



การถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา  
Eye Blink Morse Decoding

ชนินาท ทองเหล็ง  
Chaninart Thongleng

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Computer Engineering  
Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา  
Eye Blink Morse Decoding

ชนินาท ทองเหล็ง  
Chaninart Thongleng

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Computer Engineering  
Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา  
ผู้เขียน นางสาวชนิษา ทองเหล็ง  
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
คอมพิวเตอร์

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(นางสาวชนินาถ ทองเหล็ง)  
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวชนินาถ ทองเหล็ง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา
ผู้เขียน	นางสาวชนินาถ ทองเหล็ก
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2561

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำระบบการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาด้วยกล้องวีดีโอ ซึ่งระบบได้พัฒนากระบวนการหลากหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำให้แก่ระบบ การตรวจจับใบหน้าและการค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB (mRGB) Color Space การสร้างขอบเขตการค้นหา (ROI) ดวงตาเพื่อลดขอบเขตการค้นหา การประยุกต์ใช้การติดตามดวงตาด้วย Kalman Filter เพื่อลดการทำซ้ำของ Viola-Jones และการคัดแยกการกะพริบตาแบบสั้นและแบบยาวที่มีความยืดหยุ่นด้วยการแบ่งกลุ่มด้วย K-means เพื่อทำการแปลความหมายจากการกะพริบตาเป็นสัญญาณรหัสมอร์ส โดยในแต่ละกระบวนการจะส่งผลทำให้กระบวนการถัดไปทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดี ผลลัพธ์ของงานวิจัยมุ่งเน้นถึงการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาได้ในเวลาจริงเพื่อใช้ในการสื่อสาร โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบเพื่อวัดความถูกต้อง คือ 94.74% และประสิทธิภาพเฉลี่ยของการทำงานอยู่ที่ 25 เฟรมต่อวินาทีจากการทดสอบบน OpenCV

**คำสำคัญ:** การประมวลผลภาพ, การตรวจจับใบหน้าและการค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วยอัลกอริทึมวีโอลาโจนโดยใช้เอ็มอาร์จีบีซีแอลเลอร์สเปซ (Viola-Jones Algorithm with mRGB Color Space), การคัดแยกการกะพริบตาด้วยการจัดกลุ่มเคมีน, การถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา

<b>Thesis Title</b>	Eye Blink MORSE Decoding
<b>Author</b>	Miss Chaninart Thongleng
<b>Major Program</b>	Computer Engineering
<b>Academic Year</b>	2018

### Abstract

This research presents a system of eye blink Morse decoding by camera. In order to maximize both accuracy and efficiency, this system integrated many algorithms. We perform face and eye position prediction by Viola-Jones algorithm with Mixture of RGB (mRGB) color space which are used to create ROI and decrease excess searching region. Meanwhile, Kalman Filter was operating to detect eyes and shortening previous algorithm's process. Moreover, K-mean classification was fixable to assist further processes by distinguishing short and long eye blinks. These individual algorithms would function and facilitate pervious algorithms to make the most efficient way to interpret eye blink into Morse code for communication purpose. The result shows and confirms that the efficiency of this process is 94.74%. Average speed of system is 25 frames per second when works on OpenCV.

**Keyword:** Computer Vision/Image Processing, Face and Eye Detection by Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB, Eye Blink Classification with K-means Clustering, Eye Blink Morse Decoder

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วชรินทร์ แก้วอภิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และให้ความรู้ในด้านต่างๆ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขการเผยแพร่การประชุมทางวิชาการและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการเดินทาง และการเผยแพร่ผลงานการประชุมวิชาการในงานวิจัยแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษาปริญญาเอก นักศึกษาปริญญาโทในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ ประสานงาน และอำนวยความสะดวกในระหว่างทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

และสุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมสนับสนุน และให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ชนินาถ ทองเหล็ก



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	5
Abstract .....	6
กิตติกรรมประกาศ.....	7
สารบัญ .....	8
รายการตาราง.....	11
รายการภาพประกอบ .....	12
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ .....	15
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.5 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ .....	3
1.6 ภาพรวมของระบบ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.2 วิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2.1 กระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา .....	9
2.2.2 กระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตา.....	11
2.2.3 กระบวนการคัดแยกการกะพริบตา .....	15
2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องอื่นๆ.....	16
2.3.1 รหัสสมอร์ส.....	16
2.3.2 การกะพริบตา.....	17
2.3.3 ระบบสี RGB.....	17
2.3.4 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้.....	21
3.1.1 การแบ่งส่วนของใบหน้า.....	22
3.2 ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ.....	24
3.2.1 Viola-Jones Algorithm.....	26
3.2.2 Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB Color Space.....	30
3.3 ขั้นตอนการติดตามวัตถุ.....	32
3.3.1 ตัวกรองคาลมาน.....	34
3.4 ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส.....	36
3.4.1 ขั้นตอนการตัดแยกการกะพริบตา.....	37
3.4.2 ขั้นตอนการแปลความหมายจากการกะพริบตา.....	39
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	44
4.1 ผลการทดสอบการแบ่งส่วนของใบหน้า.....	44
4.2 ผลการทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา.....	49
4.2.1 Grayscale.....	49
4.2.2 Weighted Grayscale.....	49
4.2.3 Mixture of RGB.....	51
4.3 ผลการทดสอบการหาระยะห่างของจุดกึ่งกลางภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรม ก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา.....	60
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ.....	61
4.4.1 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ.....	63
4.4.2 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสาร เป็นประจำ.....	67
4.5 ตัวอย่างการถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตา.....	70
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 บทสรุป .....	72
5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน .....	73
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	73
บรรณานุกรม .....	74
ภาคผนวก .....	78
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วิทยานิพนธ์ .....	79
ประวัติผู้เขียน .....	86

## รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษกับรหัสสมอร์ส.....	16
ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความจริงของ EXCLUSIVE OR.....	40
ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้สื่อสารเป็นประจำ.....	43
ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆ .....	47
ตารางที่ 4-2 แสดงจำนวนที่ค้นหาตำแหน่งของดวงตาในแต่ละ CHANNEL.....	50
ตารางที่ 4-3 แสดงขนาดของตัวตรวจจับจาก VIOLA-JONES VISION SYSTEM TOOLBOX .....	53
ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับดวงตาของ MRGB และ WGR.....	54
ตารางที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับดวงตาของ GR .....	54
ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับที่มีขนาดเล็กกว่าของ WGR และ GR .....	58
ตารางที่ 4-7 แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับของ MRGB, WGR และ GR .....	59
ตารางที่ 4-8 แสดงอัตราส่วนของขนาดพื้นที่ดวงตาของ MRGB ต่อ GR.....	59
ตารางที่ 4-9 แสดงผลการทดสอบการหาระยะห่างของจุดกึ่งกลางภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบัน กับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา ในค่า $d$ ที่ต่างกัน .....	61
ตารางที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 1 .....	64
ตารางที่ 4-11 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 2 .....	65
ตารางที่ 4-12 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 3 .....	65
ตารางที่ 4-13 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4 .....	66
ตารางที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยรูปแบบคำพิเศษ .....	69

## รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1-1 ภาพรวมของระบบ .....	4
ภาพประกอบที่ 1-2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ .....	6
ภาพประกอบที่ 2-1 แผนผังกระบวนการในการทำงานของระบบ .....	8
ภาพประกอบที่ 2-2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา .....	9
ภาพประกอบที่ 2-3 การแบ่งประเภทของการพัฒนา VIOLA-JONES ALGORITHM .....	10
ภาพประกอบที่ 2-4 การแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ VIOLA-JONES ALGORITHM.....	10
ภาพประกอบที่ 2-5 การแบ่งประเภทการวิเคราะห์การตรวจจับสถานะของดวงตา.....	12
ภาพประกอบที่ 2-6 การแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตา หรือการตรวจจับการกะพริบตา.....	13
ภาพประกอบที่ 2-7 การผสมสีของแม่สี.....	18
ภาพประกอบที่ 2-8 ระบบพิกัดของ RGB COLOR SPACE .....	18
ภาพประกอบที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ .....	20
ภาพประกอบที่ 3-2 ขั้นตอนการเรียนรู้.....	21
ภาพประกอบที่ 3-3 การแบ่งภาพใบหน้า (FACE REGION) ออกเป็น 4 ส่วน.....	22
ภาพประกอบที่ 3-4 ภาพ EYEROI ที่แสดงค่า $W_1, W_2, H_1, H_2$ .....	24
ภาพประกอบที่ 3-5 ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ.....	25
ภาพประกอบที่ 3-6 HAAR-LIKE FEATURES. ....	27
ภาพประกอบที่ 3-7 INTEGRAL IMAGE ที่จุด $(x, y)$ .....	27
ภาพประกอบที่ 3-8 ตัวอย่างการหาผลรวมของพิกเซลและค่า INTEGRAL IMAGE.....	28
ภาพประกอบที่ 3-9 แสดงตัวอย่างที่ได้จากการทำงานของ ADABOOST .....	29
ภาพประกอบที่ 3-10 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ CASCADE CLASSIFIER .....	30
ภาพประกอบที่ 3-11 ค่าความเข้มของแสงในแต่ละสี (แดง, เขียว, น้ำเงิน) .....	30
ภาพประกอบที่ 3-12 กระบวนการทำงานของ MRGB VIOLA-JONES ALGORITHM.....	31
ภาพประกอบที่ 3-13 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับด้วยตา.....	31
ภาพประกอบที่ 3-14 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาในรูปแบบของกราฟ .....	32
ภาพประกอบที่ 3-15 ขั้นตอนการติดตามวัตถุ.....	33
ภาพประกอบที่ 3-16 กระบวนการทำงานของตัวกรองคาลมาน .....	34

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่ 3-17 ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส.....	37
ภาพประกอบที่ 3-18 ขั้นตอนการทำงานของกรแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมิน .....	38
ภาพประกอบที่ 3-19 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา .....	41
ภาพประกอบที่ 3-20 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ .....	42
ภาพประกอบที่ 3-21 รหัสสัญญาณมอร์สกับตัวอักษรภาษาอังกฤษ.....	42
ภาพประกอบที่ 4-1 การทดลองการแบ่งส่วนของใบหน้า .....	45
ภาพประกอบที่ 4-2 การแบ่งสัดส่วนใบหน้าของภาพ FACE REGION ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับ ใบหน้าด้วย FACE GOLDEN RATIO ตามแนวแกน Y .....	46
ภาพประกอบที่ 4-3 ภาพแสดงการทดลองของ CASE C.....	46
ภาพประกอบที่ 4-4 ผลที่ได้จากการทดสอบการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆ.....	48
ภาพประกอบที่ 4-5 ผลที่ได้จากการทดสอบการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆที่มีความผิดพลาด	48
ภาพประกอบที่ 4-6 ขั้นตอนการทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา .....	49
ภาพประกอบที่ 4-7 การทดสอบหาค่าน้ำหนักของ WEIGHTED GRAYSCALE .....	50
ภาพประกอบที่ 4-8 ภาพต้นฉบับและค่าความเข้มของแสงในแต่ละสี (แดง, เขียว, น้ำเงิน).....	51
ภาพประกอบที่ 4-9 ผลการทดลองการตรวจจับดวงตาด้วย VIOLA-JONES ALGORITHM WITH MRGB ด้วย EYEPAIRBIG.....	52
ภาพประกอบที่ 4-10 ตัวอย่างการทดลองการค้นหาดวงตาด้วยโมเดลการตรวจจับที่แตกต่างกันของ แต่ละ COLOR SPACE (GR, WGR, MRGB) .....	55
ภาพประกอบที่ 4-11 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย EYEPAIRBIG .....	56
ภาพประกอบที่ 4-12 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย EYEPAIRSMALL .....	56
ภาพประกอบที่ 4-13 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย RIGHTEYE .....	57
ภาพประกอบที่ 4-14 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย LEFT EYE.....	57
ภาพประกอบที่ 4-15 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา .....	62
ภาพประกอบที่ 4-16 เงื่อนไขการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วย ตัวอักษรภาษาอังกฤษ.....	63
ภาพประกอบที่ 4-17 เงื่อนไขการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วย รูปแบบคำพิเศษที่กำหนดไว้ .....	68

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่ 4-18 กราฟแสดงข้อมูลสถานะดวงตา .....	70
ภาพประกอบที่ 4-19 กราฟแสดงข้อมูลสถานะของด้วยตาที่มีการตัดการกะพริบตาแบบ INVOLUNTARY ออกไป .....	71

## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ROI	Region of Interest
RGB	Red Green Blue Color Space
mRGB	Mixture of RGB
wGr	Weighted Grayscale
Gr	Grayscale



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันอัตราผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคอัมพาตและกล้ามเนื้ออ่อนแรงเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับอดีตที่ผ่านมา ซึ่งผู้ป่วยด้วยโรคอัมพาตและกล้ามเนื้ออ่อนแรงส่วนใหญ่นั้นไม่สามารถพูดคุยสื่อสารกับบุคคลรอบข้างได้ เนื่องจากความบกพร่องของร่างกาย ทำให้ไม่สามารถควบคุมและสั่งการร่างกายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารได้ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของผู้ป่วยที่ไม่สามารถสื่อสารสิ่งที่ต้องการให้แก่บุคคลรอบข้างทราบได้และยังสร้างความยากลำบากให้กับบุคคลรอบข้างที่ไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่ผู้ป่วยต้องการสื่อสารออกมาได้ แต่ผู้ป่วยจำนวนมากไม่ได้สูญเสียความสามารถในการควบคุมระบบการมองเห็น จึงทำให้ยังคงมีความสามารถในการควบคุมดวงตาในการรอกตาไปมาและความสามารถในการกะพริบตา ทำให้นำความสามารถในส่วนการมองเห็นนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถสื่อสารกับบุคคลรอบข้างได้สะดวกมากขึ้น โดยใช้ความสามารถในการกะพริบตาของผู้ป่วยมาใช้ในการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส (Morse Code) และรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้สื่อสารเป็นประจำ เพื่อเป็นเครื่องมือในการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การพัฒนาระบบวิเคราะห์การกะพริบตาเพื่อคัดแยกการกะพริบตาในปัจจุบัน มีงานวิจัยออกมาหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันไปตามกระบวนการ โดยการวิเคราะห์ระบบการกะพริบตานี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นการคัดแยกการกะพริบตาด้วยการวิเคราะห์ด้วยสัญญาณไฟฟ้า โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ คือ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของดวงตาและการกะพริบตา (Electrooculography : EOG) ซึ่งสัญญาณนี้สามารถคัดแยกการกะพริบตาแบบ Voluntary และการกะพริบตาแบบ Involuntary แต่กระบวนการดังกล่าวต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณบนตัวผู้ใช้งาน ทำให้เกิดความยุ่งยากและไม่สะดวกต่อการใช้งาน

กลุ่มที่สองเป็นการคัดแยกการกะพริบตาด้วยการประมวลผลภาพ เป็นกลุ่มที่ได้รับคามนิยมอย่างแพร่หลาย [1-5] เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการนี้ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บนตัวผู้ใช้งาน ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของดวงตาด้วยการใช้กล้องวิดีโอในการตรวจจับดวงตา การพัฒนาการวิเคราะห์การกะพริบตาด้วยภาพ จำเป็นต้องค้นหาและระบุตำแหน่งของดวงตาให้แม่นยำ โดยระบบตรวจจับดวงตานี้ มักจะใช้กล้องวิดีโอในการรับภาพใบหน้าที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของการตรวจจับดวงตาและการคัดแยกการกะพริบตา

งานวิจัยชิ้นนี้ ใช้แนวคิดการประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพ (Image Processing/Machine Vision) เข้าร่วมประมวลผลเพื่อวิเคราะห์การกะพริบตา ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาาระบบที่สามารถค้นหาและระบุตำแหน่งของดวงตา การคัดแยกการกะพริบตาแบบสั้นและแบบยาว เพื่อนำการกะพริบตาที่ได้ไปถอดรหัสสัญญาณมอร์ส ที่จะนำไปใช้เป็นระบบสื่อสารอย่างหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. สร้างระบบประมวลผลภาพในการตรวจจับการค้นหาดำแหน่งดวงตา และตรวจสอบจังหวะการกะพริบตาได้
2. สร้างระบบการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาเพื่อใช้ในการสื่อสารได้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. การถอดรหัสสัญญาณมอร์สใช้การถอดรหัสมอร์สด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษและคำในภาษาอังกฤษ
2. การทำงานของระบบทำงานบน Personal Computer ที่มีหน่วยความจำ 8 GB
3. ภาพใบหน้าที่ใช้ในการทดสอบใช้ชุดข้อมูลของ IMM Frontal Face Database และ CUHK Face Database
4. ใช้กล้องวีดีโอ 1 กล้อง ในการทดสอบการทำงานของระบบ และข้อจำกัดของภาพที่ได้จากกล้องวีดีโอที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของใบหน้าและดวงตา
  - 4.1 การตรวจจับตำแหน่งของใบหน้าและการค้นหาดำแหน่งของดวงตา ต้องใช้การถ่ายภาพกล้องวีดีโอบุคคลใบหน้าหน้าตรง (วัตถุ)
  - 4.2 ระยะห่างระหว่างกล้องวีดีโอกับวัตถุต้องมีระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อสามารถตรวจจับวัตถุครบองค์ประกอบ (ในที่นี้ คือ ใบหน้า)

- 4.3 การพิจารณาการตรวจจับวัตถุในภาพ ต้องมีวัตถุเพียงวัตถุเดียวภายในภาพ (ในกรณีที่มีหลายวัตถุอยู่ในภาพเดียวกัน วัตถุต้องไม่เกิดการซ้อนทับกัน และการพิจารณาในกรณีนี้ จะพิจารณาจากวัตถุที่ครอบคลุมและชัดเจนที่สุด)
- 4.4 สภาพแวดล้อมโดยรอบมีแสงสว่างเพียงพอต่อการทำงานในสภาวะปกติ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

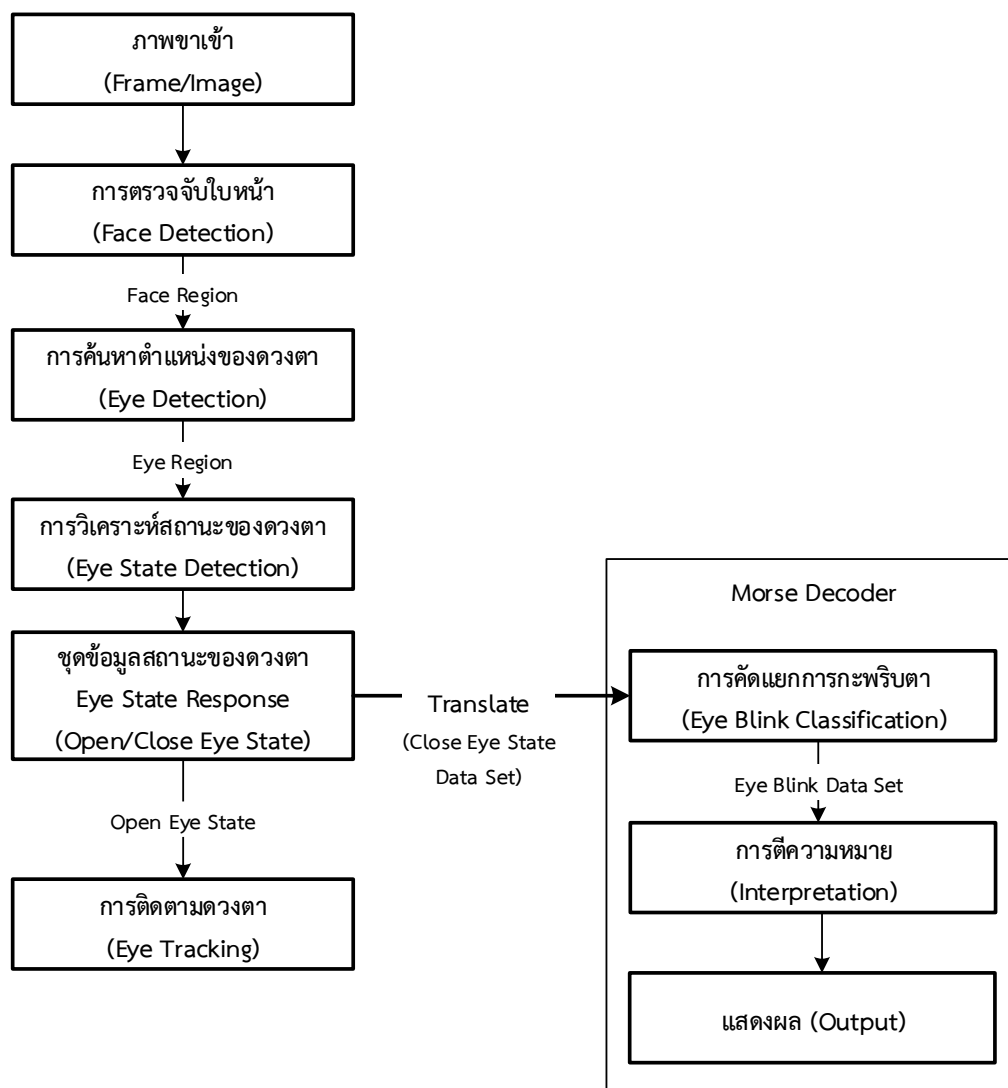
1. พัฒนาการตรวจจับตำแหน่งของดวงตา และการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล
2. สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วย ให้สามารถสื่อสารกับคนรอบข้างได้

#### 1.5 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ

1. โปรแกรม Matlab และโปรแกรม OpenCV
2. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่มีหน่วยความจำ 8 GB
3. กล้องวิดีโอ ที่มีความละเอียดในการบันทึกภาพ 640x360 พิกเซล และความเร็วในการบันทึกภาพ 30 เฟรมต่อวินาที ปิดฟังก์ชันไวท์บาลานซ์และออโต้โฟกัส

#### 1.6 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยชิ้นนี้ สามารถอธิบายการทำงานออกมาเป็นขั้นตอนได้ (ภาพประกอบที่ 1-1) ดังนี้



ภาพประกอบที่ 1-1 ภาพรวมของระบบ

1. ระบบจะนำภาพที่ได้จากกล้องมาตรวจหาและวิเคราะห์ใบหน้า ผลที่ได้จากการตรวจจับใบหน้า คือ ภาพที่ระบุว่าเป็นใบหน้าหรือภาพบริเวณใบหน้า (Face Region)
2. หลังจากนั้นนำผลที่ได้จากข้อ 1 มาหาตำแหน่งของดวงตา ซึ่งผลที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ ภาพที่ระบุว่าเป็นดวงตาหรือภาพบริเวณดวงตา (Eye Region)
3. เมื่อได้ภาพบริเวณที่ระบุว่าเป็นดวงตาในขั้นตอนนี้ก่อนหน้าแล้ว นำมาวิเคราะห์ดวงตาว่าเป็นสถานะใด (เปิดตาหรือปิดตา) แล้วเก็บค่าไว้ในชุดข้อมูลสถานะของดวงตา (Eye State Response)

4. เมื่อจบคำหรือวลีแล้ว เราได้ชุดข้อมูลสถานะของดวงตาที่แสดงสถานะเปิดและปิดตา ในขั้นตอนการคัดแยกการกะพริบตานี้ เราพิจารณาเฉพาะสถานะปิดตาเท่านั้น แล้วนำไปจำแนกการกะพริบตาว่าเป็นการกะพริบตาแบบสั้นหรือแบบยาว

5. แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแปลความหมายเป็นคำหรือวลีเพื่อใช้ในการสื่อสาร ซึ่งในระบบนี้มีการใช้การติดตามดวงตา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในระบบ

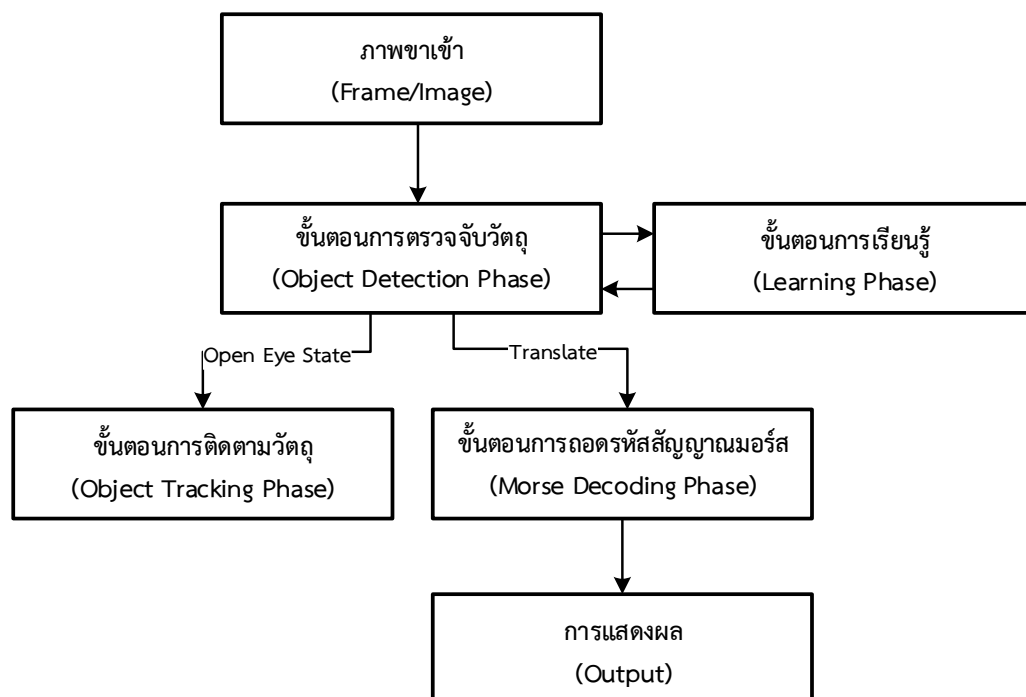
งานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบให้พร้อมใช้งานได้ในเวลาจริง โดยการนำเสนอวิธีการในการตรวจจับดวงตาและการถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตา สามารถแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังภาพประกอบที่ 1-2

1. **ขั้นตอนการเรียนรู้ (Learning Phase)** คือ การสร้างขอบเขตการคาดคะเนว่าเป็นดวงตา (EyeROI) เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ประมวลผลของระบบ

2. **ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ (Object Detection Phase)** คือ การประยุกต์การตรวจจับวัตถุด้วย Viola-Jones Algorithm เป็น Mixture of RGB (mRGB) Viola-Jones Algorithm เพื่อใช้ในการตรวจหาใบหน้าและการค้นหาตำแหน่งดวงตา

3. **ขั้นตอนการติดตามวัตถุ (Object Tracking Phase)** คือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วยการสร้างกระบวนการติดตามดวงตา (Eye Tracking)

4. **ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส (Morse Decoding Phase)** คือ สร้างกระบวนการคัดแยกการกะพริบตาแบบสั้นและแบบยาวและสร้างกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาหรือการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา



ภาพประกอบที่ 1-2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงองค์ความรู้ต่างๆ ที่ใช้ในการค้นคว้าและพัฒนางานวิจัยขั้นนี้ ซึ่งให้เห็นถึงข้อดีและข้อด้อยของกระบวนการต่างๆ

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 1. Detection of the Eye Blinks for Human's Fatigue Monitoring [1]

