ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

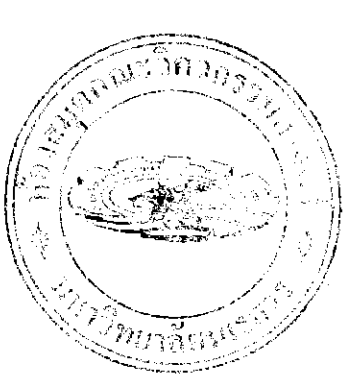
การตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคล ดวงตา และปาก

EYES AND MOUTH DETECTION

นางสาวสุนิสา คำเกิด รหัส 53364031

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ ...
เลขทะเบียน 1687537
... ฝร.
... ส 818 ก 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคล ดวงตา และปาก

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวสุนิสา คำเกิด รหัส 53364031

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนมขวัญ ริยะมงคล

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนมขวัญ ริยะมงคล)

.....กรรมการ

(อาจารย์รัฐภูมิ วรานุสาสน์)

.....กรรมการ

(ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา)

หัวข้อโครงงาน	การตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคล ดวงตา และปาก
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวสุนิสา คำเกิด
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนมขวัญ ริยะมงคล
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้พัฒนาโปรแกรมการตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคล ดวงตา และปาก โดยโปรแกรมจะรับภาพจากไฟล์ภาพ และนำไปผ่านกระบวนการตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคลด้วยอัลกอริทึมของวิโอลา โจนส์ จากนั้นนำไปสู่กระบวนการเรียนรู้และรู้จำรูปอินพุตโดยใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อตรวจจับการแสดงออกทางสีหน้า

โปรแกรมนี้สามารถทำการตรวจจับการแสดงอารมณ์ได้ 6 อารมณ์ ข้อดีของโปรแกรมนี้คือสามารถระบุได้ว่าการแสดงออกทางสีหน้านั้นเป็นเป็นการแสดงอารมณ์ใด โดยความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 87.3

Project Title	Eyes And Mouth Detection
Name	MissSunisaKamkerd
Project Advisor	Assistant Professor PanomkhawnRiyamongkol, Ph.D.
Major	Computer Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering.
Academic year	2013

.....

Abstract

This project has developed a program to detect eyes and mouth using MATLAB. The program getsa photo and processesit to detect eyes and mouth. After that, the artificial neural network (ANN) is used to detect facial expressions and show face expression.

This program can detect at least 6 face expressions.The advantage of this program is that it can specify the face expression. The accuracy of this program is 87.3 percent.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนมขวัญ ริยะมงคล ซึ่งสละเวลาในการช่วยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำไถ่ถามความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด รวมทั้งยังแนะนำขั้นตอนต่างๆ ในการทำการทดลอง เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างรอบคอบและถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รัฐภูมิ วรานุสาสน์ อาจารย์สุวิทย์ กิระวิทยา คณะอาจารย์ทุกท่าน บิดา มารดา และเพื่อนวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนในการทดลองและเป็นกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามถึง ที่มีส่วนร่วมช่วยให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

สุนิสา คำเกิด

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2
1.4 แผนการดำเนินงาน.....3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....4
1.6 งบประมาณของโครงงาน.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing).....5
2.2 แบบจำลองสี (Color Model).....8
2.3 Robust Real-time Object Detection.....9
2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN).....11

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....20

3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานโดยรวม (System Overview) 20

3.2 ขั้นตอนรับภาพ.....22

3.3 การตรวจจับใบหน้า และองค์ประกอบของใบหน้า.....23

3.4 การเรียนรู้ชุดข้อมูลภาพ.....26

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....28

4.1 ผลการทดลองในส่วนของการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้า.....28

4.2 ผลการทดลองในส่วนของการรู้จำใบหน้าโดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network).....29

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....33

5.1 สรุปผลการทดลอง.....33

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินงาน.....33

5.3 แนวทางการแก้ไข.....34

5.4 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....34

เอกสารอ้างอิง.....35

ภาคผนวก.....37

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน.....45

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ตารางขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....3

4.1 แสดงผลการทดลองการรู้จำใบหน้า....29

4.2 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์โกรธ (Angry)....30

4.3 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์มีความสุข (Happy)....30

4.4 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์เศร้า (Sad)....30

4.5 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์กลัว (Fear)....31

4.6 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์ตกใจ (Surprise)....31

4.7 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์ปกติ (Neutral)....32

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงองค์ประกอบของภาพสี 5

2.2 แสดงคุณสมบัติของภาพระดับสีเทา....6

2.3 (ก) การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี....7

2.3 (ข) แสดงองค์ประกอบของภาพไบนารี....7

2.4 โครงสร้างระบบสี RGB....8

2.5 แสดงภาพอินทิกรัล....9

2.6 แสดงตัวจำแนกประเภทแบบต่อเรียง (Cascade classifier)....10

2.7 (ก) แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์....11

2.7 (ข) แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทในคอมพิวเตอร์....12

2.7 (ค) แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม....13

2.7 (ง) แสดงรูปแบบเครือข่ายประสาทแบบแพร่ย้อนกลับ....14

2.7 (จ) แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)....15

2.7 (ฉ) แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)....16

2.7 (ช) แสดงสถาปัตยกรรมของเครือข่ายป้อนไปข้างหน้า....16

2.7 (ซ) แสดงสถาปัตยกรรมของระบบการป้อนย้อนกลับ....17

2.7 (ฌ) แสดงเพอร์เซ็ปตรอนชั้นเดียว....18

3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม....20

3.2 แสดงลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม....21

3.3 ภาพแสดงการรับภาพจากโฟลเดอร์.....22

3.4 ภาพแสดงการรับภาพจากเว็บแคม.....22

3.5 แสดงตัวอย่างลักษณะเด่นของฮาร์ที่ถูกใช้.....23

3.6 แสดงเทคนิคการรวมภาพ (a) หลังจากที่รวมภาพแล้ว จุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) จะรวมค่าของทุกจุดภาพในสี่เหลี่ยมสีดำ (b) ผลรวมค่าของทุกจุดภาพในสี่เหลี่ยม D คือ (x4,y4)-(x2,y2)-(x3,y3) +(x1,y1).....24

3.7 แสดงสายโซ่ของตัวกรอง บริเวณเล็กๆของภาพซึ่งสามารถผ่านตัวกรองทั้งหมดจะถูกจัดว่าเป็นใบหน้า ส่วนที่เหลือถูก.....24

3.8 แสดงตัวอย่างของตัวกรองสองตัวแรกในวิโอลาโจนส์แบบต่อเรียง.....25

3.9 (ก) แสดงตัวอย่างขั้นตอนการรู้จำ.....26

3.9 (ข) แสดงตัวอย่างการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้า.....27

