pb}{(n_{ij}Pb(1 - Pb))^{1/2}} \quad (2.23)$$

จุดปลายหัวท้ายใดที่มีค่า S_{ij} สูงสุดจะถูกเลือกให้เป็นจุดปลายหัวท้ายที่ถูกต้อง



ภาพที่ 2.19 (A) ขอบภาพที่ได้จากภาพที่ 2.15 (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาเส้นตรงและวงกลมด้วยวิธีการ [2,3]

ภาพที่ 2.19A แสดงขอบภาพที่ได้จากภาพที่ 2.15A ภาพที่ 2.19B เป็นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาเส้นตรงและวงกลมที่ปรากฏอยู่ในภาพด้วยวิธีการ [2,3] สำหรับรายละเอียดวิธีการตรวจหาวงกลมและวงรีด้วยวิธีฮัฟฟแมนส์ฟอรัม สามารถศึกษาได้จาก [2,3] ตามลำดับ

บทที่ 3

ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับการตรวจหาไบหน้ามนุษย์

ระบบการรู้จำไบหน้ามนุษย์ที่สมบูรณ์แบบนั้นจะต้องสามารถบรรลุผลต่างๆ เหล่านี้ได้

- 1 ตรวจสอบว่ามีไบหน้าอยู่ในภาพนั้นๆ หรือไม่ มีกี่ไบหน้า อยู่ที่ตำแหน่งใดและมีขนาดเท่าใด
- 2 บ่งบอกว่าไบหน้านั้นเป็นของใคร
- 3 บรรยายถึงลักษณะการแสดงออกของไบหน้านั้นๆ (เช่น ยิ้ม หัวเราะ แปลกใจ เป็นต้น)
- 4 บรรยายถึงรายละเอียดของแต่ละไบหน้า หาไบหน้าที่ตรงกับรายละเอียดที่กำหนดได้

ขั้นตอนแรกของระบบการรู้จำไบหน้าแบบอัตโนมัติคือ การระบุตำแหน่งพิกัดและขนาดของไบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพ เพราะหากไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดและขนาดของไบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพได้ การพิจารณาหาลักษณะเฉพาะบนไบหน้าในภาพนั้นๆ ก็ไม่สามารถที่จะกระทำต่อไปได้ ดังนั้นกระบวนการตรวจหาไบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพจึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญอย่างมากของระบบการรู้จำไบหน้าแบบอัตโนมัติ

3.1 ปัญหาที่พบในระบบการตรวจหาไบหน้ามนุษย์

ในระบบการตรวจหาไบหน้ามนุษย์แบบอัตโนมัติ มักจะทำบนภาพระดับสีเทาเป็นส่วนใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น ภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิด ภาพจากหนังสือพิมพ์ ซึ่งภาพเหล่านี้อาจมีข้อจำกัดที่เป็นปัญหาต่อการตรวจหาไบหน้ามนุษย์ ได้แก่

3.1.1 มุมมองของไบหน้า อาทิเช่น ภาพไบหน้าจากมุมมองด้านบนหรือล่าง ไบหน้าหันซ้ายหรือขวา ทำให้ไม่สามารถเห็นลักษณะเด่นของไบหน้า คือ ตาทั้งสองข้าง และปาก ได้

3.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ บนไบหน้า เช่น หนวดเครา แว่นตา หรือ หมวก ซึ่งไม่อาจทราบได้ว่ามีหรือไม่มี อยู่ในแต่ละบริเวณของไบหน้า

3.1.3 ลักษณะการแสดงของไบหน้าเอง ได้แก่ภาพไบหน้าที่ยิ้ม หัวเราะ ซึ่งอาจทำให้ลักษณะของไบหน้าเปลี่ยนแปลงไป

3.1.4 บางส่วนของไบหน้าถูกบดบังจากสิ่งของต่างๆ เช่น แว่นตา หมวก ผ้าพันคอ

3.1.5 รูปร่างและทิศทางของไบหน้า ในบางครั้งอาจไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งเกิดได้จากไบหน้าเอง หรือมุมเอียงของกล้องที่ใช้

3.1.6 ผลกระทบที่เกิดจากคุณภาพของภาพเอง อาจมาจากการเปลี่ยนแปลงของแสงเงา คุณลักษณะของกล้องและเลนส์ที่ใช้ หรือสัญญาณรบกวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

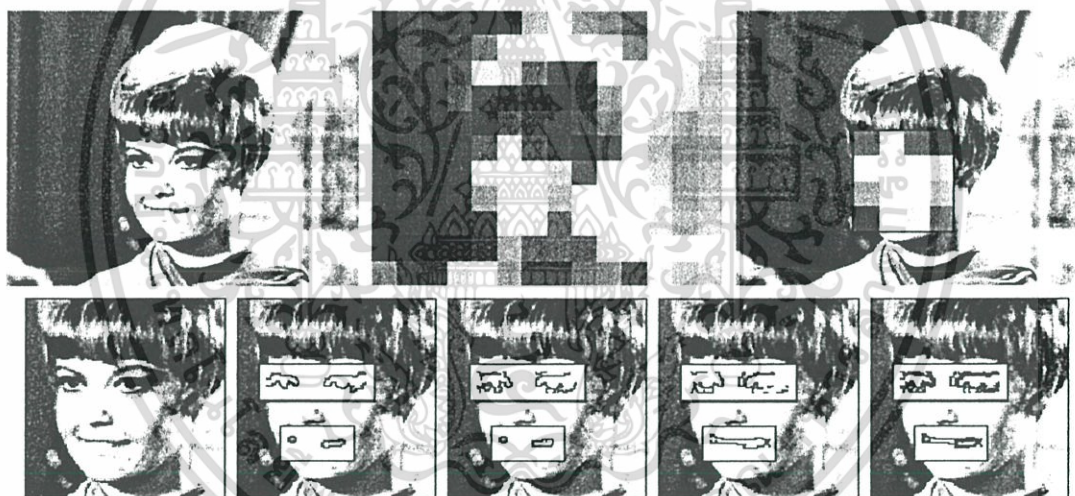
3.2 วิธีการที่ใช้ในระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์

ระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์ในงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถจำแนกได้ 4 วิธีการ [7] ดังนี้

3.2.1 Knowledge-based method

จากพื้นฐานที่ทราบมาก่อนแล้วว่า ภายในบริเวณใบหน้าจะประกอบไปด้วยลักษณะเด่นอันได้แก่ คิ้ว ตาทั้งสองข้าง จมูก ปาก และส่วนประกอบอื่นๆ ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขเพื่อตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพได้ เมื่อได้บริเวณที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้าแล้ว จึงทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าบริเวณดังกล่าวเป็นใบหน้าที่ถูกต้องหรือไม่

ตัวอย่างเช่น [8] การใช้ภาพ Mosaic ที่มีขนาดความละเอียดแตกต่างกัน พิจารณาหาบริเวณที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้า จากนั้นใช้วิธีการหาขอบภาพของตาและปาก หากมีขอบภาพแน่นอนปรากฏอยู่ในบริเวณตาและปากที่กำหนด ก็จะพิจารณาว่าเป็นบริเวณใบหน้า วิธีการนี้สามารถตรวจหาใบหน้าที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันได้ไม่มากนัก และหากใบหน้าไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ หรือมีผลของแสงเงาเข้ามาเกี่ยวข้อง จะทำให้ประสิทธิภาพของการตรวจหาใบหน้าลดลง



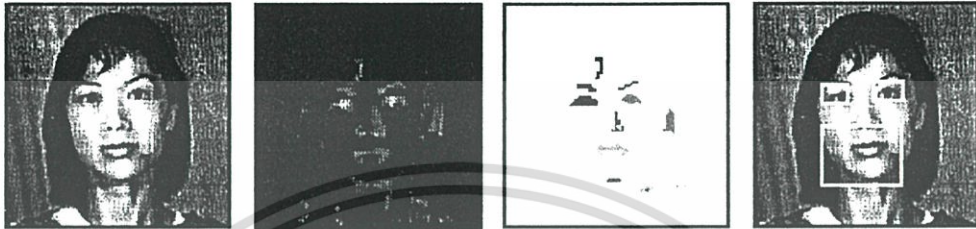
ภาพที่ 3.1 การใช้ภาพ Mosaic ตรวจหาใบหน้าตามหลักการของ Yang และ Huang [8]

3.2.2 Feature-based method

วิธีการนี้จะตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่บนใบหน้าก่อนเป็นอันดับแรก ว่าลักษณะเด่นดังกล่าวอยู่ที่ตำแหน่งใด มีรูปร่างและขนาดเท่าใด รวมไปถึงความสัมพันธ์ของแต่ละลักษณะเด่น เช่น ตำแหน่ง ขนาด รูปร่าง และระยะห่างของแต่ละลักษณะเด่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ตรวจหาใบหน้าได้อีกด้วย เช่น สีผิวหรือพื้นผิว (Skin color and texture) เพราะทั้งสีผิวและพื้นผิวของใบหน้านามนุษย์จะแตกต่างจากส่วนอื่นๆ ในภาพอย่างชัดเจน วิธีการนี้สามารถตรวจหาใบหน้าที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน และภาพที่มีแสงเงามากได้ดีกว่าวิธีการแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น [9] อาศัยหลักการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่ง ค้นหาบริเวณที่มีความเข้มของระดับสีมากกว่าบริเวณข้างเคียง ซึ่งก็คือบริเวณของลักษณะเด่นอาทิเช่น ตา ทั้งสองข้าง จมูกและปาก ที่ปรากฏอยู่บนใบหน้านั่นเอง จากนั้นพิจารณาขนาด ความกว้างความยาว ระดับสีเทา จุดศูนย์กลาง ตำแหน่งและระยะห่างของแต่ละส่วนประกอบว่าบริเวณใดน่าจะเป็นบริเวณตาทั้งสองข้างและปาก



ภาพที่ 3.2 การตรวจหาบริเวณตาทั้งสองข้างและปากจากงานวิจัยของ Chow และ Li [9]

3.2.3 Template matching method

วิธีการนี้ส่วนใหญ่มักจะกำหนดรูปแบบของใบหน้ามาตรฐาน หรือรูปแบบของลักษณะเด่นบนใบหน้ามาก่อนแล้ว (ส่วนใหญ่เป็นภาพถ่ายหน้าตรง) จากนั้นจึงตรวจหาว่าบริเวณใดในภาพมีลักษณะใกล้เคียงกับใบหน้ามาตรฐานมากที่สุด แบ่งออกได้ 2 แบบคือ

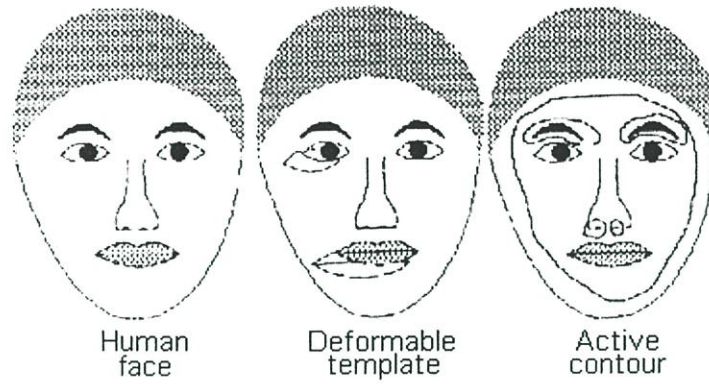
3.2.3.1 Predefined template

เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่าย อาจจะเป็น Template ของแต่ละลักษณะเด่น อาทิเช่น ตา จมูก ปาก ลักษณะขอบภาพใบหน้า หรือบริเวณใบหน้าทั้งหมด ซึ่ง Template จะมีลักษณะตายตัว ไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามหากใบหน้าที่ตรวจหา มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างไปจาก Template ที่กำหนด หรือใบหน้าไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการตรวจหาใบหน้าที่ลดลง

3.2.3.2 Deformable template

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจหาใบหน้าที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกไป Template ที่ใช้ในวิธีการนี้จะสามารถแปรเปลี่ยนรูปร่างและขนาดได้ โดยลักษณะขอบภาพ ค่าระดับสีเทา และส่วนประกอบอื่นๆ ของแต่ละลักษณะเด่นเช่น ตา และปาก จะถ่ายทอดออกมาในรูปของสมการฟังก์ชันพลังงาน (Energy function) หากบริเวณใดในภาพมีลักษณะใกล้เคียงกับ Template ที่แปรเปลี่ยนได้มากที่สุดก็จะมีค่าของฟังก์ชันพลังงานน้อยที่สุดนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากไม่สามารถสร้างสมการของ Template ที่แปรเปลี่ยนได้ให้ใกล้เคียงกับลักษณะเด่นที่ต้องการ ก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจหาใบหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

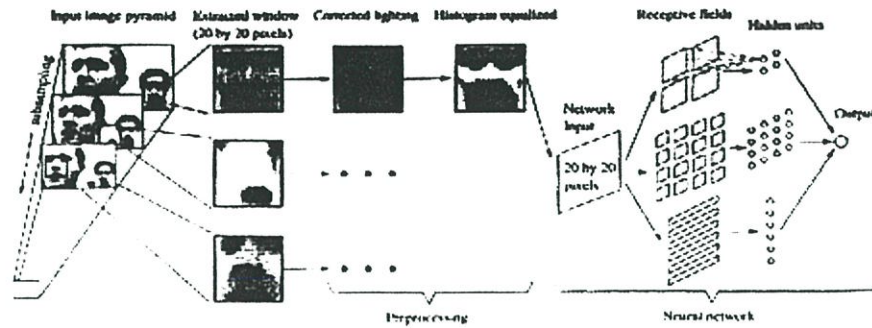


ภาพที่ 3.3 Deformable template จากงานวิจัยของ Huang และ Chen [10]

3.2.4 Appearance-based method

วิธีการ Template matching ที่กล่าวไปแล้วนั้น รูปแบบของใบหน้าจะถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว แต่วิธีการ Appearance-based นี้ รูปแบบของใบหน้าที่กำหนดจะได้มาจากข้อมูลทางสถิติและการเรียนรู้จากภาพใบหน้าโดยตรง นั่นคือนำภาพบริเวณใบหน้าและภาพบริเวณที่ไม่ใช่ใบหน้ามาเรียนรู้ (Training) แล้วเก็บไว้เป็นข้อมูลทางสถิติหรือสร้างเป็นข้อกำหนดในการแยกแยะภาพทั้งสองกลุ่มออกจากกัน เทคนิคที่น่าสนใจซึ่งถูกนำมาใช้กับวิธีการนี้มีหลากหลาย ตัวอย่างเช่น โครงข่ายประสาทเทียม [11] อีเดนมาคอฟโมเดลหรือซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน [7] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมตรวจหาใบหน้ามนุษย์ จากงานวิจัยของ Rowley [11]

3.3 การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์

การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์แบบอัตโนมัติ นั้น จะวัดได้จากความถูกต้องและความผิดพลาดของการตรวจพบใบหน้ามนุษย์ในภาพ นั่นคือสามารถตรวจหาใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพได้ถูกต้อง ทั้งตำแหน่งและขนาด อย่างครบถ้วนหรือไม่ ส่วนความผิดพลาดของการตรวจหาใบหน้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

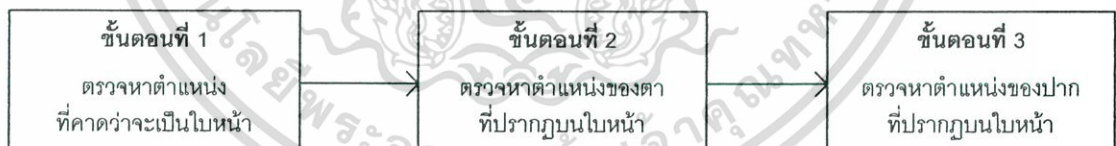
- 1 ในภาพมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ แต่ระบบกลับตัดสินใจว่า ไม่มีใบหน้าปรากฏในภาพนั้น
- 2 ในภาพไม่มีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ แต่ระบบกลับตัดสินใจว่า มีใบหน้าปรากฏในภาพนั้น

ความผิดพลาดทั้ง 2 แบบ จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในการตรวจหาใบหน้ามนุษย์นั้น หากในขั้นตอนแรกๆ ระบบตัดสินใจว่า มีใบหน้าปรากฏในภาพ แต่จริงๆ แล้วในภาพนั้นไม่มีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ ภาพดังกล่าวก็จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนต่อไปได้ หรืออีกกรณีหนึ่งระบบตัดสินใจว่า ไม่มีใบหน้าปรากฏในภาพ แต่ความจริงแล้วในภาพนั้นมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ ภาพใบหน้าดังกล่าวนี้จะไม่สามารถตรวจพบได้อีกเลยในขั้นตอนต่อไป สำหรับในงานวิจัยนี้จะพบความผิดพลาดแบบที่สองเกิดขึ้นในขั้นตอนแรกๆ มากกว่าความผิดพลาดแบบที่หนึ่ง

บทที่ 4

การหาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์

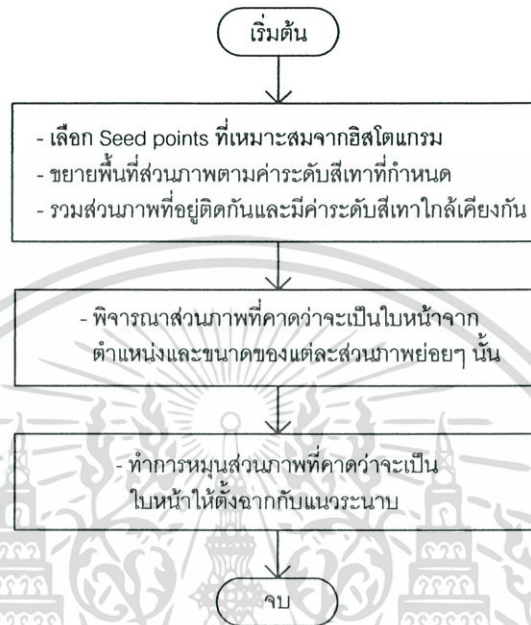
ระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาศัยสมมติฐานที่ว่าใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพจะมีระดับสีเทาที่แตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉาก ซึ่งบริเวณใบหน้าเองก็จะมีลักษณะเด่นเฉพาะเช่น ตาทั้งสองข้างและปากปรากฏอยู่ ดังนั้นระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อนในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นสามขั้นตอน (ดังภาพที่ 4.1) คือ ขั้นตอนหนึ่งแบ่งภาพเป็นส่วนภาพย่อยๆ ตามค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันด้วยวิธีการ Seeded region growing [1] แล้วพิจารณาว่าส่วนภาพใดมีรูปร่างตรงกันหรือใกล้เคียงกับรูปแบบของใบหน้าที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการหมุนภาพบริเวณดังกล่าวให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ ขั้นตอนที่สองตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่บนใบหน้าทั้งหมด แล้วพิจารณาหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้าง โดยใช้ภาพสองระดับสีประกอบกับภาพซึ่งผ่านกระบวนการหาขอบภาพและกระบวนการมอโฟโลยี บริเวณใดที่ไม่ใช่ก็จะตัดออกไป ในขั้นตอนที่สามนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ได้มากำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า และตรวจสอบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบใบหน้าที่กำหนดไว้หรือไม่ ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) สุดท้ายทำการตรวจหาบริเวณปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีฮัฟทรานส์ฟอร์ม [2,3] เพื่อความถูกต้องอีกครั้ง โดยในบทที่ 4 นี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของขั้นตอนที่หนึ่งคือการหาส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้า ส่วนขั้นตอนที่สองและสามจะอธิบายไว้ในบทที่ 5 และ 6



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อน

สำหรับขั้นตอนการตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้ามนุษย์นี้ จะทำการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) ออกเป็นส่วนภาพย่อยๆ (Regions) ตามความแตกต่างของค่าระดับสีเทา ด้วยวิธีการ Seeded region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน [1] กล่าวคือ จะเลือก Seed points ที่เหมาะสมจากฮิสโตแกรมในแต่ละส่วนของภาพ จากนั้นทำการขยายพื้นที่ส่วนภาพ (Growing) ออกไปยังจุดภาพข้างเคียงโดยพิจารณาจากค่าระดับสีเทาที่กำหนดไว้ ภายหลังเสร็จสิ้นขั้นตอนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ จะทำการรวมส่วนภาพที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกันเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคียงกันเข้าด้วยกัน (Merging) เมื่อแบ่งส่วนภาพออกเป็นส่วนภาพย่อยๆ ได้แล้วก็จะพิจารณาว่า ส่วนภาพใดบ้างที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ โดยพิจารณาจากตำแหน่งและขนาดของแต่ละส่วน ภาพย่อยๆ นั้น สุดท้ายทำการหมนส่วนภาพที่ได้ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ เพื่อนำไปตรวจหา บริเวณตาและปากในขั้นตอนต่อไป



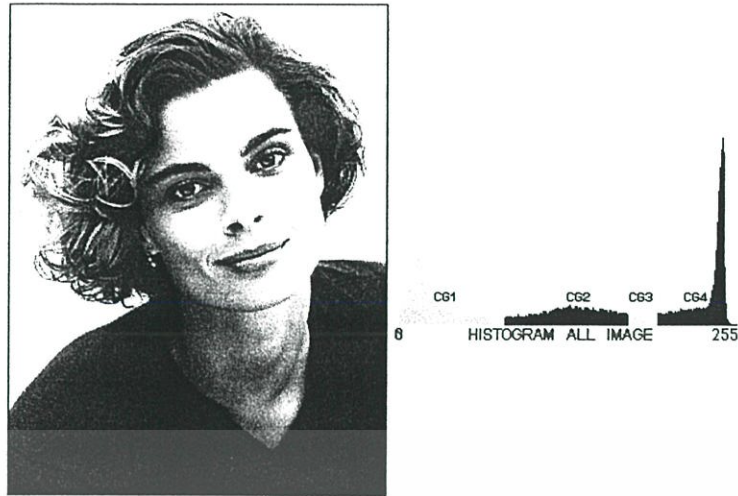
ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานของ การตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้า

4.1 การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Seeded Region Growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน

จากสมมติฐานที่ว่า ใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏในภาพจะมีค่าระดับสีเทาแตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉาก สังเกตได้จากฮิสโตแกรมซึ่งเป็นกราฟบ่งบอกความถี่ของแต่ละค่าระดับสีเทาในภาพ ทำให้สามารถแบ่งภาพออกเป็นส่วนภาพย่อยๆ ตามค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันอย่างคร่าวๆ ได้ ตัวอย่างเช่นฮิสโตแกรมในภาพที่ 4.3 พบว่าฮิสโตแกรมประกอบไปด้วยกลุ่มค่าระดับสีเทา 4 กลุ่มที่มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันออกไป (*component gray, CG = 4*)

อย่างไรก็ตามการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เพราะเป็นการแบ่งภาพออกตามค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันเท่านั้น แต่ไม่สามารถรู้ถึงรายละเอียดต่างๆ ของแต่ละส่วนภาพได้ ไม่ว่าจะเป็นจำนวนของจุดภาพ ขนาดความกว้างความยาว ค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของแต่ละส่วนภาพ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธี Seeded region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน [1] ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Region growing จะมีปัญหาในการเลือก Seed points ที่เหมาะสม เนื่องจากในแต่ละภาพจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ภาพระดับสีเทาและฮิสโตแกรมที่ประกอบไปด้วยค่าระดับสีเทา 4 กลุ่ม

มีการกระจายของค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น Seed points ของแต่ละภาพก็จะมีค่าแตกต่างกันตามไปด้วย แต่วิธี Seeded region growing จะเลือก Seed points จากฮิสโตแกรม ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับแต่ละภาพ จากนั้นทำการขยายพื้นที่ส่วนภาพออกไปยังจุดภาพข้างเคียงโดยพิจารณาจากค่าระดับสีเทาที่กำหนดไว้ ภายหลังเสร็จสิ้นขั้นตอนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ จะเป็นการรวมส่วนภาพที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกันเข้าด้วยกัน ซึ่งการรวมส่วนภาพนี้จะหลีกเลี่ยงกระบวนการวนซ้ำ ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลไม่มากนัก กล่าวคือจะนำค่าระดับสีเทาเฉลี่ยภายในภาพทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนการหา Seed points ด้วยฮิสโตแกรมแต่ละส่วนภาพมาพิจารณา จากหลักการดังกล่าวประกอบกับการเลือก Seed points ที่เหมาะสม ทำให้วิธีการแบ่งส่วนภาพนี้มีความเป็นอัตโนมัติ รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

4.1.1 การเลือก Seed Points จากฮิสโตแกรม

จุดมุ่งหมายในการแบ่งส่วนภาพคือการแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ ตามคุณสมบัติความเข้ม (Intensity) สี หรือลักษณะพื้นผิว (Texture) ซึ่งจะตรงกับวัตถุหรือบางส่วนของวัตถุ นิยามให้ I เป็นภาพอินพุตที่ถูกพิจารณาและ R_1, R_2, \dots, R_k คือส่วนภาพย่อยๆ ที่ถูกแบ่ง จะได้ว่า

$$\bigcup_{i=1}^k R_i = I \text{ และ } R_i \cap R_j = \emptyset \text{ เมื่อ } i \neq j \quad (4.1)$$

เนื่องจากฮิสโตแกรมแสดงคุณสมบัติการกระจายของค่าระดับสีเทาในภาพนั้นๆ ฮิสโตแกรมมักจะถูกนำไปใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Histogram equalization) หรือการแปลงภาพไบนารี สำหรับใน [1] เป็นการนำฮิสโตแกรมมาใช้เลือก Seed points ที่เหมาะสม ซึ่งการเลือก Seed points นี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Region growing เพราะ Seed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

points คือจุดภาพเริ่มต้นในการขยายพื้นที่ส่วนภาพของขั้นตอนต่อไป หากกำหนดค่าระดับสีเทาหรือตำแหน่งพิกัดของจุดภาพที่เป็น Seed Points ไม่เหมาะสม ก็จะทำให้การขยายพื้นที่ส่วนภาพต้องใช้เวลามากกว่าผลผลิต และไม่ควรครอบคลุมทั่วทั้งภาพ

จากฮิสโตแกรมในภาพที่ 4.3 ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มค่าระดับสีเทาเฉลี่ย 4 กลุ่มค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกัน (*component gray, CG = 4*) ในแต่ละกลุ่มจะมีตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่มีจำนวนความถี่ของจุดภาพมากที่สุด (Local maximum) และตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่มีจำนวนความถี่ของจุดภาพน้อยที่สุด (Local minimum) กระจายอยู่ทั่วทั้งฮิสโตแกรม ซึ่งตำแหน่งทั้งหมดนี้จะบ่งบอกถึงขอบเขตของแต่ละกลุ่มค่าระดับสีเทา และนำมาใช้กำหนดเป็นค่าระดับสีเทาของ Seed points และขอบเขตของการขยายพื้นที่ส่วนภาพ กล่าวคือตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่มีจำนวนความถี่ของจุดภาพมากที่สุด จะนำมากำหนดให้เป็นค่าระดับสีเทาของ Seed points (*seed point [n]*) ส่วนตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่มีจำนวนความถี่ของจุดภาพน้อยที่สุด ก็คือค่าระดับสีเทาของขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทั้งทางด้านค่าต่ำและสูง (*minimum growing [n], maximum growing [n]* ตามลำดับ)



ภาพที่ 4.4 ตำแหน่ง Local minimum และ Local maximum จากฮิสโตแกรมในภาพที่ 4.3

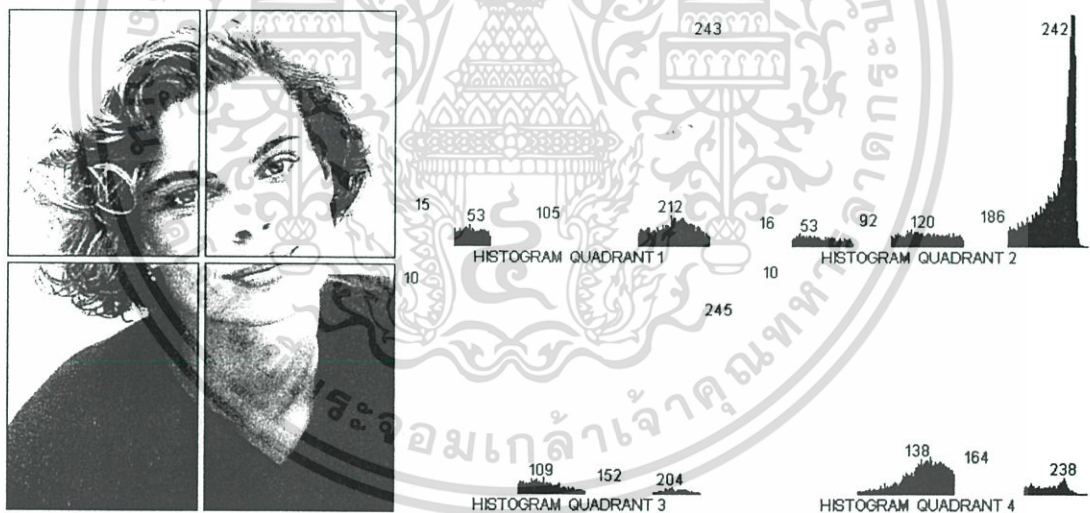
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระดับสีเทาของ Seed points ที่ได้จากตำแหน่ง Local maximum ค่าระดับสีเทาของขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทั้งทางด้านค่าต่ำและทางด้านค่าสูง ที่ได้จากตำแหน่ง Local minimum และ Local maximum ของทั้ง 4 กลุ่มค่าระดับสีเทาในภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าระดับสีเทาของ Seed points ขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทั้งทางด้านค่าต่ำ และค่าสูง ทั้ง 4 กลุ่มค่าระดับสีเทา ที่ได้จากภาพที่ 4.4

กลุ่มค่าระดับสีเทา	ขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทางด้านค่าต่ำ	ค่าระดับสีเทาของ Seed points	ขอบเขตการขยายพื้นที่ส่วนภาพทางด้านค่าสูง
1	0	10	81
2	82	131	173
3	174	187	195
4	196	244	255

อย่างไรก็ตามการหาฮิสโตแกรมจากทั้งภาพอาจทำให้ไม่ได้ค่าระดับสีเทาของ Seed points และขอบเขตการขยายพื้นที่ของแต่ละกลุ่มที่ถูกต้องนัก เนื่องจากภาพบางภาพอาจมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างหลายๆ กลุ่มค่าระดับสีเทาในแต่ละบริเวณของภาพ แต่ฮิสโตแกรมกลับประกอบไปด้วยกลุ่มค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันเพียงสองหรือสามกลุ่มเท่านั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถแบ่งแยกหรือบ่งบอกขอบเขตของวัตถุต่างๆ ที่ปรากฏในภาพได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.5 การแบ่งภาพระดับสีเทาเป็น 4 ส่วน และตำแหน่ง Local minimum, local maximum จากฮิสโตแกรม

เพื่อให้การหาค่าระดับสีเทาของ Seed points ถูกต้องมากยิ่งขึ้น จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน แล้วจึงทำการหาฮิสโตแกรมในแต่ละส่วนของภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 (ในกรณีที่ภาพมีขนาดใหญ่อาจแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ มากกว่านี้ เช่น 9 หรือ 16 ส่วนเท่าๆ กัน) แล้วจึงตรวจหาค่าระดับสีเทาของ Seed points และขอบเขตการขยายพื้นที่ทางด้านค่าต่ำและค่าสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละกลุ่มในฮิสโตแกรมทั้ง 4 ส่วน จากวิธีการดังกล่าวนี้ ค่าระดับสีเทาของ Seed points ที่ได้ จะมีความถูกต้องและมีจำนวนมากกว่าการหาค่าระดับสีเทาของ Seed points จากฮิสโตแกรมของทั้งภาพ

ขั้นตอนในการหาค่าระดับสีเทาของ Seed points (*seed point [n]*) ค่าระดับสีเทาของขอบเขตของการขยายพื้นที่ส่วนภาพทางด้านค่าต่ำและค่าสูง (*minimum growing [n]* และ *maximum growing [n]*) จากฮิสโตแกรมในแต่ละส่วนภาพ มีดังนี้

1. กำหนดให้ *minimum growing [0] = 0* และกำหนดค่าเริ่มต้นของจำนวนกลุ่มค่าระดับสีเทา (*component gray, CG = 1*)

2. หาดำแหน่ง Local maximum จากเงื่อนไขดังนี้

$$\text{local maximum} = \text{maximum value of } \{h(m) | m = (i - \text{range}) \rightarrow (i + \text{range})\} \quad (4.2)$$

โดยที่ *range* คือช่วงความยาวของค่าระดับสีเทาที่ต้องการหาระดับสีเทาที่มีจำนวนความถี่มากที่สุดหรือน้อยที่สุด (ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ *range* มีค่าเท่ากับ 15)

ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวก็คือค่าระดับสีเทาของ Seed points

$$\text{seed growing [CG]} = \text{local maximum} \quad (4.3)$$

3. จากนั้นสลับกลับมาหาดำแหน่ง Local minimum อีกครั้ง จากเงื่อนไข

$$\text{local minimum} = \text{minimum value of } \{h(m) | m = (i - \text{range}) \rightarrow (i + \text{range})\} \quad (4.4)$$

ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวก็คือค่าระดับสีเทาที่ใช้เป็นขอบเขตการขยายพื้นที่ทางด้านค่าสูง

$$\text{maximum of growing [CG]} = \text{local minimum} \quad (4.5)$$

พร้อมกันนั้น ก็จะกำหนดให้ค่าระดับสีเทาดำแหน่งถัดไป คือค่าระดับสีเทาที่ใช้เป็นขอบเขตการขยายพื้นที่ทางด้านค่าต่ำของกลุ่มค่าระดับสีเทาต่อไป

$$\text{minimum of growing [CG + 1]} = \text{local minimum} + 1 \quad (4.6)$$

4. เพิ่มจำนวนกลุ่มค่าระดับสีเทา *component gray, CG = CG + 1* และย้อนกลับไปหาดำแหน่ง Local maximum อีกครั้งในขั้นตอนที่ 2

5. กระบวนการดังกล่าวจะกระทำไปเรื่อยๆ ตลอดช่วงค่าระดับสีเทาตั้งแต่ $h(0)$ จนถึง $h(255)$ ก็จะได้ค่าระดับสีเทาของ Seed points ค่าระดับสีเทาของขอบเขตของการขยายพื้นที่ทั้งทางด้านค่าต่ำและค่าสูง (*seed point [n], minimum growing [n], และ maximum growing [n]*) จนกระทั่งครบทั้ง 4 ส่วนของภาพ

จากนั้นนำค่าระดับสีเทาเฉลี่ยจากทั้ง 4 ส่วนของภาพ มาใช้กำหนดเป็นค่าระดับสีเทาของ Seed points ของทั้งภาพ อย่างไรก็ตามถ้าค่าระดับสีเทาเฉลี่ยจากฮิสโตแกรมทั้ง 4 ส่วนมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก จะกำหนดให้เป็นค่าระดับสีเทาเฉลี่ยค่าเดียวกัน จากภาพที่ 4.5 จะได้ค่าระดับสีเทาเฉลี่ยจากทั้ง 4 ส่วนของภาพเท่ากับ 12 ระดับค่าสีเทา (คือ 13, 53, 92, 107, 120, 138,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

152, 164, 186, 204, 212, 243) หรือกล่าวได้ว่า ภาพที่พิจารณาจะมีกลุ่มค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันทั้งหมด 12 กลุ่มระดับค่าสีเทา (*component gray, CG = 12*)

เมื่อทราบค่าระดับสีเทาของ Seed points ค่าระดับสีเทาของขอบเขตการขยายพื้นที่ทางด้านค่าต่ำและสูงแล้ว ก็จะนำค่าระดับสีเทาดังกล่าวมากำหนดจุด Seed points ที่เหมาะสมในภาพ กล่าวคือจุดภาพใดที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากับค่าระดับสีเทาของ Seed points ก็จะถูกกำหนดให้เป็น Seed points ในภาพ จากนั้นพิจารณา Seed points ทั้งหมด ว่ามี Seed points ใดที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากันและอยู่ติดกันเป็นกลุ่มหรือไม่ ถ้ามีจะรวม Seed points เหล่านั้นเข้าด้วยกันเป็นส่วนภาพ (Seed regions) พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขกำกับแต่ละส่วนภาพไว้ อย่างไรก็ตามอาจมี Seed points บางจุดที่อยู่โดดๆ ไม่สามารถรวมกับจุดอื่นได้ จะถือว่าเป็นส่วนภาพที่มีจุดภาพเดียว วิธีการดังกล่าวมีข้อดีคือ Seed points ทั้งหมดที่มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน (ที่ได้จากฮิสโตแกรม) จะมีจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทั้งบริเวณของภาพดังแสดงในภาพที่ 4.6 ทำให้จำนวนรอบในการวนซ้ำของกระบวนการขยายพื้นที่ส่วนภาพน้อย และทำให้เวลาในการประมวลผลลดลง



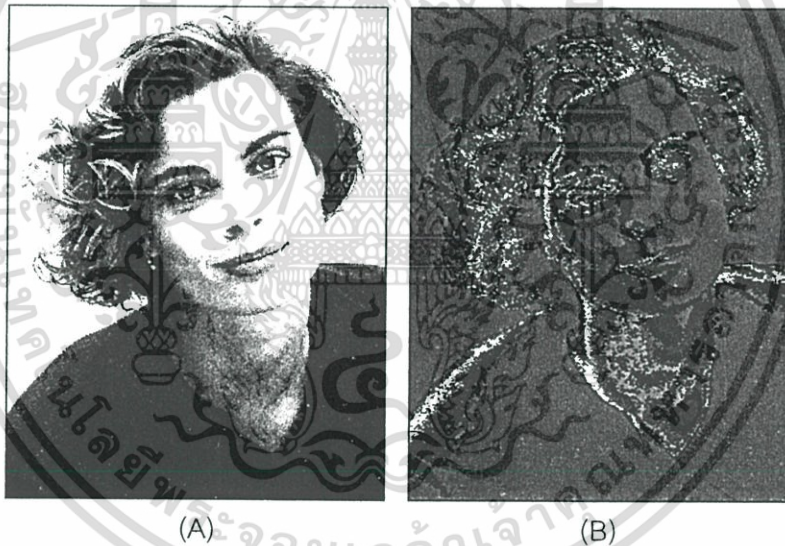
ภาพที่ 4.6 Seed points ทั้งหมด ที่ได้จากฮิสโตแกรม

4.1.2 การขยายพื้นที่ส่วนภาพ

กระบวนการ Region growing หรือการขยายพื้นที่ส่วนภาพ ทำได้โดยสแกนภาพจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง เมื่อพบจุดภาพที่เป็นบริเวณขอบของ Seed regions ก็จะพิจารณาคู่จุดข้างเคียง ด้วยการวาง Mask 3x3 ครอบจุดภาพนั้น หากจุดภาพข้างเคียงใดมีค่าระดับสีเทาอยู่ในขอบเขตของการขยายพื้นที่ส่วนภาพ (มากกว่า *minimum growing* และน้อยกว่า *maximum growing*) ก็จะทำกรรวมหรือขยายพื้นที่ส่วนภาพไปยังจุดข้างเคียงนั้น แต่ถ้าไม่ ก็จะพิจารณาคู่จุดข้างเคียงถัดไป กระบวนการ Region growing นี้จะกระทำกับทุกๆ ส่วนภาพแบบวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถขยายพื้นที่ได้

อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ อาจจะมีช่องว่างเล็กๆ (Small holes) ภายใต้อภาพ ซึ่งมีสาเหตุมาจากบริเวณดังกล่าวไม่มี Seed points อยู่ หรือการขยายพื้นที่ส่วนภาพไปไม่ถึง ดังนั้นจะพิจารณาว่าจุดภาพดังกล่าวสามารถรวมเข้ากับส่วนภาพที่อยู่ข้างเคียงได้บ้าง โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่าระดับสีเทาของจุดภาพนั้นกับส่วนภาพข้างเคียง ถ้าค่าระดับสีเทาของจุดภาพนั้นอยู่ในขอบเขตการขยายพื้นที่ของส่วนภาพที่อยู่ข้างเคียง ก็จะรวมจุดภาพที่เป็นช่องว่างนั้นให้เป็นส่วนหนึ่งของส่วนภาพข้างเคียง แต่ถ้าไม่สามารถรวมเข้ากับส่วนภาพข้างเคียงได้ ก็จะพิจารณาให้เป็นส่วนภาพใหม่ หลังจากกระบวนการขยายพื้นที่ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยส่วนภาพย่อยๆ ที่มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.7A เป็นภาพระดับสีเทาที่ได้จากการขยายพื้นที่ส่วนภาพ ภาพที่ 4.7B แสดงขอบเขตของแต่ละส่วนภาพตามค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันทั้งหมด 12 กลุ่มระดับค่าสีเทา ($CG = 12$) และมีจำนวนส่วนภาพที่ได้จากการขยายพื้นที่ทั้งหมด 8832 ส่วนภาพ



ภาพที่ 4.7 ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ

4.1.3 การรวมพื้นที่ส่วนภาพ

จากขั้นตอนการขยายพื้นที่ส่วนภาพ ถึงแม้จะทราบว่าภาพที่พิจารณาประกอบไปด้วยกี่ส่วนภาพ แต่ละส่วนภาพอยู่ที่ตำแหน่งใด มีขนาดความกว้างยาวเท่าใด และมีกี่จุดภาพ แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะบ่งบอกขอบเขตของแต่ละวัตถุภายในภาพได้ เพราะแต่ละส่วนภาพยังมีค่าระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงต้องทำการรวมพื้นที่ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกันเข้าด้วยกันก่อน (Region merging) เพื่อให้แต่ละส่วนภาพมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันมากยิ่งขึ้น และง่ายต่อการบ่งบอกขอบเขตของแต่ละวัตถุในภาพ วิธีการรวมพื้นที่ส่วนภาพโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผลมาก [1] อันเนื่องมาจากการกระทำกับจุดภาพหรือส่วนภาพทั้งหมดในลักษณะวนซ้ำ (พิจารณาส่วนภาพทั้งหมดว่า ส่วนภาพใดที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็จะรวมเข้าเป็นส่วนภาพเดียวกัน แล้ววนซ้ำหาส่วนภาพที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ไปเรื่อยๆ)

สำหรับการรวมพื้นที่ส่วนภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่กระทำกับทุกๆ ส่วนภาพในลักษณะวนซ้ำ แต่จะอาศัยข้อมูลของกลุ่มค่าระดับสีเทาจากฮิสโตแกรมที่มีอยู่ นำมาพิจารณาว่า ค่าระดับสีเทาของกลุ่มใดมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็จะรวมเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน จากนั้นจึงกระทำกับภาพทั้งหมด โดยรวมส่วนภาพที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาตรงกับกลุ่มค่าระดับสีเทาที่พิจารณา การรวมพื้นที่ส่วนภาพนี้จะสิ้นสุดเมื่อค่าระดับสีเทาของแต่ละส่วนภาพแตกต่างกันชัดเจน (วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้การรวมพื้นที่ส่วนภาพสิ้นสุดเมื่อกลุ่มค่าระดับสีเทาเหลือ 4 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันมากกว่า 50 ระดับสีเทา ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะบริเวณใบหน้าออกจากส่วนอื่นๆ ได้) ขั้นตอนการรวมพื้นที่ส่วนภาพสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หากกลุ่มค่าระดับสีเทาของส่วนภาพที่แตกต่างกันน้อยที่สุดจากกลุ่มค่าระดับสีเทาทั้งหมด

$$\text{minimum gray different} = \text{minimum value of } \{gray[n+1] - gray[n] | n = 1 \rightarrow CG - 1\} \quad (4.7)$$

เมื่อ *minimum gray different* คือค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันน้อยที่สุด

$gray[n], gray[n+1]$ คือค่าระดับสีเทาของกลุ่มค่าระดับสีเทาที่ n และ $n+1$

n คือกลุ่มค่าระดับสีเทาที่มีค่าเท่ากับ 1 ถึง $CG - 1$

new gray คือค่าระดับสีเทาเฉลี่ยใหม่ที่ได้จากกลุ่มค่าระดับสีเทา $gray[n]$ และ $gray[n+1]$

2. คำนวณหาค่าระดับสีเทาเฉลี่ยใหม่

$$\text{new gray} = (gray[n+1] + gray[n]) / 2 \quad (4.8)$$

3. จากนั้นพิจารณาส่วนภาพทั้งหมดในภาพ ส่วนภาพใดๆ (R_i, R_j) ที่อยู่ติดกันและมีค่าระดับสีเทาเท่ากับ $gray[n]$ และ $gray[n+1]$ จะถูกรวมให้เป็นส่วนภาพใหม่ (R_{new}) โดยมีค่าระดับสีเทาเท่ากับค่าระดับสีเทาเฉลี่ยใหม่ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.8

$$R_{new} = R_i \cup R_j \quad \text{เมื่อ } R_i = gray[n], R_j = gray[n+1] \quad \text{และ } R_i \text{ closing to } R_j \quad (4.9)$$

เมื่อ $i, j = 1, 2, \dots \text{all of region}$ และ $i \neq j$

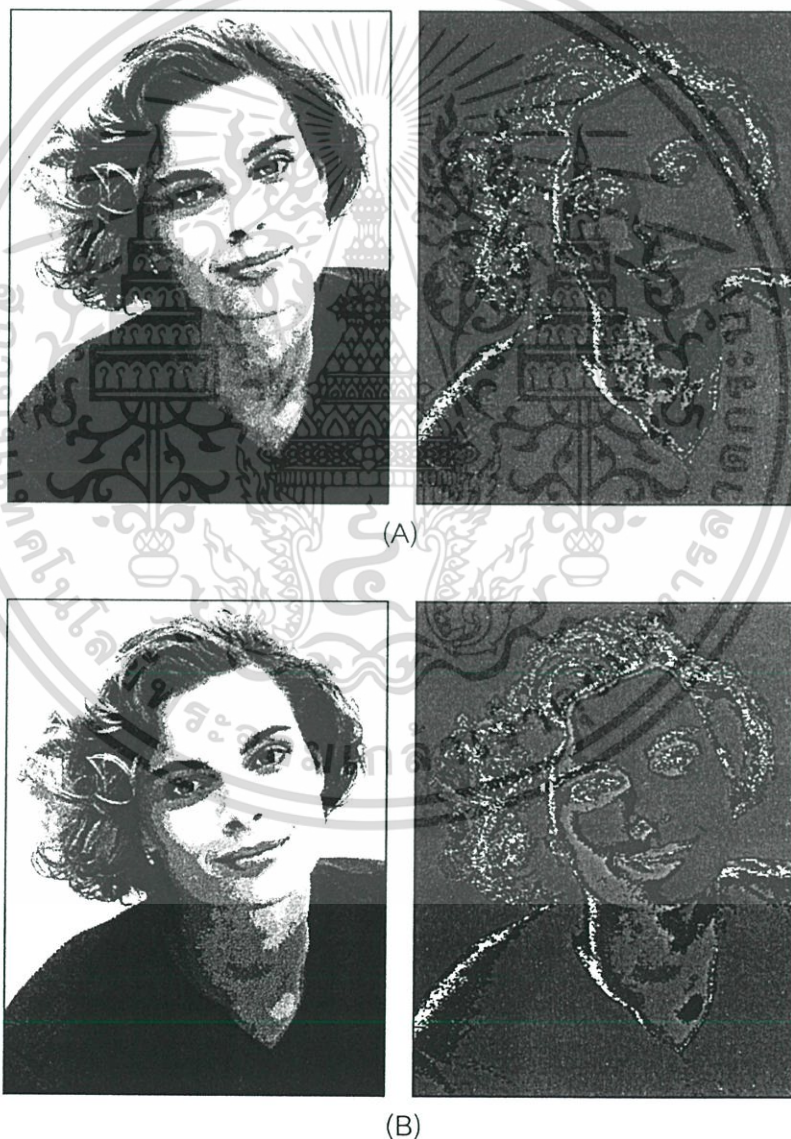
4. เมื่อรวมส่วนภาพที่ตรงตามเงื่อนไขดังสมการที่ 4.9 และกำหนดค่าระดับสีเทาของส่วนภาพใหม่แล้ว ก็จะลดจำนวนค่าระดับสีเทาเฉลี่ย (*component gray*) ลง 1 กลุ่มค่าระดับสีเทา

$$CG = CG - 1 \quad (4.10)$$

5. ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 อีกครั้ง ซึ่งการรวมพื้นที่ส่วนภาพนี้ จะรวมส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันน้อยที่สุดก่อน แล้วลดจำนวนกลุ่มค่าระดับสีเทา (CG) ขณะเดียวกันความแตกต่างของกลุ่มค่าระดับสีเทาที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกรอบกระบวนการรวมพื้นที่ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.7 มีกลุ่มค่าระดับสีเทา 12 กลุ่ม (คือ 13, 53, 92, 107, 120, 138, 152, 164, 186, 204, 212, 243) ซึ่งกลุ่มค่าระดับสีเทาที่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดคือ 204 และ 212 เมื่อคำนวณหาค่าระดับสีเทาเฉลี่ยใหม่ จะได้เท่ากับ 208 จากนั้นทำการรวมพื้นที่ส่วนภาพที่อยู่ติดกัน และมีค่าระดับสีเทาเท่ากับ 204 และ 212 พร้อมทั้งเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของส่วนภาพใหม่ให้มีค่าเท่ากับ 208 เมื่อเสร็จสิ้นการรวมพื้นที่ส่วนภาพในรอบนี้แล้ว ภาพที่ได้จะมีกลุ่มค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน 11 กลุ่ม (คือ 13, 53, 92, 107, 120, 138, 152, 164, 186, 208, 243) จากนั้นพิจารณาหากกลุ่มค่าระดับสีเทาที่มีค่าใกล้เคียงกันที่สุดอีกครั้ง และทำการรวมพื้นที่ส่วนภาพต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเหลือกลุ่มค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกัน 4 กลุ่ม (คือ 34, 126, 197, 243) ภาพที่ 4.8 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการรวมพื้นที่ส่วนภาพ เมื่อค่าระดับสีเทาแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 4.8 ภาพที่ได้จากการรวมพื้นที่ส่วนภาพ (A) 10 กลุ่มค่าระดับสีเทา 4937 ส่วน

ภาพ (B) 8 กลุ่มค่าระดับสีเทา 3262 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(C)



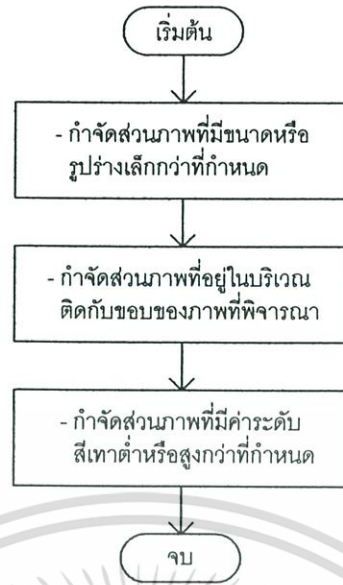
(D)

ภาพที่ 4.8 (ต่อ) ภาพที่ได้จากกระบวนการรวมพื้นที่ส่วนภาพ (C) 6 กลุ่มค่าระดับสีเทา 1826 ส่วนภาพ (D) 4 กลุ่มค่าระดับสีเทา 738 ส่วนภาพ

4.2 การพิจารณาส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์

หลังจากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพเสร็จสิ้น ก็จะทราบว่าภายในภาพที่พิจารณาประกอบด้วยกี่ส่วนภาพ แต่ละส่วนภาพอยู่ที่ตำแหน่งพิกัดใด มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยและขนาดเท่าใด (จำนวนจุดภาพของส่วนภาพนั้นๆ) จากสมมติฐานที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าบริเวณใบหน้าปรากฏในภาพจะมีค่าระดับสีเทาแตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉาก ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาว่าส่วนภาพใดที่น่าจะเป็นบริเวณใบหน้ามนุษย์ โดยพิจารณาจากตำแหน่งพิกัด ค่าระดับสีเทาเฉลี่ย และขนาดของแต่ละส่วนภาพนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ขั้นตอนการพิจารณาหาส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์

จากภาพที่ 4.9 ในขั้นตอนการพิจารณาหาส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์นั้น จะทำการพิจารณาส่วนภาพทั้งหมด หากส่วนภาพใดไม่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ก็จะกำจัดออกไป โดยเริ่มจาก

1. ส่วนภาพที่มีขนาดหรือรูปร่างเล็กกว่าที่กำหนด (R_{small}) คือมีความกว้างหรือความยาวน้อยกว่า 50×50 จุดภาพ หรือมีจำนวนจุดภาพรวมกันน้อยกว่า 500 จุดภาพ
2. ส่วนภาพที่อยู่ในบริเวณติดกับขอบของภาพ ($R_{boundary}$) กล่าวคือมีด้านใดด้านหนึ่งของส่วนภาพติดกับขอบของภาพที่พิจารณา
3. ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนด (R_{black}) คือมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของส่วนภาพต่ำกว่า 100 และส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยสูงกว่าที่กำหนด (R_{white}) คือมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของส่วนภาพสูงกว่า 240 ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์นั้นควรจะมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยไม่มีมืดหรือสว่างมากเกินไปนั่นเอง

หากกำหนดให้ R_{all} แทนจำนวนส่วนภาพทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในภาพ $R_{candidate}$ แทนจำนวนส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์ และ $R_{noncandidate}$ แทนจำนวนส่วนภาพที่คาดว่าจะ ไม่เป็นใบหน้ามนุษย์ จะได้ว่า

$$R_{all} = R_{candidate} + R_{noncandidate} \quad (4.11)$$

และ

$$R_{noncandidate} = R_{small} + R_{boundary} + R_{black} + R_{white} \quad (4.12)$$

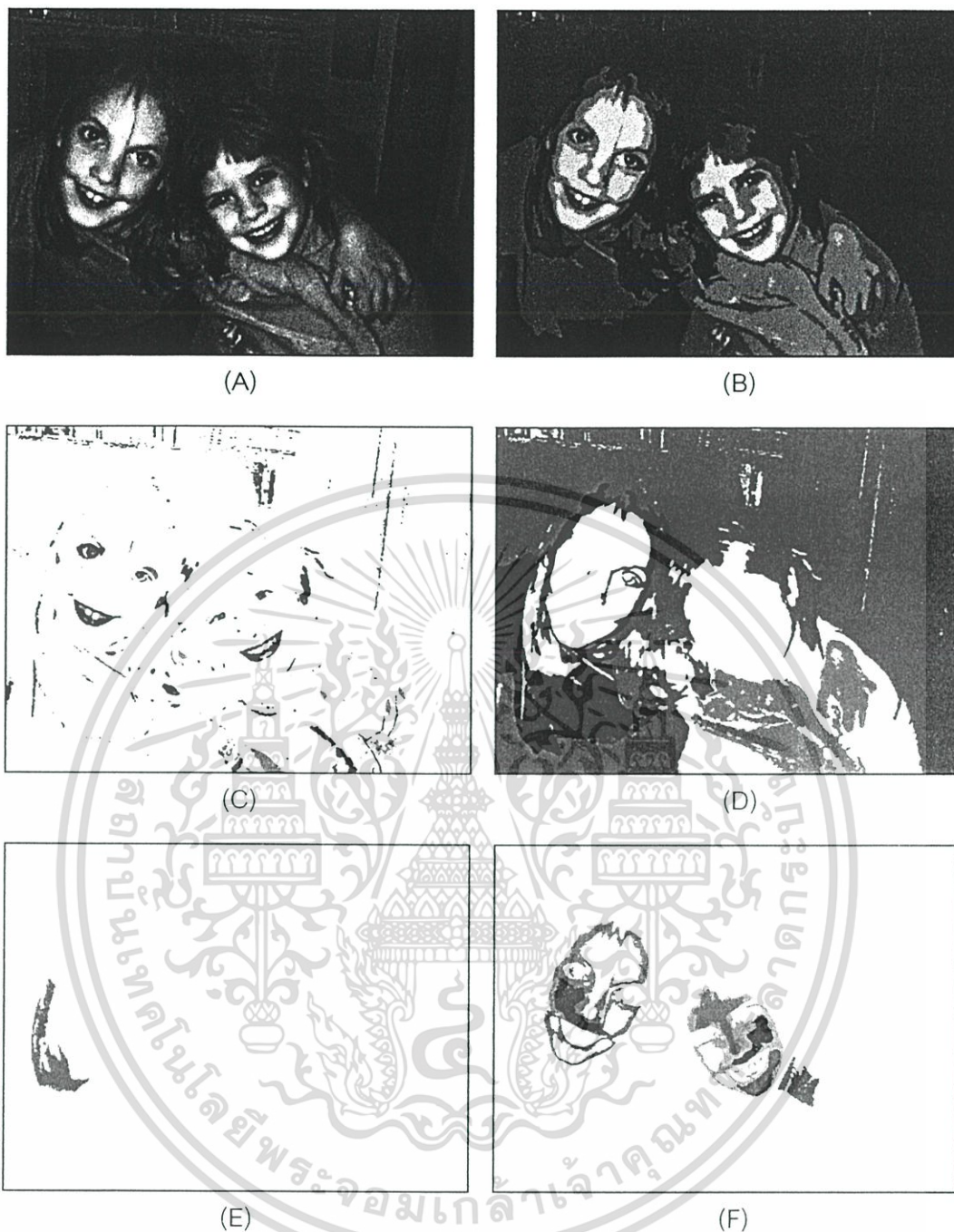
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 (A) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีทั้งหมดจำนวน 738 ส่วนภาพ (B) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 728 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่ติดกับขอบของภาพจำนวน 3 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนดจำนวน 2 ส่วนภาพ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 5 ส่วนภาพ

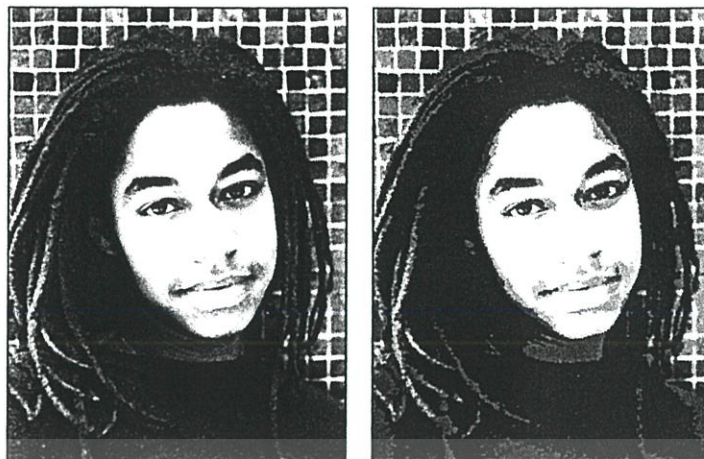
จากภาพที่ 4.10A คือภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีส่วนภาพทั้งหมด 738 ส่วนภาพ ประกอบด้วยส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนด 728 ส่วนภาพ ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพ 3 ส่วนภาพ ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนด 2 ส่วนภาพ และส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ (ดังแสดงในภาพที่ 4.10B, C, D และ E ตามลำดับ)

ภาพที่ 4.11 ถึง 4.13 แสดงตัวอย่างการหาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จากภาพระดับสีเทาอื่นๆ และรายละเอียดต่างๆ



ภาพที่ 4.11 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีทั้งหมดจำนวน 630 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 617 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 4 ส่วนภาพ (E) ส่วนภาพที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนดจำนวน 1 ส่วนภาพ และ (F) ส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 8 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



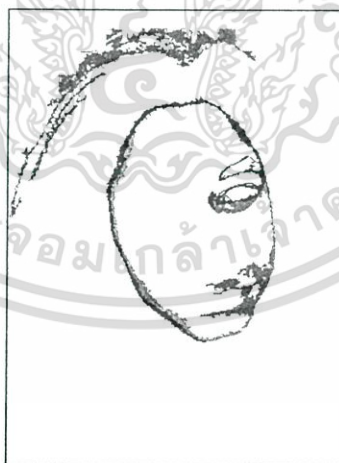
(A)

(B)



(C)

(D)



(E)

ภาพที่ 4.12 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีทั้งหมดจำนวน 959 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 949 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 5 ส่วนภาพ และ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 5 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

(B)

(C)



(D)

(E)

ภาพที่ 4.13 (A) ภาพที่ใช้ในการทดลอง (B) ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ที่มีทั้งหมดจำนวน 2085 ส่วนภาพ (C) ส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจำนวน 2081 ส่วนภาพ (D) ส่วนภาพที่อยู่ติดกับขอบของภาพจำนวน 3 ส่วนภาพและ (E) ส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์จำนวน 1 ส่วนภาพ

4.3 การหุนส่วนภาพที่คาดว่าเป็นใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ

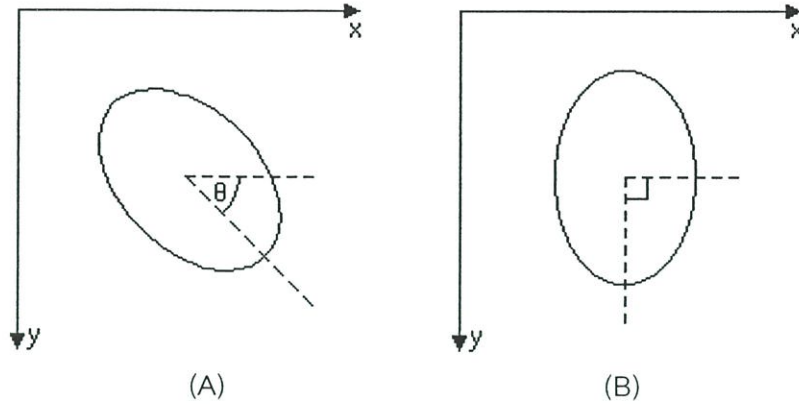
ภาพใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะคล้ายวงรี ดังนั้นก่อนจะถึงขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า จะต้องทำการหุนภาพระดับสีเทาของภาพใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบก่อน เพื่อสะดวกต่อการตรวจหาลักษณะเด่น อันได้แก่ ตา และ ปาก ดังภาพที่ 4.14

ทฤษฎีเกี่ยวกับโมเมนต์ (Moment) ถูกนำมาใช้อธิบายเกี่ยวกับรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏภายในภาพ [4,12] โดยโมเมนต์ของภาพ $f(x,y)$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (4.13)$$

โดยที่ p, q คืออันดับของโมเมนต์ มีค่าเท่ากับ $0, 1, 2, \dots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 (A) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายวงรี ทำมุม θ กับแนวระนาบ (B) ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ซึ่งผ่านกระบวนการหมุนภาพให้ตั้งฉากจากกับแนวระนาบ

จุดศูนย์กลางของภาพ (Centre of gravity) ทั้งในแนวแกน x และแนวแกน y สามารถหาได้จากสมการ

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in R} x \quad (4.14)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in R} y \quad (4.15)$$

เมื่อ \bar{x}, \bar{y} คือจุดศูนย์กลางของภาพในแนวแกน x และแนวแกน y
 x, y คือตำแหน่งพิกัดของภาพในแนวแกน x และแนวแกน y
 N คือจำนวนจุดภาพทั้งหมด

จากสมการจุดศูนย์กลางของภาพ และเมื่อข้อมูลภาพเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous data) จะสามารถหาสมการจุดศูนย์กลางของโมเมนต์ (Central moment) ได้ดังนี้

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (4.16)$$

หากภาพ $f(x, y)$ เป็นข้อมูลภาพแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) จะได้

$$\mu_{pq} = \sum_i \sum_j (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (4.17)$$

และหากภาพ $f(x, y)$ เป็นภาพไบนารี โดยที่ค่า 1 แทนจุดภาพสีดำ และค่า 0 แทนจุดภาพสีขาว จะได้

$$\mu_{pq} = \sum_i \sum_j (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q \quad (4.18)$$

จากสมการที่ 4.18 สามารถนำมาใช้หามุมเอียงของภาพวัตถุ (Orientation of object) ได้ดังนี้

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \right) \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

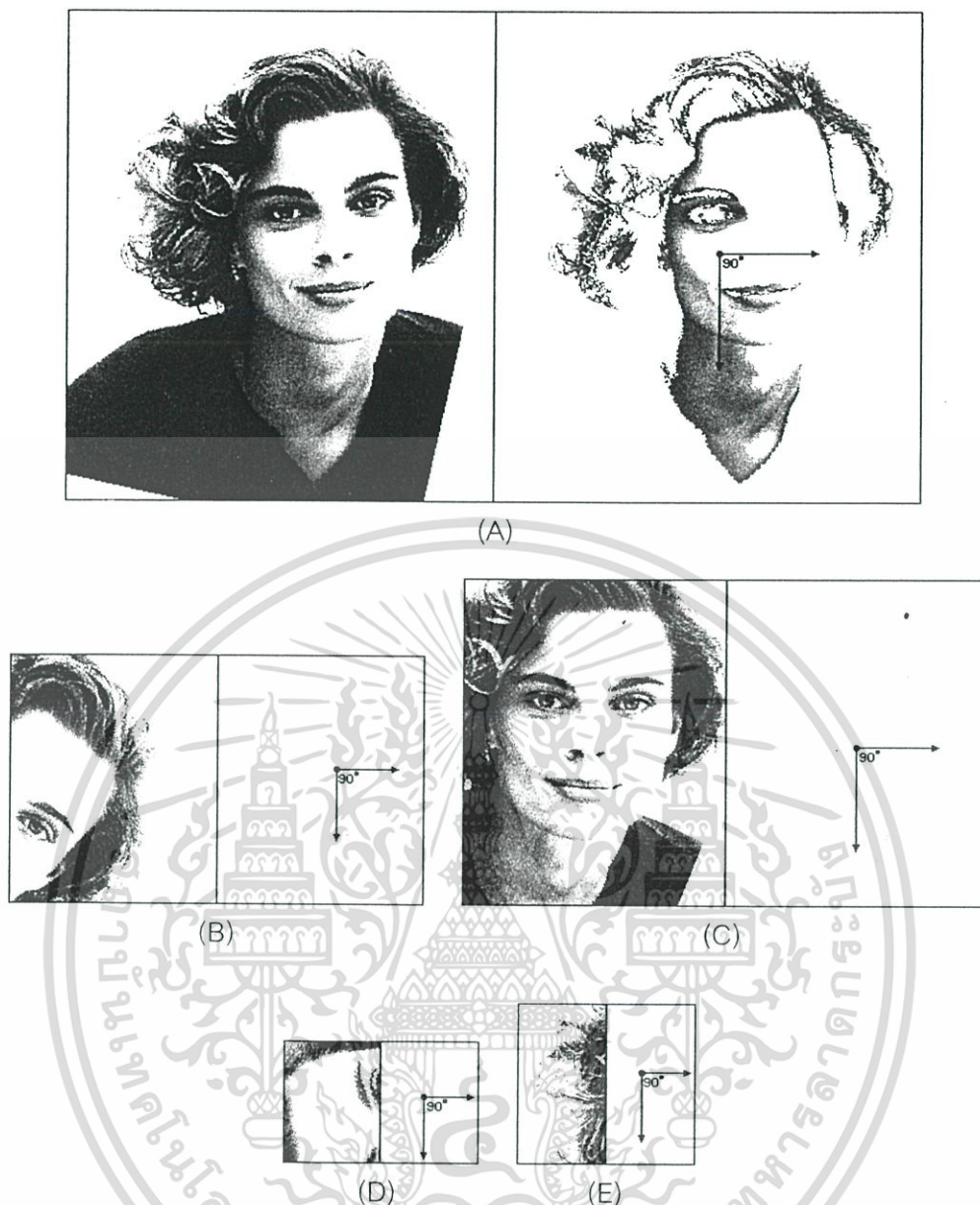
จากภาพที่ 4.10E ประกอบด้วยส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้าทั้งหมด 5 ส่วนภาพ ซึ่งแต่ละส่วนภาพทำมุม θ กับแนวแกน x หรือแนวระนาบแตกต่างกันออกไปโดยสามารถหาค่าของมุม θ ของแต่ละส่วนภาพได้จากสมการที่ 4.19 ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพ 4.10E มุม θ ที่ทำกับกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางถ่วงของแต่ละส่วนภาพ

จากนั้นจะทำการหมุนส่วนภาพทั้งหมดที่ละส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวแกน x หรือแนวระนาบ โดยใช้วิธีการหมุนภาพตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 2.3 ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ของทั้ง 5 ส่วนภาพ ดังภาพที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

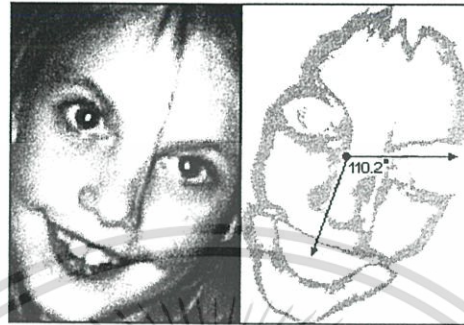


ภาพที่ 4.16 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.15 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ

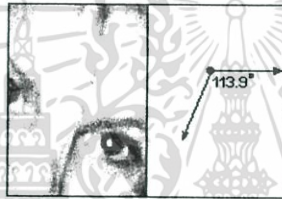
จากภาพที่ 4.16A และ C ซึ่งมีภาพใบหน้าปรากฏอยู่ จะเห็นได้ว่าภาพระดับสีเทาของใบหน้า ถูกหมุนให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ ตามมุม θ ที่คำนวณหาได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจหาลักษณะเด่นทั้ง ตา และ ปาก ในขั้นตอนต่อไป ส่วนภาพที่ 4.16B, D และ E นั้นไม่ใช่ใบหน้าที่ถูกดึง เมื่อผ่านขั้นตอนการหมุนภาพตามมุม θ ที่คำนวณได้ ภาพผลลัพธ์ระดับสีเทาที่ถูกหมุนมากก็จะเอียงไปในทิศทางแตกต่างกันตามมุม θ ซึ่งส่วนภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าที่ถูกดึงเหล่านี้ จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนต่อไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.17, 4.19 และ 4.21 เป็นส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ได้จากภาพที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละส่วนภาพจะทำมุม θ กับแนวระนาบแตกต่างกัน ภาพที่ 4.18, 4.20 และ 4.22 เป็นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ จากภาพที่ 4.17, 4.19 และ 4.21 ตามลำดับ



(A)



(B)



(C)



(D)



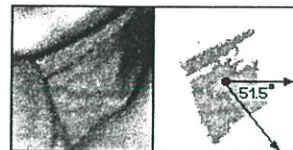
(E)



(F)



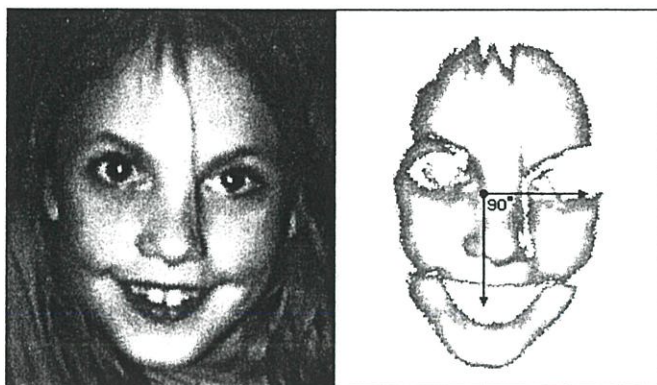
(G)



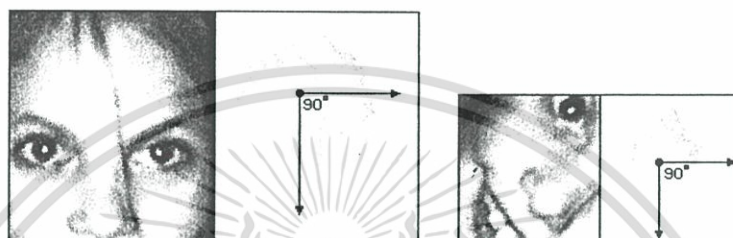
(H)

ภาพที่ 4.17 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 8 ส่วนภาพ จากภาพ 4.11F มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบ และจุดศูนย์ถ่วงของแต่ละส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

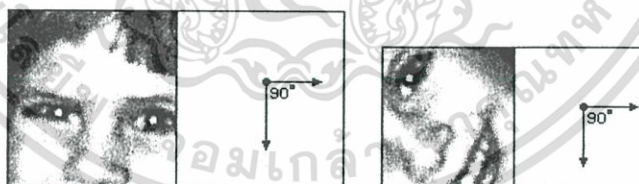


(B)

(C)

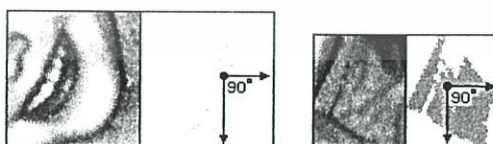


(D)



(E)

(F)

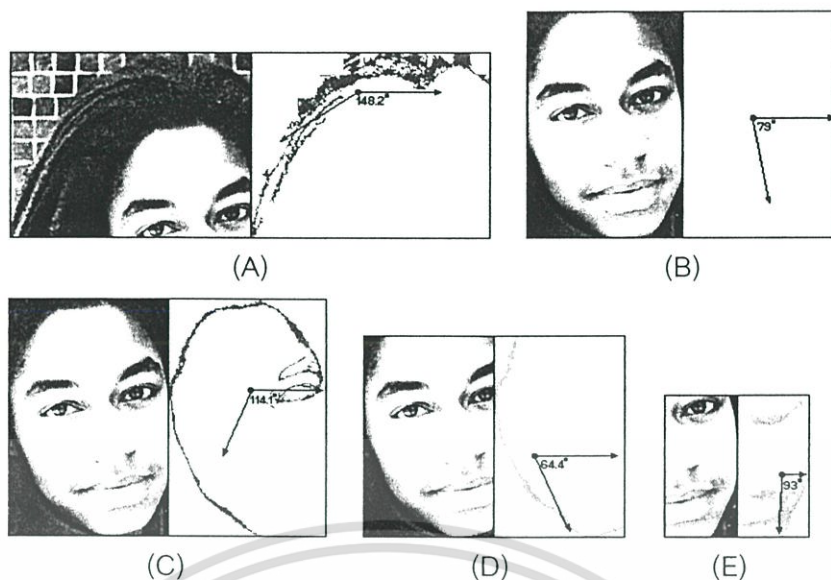


(G)

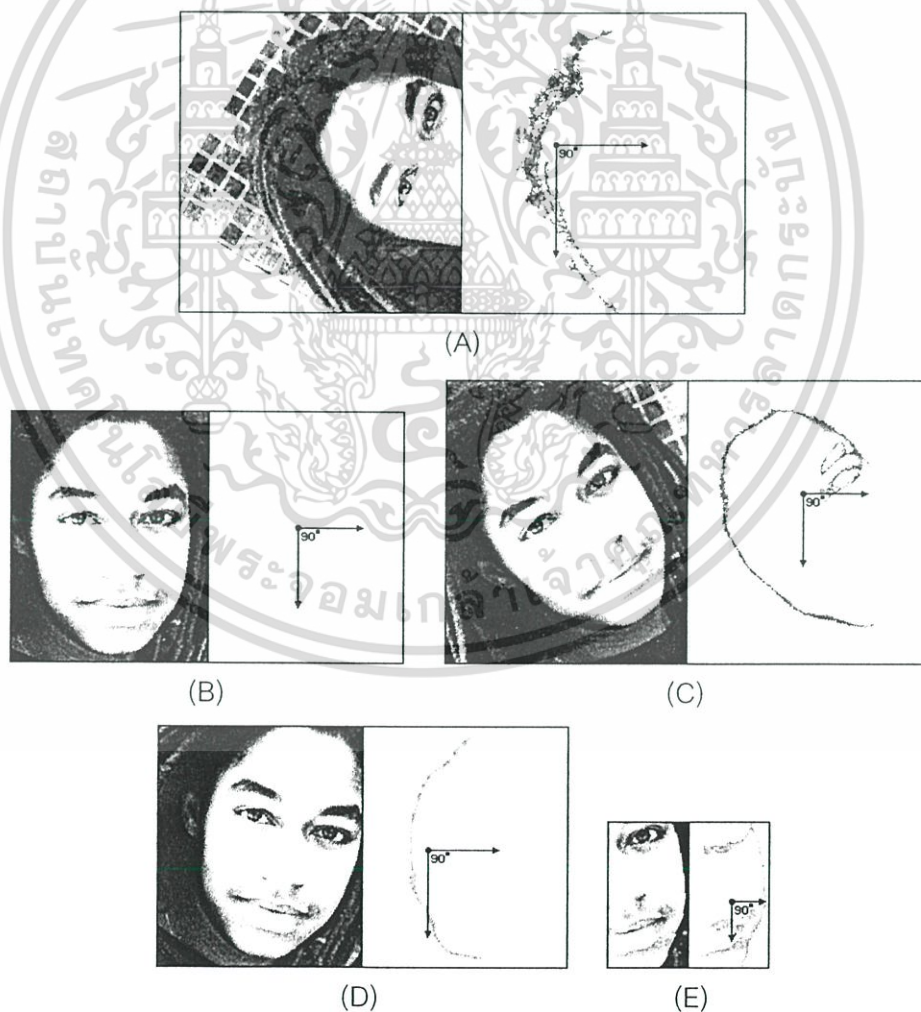
(H)

ภาพที่ 4.18 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์ 8 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.17 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



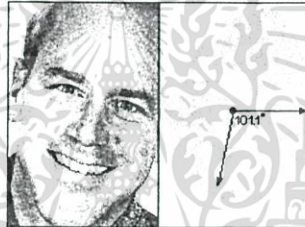
ภาพที่ 4.19 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพ 4.12E มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางของแต่ละส่วนภาพ



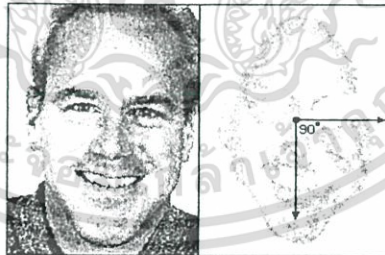
ภาพที่ 4.20 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากภาพที่ 4.19 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.19 คือส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ทั้ง 5 ส่วนภาพ โดยภาพที่ 4.19A คือส่วนภาพที่เกิดจากบริเวณของผมและพื้นฉากซึ่งไม่ใช่บริเวณใบหน้าแท้จริง ภาพที่ 4.19C และ D คือส่วนภาพที่เกิดจากบริเวณใบหน้าเพียงบางส่วน ซึ่งหากพิจารณาในภาพระดับสีเทาจะพบว่าส่วนภาพดังกล่าวนี้มีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณของใบหน้าทั้งหมด แต่เมื่อทำการหมุนส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบดังภาพที่ 4.20C และ D บริเวณใบหน้าในภาพระดับสีเทาที่ได้จะไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ (เนื่องจากการหมุนภาพตามมุม θ ที่คำนวณได้จากแต่ละส่วนภาพ) ซึ่งส่วนภาพเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนต่อไป ภาพที่ 4.19B คือส่วนภาพที่เกิดจากบริเวณใบหน้าที่ต้อง และเมื่อทำการหมุนส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบดังภาพที่ 4.20B จะพบว่าบริเวณใบหน้าในภาพระดับสีเทาที่ได้จะตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งง่ายต่อการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งตา และ ปาก ในขั้นตอนต่อไป ภาพที่ 4.19E และ 4.20E คือส่วนภาพที่เกิดจากบริเวณใบหน้าเพียงบางส่วนและภาพที่ผ่านการหมุนส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบตามลำดับ



ภาพที่ 4.21 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จากภาพ 4.13E มุม θ ที่ทำกับแนวระนาบ และจุดศูนย์กลางถ่วงของแต่ละส่วนภาพ



ภาพที่ 4.22 ภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์จากภาพที่ 4.19 ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ

จากภาพที่ 4.15 ถึงภาพที่ 4.22 แสดงส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ทำมุม θ กับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป และภาพผลลัพธ์การหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าส่วนภาพของใบหน้ามนุษย์ที่ถูกต้อนั้นเมื่อทำการหมุนภาพแล้ว ภาพผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสี่เทาที่ได้ บริเวณใบหน้าจะตั้งฉากกับแนวระนาบอย่างชัดเจน แต่สำหรับภาพที่ไม่ใช่ใบหน้า มนุษย์ที่ถูกต้อง (อาจเป็นบริเวณพื้นฉากหรือบางส่วนของใบหน้า) เมื่อผ่านการหมุนภาพแล้ว ภาพผลลัพธ์ระดับสี่เทาที่ได้ จะมีลักษณะเอียงหรือหมุนไปตามมุม θ ที่คำนวณได้ ซึ่งมักจะไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ อย่างไรก็ตามส่วนภาพที่ไม่ใช่ใบหน้ามนุษย์ที่แท้จริงดังกล่าวนี้ จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การหาตำแหน่งของตาที่ปรากฏบนใบหน้า

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ใบหน้าของมนุษย์จะประกอบไปด้วยลักษณะเด่น (Feature of face) อาทิเช่น คิ้ว ตา จมูก ปาก รวมไปถึงขอบเขตบริเวณของใบหน้าเอง อย่างไรก็ตาม ลักษณะเด่นที่มีความชัดเจนมากที่สุดก็คือ ตาทั้งสองข้าง เพราะตาของมนุษย์แต่ละคนจะมีรูปร่างคล้ายคลึงกัน และมีสีเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง ซึ่งง่ายต่อการตรวจหาตำแหน่งมากกว่าจมูกและปาก ดังนั้นหลังจากได้ส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้านั้นแล้ว จะทำการตรวจหาตำแหน่งที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด และพิจารณาว่าลักษณะเด่นใดบ้างที่คาดว่าจะตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง



ภาพที่ 5.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า

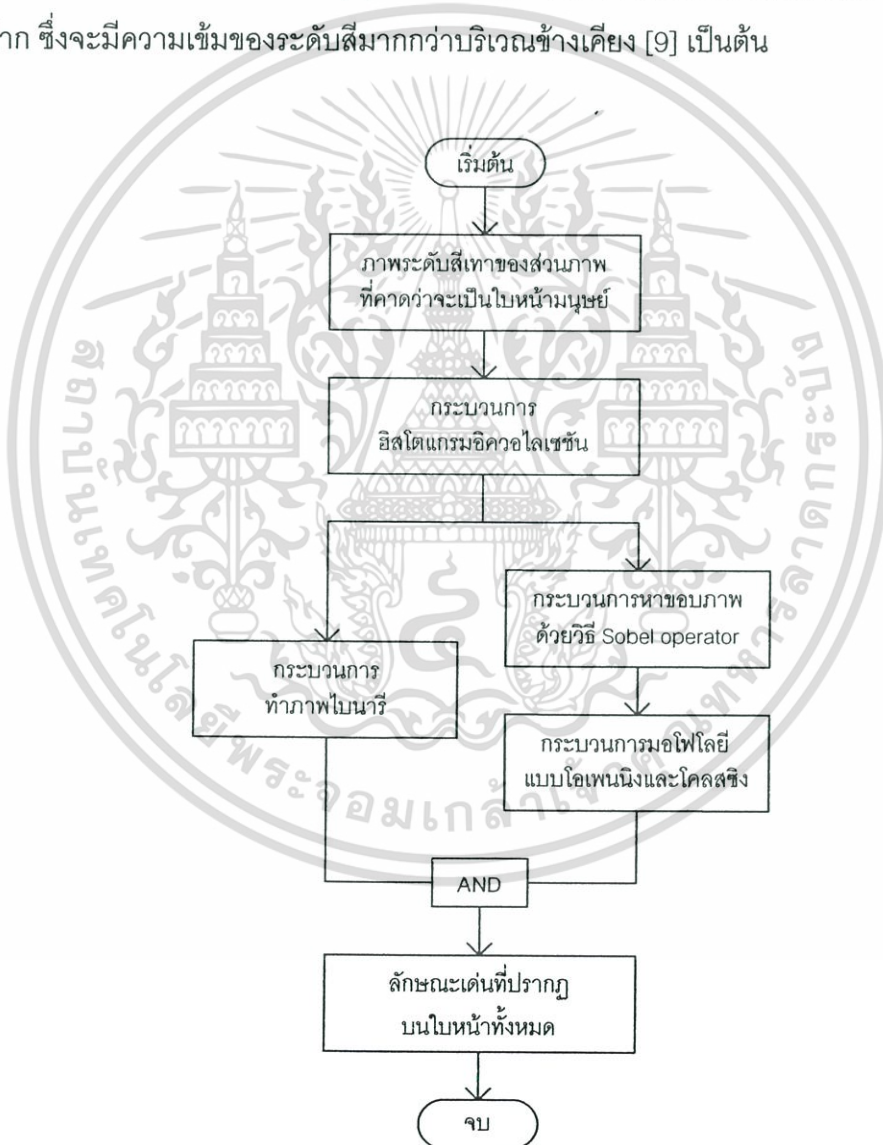
จากภาพที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน เริ่มจากตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด โดยใช้ภาพใบหน้าผ่านกระบวนการหาขอบภาพและกระบวนการมอโฟโลยี จากนั้นพิจารณาว่าลักษณะเด่นใดบ้างที่คาดว่าจะป็นตา สุดท้ายทำการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตาทั้งสองข้าง โดยพิจารณาจากตำแหน่ง ขนาด และรูปร่างที่สัมพันธ์กันของแต่ละคู่ตาทั้งสอง จากสมมติฐานที่ว่าตาทั้งสองข้างจะต้องมีขนาด รูปร่างที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันอย่างเหมาะสม และอยู่ในระนาบเดียวกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าได้แล้ว ก็จะนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ได้ไปกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า เพื่อตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าในขั้นตอนที่สามต่อไป

5.1 การตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด

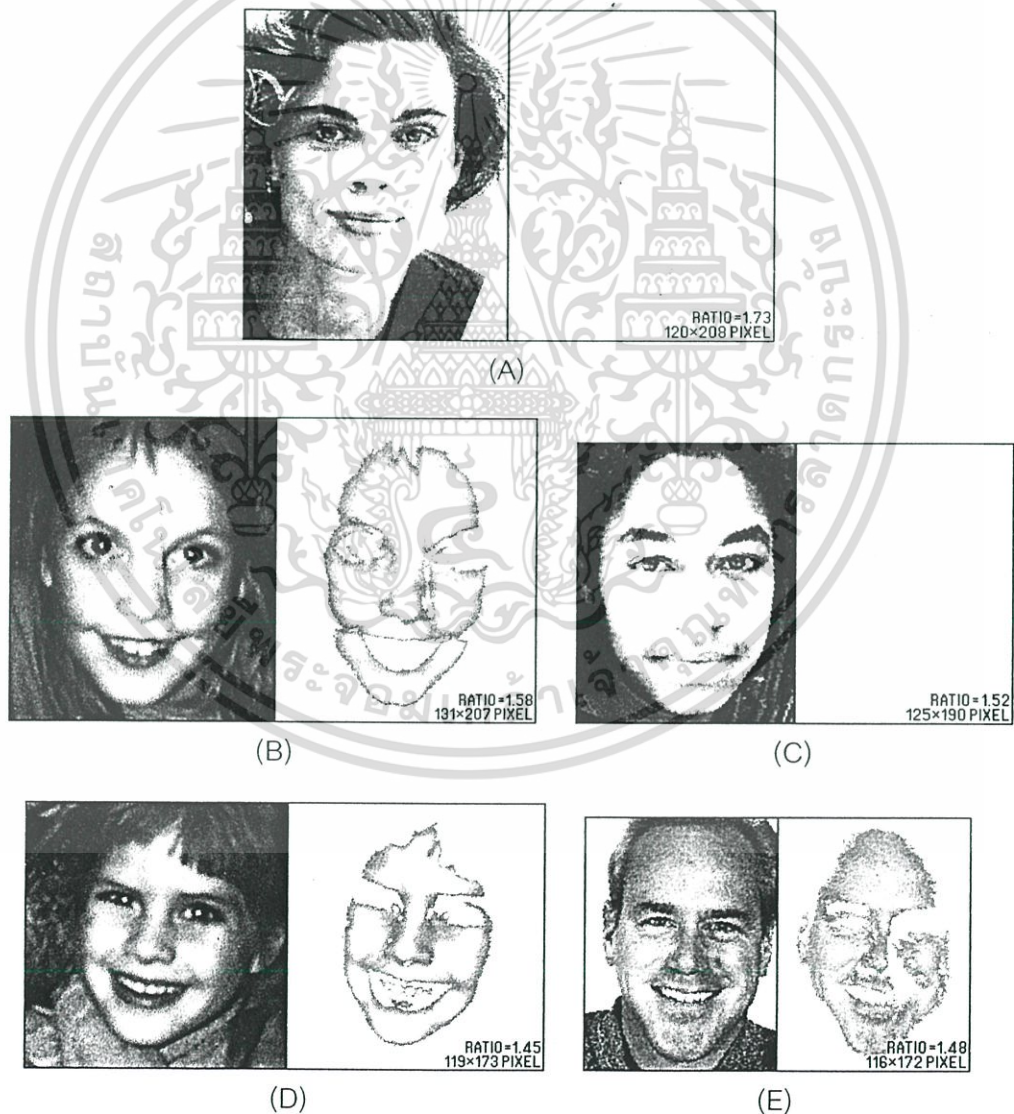
จากสมมติฐานที่ว่าลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า โดยเฉพาะตาและปากจะมีความเข้มของระดับสีมากกว่าบริเวณข้างเคียง ดังนั้นในงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจหาตำแหน่งของใบหน้า จึงได้มีการนำหลักการต่างๆ มาใช้ตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าหลายวิธีการด้วยกัน อาทิเช่น การหาขอบภาพบริเวณตาและปาก [8] การใช้หลักการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งตรวจหาบริเวณตาและปาก ซึ่งจะมีความเข้มของระดับสีมากกว่าบริเวณข้างเคียง [9] เป็นต้น



ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าโดยส่วนใหญ่ มักเกิดจากภาพที่พิจารณาไม่คมชัดเท่าที่ควร ซึ่งอาจเกิดจากแสงเงาหรือคุณภาพของภาพเอง วิธีการหาขอบภาพหรือการใช้หลักการมอดูโลยีอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอวิธีการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าอีกวิธีหนึ่ง กล่าวคือจะนำภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์มาทำการหาขอบภาพ และนำขอบภาพที่ได้มาผ่านกระบวนการมอดูโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงตามลำดับ (โดยใช้ Structuring element รูปวงกลมขนาด 5x5 จุดภาพ) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและทำให้ลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้ามีความชัดเจนยิ่งขึ้น สุดท้ายนำภาพที่ผ่านกระบวนการมอดูโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงที่แปลงเป็นภาพไบนารี มารวมเข้ากับภาพไบนารีที่แปลงมาจากภาพระดับสีเทาอีกครั้ง (ซึ่งการรวมกันในที่นี้จะใช้ตัวดำเนินการ AND ของทางตรรกะ แบบจุดภาพต่อจุดภาพ) ดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.3 ภาพใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไป จะมีรูปร่างคล้ายวงรี และมีอัตราส่วนความยาวมากกว่า

ความกว้างเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้ ลำดับแรกพิจารณาขนาดของส่วนภาพที่ผ่านการหมุนอีกครั้ง ว่ามีขนาดความกว้างและความยาวน้อยกว่า 50×50 จุดภาพหรือไม่ ถ้ามีความกว้างหรือความยาวน้อยกว่าที่กำหนด จะถือว่าส่วนภาพดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพใบหน้าที่ถูกตัด เพราะมีขนาดเล็กจนเกินไป นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงรูปร่างของส่วนภาพที่ผ่านการหมุนมาแล้วอีกด้วย กล่าวคือใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไปจะมีรูปร่างคล้ายวงรี และความยาวของด้านยาวมากกว่าด้านกว้างเล็กน้อย ดังในภาพที่ 5.3

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะกำหนดให้ใบหน้าของมนุษย์มีอัตราส่วนความยาวมากกว่าความกว้างไม่เกิน 2.5 เท่า ถ้าเกินกว่าอัตราส่วนที่กำหนดไว้จะพิจารณาว่าส่วนภาพดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพของใบหน้าที่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 5.4A B และ C เป็นส่วนภาพที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 50 จุดภาพ และภาพที่ 5.5A และ B เป็นส่วนภาพที่มีอัตราส่วนความยาวมากกว่าความกว้างเกิน 2.5 เท่า



ภาพที่ 5.4 ตัวอย่างส่วนภาพจากภาพที่ 4.18 ซึ่งมีขนาดความกว้างน้อยกว่า 50×50 จุดภาพ

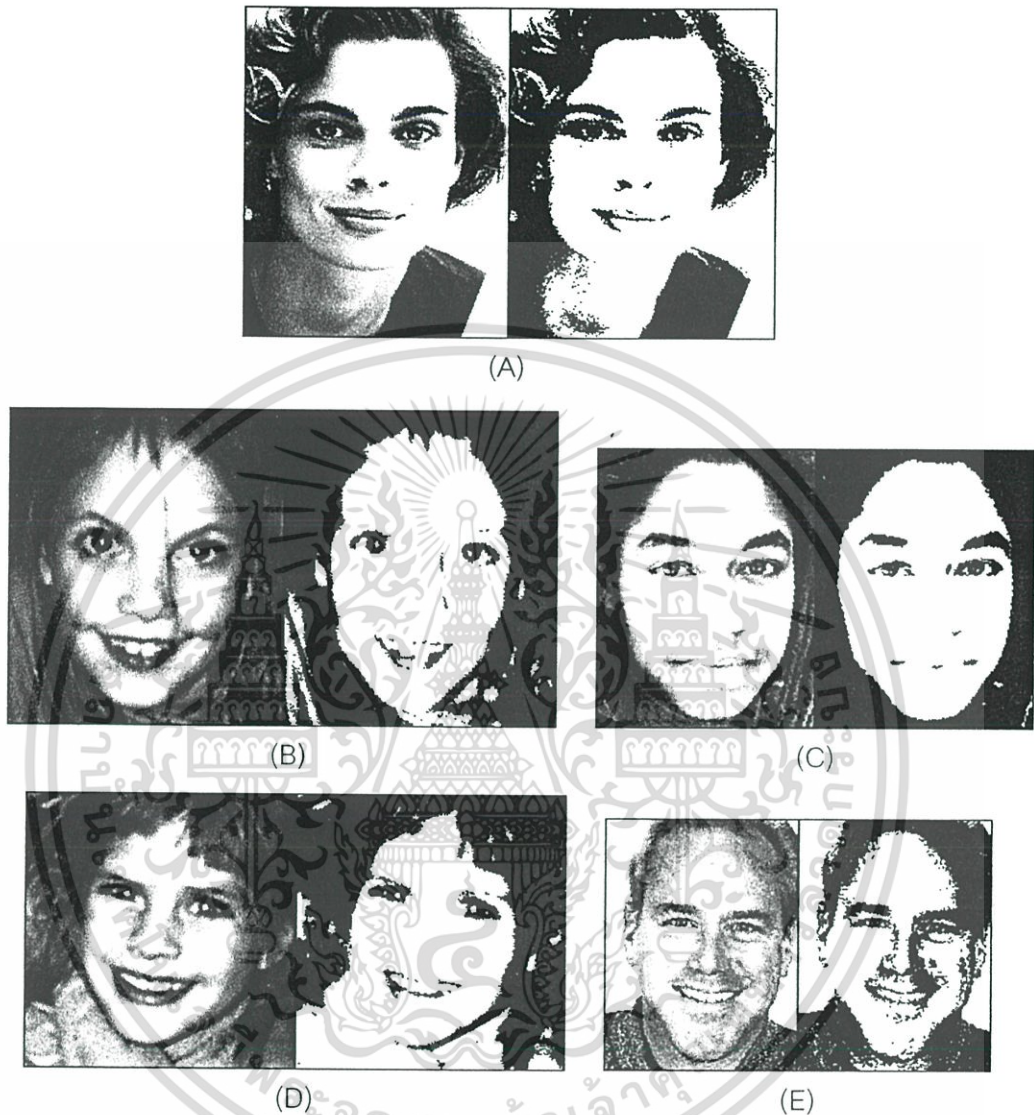


ภาพที่ 5.5 ตัวอย่างส่วนภาพจากภาพที่ 4.20 ซึ่งมีอัตราส่วนความยาวมากกว่าความกว้างเกิน 2.5 เท่า

หลังจากกำจัดส่วนภาพที่มีขนาดเล็ก และส่วนภาพที่มีรูปร่างไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว ก็จะนำภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้าที่มนุษย์ที่ได้ มาผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอลไลเซชัน เพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากยิ่งขึ้น ต่อจากนั้นนำภาพระดับสีเทาที่ได้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงให้เป็นภาพไบนารี ตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ จะได้ภาพผลลัพธ์ออกมาดังภาพที่ 5.6



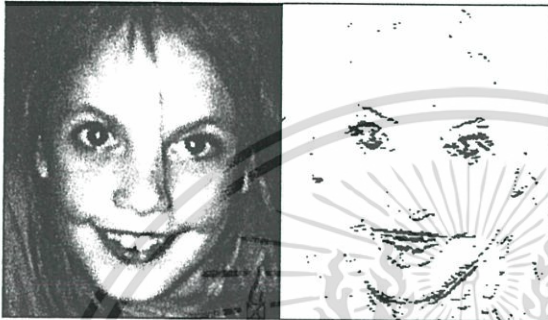
ภาพที่ 5.6 ภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์ ซึ่งผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน และแปลงให้เป็นภาพไบนารี

จากนั้นนำภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์มาทำการหาขอบภาพด้วย Sobel operator ตามหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.5 ดังภาพที่ 5.7

จากภาพที่ 5.6 และ 5.7 จะเห็นได้ว่าการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการแปลงภาพไบนารีนั้น อาจจะไม่สามารถแยกแยะลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าออกจากบริเวณข้างเคียงได้ (ตัวอย่างเช่นภาพที่ 5.6A และ E บริเวณตาจะติดกับบริเวณข้างเคียงคือคิ้วและผม) ส่วนวิธีการหาขอบภาพนั้น จุดขอบภาพของลักษณะเด่นที่ได้ก็ไม่ต่อเนื่องกันทั้งหมด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



(B)



(C)



(D)

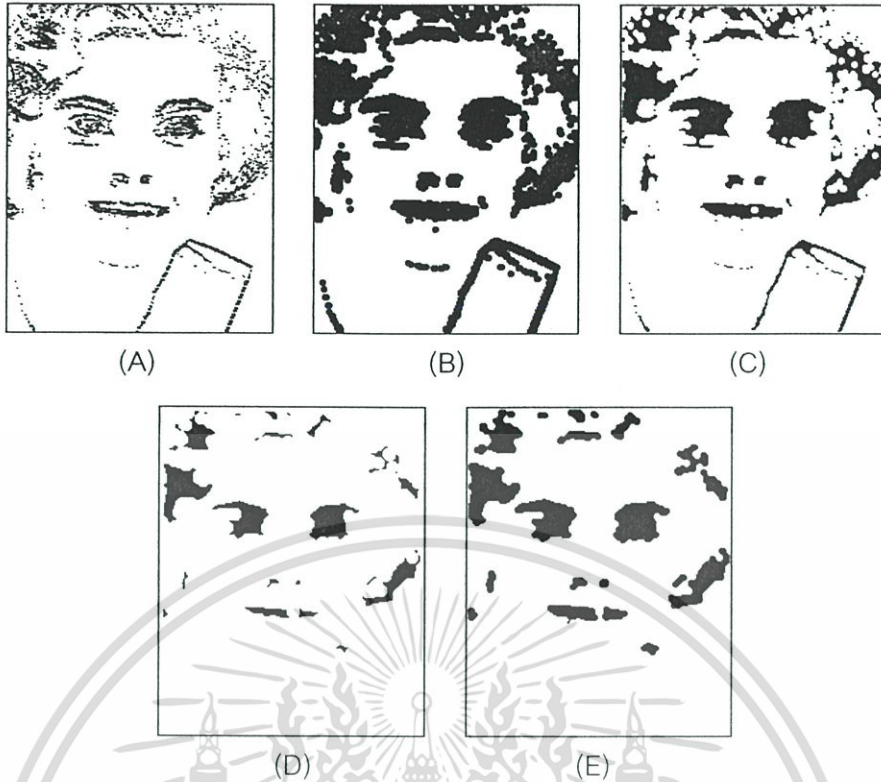


(E)

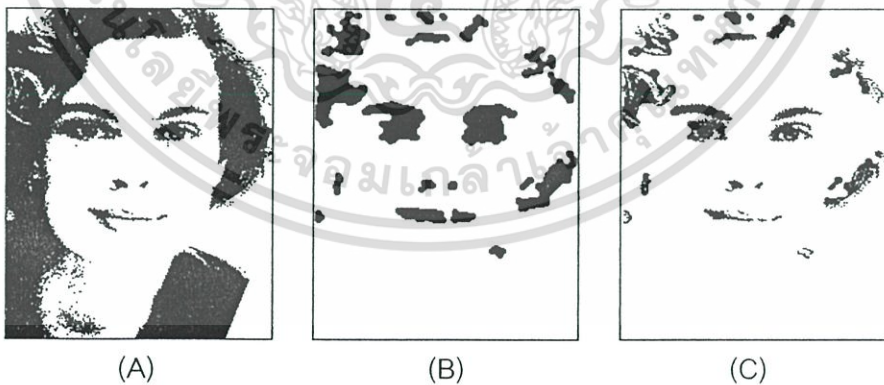
ภาพที่ 5.7 ภาพระดับสีเทาของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์ และภาพผลลัพธ์จากการหาขอบภาพด้วย Sobel operator

เมื่อนำภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการหาขอบภาพในภาพที่ 5.7 มาผ่านกระบวนการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงอีกครั้ง (โดยใช้ Structuring element รูปวงกลม ขนาด 5x5 จุดภาพ) จะได้ภาพผลลัพธ์ออกมาดังภาพที่ 5.8 โดยในภาพที่ 5.8A เป็นภาพผลลัพธ์ของการหาขอบภาพจากภาพที่ 5.7A ซึ่งกระบวนการโอเพนนิ่งประกอบด้วยกระบวนการไดเลชันและอีโรชันตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5.8B และ C จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ที่ได้มาผ่านกระบวนการโคลสซิง ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการอีโรชันและไดเลชันตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5.8D และ E จะเห็นได้ว่าจุดภาพของลักษณะเด่นทั้งหมดที่ปรากฏบนใบหน้าจะไม่กระจัดกระจาย มีความต่อเนื่องกันมากขึ้นกว่าผลลัพธ์จากการหาขอบภาพเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



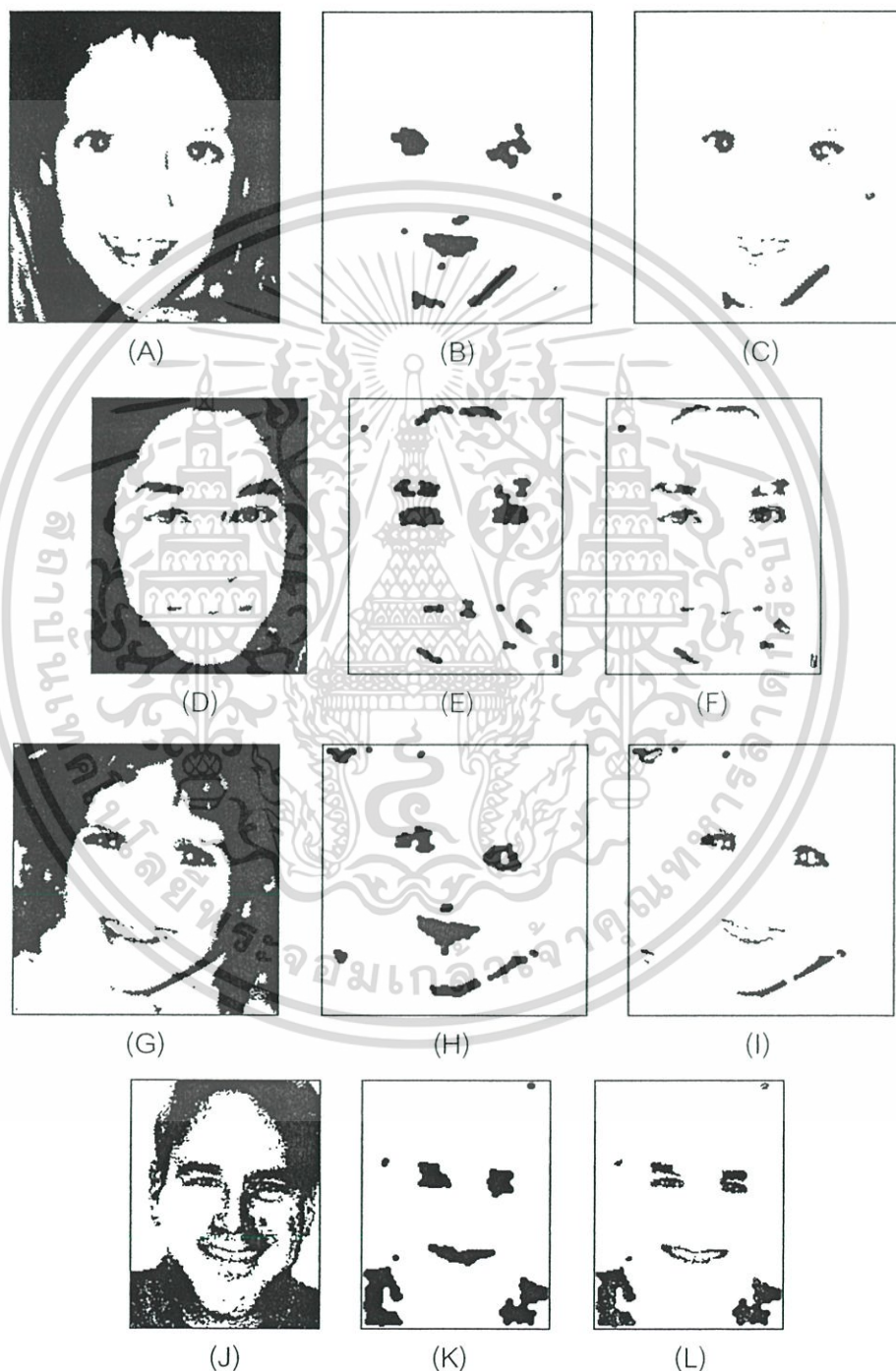
ภาพที่ 5.8 (A) ขอบภาพที่ได้จากภาพที่ 5.7A (B) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไถเลขั้นจากภาพ A (C) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันจากภาพ B หรือกระบวนการโอเพนนิ่ง (D) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการอีโรชันจากภาพ C (E) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการไถเลขั้นจากภาพ D หรือกระบวนการโคลสซิง (โดยในกระบวนการมอโฟโลยีทั้งหมดจะใช้ Structuring element รูปวงกลมขนาด 5x5 จุดภาพ)



ภาพที่ 5.9 (A) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแปลงภาพไบนารีจากภาพที่ 5.6A (B) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงจากภาพที่ 5.8E (C) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมภาพไบนารีกับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด 38 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายนำภาพไบนารี กับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิง มา รวมเข้าด้วยกัน ด้วยตัวดำเนินการ AND ของทางตรรกะแบบจุดภาพต่อจุดภาพ ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ดังในภาพที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าจุดภาพที่เป็นลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าที่ได้จากการรวม ภาพไบนารีเข้ากับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยีจะถูกตัดชัดเจน มีความต่อเนื่อง และรวมกัน เป็นกลุ่ม (Region) มากกว่าในภาพไบนารี หรือภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี วิธีการใดวิธีการ



ภาพที่ 5.10 ภาพผลลัพธ์จากการรวมภาพไบนารีกับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง โดยเฉพาะบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้าง จะแบ่งแยกออกจากบริเวณข้างเคียงอย่างชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการตรวจหาบริเวณตาจากส่วภาพที่เป็นลักษณะเด่นทั้งหมดในขั้นตอนต่อไป ภาพที่ 5.10A, D, G, และ J เป็นภาพสองระดับสีจากภาพที่ 5.6B ถึง E สำหรับภาพที่ 5.10B, E, H และ K เป็นภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งและโคลสซิงจากภาพที่ 5.7B ถึง E ดังนั้นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมภาพไบนารีกับภาพที่ผ่านกระบวนการมอโฟโลยี จะเป็นดังภาพที่ 5.10C, F, I และ L ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพผลลัพธ์แต่ละภาพมีลักษณะเด่นที่ตรวจพบเท่ากับ 14, 18, 21 และ 13 ส่วนภาพตามลำดับ ซึ่งในจำนวนลักษณะเด่นที่ตรวจพบทั้งหมดนี้ จะมีลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้างรวมอยู่ด้วย ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตรวจหาบริเวณตาทั้งสองข้างจากลักษณะเด่นทั้งหมดที่มีอยู่

5.2 การตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาจากลักษณะเด่นทั้งหมด

หลังจากตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าได้ทั้งหมดแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจหาว่าลักษณะเด่นใดบ้างที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า โดยจะพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละลักษณะเด่น ได้แก่ ตำแหน่งพิกัด ขนาดความกว้างและความยาวของลักษณะเด่นนั้นๆ เมื่อเทียบกับขนาดของใบหน้า นั้นเอง

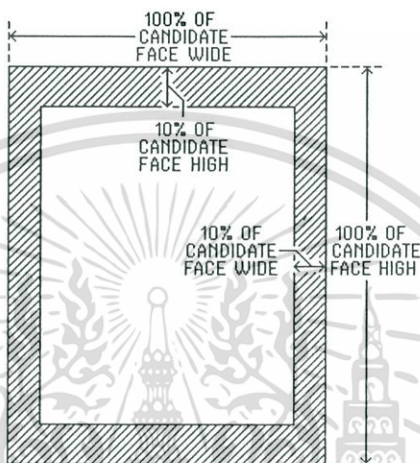
จากสมมติฐานที่ว่าบนใบหน้าของมนุษย์นั้น ตาทั้งสองข้างจะอยู่บริเวณค่อนข้างกลางใบหน้า และลักษณะเด่นที่จะอยู่บริเวณด้านข้าง ด้านบน และด้านล่างจะเป็น ปาก หู หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของผม เป็นต้น นอกจากนี้ตาทั้งสองข้างก็จะมีขนาดที่ค่อนข้างแน่นอน เมื่อเทียบกับขนาดของใบหน้า จากสมมติฐานดังกล่าว สามารถกำหนดขั้นตอนการตรวจหาบริเวณตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าได้ดังภาพที่ 5.11



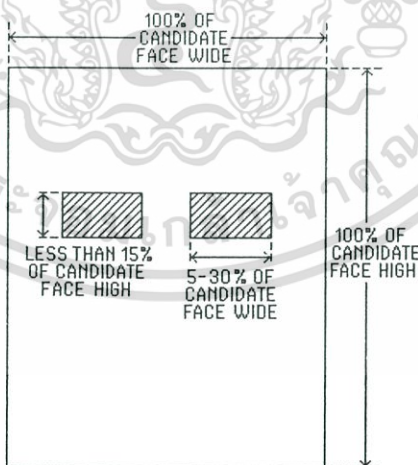
ภาพที่ 5.11 ขั้นตอนการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้างจากลักษณะเด่นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.11 ในขั้นตอนแรกจะทำการกำจัดลักษณะเด่นที่อยู่บริเวณขอบนอกของใบหน้าก่อน เพราะโดยส่วนใหญ่แล้วลักษณะเด่นที่อยู่ในบริเวณขอบนอกของใบหน้าจะไม่ใช่อัตลักษณ์ที่ทั้งสองข้าง แต่จะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของจมูก หรือขอบของใบหน้าเอง ดังนั้นจะพิจารณาว่าลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในบริเวณ 10 เปอร์เซ็นต์ของขอบนอกของใบหน้า ไม่ใช่อัตลักษณ์ที่ทั้งสองข้างดังในภาพที่ 5.12 (โดยจะยึดเอาขนาดความสูงและความกว้างของส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์เป็นหลัก)



ภาพที่ 5.12 ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลาง (cgx,cgy) อยู่ในบริเวณ 10 เปอร์เซ็นต์ของขอบนอกของใบหน้าจะถูกพิจารณาว่า ไม่ใช่ลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง



ภาพที่ 5.13 ลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง จะต้องมีขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของใบหน้า และมีขนาดความสูงไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของใบหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

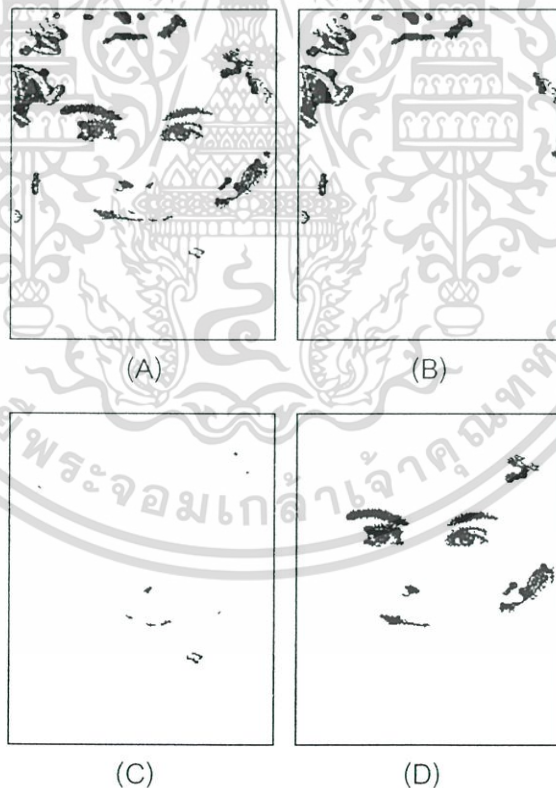
ขั้นตอนต่อไปจะทำการกำจัดลักษณะเด่นที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ดังในภาพที่ 5.13 โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดว่า ตาที่ปรากฏบนใบหน้าจะต้องมีขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 เพอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของใบหน้า และจะต้องมีขนาดความสูงไม่เกิน 15 เพอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของใบหน้า หากลักษณะเด่นมีขนาดไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดนี้ ก็จะพิจารณาว่า ไม่ใช่ลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง

จากสมมติฐานที่กล่าวมาแล้ว กำหนดให้ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตาคือ $Feature_{Good}$ และลักษณะเด่นที่คาดว่าจะไม่ใช่ตาคือ $Feature_{Bad}$ สามารถสรุปเงื่อนไขทั้งสองข้อข้างต้นได้ดังนี้

$$Feature_{All} = Feature_{Good} + Feature_{Bad} \quad (5.1)$$

โดยลักษณะเด่นที่คาดว่าจะไม่ใช่ตา ประกอบด้วยลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในบริเวณ 10 เพอร์เซ็นต์ของขอบนอกของใบหน้า ($Feature_{Boundary}$) ลักษณะเด่นที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 5 เพอร์เซ็นต์และมากกว่า 30 เพอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของใบหน้า และมีขนาดความสูงเกินกว่า 15 เพอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของใบหน้า ($Feature_{BadShape}$) ดังในสมการที่ 5.2

$$Feature_{Bad} = Feature_{Boundary} + Feature_{BadShape} \quad (5.2)$$

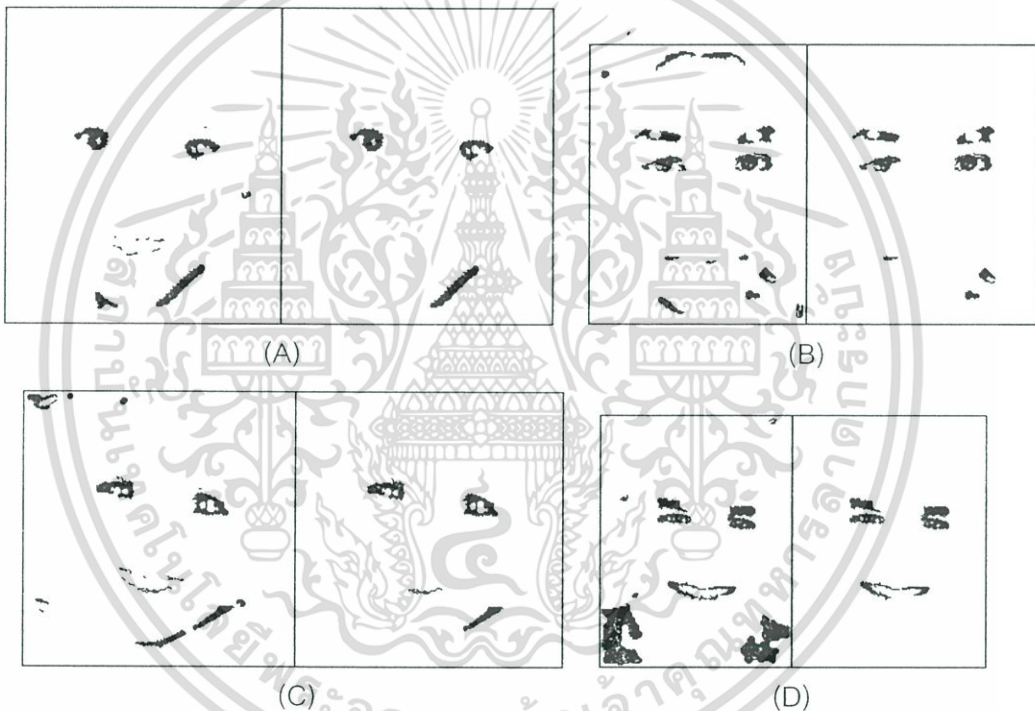


ภาพที่ 5.14 (A) ลักษณะเด่นทั้งหมด 38 ส่วนภาพที่ตรวจพบจากภาพที่ 5.9C (B) ลักษณะเด่นที่อยู่ในบริเวณขอบนอกของใบหน้าจำนวน 20 ส่วนภาพ (C) ลักษณะเด่นที่มีขนาดความกว้างและความยาวไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จำนวน 10 ส่วนภาพ (D) ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาจำนวน 8 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.14 แสดงภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาจากส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นทั้งหมด ตามเงื่อนไขดังสมการที่ 5.1 และ 5.2 โดยภาพที่ 5.14A เป็นลักษณะเด่นทั้งหมด 38 ส่วนภาพที่ตรวจพบจากภาพที่ 5.9C ภาพที่ 5.14B เป็นลักษณะเด่นที่อยู่ในบริเวณขอบนอกของใบหน้าจำนวน 20 ส่วนภาพ ภาพที่ 5.14C เป็นลักษณะเด่นที่มีขนาดความกว้างความยาวไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้จำนวน 10 ส่วนภาพ และภาพที่ 5.14D เป็นลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาจำนวน 8 ส่วนภาพ

ภาพที่ 5.15 แสดงภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาจากลักษณะเด่นทั้งหมด จากภาพที่ 5.10C, F, I และ L โดยภาพซ้ายมือเป็นภาพลักษณะเด่นที่ตรวจหาได้ทั้งหมด ภาพขวามือเป็นลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาที่ปรากฏบนใบหน้า