นำเสนอวิธีการคัดแยกลักษณะการกะพริบตา โดยหาลักษณะความแตกต่างระหว่างการเปลี่ยนภาพในแต่ละภาพ (Frame Differencing) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำปานกลาง เนื่องจากไม่สามารถใช้กับภาพที่มีพื้นหลังซับซ้อนมากๆ และในที่มีแสงสว่างน้อยหรือมากกว่าปกติได้

##### 2. Efficient Eye States Detection in Real-Time for Drowsy Driving Monitoring System [2]

นำเสนอวิธีการคัดแยกลักษณะการกะพริบตา โดยใช้เทคนิคของโลคอลไบนารีแพทเทิร์น (Local Binary Pattern) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากในการเก็บคุณสมบัติทางด้านพื้นผิว ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของดวงตา เพื่อใช้ในการเรียนรู้ด้วย Adaboost และเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียนรู้ด้วยการใช้ Cascade Classifier จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำค่อนข้างดี แต่วิธีการนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียข้อมูลของพิกเซล

##### 3. An Effective Eye States Detection Method Based on Projection

[3] นำเสนอวิธีการคัดแยกลักษณะการกะพริบตาโดยใช้เทคนิคการ Projection เพื่อหาตำแหน่งของดวงตา ทำให้สามารถค้นหาและระบุตำแหน่งดวงตาทั้งซ้ายและขวา แล้วทำการตัดค่าแบ่งขีด (Threshold) เพื่อคัดแยกสถานะการเปิดและปิดดวงตา ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้มีประสิทธิภาพดี แต่มีปัญหาเกี่ยวกับการติดตั้งกล้องและใช้พื้นที่ในการทำงานค่อนข้างมาก

##### 4. A Novel Feature based Rapid Eye State Detection Method [4]

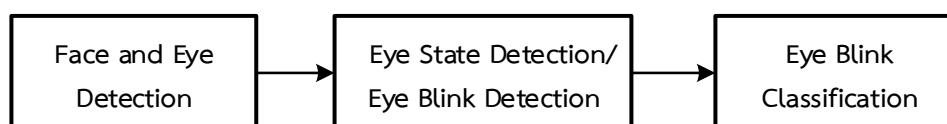
นำเสนอวิธีการคัดแยกลักษณะการกะพริบตา โดยใช้เทคนิค Projection เพื่อหาตำแหน่งของดวงตา

พร้อมระบุจุดกึ่งกลางของดวงตา (Circle Similarity) และส่วนโค้งของดวงตา (Upper Eyelid Bending Direction) เพื่อคัดแยกสถานะการเปิดและปิดดวงตา โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำค่อนข้างดี แต่ในกรณีที่อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของดวงตามีค่ามาก จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีเท่าที่ควร

**5. Vision-Based Eye blink Monitoring System for Human-Computer Interfacing [5]** นำเสนอวิธีการคัดแยกลักษณะการกะพริบตา โดยใช้ Viola Jones Algorithm เพื่อระบุตำแหน่งความน่าจะเป็นของดวงตาแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมาหาขอบของดวงตา (Edge Detection) โดยใช้แอกทิฟคอนทัวร์ (Active Contour Model : SNAKE) เพื่อคัดแยกสถานะการเปิดและปิดดวงตา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูง และวิธีการนี้สามารถที่จะใช้กับดวงตาของมนุษย์ที่ค่อนข้างเล็ก (ตาชั้นเดียว) ได้ดี เนื่องจาก SNAKE เป็นการหาขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างและมีความยืดหยุ่นสูง แต่การทำด้วยวิธีการหาขอบแบบนี้ จำเป็นต้องใช้การทำซ้ำเพื่อระบุขอบของวัตถุ จึงทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน

## 2.2 วิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและวิเคราะห์การคัดแยกลักษณะการกะพริบตาเพื่อถอดรหัสสมอร์ส โดยใช้ภาพจากกล้องวิดีโอ ซึ่งภาพรวมของกระบวนการทำงานของระบบ สามารถแบ่งกระบวนการออกได้เป็น 3 ส่วน คือ กระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา (Face and Eye Detection) กระบวนการการตรวจจับสถานะของดวงตาหรือการตรวจจับการกะพริบตา (Eye State Detection/Eye Blink Detection) และกระบวนการคัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Classification) ดังภาพประกอบที่ 2-1

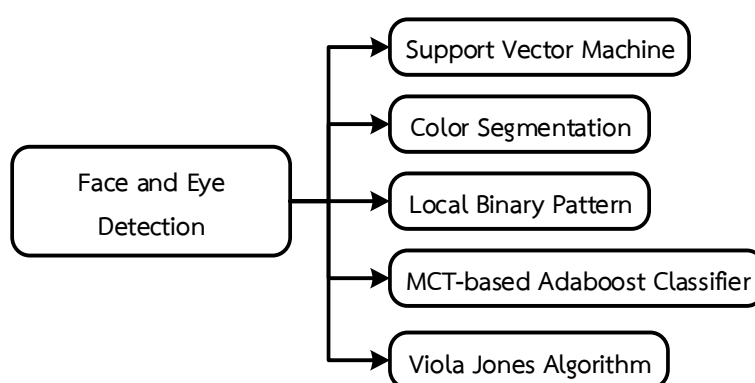


ภาพประกอบที่ 2-1 แผนผังกระบวนการในการทำงานของระบบ



### 2.2.1 กระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา

กระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา (Face and Eye Detection) เป็นกระบวนการค้นหาใบหน้าและการระบุตำแหน่งของดวงตา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือ ส่วนที่ระบุว่าเป็นตำแหน่งของดวงตา ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา ดังภาพประกอบที่ 2-2



ภาพประกอบที่ 2-2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตรวจจับใบหน้าและดวงตา

**Support Vector Machine (SVM)** [6-8] เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยใช้หลักการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างการแบ่งกลุ่มของข้อมูล แต่หลักการนี้มีข้อเสีย คือ การใช้ทรัพยากรในการคำนวณสูง

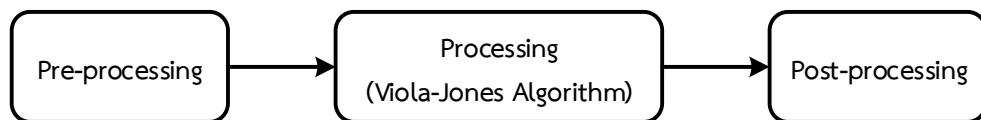
**Color Segmentation** [9-13] เป็นหลักการที่ใช้ในการตัดแยกสีผิวที่เหมือนกัน และตัดส่วนที่ไม่สนใจออก โดยวิธีการนี้จะมีกลุ่มสีผิวตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ วิธีการนี้จะมี ความผิดพลาดเมื่อภาพพื้นหลังมีความซับซ้อนและมีสีใกล้เคียงกับสีวัตถุ

**Local Binary Pattern (LBP)** [2,14] เป็นวิธีการที่เก็บคุณสมบัติด้านพื้นผิว (Texture) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าฮิสโตแกรม (Histogram) แต่อย่างไรก็ดีการทำงานด้วยวิธีการนี้จะมีปัญหาเมื่อภาพพื้นหลังมีความซับซ้อน

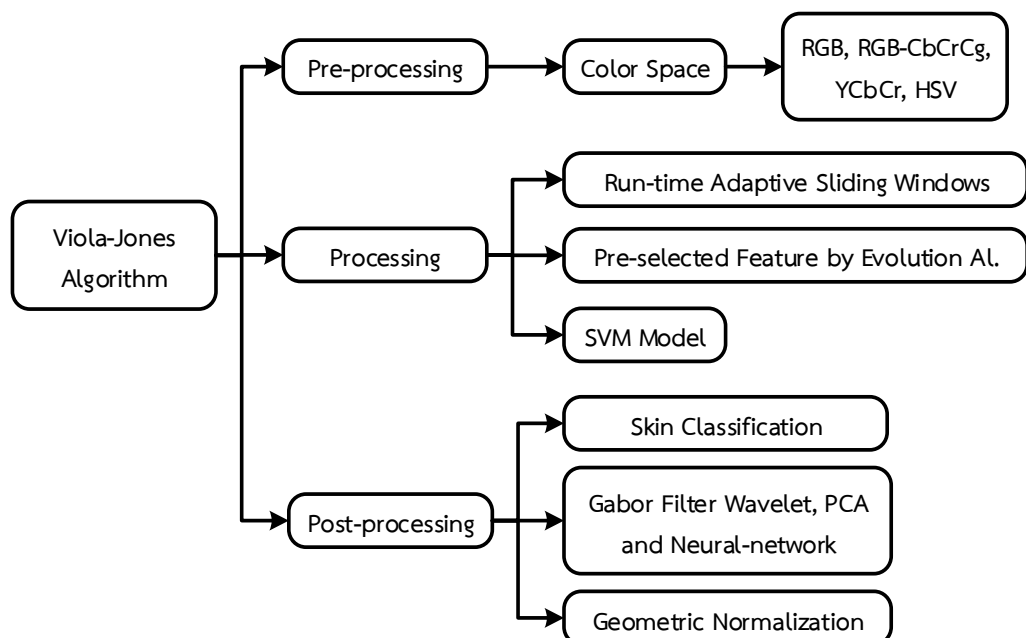
**The Modified Census Transform (MCT) based on Adaboost Classifier** [15] วิธีการนี้ทำการลดความแปรปรวนของแสงทั้ง Training Set และภาพที่ใช้ในการทดสอบ แล้วนำไปแบ่งกลุ่มด้วย Adaboost เพื่อกำจัดส่วนที่ไม่สนใจออกจากส่วนที่เราสนใจ โดยวิธีการนี้ยังมีความผิดพลาดในการตรวจจับค่อนข้างสูง

**Viola-Jones Algorithm** [1,5,14,16] เป็นกระบวนการตรวจจับที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีความสามารถในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และมีอัตราความถูกต้องในการตรวจจับสูง โดยมีการใช้ Haar Feature มาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบและพัฒนากระบวนการการตรวจจับใบหน้าและการค้นหาตำแหน่งของดวงตา โดยการนำหลักการ Viola-Jones Algorithm มาพัฒนาให้มีความแม่นยำและประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการปรับปรุงและพัฒนา Viola-Jones Algorithm สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ Pre-processing, Processing และ Post-processing ดังภาพประกอบที่ 2-3 และสามารถจัดกลุ่มการแบ่งประเภทของการพัฒนา Viola-Jones Algorithm ดังภาพประกอบที่ 2-4



ภาพประกอบที่ 2-3 การแบ่งประเภทของการพัฒนา Viola-Jones Algorithm



ภาพประกอบที่ 2-4 การแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Viola-Jones Algorithm

**Pre-processing** เป็นการพัฒนาระบบการก่อนเข้า Viola-Jones Algorithm เพื่อเป็นการเตรียมภาพขาเข้าให้สามารถเข้ากระบวนการ Viola-Jones Algorithm ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลุ่มนี้เป็นการจัดการกับ Color Space คือการแปลงภาพเป็น Color Space ต่างๆ (RGB, RGB-CbCrCg, YCbCr, HSV) [17-19] เพื่อสร้าง ROI ของตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการค้นหา ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดจำนวนการวนของภาพย่อย (Sub-window) แต่ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ สีของวัตถุ (ในที่นี้ คือ สีผิว) ที่ต้องการค้นหา มีสีใกล้เคียงกับพื้นหลังทำให้การค้นหา มีความผิดพลาด

**Processing** เป็นกลุ่มของการพัฒนาและปรับปรุง Viola-Jones Algorithm โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกลุ่มนี้ งานวิจัยอันแรก [20] เป็นการปรับปรุง Window โดยนำเสนอ Run-time Adaptive Sliding Window งานวิจัยต่อมา คือการปรับปรุงกระบวนการเรียนรู้ (Training Process) ด้วยการใส่ Pre-selected Feature by Evolution Algorithm [21] และการใช้ Support Vector Machine (SVM) [22] เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ โดยอัลกอริทึมของกลุ่มนี้มีความแม่นยำในการตรวจจับสูง แต่การทำงานของระบบมีความซับซ้อนและใช้ทรัพยากรของระบบมาก

**Post-processing** เป็นการพัฒนาระบบการที่เกิดหลังจากเข้า Viola-Jones Algorithm เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน Viola-Jones Algorithm มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของส่วนนี้ ได้ประยุกต์ใช้กับการตรวจจับสีผิว (Skin Classification) [23] เพื่อช่วยในการยืนยันว่าเป็นวัตถุที่ต้องการ การใช้ Gabor Filter Wavelet, Principle Component Analysis (PCA) และ Neural-network [24] มาช่วยในการตัดแยกวัตถุที่เราสนใจและไม่สนใจออกจากกัน การใช้กระบวนการ Geometric Normalization [25] มาช่วยในภาพที่เกิดการเอียงศีรษะ เนื่องจาก Viola-Jones Algorithm ไม่สามารถตรวจจับได้ในภาพที่มีการเอียงศีรษะมากๆ การใช้กระบวนการนี้เป็นการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพ แต่ข้อเสียของกลุ่มนี้ คือ มีกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณมาก

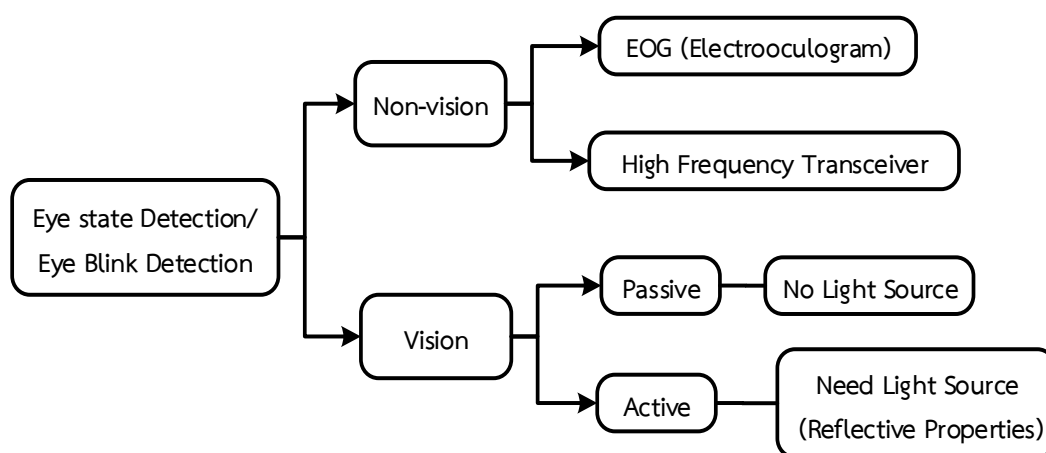
งานวิจัยชิ้นนี้ให้ความสนใจในการพัฒนาในส่วนของ Pre-processing เนื่องจากการพัฒนาในส่วนนี้จะช่วยในการเตรียมภาพขาเข้าให้มีคุณภาพเพื่อให้ตัวตรวจจับ (Viola-Jones Detector) ตรวจจับวัตถุที่เราต้องการได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

## 2.2.2 กระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตา

กระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตาหรือการตรวจจับการกะพริบตา (Eye State Detection/Eye Blink Detection) เป็นขั้นตอนการนำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า คือ ภาพที่

ระบุว่าเป็นดวงตา (Eye Region) มาตรวจจับสถานะของดวงตา ซึ่งสถานะของดวงตา แบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือ การเปิดตา (Open Eye State) และการปิดตา (Close Eye State)

ในการตรวจจับสถานะของดวงตาหรือการตรวจจับการกะพริบตานี้ สามารถแบ่งการวิเคราะห์การตรวจจับออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การวิเคราะห์ด้วยสัญญาณ (Non-vision) และการวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพ (Vision) ดังภาพประกอบที่ 2-5



ภาพประกอบที่ 2-5 การแบ่งประเภทการวิเคราะห์การตรวจจับสถานะของดวงตา

กลุ่มที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยสัญญาณ (Non-vision) โดยการวิเคราะห์ด้วยกลุ่มนี้จะใช้สัญญาณ Electrooculography (EOG) และการใช้เครื่องรับส่งสัญญาณความถี่สูง (High-frequency Transceiver)

- การใช้สัญญาณ EOG เป็นการเก็บข้อมูลด้วยการใช้การเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวดวงตาและการกะพริบตา โดยใช้ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ติดรอบๆดวงตา เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดสัญญาณที่เกิดขึ้น [26-28]
- การใช้เครื่องรับส่งสัญญาณความถี่สูง เป็นการใช้หลักการรับส่งสัญญาณด้วยการวิเคราะห์การสะท้อนของสัญญาณด้วย Doppler Component เพื่อใช้ในการระบุการกะพริบตา [29]

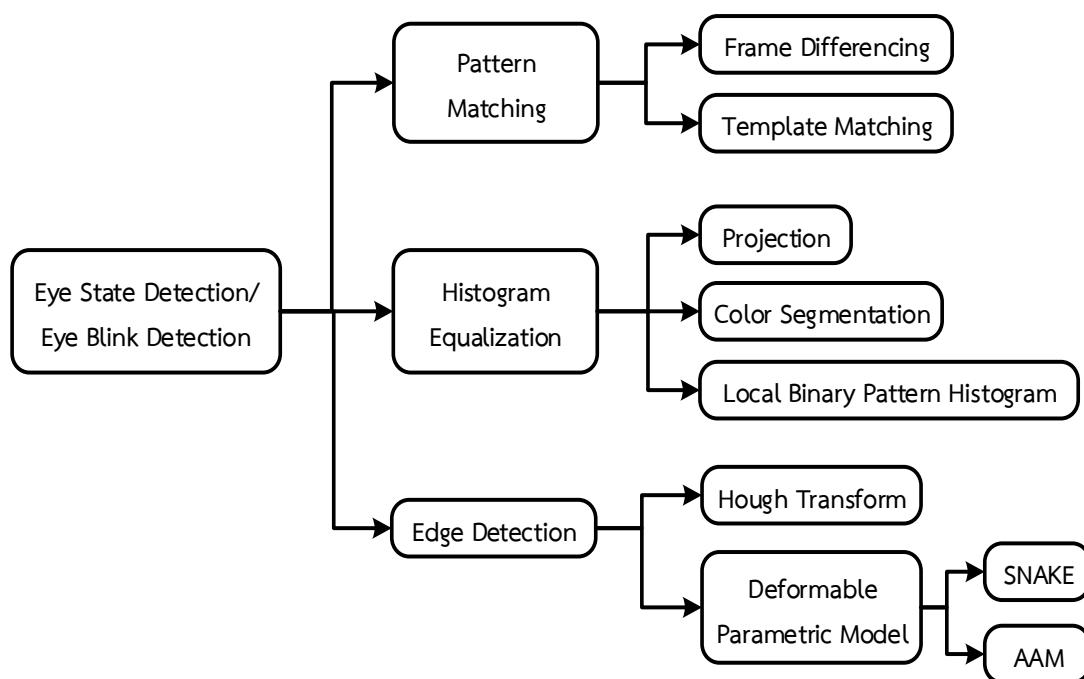
กลุ่มที่สองเป็นการวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพ (Vision) การวิเคราะห์ของกลุ่มนี้เป็นการใช้กล้องวีดีโอเป็นตัวจับภาพใบหน้าที่เป็นองค์ประกอบหลักในการตรวจจับ ทำให้ได้ลักษณะเฉพาะของดวงตาที่ชัดเจน ซึ่งข้อดีของกลุ่มนี้ คือ ไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์บนตัวผู้ใช้งานและการ

ใช้งานมีความยืดหยุ่น ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน โดยการวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ Active และ Passive

- Active เป็นการใช้แหล่งกำเนิดแสงเพิ่ม เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ของการคุณสมบัติการสะท้อนของดวงตา
- Passive ไม่จำเป็นต้องเพิ่มแหล่งกำเนิดแสงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

โดยงานวิจัยนี้พิจารณาการตรวจจับการกะพริบตาด้วยการประมวลผลภาพที่ให้คุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของดวงตาได้อย่างชัดเจน และไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์บนตัวผู้ใช้งาน

เมื่อวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการการตรวจจับสถานะของดวงตาหรือการตรวจจับการกะพริบตาสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ Pattern Matching, Histogram Equalization และ Edge Detection ดังภาพประกอบที่ 2-6



ภาพประกอบที่ 2-6 การแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตาหรือการตรวจจับการกะพริบตา

**Pattern Matching** เป็นวิธีการที่มีการกำหนดต้นแบบ (Pattern) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุที่ต้องการ ในที่นี้คือ บริเวณที่เป็นส่วนของดวงตา (Eye Region) เพื่อตรวจจับสถานะของดวงตา

- Frame Differencing [1] วิธีนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเปลือกตาของเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้า โดยนำมารวมกับการวิเคราะห์การฉายภาพลงในแนวตั้งของภาพไบนารี (Binary Image) เมื่อพิจารณาแล้วค่าที่มากที่สุดที่ได้จากการคำนวณ จะถูกตรวจจับเป็นการปิดตา
- Template Matching [30] วิธีการนี้จะมีการสร้างแม่แบบขึ้น (Template) จากการคำนวณค่าสีพิกเซลของ Feature Point แล้วนำค่าที่ได้ของเฟรมปัจจุบันเปรียบเทียบกับเฟรมก่อนหน้า ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดย Ohzeki K. และทีมวิจัย [31] ได้ใช้วิธีการนี้ในการแบ่งแม่แบบเป็นช่อง (block) จำนวน 9 ช่อง เมื่อได้ค่าพิกเซลของจุด (Feature Point) ทั้ง 9 ค่าแล้วนำค่าที่ได้มาเก็บลงบล็อก (Block) ขนาด 3x3 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบ

**Histogram Equalization** เป็นวิธีการแสดงจำนวนของพิกเซลที่ความเข้มต่างๆ ของภาพ แล้วนำมาพิจารณาในการตรวจจับสถานะการเปิดและปิดของดวงตา

- Color Segmentation [32] เป็นการคัดแยกสถานะการเปิดปิดดวงตาด้วยการใช้สี โดยดูความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานะโดยวิธีการนี้จะทำในระบบสีแบบเกรสเกล (Grayscale Image) แล้วเปลี่ยนเป็นภาพไบนารีด้วยค่าแบ่งขีด (Threshold) โดยผลที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพดีกับภาพที่มีแสงเพียงพอ
- Local Binary Pattern Histogram [2,14] เป็นวิธีการคัดแยกสถานะการเปิดและปิดดวงตาด้วยการใช้คุณสมบัติของพื้นที่ในขนาด 3x3 พิกเซล โดยการคำนวณหาค่าที่ได้ซึ่งจะเป็นตัวแทนของพื้นที่นั้นๆ แล้วนำมาแปลงเป็นฮิสโทแกรม (Histogram) เพื่อดูสถานะของดวงตา
- Projection [3,33] เป็นวิธีการในการเปลี่ยนภาพ 3 มิติ ไปเป็นภาพ 2 มิติ โดยการฉายเงาวัตถุให้ตกลงในระนาบหนึ่ง โดยที่ระนาบจะเกิดเป็นเงา หรือภาพ 2 มิติ เรียกระนาบที่เกิดขึ้นว่า ระนาบภาพ โดยจะมีการฉายขนานกับวัตถุ มี 2 แบบ คือ แนวนอน (Horizontal Projection) และแนวตั้ง (Vertical Projection)

**Edge Detection** เป็นกระบวนการค้นหาขอบของวัตถุที่สนใจ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาสถานะการเปิดตาและการปิดตา ซึ่งปัญหาหลักๆ ของกลุ่มนี้คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบ

- Hough Transform [6,13] เป็นการค้นหาเส้นตรงและวงกลมจากจุดต่างๆ โดยแต่ละจุด จะโหวตว่าจุดนั้นๆ อยู่บนเส้นใดบ้าง เมื่อทุกจุดโหวตแล้ว สมการที่ถูกโหวตมากที่สุดจะเป็นเส้นที่ผ่านจุดมากที่สุด ข้อดีของวิธีการนี้คือ ไม่ต้องใช้การเทรนข้อมูล (Train Data)
- Deformable Parametric Model เป็นการหาขอบวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้ โดยการใช้ Active Contour Model (SNAKE) [5] ซึ่งวิธีการนี้เป็นการทำเส้นโค้ง (Contour) มาจับคู่กับขอบวัตถุ โดยการพิจารณาค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในภาพ และงานวิจัยถัดมาใช้หลักการ Active Appearance Model (AAM) [16] ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ทั้งรูปร่างเรขาคณิตและโครงสร้างพื้นฐานของภาพ (Texture) โดยพิจารณาพร้อมกับ Inverse Composition Algorithm เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบ

### 2.2.3 กระบวนการคัดแยกการกะพริบตา

กระบวนการคัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Classification) เป็นกระบวนการประมวลผลผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนตรวจจับสถานะของดวงตา ซึ่งในกระบวนการนี้จะให้ความสนใจสถานะของการปิดตามาพิจารณา เพื่อให้สามารถจำแนกการกะพริบตาแบบสั้น (Short Blink) และแบบยาว (Long Blink) ได้

**ค่าแบ่งขีด (Threshold)** [5] เป็นวิธีการกำหนดค่าแบ่งขีดเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจจับสถานะของดวงตา โดยค่าแบ่งขีดของงานวิจัยนี้ได้จากการทดลอง คือ 200 มิลลิวินาที โดยวิธีการนี้ไม่มีความยืดหยุ่นของการจัดการกะพริบตา เนื่องจากเป็นการกำหนดค่าแบ่งขีดไว้

งานวิจัยนี้ได้นำข้อดีและข้อด้อยที่ได้จากการวิเคราะห์กระบวนการต่างๆ รวมถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆที่ใช้ในระบบที่ผู้วิจัยต้องออกแบบระบบการตรวจจับการกะพริบตาและการถอดรหัสมอร์สเพื่อใช้ในการสื่อสาร โดยคำนึงถึงกระบวนการทำงานที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่าย และสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมจริงให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพได้

## 2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

### 2.3.1 รหัสมอร์ส

รหัสมอร์ส (Morse Code) [34] เป็นวิธีการสื่อสารที่มีรูปแบบในการส่งข้อความด้วยสัญญาณสั้นกับยาวและมีการนำมาใช้กับระบบโทรเลขที่เป็นการส่งข้อความด้วยไฟฟ้าซึ่งแทนตัวอักษรด้วยสัญลักษณ์จุด (Dots, (.)) กับขีด (Dashes, (-)) โดยอาศัยหลักการ เมื่อเปิดวงจรในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลจะเกิดประกายไฟขึ้น ช่วงเวลาระหว่างการเกิดประกายไฟใช้เป็นสัญลักษณ์จุดกับขีด

รูปแบบและวิธีการของรหัสมอร์ส รหัสมอร์ส มีการแทนตัวอักษรด้วยสัญลักษณ์จุดและขีด ซึ่งการกำหนดรูปแบบให้จุดมีความยาวเป็น 1 หน่วยความยาวและขีดมีความยาวเป็น 3 หน่วยความยาว โดยมีวิธีการเขียนดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างจุดกับจุด, จุดกับขีด, ขีดกับขีด มีความยาวเท่ากับ 1 จุด
2. ระยะห่างระหว่างตัวอักษร มีความยาวเท่ากับ 3 จุด หรือ 1 ขีด
3. ระยะห่างระหว่างคำ 2 คำ มีความยาวเท่ากับ 7 จุด

ตารางที่ 2-1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษกับรหัสมอร์ส

ตัวอักษร	รหัสมอร์ส	ตัวอักษร	รหัสมอร์ส
A	. -	N	- .
B	- . . .	O	- - -
C	- . - .	P	. - - .
D	- . .	Q	- - . -
E	.	R	. - .
F	. . - .	S	. . .
G	- - .	T	-
H	. . . .	U	. . -
I	. .	V	. . . -
J	. - - -	W	. - -
K	- . -	X	- . . -
L	. - . .	Y	- . - -
M	- -	Z	- - . .