3.9 (ค) แสดงตัวอย่างการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้า.....27

4.2 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอาการ.....32

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยมนุษย์นั้นสามารถใช้ดวงตาในการแยกแยะวัตถุ คน สิ่งของได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง การมองเห็นของคอมพิวเตอร์พยายามที่จะเลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์โดยการวิเคราะห์จากภาพดิจิตอล สำหรับมนุษย์ในการตรวจจับอารมณ์นั้นไม่เป็นการยาก แต่สำหรับคอมพิวเตอร์นั้นการตรวจจับอารมณ์นั้นเป็นงานยากในการดำเนินการ โครงงานนี้จึงได้มีการพัฒนาเพื่อตรวจจับอารมณ์ของภาพบนใบหน้าโดยอัลกอริทึมที่เรานำเสนอ

เริ่มจากการค้นหาพื้นที่บริเวณใบหน้าโดยการใช้อัลกอริทึมของวิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) คือการกราดส่อง (scan) หน้าต่างย่อย (Sub-window) เพื่อตรวจหาใบหน้าจากรูปภาพอินพุต โดยใช้คุณสมบัติของฮาร์ (Haar features) ซึ่งเป็นการลบค่าเฉลี่ยบริเวณจุดภาพมืดออกจากค่าเฉลี่ยบริเวณจุดภาพสว่าง ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง (ถูกตั้งค่าในระหว่างการเรียนรู้) แสดงว่ามีลักษณะเด่นของฮาร์อยู่ จากนั้นใช้การรวมภาพอินทิกรัล (Integral Image) เพื่อตรวจจับลักษณะเด่นอย่างรวดเร็ว ตามด้วยการใช้วิธีการแมชชีนเลิร์นนิ่งเอด้าบูสท์ (The Adaboost machine-learning method) โดยใช้หลักที่ว่าตัวแยกจำแนกอย่างอ่อน (Weak classifier) แต่ละตัวค่อยๆผลักดันคำตอบสุดท้ายไปในทิศทางที่ถูกต้อง และใช้จำแนกลักษณะแบบต่อเรียง (Cascaded classifier) เพื่อรวมลักษณะเด่นต่างๆเข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ

หลังจากนั้นจะนำภาพองค์ประกอบของใบหน้าซึ่งก็คือ ตาซ้าย ตาขวา และปากที่ได้จากกระบวนการข้างต้นมาเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้และจดจำ โดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อตรวจจับอารมณ์ของมนุษย์

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อสร้างโปรแกรมตรวจจับองค์ประกอบของภาพใบหน้าบุคคล คือ ดวงตา และปาก

1.2.2. เพื่อตรวจจับการแสดงอารมณ์ออกทางสีหน้า

1.3. ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1. ใบหน้าบุคคลในการใช้เครื่องระบบรู้จำต้องมีลักษณะ ดังนี้

1.3.1.1 ต้องไม่มีผมปิดบังใบหน้าเกินกว่าร้อยละ 10 ของใบหน้า

1.3.1.2 ถ่ายรูปหน้าตรง

1.3.1.3 อารมณ์ที่ใช้สำหรับการรู้จำในโครงงานนี้ มีทั้งหมด 6 อารมณ์ ได้แก่

- โกรธ (Angry)
- มีความสุข (Happy)
- เศร้า (Sad)
- กลัว (Fear)
- ตกใจ (Surprise)
- ปกติ (Neutral)

1.3.2. ความสว่างเฉลี่ยในส่วนของการเรียนรู้ชุดภาพใบหน้ากับภาพใบหน้าอินพุต ต้องเท่ากัน

1.3.3. ระยะห่างระหว่างตัวกล้องกับใบหน้าของบุคคลต้องเท่ากัน คือ ระยะ 30-60 เซนติเมตร

1.3.4. ในการรู้จำใบหน้าจะกระทำครั้งละ 1 คนเท่านั้น

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

กิจกรรม	ปี 2556-2557												
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูล													
2.ศึกษาโครงสร้าง MATLAB													
3.ศึกษาข้อมูลของการรู้จำภาพ และข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ													
4.ศึกษาการเชื่อมโยงโปรแกรมกับฐานข้อมูล													
5.ทำการออกแบบโปรแกรมและกำหนดส่วนประกอบ													
6.ทดสอบการใช้งานและแก้ไขข้อบกพร่อง													
7.สรุปผลการทำโครงงานและจัดทำรายงาน													

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้โปรแกรมที่สามารถตรวจจับการองค์ประกอบของใบหน้า และการตรวจจับอารมณ์

1.5.2 โปรแกรมสามารถใช้งานได้และถูกต้องมากกว่าร้อยละ 70

1.6 งบประมาณ

1.6.1. ค่าเอกสารที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน	500 บาท
1.6.2. ค่าหมึกพิมพ์	200 บาท
1.6.3. ค่าเข้าเล่มโครงงาน	300 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	1,000 บาท

หมายเหตุ ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

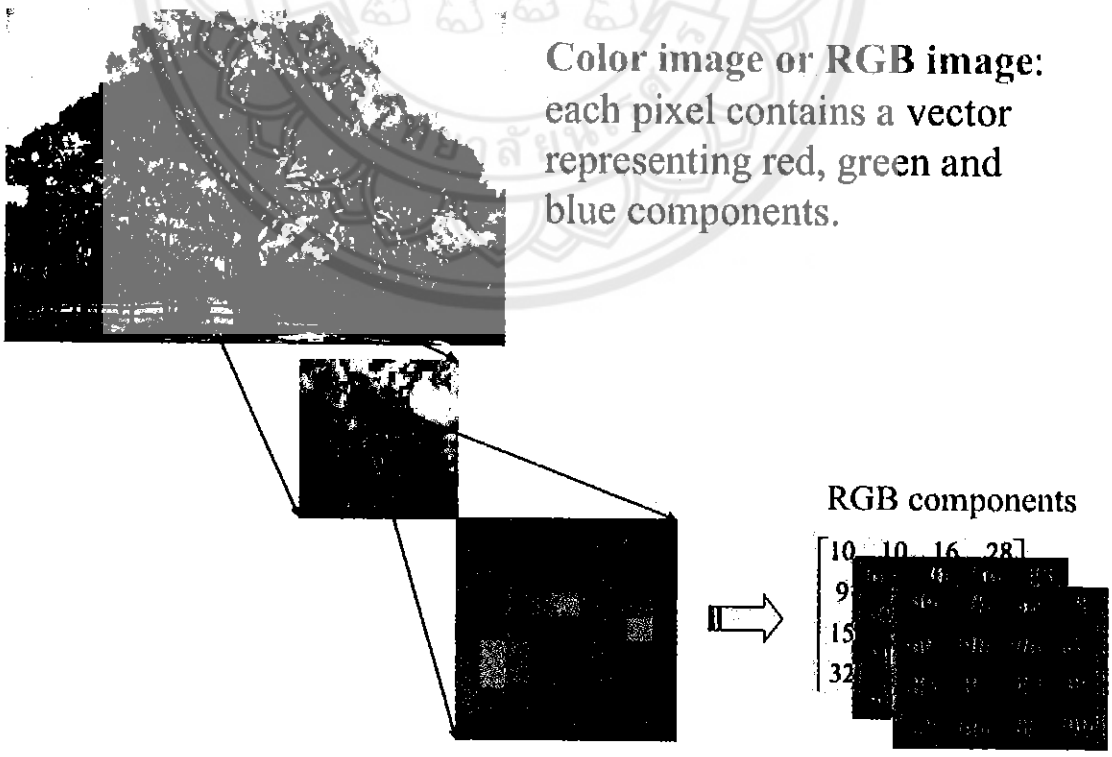
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) [1]