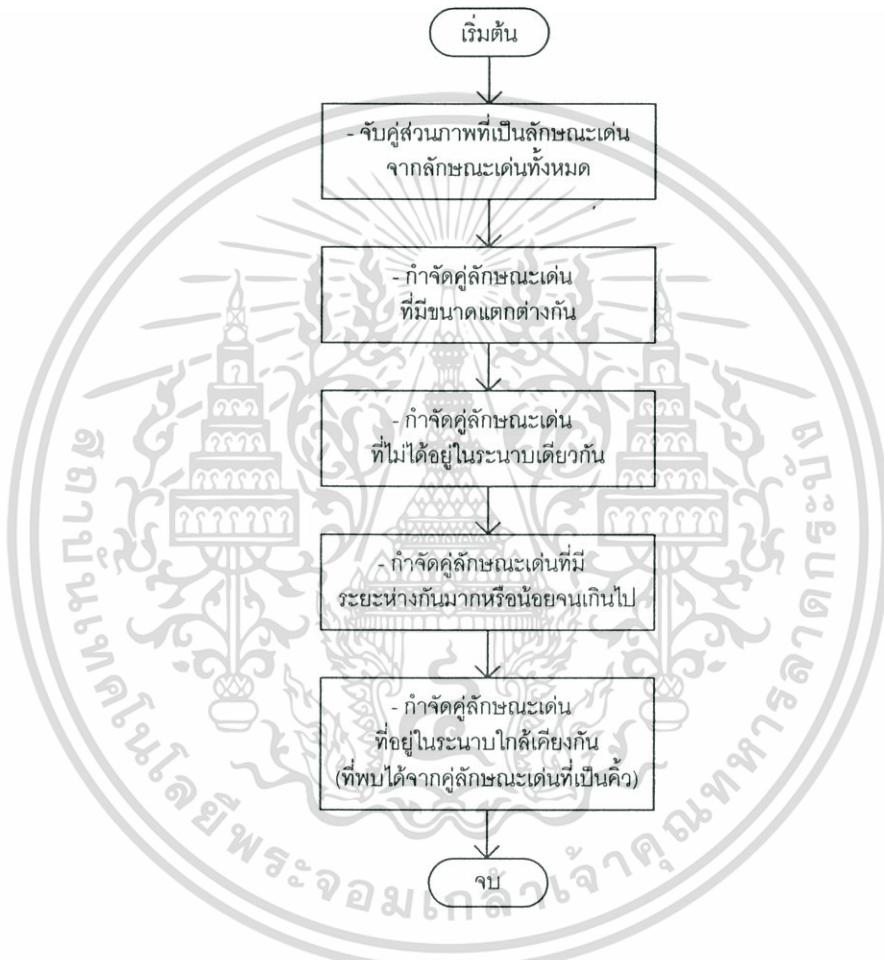
ภาพที่ 5.15 ภาพผลลัพธ์การตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตาจากลักษณะเด่นทั้งหมด จากภาพที่ 5.10C, F, I และ L (ภาพซ้ายมือ) และภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตา จากลักษณะเด่นทั้งหมด (ภาพขวามือ)

5.3 การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง

หลังจากตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็ตา ที่ปรากฏบนใบหน้าจากลักษณะเด่นทั้งหมดได้แล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง โดยจะพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละคู่ โดยมีสมมติฐานว่า โดยทั่วไปแล้วคู่ตาทั้งสองข้างของมนุษย์จะต้องมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน และอยู่ในระนาบเดียวกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น คู่ตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าจะต้องมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในระนาบเดียวกัน (เนื่องจากได้ทำการหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบในขั้นตอนที่หนึ่งแล้ว) และคู่ตาทั้งสองข้างจะต้องไม่อยู่ใกล้กันมากเกินไป นอกจากนี้ คิ้วก็เป็นอีกลักษณะเด่นหนึ่งที่มีรูปร่างใกล้เคียงกันตาเป็นอย่างมาก แต่ตาทั้งสองข้างจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าคิ้วเสมอ จากสมมติฐานที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด สามารถสร้างเงื่อนไขเพื่อทำการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าได้ดังภาพที่ 5.16



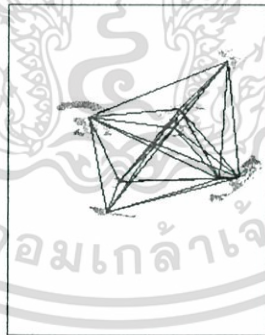
ภาพที่ 5.16 ขั้นตอนการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง

จากภาพที่ 5.16 ขั้นตอนแรกจะทำการจับคู่ตาทั้งสองข้าง จากลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตาทั้งหมด พร้อมทั้งเก็บรายละเอียดของแต่ละลักษณะเด่น อันได้แก่ จำนวนจุดภาพ ขนาดความกว้างและความยาว จุดศูนย์กลางทั้งในแนวตั้งและแนวนอน และกำหนดให้ลักษณะเด่นของแต่ละคู่เป็นเสมือนตาซ้ายหรือตาขวา โดยพิจารณาจากตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางในแนวนอนเป็นหลัก จากนั้นทำการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีขนาดแตกต่างกันมากจนเกินไป (ทั้งจำนวนจุดภาพ ขนาด ความสูงและความกว้างของคู่ลักษณะเด่นทั้งสอง) ขั้นตอนต่อมาทำการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้เอียงเป็นเอียงสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน เนื่องจากได้ทำการหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ไบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ ในขั้นตอนก่อนหน้าี้แล้ว ดังนั้นคู่ตาทั้งสองข้างจะต้องมีระยะห่างกันในแนวตั้งไม่เกิน 10 เเปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ไบหน้า จากนั้นกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันในแนวนอนน้อยกว่า 20 เเปอร์เซ็นต์และมากกว่า 60 เเปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ไบหน้า เนื่องจากคู่ตาทั้งสองข้างควรจะมีระยะห่างกันในแนวนอนไม่มากหรือน้อยจนเกินไปนั่นเอง ขั้นตอนสุดท้ายเนื่องจากคู่ตาทั้งสองข้างและคิ้ว มีลักษณะที่คล้ายกันอย่างมาก แต่ตาทั้งสองข้างจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าคิ้วเสมอ ดังนั้นหากมีคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ใบนระนาบที่ใกล้เคียงกัน ก็จะมีคิ้วอยู่ใบนตำแหน่งที่ต่ำกว่าคิ้วเป็นหลัก ส่วนคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ใบนตำแหน่งที่สูงกว่าก็จะพิจารณาว่าเป็นคิ้วและกำจัดออกไป สำหรับรายละเอียดใบนแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

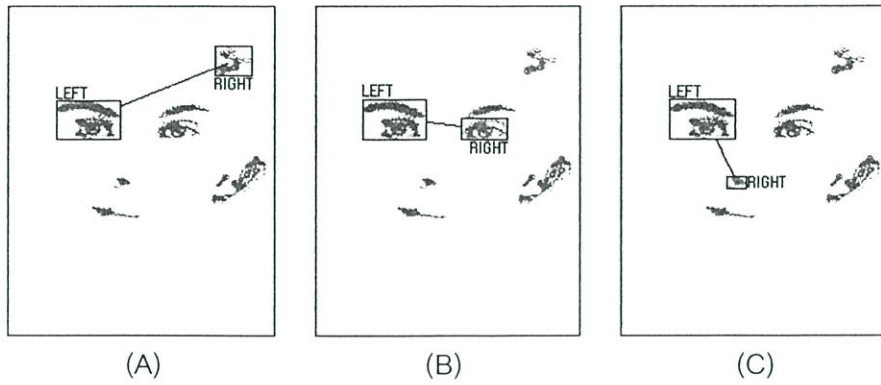
5.3.1 จับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งหมด

จากลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งหมดที่หาได้ก่อนหน้าี้ ในขั้นตอนแรกจะทำการตรวจหารายละเอียดของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งหมด อันได้แก่ จำนวนจุดภาพ ขนาดความกว้างและความยาว จุดศูนย์กลางทั้งใบนแนวตั้งและแนวนอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลใบนการจับคู่ตาทั้งหมดนั่นเอง ภาพที่ 5.17 แสดงลายเส้นของตาทั้งหมดที่จับคู่ได้จากลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้ง 8 ส่วนภาพใบนภาพที่ 5.14D โดยได้คู่ตาทั้งหมด 28 คู่



ภาพที่ 5.17 ลายเส้นของคู่ตาที่จับคู่ได้จากลักษณะเด่นทั้ง 8 ส่วนภาพ จากภาพที่ 5.14D

จากนั้นพิจารณาดำเน่งพิกัดจุดศูนย์กลางใบนแนวนอน (แกน x) ของแต่ละคู่ลักษณะเด่น โดยกำหนดให้ลักษณะเด่นที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางใบนแนวนอนมีค่าน้อยกว่าเป็ตาข้างซ้าย (ซ้ายมือของผู้อ่าน) และกำหนดให้ลักษณะเด่นที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางใบนแนวนอนมีค่ามากกว่าเป็ตาข้างขวา (ขวามือของผู้อ่าน) ดังตัวอย่างคู่ตาใบนภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.18 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นจากภาพที่ 5.17 โดยกำหนดให้ลักษณะเด่นที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางดวงในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าเป็นตาข้างซ้าย และที่มีค่ามากกว่าเป็นตาข้างขวา

5.3.2 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีขนาดแตกต่างกัน

จากสมมติฐานที่ว่าตาทั้งสองข้างจะต้องมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป โดยจะพิจารณาจากจำนวนจุดภาพ ขนาดความกว้างและขนาดความยาวของแต่ละคู่นี้ๆ

อันดับแรกคู่ลักษณะเด่นใดที่มีจำนวนจุดภาพแตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะถือว่าคุณลักษณะเด่นดังกล่าวมีจำนวนจุดภาพแตกต่างกันมากเกินไป พิจารณาว่าไม่ใช่คู่ตาที่ถูกต้องและกำจัดออกไป ตามสมการที่ 5.3 (ดังตัวอย่างคู่ตาในภาพที่ 5.19)

$$\left(\frac{Feature1_{pixel} \times 100}{Feature2_{pixel}} \right) > 25\% \text{ is } EyePair_{DifferentPixel} \quad (5.3)$$

เมื่อ $Feature1_{pixel}$ คือจุดภาพของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาด้านที่มีจำนวนจุดภาพน้อยกว่า

$Feature2_{pixel}$ คือจุดภาพของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาด้านที่มีจำนวนจุดภาพมากกว่า

$EyePair_{DifferentPixel}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีจำนวนจุดภาพแตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นนำขนาดความสูงและความกว้างของแต่ละลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตา มาคำนวณหาขนาดพื้นที่แล้วนำมาเปรียบเทียบ หากคู่ลักษณะเด่นใดที่มีขนาดพื้นที่แตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะถือว่าคุณลักษณะเด่นดังกล่าวมีขนาดพื้นที่แตกต่างกันมากเกินไป พิจารณาว่าไม่ใช่คู่ตาที่ถูกต้องและกำจัดออกไป ตามสมการที่ 5.4 และ 5.5 (ดังตัวอย่างคู่ตาในภาพที่ 5.19)

$$Feature_{Area} = Feature_{Wide} \times Feature_{High} \quad (5.4)$$

$$\left(\frac{Feature1_{Area} \times 100}{Feature2_{Area}} \right) > 25\% \text{ is } EyePair_{DifferentArea} \quad (5.5)$$

เมื่อ $Feature_{Wide}$ คือขนาดความกว้างของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตา

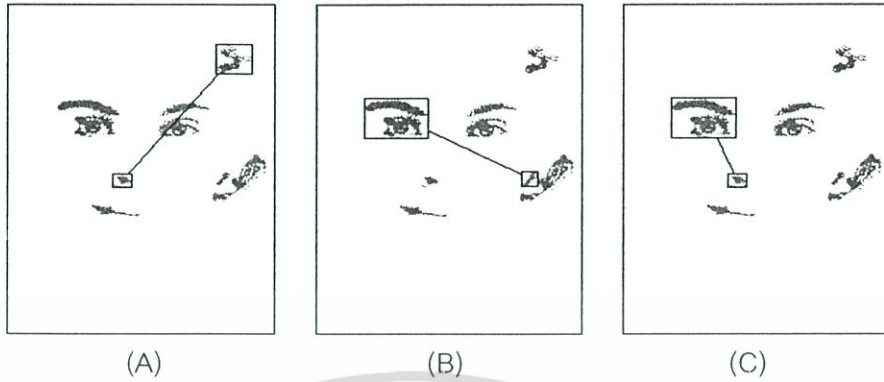
$Feature_{High}$ คือขนาดความสูงของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตา

$Feature1_{Area}$ คือขนาดพื้นที่ของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาด้านที่มีขนาดพื้นที่น้อยกว่า

$Feature2_{Area}$ คือขนาดพื้นที่ของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาด้านที่มีขนาดพื้นที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปไซประโยชน์ขนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$EyePair_{DifferentArea}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีขนาดพื้นที่แตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5.19 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดภาพและขนาดพื้นที่แตกต่างกันมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

5.3.3 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน

เนื่องจากส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์ได้ถูกทำการหมุนมาให้ตั้งฉากกับแนวระนาบแล้ว ดังนั้นคู่ตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน กล่าวคือระยะห่างของจุดศูนย์กลางในแนวตั้ง (แนวแกน y) ของแต่ละลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา ต้องมีค่าใกล้เคียงกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ระยะห่างของจุดศูนย์กลางในแนวตั้งของคู่ตามีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้า ตามสมการที่ 5.6 และ 5.7 (ดังตัวอย่างคู่ตาในภาพที่ 5.20)

$$EyePair_{High} = Feature2_{egy} - Feature1_{egy} \quad (5.6)$$

$$\left(\frac{EyePair_{High}}{FaceCandidate_{High}} \times 100 \right) > 10\% \text{ is } EyePair_{BadHigh} \quad (5.7)$$

เมื่อ $Feature1_{egy}$ คือจุดศูนย์กลางในแนวตั้งของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่าน้อยกว่า)

$Feature2_{egy}$ คือจุดศูนย์กลางในแนวตั้งของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่ามากกว่า)

$EyePair_{High}$ คือระยะห่างกันในแนวตั้งของคู่ลักษณะเด่นที่พิจารณา

$FaceCandidate_{High}$ คือความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์ ที่ผ่านกระบวนการหมุนส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบแล้ว

$EyePair_{BadHigh}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันในแนวตั้งมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

5.3.4 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไป

หลังจากผ่านขั้นตอนการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน หรือมีระยะห่างกันในแนวตั้งมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์แล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาระยะห่างกันในแนวนอน (แกน x) ของคู่ลักษณะเด่นว่ามีค่าเหมาะสมหรือไม่ กล่าวคือลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตาทั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าไม่ควรจะอยู่ใกล้กันมากเกินไป และก็ไม่ควรอยู่ห่างกันมากเกินไปเช่นกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ จุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนของคู่ตาทั้งสองข้างต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ ตามสมการที่ 5.8 และ 5.9 (ดังตัวอย่างคู่ตาในภาพที่ 5.21)

$$EyePair_{Wide} = Feature2_{cgr} - Feature1_{cgr} \quad (5.8)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{EyePair_{Wide}}{FaceCandidate_{Wide}} \times 100 \right) < 20\% \\ \left(\frac{EyePair_{Wide}}{FaceCandidate_{Wide}} \times 100 \right) > 60\% \end{aligned} \right\} \text{ is } EyePair_{BadWide} \quad (5.9)$$

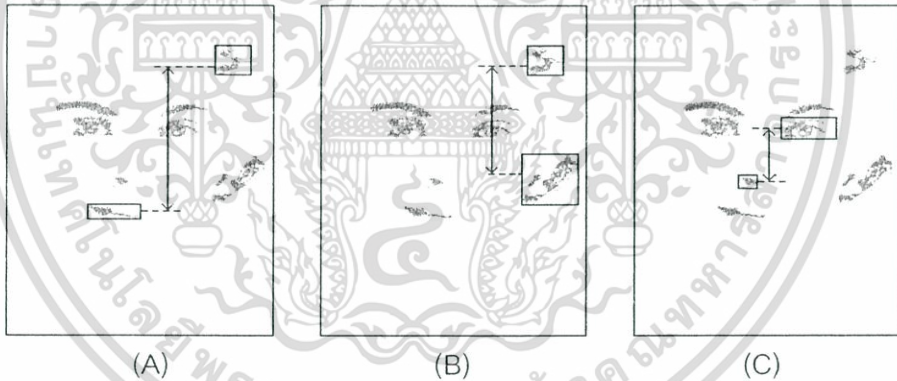
เมื่อ $Feature1_{cgr}$ คือจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่าน้อยกว่า)

$Feature2_{cgr}$ คือจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่ามากกว่า)

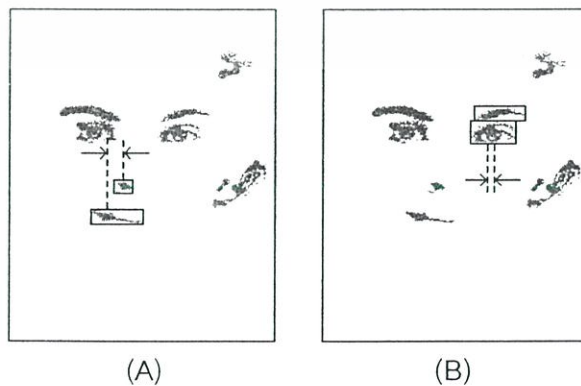
$EyePair_{Wide}$ คือระยะห่างกันแนวนอนของคู่ลักษณะเด่นที่พิจารณา

$FaceCandidate_{Wide}$ คือขนาดความกว้างของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์

$EyePair_{BadWide}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันแนวนอนน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์และมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5.20 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน



ภาพที่ 5.21 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่มีระยะห่างกันแนวนอนน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 กำจัดคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน

เมื่อทำการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ทั้งหมดแล้ว ก็จะมีเหลือคู่ลักษณะเด่นที่มีลักษณะถูกต้องตามความเป็นจริงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม คิ้ว ซึ่งเป็นอีกลักษณะเด่นหนึ่งที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับตาเป็นอย่างมาก ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการกำจัดลักษณะเด่นที่เป็นคิ้ว เพื่อให้เหลือเพียงลักษณะเด่นที่เป็นคู่ตาทั้งสองข้างเท่านั้น โดยจะอาศัยสมมติฐานที่ว่าลักษณะเด่นที่เป็นตาจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าคิ้วเสมอนั่นเอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หากมีคู่ตาอยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน หรือมีระยะห่างกันในแนวตั้ง (แกน y) ไม่เกิน 10 เพลอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ จะพิจารณาคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งสูงกว่า (จุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกน y มีค่าน้อยกว่า) คือลักษณะเด่นที่เป็นคิ้ว และคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งต่ำที่สุด (จุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกน y มีค่ามากที่สุด) คือคู่ตาที่ถูกต้องนั่นเอง ดังสมการที่ 5.10 และ 5.11

$$EyePair_{cgv} = \left(\frac{Feature1_{cgv} + Feature2_{cgv}}{2} \right) \quad (5.10)$$

maximum value of $EyePair_{cgv}$ is $EyePair_{Good}$

$$Otherwise \text{ is } EyePair_{Eyebrow} \quad (5.11)$$

เมื่อ $Feature1_{cgv}$ คือจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่าน้อยกว่า)

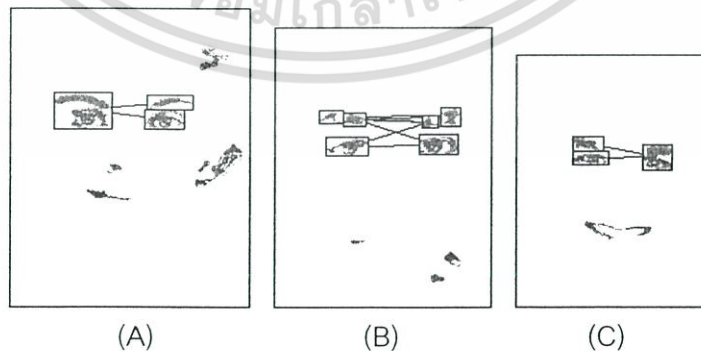
$Feature2_{cgv}$ คือจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งของลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา (ที่มีค่ามากกว่า)

$EyePair_{cgv}$ คือจุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกนตั้ง (แกน y) ของลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้าง หรือจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกนตั้ง (แกน y) ของคู่ลักษณะเด่นที่พิจารณา

maximum value of $EyePair_{cgv}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกนตั้งมีค่ามากที่สุด

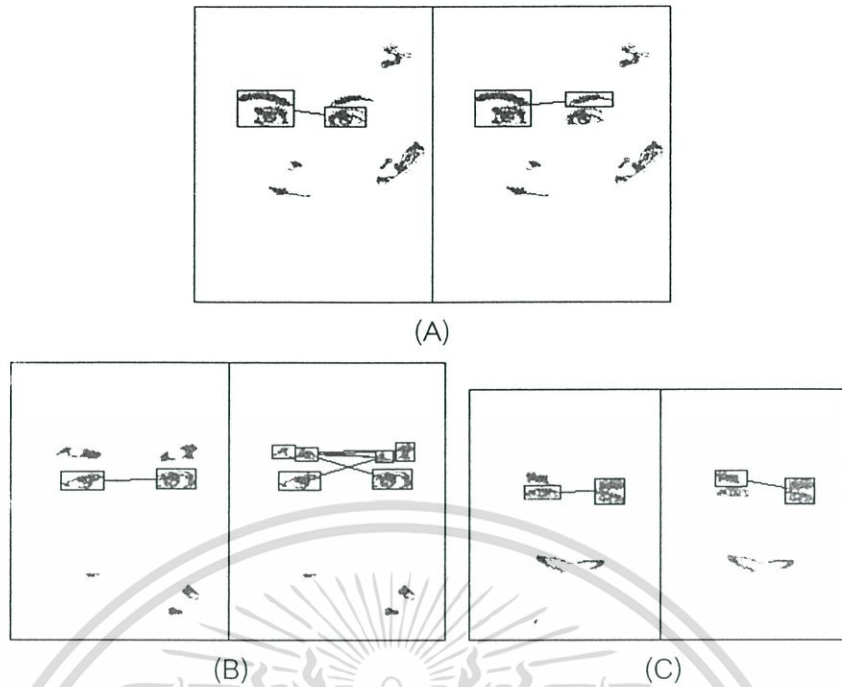
$EyePair_{Good}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตำแหน่งของคู่ตาที่ปรากฏบนใบหน้าที่ต้องการ

$EyePair_{Eyebrow}$ คือคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางถ่วงอยู่ในตำแหน่งสูงกว่า (ลักษณะเด่นที่เป็นคิ้ว)



ภาพที่ 5.22 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน หรือมีระยะห่างกันในแนวแกนตั้ง ไม่เกิน 10 เพลอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะป็นใบหน้ามนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.23 ตัวอย่างคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นที่มาของคู่ตาที่ปรากฏบนใบหน้าที่ต้อง (ภาพซ้ายมือ) และคู่ลักษณะเด่นที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในตำแหน่งสูงกว่า หรือลักษณะเด่นที่เป็นคิ้วนั่นเอง (ภาพขวามือ)

จากภาพที่ 5.22 แสดงตัวอย่างลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน (มีระยะห่างกันในแนวตั้งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นที่มา) ซึ่งก็คือลักษณะเด่นที่เป็นคิ้วและคิ้วนั่นเอง

เมื่อใช้สมการที่ 5.10 และ 5.11 พิจารณาคู่ลักษณะเด่นทั้งหมด เพื่อแยกแยะลักษณะเด่นที่เป็นตาทั้งสองข้างและคิ้วออกจากกัน จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 5.23 โดยภาพซ้ายมือคือลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นที่มาของคู่ตา ส่วนภาพขวามือคือลักษณะเด่นที่เป็นคิ้วนั่นเอง

ในขั้นตอนที่สอง หรือขั้นตอนการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นที่มาของตาทั้งสองข้างที่ถูกต้องนี้ บางกรณีภาพที่พิจารณาจะประกอบไปด้วยภาพใบหน้าที่ทำมุมกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป ดังเช่นในภาพที่ 5.24 ซึ่งเมื่อทำการหมุนส่วนภาพใบหน้าทั้งหมดที่ตรวจพบ ให้มาอยู่ในแนวระนาบ ภาพใบหน้าบางภาพอาจถูกหมุนกลับทิศทาง สลับกับด้านที่ถูกต้อง (ทั้งนี้ เนื่องจากไม่สามารถทราบได้ว่า ภาพใบหน้าอยู่ในทิศทางใดบ้าง และการหมุนส่วนภาพจะหมุนเฉพาะส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนวระนาบตามมุมเอียงของส่วนภาพที่คำนวณได้เท่านั้น) ดังนั้นเพื่อให้การระบุตำแหน่งของใบหน้า และการตรวจหาตำแหน่งของปากในขั้นตอนต่อไปทำได้ถูกต้อง สำหรับภาพใบหน้าที่ถูกหมุนกลับทิศทาง วิธีพิจารณาจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นที่มาของตาทั้งสองข้างก็จะแตกต่างจากวิธีการสำหรับภาพใบหน้าที่อยู่ในทิศทางที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



(B)

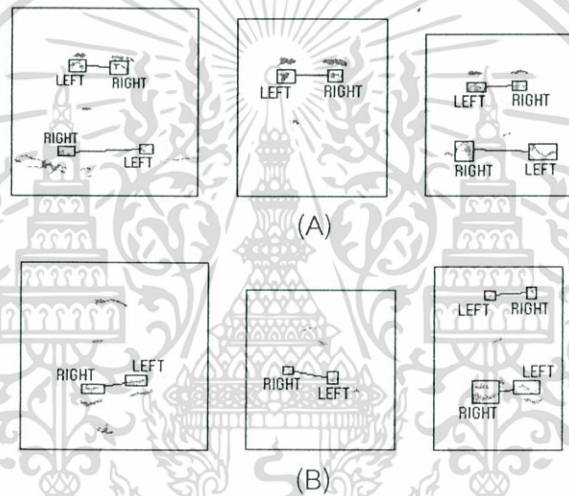


(C)

ภาพที่ 5.24 (A) ภาพใบหน้าในบางกรณีจะทำมุมกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป (B) ใบหน้าที่ผ่านกระบวนการหมุนส่วนภาพ ในทิศทางที่ถูกต้องตามความเป็นจริง (C) ใบหน้าที่ผ่านกระบวนการหมุนส่วนภาพ ในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง

หากแบ่งส่วนภาพใบหน้าออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กันคือซีกบนกับซีกล่าง เมื่อพบว่าตำแหน่งของคู่ลักษณะเด่นที่ตรวจพบ อยู่ในซีกบนของใบหน้า กล่าวคือ หากพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งของตำแหน่งคู่ตา อยู่ในซีกบนของใบหน้า ก็จะได้ว่าส่วนภาพใบหน้าที่กล่าวมาอยู่ในทิศทางที่ถูกต้อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามความเป็นจริงดังในภาพที่ 5.24B แต่ถ้าตำแหน่งของคู่ตาที่ตรวจพบอยู่ในซีกกลางของใบหน้า จะพิจารณาว่าส่วนภาพใบหน้าดังกล่าวอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง ดังในภาพที่ 5.24C ดังนั้นในขั้นตอนการกำจัดคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน เมื่อพบว่าตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์ถ่วงของคู่ลักษณะเด่นที่ตรวจพบอยู่ในซีกกลางของใบหน้า จะไม่พิจารณาว่าคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งต่ำที่สุดว่าเป็นตำแหน่งของคู่ตาที่ถูกต้อง แต่จะพิจารณาคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งบนสุดว่าเป็นตำแหน่งของคู่ตาที่ถูกต้องแทน ส่วนคู่ลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าทั้งหมดก็จะถือว่าเป็นลักษณะเด่นที่เป็นคิ้ว พร้อมทั้งกำหนดให้ตาข้างที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกนนอนมีค่าน้อยกว่าเป็นตาข้างขวา และกำหนดให้ตาข้างที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกนนอนมีค่ามากกว่าเป็นตาข้างซ้าย (สลับกับที่กำหนดให้ใบหน้าที่อยู่ในทิศทางที่ถูกต้อง) ดังในภาพที่ 5.25



ภาพที่ 5.25 คู่ตาที่มีจุดศูนย์ถ่วงในแนวตั้งอยู่ในซีกกลางของใบหน้า จะกำหนดให้ตาข้างที่ตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกนนอนมีค่าน้อยกว่าเป็นตาข้างขวา และข้างที่มีค่ามากกว่าเป็นตาข้างซ้าย ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ใบหน้าอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง (A) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 5.24B (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 5.24C

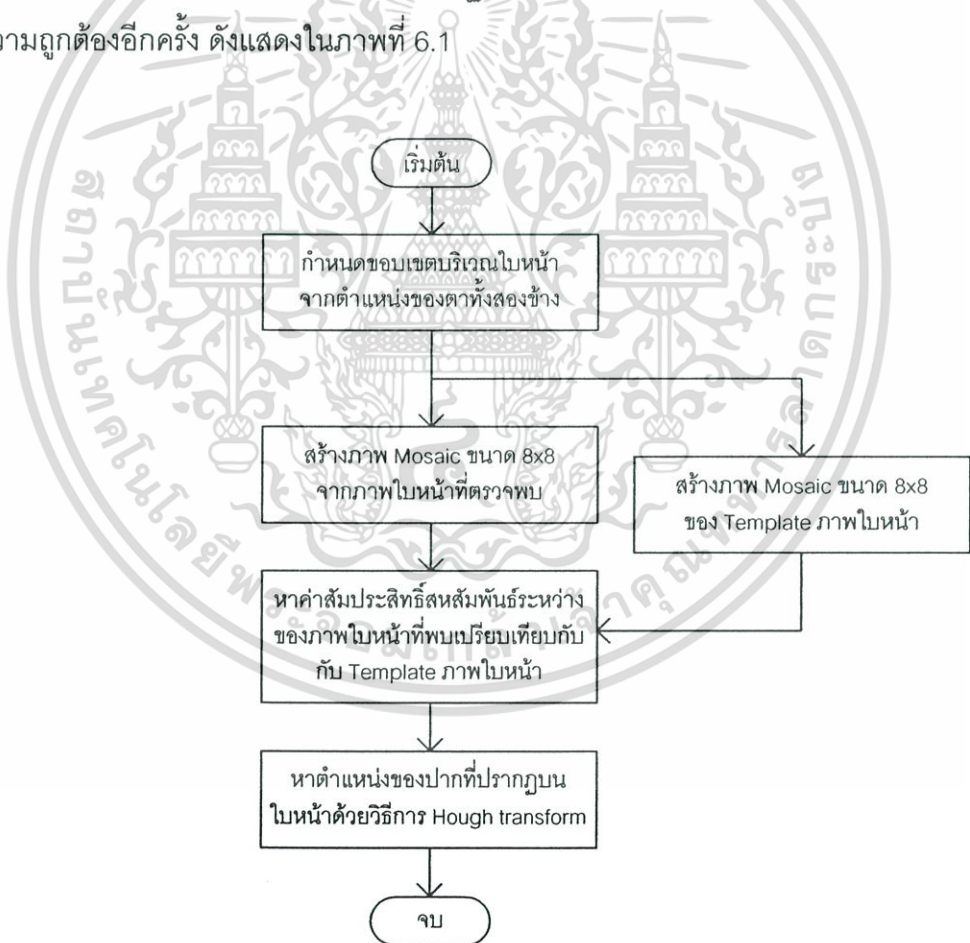
ในบางกรณี ภายในภาพใบหน้าหนึ่งภาพ อาจตรวจพบคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่มากกว่าหนึ่งคู่ตา ดังเช่นในภาพที่ 5.25A ด้านซ้ายมือ ภาพที่ 5.25A ด้านขวามือ และภาพที่ 5.25B ภาพกลาง ซึ่งจะตรวจพบคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาทั้งสองข้างจำนวนสองคู่ โดยในขั้นตอนต่อไปหรือขั้นตอนที่สาม จะนำคู่ตาทั้งหมดที่ปรากฏบนใบหน้า ไปตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งว่า ตำแหน่งคู่ลักษณะเด่นใดคือตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าที่ต้องการ เพราะภายในหนึ่งใบหน้าจะต้องมีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างปรากฏอยู่เพียงหนึ่งคู่เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า

เมื่อได้ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างจากขั้นตอนที่สองแล้ว ในขั้นตอนที่สาม ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนพื้นฉากที่ซับซ้อนนี้ เปรียบเสมือนเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของบริเวณใบหน้า (หรือตาทั้งสองข้าง) ที่ตรวจพบว่าถูกต้องหรือไม่ โดยเริ่มจากนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างมากำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า ซึ่งขอบเขตบริเวณใบหน้านี้จะประกอบไปด้วยลักษณะเด่นคือ ตาทั้งสองข้าง จมูกและปาก จากนั้นนำภาพขอบเขตบริเวณของใบหน้ามาสร้างเป็นภาพ Mosaic ที่มีขนาด 8x8 แล้วเปรียบเทียบกับรูปแบบของภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ โดยอาศัยวิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) สุดท้ายทำการตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการฮัฟฟานส์ฟอร์ม [2,3] เพื่อความถูกต้องอีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 6.1

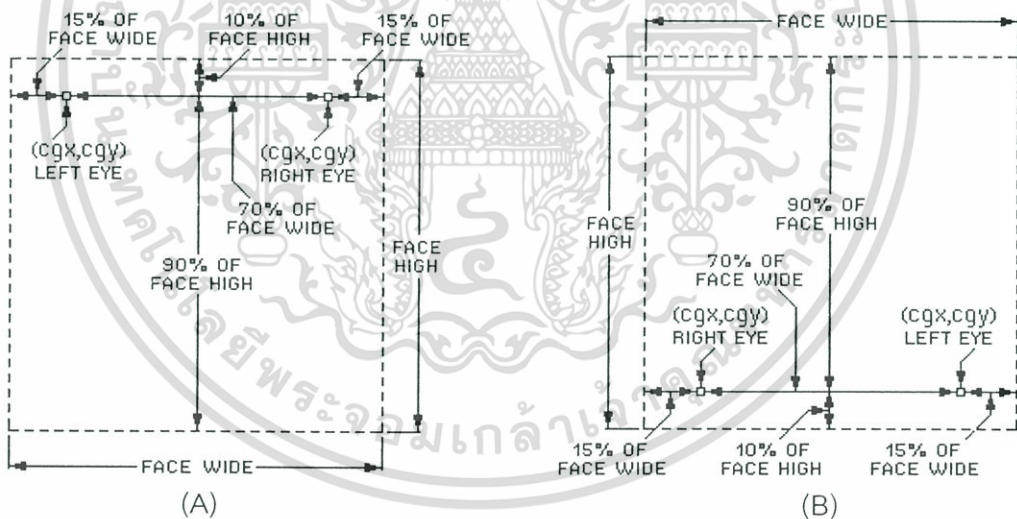


ภาพที่ 6.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง

ภาพใบหน้าของมนุษย์โดยทั่วไป จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากรูปแบบหรือภาพวัตถุอื่น ๆ กล่าวคือภายในบริเวณใบหน้าจะประกอบไปด้วยลักษณะเด่นอันได้แก่ ตาทั้งสองข้าง จมูก และ ปาก โดยบริเวณลักษณะเด่นเหล่านี้จะมีระดับสีเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง ซึ่งก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของระดับค่าสีเทาจากบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ กับรูปแบบใบหน้าที่กำหนดไว้ จะต้องทำการกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าที่ตรวจพบเสียก่อน โดยอาศัยตำแหน่งของตาทั้งสองข้างเป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งจากขั้นตอนที่สอง จะพบว่าบางครั้งภาพที่พิจารณาอาจประกอบไปด้วยใบหน้าที่ทำมุมกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป และเมื่อทำการหมุนส่วนภาพใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบแล้ว อาจมีส่วนภาพใบหน้าที่ถูกหมุนกลับทิศทาง สลับกับด้านที่ถูกตัด ซึ่งจะพิจารณาได้จากตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง กล่าวคือหากพิกัดจุดศูนย์กลางดวงในแนวตั้งของตำแหน่งตาทั้งสองข้างอยู่ใบซีกบนของภาพใบหน้า ก็จะได้ว่าส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งกล่าวอยู่ในทิศทางที่ถูกตัดตามความเป็นจริง แต่ถ้าพิกัดจุดศูนย์กลางดวงในแนวตั้งของตำแหน่งตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกล่างของภาพใบหน้า ก็จะได้ว่าส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งกล่าวอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับความเป็นจริง

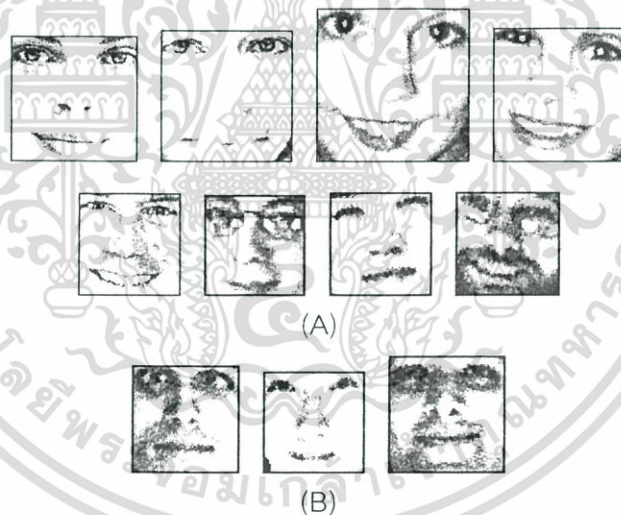


ภาพที่ 6.2 การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า โดยอาศัยตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางดวงของตาทั้งสองข้าง (A) ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกบนของใบหน้า (B) ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกล่างของใบหน้า

การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอาศัยระยะห่างกันในแนวนอนของตาทั้งสองข้างเป็นหลักในการพิจารณา กล่าวคือจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางดวง (cgx, cgy) ของตาทั้งสองข้างที่ตรวจพบในขั้นตอนก่อนหน้า จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ของความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างของขอบเขตบริเวณใบหน้า ส่วนในแนวตั้งจะกำหนดให้บริเวณด้านบนของตาทั้งสองข้างและด้านล่างของตาทั้งสองข้างมีความสูงเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์และ 90 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของบริเวณใบหน้าตามลำดับ (ความกว้างและความสูงของขอบเขตบริเวณใบหน้าที่กำหนด จะมีขนาดเท่ากัน หรือเป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั่นเอง) ซึ่งการกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้านี้ จะทำให้การเปรียบเทียบภาพใบหน้าด้วยวิธีเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการตรวจหาตำแหน่งของปากด้วยวิธีฮาฟทราเนสฟอรั่มสะดวกมากยิ่งขึ้น เพราะแต่ละภาพใบหน้าที่ได้จะมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน และตำแหน่งของปากก็จะไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับภาพใบหน้าที่มีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกบนของใบหน้า ซึ่งถือว่าเป็นภาพใบหน้าที่อยู่ในทิศทางที่ถูกต้องแล้ว ก็จะกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าได้ตามรายละเอียดในภาพที่ 6.2A แต่ถ้าตำแหน่งของตาทั้งสองข้างอยู่ในซีกล่างของใบหน้าซึ่งถือว่าเป็นภาพใบหน้าที่ถูกหมุนกลับด้าน สลับทิศทางกับด้านที่ถูกต้อง ก็จะกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าตามรายละเอียดในภาพที่ 6.2B จากนั้นทำการหมุนภาพบริเวณใบหน้าที่ดังกล่าว (90 องศา) ให้กลับมาตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางที่ถูกต้องอีกครั้ง



ภาพที่ 6.3 (A) ภาพผลลัพธ์การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางที่ถูกต้อง (B) ภาพผลลัพธ์การกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าจากส่วนภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง

ภาพที่ 6.3 แสดงตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้าโดยอาศัยตำแหน่งพิกัดของตาทั้งสองข้าง ในภาพ 6.3A เป็นตัวอย่างภาพผลลัพธ์บริเวณใบหน้าที่ได้จากภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางที่ถูกต้อง ส่วนภาพ 6.3B เป็นตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของบริเวณใบหน้าที่ได้จากภาพใบหน้าที่ตั้งฉากกับแนวระนาบในทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง จะเห็นได้ว่าภาพผลลัพธ์บริเวณภาพใบหน้าที่ได้จากการกำหนดขอบเขต จะประกอบไปด้วย ลักษณะเด่นที่ต้องการ อันได้แก่ ตาทั้งสองข้าง และปาก ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันทุกภาพ เหมาะสำหรับการนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่ได้กำหนดไว้ ด้วยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการตรวจหาตำแหน่งของปากด้วยวิธีฮัฟฟมานส์ฟอร์มในขั้นตอนต่อไป

6.2 การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 จากภาพใบหน้าที่ตรวจพบ

เนื่องจากภาพใบหน้าที่ตรวจพบในแต่ละภาพที่พิจารณามีขนาดแตกต่างกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำภาพใบหน้าที่ตรวจพบไปเปรียบเทียบกับ Template ภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ จะต้องทำการปรับขนาดของภาพใบหน้าที่ตรวจพบ ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบภาพทั้งสอง