### 2.3.2 การกะพริบตา

การกะพริบตา (Eye Blink) เป็นกลไกทางธรรมชาติที่ช่วยปกป้องดวงตาจากอันตรายภายนอก เช่น แสงแดด ไรระเหย วัตถุที่ลอยมาใกล้ นอกจากนี้การกะพริบตามีหน้าที่ทำให้ดวงตาชุ่มชื้น ชะล้างสิ่งแปลกปลอมบนดวงตาและกระตุ้นให้เกิดการหลั่งของน้ำตา

ประเภทของการกะพริบตาของมนุษย์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ [5]

**1. Spontaneous Eye Blink/InVoluntary Eye Blink (การกะพริบตาแบบไม่ได้เจตนา, การกะพริบตาแบบไม่ได้ตั้งใจ)** เป็นการกะพริบตาที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจหรือการควบคุมจากประสาทส่วนกลาง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะกะพริบตาประมาณ 15 ครั้งต่อนาที

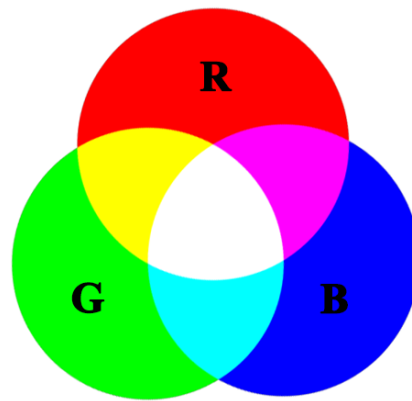
**2. Reflexive Eye Blink** เป็นการกะพริบตาที่เกิดจากปฏิกิริยาของร่างกายที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นในภาวะฉุกเฉินหรือไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น แสงที่เกิดจากไฟแฟลช การกลัว แรงกระตุ้น การตกใจ เสียงดัง เป็นต้น

**3. Voluntary Eye Blink (การกะพริบตาแบบมีเจตนา, การกะพริบตาแบบตั้งใจ)** เป็นการกะพริบตาที่เกิดขึ้นภายใต้การสั่งการของสมองหรือภายใต้อำนาจจิตใจ กล่าวคือสามารถเลือกการกะพริบตาได้ด้วยตนเอง

งานวิจัยชิ้นนี้ให้ความสนใจในการกะพริบตาแบบ Voluntary เนื่องจากการกะพริบตาในรูปแบบนี้เป็นการกะพริบตาแบบกำหนดการกะพริบตาได้ด้วยตนเอง สามารถสั่งการกะพริบตาได้ด้วยสมอง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการถอดรหัสสมอร์ส เพื่อใช้ในการสื่อสารได้

### 2.3.3 ระบบสี RGB

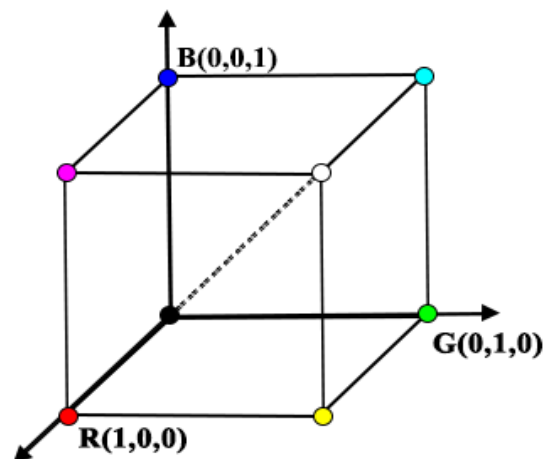
ระบบสี RGB [35] เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) เรียกทั้ง 3 สี ว่า แม่สี (Primary Color) เมื่อทั้ง 3 สีรวมกันจะได้ผลลัพธ์เป็นสีขาว ดังภาพประกอบที่ 2-7



**Additive Primary Color**

ภาพประกอบที่ 2-7 การผสมสีของแม่สี [35]

ในระบบพิกัดของ Color Space ในแต่ละแม่สีจะมีค่าความเข้มของสีตั้งแต่ศูนย์จนถึงหนึ่ง โดยที่ศูนย์ (0) แทนด้วยค่าความเข้มของสีมาก และหนึ่ง (1) แทนด้วยค่าความเข้มแสงน้อย โดยทั่วไปจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการแทนความเข้มของแม่สี 1 สี มี 256 ระดับ จำนวน 8 บิต ตั้งแต่ 0 – 255 ดังภาพประกอบที่ 2-8



ภาพประกอบที่ 2-8 ระบบพิกัดของ RGB Color Space [35]

### 2.3.4 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

ภาพสีที่ได้จากกล้องวิดีโอเป็นภาพสีในระบบ RGB ดังนั้น การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale Image Transform) เป็นการแปลงค่าข้อมูลภาพสีในระบบ RGB ให้เป็นภาพที่แสดงเฉพาะค่าความเข้มของแสง (ค่าความสว่างของภาพ) ณ แต่ละตำแหน่งของพิกเซล ซึ่งภาพระดับสีเทาจะประกอบไปด้วยการไล่ค่าความเข้มของแสง 256 ระดับ มีค่าตั้งแต่ 0 – 255 กล่าวคือไล่จากค่าความมืด (ดำ, 0) ไปสว่าง (ขาว, 1) การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังสมการที่ 2-1 [36]

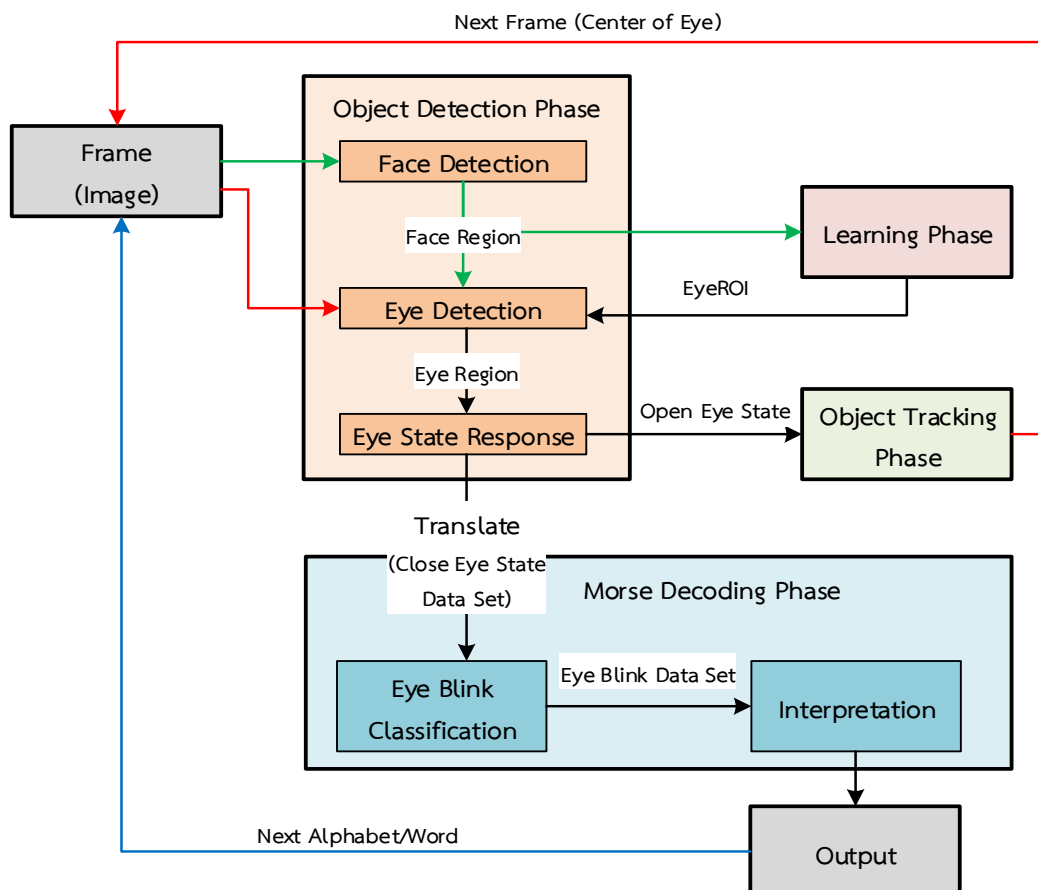
$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2-1)$$

เมื่อ  $R$  คือ ค่าของสีแดงในระบบสี RGB  
 $G$  คือ ค่าของสีเขียวในระบบสี RGB  
 $B$  คือ ค่าของสีน้ำเงินในระบบสี RGB

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบการวิจัย ซึ่งการดำเนินการพัฒนาระบบ สามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอน คือ

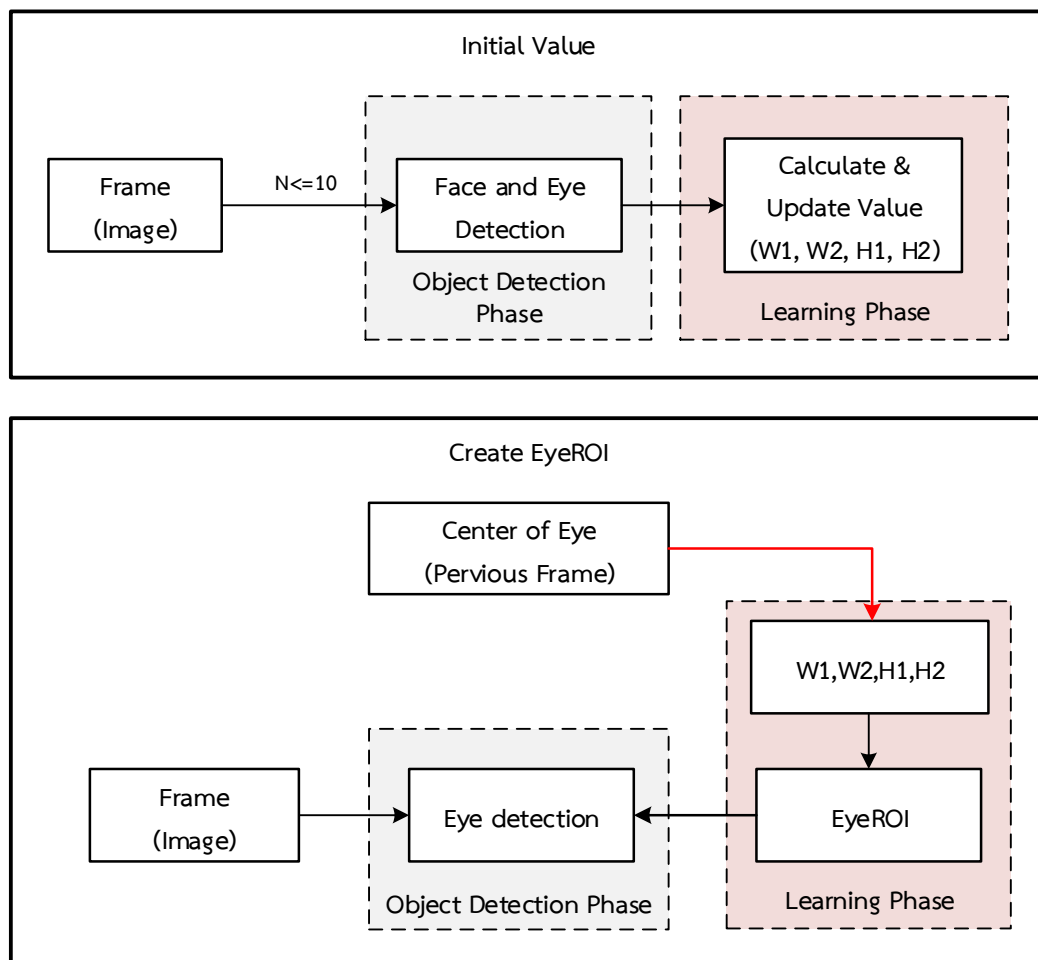
1. ขั้นตอนการเรียนรู้ (Learning Phase)
2. ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ (Object Detection Phase)
3. ขั้นตอนการติดตามวัตถุ (Object Tracking Phase)
4. ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส (Morse Decoding Phase)



ภาพประกอบที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ

### 3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้

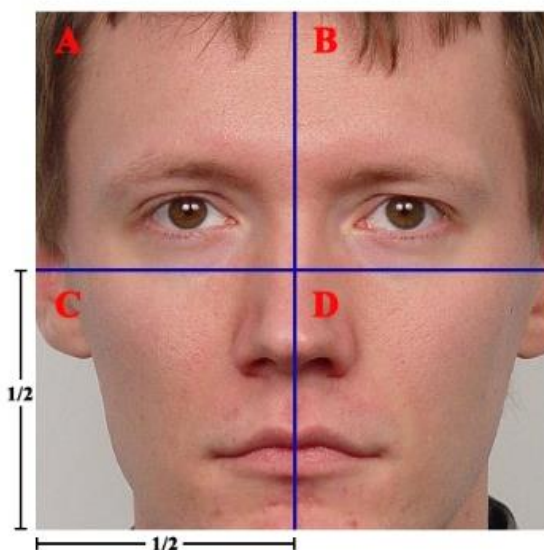
ขั้นตอนการเรียนรู้ (Learning Phase) เป็นกระบวนการที่ช่วยในการลดระยะเวลาในการคำนวณของระบบและการสร้างการเรียนรู้ของระบบ โดยใช้การแบ่งสัดส่วนของใบหน้า (Facial Proportion) ที่ช่วยในการลดกระบวนการตรวจจับใบหน้าในบางเฟรม โดยใช้ส่วนประกอบของใบหน้า (ตา จมูก ปาก คิ้ว) มาเป็นตัวช่วยในการกำหนดขอบเขตที่ระบุว่ามีตำแหน่งดวงตา (EyeROI) โดยขั้นตอนการทำงานของระบบ สามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนของการเริ่มต้น (Initial Value) และ ส่วนของการสร้างขอบเขตดวงตา (Create EyeROI) แสดงดังภาพประกอบที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-2 ขั้นตอนการเรียนรู้

### 3.1.1 การแบ่งส่วนของใบหน้า

การแบ่งส่วนของใบหน้า (Facial Proportion) เป็นกระบวนการที่ลดขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของดวงตาให้มีขนาดเล็กลง เพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการทำงานของระบบ เมื่อได้ผลลัพธ์ภาพที่มีใบหน้าจากขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า (Face Region) แล้ว โดยทั่วไปแล้วถ้าแบ่งครึ่งภาพใบหน้าทั้งในแกน  $x$  และ แกน  $y$  ดังภาพประกอบที่ 3-3 แล้ว สังเกตได้ว่า ภาพที่คาดว่าจะเป็นดวงตา (EyeROI) คือ ภาพประกอบที่ 3-3 A และ ภาพประกอบที่ 3-3 B และสามารถระบุว่าเป็นดวงตาข้างใดได้จากการแบ่งส่วนใบหน้า จากภาพประกอบที่ 3-3 A คือ พื้นที่ที่ระบุว่าเป็นดวงตาข้างขวา และภาพประกอบที่ 3-3 B คือ พื้นที่ที่ระบุว่าเป็นดวงตาข้างซ้าย



ภาพประกอบที่ 3-3 การแบ่งภาพใบหน้า (Face Region) ออกเป็น 4 ส่วน

การลดระยะเวลาในการตรวจจับของระบบแล้ว เราสามารถลดขั้นตอนของการตรวจจับใบหน้าออก โดยการนำภาพใบหน้าจำนวน 10 เฟรมแรก มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย  $W1$ ,  $W2$ ,  $H1$ ,  $H2$  เพื่อกำหนดขอบเขตตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นดวงตา (EyeROI) ดังภาพประกอบที่ 3-4 โดยหาค่า  $W1$ ,  $W2$ ,  $H1$  และ  $H2$  ได้จากสมการข้างล่าง

$$W1 = cenEyeX - x_{face} \quad (3-1)$$

$$W2 = \left( \frac{width_{face}}{2} \right) - cenEyeX \quad (3-2)$$

$$H1 = cenEyeY - y_{face} \quad (3-3)$$

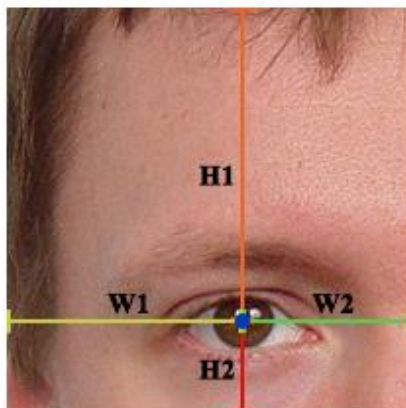
$$H2 = \left( \frac{height_{face}}{2} \right) - cenEyeY \quad (3-4)$$

เมื่อ  $cenEyeX, cenEyeY$  คือ ตำแหน่งจุดกึ่งกลางดวงตาแกน x และ แกน y ตามลำดับ  
 $width_{face}, height_{face}$  คือ ความยาวของใบหน้าตามแนวแกน x และ แกน y ตามลำดับ  
 $x_{face}, y_{face}$  คือ จุดเริ่มต้นตำแหน่งของใบหน้าตามแนวแกน x และ แกน y ตามลำดับ

เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดขอบเขตที่คาดว่าจะจะเป็นตำแหน่งของดวงตา (EyeROI) เราจะทำการตรวจจับใบหน้าอย่างน้อย 10 เฟรม แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละเฟรมมาหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ (3-5)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3-5)$$

เมื่อ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของ  $x$   
 $\sum_{i=1}^N x_i$  คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด  
 $i$  คือ ลำดับเฟรม  
 $N$  คือ จำนวนเฟรมทั้งหมด



ภาพประกอบที่ 3-4 ภาพ EyeROI ที่แสดงค่า W1, W2, H1, H2  
จุดสีน้ำเงินในภาพ คือ จุดกึ่งกลางของดวงตาที่ได้จากการตรวจจับดวงตา

### 3.2 ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ

ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ (Object Detection Phase) เพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งของดวงตานั้น แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจจับใบหน้า (Face Detection) และการตรวจจับดวงตา (Eye Detection)

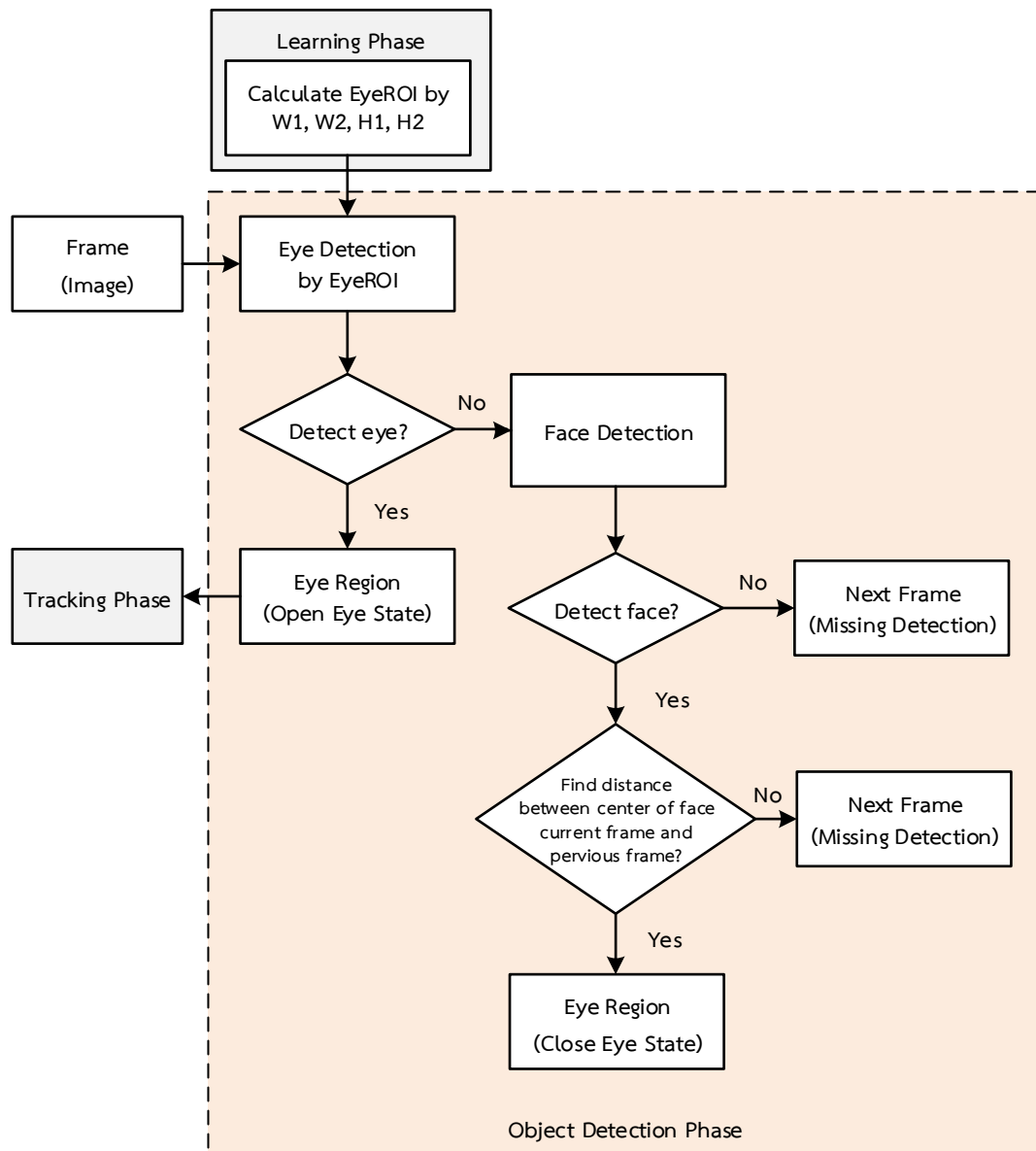
หลักการทำงานของกระบวนการนี้ แสดงดังภาพประกอบที่ 3-5 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นระบบ ระบบจะตรวจจับใบหน้าและดวงตาจำนวน 10 เฟรม เพื่อหาค่า W1, W2, H1, H2 ของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อนำไปสร้าง EyeROI
2. ตั้งแต่เฟรมที่ 11 เป็นต้นไป เมื่อเราได้ค่า EyeROI จากรอบที่ผ่านมา ทำการสร้างขอบเขตการค้นหาดวงตาเพื่อตรวจจับหาดวงตา ถ้า เจอดวงตา ผลลัพธ์ที่ได้ คือ สถานะการเปิดตา แต่ถ้า ไม่เจอดวงตา ระบบจะต้องกลับมาตรวจจับใบหน้าอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าภาพที่เข้ามานั้นเป็นภาพใบหน้าหรือไม่ ถ้า ไม่เป็นภาพใบหน้า เริ่มการตรวจจับวัตถุในเฟรมถัดไป แต่ถ้า เป็นภาพใบหน้า เราจะต้องตรวจสอบเฟรมนี้ว่าเป็น สถานะปิดตาหรือไม่ โดยหาระยะห่างระหว่างภาพจุดกึ่งกลางของใบหน้าของเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้า โดยหาได้จากสมการที่ (3-6)



$$d = \sqrt{(P_{pre\_F}(x) - P_{curr\_F}(x))^2 + (P_{pre\_F}(y) - P_{curr\_F}(y))^2} \quad (3-6)$$

- เมื่อ  $d$  คือ การหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด
- $P_{pre\_F}(x, y)$  คือ จุดกึ่งกลางภาพใบหน้าของเฟรมก่อนหน้า
- $P_{curr\_F}(x, y)$  คือ จุดกึ่งกลางภาพใบหน้าของเฟรมปัจจุบัน



ภาพประกอบที่ 3-5 ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ

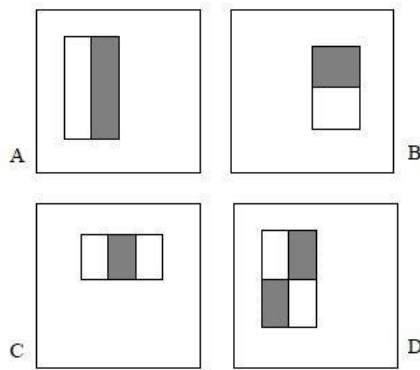
ในการตรวจจับใบหน้าและการค้นหาดวงตานั้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอการตรวจจับวัตถุ ด้วย The Mixture of RGB Viola-Jones Algorithm เนื่องจากเทคนิคนี้ให้อัตราการตรวจจับสูงและได้พื้นที่ที่ระบุว่าเป็นดวงตาที่มีขนาดเล็ก (ดูผลได้จากหัวข้อที่ 4.2) ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ในกระบวนการถัดไป

### 3.2.1 Viola-Jones Algorithm

Paul viola และ Michael J. Jones [37] ได้นำเสนอเทคนิคในการตรวจจับวัตถุที่มีความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วในปี ค.ศ 2001 เทคนิคนี้เป็นที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับในเรื่องการตรวจจับวัตถุเป็นอย่างมาก โดยเทคนิคการตรวจจับวัตถุนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การคำนวณรูปแบบการจำลองด้วย Integral Image การค้นหาแบบจำลองด้วย Adaboost และการรวมตัวจำแนกกลุ่มแบบเรียงต่อ (Cascade Classifier)

หลักการของการตรวจจับวัตถุด้วย Viola-Jones คือ การนำภาพขาเข้ามาแบ่งเป็นภาพย่อย (Sub-window) จากนั้นภาพย่อยดังกล่าวถูกพิจารณาเป็นภาพขาเข้าของกระบวนการและใช้การจำลองรูปแบบ Haar-like Feature เป็นตัวตรวจจับ (Detector) และปรับขนาดของตัวตรวจจับให้แตกต่างกันหลายขนาด เพื่อให้การตรวจจับวัตถุทำได้เร็วขึ้น โดยนำกระบวนการเรียนรู้ของระบบ (Machine Learning) คือ Adaboost Learning มาช่วยในการคัดแยกการตรวจจับวัตถุและไม่ใช้วัตถุออกจากกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับให้มีความถูกต้องมากขึ้น และลดการใช้เวลาในการคำนวณลง ได้นำการรวมตัวจำแนกกลุ่มแบบเรียงต่อ

**Haar-like features** ดังภาพประกอบที่ 3-6 ประกอบไปด้วย พื้นที่สี่เหลี่ยมส่วนที่ แรเงาและไม่แรเงา ในการหาค่านั้น สามารถหาได้จากผลต่างระหว่างความเข้มแสงในส่วนที่แรเงากับส่วนที่ไม่ได้แรเงา จากนั้นนำค่าผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าแบ่งขีด (Threshold) กับ ขั้ว (Polarity)



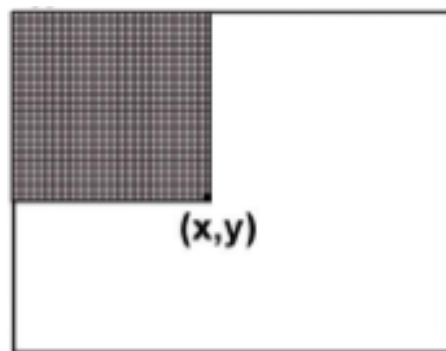
ภาพประกอบที่ 3-6 Haar-like Features.