การประมวลผลภาพดิจิทัล เป็นสาขาที่กล่าวถึงเทคนิคและอัลกอริทึมต่างๆ ที่ใช้การประมวลผลภาพที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอล (ภาพดิจิทัล) ภาพในที่นี้ รวมความหมายถึงสัญญาณดิจิทัลใน 2 มิติอื่นๆ โดยทั่วไปคำนี้เมื่อใช้อย่างกว้างๆ จะครอบคลุมถึงสัญญาณวีดีโอ (video) หรือภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะเป็นชุดของภาพนิ่งเรียกว่า เฟรม (frame) หลายๆภาพต่อกันไปตามเวลาซึ่งก็คือสัญญาณ 3 มิติ เมื่อนับเวลาเป็นมิติที่ 3 หรืออาจจะครอบคลุมถึงสัญญาณ 3 มิติอื่นๆ

2.1.1 รูปภาพสี (Color Image)

ภาพชนิดนี้ แต่ละจุดภาพหรือPixieของภาพจะเก็บค่าระดับความเข้มเทาของแต่ละแถบแสงของแม่สีหลัก 3 สีที่ซ้อนกันอยู่ คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue)



ภาพที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของภาพสี

2.1.2 รูปภาพระดับสีเทา (Grayscale) [2]

ภาพ Grayscale หรือ ภาพระดับสีเทา หรือก็คือ ภาพขาว-ดำ-เทา จะมีระดับความเข้มของสีเทา คือ 0 -255 (8 bit) รูปภาพระดับสีเทาเกิดจากการแปลงภาพสี RGB มาเป็นรูปภาพระดับสีเทา (Grayscale) โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

Gray = 0.299×R+0.587x G+0.114×B

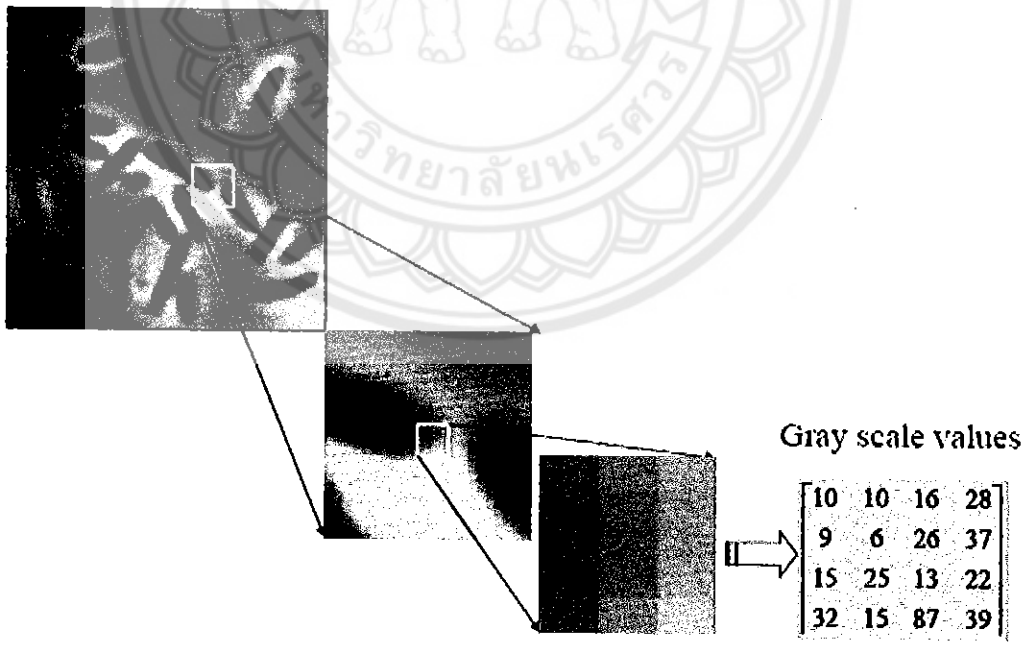
โดยที่ Gray = ค่าความเข้มของสีเทาโดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

R = ค่าความเข้มของสีแดงโดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

G = ค่าความเข้มของสีเขียวโดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

B = ค่าความเข้มของสีน้ำเงินโดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

โดยขั้นตอนการคำนวณนั้นจะเริ่มเปลี่ยนค่าทีละPixelไปเรื่อยๆจนครบทุก Pixel



ภาพที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของภาพระดับสีเทา

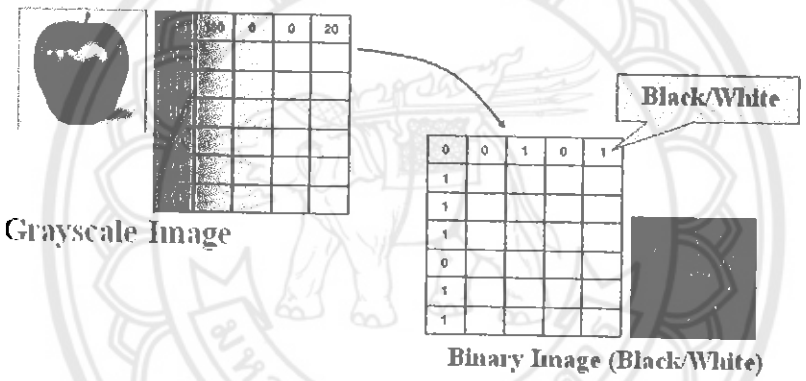
2.1.3 รูปภาพแบบไบนารี (Binary Image) [3]