วิธีการเปรียบเทียบภาพสองภาพที่มีขนาดเท่ากัน ว่าเหมือนหรือใกล้เคียงกันมากเพียงใดนั้น สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของทั้งภาพทั้งสอง แต่หากภาพสองภาพมีขนาดแตกต่างกัน การเปรียบเทียบภาพทั้งสองก็จะทำได้ยาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำหลักการของภาพ Mosaic มาใช้เพื่อแปลงภาพใบหน้าที่ตรวจพบให้มีขนาดเท่ากับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ โดยสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ซึ่งในแต่ละตำแหน่งของภาพ Mosaic ขนาด 8x8 นี้จะมีค่าระดับสีเทาแทนแต่ละบริเวณบนใบหน้าได้เป็นอย่างดี กล่าวคือตำแหน่งที่เป็นตาทั้งสองข้างจะมีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ตำแหน่งที่เป็นบริเวณปากจะมีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง และบริเวณแก้มก็จะมีค่าระดับสีเทาสว่างกว่าบริเวณข้างเคียง ดังภาพที่ 6.4 และ 6.5 (หากนำภาพใบหน้ามาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 4x4 ก็จะทำให้ภาพ Mosaic ของใบหน้าที่ได้มีเล็กเกินไป ไม่สามารถแสดงค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งบนใบหน้าได้ชัดเจนเท่าที่ควร หากสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 16x16 หรือ 32x32 ภาพ Mosaic ของใบหน้าที่ได้ก็จะมีขนาดใหญ่จนเกินความจำเป็น ทำให้ใช้เวลาประมวลผลมากในขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่ตรวจพบ กับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้)

ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 เปรียบได้กับ Array สองมิติขนาด 8x8 ซึ่งในแต่ละตำแหน่งของ Array ก็จะถูกแทนด้วยค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังนั้นการนำภาพบริเวณใบหน้ามาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ก็เปรียบเสมือนการนำภาพบริเวณใบหน้ามาปรับขนาดให้ลดลงเหลือเพียง 8x8 จุดภาพนั่นเอง วิธีการปรับขนาดภาพให้เล็กลงดังกล่าว จะกระทำที่ละแนวแกน (แนวตั้ง หรือแนวนอน) โดยนำค่าระดับสีเทาในแต่ละจุดภาพมาคำนวณหาใหม่อีกครั้ง ตามสมการที่ 6.1 ถึง 6.4

$$Gain_i = \frac{OldSize_i}{NewSize_i} \quad (6.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$NewGray(i, j) = \frac{\sum_{n=(i \times Gain_i)}^{(i \times Gain_i) + Gain_i} OldGray(n, j)}{Gain_i} \quad (6.2)$$

$$Gain_j = \frac{OldSize_j}{NewSize_j} \quad (6.3)$$

$$NewGray(i, j) = \frac{\sum_{m=(j \times Gain_j)}^{(j \times Gain_j) + Gain_j} OldGray(i, m)}{Gain_j} \quad (6.4)$$

เมื่อ $NewGray(i, j)$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิกัด i, j จากภาพใหม่

$OldGray(n, j)$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิกัด n, j จากภาพเดิม

$OldGray(i, m)$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิกัด i, m จากภาพเดิม

$Gain_i$ คืออัตราส่วนขนาดความกว้าง (แกน x) ของภาพเดิมต่อขนาดความกว้าง (แกน x) ของภาพใหม่

$Gain_j$ คืออัตราส่วนขนาดความสูง (แกน y) ของภาพเดิมต่อขนาดความสูง (แกน y) ของภาพใหม่

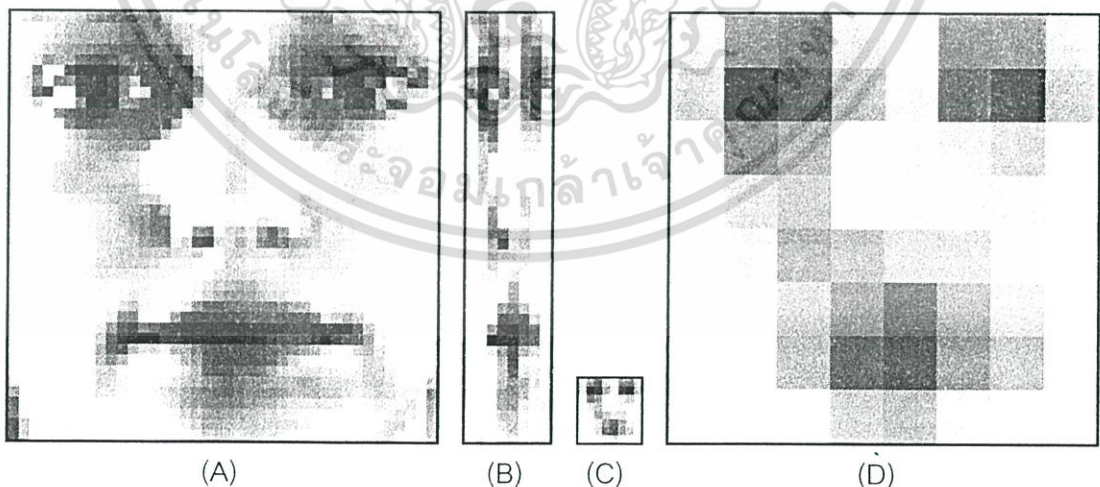
$OldSize_i$ คือขนาดความกว้างของภาพเดิม

$OldSize_j$ คือขนาดความสูงของภาพเดิม

$NewSize_i$ คือขนาดความกว้างของภาพใหม่ (ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8)

$NewSize_j$ คือขนาดความสูงของภาพใหม่ (ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8)

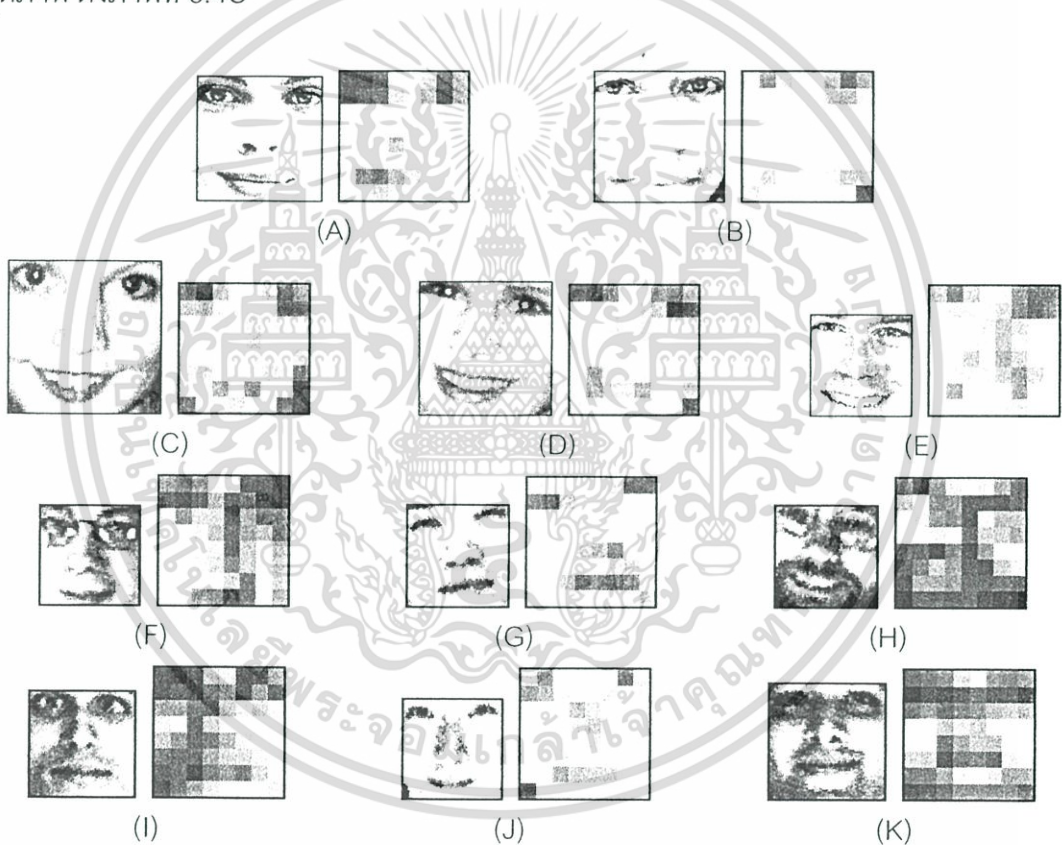
i, j คือพิกัดของจุดภาพในภาพใหม่ มีค่าเท่ากับ 0 ถึง 7



ภาพที่ 6.4 (A) ภาพขนาด 40x40 จุดภาพ (B) ภาพที่ปรับขนาดในแนวนอนให้เล็กลงเท่ากับ 8x40 จุดภาพ (C) ภาพที่ได้จากภาพ B ที่ปรับขนาดในแนวตั้งให้เล็กลงเหลือเท่ากับ 8x8 จุดภาพ (D) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ที่ขยายขนาดจากภาพ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6.4 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับภาพขนาด 40×40 จุดภาพ (ภาพ 6.4A) ให้เล็กลงเหลือเท่ากับ 8×8 จุดภาพ เริ่มจากปรับขนาดภาพตามแนวนอน (แกน x) ให้มีความกว้างของภาพในแนวนอนเท่ากับ 8 จุดภาพ โดยใช้สมการที่ 6.1 เพื่อหาอัตราส่วนขนาดความกว้างของภาพเดิมต่อภาพใหม่และสมการที่ 6.2 คำนวณหาค่าระดับสีเทาแต่ละจุดภาพของภาพใหม่ จะได้ภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 6.4B จะเห็นได้ว่าภาพจะถูกปรับให้มีขนาดเท่ากับ 8×40 จุดภาพ ซึ่งขนาดของภาพในแนวตั้งจะยังเท่าเดิม จากนั้นใช้สมการที่ 6.3 หาอัตราส่วนขนาดความสูงของภาพเดิมต่อภาพใหม่ (เนื่องจากภาพที่ตรวจพบมีขนาดความกว้างและความสูงเท่ากัน ดังนั้นค่าอัตราส่วนขนาดความกว้างและความสูงที่ได้จากสมการที่ 6.1 และ 6.3 จะมีค่าเท่ากัน) สุดท้ายคำนวณหาค่าระดับสีเทาแต่ละจุดภาพของภาพใหม่อีกครั้งด้วยสมการที่ 6.4 ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดเท่ากับ 8×8 จุดภาพ ดังภาพที่ 6.4C



ภาพที่ 6.5 ตัวอย่างภาพใบหน้าที่ตรวจพบซึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไป (ภาพซ้ายมือ) และภาพ Mosaic ขนาด 8×8 ที่สร้างจากภาพใบหน้าที่ดังกล่าว (ภาพขวามือ)

จากภาพที่ 6.5 แสดงตัวอย่างการสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8×8 จากภาพใบหน้า โดยภาพซ้ายมือเป็นภาพใบหน้าที่ตรวจพบจากขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งแต่ละภาพจะมีขนาดแตกต่างกันออกไป และภาพขวามือเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8×8 ของแต่ละภาพใบหน้าที่ได้สร้างขึ้น จะเห็นได้ว่าภาพ Mosaic ขนาด 8×8 ของแต่ละภาพใบหน้าที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณตำแหน่งตาทั้งสองข้างมีค่าระดับสีเทาเข้มที่สุด และบริเวณปากก็มีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง อย่างไรก็ตามค่าระดับสีเทาในแต่ละภาพอาจแตกต่างกันออกไป ตามทิศทางของแสงและเงาที่ตกกระทบบริเวณใบหน้า

6.3 การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้า

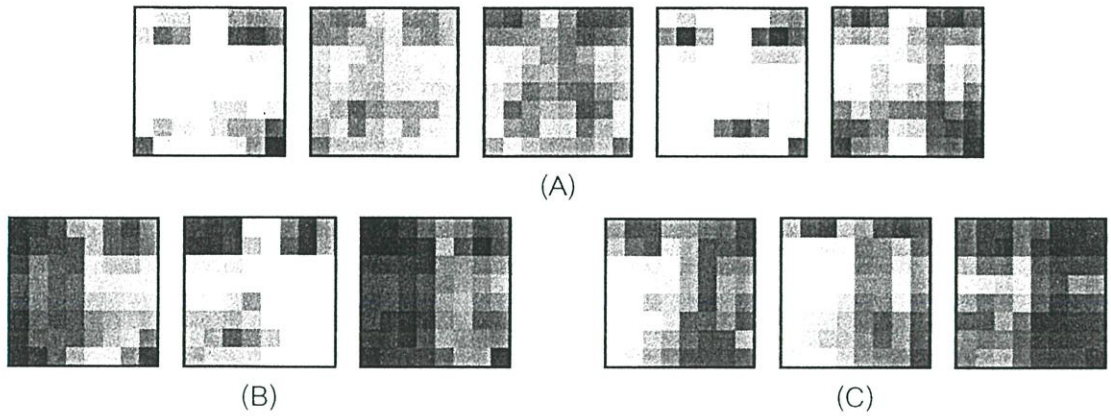
โดยทั่วไปแล้ว ในภาพแต่ละภาพจะมีทิศทางของแสงและเงาตกกระทบกับวัตถุภายในภาพแตกต่างกันออกไป ดังนั้นทิศทางของแสงและเงาที่ตกกระทบบนภาพใบหน้าภายในแต่ละภาพ ก็อาจแตกต่างกันไปเช่นกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนด Template ของภาพใบหน้าแตกต่างกัน 3 รูปแบบ ตามลักษณะของแสงและเงา ได้แก่ ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยตรง ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากด้านขวา (เงาจะปรากฏทางด้านซ้าย) และภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากด้านซ้าย (เงาจะปรากฏทางด้านขวา) ทั้งนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพของการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของภาพใบหน้า กับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยนำภาพบริเวณใบหน้าจากข้อมูลภาพ Henry A. Rowley face database [7] ที่มีลักษณะของแสงเงาตกกระทบในทิศทางแตกต่างกันมาทดลองสร้างเป็นรูปแบบของใบหน้าทั้ง 3 รูปแบบ คือภาพบริเวณใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยตรง 5 ภาพ ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากด้านขวา 3 ภาพ และภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากด้านซ้าย 3 ภาพ ดังในภาพที่ 6.6



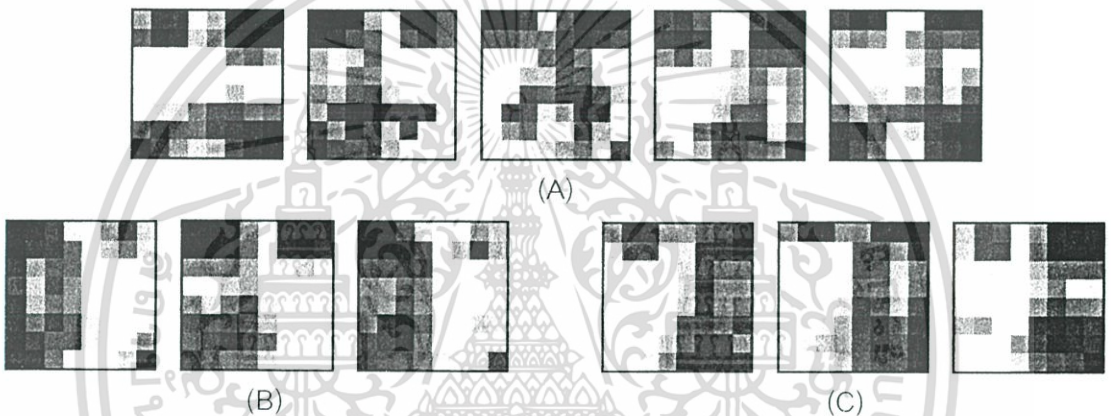
ภาพที่ 6.6 ภาพบริเวณใบหน้าที่นำมาสร้างเป็น Template ภาพใบหน้า (A) ภาพบริเวณใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยตรง (B) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวา (C) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้าย

จากนั้นนำภาพดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และทำกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1) เพื่อให้ค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของภาพ Mosaic มีความแตกต่างกันชัดเจนยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 6.7 และ 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.7 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที้นำมาสร้างเป็น Template ภาพใบหน้า ก่อนทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชัน



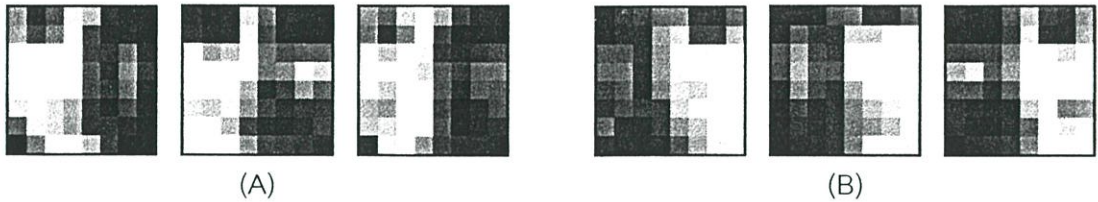
ภาพที่ 6.8 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที้นำมาสร้างเป็น Template ภาพใบหน้า หลังทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชัน

จากภาพที่ 6.8A สามารถนำมาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพ ใบหน้าที่แสดงตกกระทบจากทางด้านหน้าโดยตรงได้ โดยทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาจาก ทุกๆ ตำแหน่งในภาพ Mosaic ขนาด 8x8 (ทั้ง 5 ภาพในภาพที่ 6.8A) จะได้ดังภาพที่ 6.10A

สำหรับภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้าที่แสดงตกกระทบจากทางด้าน ขวาและทางด้านซ้ายนั้น สามารถสร้างได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาในทุกๆ ตำแหน่ง ของภาพที่ 6.8B และ C รวมกัน โดยการพลิกสลับภาพจากขวาไปซ้าย และซ้ายไปขวา

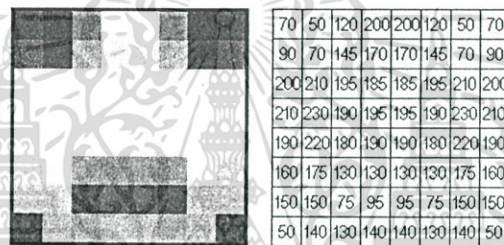
กล่าวคือ จากภาพที่ 6.8B ซึ่งเป็นภาพใบหน้าที่แสดงตกกระทบจากทางด้านขวา เมื่อทำการ พลิกสลับภาพจากขวาไปซ้าย และซ้ายไปขวา ก็จะได้ดังภาพที่ 6.9A เสมือนภาพใบหน้าที่แสดงตก กระบจากทางด้านซ้ายแทน และจากภาพที่ 6.8C ซึ่งเป็นภาพใบหน้าที่แสดงตกกระทบจากทาง ด้านซ้าย เมื่อทำการพลิกสลับภาพจากขวาไปซ้าย และซ้ายไปขวา ก็จะได้ดังภาพที่ 6.9B เสมือน ภาพใบหน้าที่แสดงตกกระทบจากทางด้านขวาแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

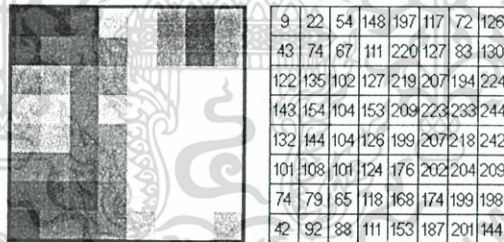


ภาพที่ 6.9 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่น่ามาสสร้างเป็น Template ภาพใบหน้า หลังทำกระบวนการฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชัน ที่พลิกภาพสลับจากขวาไปซ้าย และซ้ายไปขวา (A) จากภาพที่ 6.8B (B) จากภาพที่ 6.8C

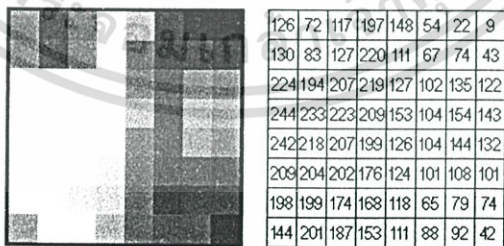
จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาจากทุกๆ ตำแหน่งในภาพ Mosaic ขนาด 8x8 จากภาพที่ 6.8B (จำนวน 3 ภาพ) รวมกับภาพที่ 6.9B (จำนวน 3 ภาพ) ก็จะได้ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวา ดังภาพที่ 6.10B



(A)



(B)



(C)

ภาพที่ 6.10 ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้า ที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ ตามทิศทางของแสงและเงา (A) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยตรง (B) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวา (C) ภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาจากทุกๆ ตำแหน่งในภาพ Mosaic ขนาด 8x8 จากภาพที่ 6.8C (จำนวน 3 ภาพ) รวมกับภาพที่ 6.9A (จำนวน 3 ภาพ) จะได้ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของ Template ภาพใบหน้า ที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้าย ดังภาพที่ 6.10C

6.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้ากับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้

การหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งนำมาใช้หาความสัมพันธ์ของภาพสองภาพ ว่ามีความเหมือนหรือใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพในภาพทั้งสอง หากกำหนดให้ $w(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของภาพขนาด $J \times K$ และ $f(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของภาพขนาด $M \times N$ โดยที่ $f(x,y)$ หรือภาพที่พิจารณาจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ $w(x,y)$ เสมอ ($J \leq M$ และ $K \leq N$) ค่าสหสัมพันธ์ของภาพทั้งสองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 6.5

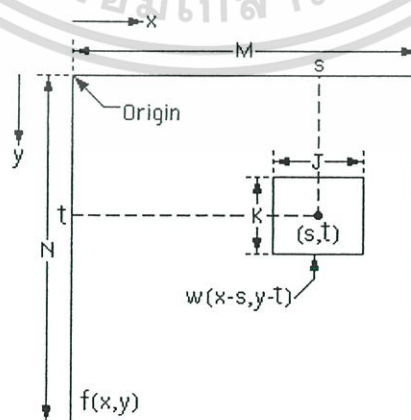
$$c(s,t) = \sum_{x=0}^{M-1-N-1} \sum_{y=0}^{N-1-K-1} f(x,y)w(x-s,y-t) \quad (6.5)$$

เมื่อ $c(s,t)$ คือค่าสหสัมพันธ์ที่พิกัด x,y

$f(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของภาพขนาด $M \times N$ ที่นำมาพิจารณา

$w(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของภาพขนาด $J \times K$ หรือภาพ Template

ค่า $c(s,t)$ คำนวณได้จากแต่ละตำแหน่งที่ $w(x,y)$ ทับซ้อนกับ $f(x,y)$ ดังในภาพที่ 6.11 หากกำหนดให้จุดกำเนิด (Origin) ของ $f(x,y)$ คือตำแหน่งพิกัดซ้ายบนของภาพ และจุดกำเนิดของ $w(x,y)$ คือตำแหน่งพิกัดตรงกลางของภาพสี่เหลี่ยมเล็ก ค่าสหสัมพันธ์จะคำนวณได้จากทุกๆ ตำแหน่งที่ค่า s,t เปลี่ยนแปลงภายในภาพ หรือกล่าวได้ว่า $w(x,y)$ จะเคลื่อนผ่านทับทุกๆ ตำแหน่งของ $f(x,y)$ ตลอดทั้งภาพ ตำแหน่ง s,t ใด ที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงสุด ก็คือตำแหน่งที่ภาพ $w(x,y)$ มีรูปแบบใกล้เคียงหรือเหมือนกับภาพ $f(x,y)$ มากที่สุดนั่นเอง



ภาพที่ 6.11 การหาค่าสหสัมพันธ์ของ $w(x,y)$ กับ $f(x,y)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของภาพใบหน้ากับ Template ภาพใบหน้าที่ได้กำหนดไว้ โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) จากค่าระดับสีเทาในแต่ละตำแหน่งของทั้งสองภาพ ดังสมการที่ 6.6

$$\text{correlation coefficient} = \frac{\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 (f(x,y) - \bar{f}(x,y))(w(x,y) - \bar{w}(x,y))}{\left(\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 (f(x,y) - \bar{f}(x,y))^2 \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 (w(x,y) - \bar{w}(x,y))^2 \right)^{1/2}} \quad (6.6)$$

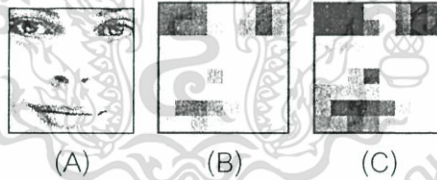
เมื่อ *correlation coefficient* คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$\bar{f}(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของภาพ $f(x,y)$

$\bar{w}(x,y)$ คือค่าระดับค่าสีเทาเฉลี่ยของภาพ $w(x,y)$

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ -1 จนถึง 1 (เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะเทียบได้กับ -1 คือ 0 เปอร์เซ็นต์และ 1 คือ 100 เปอร์เซ็นต์นั่นเอง) หากภาพใบหน้ากับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้เหมือนกันทุกประการ กล่าวคือค่าระดับสีเทาของแต่ละตำแหน่งภาพในภาพมีค่าเท่ากันทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 (100 เปอร์เซ็นต์) นั่นเอง

สำหรับขั้นตอนในการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้า กับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ เริ่มจากการนำภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้ามาผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน เพื่อให้ภาพมีความชัดเข้มมากยิ่งขึ้น ดังในภาพที่ 6.12

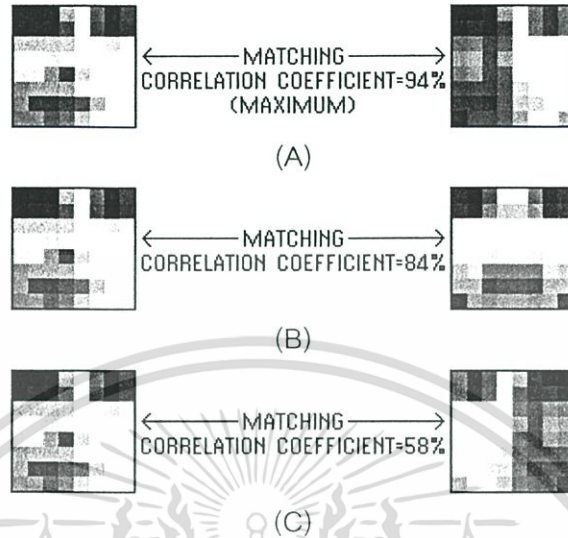


ภาพที่ 6.12 (A) ภาพใบหน้าที่ตรงจพบ (B) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้า (C) ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าเมื่อผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

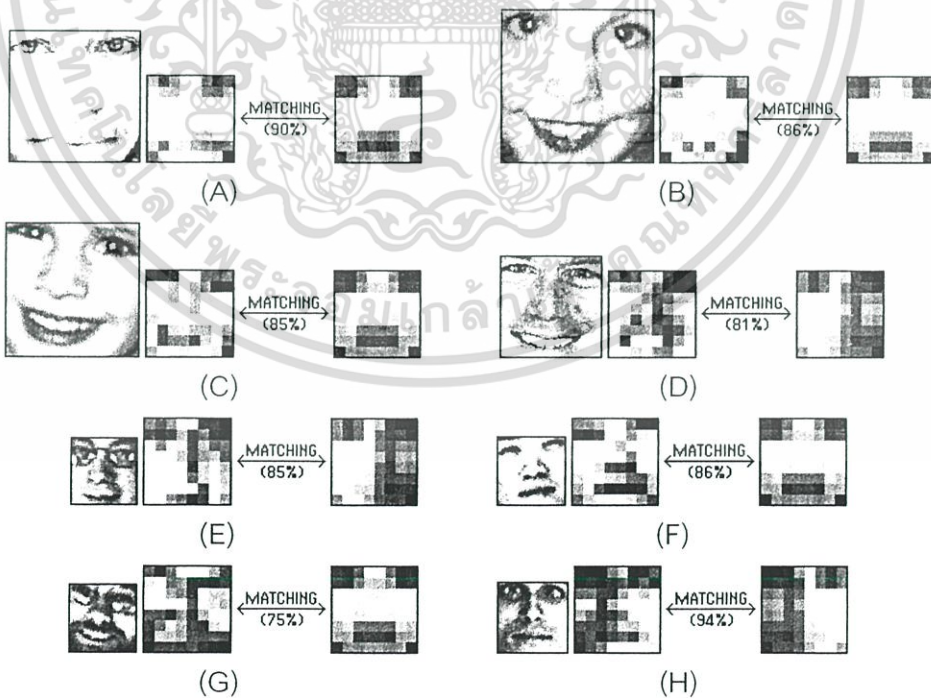
จากนั้นนำภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่ผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชันที่ได้ มาเปรียบเทียบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ ตามสมการที่ 6.6 โดยจะยึดเอาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุดจากทั้ง 3 รูปแบบเป็นหลัก (เนื่องมาจากไม่สามารถทราบได้ว่า ภาพใบหน้าที่ตรงจพบภายในภาพมีแสงตกกระทบจากทางด้านใดบ้าง)

ตัวอย่างในภาพที่ 6.13 ภาพใบหน้าที่ดังกล่าวจะใกล้เคียงกับรูปแบบภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวามากที่สุด เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะได้เท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบทางด้านหน้าโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรง และรูปแบบภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้าย จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 84 และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



ภาพที่ 6.13 (A) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้า ที่แสงตกกระทบจากทางด้านขวาเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ (B) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านหน้าโดยตรงเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ (C) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพใบหน้าที่แสงตกกระทบจากทางด้านซ้ายเท่ากับ 58 เปอร์เซ็นต์

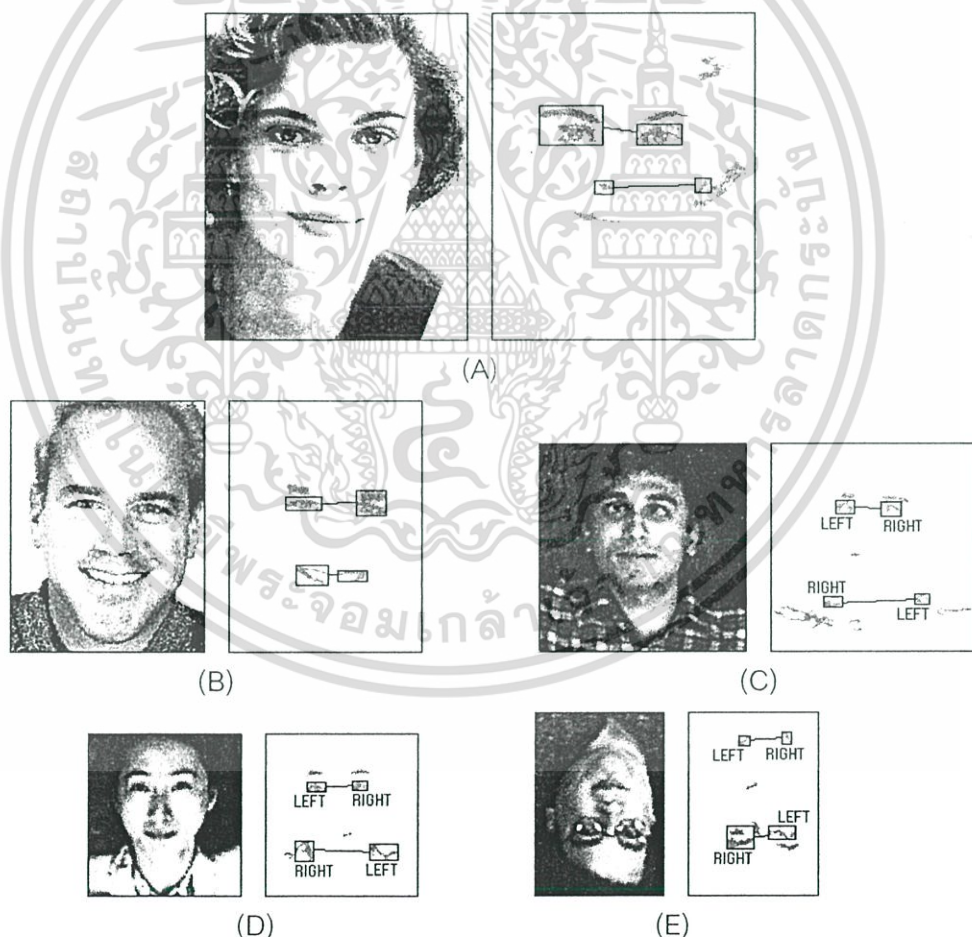


ภาพที่ 6.14 ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่ตรวจพบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

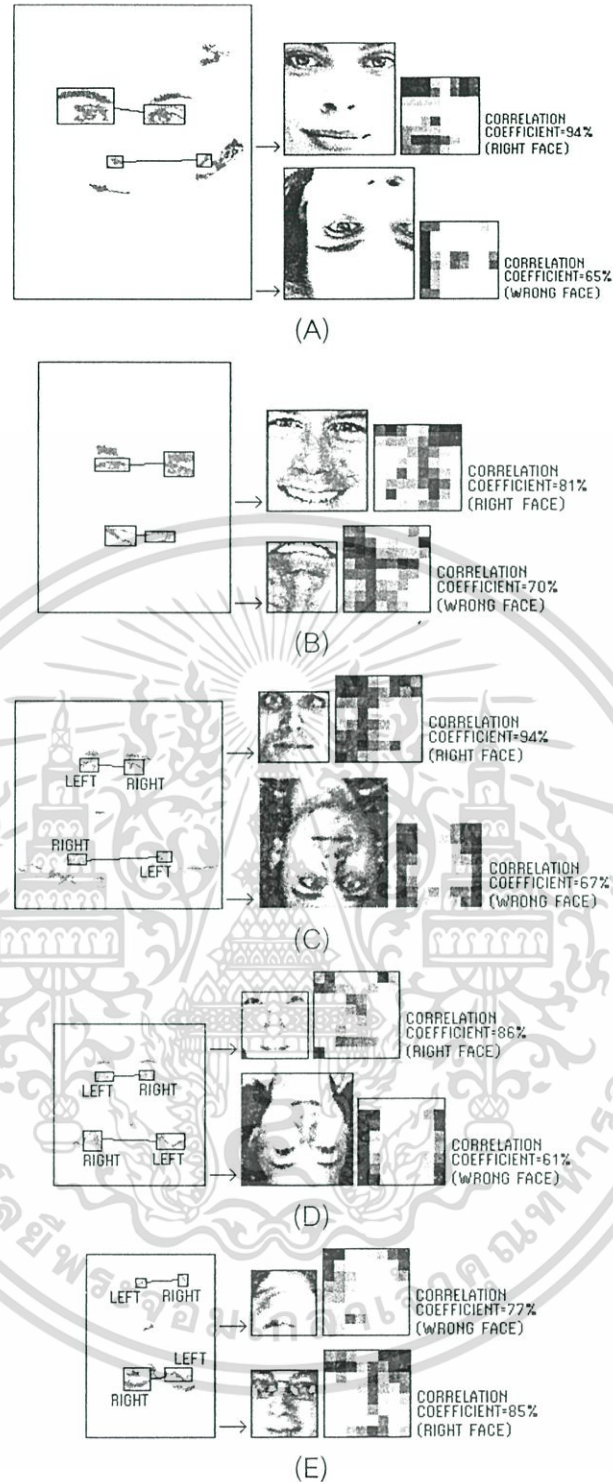
ภาพที่ 6.14 เป็นตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพ Mosaic ขนาด 8x8 ของภาพใบหน้าที่ตรวจพบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นว่าภาพใบหน้าแต่ละภาพจะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้แตกต่างกันออกไป ซึ่งเปอร์เซ็นต์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า ภาพบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบนี้คือภาพใบหน้าที่ถูกต้องหรือไม่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาว่า ภาพบริเวณใบหน้าที่ใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ คือบริเวณใบหน้าที่ถูกต้อง แต่หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ก็จะถือว่าบริเวณดังกล่าวไม่มีภาพใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่นั่นเอง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนท้ายของบทที่ 5 ภายในหนึ่งใบหน้าที่ต้องมีตำแหน่งของคู่ตาทั้งสองข้างปรากฏอยู่เพียงหนึ่งคู่เท่านั้น แต่ในบางครั้งภายในหนึ่งใบหน้าอาจตรวจพบตำแหน่งคู่ตามากกว่าหนึ่งคู่ ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาว่าตำแหน่งคู่ตาใดคือตำแหน่งที่ถูกต้องของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า



ภาพที่ 6.15 บางกรณีภายในหนึ่งใบหน้า อาจตรวจพบตำแหน่งของตาทั้งสองข้างมากกว่าหนึ่งคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



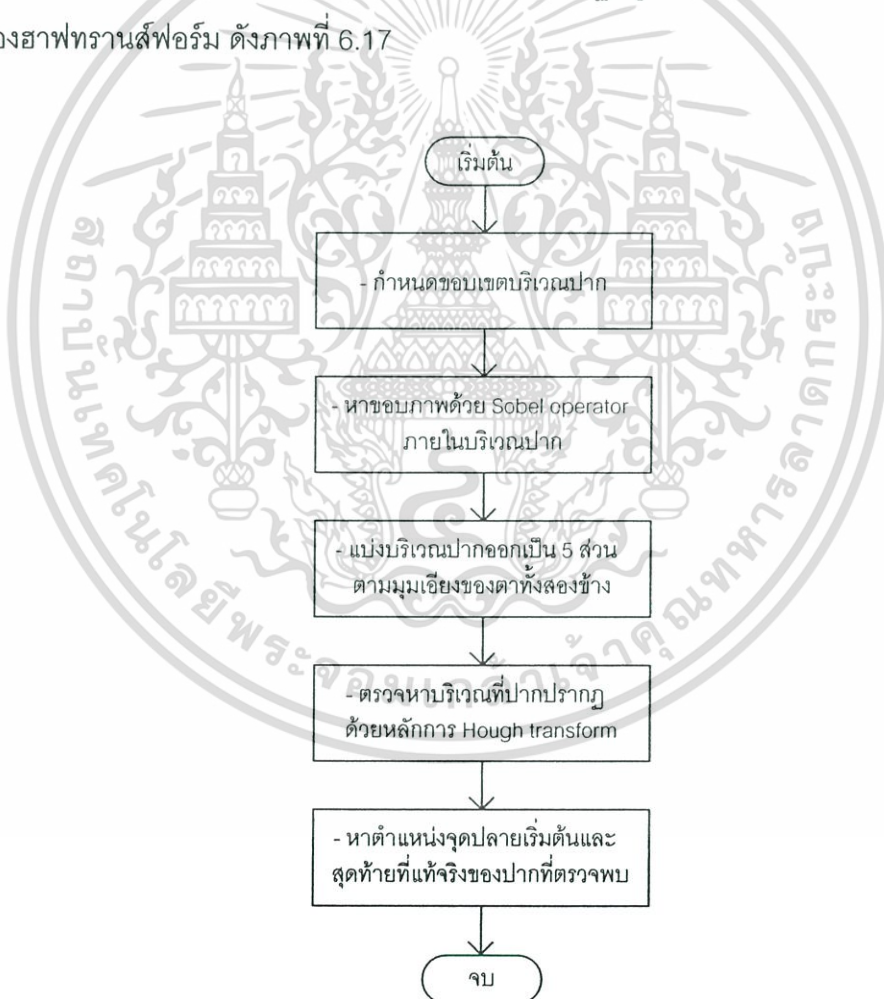
ภาพที่ 6.16 การตรวจหาภาพบริเวณใบหน้าที่ถูกตัด เมื่อภายในหนึ่งใบหน้ามีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งคู่ โดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มากที่สุดเป็นหลัก

ดังนั้นในขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับใบหน้าที่ตรวจพบคู่ตามากกว่าหนึ่งคู่ตา ก็จะนำตำแหน่งของคู่ตาทั้งหมดที่ปรากฏบนใบหน้า มากำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า สร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สุดท้ายจึงนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของบริเวณใบหน้าที่ได้จากตำแหน่งคู่ตาใดมีค่ามากที่สุด โดยจะพิจารณาว่าภาพบริเวณใบหน้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดคือตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้าที่ต้องการ ส่วนภาพบริเวณใบหน้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า ก็จะถูกกำจัดออกไป ดังภาพที่ 6.16