(A) and (B) Two-rectangle (C) Three-rectangle (D) Four-rectangle.

**Integral Image** คือผลรวมความเข้ม (Intensity) ของแต่ละพิกเซลเข้าด้วยกัน โดยการคำนวณค่า Integral Image ดังภาพประกอบที่ 3-7 สามารถเขียนแทนด้วย สมการที่ (3-7)

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (3-7)$$

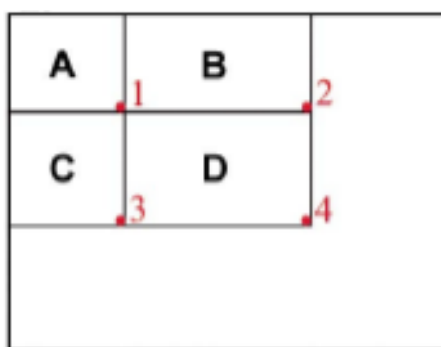
เมื่อ  $ii(x, y)$  คือ ค่า Integral Image จุดที่จุดตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $i(x', y')$  คือ ค่าความเข้มในแต่ละพิกเซลของภาพที่อยู่ข้างบนซ้ายมือ จุด  $(x, y)$



ภาพประกอบที่ 3-7 Integral Image ที่จุด  $(x, y)$

จากภาพประกอบที่ 3-8 เมื่อต้องการคำนวณหาผลรวมความเข้มของพื้นที่สี่เหลี่ยม D โดยคำนวณได้จากอาร์เรย์อ้างอิงทั้ง 4 (Array Reference) โดย

ค่าของ integral image ณ ตำแหน่งที่ 1 คือ ผลรวมของพิกเซลของ  $A$   
 ค่าของ integral image ณ ตำแหน่งที่ 2 คือ ผลรวมของพิกเซลของ  $A+B$   
 ค่าของ integral image ณ ตำแหน่งที่ 3 คือ ผลรวมของพิกเซลของ  $A+C$   
 ค่าของ integral image ณ ตำแหน่งที่ 4 คือ ผลรวมของพิกเซลของ  $A+B+C+D$   
 จะได้ ผลรวมของพิกเซลที่อยู่ภายในสี่เหลี่ยม  $D$  หาได้จาก  $4+1-(2+3)$



ภาพประกอบที่ 3-8 ตัวอย่างการหาผลรวมของพิกเซลและค่า Integral Image

**Adaboost Algorithm** เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบหนึ่ง ที่สร้างตัวจำแนกจาก Haar-Like feature เปรียบเทียบกับค่าแบ่งขีด โดยเรียกว่า ตัวจำแนกแบบอ่อนแอ (Weak Classifier) และกำหนดค่าน้ำหนักที่ทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละรอบของกระบวนการ เพื่อสร้างตัวจำแนกแบบแข็งแรง (Strong Classifier) เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณของกระบวนการ ซึ่งการหาตัวจำแนกอ่อนแอ ( $h_j(x)$ ) สามารถเขียนแทนด้วยสมการที่ (3-8)

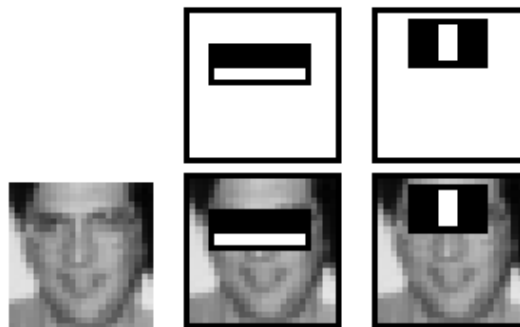
$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-8)$$

เมื่อ  $x$  คือ ภาพย่อย (Sub-window) ขนาด  $24 \times 24$  พิกเซล  
 $p_j$  คือ ขั้ว (ตัวกำหนดทิศทางของสมการ)  
 $f_j$  คือ Haar-like Feature  
 $\theta_j$  คือ ค่าแบ่งขีด (Threshold)

ตัวจำแนกแบบแข็งแกร่ง ถูกสร้างขึ้นจากการรวมตัวของตัวจำแนกอ่อนแอ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-9)

$$f(x) = \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \quad (3-9)$$

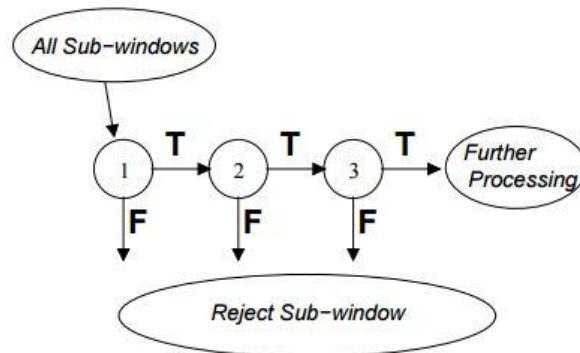
เมื่อ  $f(x)$  คือ ตัวจำแนกแบบแข็งแกร่ง (Final Strong Classifier)  
 $h_t(x)$  คือ ภาพย่อย (Sub-window) ขนาด  $24 \times 24$  พิกเซล  
 $\alpha_t$  คือ ค่าน้ำหนัก (Weight)



ภาพประกอบที่ 3-9 แสดงตัวอย่างที่ได้จากการทำงานของ Adaboost

จากภาพประกอบที่ 3-9 Haar-like Feature ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ถูกเลือกโดย Adaboost โดยตัวที่ 1 ได้จากความแตกต่างของความเข้มระหว่างพื้นที่ดวงตากับพื้นที่บริเวณแก้ม ผลลัพธ์ที่ได้พื้นที่บริเวณดวงตามีค่าความเข้มที่เข้มกว่าส่วนบริเวณแก้ม ตัวที่ 2 ได้จากความแตกต่างระหว่างบริเวณดวงตาทั้ง 2 ข้างกับบริเวณจมูก

**Cascade Classifier** เป็นกระบวนการที่เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับ ความถูกต้องและลดระยะเวลาในการคำนวณลง โดยหลักการของกระบวนการนี้ คือ การนำตัวจำแนก (Classifier) หลายๆ ตัวมาต่อกัน ดังภาพประกอบที่ 3-10 โดยตัวจำแนกในลำดับต้นๆ จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งเมื่อจำนวนของตัวจำแนกมากเพียงใด โอกาสที่จะได้ภาพวัตถุที่เราต้องการมากเท่านั้น

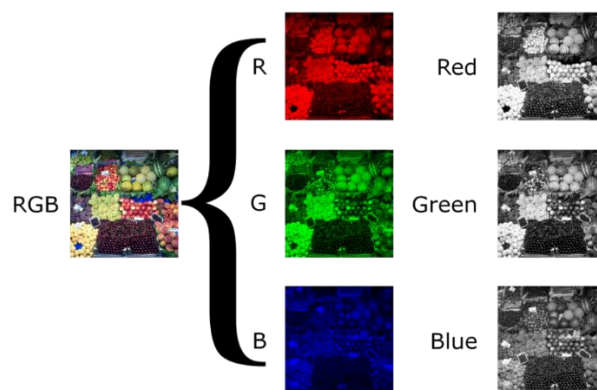


ภาพประกอบที่ 3-10 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ Cascade Classifier

### 3.2.2 Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB Color Space

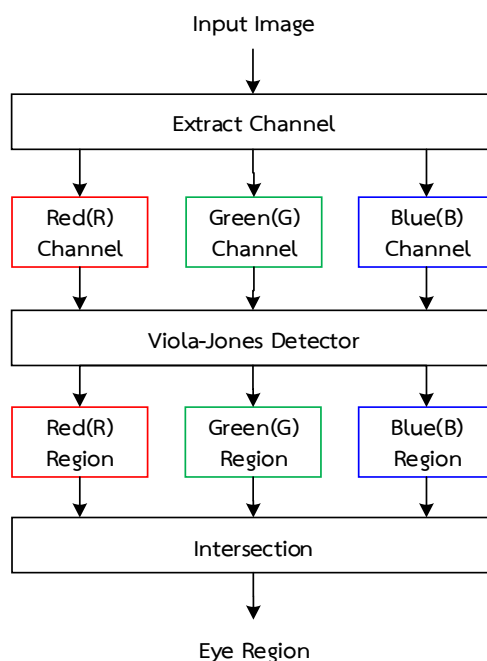
Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB (mRGB) Color Space [38] เป็นกระบวนการประยุกต์การใช้งานจาก Original Viola-Jones Algorithm คำนวณภาพจากระดับสีเทา (Grayscale Image) ที่มีข้อจำกัดในด้านของแสง (Light Condition) เป็นการคำนวณภาพบนระบบสี RGB เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุให้ดียิ่งขึ้น

ระบบสี RGB ประกอบไปด้วย ค่าข้อมูลของสีในแต่ละ Channel คือ แดง เขียว และ น้ำเงิน (Red, Green, Blue) โดยแต่ละ Color Channel จะมีค่าความเข้มของแสงหรือค่าความสว่างของสี (Intensity Information) ที่มีค่า 0-255 ไล่ระดับความสว่างจากดำไปจนขาว ดังภาพประกอบที่ 3-11



ภาพประกอบที่ 3-11 ค่าความเข้มของแสงในแต่ละสี (แดง, เขียว, น้ำเงิน)

โดยหลักการทำงานของกระบวนการนี้ คือ การนำภาพขาเข้าที่เป็นภาพสี RGB มาแยกเป็น 3 Color Channel คือ แดง เขียว และน้ำเงิน เพื่อให้ได้ค่าของความสว่างในแต่ละ Channel เพื่อนำแต่ละ Color Channel ไปเข้าตัวตรวจจับ เมื่อได้ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะพบวัตถุ จะให้แทนค่าเป็น 1 ในแต่ละ Color Channel จากนั้นให้นำค่าผลลัพธ์แต่ละ Channel มา Intersection ( $A \cap B$ ) กัน โดยพิจารณาจาก 2 ใน 3 ของ Color Channel ดังภาพประกอบที่ 3-12

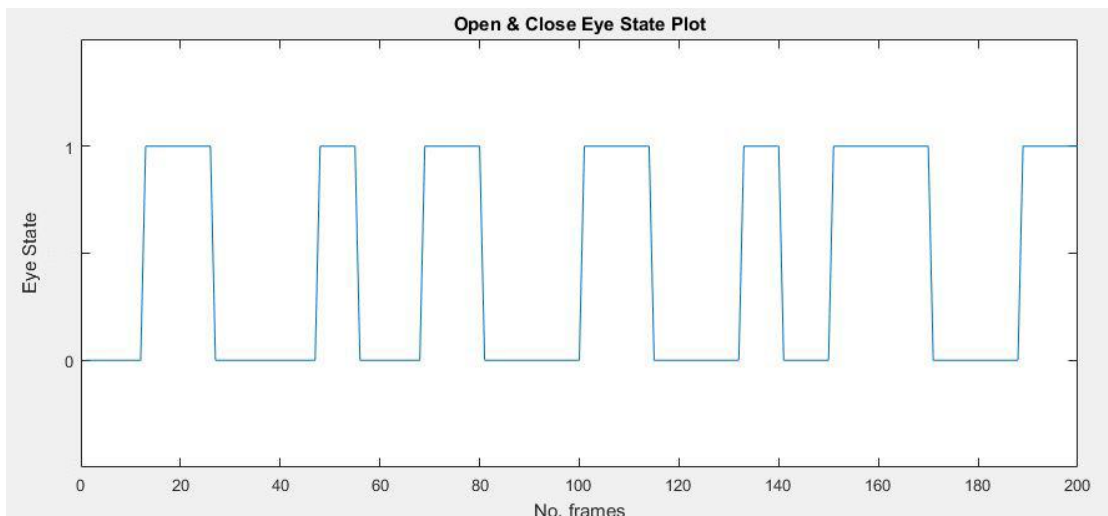


ภาพประกอบที่ 3-12 กระบวนการทำงานของ mRGB Viola-Jones Algorithm [38]

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับวัตถุนี้ คือ พื้นที่บริเวณดวงตา (Eye Region) ที่แสดงสถานะของดวงตา ดังภาพประกอบที่ 3-13 จากภาพดังกล่าว ซ้ายมือคือสถานะเปิดตา (Open Eye State) และสถานะปิดตา (Close Eye State) อยู่ทางด้านขวามือ



ภาพประกอบที่ 3-13 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับด้วยตา



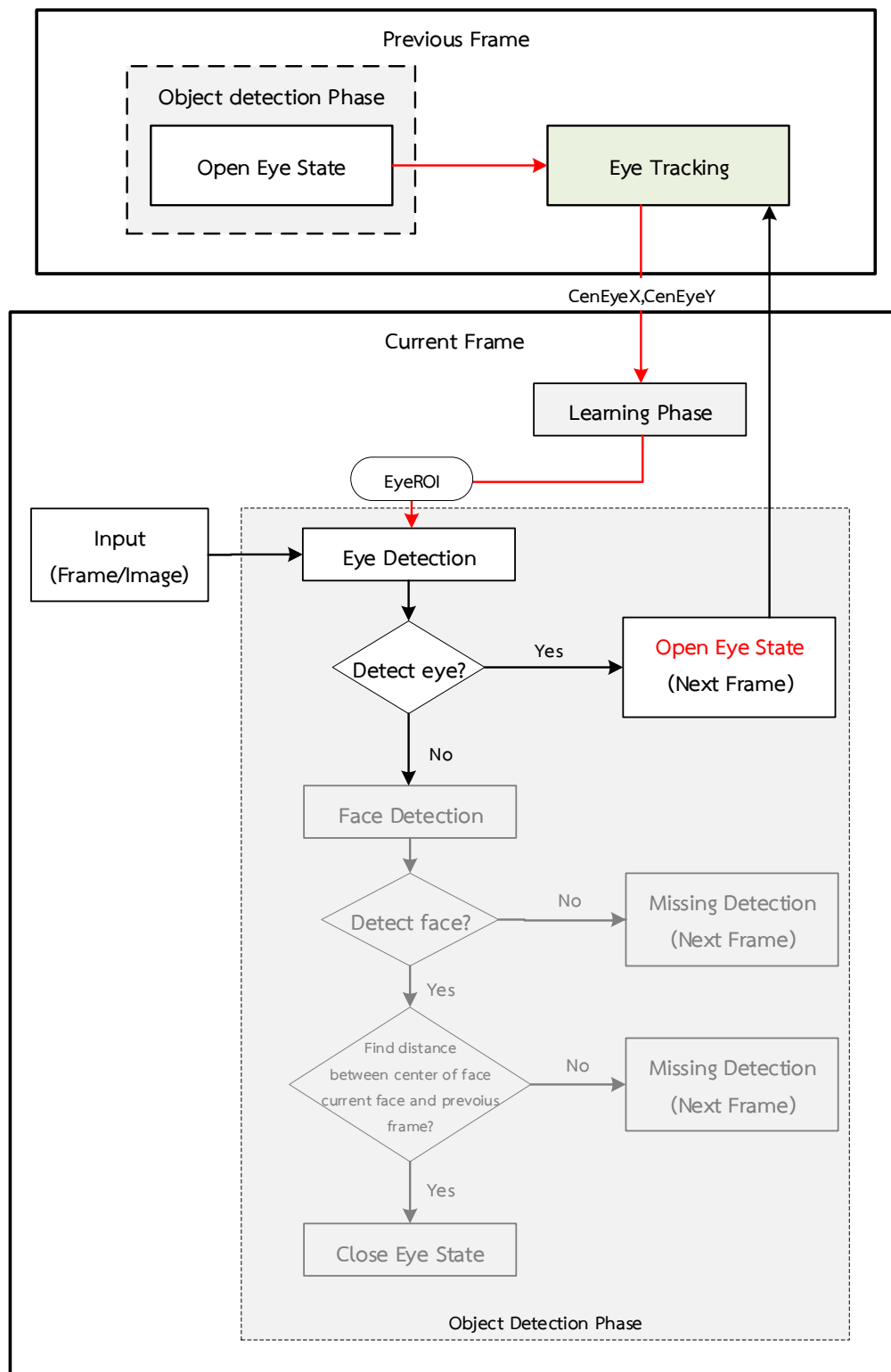
ภาพประกอบที่ 3-14 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาในรูปแบบของกราฟ

ภาพประกอบที่ 3-14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาในรูปแบบของกราฟ จำนวน 200 เฟรม อธิบายได้ว่า แกน x คือ จำนวนเฟรม และ แกน y คือ สถานะของดวงตา โดยที่สถานะปิดตา คือ Eye State เท่ากับ 0 และ สถานะเปิดตา คือ Eye State เท่ากับ 1

### 3.3 ขั้นตอนการติดตามวัตถุ

ขั้นตอนการติดตามวัตถุ (Object Tracking Phase) เป็นกระบวนการที่ช่วยในการลดระยะเวลาในการคำนวณของระบบ เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เอาไว้ช่วยในการลดขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าลง โดยการเพิ่มกระบวนการติดตามวัตถุ เพื่อช่วยในการคาดคะเนทิศทางในการค้นหาตำแหน่งของดวงตา เพื่อให้สามารถทำนายการระบุถึงตำแหน่งของดวงตา ดังภาพประกอบที่ 3-15





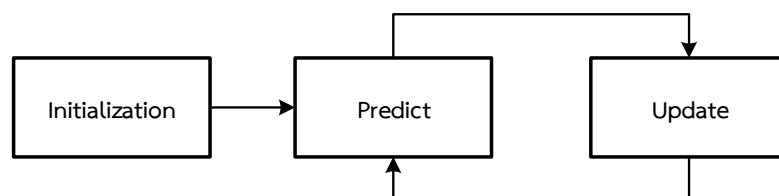
ภาพประกอบที่ 3-15 ขั้นตอนการติดตามวัตถุ

โดยกระบวนการนี้ จะพิจารณาการติดตามวัตถุ เฉพาะการตรวจจับตำแหน่งของดวงตาในสถานะเปิดตาเท่านั้น เพื่อให้กระบวนการติดตามวัตถุมีความแม่นยำในการทำนายตำแหน่งของดวงตาที่เกิดขึ้นภายในภาพ ดังภาพประกอบที่ 3-15 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำหลักการตัวกรองคาลมานมาใช้ในการติดตามตำแหน่งของดวงตาเพียงข้างเดียว ในที่นี้ คือ ตาข้างขวา

### 3.3.1 ตัวกรองคาลมาน

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) [39] เป็นอัลกอริทึมที่ใช้หลักการทำงานแบบวนซ้ำ (Recursive) เพื่อใช้ในการคำนวณประมาณค่าหรือการทำนายสถานะที่เกิดขึ้นกับระบบที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา (Dynamic System) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากสถานะก่อนหน้า (สถานะอดีต) ร่วมกับค่าที่ได้จากการทดลองของสถานะปัจจุบัน โดยข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ความไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อนและรวดเร็วในการทำงาน

ตัวกรองคาลมานแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทำนาย (Predict State) และ ส่วนอัปเดต (Update State) ดังภาพประกอบที่ 3-16



ภาพประกอบที่ 3-16 กระบวนการทำงานของตัวกรองคาลมาน

**ส่วนการทำนาย** (การประมาณค่า) คือ การปรับค่าตามเวลาหรือการใช้สถานะในเวลาก่อนหน้านี มาทำนายสถานะปัจจุบัน โดยการประมาณค่าในเวลาปัจจุบันถูกสร้างขึ้นจากสถานะก่อนหน้า ประกอบไปด้วยสมการดังต่อไปนี้

1. ประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองของระบบ

$$x_{k+1} = A_k x_k + B u_k + w_k \quad (3-10)$$

เมื่อ	$x_{k+1}$	คือ Future State
	$x$	คือ State Matrix
	$A$	คือ State Transition Matrix
	$B$	คือ Control Matrix
	$u$	คือ Control Variable
	$w$	คือ Gaussian White Noise

2. คำนวณค่าความผิดพลาดของค่าความแปรปรวนร่วม (Error Covariance,  $P_{k+1}^-$ )

$$P_{k+1}^- = H_k x_k + v_k \quad (3-11)$$

เมื่อ	$H_k$	คือ Measurement Matrix
	$x_k$	คือ Current State
	$v$	คือ Noise Variance

**ส่วนการอัปเดต** คือ การปรับค่าตามข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการนำค่าที่ได้จากการวัด มาช่วยในการปรับค่าสถานะให้มีความถูกต้องและมีความแม่นยำมากขึ้น ประกอบไปด้วยสมการดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่าคาลมาน (Kalman Gain,  $K$ )

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (3-12)$$

เมื่อ	$P^-$	คือ Previous State Variance
	$H_k$	คือ Measurement Matrix
	$R_k$	คือ Measurement Variance Matrix

2. ปรับค่าการประมาณโดยอ้างอิงค่าจากข้อมูลการวัด

$$\hat{x}_k = x_k^- + K(z_k - H_k x_k^-) \quad (3-13)$$

เมื่อ	$\hat{x}_k$	คือ Estimate State
	$x_k^-$	คือ Previous State
	$K$	คือ Kalman Gain
	$z_k$	คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measurement Variable)
	$H_k$	คือ Measurement Matrix
	$\hat{x}_k^-$	คือ Previous Estimate State

### 3. ปรับค่าความผิดพลาดของค่าความแปรปรวนร่วม

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (3-14)$$

เมื่อ	$x_k$	คือ Current State
	$I$	คือ Identity Matrix
	$H_k$	คือ Measurement Matrix
	$P^-$	คือ Previous State Variance

ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการติดตามวัตถุ คือ ทิศทางที่ระบุตำแหน่งของดวงตา เพื่อช่วยในการพิจารณาการค้นหาค่าตำแหน่งของดวงตาในเฟรมปัจจุบัน

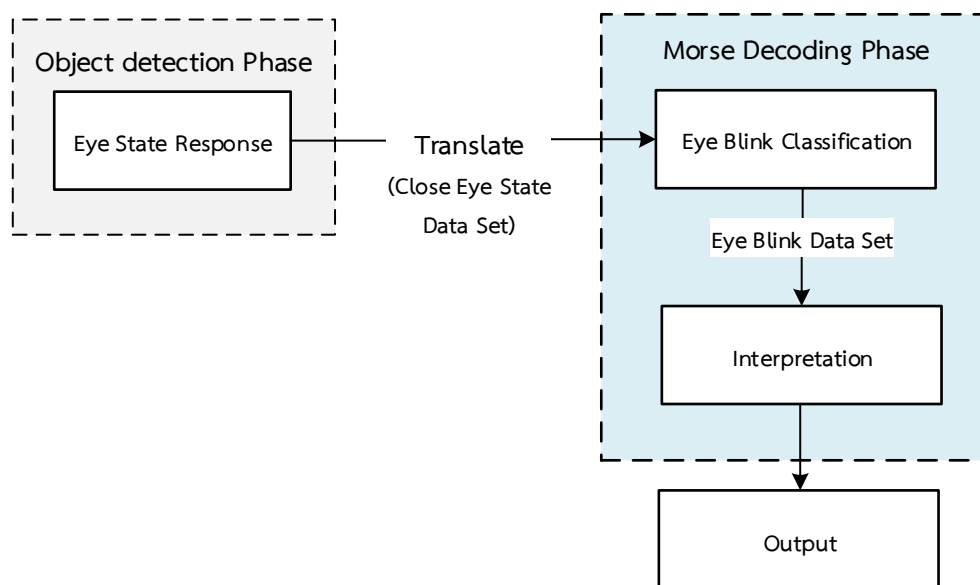
### 3.4 ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส

ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส (Morse Decoding Phase) จะเกิดขึ้นได้เมื่อผู้ใช้งานต้องการตัดตัวอักษรหรือคำ ซึ่งเราสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนการคัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Classification Phase)
2. ส่วนการแปลความหมาย (Interpretation Phase)

หลักการทำงานของกระบวนการนี้ คือ การนำชุดข้อมูลสถานะของดวงตา (Eye State Response) ที่ได้จากการตรวจจับใบหน้าและดวงตาจากขั้นตอนก่อนหน้า ที่ประกอบไปด้วยสถานะเปิดและปิดตา แต่ในขั้นตอนนี้จะสนใจเพียง สถานะการปิดตาเท่านั้น มาพิจารณาการคัดแยก

การกะพริบตา เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแปลความหมาย โดยมีขั้นตอนการทำงาน แสดงดังภาพประกอบที่ 3-17



ภาพประกอบที่ 3-17 ขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณมอร์ส

#### 3.4.1 ขั้นตอนการคัดแยกการกะพริบตา

ขั้นตอนการคัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Classification Phase) เป็นการคัดแยกการกะพริบตาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การกะพริบตาแบบสั้น และการกะพริบตาแบบยาว งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำกระบวนการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีน ซึ่งมีจุดเด่น คือ ในเวลาคำนวณได้รวดเร็ว ในแง่ของการมีข้อมูลจำนวนมากและมีจำนวนกลุ่มน้อย ซึ่งเหมาะกับการคัดแยกการกะพริบตาในงานวิจัยนี้

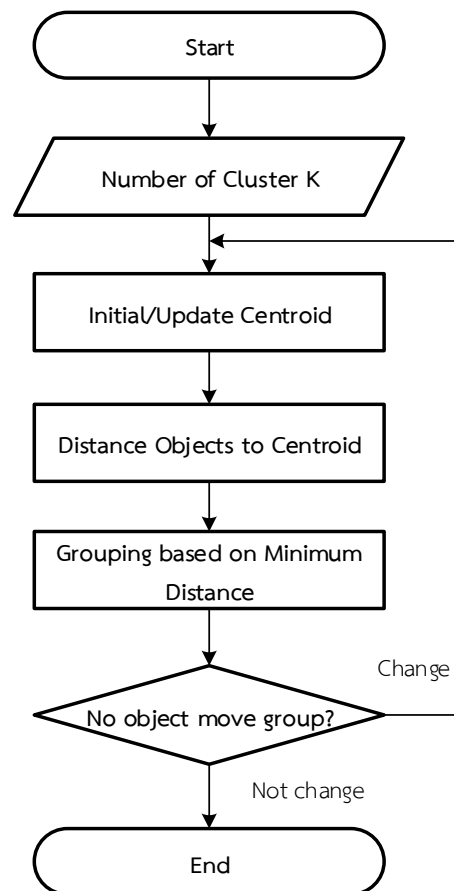
ในการคัดแยกการกะพริบตานี้ เราใช้จำนวนเฟรมที่เกิดสถานะปิดตาในการคำนวณ โดยเป้าหมายของการใช้กระบวนการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีน (K-means Clustering) นี้ เพื่อคัดแยกการกะพริบตาแบบสั้นและแบบยาวโดยไม่ขึ้นอยู่กับเวลา เนื่องจากการกะพริบตาแบบ Voluntary ในแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน การจำแนกด้วยวิธีการนี้จึงสามารถใช้ได้กับผู้ใช้งานที่หลากหลาย และมีความยืดหยุ่นในการคัดแยกการกะพริบตาสูง

การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีน [40] มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรือ การแบ่งส่วน (Partitioning) เป็น

อัลกอริทึมการเรียนรู้ที่ไม่มีผู้สอน โดยข้อดีของการแบ่งกลุ่มชนิดนี้ คือ รวดเร็ว ในด้านการมีข้อมูลจำนวนมากและมีจำนวนกลุ่มน้อย โดยมีแนวความคิด คือ การแบ่งข้อมูลให้อยู่ในแต่ละกลุ่ม โดยการกระทำซ้ำ เพื่อให้ค่าจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มคงที่

การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีนั้น มีขั้นตอนการทำงาน แสดงดังภาพประกอบที่ 3-18 ดังนี้

1. กำหนดหรือสุ่มค่าเริ่มต้น จำนวน  $k$  กลุ่ม และกำหนดจุดศูนย์กลาง เริ่มต้น  $k$  จุด
2. นำวัตถุทั้งหมดเข้าจัดกลุ่ม โดยทำการหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง (Centroid) โดยดูจากข้อมูลตัวไหนใกล้ค่าจุดศูนย์กลางตัวไหนอยู่กลุ่มนั้น
3. คำนวณค่าจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม เพื่อกำหนดเป็นจุดศูนย์กลางใหม่
4. ทำซ้ำ ข้อ 2. จนกระทั่งค่าจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบที่ 3-18 ขั้นตอนการทำงานของการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมี

งานวิจัยชิ้นนี้ ใช้การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีน แบบ 1 มิติ (One-Dimensional K-means Clustering) โดยกำหนดค่า  $k = 2$  เนื่องจากการจัดกลุ่มของงานวิจัยนี้ จะแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การกะพริบตาแบบสั้น และการกะพริบตาแบบยาว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการแบ่งกลุ่มด้วยกระบวนการนี้ จะได้การกะพริบตาแบบสั้นและยาว ซึ่งจะนำไปแปลความหมายในขั้นตอนถัดไป

### 3.4.2 ขั้นตอนการแปลความหมายจากการกะพริบตา

กระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา คือการแปลงความหมายจากการกะพริบตาให้เป็นสัญลักษณ์ของรหัสมอร์ส เพื่อช่วยในการสื่อสารตามรูปแบบการสื่อสารของรหัสมอร์ส

ในกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตานี้ นำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Data Set) คือ การกะพริบตาแบบสั้น (Short Eye Blink) และการกะพริบตาแบบยาว (Long Eye Blink) มาแปลงเป็นสัญลักษณ์รหัสมอร์ส คือ จุด (Dot, (.), 0) และขีด (Dash, (-), 1) โดยการกะพริบตาแบบสั้น แทนด้วย สัญลักษณ์ จุด และการกะพริบตาแบบยาว แทนด้วยสัญลักษณ์ ขีด ซึ่งการกะพริบตานี้จะต้องมีรูปแบบและวิธีการอ้างอิงจากรหัสมอร์ส เพื่อสามารถนำรหัสมอร์สที่ได้มาแปลความหมายเป็นคำที่สามารถใช้ในการสื่อสารกับบุคคลรอบข้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 3-19

หลักการในการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาหรือการแปลความหมายของการกะพริบตาดัวยรหัสมอร์ส มีดังต่อไปนี้

1. ในการแปลความหมายของตัวอักษรหรือคำ ใช้การตรวจจับดวงตาด้วยสถานะการเปิดตา 45 เฟรม
2. ถ้าต้องการสื่อความหมายใหม่ (Clear All Alphabet/Word) ใช้การตรวจจับดวงตาด้วยสถานะการเปิดตา 90 เฟรม
3. ปฏิเสธการปิดตานี้น้อยกว่า 6 เฟรม เนื่องจากการกะพริบตาน้อยกว่า 6 เฟรมนี้ จะเป็นการกะพริบตาแบบ Reflexive และ Spontaneous (Involuntary Eye Blink) [5] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจเพียงการกะพริบตาแบบ Voluntary เท่านั้น

กระบวนการ Matching เป็นกระบวนการจับคู่การแปลความหมายของกะพริบตา กับรหัสสมอร์สเพื่อสื่อความหมาย โดยกระบวนการนี้แยกการคำนวณด้วยจำนวนของผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดแยกการกะพริบตา เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z) หรือรูปแบบคำพิเศษที่กำหนดไว้ โดยใช้ Exclusive OR (EOR,  $\oplus$ ) ซึ่งมีสมการดังนี้

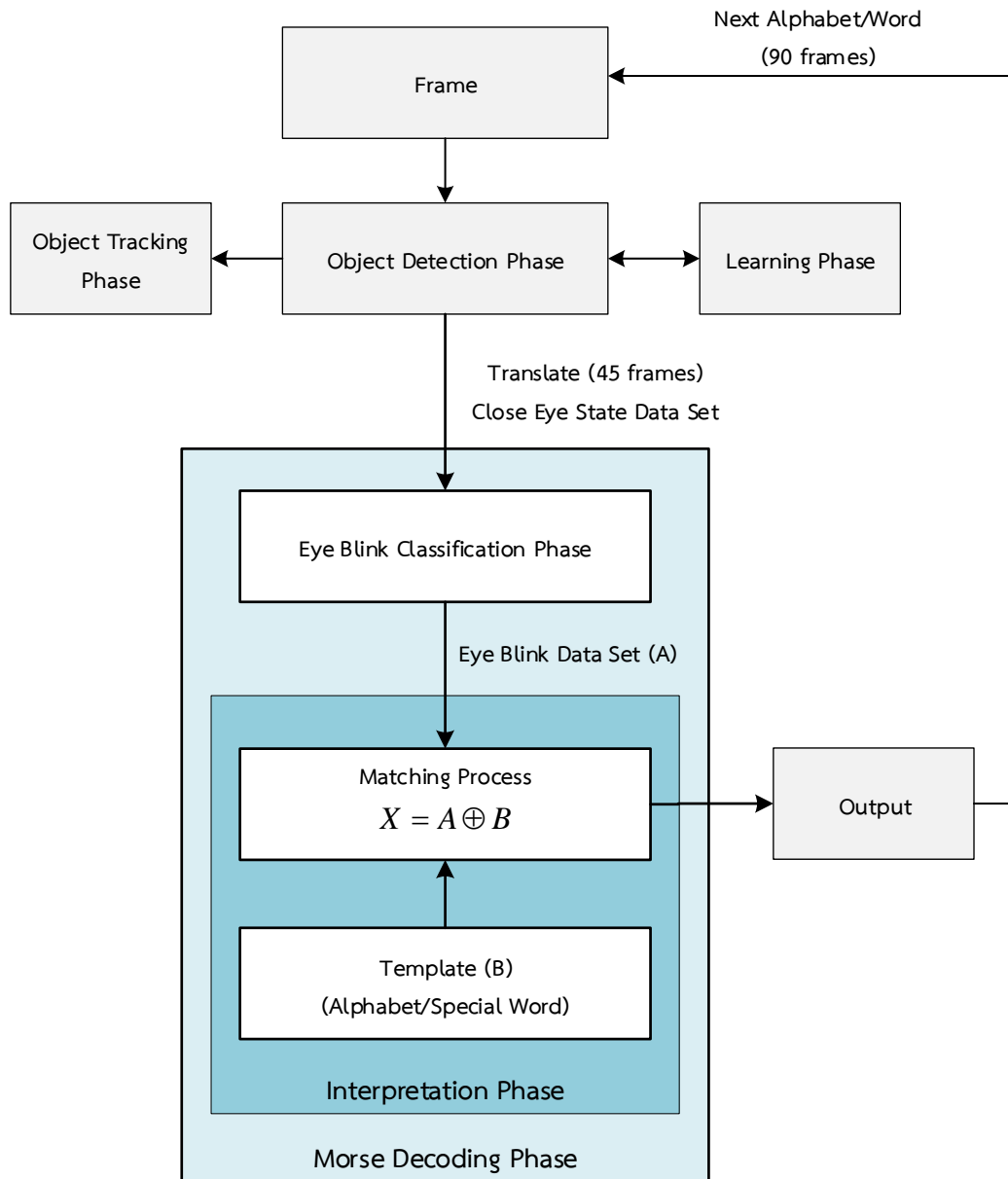
$$X = A \oplus B \quad (3-15)$$

- เมื่อ  $X$  คือ ค่าที่ได้จากการทำ Matching
- $A$  คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตัดแยกการกะพริบตา (Eye Blink Data Set) ประกอบไปด้วย 0, 1
- $B$  คือ รูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดด้วยรหัสสมอร์สหรือรูปแบบคำพิเศษที่กำหนด ประกอบไปด้วย 0, 1

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความจริงของ Exclusive OR

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

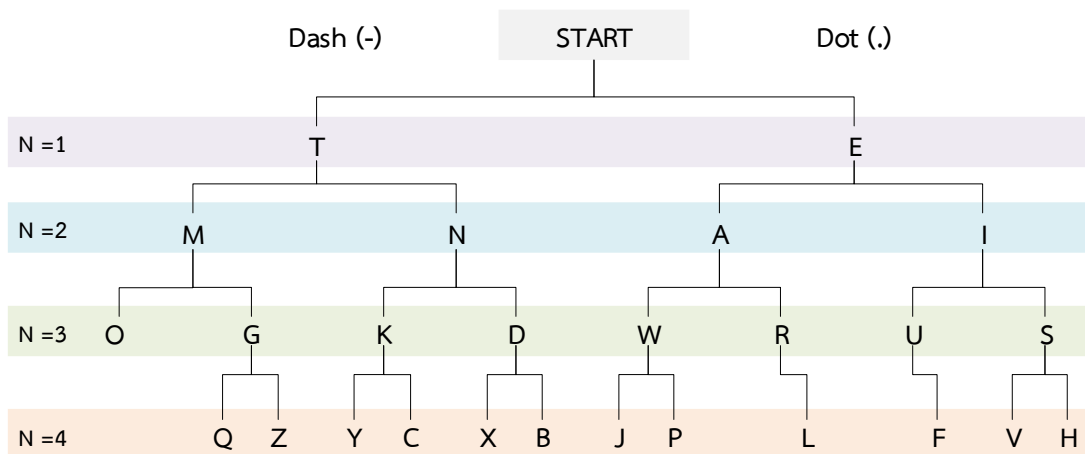




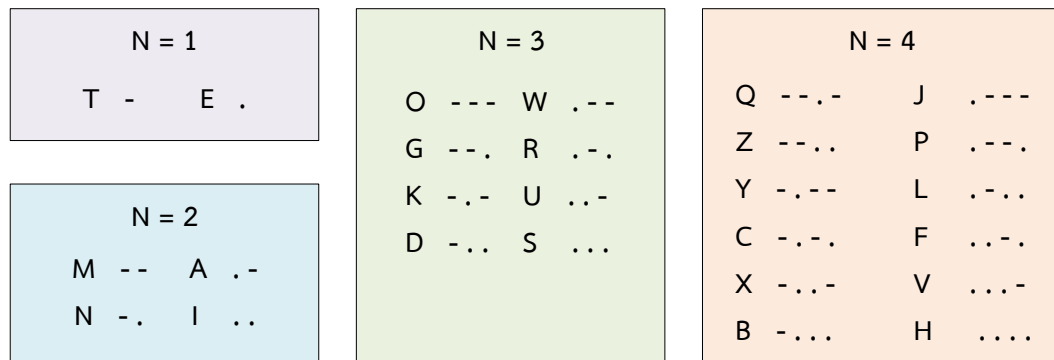
ภาพประกอบที่ 3-19 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา

ในการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตานี้ ระบบจะแบ่งการถอดรหัสสัญญาณมอร์สออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ และการถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ

1. การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z) มาประกอบเป็นคำหรือประโยค ดังภาพประกอบที่ 3-20 และ ภาพประกอบที่ 3-21



ภาพประกอบที่ 3-20 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ



ภาพประกอบที่ 3-21 รหัสสัญญาณมอร์สกับตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ภาพประกอบที่ 3-20 และภาพประกอบที่ 3-21 แสดงการถอดรหัสมอร์สด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ จาก A-Z ที่เรียงตามจำนวนของรหัสสัญญาณมอร์ส โดยที่  $N$  คือ จำนวนของรหัสมอร์ส (Digit of Morse Code) และจากภาพประกอบที่ 3-20 ซ้ายมือของแผนผัง คือ สัญลักษณ์ขีด ภาพประกอบที่ 3-20 ขวามือของแผนผัง คือ สัญลักษณ์จุด

2. การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ แสดงดังตารางที่ 3-2 เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสะดวก รวดเร็ว

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้สื่อสารเป็นประจำ

Word/Pharse	Morse code	B (Matching Process)	Morse code
Yes	-.--	1011	dash dot dash dash
No	-. .	10	dash dot
Hungry	-.-- .	10110	dash dot dash dash dot
Thirsty	-.-- ..	10100	dash dot dash dot dot
Turn on Light	--.---	110111	dash dash dot dash dash dash
Turn off Light	--.. .	110010	dash dash dot dot dash dot

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการแบ่งส่วนใบหน้า เพื่อกำหนดขอบเขตการค้นหาคำแหน่งของดวงตาด้วยหลักการต่างๆ ว่าให้ผลลัพธ์เป็นอย่างไร การเปรียบเทียบการค้นหาคำแหน่งดวงตา และการทดสอบการทำงานของระบบ ซึ่งผลการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมดจะเป็นไปตามขั้นตอนการออกแบบงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและเป็นแนวทางในการศึกษาและนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งได้ 5 หัวข้อย่อย คือ

**1. ผลการทดสอบการแบ่งส่วนของใบหน้า** เป็นการทดสอบการกำหนดขอบเขตของดวงตาให้มีขนาดเล็กลง โดยวิธีการต่างๆ เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานของระบบและได้ผลลัพธ์ที่แสดงขอบเขตของดวงตาที่มีความถูกต้องและแม่นยำ

**2. ผลการทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา** เป็นการเปรียบเทียบการค้นหาคำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones ใน Color Space ที่แตกต่างกัน คือ Mixture of RGB, Weighted Grayscale และ Grayscale

**3. ผลการทดสอบการหาระยะห่างของภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา** เป็นการหาระยะทางที่เหมาะสมที่สามารถระบุสถานะปิดตาได้

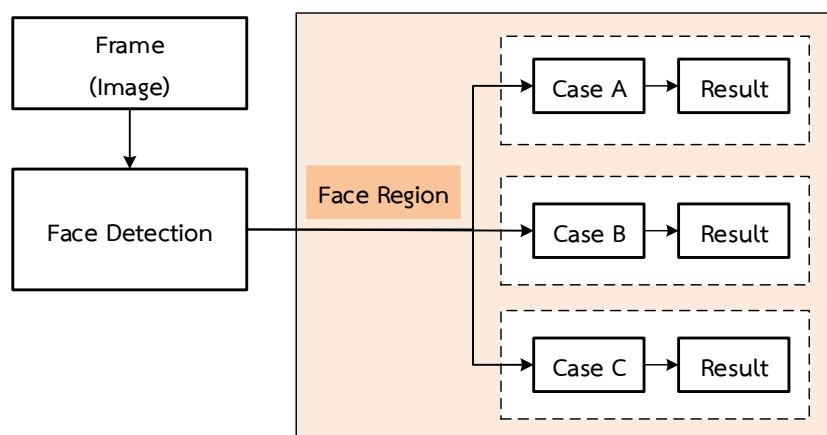
**4. ผลการทดสอบการทำงานของระบบ** เป็นการทดสอบการแปลความหมายจากการกะพริบตาเป็นรหัสสมอร์สเพื่อสื่อความหมาย ซึ่งสามารถแบ่งการถอดรหัสสัญญาณมอร์สออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษและการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ

**5. ตัวอย่างการถอดรหัสสมอร์สจากการกะพริบตา** เป็นการแสดงตัวอย่างการถอดรหัสสัญญาณมอร์สและการตัดการกะพริบตาแบบ Involuntary ออกไป

### 4.1 ผลการทดสอบการแบ่งส่วนของใบหน้า

จากหัวข้อที่ 3.1.1 การแบ่งส่วนของใบหน้า เป็นการกำหนดขอบเขตการค้นหาคำแหน่งของดวงตา เพื่อจำกัดการค้นหาให้มีบริเวณพื้นที่ที่เล็กลง ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือ EyeROI ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการสร้าง EyeROI ให้มีพื้นที่เล็กลง เพื่อเป็นการลดเวลา

ในการตรวจจับดวงตา ด้วยการใช้ Face Golden Ratio (ภาพประกอบที่ 4-2) ร่วมกับการแบ่งสัดส่วนของใบหน้า

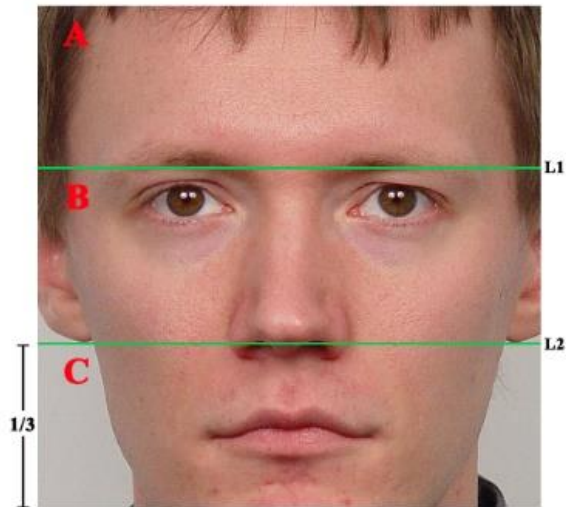


ภาพประกอบที่ 4-1 การทดลองการแบ่งส่วนของใบหน้า

ในการทดลองการแบ่งส่วนของใบหน้าเพื่อกำหนดขอบเขตตำแหน่งของดวงตา (EyeROI) สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังภาพประกอบที่ 4-1 โดยแต่ละการทดลองใช้ภาพขาเข้า คือ Face Region (ภาพที่ผ่านขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า) ดังนี้

1. **Case A** คือ การทดลองการแบ่งส่วนของใบหน้าออกเป็น 4 ส่วนตามหัวข้อ 3.1.1 (ภาพประกอบที่ 3-3) โดยระบุขอบเขตการค้นหาของตำแหน่งดวงตาด้วยการแบ่งครึ่งภาพใบหน้า (Face Region) ในแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $y$  จะได้พื้นที่ที่สนใจ คือ พื้นที่ A และพื้นที่ B ของภาพประกอบที่ 3-3

2. **Case B** คือ การทดลองการแบ่งส่วนของใบหน้า (Face Region) ด้วย Face Golden Ratio ตามแนวแกน  $y$  โดยจะแบ่งภาพใบหน้าเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน ตามแนวแกน  $y$  ภาพที่ระบุว่ามียอดตา คือ พื้นที่ B ของภาพประกอบที่ 4-2



ภาพประกอบที่ 4-2 การแบ่งสัดส่วนใบหน้าของภาพ Face Region ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับ ใบหน้าด้วย Face Golden Ratio ตามแนวแกน y

3. Case C คือ การนำภาพที่ได้จาก Case A (สนใจเพียงการแบ่งครึ่งภาพ Face Region ในแนวแกน y) มา Intersect กับ Case B ( $A \cap B$ ) ซึ่งแสดงดังภาพประกอบที่ 4-3



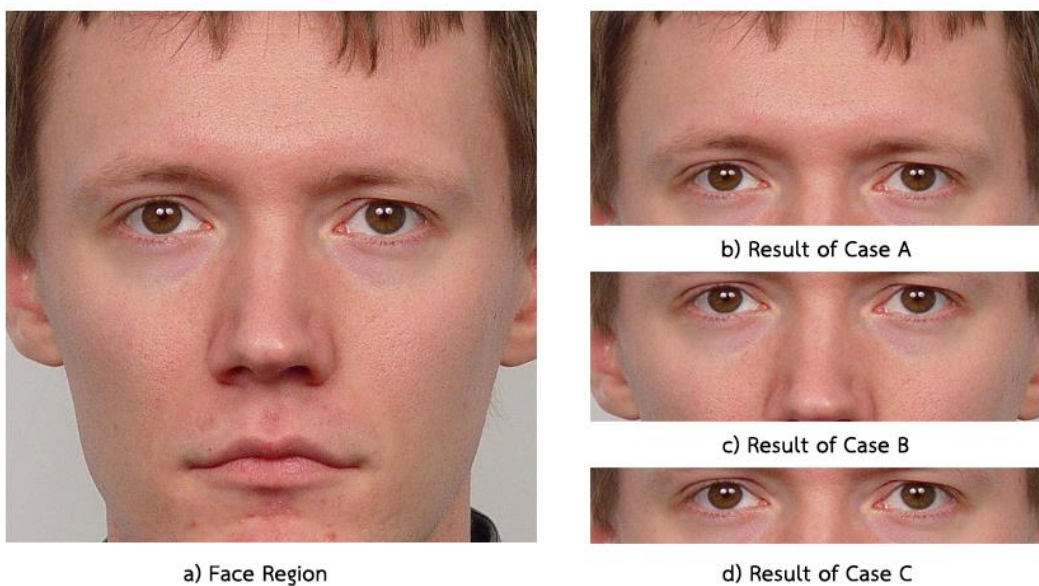
ภาพประกอบที่ 4-3 ภาพแสดงการทดลองของ Case C

ซึ่งในการทดลองการแบ่งส่วนใบหน้า จะใช้ภาพใบหน้าตรงจากชุดข้อมูลทั้งหมด 324 ภาพ โดยรูปทั้งหมดผ่านกระบวนการตรวจจับใบหน้า (Face Detection) เพื่อให้ผลลัพธ์เป็นภาพที่ระบุว่ามียใบหน้า (Face Region) ก่อนที่จะนำมาทดสอบการแบ่งส่วนของใบหน้า ดังภาพประกอบที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆ

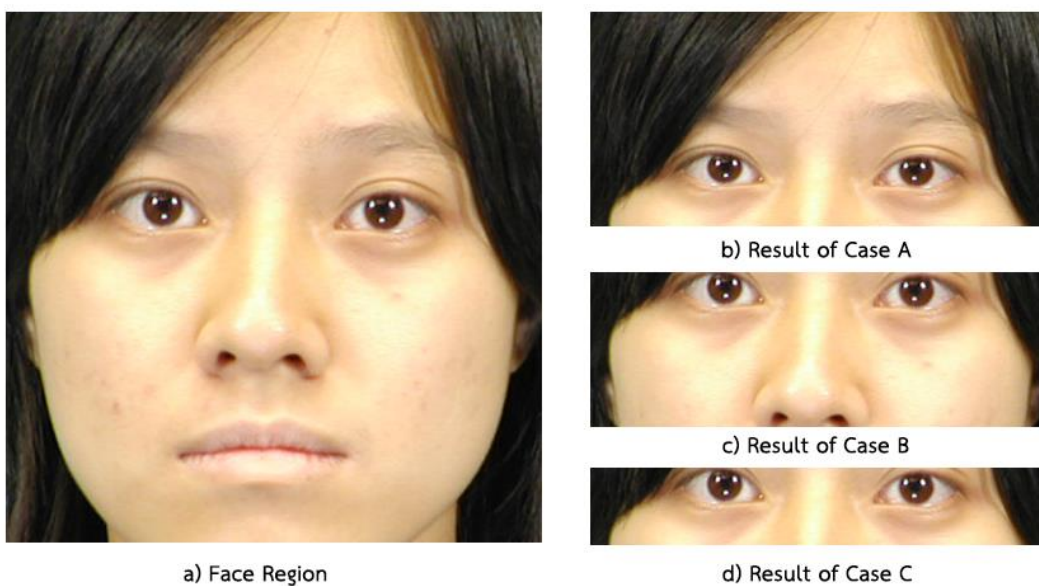
การทดลอง	ความถูกต้องในการได้ส่วนที่มี ส่วนประกอบของดวงตาทั้งหมด (%)
Case A	100.00
Case B	85.49
Case C	85.49

Case A ให้ผลลัพธ์ในการแบ่งส่วนของใบหน้าที่มีความแม่นยำมาก แสดงดังภาพประกอบที่ 4-4 และ ผลที่ได้จาก Case B และ Case C ไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากพื้นที่ที่กำหนดขอบเขตของดวงตานั้น ได้รูปของดวงตาไม่ครบองค์ประกอบ สามารถดูได้จากภาพประกอบที่ 4-5 ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของใบหน้าสามารถทำได้โดยวิธีการแบ่งส่วนใบหน้าด้วย Case A



ภาพประกอบที่ 4-4 ผลที่ได้จากการทดสอบการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆ

- a) ภาพใบหน้า (ภาพตั้งต้น)    b) ผลที่ได้จากการทดลอง Case A  
 c) ผลที่ได้จากการทดลอง Case B    d) ผลที่ได้จากการทดลอง Case C



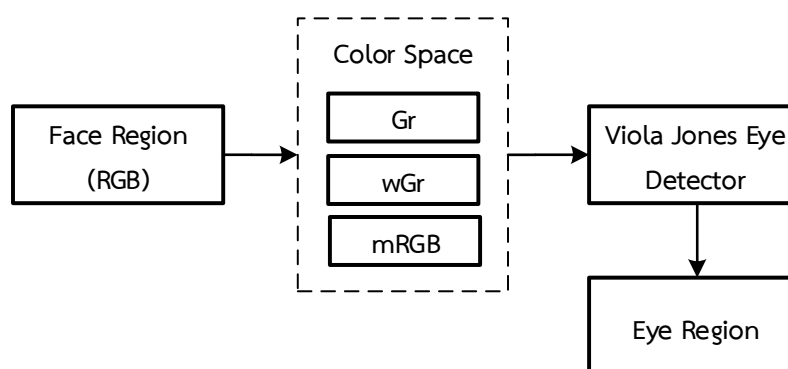
ภาพประกอบที่ 4-5 ผลที่ได้จากการทดสอบการแบ่งส่วนใบหน้าด้วยวิธีการต่างๆที่มีความผิดพลาด

- a) ภาพใบหน้า (ภาพตั้งต้น)    b) ผลที่ได้จากการทดลอง Case A  
 c) ผลที่ได้จากการทดลอง Case B ที่มีความผิดพลาด  
 d) ผลที่ได้จากการทดลอง Case C ที่มีความผิดพลาด



## 4.2 ผลการทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา

การทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา เพื่อค้นหาตำแหน่งที่ระบุว่าเป็นดวงตา (Eye Region) ด้วย Viola-Jones Algorithm เราได้นำ Viola-Jones Algorithm มาพัฒนาให้มีความแม่นยำและประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยวิธีการปรับปรุง Color Space คือ Weighted Grayscale (wGr) และ Mixture of RGB (mRGB) เปรียบเทียบกับ Grayscale (Gr) ซึ่งเป็นต้นแบบของ Viola-Jones Algorithm ดังภาพประกอบที่ 4-6



ภาพประกอบที่ 4-6 ขั้นตอนการทดสอบกระบวนการตรวจจับดวงตา

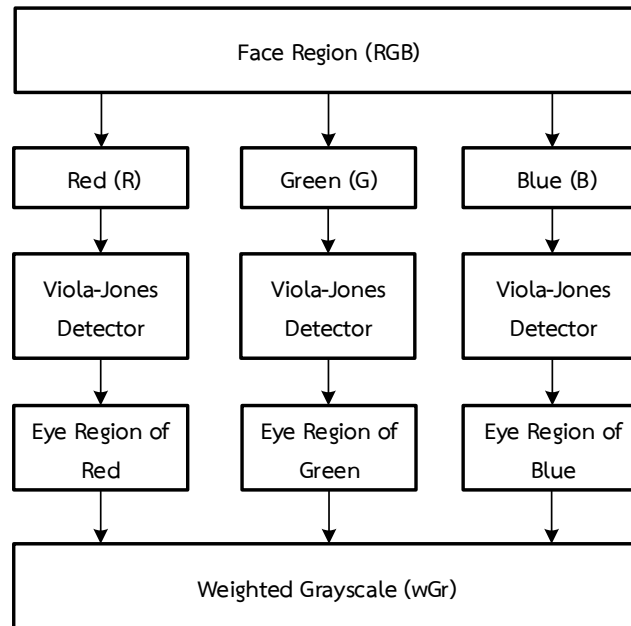
### 4.2.1 Grayscale

ในการตรวจจับวัตถุด้วย Original Viola-Jones Algorithm [37] จะใช้ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) เป็นภาพที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่เราสนใจ ซึ่งการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.4