ไบนารีในทางดิจิทัลหมายถึงว่ามีเพียง 2 สถานะคือ 0 และ 1 ซึ่งภาพไบนารีก็จะมีแค่ความเข้ม 2 ค่าเท่านั้นคือ 0 และ 1 หมายความว่า

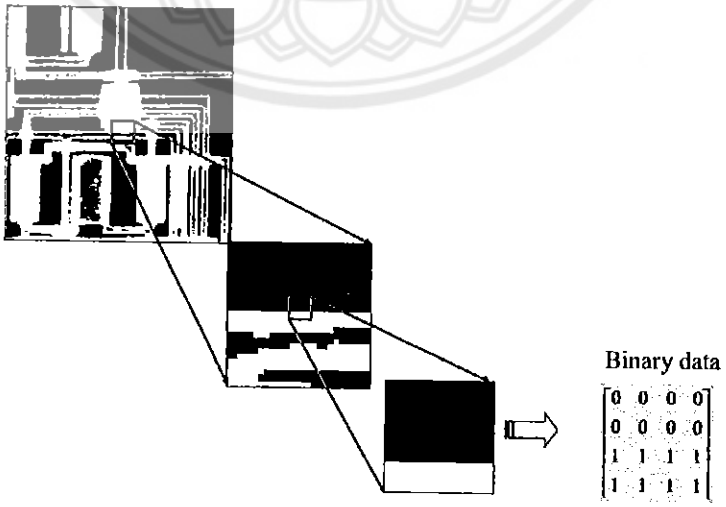
Pixel ใดที่มีค่าเป็น 0 ก็จะหมายถึงว่า Pixel นั้นจะแสดงสีดำ

Pixel ใดที่มีค่าเป็น 1 ก็จะหมายถึงว่า Pixel นั้นจะแสดงสีขาว

ซึ่งการแปลงภาพรูปภาพระดับสีเทา (Grayscale) เป็นภาพไบนารี (Binary) นั้นจะต้องกำหนดค่าความเข้มของสีเทาที่ต้องการอ้างอิงหรือเรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งค่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้หรือว่าการใช้อัลกอริทึมในการหาค่าเทรชโฮลด์โดยอัตโนมัติได้



ภาพที่ 2.3 (ก.) การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี



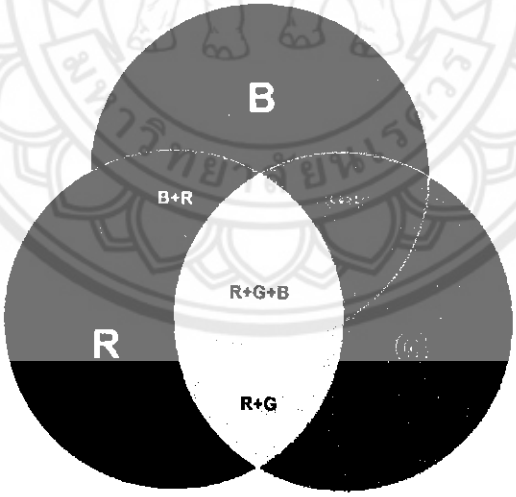
ภาพที่ 2.3 (ข.) แสดงองค์ประกอบของภาพไบนารี

2.2 แบบจำลองสี (Color Model) [4]

แบบจำลองสี (Color Model) เป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงสีต่าง ๆ สำหรับคอมพิวเตอร์แล้วเราจะไม่ใช้แบบจำลองที่เป็นแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (Analytical Model) เหมือนกับที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้วิธีการวัดซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานตลอดช่วงของสเปคตรัม (Spectrum) แต่จะเป็นแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Model) ที่ได้รับความสัมพันธ์ของค่าที่ใช้อ้างอิงกับสีใด ๆ จากการทดลองที่เป็นการศึกษาแบบจิตฟิสิกส์ (Psychophysical) ที่มีการรับรู้ของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง

2.2.1 แบบจำลองสี RGB (RGB Color Model)

เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพคอมพิวเตอร์ เนื่องจาก RGB Model ได้ทำการสร้างสีต่าง ๆ ขึ้นโดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสี ได้แก่ สีแดง (Red), สีเขียว (Green), และสีน้ำเงิน (Blue) ที่เกิดจากสารเรืองแสงที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีจะไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ นอกเสียจากว่าจะมีคุณสมบัติของสารเรืองแสงและการตั้งค่าจอภาพ และสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือนกันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างระบบสี RGB

2.3 การตรวจหาวัตถุเรียลไทม์แบบโรบัสต์ (Robust Real-time Object Detection) [5]

พอล วิโอลา (Paul Viola) และ ไมเคิล โจนส์ (Michael J. Jones) ได้อธิบายถึงกรอบการทำงานการตรวจจับวัตถุที่มองเห็น (Visual object detection framework) ที่มีความสามารถในการประมวลผลได้รวดเร็วและมีอัตราความถูกต้องในการตรวจหาสูง โดยได้มีการนำเสนอวิธีการแทนรูปภาพแบบใหม่ เรียกว่า "ภาพอินทิกรัล (Integral Image)" ซึ่งช่วยให้การคำนวณคุณลักษณะ ทำได้รวดเร็วขึ้น และได้มีการปรับปรุงอัลกอริทึมการเรียนรู้โดยมีพื้นฐานจากเอด้าบูสต์ (Ada Boost) ซึ่งเลือกเอาเฉพาะคุณลักษณะที่สำคัญ (คุณลักษณะที่ทำให้ตัวจำแนกมีประสิทธิภาพสูงสุด) นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงการรวมตัวจำแนก (Classifiers) แบบต่อเรียง (Cascade) ซึ่งช่วยให้ส่วนพื้นหลังของภาพถูกปฏิเสธได้เร็วและเน้นการคำนวณไปที่บริเวณที่มีลักษณะคล้ายวัตถุที่สนใจมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้อ้างว่าการทำให้เกิดผล (Implement) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะทั่วไปให้ความเร็วในการตรวจจับวัตถุที่ 15 ภาพต่อวินาที