6.5 การหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีฮัฟทรานส์ฟอร์ม

เมื่อได้ขอบเขตบริเวณภาพใบหน้าที่มีลักษณะเด่นอันได้แก่ ตาทั้งสองข้าง และปากปรากฏอยู่ ซึ่งผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้อง ด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากขั้นตอนก่อนหน้านี้แล้ว ทำให้รู้ถึงขอบเขตบริเวณใบหน้าและตำแหน่งของตาแต่ละข้าง ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปนี้จะเป็นการตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏอยู่ในบริเวณใบหน้า โดยอาศัยหลักการของฮัฟทรานส์ฟอร์ม ดังภาพที่ 6.17



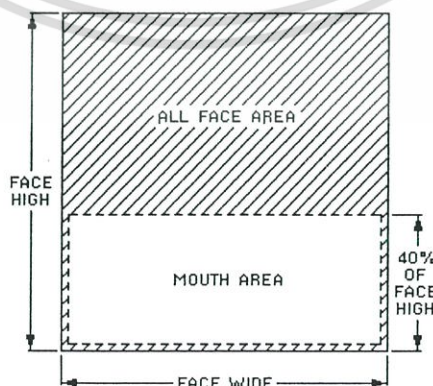
ภาพที่ 6.17 ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งของปากด้วยวิธีการฮัฟทรานส์ฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 6.17 แสดงขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม เริ่มจากกำหนดขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ และหาขอบภาพในบริเวณดังกล่าวด้วยวิธี Sobel operator เฉพาะในแนวนอน (gx) เพราะปากเป็นลักษณะเด่นที่มีรูปทรงยาวขนานกับแนวระนาบนั่นเอง แต่ถึงแม้ว่าจะได้ทำการหมุนภาพใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบในขั้นตอนก่อนหน้านี้แล้ว ภาพใบหน้าที่ผ่านการหมุนอาจจะมีเอียงอยู่เล็กน้อย ดังนั้นตำแหน่งของปากจึงไม่ขนานกับแนวระนาบทั้งหมด จึงต้องทำการหามุมเอียงของปากที่แท้จริง โดยสามารถคำนวณหาได้จากมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง (จากพิกัดจุดศูนย์กลางของตาข้างซ้ายและขวา) เพราะรูปทรงของปากโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในระนาบเดียวกันกับแนวระนาบของตาทั้งสองข้างนั่นเอง จากนั้นทำการแบ่งส่วนภาพบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กันในแนวนอนตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง โดยอาศัยหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม แล้วตรวจสอบว่าภายในแต่ละส่วนภาพ จากทั้ง 5 ส่วนภาพดังกล่าว ส่วนภาพใดที่มีจุดขอบภาพปรากฏอยู่มากที่สุด ก็จะพิจารณาว่าส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่มีปากปรากฏอยู่นั่นเอง สุดท้ายพิจารณหาพิกัดจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของลายเส้นภาพในบริเวณปากว่าอยู่ที่ตำแหน่งใด สำหรับรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

6.5.1 กำหนดขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่

ภายในบริเวณของใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไปแล้ว ตำแหน่งของปากจะอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของตาทั้งสองข้างเสมอ หรืออยู่ส่วนล่างของขอบเขตบริเวณใบหน้า ดังนั้นจากขอบเขตบริเวณของแต่ละภาพใบหน้าที่ตรวจหาได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ ก็จะถูกนำมาใช้กำหนดขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้พื้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของบริเวณที่อยู่ส่วนล่างของภาพใบหน้าทั้งหมดคือ บริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ ดังภาพที่ 6.18

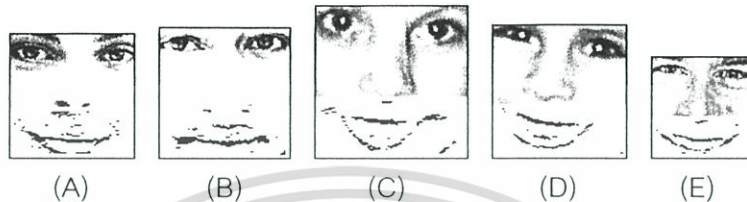


ภาพที่ 6.18 ขอบเขตบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.2 หาขอบภาพด้วยวิธี Sobel operator เฉพาะแนวนอนภายในขอบเขตบริเวณปาก

ทำการหาขอบภาพภายในบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ ด้วย Sobel operator เฉพาะในแนวนอน (gx) ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.5 เนื่องจากปากมีรูปทรงยาวขนานกับแนวระนาบนั้นเอง จากตัวอย่างในภาพที่ 6.19 จะเห็นได้ว่าการหาขอบภาพด้วย Sobel operator นี้จะช่วยให้อุณหภูมิของขอบปากปรากฏออกมาอย่างเด่นชัดมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 6.19 ตัวอย่างขอบภาพบริเวณปากที่ได้จากการหาขอบภาพด้วย Sobel operator

6.5.3 แบ่งบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง

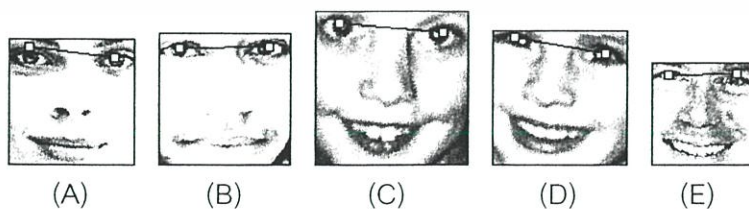
ถึงแม้ว่าจะได้ทำการหมุนส่วนภาพใบหน้า ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบในขั้นตอนก่อนหน้าแล้ว แต่บริเวณภาพใบหน้าที่เราตรวจหาได้ ก็ยังไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบทั้งหมด (หรืออาจเกิดจากจุดศูนย์กลางของลักษณะเด่นคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งของตาที่ต้องเล็กน้อย เพราะเป็นลักษณะเด่นที่มีทั้งตาและคิ้วอยู่รวมกัน) ดังนั้นตำแหน่งของปากจึงไม่ขนานกับแนวระนาบเช่นกัน (ดังภาพที่ 6.20) อย่างไรก็ตามตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้ามนุษย์โดยทั่วไป จะขนานกับแนวระนาบของตาทั้งสองข้างเสมอ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหามุมเอียงของบริเวณปากได้จากมุมเอียงของตาทั้งสองข้างนั่นเอง

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) \quad (6.7)$$

เมื่อ θ คือมุมเอียงของตาทั้งสองข้างที่ทำมุมกับแนวระนาบ

x_1, y_1 คือพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนและแนวตั้งของตาซ้าย

x_2, y_2 คือพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวนอนและแนวตั้งของตาขวา



ภาพที่ 6.20 ตาทั้งสองข้างและปากจะเอียงทำมุมค่อนข้างใกล้เคียงกันเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการแบ่งส่วนภาพภายในบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กัน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง เพื่อตรวจหาตำแหน่งของปากที่ถูกตัด ว่าปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งใด ตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม กล่าวคือแนวสายเส้นที่ปรากฏอยู่ในภาพจะสามารถแทนได้ด้วยตัวแปรสองตัวคือ ρ และ θ ดังสมการที่ 6.8

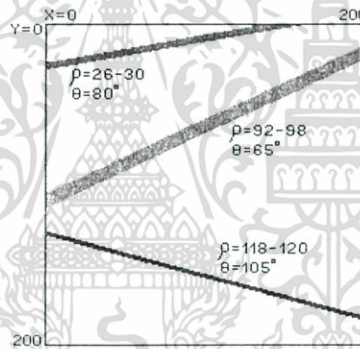
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{6.8}$$

เมื่อ ρ คือระยะทางตั้งฉากจากเส้นตรงถึงจุดกำเนิดในระนาบภาพ x, y

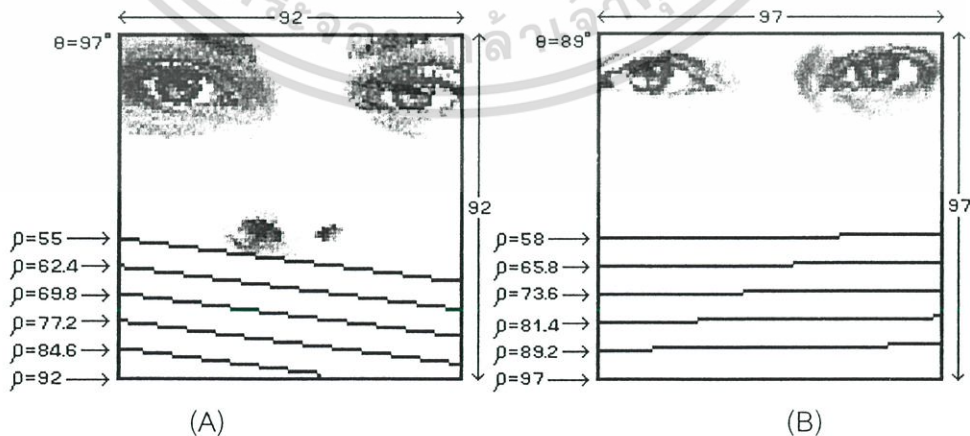
θ คือมุมจากแนวแกน x ถึงเส้นตั้งฉาก

x, y คือพิกัดตำแหน่งของจุดภาพบนระนาบภาพ x, y

กล่าวคือจุดภาพ x, y ใดๆ ที่มีค่า ρ และ θ เท่ากัน ก็จะปรากฏอยู่บนสายเส้นตรงเดียวกันนั่นเอง จากตัวอย่างในภาพที่ 6.21 เมื่อทำการตรวจหาแนวสายเส้น ตามหลักการของ Hough transform ด้วยสมการที่ 6.8 จะพบว่า มีแนวสายเส้นปรากฏอยู่ในภาพทั้งหมด 3 สายเส้น ซึ่งแต่ละแนวสายเส้นก็จะมีค่า ρ และ θ แตกต่างกันไป



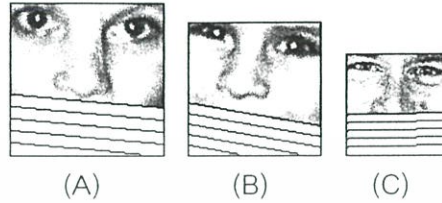
ภาพที่ 6.21 ตัวอย่างแนวสายเส้นที่มีค่า ρ และมุม θ แตกต่างกันในภาพ



ภาพที่ 6.22 ตัวอย่างวิธีการแบ่งส่วนภาพของบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง ด้วยหลักการฮอฟทรานส์ฟอร์ม จากภาพที่ 6.19A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์มดังกล่าว ทำให้สามารถแบ่งส่วนภาพภายในบริเวณปาก ออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กันในแนวนอนตามมุมเอียงของตาได้ โดยนำความยาวในแนวตั้งของบริเวณ ปากมาแบ่งออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กัน แล้วกำหนดให้เป็นค่า ρ ของแนวสายเส้นนั้นๆ ส่วนมุม θ ก็ จะมีค่าเท่ากับมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 6.22 และ 6.23

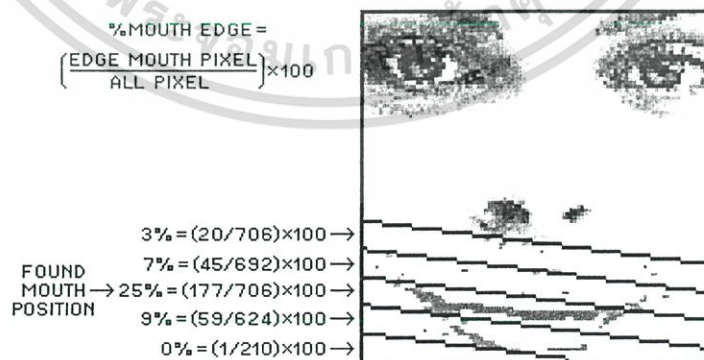


ภาพที่ 6.23 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพของบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้าง ด้วยหลักการฮาฟทรานส์ฟอร์ม จากภาพที่ 6.19C, D และ E

6.5.4 ตรวจหาบริเวณที่เป็นตำแหน่งของปาก โดยพิจารณาจากจำนวนจุดขอบภาพ

เมื่อทำการแบ่งส่วนภาพภายในบริเวณปากออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กันในแนวนอน ตามมุมเอียงของตาทั้งสองข้างได้แล้ว ก็จะทำให้การตรวจสอบว่าภายในแต่ละส่วนภาพ จากทั้ง 5 ส่วนภาพ ดังกล่าว ส่วนภาพใดที่มีจุดขอบภาพปรากฏอยู่มากที่สุด ก็จะพิจารณาว่าส่วนภาพนั้นเป็นบริเวณที่ตำแหน่งของปากปรากฏอยู่นั่นเอง

วิธีการพิจารณาว่าส่วนภาพใดที่มีจุดขอบภาพของปากปรากฏอยู่มากที่สุด จะทำได้โดยการหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดภาพที่เป็นจุดขอบภาพที่ปรากฏอยู่ในแต่ละส่วนภาพ เปรียบเทียบกับจำนวนจุดภาพทั้งหมด (จำนวนจุดภาพที่เป็นจุดขอบภาพและจุดภาพที่ไม่เป็นจุดขอบภาพรวมกัน) ภายในแต่ละส่วนภาพนั้นๆ ดังภาพที่ 6.24 และสมการที่ 6.9



ภาพที่ 6.24 ตัวอย่างการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ จากทั้ง 5 ส่วนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%MouthEdge = \left(\frac{MouthEdgePixel}{AllPixel} \right) \times 100 \quad (6.9)$$

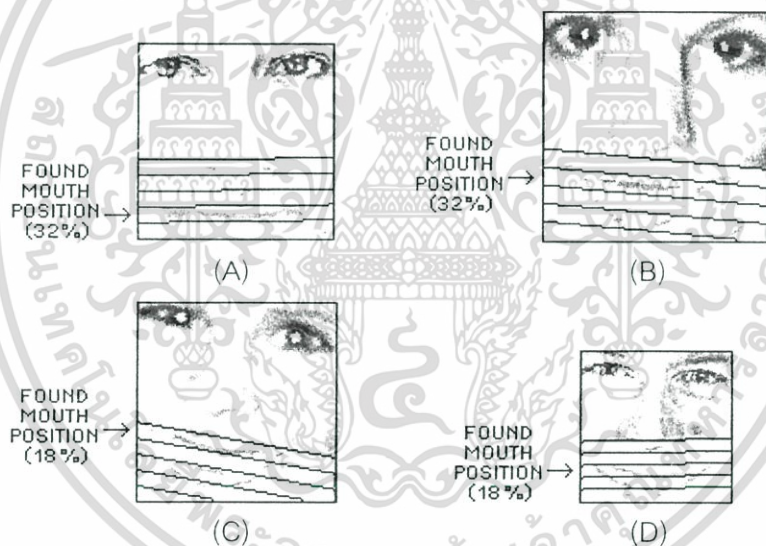
เมื่อ $\%MouthEdgePixel$ คืออัตราส่วนของจุดขอบภาพที่ปรากฏเทียบกับจำนวนจุดภาพทั้งหมด

$MouthEdgePixel$ คือจำนวนจุดขอบภาพที่ปรากฏในบริเวณส่วนภาพนั้นๆ

$AllPixel$ คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในบริเวณส่วนภาพนั้น (จำนวนจุดภาพที่เป็นจุดขอบภาพ และจุดภาพที่ไม่เป็นจุดขอบภาพรวมกัน)

จากภาพที่ 6.24 เป็นการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนภาพที่ 3 จะมีค่าอัตราส่วนของจุดขอบภาพของปากที่ปรากฏเทียบกับจำนวนจุดภาพทั้งหมด มากที่สุด (เท่ากับ 25 %) ดังนั้นก็จะพิจารณาว่าบริเวณส่วนภาพที่ 3 ก็คือบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่นั่นเอง (ทั้ง 5 ส่วนภาพจะมีจำนวนจุดภาพไม่เท่ากัน เนื่องจากมุมเอียงของปาก)

ภาพที่ 6.25 แสดงภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ ตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม จะเห็นได้ว่าในแต่ละภาพก็จะมีตำแหน่งบริเวณของปากปรากฏอยู่แตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 6.25 ภาพผลลัพธ์แสดงการตรวจหาบริเวณที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ จากทั้ง 5 ส่วนภาพ โดยการพิจารณาจำนวนจุดขอบภาพ จากภาพที่ 6.19B, C, D และ E

6.5.5 หาตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายที่แท้จริงของบริเวณปาก

จากหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ทำให้สามารถตรวจหาแนวปลายเส้นที่มีจุดขอบภาพของปากปรากฏอยู่ได้ แต่อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่แท้จริงของปากก็ยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในขั้นตอนี้ จะทำการพิจารณาตรวจหาพิกัดตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของแนวปลายเส้นที่มีจุดขอบภาพของปากปรากฏอยู่อีกครั้ง (ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.6) เพื่อให้รู้ถึงขอบเขตตำแหน่งพิกัดของปากที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนวหลายเส้นที่มีจุดขอบภาพของตำแหน่งปากปรากฏอยู่นั้น จะเห็นได้ว่าจุดขอบภาพของตำแหน่งปากอาจไม่ใช่หลายเส้นที่ต่อเนื่องกันตลอด จึงทำให้การกำหนดขอบเขตตำแหน่งพิกัดของปากที่แน่นอนทำได้ยาก ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาจุดขอบภาพของปากตลอดแนวหลายเส้นดังกล่าวนี้ เพื่อหาตำแหน่งพิกัดจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายที่แท้จริงของตำแหน่งปาก

จากภาพที่ 6.24 ภายในบริเวณที่มีแนวหลายเส้นของจุดขอบภาพปากปรากฏอยู่ ซึ่งเป็นภาพสองมิติ สามารถทำการโปรเจคชัน (Projection) ลงมาตามแนวดิ่ง ทั้งตำแหน่งที่มีจุดขอบภาพปรากฏอยู่และตำแหน่งที่ไม่มีจุดขอบภาพปรากฏอยู่ เสมือนภาพหนึ่งมิติ แสดงในรูปของ Array 1 มิติ หรือแนวเส้นตรงหนึ่งเส้นได้ ดังภาพที่ 6.26



ภาพที่ 6.26 Array ขนาด 1 มิติ แทนแนวหลายเส้นจุดขอบภาพของตำแหน่งปากที่ปรากฏ

จากภาพที่ 6.26 แสดงแนวหลายเส้นจุดขอบภาพที่มีตำแหน่งของปากปรากฏ ซึ่งสามารถเขียนในรูปของ Array ขนาด 1 มิติ จะเห็นได้ว่าจุดขอบภาพของปากไม่ต่อเนื่องกันทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน วิธีการพิจารณาหาตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้น และจุดปลายสุดท้ายของปากสามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่า Maximum scoring (Sij) ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.6 เริ่มจากการหาจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายเพื่อใช้สำหรับอ้างอิง โดยจะพิจารณาจากแนวหลายเส้นของจุดขอบภาพที่ต่อเนื่องกันมากที่สุดเป็นหลัก ดังแสดงในภาพที่ 6.27 จะได้จุดปลายอ้างอิงเริ่มต้นที่ตำแหน่งพิกัดที่ 11 และจุดปลายอ้างอิงสุดท้ายที่ตำแหน่งพิกัดที่ 69 นั่นเอง



ภาพที่ 6.27 ตำแหน่งพิกัดอ้างอิงของจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายในขั้นตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ตำแหน่งจุดปลายอ้างอิงมาแล้ว ก็จะพิจารณาหาจุดปลายเริ่มต้นที่แท้จริงของแนว
 ปลายเส้นจุดขอบภาพที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ โดยยึดเอาจุดปลายสุดท้ายที่เป็นจุดอ้างอิง
 เป็นหลักในการพิจารณา จะได้ว่ามีจุดปลายเริ่มต้นสองตำแหน่ง คือตำแหน่งพิกัดที่ 8 และ 11
 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Maximum scoring ของทั้งสองตำแหน่ง ว่าที่ตำแหน่งใดมีค่ามาก
 ที่สุด ก็จะพิจารณาว่าตำแหน่งพิกัดดังกล่าวคือจุดปลายเริ่มต้นที่แท้จริงของตำแหน่งปากนั่นเอง



ภาพที่ 6.28 การพิจารณาค่าตำแหน่งจุดปลายเริ่มต้นของแนวปลายเส้น

จากภาพที่ 6.28 จะได้จุดปลายเริ่มต้นที่แท้จริงของแนวปลายเส้นจุดขอบภาพที่มีตำแหน่งของ
 ปากปรากฏอยู่คือ ตำแหน่งพิกัดที่ 8 (เพราะค่า S_{ij} มีค่าสูงที่สุดนั่นเอง) ในกรณีที่มีจุดปลาย
 มากกว่าสองจุด ก็จะใช้วิธีการพิจารณาหาจุดปลายเช่นเดียวกันนี้ กล่าวคือหาตำแหน่งจุดปลาย
 เริ่มต้นและสุดท้ายอ้างอิงเป็นหลัก จากนั้นจึงพิจารณาหาจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายที่แท้จริงอีก
 ครั้ง หากจุดปลายที่ตำแหน่งใดมีค่า Maximum scoring (S_{ij}) สูงที่สุด ก็จะพิจารณาว่าจุดปลายดัง
 กล่าวคือจุดปลายเริ่มต้นหรือสุดท้ายที่แท้จริง

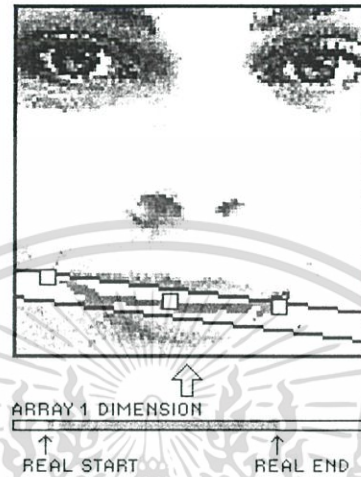
จุดปลายสุดท้ายของแนวปลายเส้นจุดขอบภาพที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ในกรณีนี้ จะพบ
 ว่ามีเพียงจุดเดียว คือจุดปลายสุดท้ายอ้างอิง ดังนั้นจะพิจารณาให้จุดปลายสุดท้ายดังกล่าวเป็น
 จุดปลายสุดท้ายที่แท้จริงของแนวปลายเส้นจุดขอบภาพที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ ดังแสดงใน
 ภาพที่ 6.29 คือผลลัพธ์ของการหาจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของแนวปลายเส้นขอบภาพ ที่มี
 ตำแหน่งของปากปรากฏอยู่



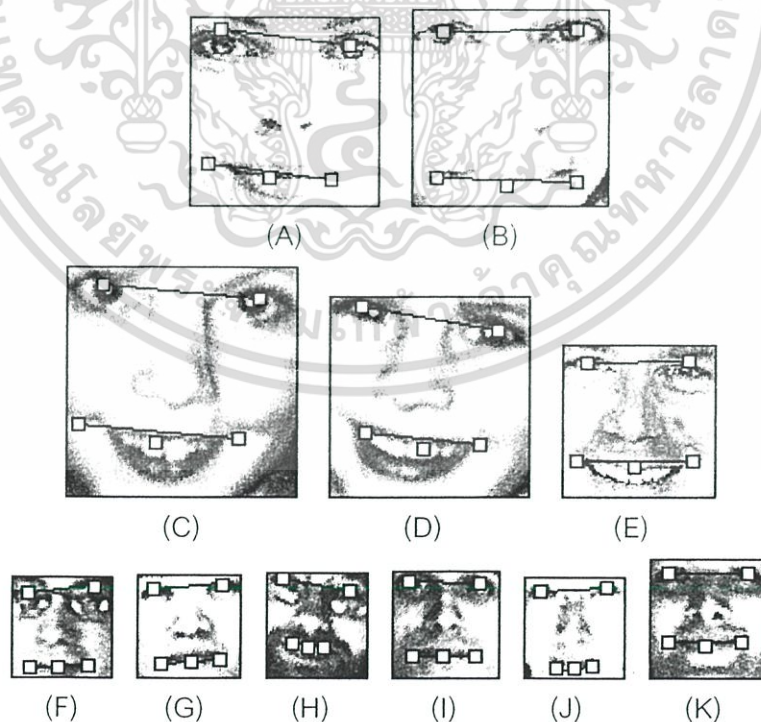
ภาพที่ 6.29 ผลลัพธ์การตรวจหาจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของแนวปลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายคำนวณหาจุดกึ่งกลางของแนวลายเส้น โดยนำตำแหน่งพิกัดจุดปลายเริ่มต้นและสุดท้ายของแนวลายเส้นมาพิจารณาค่าเฉลี่ย ก็จะได้ตำแหน่งพิกัดจุดกึ่งกลางของแนวลายเส้น ขอบภาพที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ และพิจารณาว่าจุดดังกล่าวคือตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนภาพใบหน้าตนเอง ดังในภาพที่ 6.30



ภาพที่ 6.30 ตำแหน่งพิกัดจุดกึ่งกลางของแนวลายเส้นขอบภาพ ที่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ หรือตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนภาพใบหน้าตนเอง



ภาพที่ 6.31 ผลลัพธ์การหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการฮัฟทรานส์ฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6.31 แสดงภาพผลลัพธ์การตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการฮาฟทรานส์ฟอร์ม จะเห็นว่าตำแหน่งของปากที่ตรวจพบ จะค่อนข้างขนานกับแนวระนาบของตาทั้งสองข้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวไปแล้วทั้งหมด สามารถนำมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Delphi version 5.0 และประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ Pentium 4 processor 2.8 GHz เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวม และขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน และผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด

7.1 ขั้นตอนการทำงานของ การตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน

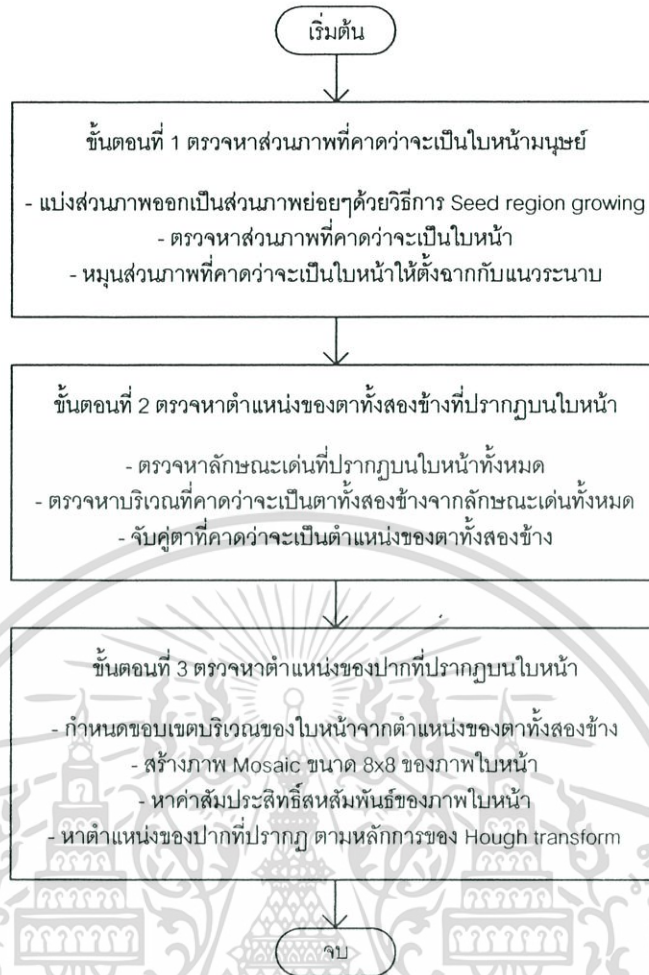
จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 7.1

ขั้นตอนแรกเป็นการหาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ เริ่มจากนำภาพระดับสีเทาที่ใช้ในการทดลองมาทำการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) ออกเป็นส่วนภาพย่อยๆ (Regions) ตามความแตกต่างของค่าระดับสีเทา ด้วยวิธีการ Seed region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน [1] แล้วพิจารณาส่วนภาพทั้งหมดว่าส่วนภาพใดบ้างที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ โดยพิจารณาจากตำแหน่ง ขนาด และรูปร่างของส่วนภาพนั้นๆ ตามเงื่อนไขดังนี้

- 1 ความสูงและความกว้างของส่วนภาพมีขนาดไม่ต่ำกว่า 50 จุดภาพ และมีจำนวนจุดภาพไม่ต่ำกว่า 500 จุดภาพ
- 2 ค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของส่วนภาพนั้นๆ มีค่าไม่ต่ำกว่า 100 และไม่เกิน 240
- 3 อัตราส่วนขนาดความยาวต่อความกว้างของส่วนภาพ มีค่าไม่เกิน 2.5 เท่า
- 4 เป็นส่วนภาพที่ไม่มีด้านใดด้านหนึ่งอยู่ติดกับขอบรอบนอกของภาพที่พิจารณา

จากนั้นทำการหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏ ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบที่ละส่วนภาพ เพื่อตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่สองคือการหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้า นำส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้าที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่ง มาตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด โดยใช้ภาพไบนารี ร่วมกับภาพที่ผ่านกระบวนการหาขอบภาพ และกระบวนการมอโฟโลยี จากนั้นพิจารณาว่าลักษณะเด่นใดบ้างที่คาดว่าจะป็นตา โดยเงื่อนไขในการพิจารณาหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นที่คาดว่าจะป็นตา มีดังนี้



ภาพที่ 7.1 โครงสร้างของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน

- จุดศูนย์กลางในแนวตั้งและแนวนอน (cgx, cgy) ของส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่น ไม่อยู่ในบริเวณ 10 เปอร์เซ็นต์ของขอบนอกของใบหน้า (โดยพิจารณาจากขนาดความสูงและความกว้างของส่วนภาพใบหน้า)
- ขนาดความสูงของส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่น มีค่าไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพใบหน้า
- ขนาดความกว้างของส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่น มีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของส่วนภาพใบหน้า

จากนั้นทำการจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะตาทั้งสองข้าง โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่าตาทั้งสองข้างที่ปรากฏบนใบหน้ามนุษย์จะต้องมีขนาด รูปร่างที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันอย่างเหมาะสม และอยู่ในระนาบเดียวกัน เงื่อนไขในการพิจารณาจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะตาทั้งสองข้าง มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 ส่วนภาพลักษณะเด่นทั้งสอง มีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์
- 2 จุดศูนย์กลางในแนวตั้ง (cgy) ของส่วนภาพลักษณะเด่นทั้งสอง มีระยะห่างกันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความสูงของส่วนภาพใบหน้า
- 3 จุดศูนย์กลางในแนวนอน (cgx) ของส่วนภาพลักษณะเด่นทั้งสอง มีระยะห่างกันอยู่ระหว่าง 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของส่วนภาพใบหน้า
- 4 ส่วนภาพลักษณะเด่นที่ได้ทำการจับคู่ตามเงื่อนไขข้างต้นแล้ว หากอยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน คู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าจะพิจารณาว่าเป็นคิ้ว และคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำที่สุดจะพิจารณาว่าเป็นคู้ตาที่ถูกต้อง

หากตรวจพบตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็คู่ตาทั้งสองข้าง ปรากฏอยู่ในบริเวณส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้าที่จะพิจารณา ก็จะนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ได้ ไปกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าอีกครั้ง เพื่อตรวจหาตำแหน่งของปากในขั้นตอนที่สามต่อไป แต่หากไม่พบตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้าง ในบริเวณส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้า ก็จะถือว่าส่วนภาพดังกล่าวไม่ใช่บริเวณใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพ แล้วจึงทำการพิจารณาส่วนภาพถัดไป

ขั้นตอนที่สาม เปรียบเสมือนเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของบริเวณใบหน้าที่จะตรวจพบว่าจะถูกต้องหรือไม่ โดยเริ่มจากนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างมากำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้า ซึ่งขอบเขตบริเวณใบหน้าจะประกอบไปด้วยลักษณะเด่นคือ ตาทั้งสองข้าง จมูก และปาก จากนั้นนำภาพขอบเขตบริเวณของใบหน้ามาสร้างเป็นภาพ Mosaic ที่มีขนาด 8x8 แล้วเปรียบเทียบกับ Template ภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ โดยอาศัยวิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากบริเวณของใบหน้าที่ดังกล่าวมีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกับ Template ภาพใบหน้าที่กำหนด กล่าวคือจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ก็จะถือว่าบริเวณดังกล่าวคือตำแหน่งของใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง และทำการตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าด้วยวิธีการหาพหุนาม [2,3] แต่หากบริเวณใบหน้าที่ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ก็จะถือว่าส่วนภาพดังกล่าวไม่ใช่บริเวณใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพ แล้วจึงทำการพิจารณาส่วนภาพถัดไปจนครบทุกส่วนภาพ

7.2 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลภาพที่ได้นำมาใช้ในการทดลองการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะประกอบไปด้วยข้อมูลภาพที่แตกต่างกัน 4 กลุ่ม ซึ่งมีใบหน้าทั้งหมดจำนวน 192 ภาพใบหน้า ปรากฏอยู่ในภาพจำนวน 172 ภาพ (ในบางกรณีอาจมีภาพใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้าภายในหนึ่งภาพ) ดังต่อไปนี้

7.2.1 ข้อมูลภาพระดับสีเทา 256 ระดับ 8 บิต ขนาด 256x256 จุดภาพ ที่ถ่ายจากกล้อง CCD โดยในแต่ละภาพจะมีพื้นจากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าที่ปรากฏในภาพจะตั้งฉากกับแนวระนาบ แต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพใบหน้ามนุษย์หนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ จำนวนทั้งหมด 18 ภาพ



ภาพที่ 7.2 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายจากกล้อง CCD ที่นำมาใช้ในการทดลอง

7.2.2 ข้อมูลภาพระดับสีเทา 256 ระดับ 8 บิต ที่มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 190x250 จุดภาพ ไปจนถึง 590x590 จุดภาพ ที่ผ่านการสแกนภาพจากหนังสือนิตยสารต่างๆ ในแต่ละภาพจะมีพื้นจากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าบางภาพที่ปรากฏจะทำมุมเอียงกับแนวระนาบแตกต่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันออกไป และบางภาพอาจมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ จำนวนทั้งหมด 51 ภาพใบหน้า จาก 42 ภาพ



ภาพที่ 7.3 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการสแกนจากหนังสือนิตยสารต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง

7.2.3 ข้อมูลภาพระดับสีเทามาตรฐาน (Standard image) 256 ระดับ 8 บิต ที่ได้จาก Henry A. Rowley face database (www.cs.cmu.edu/idb/html/face/profile_image/index.html) ขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 109x145 จุดภาพ ไปจนถึง 480x640 จุดภาพ ในแต่ละภาพจะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าบางภาพที่ปรากฏจะทำมุมเอียงกับแนวระนาบแตกต่างกัน ออกไป และบางภาพอาจมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ จำนวนทั้งหมด 32 ภาพใบหน้า จาก 21 ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.4 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Henry A. Rowley face database ที่นำมาใช้ในการทดลอง

7.2.4 ข้อมูลภาพระดับสีเทามาตรฐาน (Standard image) 256 ระดับ 8 บิต ที่ได้จาก Bio ID face database (www.humanscan.de/support/downloads/face.php) ขนาด 384x286 จุดภาพ ในแต่ละภาพจะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าปรากฏในภาพจะตั้งฉากกับแนวระนาบ แต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพใบหน้ามนุษย์หนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ จำนวนทั้งหมด 91 ภาพ

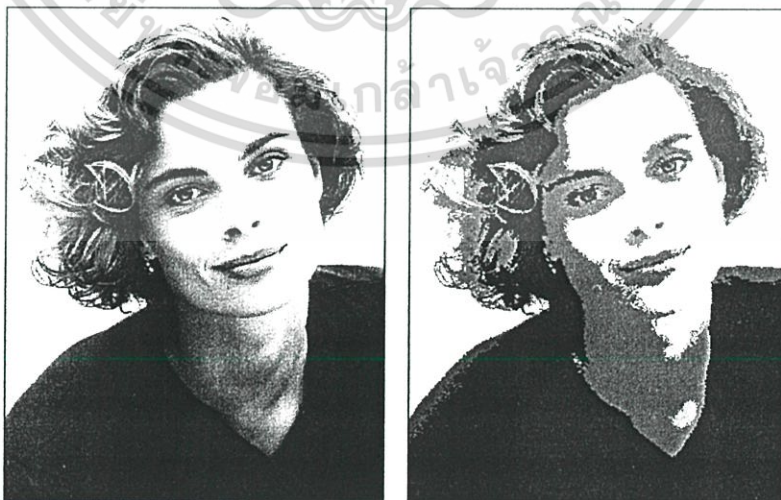
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.5 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Bio ID face database ที่นำมาใช้ในการทดลอง

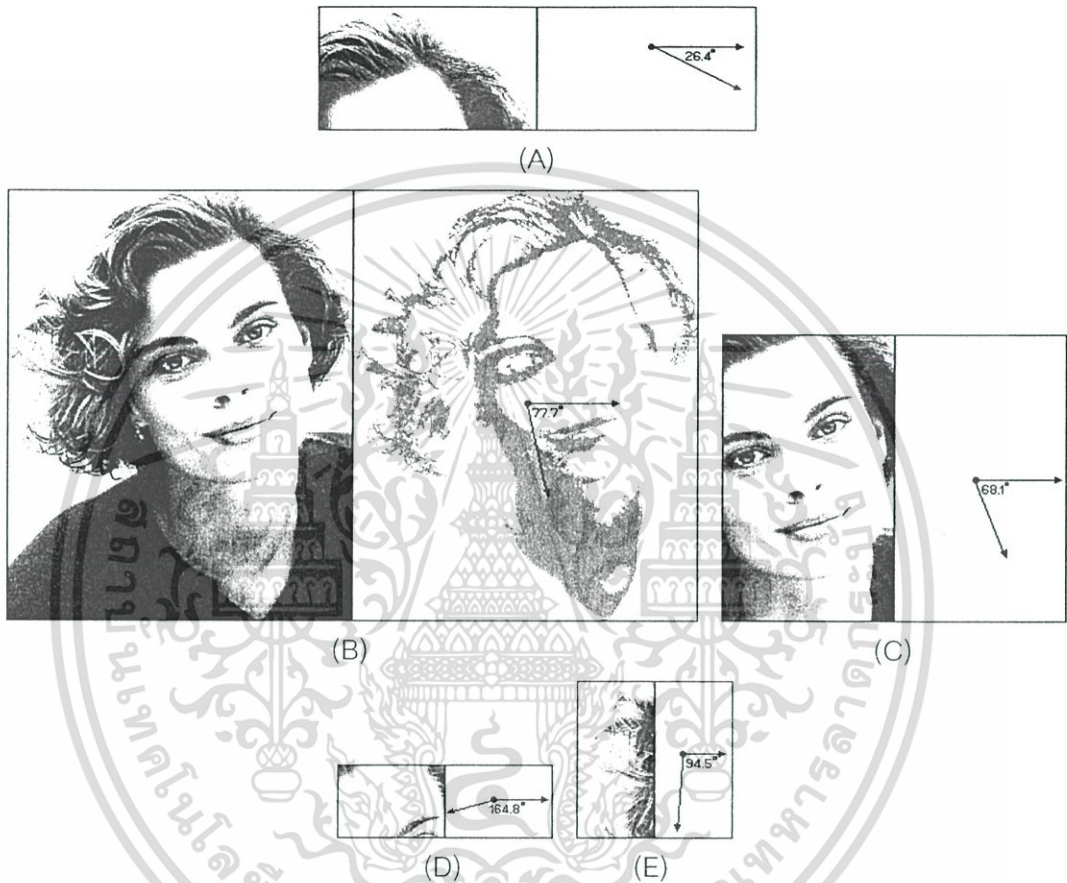
7.3 ผลการทดลองการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอตัวอย่างของผลการทดลองกับข้อมูลภาพต่างๆ ตามลำดับขั้นตอนการทำงานในแต่ละกระบวนการ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 7.1 นอกจากนี้จะแสดงผลการทดลองที่ได้จากข้อมูลภาพทั้ง 4 กลุ่ม เวลาของประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ อีกด้วย ตัวอย่างที่ 1