### 4.2.2 Weighted Grayscale

จากกรณีศึกษา เมื่อเราปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จากการทดสอบ ใช้รูปภาพใบหน้าจากชุดข้อมูลทั้งหมด 324 ภาพ โดยการแยกการตรวจจับดวงตา

ด้วย Viola-Jones Detector เพื่อค้นหาตำแหน่งของดวงตา ในแต่ละ Channel ของสี RGB ซึ่งกระบวนการทดสอบเพื่อหาค่าน้ำหนัก (Weight) ของ Weighted Grayscale ดังภาพประกอบที่ 4-7



ภาพประกอบที่ 4-7 การทดสอบหาค่าน้ำหนักของ Weighted Grayscale

ตารางที่ 4-2 แสดงจำนวนที่ค้นหาตำแหน่งของดวงตาในแต่ละ Channel

Channel	Number of detected eye
Red (R)	311
Green (G)	323
Blue (B)	324

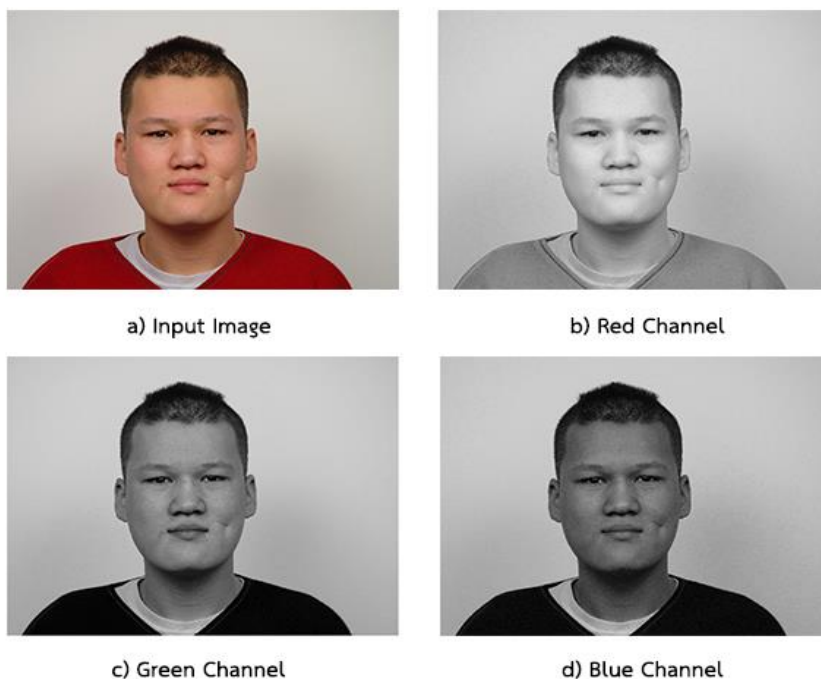
จากตารางที่ 4-2 เราสามารถแก้ไขค่าน้ำหนักในการแปลงภาพจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาได้ใหม่จากสมการที่ (4-1)

$$wGr = 0.325R + 0.337G + 0.338B \quad (4-1)$$

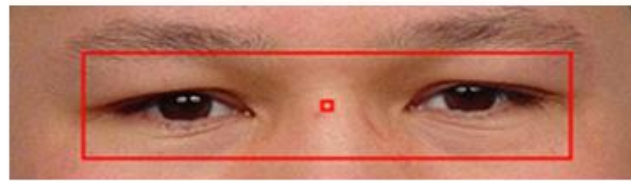
เมื่อ  $R$  คือ ค่าของสีแดงในระบบสี RGB  
 $G$  คือ ค่าของสีเขียวในระบบสี RGB  
 $B$  คือ ค่าของสีน้ำเงินในระบบสี RGB

#### 4.2.3 Mixture of RGB

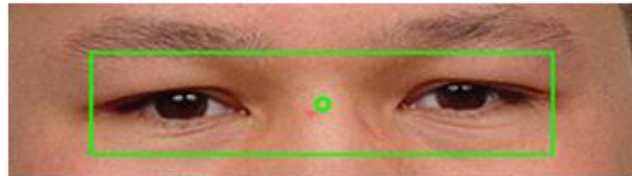
Mixture of RGB [38] เป็น Color Space ที่ใช้แนวคิดพื้นฐานจากภาพสี (RGB Image) ซึ่งภาพสีประกอบไปด้วยค่าของสีในแต่ละ Channel คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังภาพประกอบที่ 4-8 โดยหลักการทำงานของ mRGB ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2



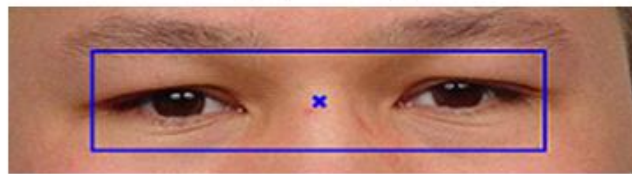
ภาพประกอบที่ 4-8 ภาพต้นฉบับและค่าความเข้มของแสงในแต่ละสี (แดง, เขียว, น้ำเงิน) [38]



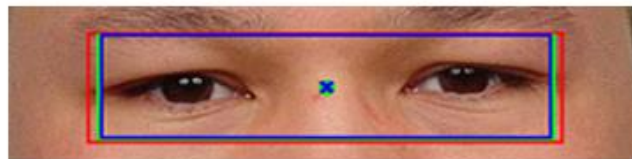
a) Predicted eye position of red channel



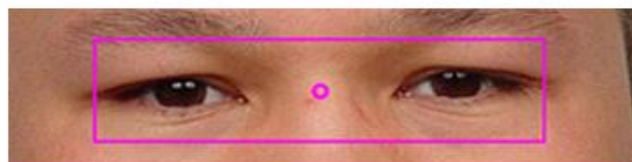
b) Predicted eye position of green channel



c) Predicted eye position of blue channel



d) Predicted eye position of red, green and blue channels



e) Intersection area predicted eye position from red, green and blue channels

ภาพประกอบที่ 4-9 ผลการทดลองการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with mRGB ด้วย EyePairBig [38]

ภาพประกอบที่ 4-9 แสดงรูปตัวอย่างแสดงการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with mRGB โดยที่ เส้นสีแดง คือ พื้นที่ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with Red Channel, เส้นสีเขียว คือ พื้นที่ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with Green Channel, เส้นสีน้ำเงิน คือ พื้นที่ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-

Jones Algorithm with Blue Channel และ เส้นสีชมพู คือ พื้นที่ที่ได้จากการตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with mRGB Color Space

ในการทดสอบกระบวนการตรวจจับและการค้นหาดวงตา เราได้ใช้พัฒนาตัวตรวจจับด้วยโปรแกรม Matlab 2016a และใช้เครื่องมือ Viola-Jones Vision System Toolbox ในการพัฒนาความแม่นยำในการตรวจจับและการค้นหาตำแหน่งของดวงตา ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้ภาพใบหน้าจากชุดข้อมูลทั้งหมด 324 ภาพ และใช้ Training Set ของ Matlab หลากหลายโมเดล ดังตารางที่ 4-3 มาทดสอบในแต่ละ Color Space (Gr, wGr, mRGB)

ตารางที่ 4-3 แสดงขนาดของตัวตรวจจับจาก Viola-Jones Vision System Toolbox

Model of Detector	Size of Detector (pixel)
EyePairBig	11x45
EyePairSmall	5x22
LeftEye	12x18
RightEye	12x18
LeftEyeCART	20x20
RightEyeCART	20x20

ตารางที่ 4-4 และ ตารางที่ 4-5 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความแม่นยำในการตรวจจับ และระบุตำแหน่งของดวงตา ความผิดพลาดในการตรวจจับ โดยที่

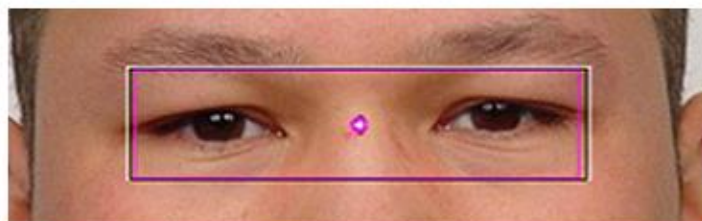
- Right Prediction (R) คือ เปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องในการทำนายตำแหน่งของดวงตา
- False Negative (FN) คือ เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการตรวจจับดวงตา โดยที่พื้นที่ที่ได้ ได้ไม่ครบทั้งดวงตา
- Error Detection (ER) คือ เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในตรวจจับดวงตา

ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับดวงตาของ mRGB และ wGr

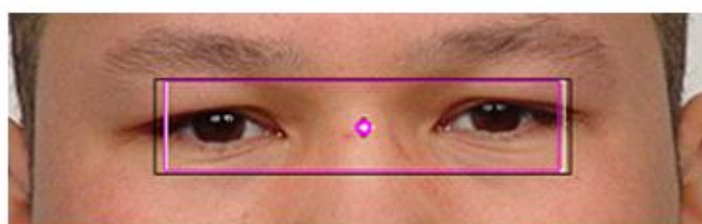
Detector	mRGB			wGr		
	R	FN	ER	R	FN	ER
EyePairBig	99.69	0.00	0.31	99.38	0.62	0.00
EyePairSmall	96.61	1.23	2.16	95.68	3.09	1.23
LeftEye	98.77	0.93	0.30	98.76	1.24	0.00
RightEye	99.69	0.31	0.00	99.38	0.62	0.00
LeftEyeCART	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
RightEyeCART	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับดวงตาของ Gr

Detector	Gr [37]		
	R	FN	ER
EyePairBig	99.07	0.93	0.00
EyePairSmall	95.68	3.08	1.24
LeftEye	98.15	1.54	0.31
RightEye	99.69	0.31	0.00
LeftEyeCART	100.00	0.00	0.00
RightEyeCART	100.00	0.00	0.00



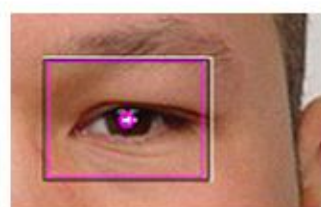
a) EyePairBig



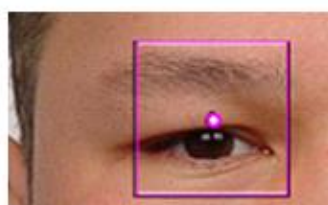
b) EyePairSmall



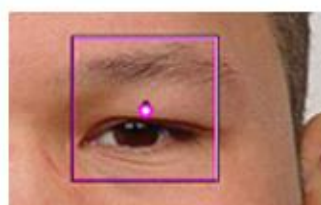
c) RightEye



d) LeftEye



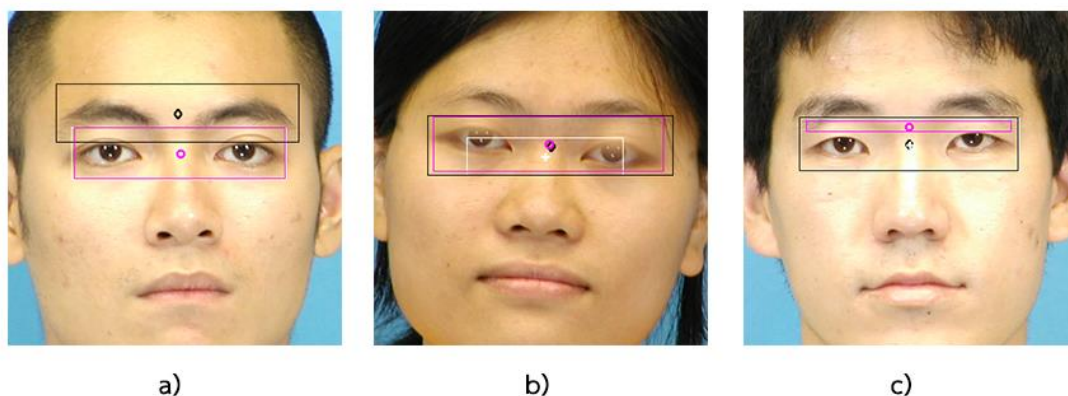
e) RightEyeCART



f) LeftEyeCART

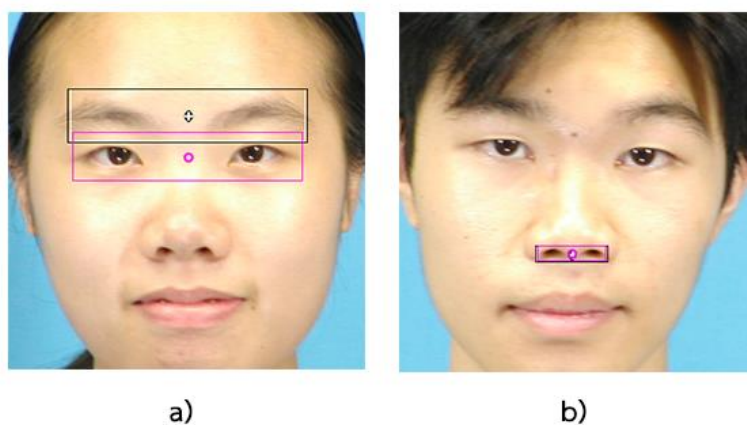
ภาพประกอบที่ 4-10 ตัวอย่างการทดลองการค้นหาดวงตาด้วยโมเดลการตรวจจับที่แตกต่างกันของแต่ละ Color Space (Gr, wGr, mRGB) [38]

ภาพประกอบที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองการตรวจจับและการระบุตำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones บน Color Space ต่างๆ ที่มีตรวจจับได้ถูกต้องและมีความแม่นยำ ซึ่งเส้นสีดำแสดงผลการตรวจจับดวงตาด้วย Gr เส้นสีขาวแสดงผลการตรวจจับดวงตาด้วย wGr และเส้นสีชมพูแสดงผลการตรวจจับดวงตาด้วย mRGB



ภาพประกอบที่ 4-11 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย EyePairBig

ภาพประกอบที่ 4-11 แสดงตัวอย่างการตรวจจับด้วยตาที่มีความผิดพลาด ด้วยตัวตรวจจับ EyePairBig โดยที่ ภาพประกอบที่ 4-11 (a) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ Gr (ได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้ว) ภาพประกอบที่ 4-11 (b) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ wGr (ได้ตำแหน่งของดวงตาที่ไม่ครบองค์ประกอบ) และ ภาพประกอบที่ 4-11 (c) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ mRGB

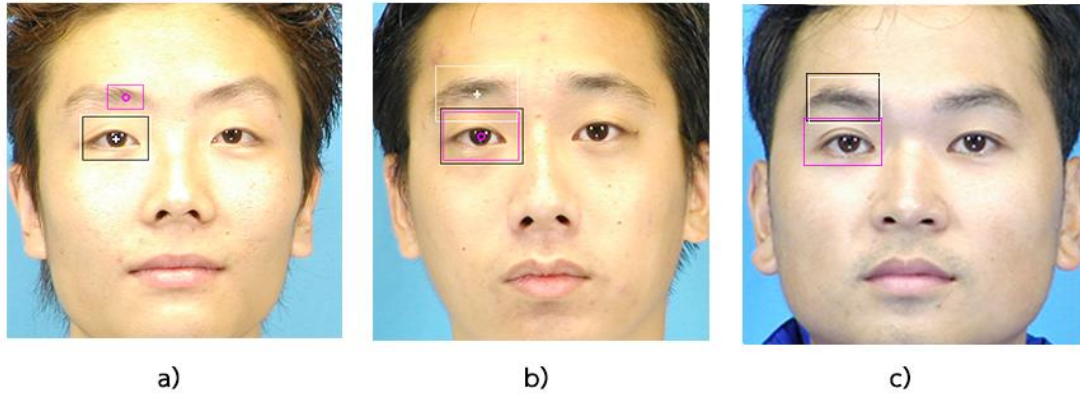


ภาพประกอบที่ 4-12 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย EyePairSmall

ภาพประกอบที่ 4-12 แสดงตัวอย่างการตรวจจับด้วยตาที่มีความผิดพลาด ด้วยตัวตรวจจับ EyePairSmall โดยที่ ภาพประกอบที่ 4-12 (a) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ Gr และ wGr (ได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้ว) และ ภาพประกอบที่ 4-12 (b) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาด

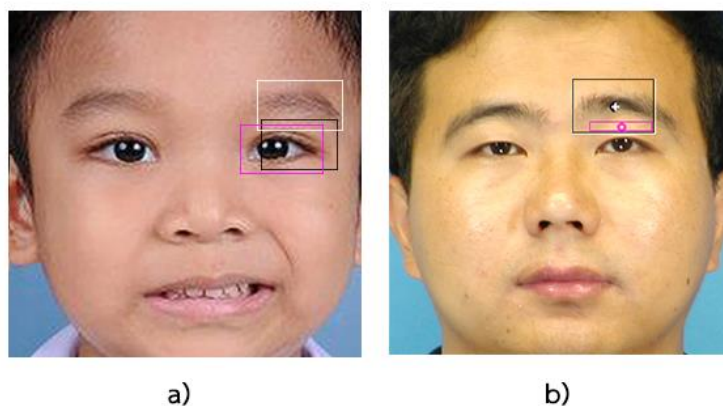


ของ Gr, wGr และ mRGB (ได้ตำแหน่งของพื้นที่ของรูจุมูก ที่มีความคล้ายคลึงกับการตรวจจับดวงตาแบบเป็นคู่)



ภาพประกอบที่ 4-13 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย RightEye

ภาพประกอบที่ 4-13 แสดงตัวอย่างการตรวจจับด้วยตาที่มีความผิดพลาด ด้วยตัวตรวจจับ RightEye โดยที่ ภาพประกอบที่ 4-13 (a) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ mRGB (ได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้ว) ภาพประกอบที่ 4-13 (b) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ wGr (ได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้ว) และ ภาพประกอบที่ 4-13 (c) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ Gr และ wGr (ได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้ว)



ภาพประกอบที่ 4-14 ตัวอย่างการตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดด้วย LeftEye

ภาพประกอบที่ 4-14 แสดงตัวอย่างการตรวจจับด้วยตาที่มีความผิดพลาด ด้วยตัวตรวจจับ LeftEye โดยที่ ภาพประกอบที่ 4-14 (a) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ Gr และ wGr (ได้ตำแหน่งของดวงตาที่ไม่ครบองค์ประกอบและได้ตำแหน่งพื้นที่ของคิ้วใน wGr) และ ภาพประกอบที่ 4-14 (b) คือ การตรวจจับดวงตาที่ผิดพลาดของ Gr, wGr และ mRGB (ได้ตำแหน่งของพื้นที่ของคิ้ว)

ในการค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วยตัวตรวจจับ RightEyeCART และ LeftEyeCART ผลที่ได้จากการทดลองภาพใบหน้า ทั้งหมด 324 ภาพ ผลที่ได้คือ สามารถตรวจจับดวงตาได้ทุกภาพตามผลที่ได้จากตารางที่ 4-4 และตารางที่ 4-5

การทดสอบการตรวจจับและการค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with Color Space ต่างๆ กับขนาดโมเดลของตัวตรวจจับแตกต่างกัน ขนาดพื้นที่ของการตรวจจับดวงตาก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ตารางที่ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่าของ wGr กับ Gr และตารางที่ 4-7 แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ระบุว่าเป็นตำแหน่งดวงตาของ mRGB, wGr และ Gr

ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับที่มีขนาดเล็กกว่าของ wGr และ Gr

Detector	wGr มีขนาดเล็กกว่า Gr (%)	Gr มีขนาดเล็กกว่า wGr (%)	wGr มีขนาดเท่ากับ Gr (%)
EyePairBig	51.55	34.16	14.29
EyePairSmall	46.45	44.84	8.71
LeftEye	49.54	39.01	11.45
RightEye	47.37	40.56	12.07
LeftEyeCART	32.30	31.99	35.71
RightEyeCART	31.79	32.10	36.11

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับของ mRGB, wGr และ Gr

Detector	Size (pixels)		
	mRGB	wGr	Gr
EyePairBig	17,886	19,527	18,972
EyePairSmall	13,255	13,365	13,365
LeftEye	9,085	10,086	10,004
RightEye	9,595	10,201	10,000
LeftEyeCART	14,751	15,862	17,120
RightEyeCART	9,603	9,409	10,000

ตารางที่ 4-8 แสดงอัตราส่วนที่เปรียบเทียบขนาดพื้นที่ที่ระบุว่าเป็นดวงตาระหว่าง mRGB กับ Gr โดยอัตราส่วนหาได้จาก

$$ratio = \frac{Area_{mRGB}}{Area_{Gr}} \quad (4-2)$$

เมื่อ  $Area_{mRGB}$  คือ พื้นที่ที่ระบุว่าเป็นตำแหน่งด้วยตา ด้วย mRGB Color Space

$Area_{Gr}$  คือ พื้นที่ที่ระบุว่าเป็นตำแหน่งด้วยตา ด้วย Grayscale Color Space

ตารางที่ 4-8 แสดงอัตราส่วนของขนาดพื้นที่ดวงตาของ mRGB ต่อ Gr

Detection	Ratio
EyePairBig	0.87
EyePairSmall	0.85
LeftEye	0.71
RightEye	0.78
LeftEyeCART	0.91
RightEyeCART	0.98

จากการทดลองการตรวจจับและค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm กระบวนการ mRGB Color Space มีความแม่นยำในการตรวจจับและระบุตำแหน่งของดวงตาและให้ผลลัพธ์ในการการตรวจจับที่มีขนาดเล็กที่สุดในบรรดา Color Space อื่นๆที่ได้นำมาทดลอง

#### 4.3 ผลการทดสอบการหาระยะห่างของจุดกึ่งกลางภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา

ในการทดสอบหาระยะห่างของจุดกึ่งกลางภาพใบหน้า (Face Region) ระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา ซึ่งภาพ Face Region เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า โดยการทดสอบนี้ใช้วิดีโอทั้งหมด 10 วิดีโอ ซึ่งแต่ละวิดีโอจะมีการกะพริบตาอยู่ โดยการทดสอบจะใช้จากการมองเห็นเทียบกับระบบทำนาย โดยในการหาระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด สามารถหาได้จาก

$$d = \sqrt{(P_{pre\_F}(x) - P_{curr\_F}(x))^2 + (P_{pre\_F}(y) - P_{curr\_F}(y))^2} \quad (4-3)$$

เมื่อ  $d$  คือ การหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด  
 $P_{pre\_F}(x, y)$  คือ จุดกึ่งกลางภาพใบหน้าของเฟรมก่อนหน้า  
 $P_{curr\_F}(x, y)$  คือ จุดกึ่งกลางภาพใบหน้าของเฟรมปัจจุบัน

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการทดสอบการหาระยะห่างของจุดกึ่งกลางภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา ในค่า  $d$  ที่ต่างกัน

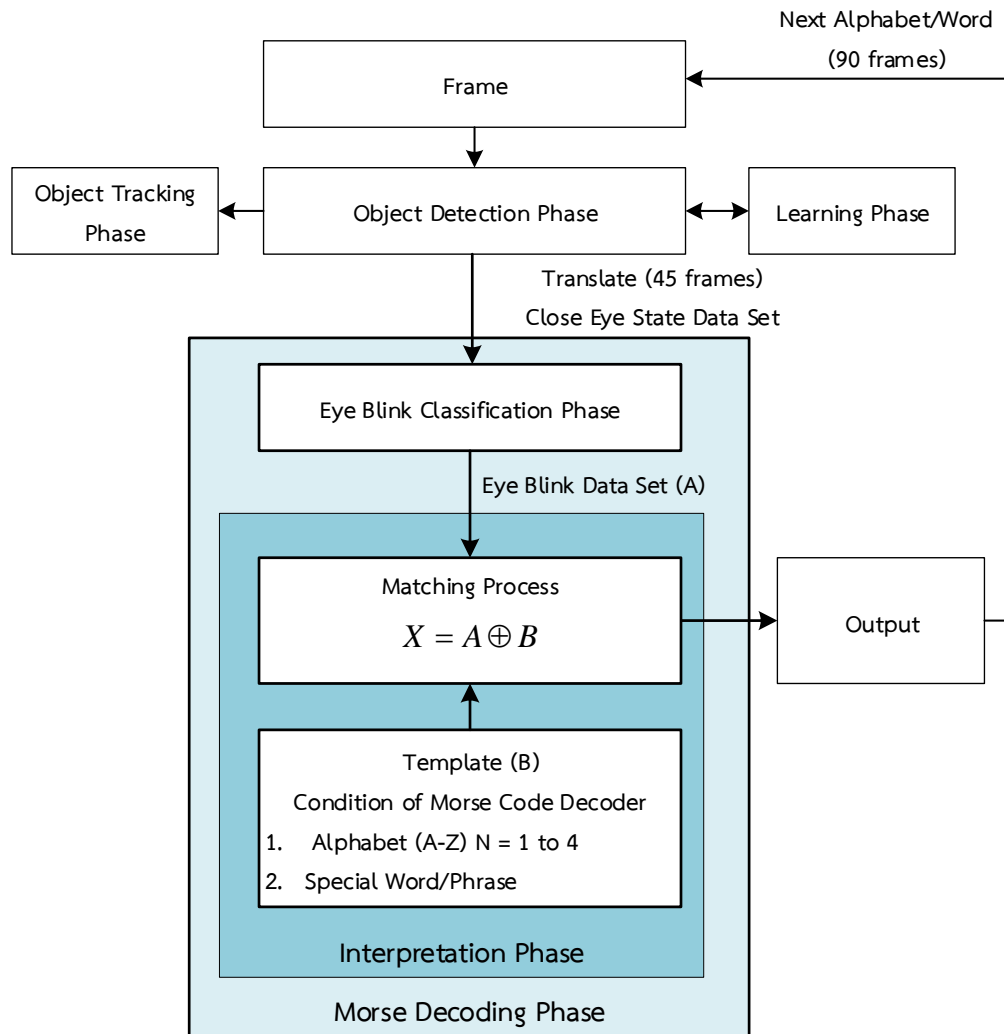
Video	แสดงจำนวนของการปิดตา (ครั้ง)											
	Actual (Real)	Experiment (Predict) ระยะห่างของจุดกึ่งกลางของภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรม ก่อนหน้า ( $d$ )										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V001	8	0	4	5	6	7	7	7	8	8	8	8
V002	12	0	0	2	5	8	9	12	12	12	12	12
V003	7	0	1	3	4	5	6	7	7	7	7	7
V004	7	0	1	1	5	6	7	7	7	7	7	7
V005	7	0	0	3	5	7	7	7	7	7	7	7
V006	5	0	0	1	1	3	3	4	4	4	5	5
V007	8	0	0	0	1	2	4	5	5	6	6	8
V008	4	0	0	0	2	2	2	2	2	3	3	4
V009	6	0	1	1	3	3	3	4	4	5	6	6
V010	8	0	1	2	5	6	6	7	8	8	8	8