1	1	1
1	1	1
1	1	1

ภาพอินพุต

1	2	3
2	4	6
3	6	9

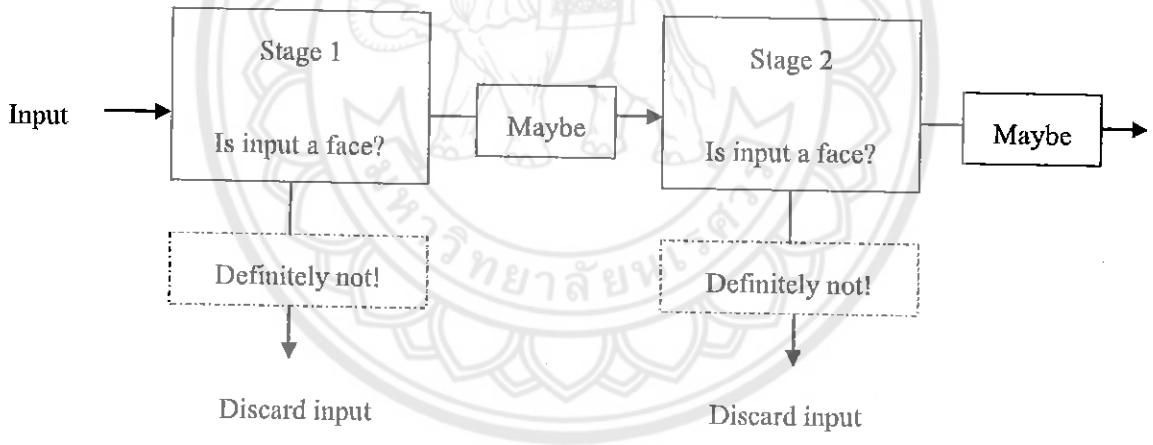
ภาพอินทิกรัล

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพอินทิกรัล

หลักการพื้นฐานของอัลกอริทึมของวิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) คือการกราดส่อง (Scan) หน้าต่างย่อย (Sub-window) เพื่อตรวจหาใบหน้าจากรูปภาพอินพุต การประมวลผลภาพแบบทั่วไปจะใช้การปรับขนาดภาพขาเข้าแตกต่างกันหลายๆขนาด และใช้ตัวตรวจหา (Detector) ที่มีขนาดคงที่ค้นหาวัตถุ ซึ่งวิธีนี้กินเวลาในการคำนวณมากเนื่องมาจากการคำนวณบนรูปภาพที่มีขนาดแตก ต่างกัน โอลา โจนส์ (Viola-Jones) ได้เสนอวิธีใหม่โดยการปรับขนาดตัวตรวจหาแทนที่จะปรับขนาดภาพขาเข้า และใช้ตัวตรวจหาค้นหาวัตถุหลาย ๆ รอบ (แต่ละรอบใช้ขนาดแตกต่างกัน) ซึ่งทั้งสองวิธีน่าจะใช้เวลาในการคำนวณไม่ต่างกันมากนัก แต่วิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) ได้คิดค้นตัวตรวจหาที่ใช้จำนวนครั้ง ในการคำนวณคงที่แม้จะมีขนาดแตกต่างกัน โดยตัวตรวจหาดังกล่าวนี้สร้างขึ้นโดยใช้ภาพอินทิกรัล (Integral Image) และใช้คุณลักษณะของเวฟเล็ตแบบฮาร์ (Haar Wavelets)

2.3.1 ตัวจำแนกประเภทแบบต่อเรียง (The cascaded classifier)

หลักการของอัลกอริทึมค้นหาหน้าของวิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) คือการใช้ตัวตรวจหากราดส่องหลายๆ ครั้งบนภาพเดิม แต่ด้วยขนาดที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะมีใบหน้ามากกว่าหนึ่งหน้า ผลลัพธ์ของหน้าต่างย่อย (Sub-window) จำนวนมากยังคงเป็นลบ (Negative non-faces) ซึ่งปัญหานี้แก้ได้โดยใช้หลักการ "แทนที่จะค้นหาใบหน้า อัลกอริทึมควรจะปฏิเสธสิ่งที่ไม่ใช่ใบหน้า" เพราะการตัดสินใจว่าบริเวณใดๆ ไม่ใช่ใบหน้านั้น ทำได้เร็วกว่าการค้นหาใบหน้า และได้มีการสร้างตัวจำแนกประเภทแบบต่อเรียง (Cascaded classifier) คือเป็นตัวจำแนก หลายตัวต่อกันเป็นลำดับดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งเมื่อหน้าต่างย่อย (Sub-window) ถูกจัดประเภทเป็น ไม่ใช่ใบหน้า (Non-face) จะถูกปฏิเสธทันที แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าหน้าต่างย่อย (sub-window) นั้น ถูกจำแนกเป็น มีโอกาสเป็นใบหน้า (Maybe-face) จะถูกส่งต่อไปยังตัวจำแนก (Classifier) ตัวถัดไปตามลำดับ และกล่าวได้ว่ายิ่งมีจำนวนชั้นของตัวจำแนก (Classifier) มากเท่าใด โอกาสที่หน้าต่างย่อย (Sub window) จะเป็นใบหน้าจะยิ่งมีมากขึ้น

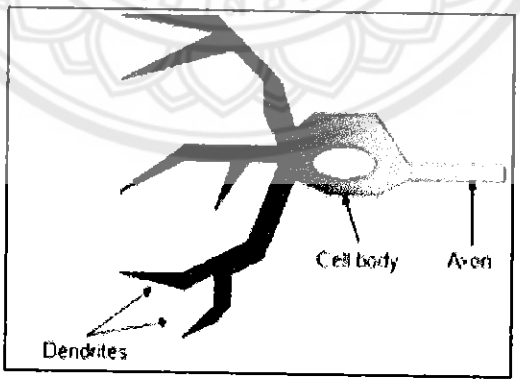


ภาพที่ 2.6 แสดงตัวจำแนกประเภทแบบต่อเรียง (Cascade classifier)

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) [6]

โครงข่ายประสาท (Neural Networks หรือ Neural Net) เป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ "นิวรอน" (Neurons) และ "จุดประสานประสาท" (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า "แอคซอน" (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไป ผ่านทางแอคซอนของมัน

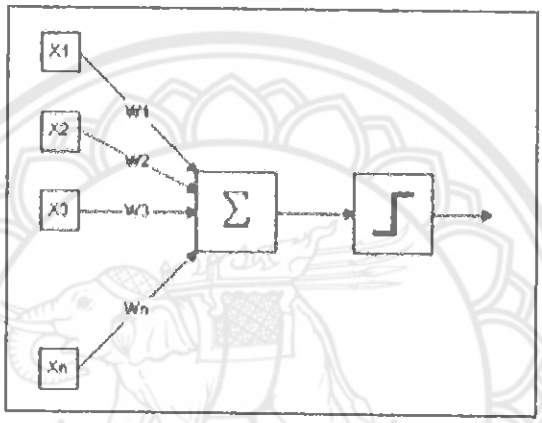
ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน



ภาพที่ 2.7 (ก) แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์

โครงสร้าง

โครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากโครงข่ายในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าโครงข่ายประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของโครงข่าย เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าโครงข่ายประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของโครงข่าย อย่างไรก็ดีหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทนี้



ภาพที่ 2.7 (ข) แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทในคอมพิวเตอร์