ภาพที่ 7.6 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 และผลลัพธ์ของการแบ่งส่วนภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 7.6 แสดงภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ในตัวอย่างที่ 1 ขนาด 285x376 จุดภาพ และภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Seed region growing บนพื้นฐานของ ฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน ซึ่งจะได้จำนวนส่วนภาพย่อยๆ ทั้งหมด 738 ส่วนภาพ ในจำนวนนี้มีส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์อยู่ 5 ส่วนภาพ ดังแสดงในภาพที่ 7.7 ใช้เวลาประมวลใน ขั้นตอนนี้เท่ากับ 0.45 วินาที





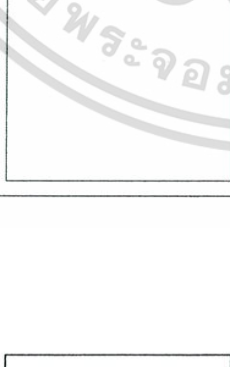





ภาพที่ 7.7 ส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 5 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 1

จากนั้นจะทำการพิจารณาส่วนภาพทั้ง 5 ที่ละส่วนภาพ ในขั้นตอนที่สองและสามตามลำดับ ว่าเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพจริงหรือไม่ ดังในตารางที่ 7.1 แสดงถึงรายละเอียดที่ได้ จากแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน


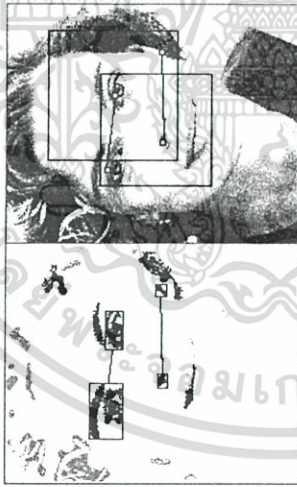
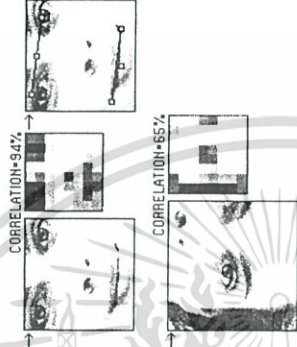




ในตารางที่ 7.1 จะพบว่าส่วนภาพที่ 1 และ 4 เมื่อผ่านการหมุนส่วนภาพให้ตั้งฉากกับแนว ระนาบแล้ว มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 50 จุดภาพ (49x180 จุดภาพและ 48x74 จุดภาพตาม ลำดับ) ถือว่าเป็นส่วนภาพที่มีขนาดเล็กกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ก็จะพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ ส่วนภาพใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพที่ขึ้นจอที่ข้อ 7.6 และ 7.7 (ตัวอย่างที่ 1)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและจับคู่ลักษณะเด่นที่คล้ายกันเป็นคู่ที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า	หมายเหตุ
1	 <p>49x480 PIXEL</p>	 <p>BRD SHAPE (RATIO=3.57)</p>	 <p>CORRELATION=63%</p>	 <p>ส่วนภาพที่มีขนาดและรูปร่างไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด</p>
2	 <p>262x330 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=90 GOOD FEATURE=14 EYE PAIR=2</p>	 <p>CORRELATION=63%</p> <p>CORRELATION=61%</p>	 <p>ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของบริเวณใบหน้าทั้งสองมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>

ตารางที่ 7.1 (ต่อ) รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน จากภาพที่ 7.6 และ 7.7 (ตัวอย่างที่ 1)

ส่วน ภาพ ที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและ หมุนส่วนภาพที่คาดว่า จะเป็นใบหน้า ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและ จับคู่ลักษณะเด่นที่คิดว่า จะเป็นคู่ตาที่ปรากฏบน ใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณ ใบหน้า หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และตรวจหา ตำแหน่งของปากที่ปรากฏบน ใบหน้า	หมายเหตุ
3	 120x208 PIXEL	 ALL FEATURE-38 GOOD FEATURE-8 EYE PAIR-2	 CORRELATION=94% CORRELATION=65%	<input checked="" type="checkbox"/> ส่วนภาพที่เป็น ใบหน้าที่ถูกดึง เพราะ บริเวณใบหน้า 1 (ใบหน้าด้านบน) มีค่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด
4	 48x74 PIXEL	 SIZE LESS THAN 50 PIXEL		<input type="checkbox"/> ส่วนภาพที่มี ขนาดไม่ตรงตาม เงื่อนไขที่กำหนด
5	 55x117 PIXEL (RATIO=2.13)	 ALL FEATURE=8 GOOD FEATURE=4 EYE PAIR=0		<input type="checkbox"/> ไม่สามารถจับคู่ส่วนภาพ ลักษณะเด่นที่คาดว่า เป็นตำแหน่งของตาสอง ข้างตามเงื่อนไขที่กำหนด

ส่วนภาพที่ 2 จากตารางที่ 7.1 สามารถจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวตำแหน่งของตาได้ 2 คู่ จากจำนวนส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งหมด 14 ส่วนภาพ แต่เมื่อนำขอบเขตบริเวณใบหน้าที่ได้จากตำแหน่งตาทั้งสองข้างมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะพบว่ามิต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 2 บริเวณภาพใบหน้า จึงพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง

สำหรับส่วนภาพที่ 3 มีส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัว 8 ส่วนภาพ นำมาจับคู่ได้ 2 คู่ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า บริเวณใบหน้าแรก (ภาพด้านบน) จะมีค่าเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ดังนั้นจะพิจารณาว่าตำแหน่งบริเวณภาพใบหน้าที่ได้จากตาทั้งสองข้างคู่ที่ 1 คือตำแหน่งของภาพใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง และสุดท้ายจะทำการตรวจหาตำแหน่งของปาก ตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจะได้อำนาจจุดกึ่งกลางของปากที่ถูกต้อง

ส่วนภาพสุดท้าย จะตรวจพบลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าทั้งหมด 8 ส่วนภาพ เป็นส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัว 4 ส่วนภาพ แต่ไม่สามารถนำมาจับคู่เพื่อหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ จึงพิจารณาว่าส่วนภาพดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง

เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการพิจารณาส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นตัวหน้าครบทั้ง 5 ส่วนภาพแล้ว พบว่ามีตำแหน่งของภาพใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพเท่ากับ 1 ภาพใบหน้า สุดท้ายก็จะทำการแปลงตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ตรวจพบ ย้อนกลับมายังภาพที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือ หมุนจุดภาพตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและจุดกึ่งกลางของปากย้อนกลับมา ด้วยมุมเอียงของส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็นตัวหน้านั้นๆ ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ของ การตรวจหาภาพใบหน้า



ภาพที่ 7.8 ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาภาพใบหน้ามนุษย์ จากตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนดังภาพที่ 7.8 ในขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ตาทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์มของทั้ง 5 ส่วนภาพนี้จะใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.20 วินาที ดังนั้นเวลาในการประมวลผลของทุกขั้นตอนรวมกันทั้งหมดเท่ากับ 1.65 วินาที

ตัวอย่างที่ 2

ภาพที่ 7.9 แสดงภาพที่นำมาใช้ในการทดลองของตัวอย่างที่ 2 ขนาด 640x480 จุดภาพ และภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Seed region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วนแสดงในภาพที่ 7.10 ซึ่งจะได้จำนวนส่วนภาพย่อยๆ 1943 ส่วนภาพ มีส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์ 13 ส่วนภาพ (แสดงในภาพที่ 7.11) ใช้เวลาประมวลผลในขั้นตอนนี้เท่ากับ 2.05 วินาที (เวลาประมวลผลของตัวอย่างที่ 2 จะมากกว่าตัวอย่างที่ 1 เนื่องจากภาพในตัวอย่างที่ 2 นี้มีขนาดใหญ่กว่า) จากนั้นทำการพิจารณาแต่ละส่วนภาพว่า เป็นใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพจริงหรือไม่ ดังรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนซึ่งจะแสดงในตารางที่ 7.2

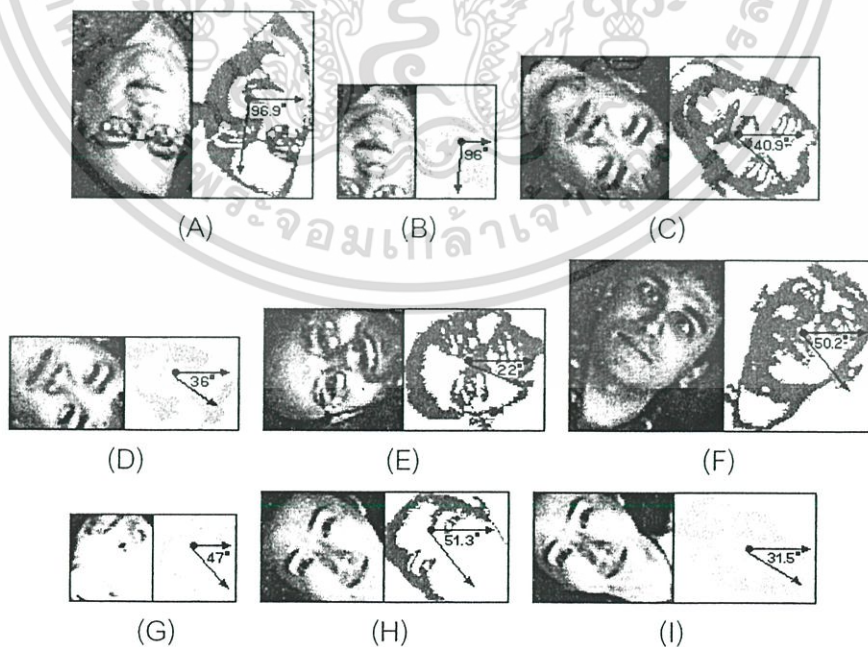


ภาพที่ 7.9 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

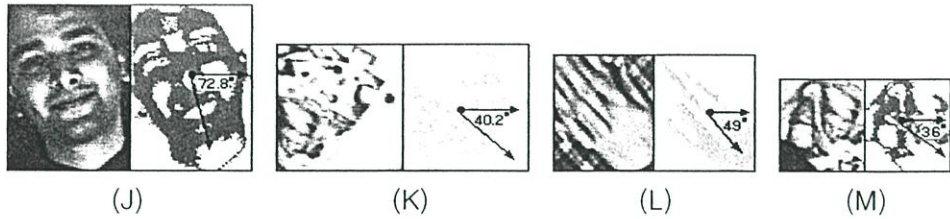


ภาพที่ 7.10 ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการแบ่งส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2



ภาพที่ 7.11 ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 13 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.11 (ต่อ) ส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ 13 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2

จากตารางที่ 7.2 จะแสดงรายละเอียดการพิจารณาส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้าทั้ง 13 ส่วนภาพ ว่ามีส่วนภาพใดบ้างที่เป็นตำแหน่งของใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพอย่างถูกต้อง

ส่วนภาพที่ 1 จากตารางที่ 7.2 ตรวจสอบตำแหน่งของตาทั้งสองข้างภายในบริเวณใบหน้า 2 คู่ด้วยกัน เมื่อนำมากำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้าและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า บริเวณใบหน้าทั้งสอง (ภาพด้านล่าง) จะมีค่าเท่ากับ 85. เปอร์เซ็นต์ซึ่งมากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ดังนั้นจะพิจารณาว่าตำแหน่งบริเวณภาพใบหน้าที่ได้จากตาทั้งสองข้างคู่ที่สอง คือตำแหน่งของภาพใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง และสุดท้ายจะทำการตรวจหาตำแหน่งของปาก ตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจะได้ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของปากที่ถูกต้อง








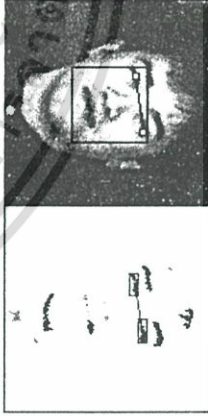

ในส่วนภาพที่ 2 จะตรวจพบลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า 2 ส่วนภาพ แต่ไม่มีลักษณะเด่นใดที่คาดว่าจะเป็ตาปรากฏอยู่ ดังนั้นจะพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ภาพใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง

ส่วนภาพที่ 3 และ 4 นั้นสามารถตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ตามลำดับ แต่เมื่อทำการแปลงตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปาก ย้อนกลับมายังภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (โดยหมุนพิกัดตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากย้อนกลับมายังภาพระดับสีเทาที่พิจารณา) จะพบว่าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นจะพิจารณาว่าตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ตรวจพบนี้ เป็นบริเวณภาพใบหน้าเดียวกันนั่นเอง


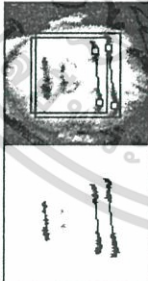




ส่วนภาพที่ 5 ก็เป็นอีกส่วนภาพหนึ่ง ที่ถูกหมุนกลับกับทิศทางที่ถูกต้อง ซึ่งเมื่อทำการกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้าและหมุนกลับมาอยู่ในทิศทางที่ถูกต้อง จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปาก ก็พบว่าเป็นอีกภาพใบหน้าหนึ่งที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้องเช่นกัน

ส่วนภาพที่ 6, 9 และ 10 เมื่อทำการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า จับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้าง กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม ตามลำดับ พบว่าเป็นส่วนภาพใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้องทั้ง 3 ส่วนภาพ


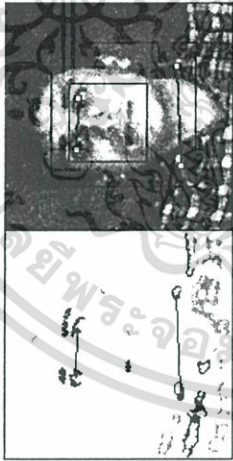
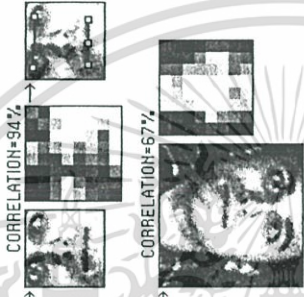

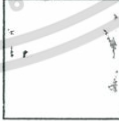

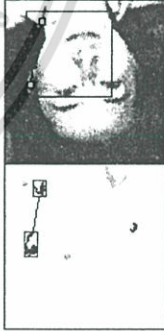

ตารางที่ 7.2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพที่จับคู่จากที่จับคู่ข้อ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและหมุนส่วนภาพที่คิดว่าจะเป็นใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและจับคู่ลักษณะเด่นที่คิดว่าจะเป็นจุดที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า	หมายเหตุ
1	 <p>83x127 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=12 GOOD FEATURE=7 EYE PAIR=2</p>	 <p>CORRELATION=77%</p> <p>CORRELATION=85%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกต้อง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ 2 (ใบหน้าที่ด้านล่าง) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>
2	 <p>83x127 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=2 GOOD FEATURE=0</p>		<input type="checkbox"/> <p>ไม่มีลักษณะเด่นที่คิดว่าจะเป็นตำแหน่งของตาที่ปรากฏบนใบหน้า ตามเงื่อนไขที่กำหนด</p>
3	 <p>88x117 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=17 GOOD FEATURE=7 EYE PAIR=1</p>	 <p>CORRELATION=85%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกต้อง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>



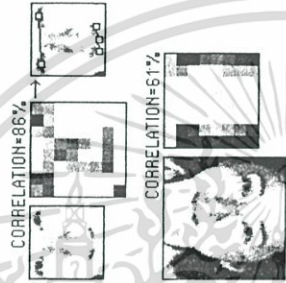
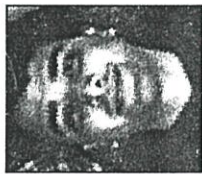


ตารางที่ 7.2 (ต่อ) รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ทับซ้อน จากภาพที่ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นผู้คนที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า	หมายเหตุ
4	 <p>57×82 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=7 6000 FEATURE=5 EYE PAIR=2</p>	 <p>CORRELATION=87% CORRELATION=77%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกต้อง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ 1 (ใบหน้าด้านบน) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>
5	 <p>83×99 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=17 6000 FEATURE=5 EYE PAIR=1</p>	 <p>CORRELATION=85%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกต้อง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ตรวจพบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>


ตารางที่ 7.2 (ต่อ) รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน จากภาพที่ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและหมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้าให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นผู้คนที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า	หมายเหตุ
6	 <p>89x131 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=29 GOOD FEATURE=10 EYE PAIR=2</p>	 <p>CORRELATION=94% CORRELATION=67%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกต้อง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ 1 (ใบหน้าด้านบน) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>
7	 <p>50x61 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=8 GOOD FEATURE=1 EYE PAIR=0</p>		<input type="checkbox"/> <p>ไม่สามารถจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวเด่นของตาทั้งสองข้าง ตามเงื่อนไขที่กำหนด</p>
8	 <p>73x76 PIXEL</p>	 <p>ALL FEATURE=8 GOOD FEATURE=3 EYE PAIR=1</p>	 <p>CORRELATION=69%</p>	<input type="checkbox"/> <p>ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ มีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>

ตารางที่ 7.2 (ต่อ) รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพที่ขึ้นฉากที่ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและ หมุนส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้า ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและ จับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นผู้คนที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และตรวจหา ตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า	หมายเหตุ
9		 <p>ALL FEATURE=20 GOOD FEATURE=8 EYE PAIR=2</p>	 <p>CORRELATION=86%</p> <p>CORRELATION=61%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ถูกดึง เพราะ บริเวณใบหน้าที่ 1 (ใบหน้าด้านบน) มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>
10		 <p>ALL FEATURE=10 GOOD FEATURE=5 EYE PAIR=1</p>	 <p>CORRELATION=83%</p>	<input checked="" type="checkbox"/> <p>ส่วนภาพที่เป็นใบหน้าที่ ถูกต้อง เพราะ บริเวณ ใบหน้าที่ตรวจพบมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด</p>

ตารางที่ 7.2 (ต่อ) รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพที่จับข้อ 7.9 ถึง 7.11 (ตัวอย่างที่ 2)

ส่วนภาพที่	ขั้นตอนที่ 1 แบ่งส่วนภาพและ หุ้มนส่วนภาพที่คาดว่าจะ ให้ตรงกับแนวระนาบ	ขั้นตอนที่ 2 ตรวจหาส่วนภาพที่เป็นลักษณะเด่นและ จับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นคู่ที่ปรากฏบนใบหน้า	ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า หาค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์และตรวจหา ตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้า	หมายเหตุ
11	 89x94 PIXEL	 ALL FEATURE=15 GOOD FEATURE=4 EYE PAIR=0		<input checked="" type="checkbox"/> ไม่สามารถจับคู่ส่วนภาพ ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาทั้งสอง ข้างตามเงื่อนไขที่กำหนด
12	 46x86 PIXEL	 ALL FEATURE=9 GOOD FEATURE=1 EYE PAIR=0		<input checked="" type="checkbox"/> ไม่สามารถจับคู่ส่วนภาพ ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาทั้งสอง ข้างตามเงื่อนไขที่กำหนด
13	 56x59 PIXEL	 ALL FEATURE=4 GOOD FEATURE=2 EYE PAIR=0		<input checked="" type="checkbox"/> ไม่สามารถจับคู่ส่วนภาพ ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาทั้งสอง ข้างตามเงื่อนไขที่กำหนด

ส่วนภาพที่ 8 สามารถจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้างตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ แต่เมื่อนำตำแหน่งของคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง มากำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้าแล้วสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 พร้อมกับคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของบริเวณใบหน้าดังกล่าวกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ จะได้ค่าเท่ากับ 69% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 75%) จึงพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง

สุดท้ายคือส่วนภาพที่ 7, 11, 12 และ 13 พบว่ามีลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวปรากฏอยู่ในภาพ แต่ไม่สามารถทำการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้างตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ ดังนั้นจะพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ส่วนภาพใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพที่ถูกต้อง



ภาพที่ 7.12 ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาภาพใบหน้านามุขย์ จากตัวอย่างที่ 2

ภาพที่ 7.12 แสดงภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาใบหน้านามุขย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนของตัวอย่างที่ 2 โดยในขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตา การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮัฟทรานส์ฟอร์มของทั้ง 13 ส่วนภาพ จากตัวอย่างที่ 2 นี้สามารถตรวจหาใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพจำนวนทั้งหมด 6 ใบหน้า ใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.17 วินาที ดังนั้นเวลาในการประมวลผลของทุกขั้นตอนรวมกันทั้งหมดเท่ากับ 3.22 วินาที

ภาพที่ 7.13 ถึงภาพที่ 7.16 แสดงตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ที่ได้จากภาพตัวอย่างทั้งหมดในภาพที่ 7.2 ถึง 7.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 7.13 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 7.2 ซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับสีเทาขนาดเท่ากันทั้งหมดคือ 256x256 จุดภาพ ที่ถ่ายจากกล้อง CCD โดยในแต่ละภาพจะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าที่ปรากฏในภาพจะตั้งฉากกับแนวระนาบ แต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพใบหน้ามนุษย์หนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ ซึ่งตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในภาพที่ 7.13 ในแต่ละภาพจะใช้เวลาในการประมวลผลทั้งหมดประมาณ 0.52 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 0.29 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 0.23 วินาที



ภาพที่ 7.14 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 7.3 เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทาที่มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 190x250 จุดภาพ ไปจนถึง 590x590 จุดภาพ ที่ผ่านการสแกนภาพจากหนังสือนิตยสารต่างๆ ในแต่ละภาพจะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าบางภาพที่ปรากฏจะทำมุมเอียงกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป และบางภาพอาจมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ ซึ่งตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในภาพที่ 7.14 ซึ่งในแต่ละภาพจะใช้เวลาในการประมวลผลแตกต่างกันออกไป ตามขนาดของภาพ

สำหรับภาพขนาด 190x250 จุดภาพ จะใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดประมาณ 0.38 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 0.21 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 0.17 วินาที

สำหรับภาพขนาด 590x590 จุดภาพ จะใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดประมาณ 2.99 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 2.04 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 0.95 วินาที

ในภาพที่ 7.4 เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทามาตรฐาน (Standard image) ที่ได้จาก Henry A. Rowley face database (www.cs.cmu.edu/idb/html/face/profile_image/index.html) ขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 109x145 จุดภาพ ไปจนถึง 480x640 จุดภาพ ในแต่ละภาพจะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าบางภาพที่ปรากฏจะทำมุมเอียงกับแนวระนาบแตกต่างกันออกไป และบางภาพอาจมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ ซึ่งตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในภาพที่ 7.15 ซึ่งในแต่ละภาพจะใช้เวลาในการประมวลผลแตกต่างกันออกไป ตามขนาดของภาพ

สำหรับภาพขนาด 109x145 จุดภาพ จะใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดประมาณ 0.2 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 0.09 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 0.11 วินาที

สำหรับภาพขนาด 480x640 จุดภาพ จะใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดประมาณ 3.22 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 2.05 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 1.17 วินาที

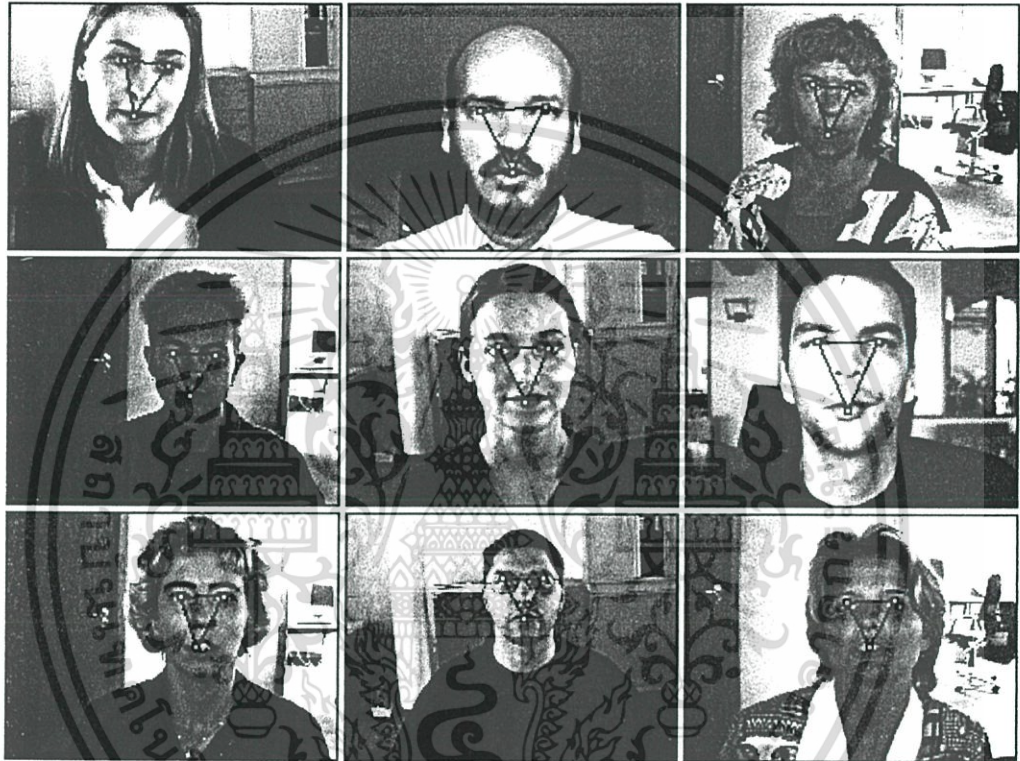


ภาพที่ 7.15 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.4

ในภาพที่ 7.5 ซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับสีเทามาตรฐาน ที่ได้จาก Bio ID face database (www.humanscan.de/support/downloads/face.php) ขนาด 384x286 จุด ภาพ ในแต่ละภาพ จะมีพื้นฉากที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ภาพใบหน้าที่ปรากฏในภาพจะตั้งฉากกับแนวระนาบ แต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพใบหน้ามนุษย์หนึ่งใบหน้าต่อหนึ่งภาพ ซึ่งตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในภาพที่ 7.16 ในแต่ละภาพจะใช้เวลาในการประมวลผลทั้งหมดประมาณ 1.10 วินาที โดยเป็นเวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพประมาณ 0.65 วินาที และเวลาประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ คือขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตาทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮาฟทรานส์ฟอร์ม ประมาณ 0.45 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวไปแล้ว จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละภาพจะแตกต่างกันออกไปตามขนาดของภาพ กล่าวคือหากภาพมีขนาดใหญ่ ก็จะต้องใช้เวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพมากตามขนาดของภาพนั่นเอง และเวลาในการประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆ จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็หน้ามนุษย์ ว่ามีจำนวนมากหรือน้อย หากมีจำนวนส่วนภาพมากก็จะใช้เวลาในการประมวลผลมากตามไปด้วย



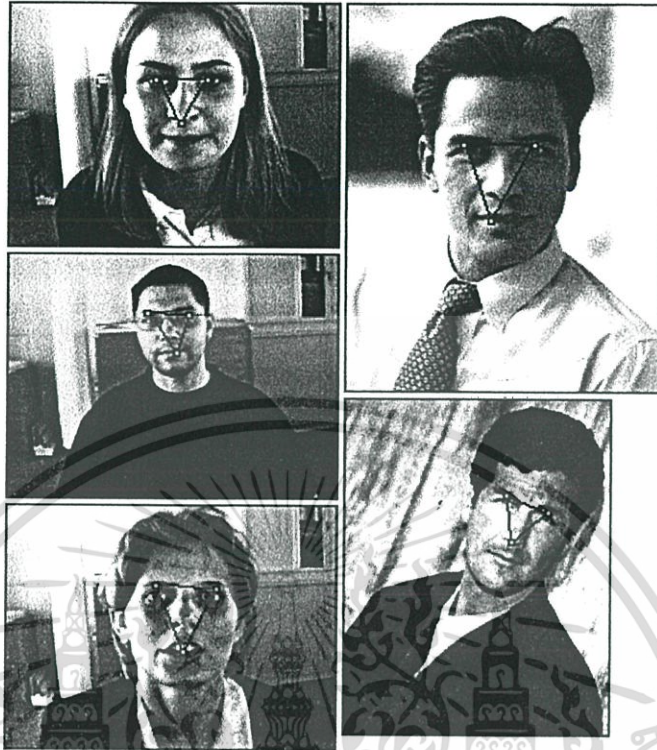
ภาพที่ 7.16 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 7.5

ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากภาพใบหน้าที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด จำนวน 192 ภาพใบหน้าจาก 172 ภาพ สามารถตรวจหาภาพใบหน้าได้ถูกต้อง 189 ใบหน้า ในจำนวนนี้จะสามารถระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้อย่างแม่นยำ 174 ใบหน้า ระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียง 15 ใบหน้า โดยการระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากของแต่ละใบหน้า เพื่อแสดงถึงตำแหน่งของภาพใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพ และไม่สามารถตรวจหาภาพใบหน้าทั้งหมด 3 ใบหน้า

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าบางภาพจะไม่สามารถระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้อย่างแม่นยำ (ระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียง) แต่จะเห็นได้ว่าสามารถตรวจหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่มีภาพใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพได้อย่างถูกต้อง ดังในภาพที่ 7.17



ภาพที่ 7.17 ตัวอย่างผลลัพธ์การระบุตำแหน่งตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

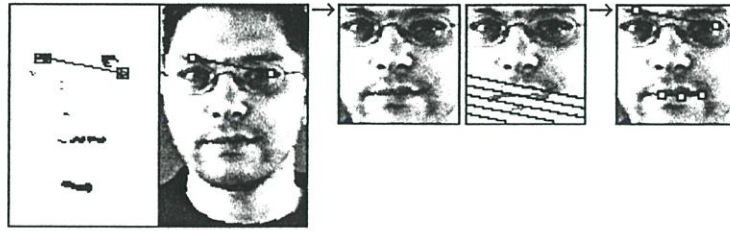


ภาพที่ 7.18 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

สาเหตุที่ทำให้การระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปาก คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง นั้น เกิดได้จากหลายสาเหตุ ในภาพ 7.18 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตาทั้งสองข้างนั้น ได้ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ไม่ถูกต้อง จึงทำให้การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า และการตรวจหาตำแหน่งของปากคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง



ภาพที่ 7.19 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

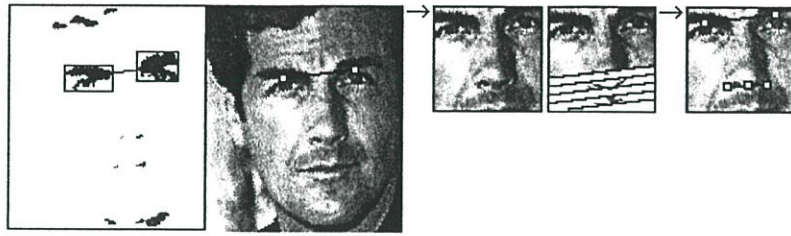
จากภาพที่ 7.19 ในขั้นตอนการตรวจหาส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตา นั้น ไม่สามารถตรวจหาลักษณะเด่นดังกล่าวพบได้ (แต่พบลักษณะเด่นที่เป็นคิ้ว) การจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาจึงเกิดความผิดพลาดขึ้นนั่นเอง

ภาพที่ 7.20 ลักษณะเด่นที่เป็นตาและคิ้วที่ตรวจพบจะรวมเป็นส่วนภาพเดียวกัน ทำให้ตำแหน่งคู่ลักษณะเด่นทั้งสองที่ตรวจพบ อยู่เหนือจากตำแหน่งที่แท้จริงเล็กน้อย และจุดขอบภาพของปากที่ปรากฏก็ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นตำแหน่งกึ่งกลางของปากที่ตรวจพบตามหลักการของสภาพทรานส์ฟอร์มก็จะคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง



ภาพที่ 7.20 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

และในภาพที่ 7.21 สังเกตเห็นได้ว่าภาพใบหน้าทีนำมาใช้ในการทดลอง มีลักษณะยาวกว่าใบหน้าโดยทั่วไป (ตำแหน่งของตาสองข้างกับปากอยู่ห่างกันมากกว่าภาพใบหน้าอื่นๆ) ประกอบกับลักษณะเด่นที่เป็นตาและคิ้วที่ตรวจพบ รวมเป็นส่วนภาพเดียวกัน ทำให้ตำแหน่งคู่ลักษณะเด่นทั้งสองที่ตรวจพบ อยู่เหนือจากตำแหน่งที่แท้จริงเล็กน้อย เมื่อทำการกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า จะเกิดความผิดพลาด นั่นคือไม่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ในขอบเขตบริเวณใบหน้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.21 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของตาและปากที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

และในขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งของปาก จุดขอบภาพที่ได้จากบริเวณจมูกจะชัดเจนมากกว่าบริเวณอื่นๆ (เพราะไม่มีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่นั่นเอง) ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจหาตำแหน่งของปาก โดยพิจารณาตำแหน่งของจมูกว่าเป็นตำแหน่งของปากแทน

จากหัวข้อที่ 3.3 ได้กล่าวถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบการตรวจหาภาพใบหน้ามนุษย์ ซึ่งประกอบไปด้วยความผิดพลาด 2 แบบ คือ

- 1 ในภาพมีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ แต่ระบบกลับตัดสินใจว่า ไม่มีใบหน้าปรากฏในภาพนั้น
- 2 ในภาพไม่มีใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ แต่ระบบกลับตัดสินใจว่า มีใบหน้าปรากฏในภาพนั้น

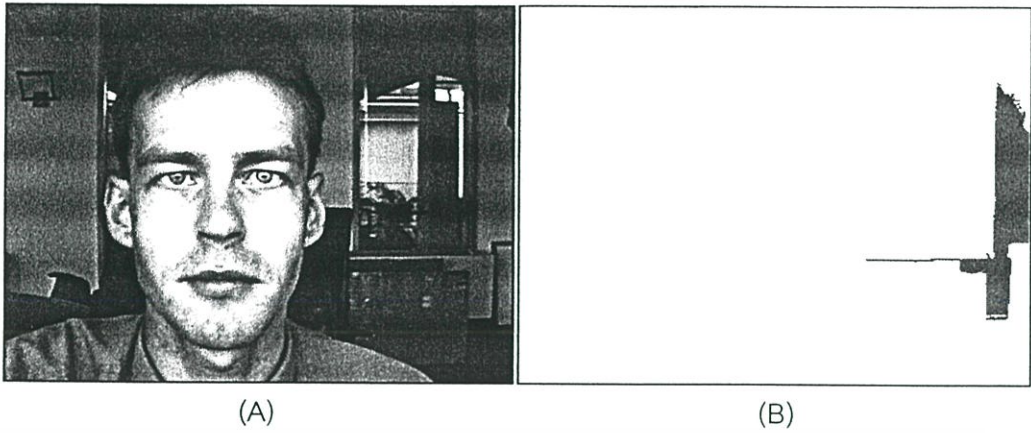
สำหรับภาพใบหน้าที่นำมาใช้ในการทดลองทั้ง 3 ภาพ ซึ่งเกิดความผิดพลาด กล่าวคือไม่สามารถตรวจหาใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพ แบ่งเป็นความผิดพลาดแบบแรกจำนวน 1 ภาพ และความผิดพลาดแบบที่สองจำนวน 2 ภาพด้วยกัน ซึ่งก็มาจากสาเหตุที่แตกต่างกันออกไป

ภาพที่ 7.22 แสดงภาพที่นำมาใช้ในการทดลองและเกิดความผิดพลาดแบบแรกขึ้น จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้างนั้น สามารถจับคู่ลักษณะเด่นได้ถูกต้อง แต่เมื่อนำตำแหน่งของคู่ลักษณะเด่นทั้งสอง มาสร้างเป็นภาพ Mosaic แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เปรียบเทียบกับรูปแบบภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ จะได้ค่าเท่ากับ 68% ซึ่งต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ระบบจึงพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่มีภาพใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่



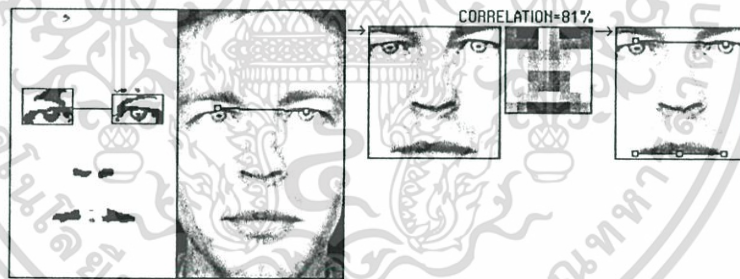
ภาพที่ 7.22 ความผิดพลาดแบบที่หนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

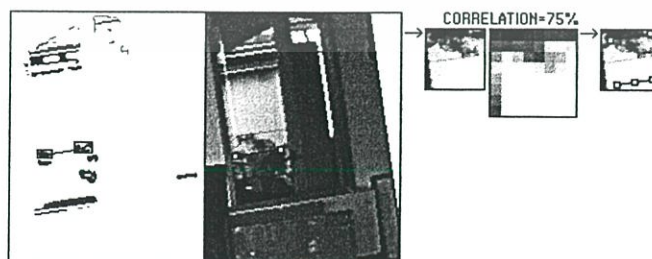


ภาพที่ 7.23 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง และส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ จำนวน 2 ส่วนภาพ

ภาพที่ 7.23A แสดงภาพที่นำมาใช้ในการทดลองและเกิดความผิดพลาดแบบที่สองขึ้น และภาพที่ 7.23B เป็นส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ ซึ่งได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Seeded region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน จำนวนทั้งหมด 2 ส่วนภาพ จากนั้นเมื่อนำส่วนภาพแรก (ส่วนภาพด้านซ้ายมือ) มาทำการตรวจหาภาพใบหน้าทีละขั้นตอนตามลำดับ จะได้ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 7.24



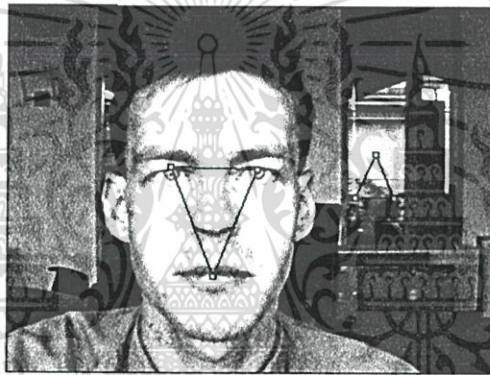
ภาพที่ 7.24 ผลลัพธ์ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ได้จากส่วนภาพแรก ในภาพที่ 7.23



ภาพที่ 7.25 ความผิดพลาดแบบที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นกับส่วนภาพที่สอง จากภาพที่ 7.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อนำส่วนภาพที่สอง (ส่วนภาพด้านขวามือ) จากภาพที่ 7.23 มาตรวจหาภาพใบหน้าทีละขั้นตอนตามลำดับ พบว่า สามารถจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตำแหน่งของตาทั้งสองข้างได้ 1 คู่ลักษณะเด่น และเมื่อนำมาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เปรียบเทียบกับ Template ภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ จะได้ค่าเท่ากับ 75% ซึ่งตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 75%) ระบบจึงพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวมีภาพใบหน้านุษย์ปรากฏอยู่ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 7.25 ดังนั้นเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนภาพทั้งสองมาแปลงตำแหน่งของตาและปาก ย้อนกลับไปยังภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้ดังภาพที่ 7.26 ถึงแม้ว่าจะสามารถตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าทีปรากฏอยู่ในภาพได้ถูกต้อง แต่ก็มีความผิดพลาดแบบที่ 2 เกิดขึ้น นั่นคือตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าได้อีกหนึ่งภาพ แต่ในความเป็นจริงกลับไม่มีใบหน้าที่ดังกล่าวปรากฏอยู่ในภาพ