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการทดสอบการหาระยะห่างของภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตา ในค่า  $d$  ตั้งแต่ 0 ถึง 10 ซึ่งผลลัพธ์ที่แสดงในตารางแสดงถึงจำนวนการปิดตา ซึ่งมีหน่วยเป็นครั้ง โดยการนับจำนวนการปิดตามี 2 ลักษณะ คือ ด้วยสายตา (Actual/Real Column) และ ด้วยการทดลองของระบบ (Experiment/Predict Column) จากการทดลองพบว่า ระยะห่างของภาพใบหน้าระหว่างเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าเพื่อระบุสถานะปิดตานั้น ค่าที่เหมาะสมกับการทดลอง คือ 10

#### 4.4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบระบบของงานวิจัยชิ้นนี้ ใช้กล้องวิดีโอในการทดสอบระบบ ซึ่งการติดตั้งกล้องวิดีโอ จำเป็นต้องติดตั้งกล้องด้านหน้าของบุคคล โดยภาพที่ได้จากการบันทึกกล้องวิดีโอ

จำเป็นต้องได้ภาพใบหน้าตรง (Frontal Face) เพื่อให้ได้ส่วนประกอบของใบหน้าครบทุกส่วนประกอบ (คิ้ว ตา จมูก ปาก)



ภาพประกอบที่ 4-15 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา

การทดสอบการทำงานของระบบ ระบบได้ถูกพัฒนาให้สามารถแปลความหมายจากการกะพริบตาหรือการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตา ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 4-15 โดยการทดสอบการทำงานของระบบนั้น เราใช้โปรแกรม OpenCV ในการทดสอบระบบ เพื่อวัดประสิทธิภาพและความถูกต้องในการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบมีหลักการการทำงานตามบทที่ 3 ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งการทดสอบสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ

1. การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z)
2. การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ

#### 4.4.1 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ

คือ กระบวนการแปลความหมายของการกะพริบตาด้วยการใช้รูปแบบอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z) เพื่อใช้ในการสื่อความหมาย

<p style="text-align: center;">N = 1</p> <p>T - (B = 1)</p> <p>E . (B = 0)</p>	<p style="text-align: center;">N = 3</p> <p>O --- (B = 111)</p> <p>G --. (B = 110)</p> <p>K -.- (B = 101)</p> <p>D -.. (B = 100)</p> <p>W .-- (B = 011)</p> <p>R ..- (B = 010)</p> <p>U ... (B = 001)</p> <p>S ... (B = 000)</p>	<p style="text-align: center;">N = 4</p> <p>Q ---. (B = 1101)</p> <p>Z ---. (B = 1100)</p> <p>Y -... (B = 1011)</p> <p>C -... (B = 1010)</p> <p>X -... (B = 1001)</p> <p>B -... (B = 1000)</p> <p>J .--- (B = 0111)</p> <p>P .--- (B = 0110)</p> <p>L .--- (B = 0100)</p> <p>F ...- (B = 0010)</p> <p>V ...- (B = 0001)</p> <p>H .... (B = 0000)</p>
<p style="text-align: center;">Error of N = 4</p> <p>1. ---- (B = 1111)      3. .-.- (B = 0101)</p> <p>2. ---. (B = 1110)      4. ..-- (B = 0011)</p>		

ภาพประกอบที่ 4-16 เงื่อนไขการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ภาพประกอบที่ 4-16 แสดงเงื่อนไขการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ โดยใช้กระบวนการ Matching ซึ่งเป็นกระบวนการจับคู่การแปลความหมายจากกะพริบตากับรหัสสมอร์ส สมการที่ (3-15) ในหัวข้อที่ 3.4.2 โดย  $B$  คือ รูปแบบ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดของรหัสสมอร์ส โดยเงื่อนไขของการทำงานด้วยกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามจำนวนรหัสสมอร์ส (N) คือ

1.  $N = 1$  คือ จำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 1 ประกอบไปด้วย 2 ตัวอักษร ได้แก่ T และ E
2.  $N = 2$  คือ จำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 2 ประกอบไปด้วย 4 ตัวอักษร ได้แก่ M, N, A และ I
3.  $N = 3$  คือ จำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 3 ประกอบไปด้วย 8 ตัวอักษร ได้แก่ O, G, K, D, W, R, U และ S
4.  $N = 4$  คือ จำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4 ประกอบไปด้วย 12 ตัวอักษร ได้แก่ Q, Z, Y, C, X, B, J, P, L, F, V และ H

การทดสอบการทำงานของการถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z) ใช้บุคคลทั่วไปในการทดสอบ จำนวน 4 วิดีโอ แต่ละวิดีโอทำซ้ำในแต่ละตัวอักษร 5 ครั้ง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ตารางที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 1

Alphabet			Actual	
			N = 1	
			T	E
Experiment	N=1	T	100.00	0.00
		E	0.00	100.00



ตารางที่ 4-11 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร  
ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 2

Alphabet			Actual			
			N = 2			
			M	N	A	I
Experiment	N = 2	M	100.00	0.00	0.00	0.00
		N	0.00	100.00	0.00	0.00
		A	0.00	0.00	100.00	0.00
		I	0.00	0.00	0.00	100.00

ตารางที่ 4-12 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษร  
ภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 3

Alphabet			Actual							
			N = 3							
			O	G	K	D	W	R	U	S
Experiment	N = 3	O	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		G	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		K	0.00	0.00	90.00	5.00	0.00	0.00	5.00	0.00
		D	0.00	0.00	5.00	85.00	5.00	0.00	0.00	0.00
		W	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00	10.00	0.00	0.00
		R	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	90.00	0.00	0.00
		U	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	0.00	95.00	0.00
		S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Error of N ≠ 3	0.00	5.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

ตารางที่ 4-13 เปอร์เซนต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4

Alphabet		Actual												
		N = 4												
		Q	Z	Y	C	X	B	J	P	L	F	V	H	
Experiment	N = 4	Q	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Z	10.00	85.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Y	0.00	0.00	95.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		C	0.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		X	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		B	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	85.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		J	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		P	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	5.00	0.00	5.00	0.00
		L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.00	5.00	0.00	0.00
		F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00	0.00	0.00
		V	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.00	0.00
		H	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		Error of N = 4	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	10.00	10.00	0.00
	Error of N ≠ 4	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	

ตารางที่ 4-10 และตารางที่ 4-11 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความแม่นยำในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์ส (N) เท่ากับ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าความแม่นยำ คือ 100.00% เนื่องจากจำนวนของรหัสสมอร์สมีน้อย จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการทดสอบน้อยมากหรือเท่ากับ 0

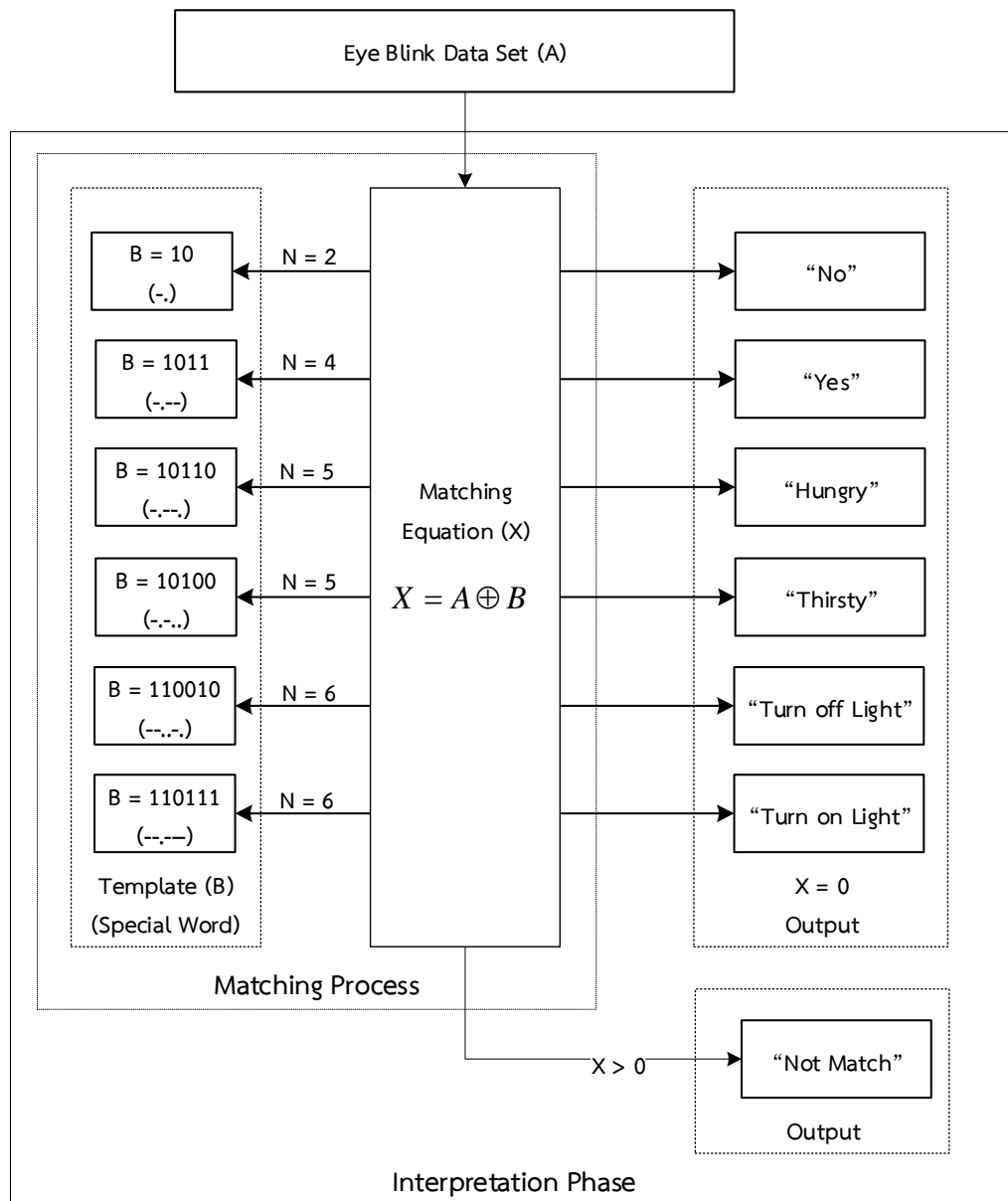
ตารางที่ 4-12 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความแม่นยำในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์ส (N) เท่ากับ 3 โดยที่ Error of  $N \neq 3$  ในตารางดังกล่าว คือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยที่ผู้ใช้งานกะพริบตามากกว่าหรือน้อยกว่าจำนวนรหัสสมอร์สที่ทดลอง ซึ่งมีค่าความแม่นยำในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 3 คือ 91.88%

ตารางที่ 4-13 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความแม่นยำในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4 ซึ่งการทดสอบจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4 ( $N = 4$ ) นั้น จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ 4 กรณี ที่ (แสดงในช่อง Error of  $N = 4$ ) คือ ---- (1111), ---. (1110), .-- (0101) และ ..-- (0011) ดังภาพประกอบที่ 4-16 และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยที่ผู้ใช้งานกะพริบตามากกว่าหรือน้อยกว่าจำนวนรหัสสมอร์สที่ทดลอง (แสดงในช่อง Error of  $N \neq 4$ ) จากตารางดังกล่าว ค่าความแม่นยำจากการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์สเท่ากับ 4 คือ 90.42%

จากการทดสอบการถอดรหัสสัญญาณมอร์สจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษของจำนวนรหัสสมอร์ส (N) เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ค่าความถูกต้องรวมของการทดสอบนี้ คือ 95.58%

#### 4.4.2 การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ

การถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ คือ กระบวนการแปลความหมายของการกะพริบตาด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำหรือวลีที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานเพื่อสื่อสารดังตารางที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 4-17 เงื่อนไขการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยรูปแบบคำพิเศษที่กำหนดไว้

ภาพประกอบที่ 4-17 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา จากรูปแบบคำพิเศษที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการสื่อความหมาย โดยใช้กระบวนการ

Matching ซึ่งเป็นกระบวนการจับคู่การแปลความหมายจากกะพริบตากับรหัสสมอร์ส สมการที่ (3-15) ในหัวข้อที่ 3.4.2 โดย **B** คือ รูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ

การทดสอบการทำงานของการถอดรหัสสัญญาณมอร์สด้วยรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำดังตารางที่ 3-2 ใช้บุคคลทั่วไปในการทดสอบ จำนวน 6 วิดีโอ แต่ละวิดีโอทำซ้ำในตัวอักษรหรือรูปแบบคำพิเศษ 5 ครั้ง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยรูปแบบคำพิเศษ

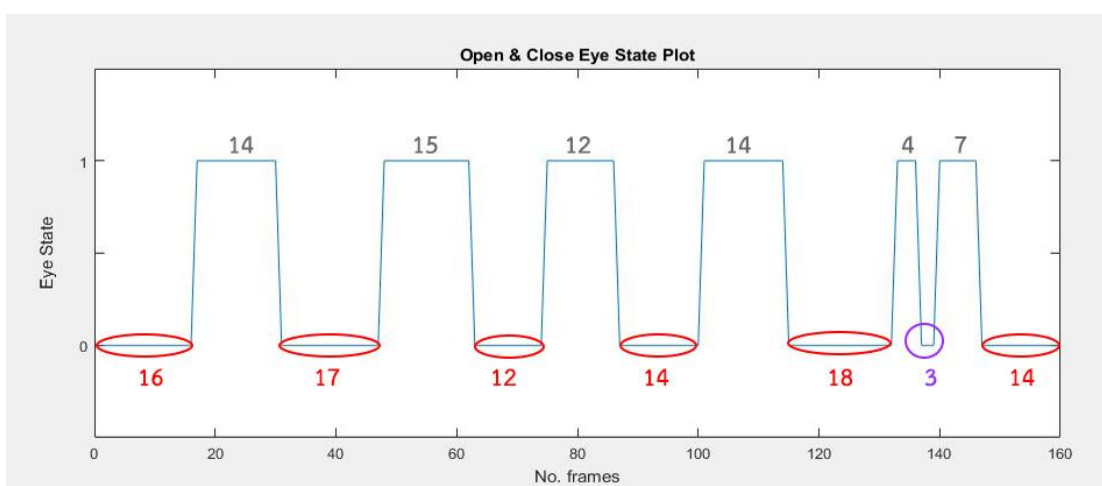
Special Word/Phrase		Actual (Real)					
		No	Yes	Hungry	Thirsty	Turn on light	Turn off Light
Experiment (Predict)	No	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Yes	0.00	96.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	Hungry	0.00	0.00	93.33	0.00	0.00	0.00
	Thirsty	0.00	0.00	0.00	96.67	0.00	0.00
	Turn on light	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	0.00
	Turn off light	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.67
	“Not Match”	0.00	3.33	6.67	3.33	10.00	13.33

ตารางที่ 4-14 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความแม่นยำในการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยตัวอักษรด้วยการกำหนดรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้ในการสื่อสารเป็นประจำ โดยที่ “Not Match” คือ ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงกับคำที่ผู้ใช้งานต้องการสื่อความหมาย ซึ่งจากตารางดังกล่าว วัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องรวมของการแปลความหมายจากการกะพริบตาด้วยรูปแบบคำพิเศษ คือ 93.89% และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเกิดจากการกำหนดการกะพริบตามีรูปแบบการกำหนดคำที่ยาว ทำให้ผู้ใช้งานอาจมีความล่าช้าจากการกะพริบตาและผู้ใช้งานจะต้องจำรูปแบบการกำหนดคำก่อนที่จะสื่อสาร

#### 4.5 ตัวอย่างการถอดรหัสสมอร์สจากการกะพริบตา

ตัวอย่างการถอดรหัสสมอร์สจากการกะพริบตา คำที่ใช้ตัวอย่าง คือ Turn off Light มีสัญลักษณ์รหัสสมอร์ส คือ **ขีด ขีด จุด จุด ขีด จุด** (---.) ซึ่งดูได้จากตารางที่ 3-2

ในการทดสอบการถอดรหัสสมอร์สจากการกะพริบตาด้วยคำ Turn off Light จำนวน 160 เฟรม ซึ่งแสดงข้อมูลที่ได้จากการค้นหาดวงตาให้อยู่ในรูปของกราฟดังภาพประกอบที่ 4-18

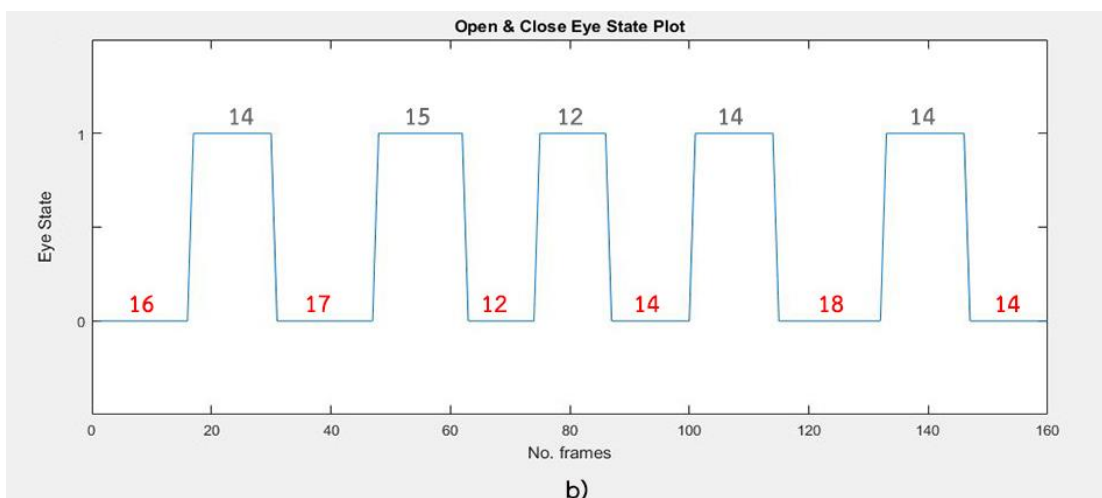


ภาพประกอบที่ 4-18 กราฟแสดงข้อมูลสถานะดวงตา

จากภาพประกอบที่ 4-18 แสดงสถานะการเปิดและปิดตาที่อยู่ในรูปของกราฟ ซึ่ง แกน x แสดง จำนวนเฟรมที่แสดง และแกน y คือ สถานะของดวงตา โดยที่ Eye State เท่ากับ 1 คือ เปิดตา และ Eye State เท่ากับ 0 คือ ปิดตา โดยการถอดรหัสสัญลักษณ์สมอร์สนั้นเราจะพิจารณา เฉพาะ Eye State เท่ากับ 0 จากภาพดังกล่าว สามารถวิเคราะห์การปิดตาได้ 2 กรณี คือ

1. การกะพริบตาแบบ Involuntary หรือการกะพริบตาแบบ Reflexive (วงกลมสีม่วง ที่แสดงบนภาพประกอบที่ 4-18)
2. การกะพริบตาแบบ Voluntary (วงกลมสีแดง ที่แสดงบนภาพประกอบที่ 4-18)

การถอดรหัสสมอร์สจากการกะพริบตาในงานวิจัยชิ้นนี้พิจารณาเฉพาะการกะพริบตาแบบ Voluntary เท่านั้น



ภาพประกอบที่ 4-19 กราฟแสดงข้อมูลสถานะของดวงตาที่มีการตัดการกะพริบตาแบบ Involuntary ออกไป

ภาพประกอบที่ 4-19 แสดงข้อมูลการสถานะของดวงตา โดยการตัดส่วนที่เป็น การกะพริบตาแบบ Involuntary และ การกะพริบตาแบบ Reflexive ออก (วงกลมสีม่วง จาก ภาพประกอบที่ 4-18) หลังจากได้เฉพาะการกะพริบตาแบบ Voluntary เรียบร้อยแล้ว เราจะนำมา วิเคราะห์เฉพาะสถานะปิดตา (Eye State เท่ากับ 0) เท่านั้น

จากภาพประกอบที่ 4-19 ข้อมูลของสถานะปิดตาที่ได้จากตัวอย่างนี้คือ 16 17 12 14 18 14 ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้ไปเข้ากระบวนการตัดแยกการกะพริบตาและการแปลความหมาย โดยการตัดแยกข้อมูล เราใช้การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยเคมีน ที่กำหนดค่า  $k = 2$  (2 กลุ่ม คือ การกะพริบตาแบบสั้นและแบบยาว) จะได้จุดศูนย์กลาง (Center/Centroid) ของกลุ่มแรก เท่ากับ 13.33333 คือ การกะพริบตาแบบสั้น (แทนด้วยสัญลักษณ์ จุด ของรหัสสมอร์ส) และ จุดศูนย์กลางของ กลุ่มที่ 2 เท่ากับ 17 คือการกะพริบตาแบบยาว (แทนด้วยสัญลักษณ์ ขีด ของรหัสสมอร์ส) ดังนั้น สมาชิกในกลุ่มแรก ประกอบไปด้วย 12 14 14 และสมาชิกของกลุ่มที่ 2 คือ 16 17 18 เมื่อนำมาแปล ความหมายจะได้ ขีด ขีด จุด จุด ขีด จุด (1 1 0 0 1 0) ซึ่งมีความหมายตรงกับ Turn off Light

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยของระบบตรวจจับใบหน้า การค้นหาตำแหน่งของดวงตา และการถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตา รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จะมีผลประโยชน์ต่องานวิจัย

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและออกแบบระบบให้พร้อมใช้งานได้ในเวลาจริง โดยนำเสนอวิธีการการตรวจจับใบหน้า การค้นหาตำแหน่งของดวงตา และการถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตา ด้วยกล้องวีดีโอ ดังนี้

1. สร้างขอบเขตการค้นหาดวงตา (EyeROI) จากภาพที่ระบุว่าเป็นใบหน้า (Face Region) เพื่อลดเวลาในการประมวลผลของระบบ
2. พัฒนาการตรวจจับและการค้นหาตำแหน่งของดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm with Mixture of RGB Color Space เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับดวงตา
3. เปรียบเทียบตัวตรวจจับดวงตาด้วย Viola-Jones Algorithm ด้วย Color Space ต่างๆ คือ Grayscale, Weighted Grayscale และ Mixture of RGB เพื่อค้นหาพื้นที่ที่เป็นดวงตาที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่สามารถลดเวลาในการประมวลผลของระบบ
4. เพิ่มกระบวนการติดตามดวงตา เพื่อสร้างความแม่นยำและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการตรวจจับและค้นหาดวงตา
5. คัดแยกการกะพริบตาจากการแบ่งกลุ่มด้วยเคมินที่ให้ความยืดหยุ่นในการคัดแยกการกะพริบตาสูง
6. สร้างรูปแบบพิเศษสำหรับคำที่ใช้สื่อสารเป็นประจำ เพื่อให้สะดวกต่อการสื่อสาร
7. สร้างระบบการแปลความหมายจากการกะพริบตา



## 5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอระบบตรวจจับใบหน้า การค้นหาตำแหน่งของดวงตา และการถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตาด้วยกล้องวิดีโอ ซึ่งระบบสามารถถอดรหัสมอร์สจากการกะพริบตา โดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมต่างๆ ที่ได้นำมาพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในเวลาจริง (Real Time) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบเพื่อวัดประสิทธิภาพในการทำงานเมื่อทดสอบบน OpenCV คือ 94.74% และความเร็วเฉลี่ยของการทำงานของระบบ คือ 25 เฟรมต่อวินาที ซึ่งค่าความผิดพลาดในการถอดรหัสสัญญาณมอร์สที่เกิดขึ้นจากการทดสอบระบบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของรหัสมอร์ส การจดจำการรูปแบบตัวอักษรภาษาอังกฤษกับรหัสมอร์ส การล่าจากการกะพริบตาและเกิดจากการกะพริบตาแบบสั่นเกินไป ซึ่งมีความหมายเดียวกับการกะพริบตาแบบ Involuntary

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานของระบบ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของรหัสมอร์ส เพื่อประกอบการใช้งาน และผู้ใช้งานจะต้องจำรูปแบบของตัวอักษร คำและวลีที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น
2. ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถนำไปต่อยอดเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยที่มีภาวะอัมพาต หรือผู้ป่วยที่มีสภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรง เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยสามารถสื่อสารกับบุคคลรอบข้าง (Caretaker) ได้
3. ประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายคำหรือประโยคที่ต้องการจะสื่อความหมายของกระบวนการแปลความหมายจากการกะพริบตา เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและเข้าใจถึงความหมายที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง

## บรรณานุกรม

- [1] Y. Kurylyak, F. Lamonaca, and G. Mirabelli, "*Detection of the eye blinks for human's fatigue monitoring*," in 2012 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2012, pp. 1-4.
- [2] C. Xu, Y. Zheng, and Z. Wang, "*Efficient eye states detection in real-time for drowsy driving monitoring system*," in International Conference on Information and Automation, 2008. ICIA 2008, 2008, pp. 170 –174.
- [3] W. Liu, Y. Wang, and L. Jia, "*An effective eye states detection method based on projection*," in 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP), 2010, pp. 829 –831.
- [4] F. Wang, M. Zhou, and B. Zhu, "*A novel feature based rapid eye state detection method*," in 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2009, pp. 1236 –1240.
- [5] A. Krolak and P. Strumillo, "*Vision-based eye blink monitoring system for human-computer interfacing*," in 2008 Conference on Human System Interactions, 2008, pp. 994 –998.
- [6] N. Alioua, A. Amine, M. Rziza, and D. Aboutajdine, "*Eye state analysis using iris detection based on Circular Hough Transform*," in 2011 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2011, pp. 1–5.
- [7] Hyungkeun Jee, Kyunghee Lee and Sungbum Pan, "*Eye and face detection using SVM*," Proceedings of the 2004 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, 2004., Melbourne, Vic., Australia, 2004, pp. 577-580.
- [8] R. Aliradi, N. Bouzera, A. Meziane and A. Belkhir, "*Detection of Facial Components Based on SVM Classification and Invariant Feature*," 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), Atlanta, GA, 2013, pp. 30-36.
- [9] Yuanbo Yang, Chenggang Xie, Liebo Du and Qin Lu, "*A new face detection algorithm based on skin color segmentation*," 2015 Chinese Automation Congress (CAC), Wuhan, 2015, pp. 523-526.
- [10] I. Paukner Stojkov and S. Loncaric, "*A method for eye detection in face images*," in 2010 Proceedings of the 33rd International Convention MIPRO, 2010, pp. 718 –721.

- [11] H. A. Alabbasi and F. Moldoveanu, "*Human face detection from images, based on skin color,*" 2014 18th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, 2014, pp. 532-537.
- [12] G. Xu, Y. Xiao, S. Xie and S. Zhu, "*Face detection based on skin color segmentation and AdaBoost algorithm,*" 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, 2017, pp. 1756-1760.
- [13] M. A. Zia, U. Ansari, M. Jamil, O. Gillani and Y. Ayaz, "*Face and eye detection in images using skin color segmentation and circular hough transform,*" 2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE), Islamabad, 2014, pp. 211-213.
- [14] C. Xu, Y. Zheng, and Z. Wang, "*Eye states detection by boosting Local Binary Pattern Histogram features,*" in 15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008. ICIP 2008, 2008, pp. 1480 –1483.
- [15] I. Choi, S. Han, and D. Kim, "*Eye detection and eye blink detection Using AdaBoost learning and grouping,*" in 2011 Proceedings of 20th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011, pp. 1–4.
- [16] A. Cristiani, M. Porta, D. Gandini, G. M. Bertolotti, and N. Serbedzija, "*Driver drowsiness identification by Means of Passive techniques for eye detection and tracking,*" in 2010 Fourth IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshop (SASOW), 2010, pp. 142–146.
- [17] G. Luh, "*Face detection using combination of skin color pixel detection and Viola-Jones face detector,*" 2014 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Lanzhou, 2014, pp. 364-370.
- [18] Q. Li, U. Niaz and B. Merialdo, "*An improved algorithm on Viola-Jones object detector,*" 2012 10th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Annecy, 2012, pp. 1-6.
- [19] Tabatabaie, Z.S., Rahmat, R.W., Udzir, N.I., & Kheirkhah, E, "A hybrid face detection system using combination of Appearance-based and Feature-based methods," International Journal of Computer Science and Network Security. 9 (May 2009), 2009, pp. 181-185.
- [20] F. Comaschi, S. Stuijk, T. Basten and H. Corporaal, "*RASW: A run-time adaptive sliding window to improve Viola-Jones object detection,*" 2013 Seventh International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC), Palm Springs, CA, 2013, pp. 1-6.