หลักการ

สำหรับในคอมพิวเตอร์เซลล์ประสาท (neurons) ประกอบด้วยอินพุตและเอาท์พุตเหมือนกัน โดยจำลองให้อินพุตแต่ละอันมีน้ำหนัก (weight) เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของอินพุต โดยเซลล์ประสาทแต่ละหน่วยจะมีค่าเทรชโฮลด์ (threshold) เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของอินพุต ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่งเอาท์พุตไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่นได้ เมื่อนำเซลล์ประสาทแต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกะแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

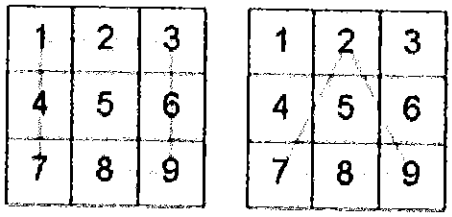
การทำงาน

การทำงานของเครือข่ายประสาท (Neural Networks) คือเมื่อมีอินพุตเข้ามายังเครือข่าย ก็เอาอินพุตมาคูณกับน้ำหนักของแต่ละขา ผลที่ได้จากอินพุตทุก ๆ ขาของเซลล์ประสาท จะเอามารวมกันแล้วก็เอามาเทียบกับเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าเทรชโฮลด์ แล้วเซลล์ประสาทก็จะส่งเอาท์พุตออกไป เอาท์พุตนี้ก็จะถูกส่งไปยังอินพุตของเซลล์ประสาทอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในเครือข่าย ถ้าค่าน้อยกว่า เทรชโฮลด์ ก็จะไม่เกิดเอาท์พุต เขียนออกมาได้ดังนี้

if (sum(input * weight) > threshold) then output

สิ่งสำคัญคือเราต้องทราบค่าน้ำหนัก และเทรชโฮลด์ สำหรับสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จำ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้มันรู้จักรูปแบบของสิ่งที่เราต้องการให้มันรู้จำ เรียกว่า การแพร่กลับ (back propagation) ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จำ ในการฝึก feed-forward Neural Networks จะมีการใช้อัลกอริทึมการแพร่กลับ เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (Network Weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ค่าที่ได้รับ (output) จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป

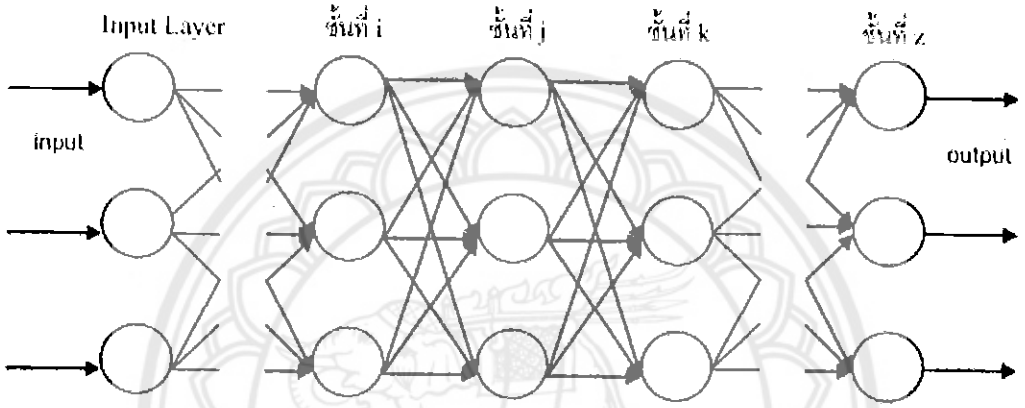
อย่างเช่นจะรู้จำรูปสามเหลี่ยม กับรูปสี่เหลี่ยม เราอาจแบ่งอินพุตเป็น 9 ตัวคือเป็นตาราง 3x3 ถ้าวาดรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมให้เต็มกรอบ 3x3 พอดีสี่เหลี่ยมจะมีส่วนของขอบอยู่ในช่อง 1,2,3,4,6,7,8,9 ก็สมมติให้น้ำหนักตรงช่องเหล่านี้มีค่ามากๆถ้ามีเส้นขีดผ่านก็เอามาคูณกับน้ำหนักแล้วก็เอามารวมกัน ตั้งค่าให้พอเหมาะก็จะสามารถแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมกับสามเหลี่ยมได้ซึ่งนี่คือหลักการของเครือข่ายประสาท



ภาพที่ 2.7 (ค) แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

อัลกอริทึมการแพร่ย้อนกลับ (Back propagation Algorithm)

การแพร่ย้อนกลับ (Back-propagation) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายใยประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (multilayer perceptron) เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณารูปต่อไปนี้ประกอบ



ภาพที่ 2.7 (ง) แสดงรูปแบบเครือข่ายประสาทแบบแพร่ย้อนกลับ

ขั้นตอนอัลกอริทึมการแพร่ย้อนกลับมีดังนี้

1. กำหนดค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (rate parameter : r)

2. สำหรับแต่ละตัวอย่างอินพุตให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จนกว่าได้ระดับประสิทธิภาพที่ต้องการ

- คำนวณหาค่าเอาต์พุตโดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้นซึ่งอาจได้จากการสุ่ม

- คำนวณหาค่า β : แทนผลลัพธ์ที่จะได้รับสำหรับการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนด

- ในชั้นเอาต์พุต (Output Layer)

$$\beta_z = d_z - o_z$$

เมื่อ d_z = ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

o_z = ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้

- ในชั้นซ่อน (Hidden Layer)

$$\beta_j = \sum_k w_{j\ k}\, o_k (1 - o_k)\, \beta_k$$

เมื่อ $w_{j\,k}$ = น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นที่ j กับ k

- คำนวณค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับในทุกน้ำหนัก ด้วยสมการต่อไปนี้

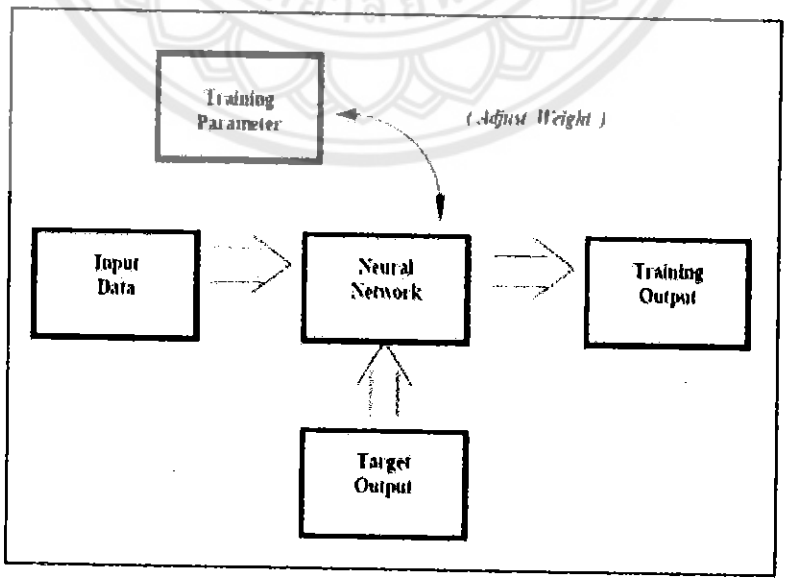
$$\Delta w_{i\ j} = r\, o_i\, o_j (1 - o_j)\, \beta_j$$