ภาพที่ 7.26 ความผิดพลาดแบบที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 7.27 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 7.27 แสดงภาพที่นำมาใช้การทดลองอีกภาพหนึ่ง ซึ่งเกิดความผิดพลาดแบบที่สองขึ้นเช่นกัน เมื่อนำภาพดังกล่าวมาแบ่งส่วนภาพ และตรวจสอบหาส่วนภาพที่คาดว่าจะใบหน้ามนุษย์พบแล้ว จะได้ส่วนภาพใบหน้าในตำแหน่งที่ถูกต้อง และผ่านการหมุนส่วนภาพดังแสดงในภาพที่ 7.28 จากนั้นทำการตรวจสอบหาส่วนภาพลักษณะเด่นและจับคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาทั้งสองข้างได้ 2 คู่ลักษณะเด่น

เมื่อนำตำแหน่งของคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็ตาที่ได้ทั้งสอง มากำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าแล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะได้เท่ากับ 75% และ 78% ตามลำดับ ดังนั้นระบบก็จะพิจารณาว่าบริเวณใบหน้าที่ได้จากตำแหน่งของตาทั้งสองข้างคู่นี้ 2 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า (78%) คือตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ปรากฏอยู่ในส่วนภาพใบหน้าดังกล่าวนี้ และทำการตรวจหาตำแหน่งของปากด้วยวิธีการฮัพทรานส์ฟอร์มตามลำดับ



ภาพที่ 7.28 ความผิดพลาดแบบที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นกับส่วนภาพที่คาดว่าจะเป็ใบหน้า ในภาพที่ 7.27



ภาพที่ 7.29 ความผิดพลาดแบบที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นกับภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายเมื่อนำตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ตรวจพบจากภาพที่ 7.28 มาแปลงย้อนกลับไปยังภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ก็จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 7.29 ซึ่งพบว่ามีความผิดพลาดแบบที่ 2 เกิดขึ้น นั่นคือตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าได้หนึ่งภาพ แต่ในความเป็นจริงกลับไม่มีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากปรากฏอยู่ในบริเวณดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจหาใบหน้าด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ กับการวิธีตรวจหาใบหน้าที่น่าสนใจในงานวิจัยอื่นๆ ตัวอย่างเช่น วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Knowledge-based method ตามวิธีการของ [8] ซึ่งเป็นการนำภาพระดับสีเทาที่พิจารณาสร้างเป็นภาพ Mosaic ที่มีขนาดของ Cells แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น 4x4 จุดภาพ 16x16 จุดภาพ หรือ 32x32 จุดภาพ เพื่อตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพ

สำหรับภาพระดับสีเทาขนาด 256x256 จุดภาพ เมื่อนำมาสร้างเป็นภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาด 4x4 จุดภาพ ก็จะได้ภาพที่มีจำนวน Cells ทั้งหมดเท่ากับ 64x64 Cells (ดังแสดงในภาพที่ 7.30H) หรือเมื่อนำมาสร้างเป็นภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาด 32x32 จุดภาพ ก็จะได้ภาพที่มีจำนวน Cells ทั้งหมดเท่ากับ 8x8 Cells (ดังแสดงในภาพที่ 7.30A) นั่นเอง

จากภาพที่ 7.30 จะเห็นได้ว่า ภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาดใหญ่มากๆ เช่นในภาพที่ 7.30A และ 7.30B ซึ่งเป็นภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาดเท่ากับ 32x32 จุดภาพและ 28x28 จุดภาพตามลำดับ จะไม่สามารถระบุได้ว่าบริเวณใบหน้าอยู่ที่ตำแหน่งใดของภาพ แต่เมื่อลดขนาดของ Cells ให้เล็กลง บริเวณใบหน้าก็จะเริ่มปรากฏให้เห็นชัดเจนมากยิ่งขึ้น

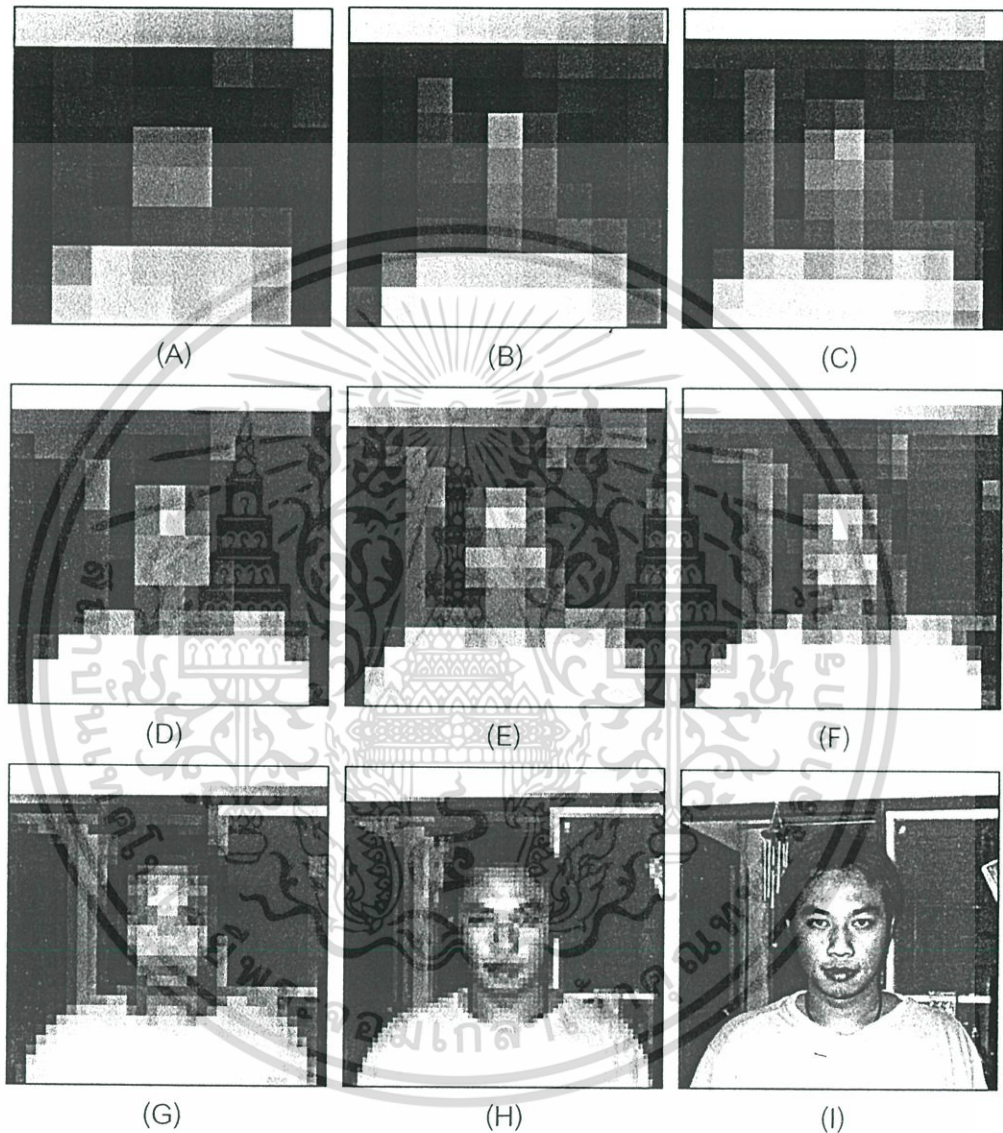
ในภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาดเท่ากับ 16x16 จุดภาพ (ภาพที่ 7.30E) หรือ 12x12 จุดภาพ (ภาพที่ 7.30F) ก็จะสามารถคาดเดาได้ว่าบริเวณใดที่เป็นใบหน้าภายในภาพ และหากลดขนาดของ Cells ลงเรื่อยๆ บริเวณใบหน้าก็จะปรากฏชัดเจนมากขึ้น หรือหากลดขนาดของ Cells ลงเหลือเท่ากับ 1x1 จุดภาพ ภาพที่ได้ก็จะเหมือนกับภาพระดับสีเทาที่พิจารณานั้นเอง (ดังภาพที่ 7.30I)

จากสมมติฐานที่ว่า ภายในบริเวณใบหน้าของมนุษย์จะมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยที่แตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉากหลัง ซึ่งในบทความดังกล่าว [8] จะพิจารณาตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าจากบริเวณภาพ Mosaic ที่มีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยแตกต่างจากบริเวณข้างเคียงนั่นเอง โดยจะทำการสร้างภาพ Mosaic ที่มีขนาดของ Cells แตกต่างกันไป (เนื่องจากไม่สามารถรู้ได้ว่าใบหน้าภายในภาพที่พิจารณามีขนาดเท่าใด ซึ่งได้กำหนดให้เปลี่ยนแปลงขนาดของ Cells ตั้งแต่ 6x6 จุดภาพ ไปจนถึง 25x25 จุดภาพ)

จากนั้นตรวจหาตำแหน่งของ Cells จำนวน 4x4 Cells ในทุกๆ ตำแหน่งของภาพ Mosaic ขนาดต่างๆ ที่ได้สร้างขึ้น แล้วพิจารณาค่าระดับสีเทาในแต่ละ Cells (ทั้ง 4x4 Cells) เปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ว่าเป็นตำแหน่งของบริเวณใบหน้าปรากฏอยู่ภายในภาพหรือไม่ โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าระดับสีเทาจาก 4 Cells ตรงกลาง (Cells A, B, C, และ D ที่แสดงในภาพที่ 7.31) จะต้องมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่าระดับสีเทาจาก Cells ที่เหลือ รอบนอก 4 Cells จากข้อแรก (Cells E จนถึง P ที่แสดงในภาพที่ 7.31) ควรจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าระดับสีเทาที่ต่ำกว่า (4 Cells ตรงกลาง) อีกด้วย



ภาพที่ 7.30 ภาพ Mosaic ที่มีขนาด Cells ต่างกัน (A) Cells ขนาด 32x32 จุดภาพ (B) Cells ขนาด 28x28 จุดภาพ (C) Cells ขนาด 24x24 จุดภาพ (D) Cells ขนาด 20x20 จุดภาพ (E) Cells ขนาด 16x16 จุดภาพ (F) Cells ขนาด 12x12 จุดภาพ (G) Cells ขนาด 8x8 จุดภาพ (H) Cells ขนาด 4x4 จุดภาพ (I) Cells ขนาด 1x1 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E	F	G	H
P	A	B	I
O	C	D	J
N	M	L	K

ภาพที่ 7.31 Cells จำนวน 4x4 Cells ที่ใช้ตรวจหาตำแหน่งบริเวณที่คาดว่าจะจะเป็นบริเวณใบหน้า

จากภาพที่ 7.30 จะเห็นได้ว่า ภาพ Mosaic ที่มี Cells ขนาดใหญ่มากๆ เช่น Cells ขนาด 32x32 จุดภาพ หรือ 28x28 จุดภาพ (ดังแสดงในภาพที่ 7.30A c และ 7.30B) จะไม่สามารถตรวจพบตำแหน่งของ Cells จำนวน 4x4 Cells ที่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้

เมื่อลดขนาด Cells ลงเหลือเท่ากับ 16x16 จุดภาพ (ดังแสดงในภาพที่ 7.30E) จะพบว่า มีตำแหน่งของ Cells จำนวน 4x4 Cells ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งก็เป็นตำแหน่งของบริเวณที่คาดว่าจะมีใบหน้าปรากฏในภาพ (ดังแสดงในภาพที่ 7.32A นั่นเอง)

และเมื่อลดขนาดของ Cells ให้เล็กลงไปเรื่อยๆ ก็อาจจะตรวจพบตำแหน่งของ Cells จำนวน 4x4 Cells ที่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้เพิ่มเติมอีก (สำหรับบริเวณที่ไม่ใช่ใบหน้าปรากฏภายในภาพ ก็จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนต่อไปได้)

ในขั้นตอนต่อมา จะเป็นการตรวจสอบว่าบริเวณ Cells จำนวน 4x4 Cells ที่ตรวจพบ จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ เป็นตำแหน่งที่ถูกต้องของใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพหรือไม่ โดยจะทำการตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากภายในบริเวณดังกล่าว เริ่มจากสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 Cells ที่บริเวณเดียวกัน (ดังแสดงในภาพที่ 7.32B) แล้วคำนวณหาค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของ Cells จำนวน 8 Cells ในแต่ละแถวตามแนวนอน เพื่อตรวจสอบว่า แถวดังกล่าวน่าจะมีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างปรากฏอยู่หรือไม่ จากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของแถว (ในแนวนอน) ที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาปรากฏอยู่ จะต้องมีความต่ำที่สุด (เมื่อเทียบกับแถวอื่นๆ ในแนวนอน)
- ภายในแถวดังกล่าวนี้อาจต้องมี 2 Cells ที่มีค่าระดับสีเทาค่าต่ำที่สุด ซึ่งระยะห่างของทั้ง 2 Cells นี้ จะมีความอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 Cells

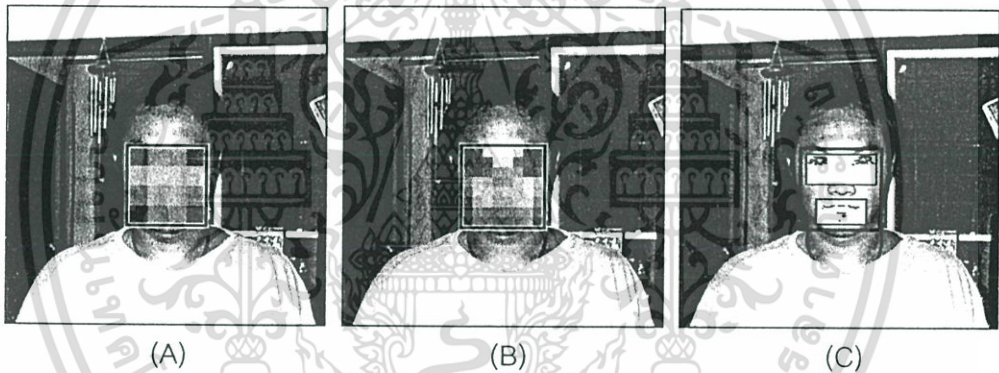
จากนั้นตรวจหาแถวในแนวนอนที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ โดยพิจารณาค่าระดับสีเทาของแต่ละ Cells ในแถวตามแนวนอน ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ค่าระดับสีเทาเฉลี่ยของแถว (ในแนวนอน) ที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของปากปรากฏอยู่ จะต้องมีความต่ำ (เมื่อเทียบกับแถวอื่นๆ ในแนวนอน) และอยู่ด้านล่างของบริเวณตาประมาณ 2 ถึง 3 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cells ที่อยู่บริเวณกลางของแถวดังกล่าวนี้ จะมีค่าระดับสีเทาต่ำกว่า Cells อื่นๆ ภายในแนวเดียวกัน

สุดท้ายเมื่อสามารถตรวจหาบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาและปากปรากฏอยู่ได้แล้ว ก็กำหนดขอบเขตบริเวณตาทั้งสองข้างและปาก และจึงใช้ Sobel operator ตรวจหาขอบภาพภายในบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาและปากปรากฏอยู่ เนื่องจากตาและปากจะมีลักษณะของขอบภาพอยู่ในแนวนอนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในบทความนี้ [8] จะพิจารณาว่า หากภายในบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาและปาก มีขอบภาพในแนวนอนปรากฏเด่นชัดมากกว่าขอบภาพในแนวตั้ง บริเวณดังกล่าวก็คือตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากนั่นเอง แต่หากภายในบริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาและปาก มีขอบภาพในแนวตั้งปรากฏเด่นชัดมากเกินไป ก็จะพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ตำแหน่งของใบหน้าที่ถูกตัดออก และกำจัดออกไป ภาพที่ 7.32C แสดงบริเวณตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากที่ตรวจพบ และลักษณะขอบภาพของตาทั้งสองข้างและปากที่ได้

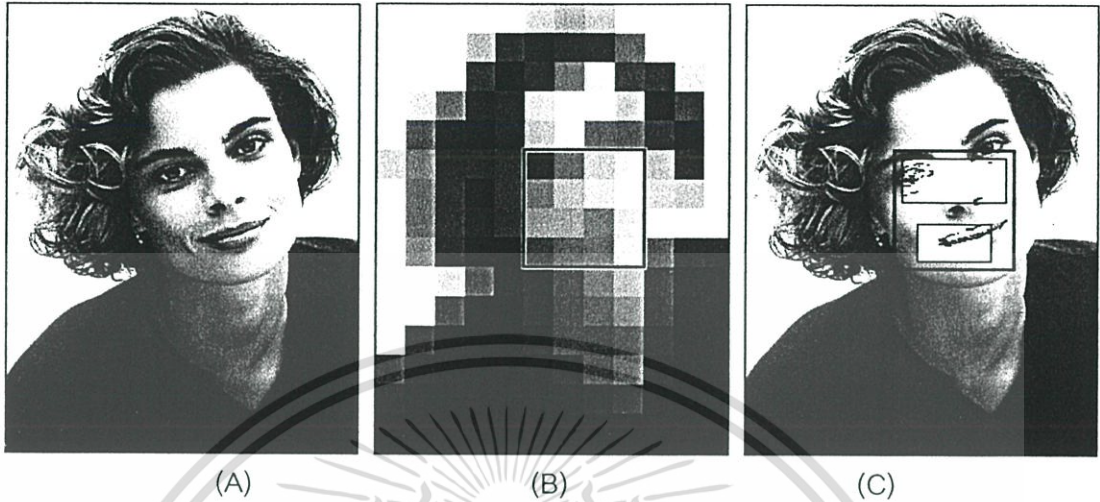


ภาพที่ 7.32 การตรวจหาใบหน้าตามวิธีการของ Yang และ Huang [8] (A) บริเวณภาพ Mosaic ขนาด 4x4 Cells ที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้า (B) บริเวณภาพ Mosaic ขนาด 8x8 Cells ที่ใช้ตรวจหาตำแหน่งของตาและปาก (C) ขอบภาพของตาทั้งสองข้างและปาก

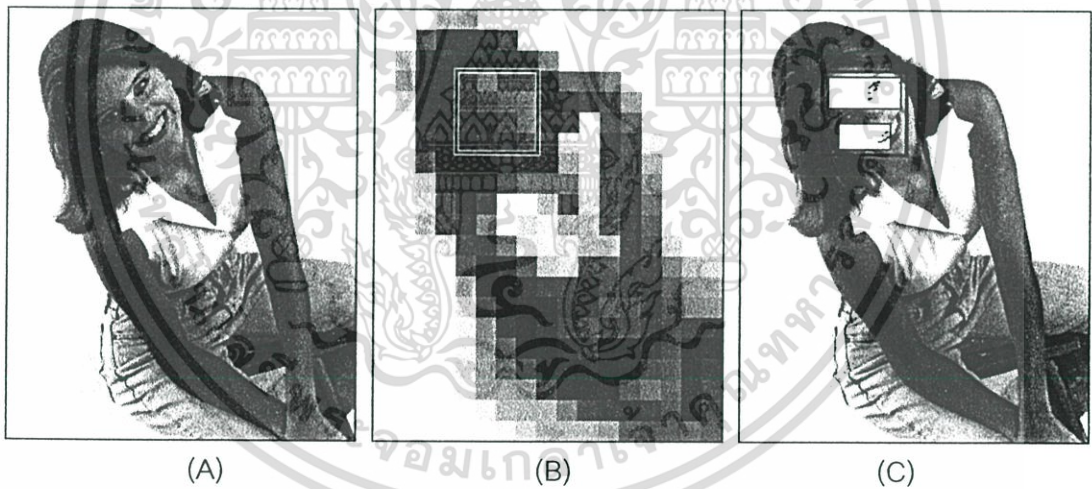
เนื่องจากเงื่อนไขในการพิจารณาตรวจหาบริเวณภาพ Mosaic ขนาด 4x4 Cells ที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของใบหน้า และพิจารณาตรวจหาบริเวณภาพ Mosaic ขนาด 8x8 Cells ที่คาดว่าจะ เป็นตำแหน่งของตาและปากในบทความที่ [8] นี้ ได้มาจากขั้นตอนการ Training กับภาพใบหน้า จำนวน 40 ภาพ และภาพใบหน้าในบางลักษณะก็จะไม่ถูกนำมาพิจารณา ตัวอย่างเช่น ภาพ ใบหน้าที่เอียง ภาพใบหน้าด้านข้าง หรือภาพใบหน้าที่มีผลกระทบจากแสงและเงามากๆ จึงทำให้ เงื่อนไขดังกล่าวไม่สมบูรณ์แบบที่เดียวกัน ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดของวิธีการในบทความดังกล่าวนี้

ในภาพที่ 7.33 และ 7.34 แสดงการตรวจหาใบหน้าที่มีลักษณะเอียง ไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ด้วยวิธีการในบทความที่ [8] ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณภาพ Mosaic ขนาด 4x4 Cells ที่เป็นตำแหน่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของใบหน้า อาจจะมีค่าระดับสีเทาที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ (ดังแสดงในภาพที่ 7.33B และ 7.34B ตามลำดับ)



ภาพที่ 7.33 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Knowledge-based method ตามหลักการของ Yang และ Huang [8] ซึ่งไม่สามารถตรวจหาใบหน้าที่เอียงหรือไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบได้



ภาพที่ 7.34 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Knowledge-based method ตามหลักการของ Yang และ Huang [8] ซึ่งไม่สามารถตรวจหาใบหน้าที่เอียงหรือไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบได้

และในขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปาก เนื่องจากใบหน้ามีลักษณะเอียง ไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ดังนั้นตาทั้งสองข้างก็จะไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน ทำให้ผลลัพธ์ของการตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างปากอาจจะผิดพลาดได้ (ดังแสดงในภาพที่ 7.33C และ 7.34C ตามลำดับ) ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวนี้ ในขณะที่การตรวจหาใบหน้าด้วย

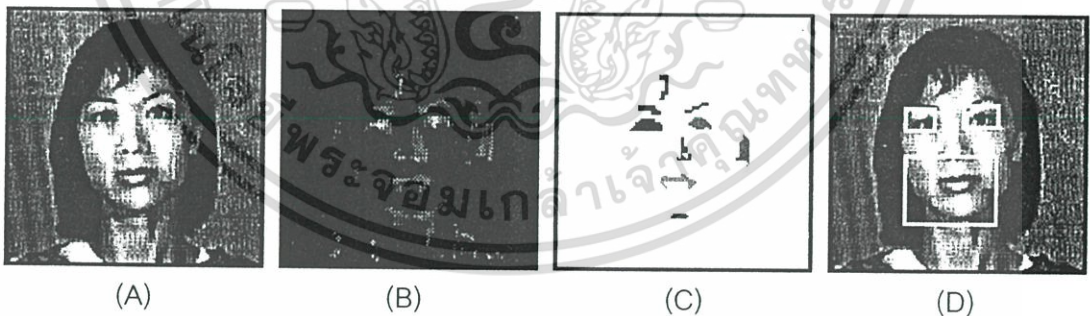
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่ได้นำเสนอ นอกจากจะสามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าภายในภาพได้แล้ว ยังสามารถระบุตำแหน่งของลักษณะเด่นที่สำคัญคือ ตาทั้งสองข้างและปาก ได้อีกด้วย

และวิธีการตรวจหาใบหน้าอีกแบบหนึ่งคือ การตรวจหาใบหน้าแบบ Feature-based method ตามวิธีการของ [9] วิธีการนี้จะใช้สำหรับตรวจหาใบหน้าภายในภาพที่มีพื้นฉากที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่ละใบหน้าจะมีขนาดใกล้เคียงกัน และอยู่ในตำแหน่งที่ค่อนข้างกลางภาพ (ทุกภาพมีขนาด 256x256 จุดภาพ ภายในหนึ่งภาพจะมีใบหน้าปรากฏอยู่หนึ่งใบหน้าเท่านั้น)

จากสมมติฐานที่ว่า บริเวณลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าที่สำคัญอันได้แก่ ตาทั้งสองข้างและปาก จะมีรูปร่างเฉพาะตัว และมีค่าระดับสีเทาที่ต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ดังนั้นในขั้นตอนแรก จะทำการตรวจหากลุ่มจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาดำกว่าบริเวณข้างเคียงภายในภาพ โดยใช้วิธีการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่ง (ที่ใช้ Structuring element รูปร่างกลมขนาด 5x5 จุดภาพ)

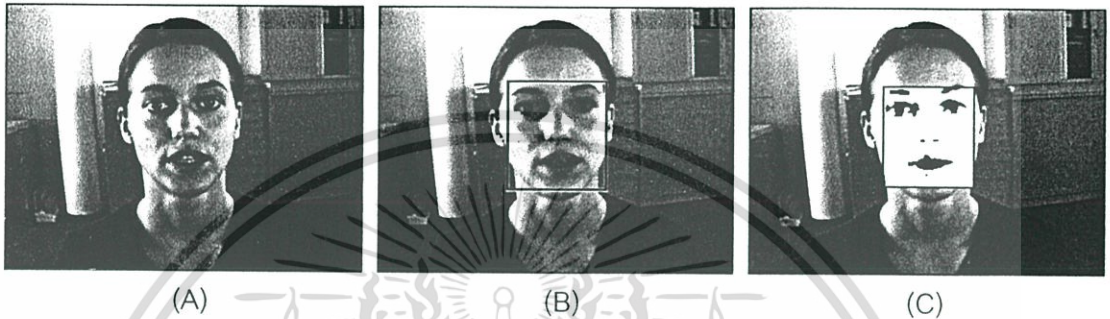
เมื่อได้กลุ่มจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาดำกว่าบริเวณข้างเคียงทั้งหมดภายในภาพแล้ว ก็จะทำให้การตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งว่า กลุ่มจุดภาพใดบ้างที่คาดว่าจะป็นลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า (โดยเฉพาะตาทั้งสองข้างและปาก) โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับ ขนาด ความกว้างและความยาว ค่าระดับสีเทาเฉลี่ย และจุดศูนย์กลาง (Centroid location) ของแต่ละกลุ่มจุดภาพที่ตรวจพบ (ดังแสดงในภาพที่ 7.35 ตามลำดับ) สุดท้ายจะใช้หลักการของ Hough transform และ Deformable template ตรวจหาลักษณะลายเส้นที่เป็นวงกลมและส่วนโค้ง เพื่อระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างที่ถูกต้อง และใช้หลักการของ Hough transform ตรวจหาเส้นตรง เพื่อระบุตำแหน่งของปากที่ถูกต้องอีกครั้ง



ภาพที่ 7.35 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Feature-based method ตามหลักการของ Chow และ Li [9] (A) ภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (B) กลุ่มจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง (C) ลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ (D) บริเวณที่คาดว่าจะมีตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากปรากฏอยู่

เมื่อนำวิธีการตรวจหาลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าจากบทความที่ [9] มาทำการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจหาลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากภาพที่ใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นภาพที่มีพื้นฉากที่ซับซ้อน ไม่สามารถใช้วิธีการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งกระทำกับทั้งภาพโดยตรง เพื่อตรวจหาลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าได้ ดังนั้นจะทำการกำหนดขอบเขตบริเวณของใบหน้าปรากฏในแต่ละภาพ (เพราะทราบตำแหน่งของใบหน้าในแต่ละภาพอยู่ก่อนแล้ว และจะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเฉพาะความถูกต้องในส่วนของคุณลักษณะเด่นภายในบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบเท่านั้น) ก็จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 7.36 ตามลำดับ



ภาพที่ 7.36 วิธีการตรวจหาใบหน้าแบบ Feature-based method ตามหลักการของ Chow และ Li [9] (A) ภาพระดับสีเทาที่พิจารณา (B) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการมอโฟโลยีแบบโอเพนนิ่งภายในบริเวณใบหน้า (C) ลักษณะเด่นทั้งหมดในบริเวณใบหน้าที่ตรวจพบ

จากภาพที่ 7.36C จะเห็นได้ว่าลักษณะเด่นที่สำคัญคือ ตาทั้งสองข้างและปากที่ตรวจพบด้วยวิธีการในบทความที่ [9] จะมีขอบเขตที่ชัดเจนและถูกต้อง

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำภาพใบหน้าที่มีผลกระทบจากแสงและเงามากๆ มาทำการทดลองจะพบว่า วิธีการในบทความที่ [9] นี้ยังมีข้อจำกัดอยู่กล่าวคือ หากภาพที่นำมาพิจารณามีผลกระทบจากแสงและเงามากๆ (ดังแสดงในภาพที่ 7.37A) จะทำให้บริเวณลักษณะเด่นที่ต้องการตรวจหาคือตาและปาก อาจจะกลืนไปกับพื้นฉากหลัง ทำให้ไม่สามารถแยกแยะหรือบ่งชี้ถึงขอบเขตบริเวณของตาและปากได้ (ดังแสดงในภาพที่ 7.37C)

จากข้อจำกัดต่างๆ ของการตรวจหาใบหน้าด้วยวิธีการในบทความที่ [8] และ [9] ทั้งในเรื่องของภาพใบหน้าที่เอียง ไม่ตั้งฉากกับแนวระนาบ ภาพใบหน้าที่มีผลกระทบจากแสงและเงา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการตรวจหาภาพใบหน้าซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาในส่วนข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้ได้ กล่าวคือสามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าทั้งหมดได้อย่างถูกต้อง

7.4 สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลภาพทั้ง 4 กลุ่ม จำนวน 192 ภาพใบหน้าจาก 172 ภาพ ที่นำมาใช้ในการทดลอง การตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ถูกต้อง 98.43% (189 ภาพใบหน้า) โดยแบ่งออกเป็น 1) สามารถระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ถูกต้อง 90.62% (174 ภาพใบหน้า) 2) สามารถระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียงตำแหน่งที่ถูกต้อง 7.81% (15 ภาพใบหน้า) และ 3) ตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าผิดพลาดทั้งหมด 1.57% (3 ภาพ) ดังแสดงในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ที่ได้จากข้อมูลภาพทั้ง 4 กลุ่ม

	ภาพ	เปอร์เซ็นต์
ภาพใบหน้าที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด	192 ภาพใบหน้า	100%
ตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าได้ถูกต้อง	189 ภาพใบหน้า	98.43%
ตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ถูกต้อง	174 ภาพใบหน้า	90.62%
ตรวจหาตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ใกล้เคียงตำแหน่งที่ถูกต้อง	15 ภาพใบหน้า	7.81%
ตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าผิดพลาด	3 ภาพใบหน้า	1.57%

ตารางที่ 7.5 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลในการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อน ในภาพขนาดต่างๆ

ขนาดของภาพ	เวลาประมวลผลเฉลี่ยในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ	เวลาประมวลผลเฉลี่ยในขั้นตอนอื่นๆ	เวลาประมวลผลเฉลี่ยของทั้งระบบ
109x145 จุดภาพ	0.09 วินาที	0.11 วินาที	0.20 วินาที
256x256 จุดภาพ	0.29 วินาที	0.23 วินาที	0.52 วินาที
384x286 จุดภาพ	0.65 วินาที	0.45 วินาที	1.10 วินาที
590x590 จุดภาพ	2.04 วินาที	0.95 วินาที	2.99 วินาที
640x480 จุดภาพ	2.05 วินาที	1.17 วินาที	3.22 วินาที

เมื่อเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Delphi version 5.0 และประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ Pentium 4 processor 2.8 GHz เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ประมวลผลการตรวจหาภาพใบหน้าในแต่ละภาพ จะแตกต่างกันออกไปตามขนาดของภาพ เพราะหากภาพมีขนาดใหญ่ก็จะต้องใช้เวลาประมวลผลในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพมากตามไปด้วย ส่วนในขั้นตอนอื่นๆ อันได้แก่ ขั้นตอนการตรวจหาลักษณะเด่นทั้งหมด การจับคู่ตาทั้งสองข้าง การกำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า การสร้างภาพ Mosaic ขนาด 8x8 และการตรวจหาตำแหน่งของปากตามหลักการของฮอฟทรานส์ฟอร์ม จะใช้เวลาไม่มากนัก โดยแตกต่างกันออกไปตามจำนวนส่วนภาพที่คาดว่าจะจะเป็นใบหน้ามนุษย์ที่ตรวจพบ ดังแสดงในตารางที่ 7.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุปและวิจารณ์

8.1 บทสรุปและวิจารณ์

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ จากภาพระดับสีเทา 256 ระดับขนาด 8 บิต ว่าในภาพดังกล่าวมีใบหน้าของมนุษย์ปรากฏอยู่หรือไม่ หากมีจะมีอยู่ที่ใบหน้า อยู่ที่ตำแหน่งพิกัดใดและมีขนาดเท่าใดบ้าง โดยไม่จำกัดว่าใบหน้าจะมีลักษณะเอียงหรือหมุนไปจากแนวระนาบเท่าใดก็ตาม

จากสมมติฐานว่าใบหน้ามนุษย์ที่ปรากฏอยู่ในภาพ จะมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างจากบริเวณข้างเคียงและพื้นฉาก และบริเวณใบหน้าเองก็จะมีลักษณะเด่นเฉพาะ อันได้แก่ ตาทั้งสองข้างและปากปรากฏอยู่ ขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่หนึ่งแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ ตามค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันด้วยวิธีการ Seeded region growing บนพื้นฐานของฮิสโตแกรมเฉพาะส่วน [1] แล้วพิจารณาว่าบริเวณใดมีรูปร่างตรงกันหรือใกล้เคียงกับรูปแบบของใบหน้าที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการหมุนบริเวณส่วนภาพดังกล่าวให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ เพื่อสะดวกต่อการตรวจหาลักษณะเด่นเฉพาะที่ปรากฏบนใบหน้าในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่สอง ตรวจหาส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัว จากลักษณะเด่นทั้งหมดที่ปรากฏอยู่บนใบหน้า เพราะเป็นลักษณะเด่นที่มีความชัดเจน กล่าวคือตาเป็นลักษณะเด่นที่มีรูปร่างเฉพาะ และมีค่าระดับสีเทาเข้มกว่าบริเวณข้างเคียง แล้วจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวตำแหน่งของตาทั้งสองข้าง โดยใช้ภาพสองระดับสี ภาพที่ผ่านกระบวนการหาขอบภาพและกระบวนการมอโฟโลยี จากสมมติฐานที่ว่าตาทั้งสองข้างจะต้องมีขนาด รูปร่างที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันอย่างเหมาะสม และอยู่ในระนาบเดียวกันนั่นเอง

ขั้นตอนที่สามนำตำแหน่งของคู่ลักษณะเด่นที่คาดว่าจะเป็นตัวทั้งสองข้าง ที่ได้จากขั้นตอนที่สองมากำหนดขอบเขตบริเวณใบหน้า ซึ่งภายในบริเวณใบหน้านี้ จะประกอบไปด้วยลักษณะเด่นคือ ตาทั้งสองข้าง จมูก และปากปรากฏอยู่ จากนั้นนำภาพขอบเขตบริเวณของใบหน้ามาสร้างเป็นภาพ Mosaic ขนาด 8x8 แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เปรียบเทียบกับ Template ภาพใบหน้าที่กำหนดไว้ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ก็จะพิจารณาว่าบริเวณดังกล่าวคือใบหน้าที่ถูกต้อง สุดท้ายทำการตรวจหาตำแหน่งของปากที่ปรากฏบนใบหน้าตามหลักการของฮัฟทรานส์ฟอร์ม [2,3] เพื่อความถูกต้องอีกครั้ง

จากข้อมูลภาพทั้ง 4 กลุ่มจำนวน 172 ภาพ โดยมีภาพใบหน้ามนุษย์ปรากฏอยู่ 192 ภาพ ใบหน้า (ภายในหนึ่งภาพอาจมีใบหน้าปรากฏอยู่มากกว่าหนึ่งใบหน้า) ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดลอง ตรวจสอบใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ 98.43% (189 ภาพใบหน้า) ในจำนวนนี้สามารถระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากได้ถูกต้อง 90.62% (174 ภาพใบหน้า) ระบุตำแหน่งของตาทั้งสองข้างและปากใกล้เคียงความเป็นจริงถึง 7.81% (15 ภาพใบหน้า) และตรวจหาตำแหน่งของภาพใบหน้าผิดพลาด 1.57% (3 ภาพใบหน้า)

ข้อจำกัดของการตรวจหาใบหน้ามนุษย์บนภาพพื้นฉากที่ซับซ้อนแบบอัตโนมัติ ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็คือ ภาพใบหน้าที่ปรากฏในภาพจะต้องมีขนาดที่ใหญ่กว่า 50x50 จุดภาพ (เนื่องจากหากใบหน้าที่มีขนาดเล็กจนเกินไป ลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าจะไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้) และหากใบหน้าที่ปรากฏในภาพมีสิ่งบดบัง อาทิเช่น แว่นตา สวมหมวก หรือมีผ้าปิดบังบางส่วนของภาพ โดยเฉพาะลักษณะเด่นคือ ตาทั้งสองข้างและปาก จะทำให้ส่วนภาพบริเวณใบหน้าแตกต่างจากรูปแบบใบหน้าที่ปกติ ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ กล่าวคือภายในบริเวณใบหน้าจะต้องประกอบไปด้วยลักษณะเด่นได้แก่ ตาทั้งสองข้างและปาก ก็อาจทำให้ระบบไม่สามารถตรวจหาภาพใบหน้าที่ดังกล่าวได้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 8.1



ภาพที่ 8.1 ตัวอย่างภาพใบหน้าที่มีสิ่งบดบัง ทำให้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้

นอกจากนี้หากภาพที่พิจารณามีแสงและเงามากจนเกินไป อาจทำให้ส่วนภาพใบหน้าที่เคลื่อนไป กับพื้นฉากหลังของภาพ ดังนั้นในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ก็อาจจะไม่สามารถตรวจหาส่วนภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

- 1 ปรับปรุงวิธีการแบ่งส่วนภาพ เพื่อให้สามารถตรวจหาส่วนภาพที่คาดว่าจะ เป็นใบหน้า ให้มีความถูกต้องมากขึ้น สามารถตรวจหาส่วนภาพใบหน้าจากภาพที่มีผลกระทบของแสงเงาได้ดีขึ้น และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง เนื่องจากในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพนี้ เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาประมวลผลมากกว่าขั้นตอนอื่นๆ หากภาพมีขนาดใหญ่ ก็จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากตามไปด้วย
- 2 ปรับปรุงวิธีการแบ่งส่วนภาพเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับภาพสี เนื่องจากวิธีการแบ่งส่วนภาพที่ได้นำเสนอสามารถนำไปปรับปรุงเพื่อตรวจหาใบหน้ามนุษย์จากภาพสี และประยุกต์ใช้กับงานประมวลผลภาพในลักษณะอื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย
- 3 ปรับปรุงเงื่อนไขในขั้นตอนต่างๆ ทั้งการตรวจหาส่วนภาพลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้า การจับคู่ส่วนภาพลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตา การตรวจหาตำแหน่งของปาก เพื่อให้สามารถตรวจหาลักษณะเด่นที่คาดว่าจะ เป็นตาทั้งสองข้างและตำแหน่งของปากให้ถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังปรับปรุงเพื่อให้สามารถตรวจลักษณะเด่นอื่นๆ อาทิเช่น จมูก และคิ้ว เป็นต้น



[12] Pitas, I. **Digital Image Processing Algorithms**. London : Prentice Hall International (UK) Ltd. 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

- [1] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, สารท คำมูล, ศศิ ศรีสัตตบุตร และ วีรวัฒน์ เทพมณี "Seeded Region Growing บนพื้นฐานของฮีสโตแกรมเฉพาะส่วน" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41, กุมภาพันธ์ 2546, หน้า 540-547
- [2] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, วีรชาติ แสนชัย และ ศศิ ศรีสัตตบุตร. "การปรับปรุง Hough transform ให้ดีขึ้น" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39, กุมภาพันธ์ 2544. หน้า 209-216
- [3] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, ศศิ ศรีสัตตบุตร และ วิโรจน์ สุวรรณสัมฤทธิ์. "การตรวจหาเส้นตรง วงกลม และวงรี ด้วย Hough Transform Modification" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, ฉบับที่ 2, พฤศจิกายน 2544. หน้า 1159-1164



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ศศิ ศรีสัตตบุตร
เกิดวันที่	13 มีนาคม พ.ศ. 2518 จังหวัดนครราชสีมา
การศึกษา	ปีการศึกษา 2536-2538 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ปีการศึกษา 2538-2540 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้