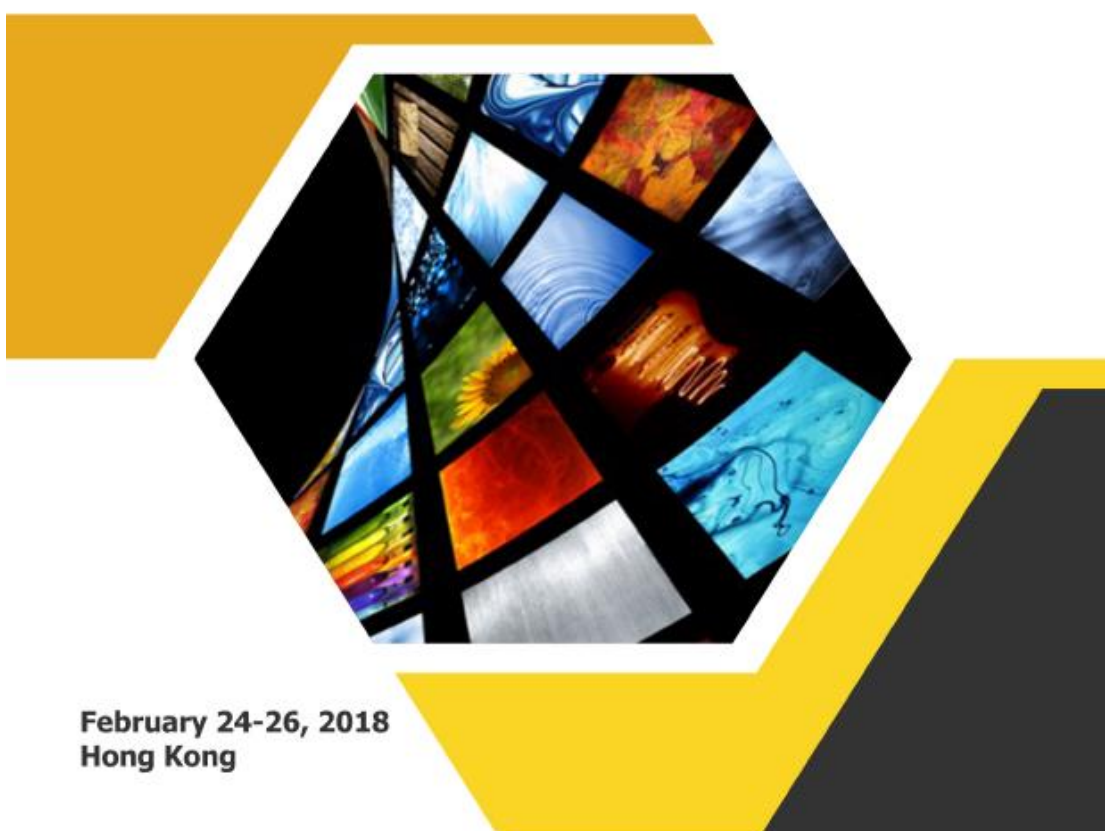
- [21] S. R. Lang, M. H. Luerssen and D. M. W. Powers, "*Evolutionary feature Preselection for Viola-Jones Classifier Training*," 2012 Spring Congress on Engineering and Technology, Xian, 2012, pp. 1-4.
- [22] Q. Li, U. Niaz and B. Merialdo, "*An improved algorithm on Viola-Jones object detector*," 2012 10th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Annecy, 2012, pp. 1-6.
- [23] A. E. Maghraby, M. Abdalla, O. Enany and M. Y. E. Nahas, "*Hybrid face detection system using combination of Viola-Jones method and skin detection*," International Journal of Computer Applications, VOL.71 No.6, May 2013.
- [24] M. Da'san, A. Alqudah and O. Debeir, "*Face detection using Viola and Jones method and neural networks*," 2015 International Conference on Information and Communication Technology Research (ICTRC), Abu Dhabi, 2015, pp. 40-43.
- [25] K. T. Talele and S. Kadam, "*Face detection and geometric face normalization*," TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference, Singapore, 2009, pp. 1-6.
- [26] M. S. Reddy, A. Sammaiah, B. Narsimha and K. S. Rao, "*Analysis of EOG signals using Empirical Mode Decomposition for eye blink detection*," 2011 International Conference on Multimedia and Signal Processing, Guilin, Guangxi, 2011, pp. 293-297.
- [27] M. S. Reddy, B. Narasimha, E. Suresh and K. S. Rao, "*Analysis of EOG signals using wavelet transform for detecting eye blinks*," 2010 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), Suzhou, 2010, pp. 1-4.
- [28] N. M. M. Noor and M. A. M. Mustafa, "*Eye movement activity that affected the eye signals using electrooculography (EOG) technique*," 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Batu Ferringhi, 2016, pp. 91-95.
- [29] W. B. Horng C. Y. Chen Y. Chang C. H. Fan: "*Driver fatigue detection based on eye tracking and dynamic template matching*," Proc. of IEEE Int. Conf. on Networking Sensing and Control, 2004, pp.7-12.
- [30] T. N. Bhaskar, F. T. Keat, S. Ranganath, and Y. V. Venkatesh, "*Blink detection and eye tracking for eye localization*," in Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region TENCON 2003, 2003, vol. 2, pp. 821–824 Vol.2.
- [31] K. Ohzeki and B. Ryo, "*Video analysis for detecting eye blinking using a high-speed camera*," in Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2006. ACSSC '06, 2006, pp. 1081 –1085.

- [32] Panning, A. Al-Hamadi, and B. Michaelis, “A color based approach for eye blink detection in image sequences,” in 2011 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), 2011, pp. 40 –45.
- [33] F. Yutian, H. Dexuan, and N. Pingqiang, “A combined eye states identification method for detection of driver fatigue,” in IET International Communication Conference on Wireless Mobile and Computing (CCWMC 2009), 2009, pp. 217 – 220.
- [34] “International Morse code ITU-R M.1677-1,” International Telecommunications Union, 2009-10.
- [35] S. Westland, V. Cheung, RGB Systems, 2015, pp. 1-6.
- [36] S. Johnson, Stephen Johnson on Digital Photography, 2006.
- [37] Viola, P. and Jones, M. 2001. “Robust real-time object detection,” in 2001 International Journal of Computer Vision, 57 (May 2001), pp. 137-154.
- [38] C. Thongleng and W. Keawapichai, “Case studies to improve Viola-Jones for eye detection,” in 2018 International Conference on Image and Graphics Processing (ICIGP), 2018, pp. 48-52.
- [39] G. Welch, G. Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter”,1995.
- [40] V. Faber, “Clustering and the continuous K-means algorithm”, 1994.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วิทยานิพนธ์

**Proceedings of  
2018 International Conference on  
Image and Graphics Processing  
ICIGP 2018**



**February 24-26, 2018  
Hong Kong**



ACM ISBN: 978-1-4503-6367-9



## Case Studies to Improve Viola-Jones for Eye Detection

Chaninart Thongleng  
Department of Computer Engineering  
Prince of Songkla University  
Songkhla, Thailand  
6010120058@psu.ac.th

Wacharin Kaewapichai  
Department of Computer Engineering  
Prince of Songkla University  
Songkhla, Thailand  
+66 74287075  
watcharin@coe.psu.ac.th

### ABSTRACT

In this paper, we introduced two case studies to improve Viola-Jones for eye position prediction. The gray scale image was used as testing image for Viola-Jones to predict face, eye, and mouth position from the image. The first case study was a different weight parameter set of RGB image to gray scale image converter (wGr). The introduced weighted parameters were extracted from correlation of each color space to obtain the accuracy of eye position prediction by Viola-Jones. Another case study was the Mixture of RGB (mRGB) which each color: Red, Green, and Blue layer (0-255) was used as gray scale testing image separately. Two-thirds intersection region from each color layers was eye predicted area. Experimental results showed different accuracy of the two case studies which accuracy of mRGB was better than that of wGr and normal gray scale. Furthermore, computational cost of mRGB was higher than others, but predicted area of mRGB was the smallest. The small area of eye position will be used in next process for eye blink decoding. The decoding message could help paralysis patients to communicate with caretakers.

### CCS Concepts

• Computing methodologies → Image segmentation.

### Keywords

Eye detection; Viola-Jones; Weighted gray scale.

### 1. INTRODUCTION

Nowadays, paralysis patients are increasing in Thailand. A problem of the patient is about the communication with medical caretaker and relatives. Most of the patients cannot speak, but eye blink is in good condition. Therefore, the eye blink decoding is a high efficient method for the patients to communicate with other people.

In principle, eye position must be located for eye blink decoding. Thus, a popular face detection algorithm named Viola-Jones [6] should be improved to increase accuracy for eye position detection. The environment of the patient's room is controlled while variation of light in the room is low for a whole day. The

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [Permissions@acm.org](mailto:Permissions@acm.org).  
*ICIGP 2018*, February 24–26, 2018, Hong Kong, Hong Kong  
© 2018 Association for Computing Machinery.  
ACM ISBN 978-1-4503-6367-9/18/02...\$15.00  
<https://doi.org/10.1145/3191442.3191456>

classical Viola-Jones algorithm for face detection is operated on gray scale space. In this paper, we introduced case studies to improve efficiency of Viola-Jones for face detection operated on mixture of RGB and weighted gray scale, leading to higher detection rates and accurate detection when compared to previous work.

### 2. LITERATURE REVIEW

Several researchers have developed algorithms to extract face and eye positions. Alioua et al. [1] applied Support vector machine (SVM) to extract face position. The SVM is a very high accuracy machine for learning algorithm, but the use of computational resource is a disadvantage because of algorithms complexity. Choi et al. [2] introduced Modified census transform (MCT) to reduce illumination variance in testing and training data set for Adaboost classifier for face recognition. A result of applied MCT to Adaboost improved speed of Adaboost, however, a number of missing detection remained high. Color spaces such as RGB, YCbCr, YCbCr' and HSV are adapted to extract possibility of face position by color comparison, but the background color and nationality reduce the accuracy of these techniques. The geometries of human face parameters introduced by previous reports [3-4] are a fast technique to analyse face, eyes, noses and mouth ratios but cause high missing rate. It has been reported that histogram of texture was applied to extract eye position in an image, however, the efficiency of this technique depends on contrast and illumination of image [5].

Machine learning algorithm named Viola-Jones is a high efficiency algorithm to extract possibility of face, eyes, and mouth positions because of low computational cost and less false prediction rate [6]. Efficiency of classical Viola-Jones algorithm to extract eyes positions were investigated by previous reports [7-8]. Many researchers have improved speed and accuracy of Viola-Jones. Improvement of algorithms can be divided into three groups: Pre-processing, Processing, and Post-processing improvement algorithms.

Color spaces: RGB, RGB-CbCrCg, YCbCr and HSV are applied in Pre-processing state to create region of interest (ROI) of face position in an image by color comparison [9-11]. These techniques reduce numbers of sliding windows loop of Viola-Jones, but object color which is close to face color will decrease the efficiency of Viola-Jones.

A single windows size of windows sliding in Viola-Jones is specified for Processing improvement. The run-time adaptive sliding windows have been introduced by Comaschi et al. to improve efficiency [12]. Pre-selected feature by evolution algorithm is applied in Training process to increase efficiency of Viola-Jones. Moreover, Li et al. [13] applied SVM model to predict feature image in training dataset.

For Post-processing improvement, Maghraby et al. [14] applied skin classification to confirm the detected object from Viola-Jones. Da'san et al. [15] studied the Gabor Filter Wavelet, Principal Component Analysis (PCA), and Neural-network to classify the interested or non-interested objects from Viola-Jones results. The incline face detection was improved by Geometric Normalization introduced by Talele et al. [16]. It was reported that Geometric Normalization could improve the capability of Classical Viola-Jones but not support incline face. In contrast to high cost of detection, the algorithms adapted to Viola-Jones can increase the detection accuracy.

In this paper, the preprocessing algorithms, weighted gray scale and mixture of RGB were investigated to improve the performance of Viola-Jones. The contrast, brightness, and environmental conditions were less affected the possibility of eyes positions by Viola-Jones.

### 3. VIOLA-JONES WEIGHTED GRAY SCALE AND WITH MIXTURE OF RGB

Viola-Jones algorithm [6] provides high and rapid detection rates which contains three distinguished keys: Integral Image, Adaboost Learning, and Cascade Classifier. The Integral image was computed from input image and represented adjacent area. The value of the integral image at a window  $i(x', y')$  is a summation of pixels above and to the left of  $(x', y')$  as follows in the windows (24×24 pixels):

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

Haar-Like features were applied in this algorithm which was divided into three kinds of features: two-rectangle feature, three-rectangle feature, and four-rectangle feature as shown in Figure 1. A value extracted from Integral image differences in adjacent areas based on Haar-Like features presented the rapid and efficient feature.

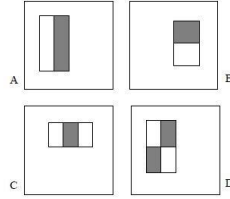


Figure 1. Haar-Like features [6].  
(a) and (b) two-rectangle (c) three-rectangle (d) four-rectangle.

Adaboost Learning algorithm is a method for constructing a classifier by the rectangle features. It is divided into face or non-face region. This algorithm will select features representing possible face with threshold (weak classifier) and create a strong final classifier which modified Adaboost algorithm will reduce computational cost. The weak classifier ( $h_j(x)$ ) was calculated by an equation below:

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Where  $x$  is 24×24 pixels sub window,  $p_j$  is parity,  $f_j$  is Haar features,  $\theta_j$  is threshold and weak classifier.

The final strong classifier ( $f(x)$ ) was created by combining weak classifier. It is calculated by

$$f(x) = \sum_{l=1}^T \alpha_l h_l(x) \quad (3)$$

Where  $h_l(x)$  is a result of weak classifier and  $\alpha_l$  is weight calculated by the Adaboost.

The Cascade process (Figure 2) was used to increase detection and decrease false positive rate by the same classifier. Each stage in cascade decreased the number of computation. The original Viola-Jones algorithm used gray scale image to calculate Integral Image. In case of nationality and brightness difference between training and testing set, Viola-Jones efficiency was discouraged. Therefore, in this study, we improved Viola-Jones algorithm for different nationality between training and testing set. Two color space models; Weighted Gray Scale (wGr) and Mixture RGB (mRGB), were used as image features for process of Integral Image calculation to compare with original Viola-Jones.

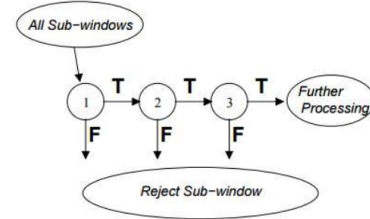


Figure 2. The structure of cascade classifier [6].

#### 3.1 Weighted Grayscale (wGr)

Normal gray scale image is an average image from RGB image with 0.299, 0.587, and 0.114 weights for red, green, and blue components, respectively. This studied case introduced different parameters set for RGB to gray scale image converter. From 324 face images testing set, red, green, and blue color layers of each face image were extracted as separated gray scale image  $G_R$ ,  $G_G$ , and  $G_B$  (0-255) for original Viola-jones to detect eye position, respectively. Thus, 311, 323, and 324 images were number of correctly predicted eye positions by Viola-Jones from  $G_R$ ,  $G_G$ , and  $G_B$ , accordingly. A new normalized weight parameters RGB to gray scale converter was as follow:

$$wGr = 0.325R + 0.337G + 0.338B \quad (4)$$

where  $R$ ,  $G$ , and  $B$  are red, green, and blue color channels, respectively.

#### 3.2 Mixture of RGB (mRGB)

For our second study, RGB color space consisted of three independent channels red, green and blue primary color

components. Each component replaced the intensity information for Viola-Jones algorithm to predict eye regions. The predicted regions were represented by logic 1 in a binary image from each color component. Less two-thirds intersection region of binary images represent the predicted eyes region by Intersection process as shown in Figure 3.

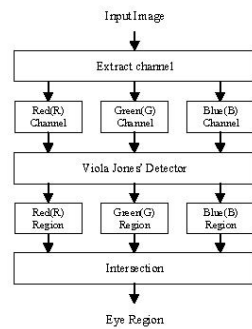


Figure 3. mRGB color space flowchart.

#### 4. EXPERIMENTAL RESULT

Matlab 2016 including Viola-Jones vision system toolbox is a software for our test to improve accuracy of eye detection. The 324 face images were used as a testing set. Viola-Jones required training image set. Various image sizes for eye detection training data set by Matlab training dataset were EyePairBig, EyePairSmall, LeftEye, RightEye, LeftEyeCART, and RightEyeCART with values of 11×45, 5×22, 12×18, 20×20, and 20×20 pixels, respectively. Table 1 and 2 show percentages of Right prediction, False negative and Error detection:

- Right prediction (R) is percentage of right prediction eye position.
- False negative (FN) is percentage of missed and detected eye position.
- Error detection (ER) is percentage of unpredicted eye position.

Table 1. Eye detection correction of mRGB and WGr

Detection	mRGB			wGr		
	R	FN	ER	R	FN	ER
EyePairBig	99.69	0.00	0.31	99.38	0.62	0.00
EyePairSmall	96.61	1.23	2.16	95.68	3.09	1.23
LeftEye	98.77	0.93	0.30	98.76	1.24	0.00
RightEye	99.69	0.31	0.00	99.38	0.62	0.00
LeftEyeCART	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
RightEyeCART	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00

Table 2. Eye detection correction of normal gray scale

Detection	Normal Gray Scale[6]		
	R	FN	ER
EyePairBig	99.07	0.93	0.00
EyePairSmall	95.68	3.08	1.24
LeftEye	98.15	1.54	0.31
RightEye	99.69	0.31	0.00
LeftEyeCART	100.00	0.00	0.00
RightEyeCART	100.00	0.00	0.00

Area size of eye detection is one of an important parameter affecting the computation cost for next process. Consequently, they were compared and represented as the percentage of smaller area as shown in Table 3. Table 4 shows the average area between mRGB, wGr, and normal gray scale of 324 face images testing set.

Table 3. Percentage of smaller area

Detection	wGray (%)	Gray (%)	Equal (%)
EyePairBig	51.55	34.16	14.29
EyePairSmall	46.45	44.84	8.71
LeftEye	49.54	39.01	11.45
RightEye	47.37	40.56	12.07
LeftEyeCART	32.30	31.99	35.71
RightEyeCART	31.79	32.10	36.11

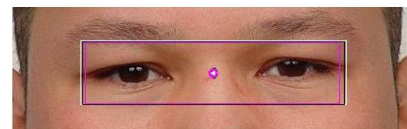
Table 4. Average detected area of mRGB, gray scale and weighted gray scale

Detection	Size (pixels)		
	mRGB	wGr	GrayScale
EyePairBig	17886	19527	18972
EyePairSmall	13255	13365	13365
LeftEye	9085	10086	10004
RightEye	9595	10201	10000
LeftEyeCART	14751	15862	17120
RightEyeCART	9603	9409	10000

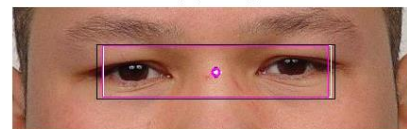
In case of mRGB and Normal gray scale comparison, the predicted eye area detected by Viola-Jones with mRGB was the smallest.

Table 5. The ratio of eye size detected by mRGB and normal gray scale

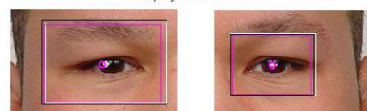
Detection	Area detection by mRGB / area detection by normal Gray scale
EyePairBig	0.87
EyePairSmall	0.85
LeftEye	0.71
RightEye	0.78
LeftEyeCART	0.91
RightEyeCART	0.98



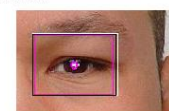
a) EyePairBig



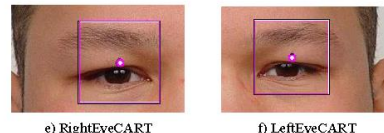
b) EyePairSmall



c) RightEye



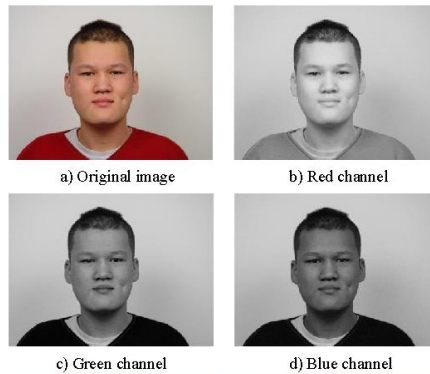
d) LeftEye



e) RightEyeCART f) LeftEyeCART

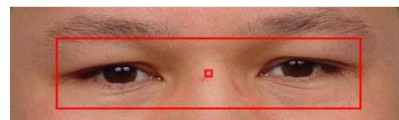
Figure 4. Example of predicted eye position.

Figure 4 shows the comparison results of Viola-Jones eye positions detection with different input image. Black, white, and magenta lines represented the results from input images; normal gray scale, wGr, and mRGB, respectively.

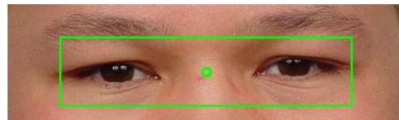


a) Original image b) Red channel

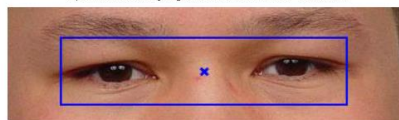
c) Green channel d) Blue channel



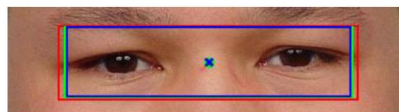
e) Predicted eye position of red channel



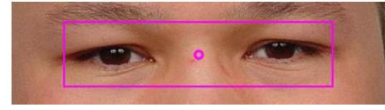
f) Predicted eye position of Green channel



g) Predicted eye position of Blue channel



h) Predicted eye position of red, green, and blue channels



i) Intersection area of predicted eye position from red, green, and blue channels

Figure 5. Mixture of RGB color space experimental results.

## 5. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

In this paper, we proposed two case studies to improve Viola-Jones with eye detection. Mixture of RGB color space provided the highest detection rate and smallest detected area, but computational cost was three times higher than normal gray scale and weighted gray scale. The predicted eye area will be further investigated for next process of eye blink decoding to help paralysis patients to communicate with caretakers. The smaller of the predicted area can reduce computational costs of the decoding.

## 6. REFERENCES

- [1] Alioua, N., Amine, A., Rziza, M. and Aboutajdine, D. 2011. Eye state analysis using Iris detection based on Circular Hough Transform. In *Proceedings of the International Conference on Multimedia Computing and Systems* (Ouarzazate, Morocco, April 7-9, 2011). IEEE, 1-5.
- [2] Choi, I., Han, S. and Kim, D. 2011. Eye detection and eye blink detection using AdaBoost learning and grouping. In *Proceedings of the 20th International Conference on Computer Communications and Networks* (Maui, HI, USA, July 31-August 4, 2011). IEEE, 1-4.
- [3] Zobel, M., Gebhard, A., Paulus, D., Denzler, J. and Niemann, H. 2000. Robust facial feature localization by coupled features. In *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition* (Grenoble, France, March 28-30, 2000). IEEE, 2-7.
- [4] Zhang, G., Cheng, B., Feng, R. and Zhang, X. 2008. A real-time adaptive learning method for driver eye detection. In *Proceedings of the Digital Image Computing: Techniques and Applications* (Canberra, Australia, December 1-3, 2008). IEEE, 300-304.
- [5] Stojkov, I. P. and Loncaric, S. 2010. A method for eye detection in face images. In *Proceedings of the 33rd International Convention MIPRO* (Opatija, Croatia, May 24-28, 2010). IEEE, 718-721.
- [6] Viola, P. and Jones, M. 2001. Robust real-time object detection. *International Journal of Computer Vision*. 57 (May 2001), 137-154.
- [7] Panning, A., Al-Hamadi, A. and Michaelis, B. 2011. A color based approach for eye blink detection in image sequences. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications* (Kuala Lumpur, Malaysia, November 16-18, 2011). IEEE, 40-45.
- [8] Xiang, B. and Cheng, X. 2010. Eye detection based on improved ad AdaBoost algorithm. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Signal Processing Systems* (Dalian, China, July 5-7, 2010). IEEE, 617-620.
- [9] Luh, G. C. 2014. Face detection using combination of skin color pixel detection and Viola-Jones face detector. In *Proceedings of the International Conference on Machine*

- Learning and Cybernetics* (Lanzhou, China, July 13-16, 2014). IEEE, 364–370.
- [10] Wang, S. and Abdel-Dayem, 2012. A Improved viola-jones face detector. In *Proceedings of the Taibah University International Conference on Computing and Information Technology*. IEEE, 123–128.
- [11] Tabatabaie, Z. S., Rahmat, R. W., Udzir, N. I. B. and Kheirkhah, D. 2009. A Hybrid Face Detection System using combination of Appearance-based and Feature-based methods. *International Journal of Computer Science and Network Security*. 9 (May 2009), 181–185.
- [12] Comaschi, F., Stuijk, S., Basten, T. and Corporaal, H. 2013. RASW: A run-time adaptive sliding window to improve Viola-Jones object detection. In *Proceedings of the 7th International Conference on Distributed Smart Cameras* (Palm Springs, CA, USA, October 29-November 1, 2013). IEEE, 1–6.
- [13] Li, Q., Niaz, U. and Merialdo, B. 2012. An improved algorithm on Viola-Jones object detector. In *Proceedings of the 10th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing* (Annecy, France, June 27-29, 2012). IEEE, 1–6.
- [14] Maghraby, A. E., Abdalla, M., Enany, O. and Nahas, M. Y. E. 2013. Hybrid Face Detection System using Combination of Viola-Jones Method and Skin Detection. *International Journal of Computer Application*. 71 (May 2013), 15–21.
- [15] Da'san, M., Alqudah, A. and Debeir, O. 2015. Face detection using Viola and Jones method and neural networks. In *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology Research* (Abu Dhabi, United Arab Emirates, May 17-19, 2015). IEEE, 40–43.
- [16] Talele, K. T. and Kadam, S. 2009. Face detection and geometric face normalization. In *Proceedings of the TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference* (Singapore, January 23-26, 2009). IEEE, 1–6.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวชนินาท ทองเหล็ง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010120058

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

## ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. Chaninart Thongleng and Wacharin Kaewapichai. 2018. Case Studies to Improve Viola-Jones for Eye Detection. In Proceedings of the 2018 International Conference on Image and Graphics Processing (ICIGP 2018). ACM, New York, NY, USA, 48-52. DOI: <https://doi.org/10.1145/3191442.3191456>