- เพิ่มค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างอินพุตทั้งหมด และเปลี่ยนค่าน้ำหนัก

การเรียนรู้สำหรับเครือข่ายประสาท (Neural Networks)

1. การเรียนแบบมีการสอน (Supervised Learning)

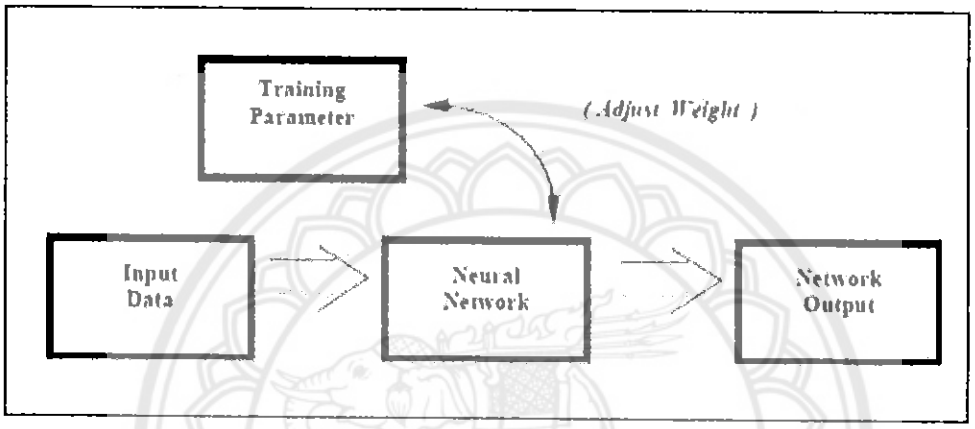
เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)



ภาพที่ 2.7 (จ) แสดงการเรียนรูแบบมีการสอน (Supervised Learning)

2. การเรียนแบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน)

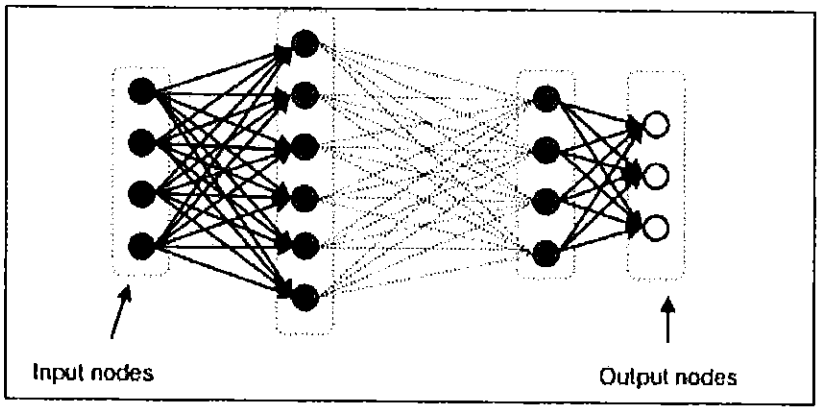


ภาพที่ 2.7 (ฉ) แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

สถาปัตยกรรมเครือข่าย (Network Architecture)

1. **เครือข่าย**ป้อนไปข้างหน้า (Feed forward network)

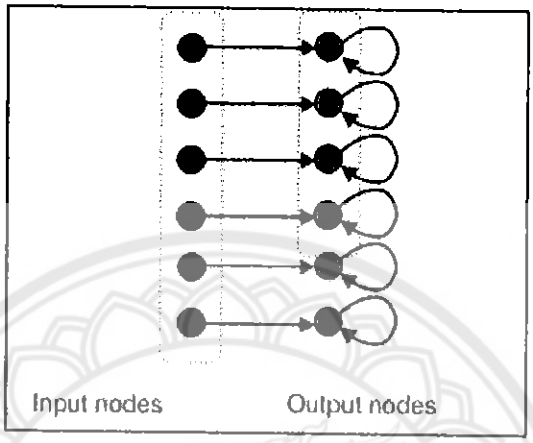
ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจากอินพุตโหนดส่งต่อมาเรื่อยๆ จนถึงเอาท์พุตโหนด โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่โหนด ในเลเยอร์เดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน



ภาพที่ 2.7 (ช) แสดงสถาปัตยกรรมของเครือข่ายป้อนไปข้างหน้า

2. ระบบการป้อนย้อนกลับ (Feedback network)

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลายๆ ครั้งจนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางทีเรียกว่า Recurrent network)



ภาพที่ 2.7 (ซ) แสดงสถาปัตยกรรมของระบบการป้อนย้อนกลับ

3. เลเยอร์ของเครือข่าย (Network Layer)

พื้นฐานสามัญที่สำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 เลเยอร์ ได้แก่ ชั้นของหน่วยการป้อนข้อมูล (input units) ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของหน่วยที่ซ่อนอยู่ (hidden units) ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของหน่วยเอาท์พุท (output units)

- การทำงานของหน่วยการป้อนข้อมูล จะทำหน้าที่แทนส่วนของข้อมูลดิบ ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่าย
- การทำงานของแต่ละหน่วยที่ซ่อนอยู่ จะถูกกำหนด โดยการทำงานของหน่วยการป้อนข้อมูล และค่าน้ำหนักบนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการป้อนข้อมูล และหน่วยที่ซ่อนอยู่
- พฤติกรรมการทำงานของหน่วยเอาท์พุท จะขึ้นอยู่กับการทำงานของหน่วยที่ซ่อนอยู่ และค่าน้ำหนักระหว่างหน่วยที่ซ่อนอยู่ และหน่วยเอาท์พุท

ประเภทของเครือข่ายนี้เป็นที่น่าสนใจ เพราะเราสามารถกำหนดการแทนค่าให้แก่หน่วยการป้อนข้อมูล ได้อย่างอิสระ ค่าน้ำหนักระหว่างหน่วยการป้อนข้อมูล และหน่วยที่ซ่อนอยู่ จะถูกกำหนดเมื่อหน่วยที่ซ่อนอยู่ กำลังทำงาน ฉะนั้นเวลาที่แก้ไขค่าน้ำหนักหน่วยที่ซ่อนอยู่ จะสามารถเลือกว่าอะไรคือค่าที่เราแทนเข้ามา

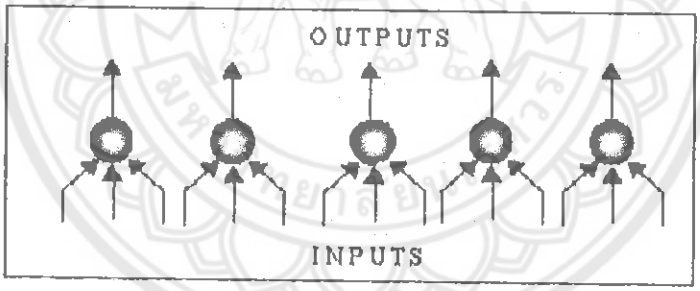
สถาปัตยกรรมของชั้น (Architecture of Layer) สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมของชั้น (layer) ออกเป็น 2 ประเภท คือชั้นเดียว (Singer-layer) และหลายชั้น (Multi-Layer)

- เพอร์เซ็ปตรอนชั้นเดียว (Single-layer perceptron) เครือข่ายใยประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว จำนวนโหนดอินพุต ขึ้นอยู่กับจำนวนส่วนประกอบของข้อมูลอินพุต และ การเปิดใช้งานฟังก์ชั่นขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของเอาท์พุต เช่น ถ้าเอาท์พุตที่ต้องการเป็น "ใช่" หรือ "ไม่ใช่" เราจะต้องใช้ เทรชโฮลด์ฟังชั่น

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq T \\ 0 & \text{if } x < T \end{cases}$$ T=Threshold level

หรือถ้าเอาท์พุตเป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่อง เราต้องใช้ฟังก์ชั่นต่อเนื่อง เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชั่น (Sigmoid function)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$$



ภาพที่ 2.7 (ฌ) แสดงเพอร์เซ็ปตรอนชั้นเดียว

- เพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multi-layer perceptron) เครือข่ายใยประสาทจะประกอบด้วยหลายชั้น โดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (nodes) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท (neurons) ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น(เมทริก W), ค่าไบแอสเวคเตอร์ (b) และค่าเอาท์พุต (a) โดย m เป็นตัวเลขบอกลำดับชั้นกำกับไว้ด้านบน เมื่อ p เป็นอินพุตเวคเตอร์ การคำนวณค่าเอาต์พุตสำหรับเครือข่ายใยประสาทที่มี M ชั้นจะเป็นดังสมการ

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^{m} + b^{m+1})$$

เมื่อ m = 0, 2, ..., M-1

$a^{0} = p$

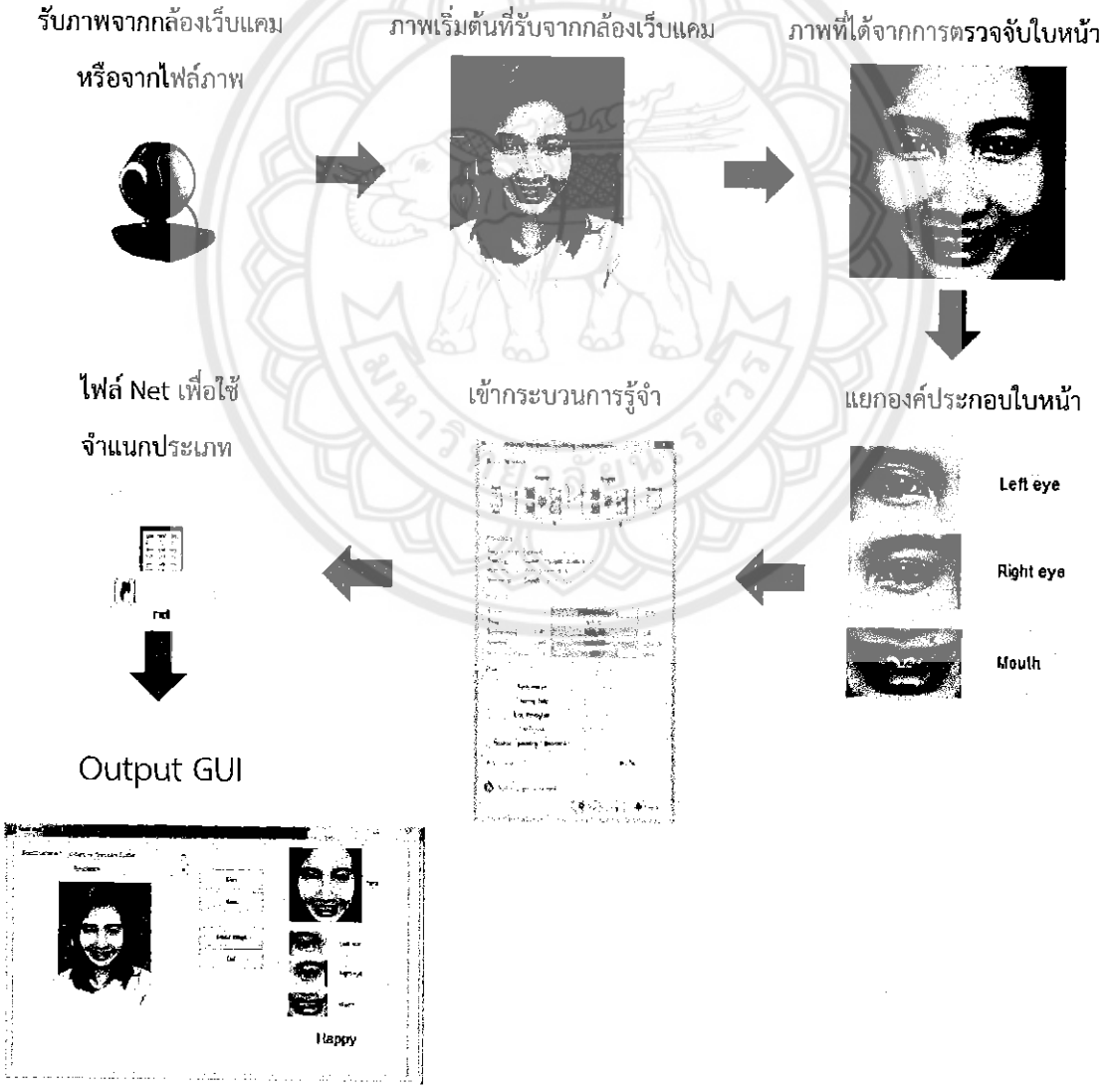
a = a^{m} และ f เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function)

บทที่ 3

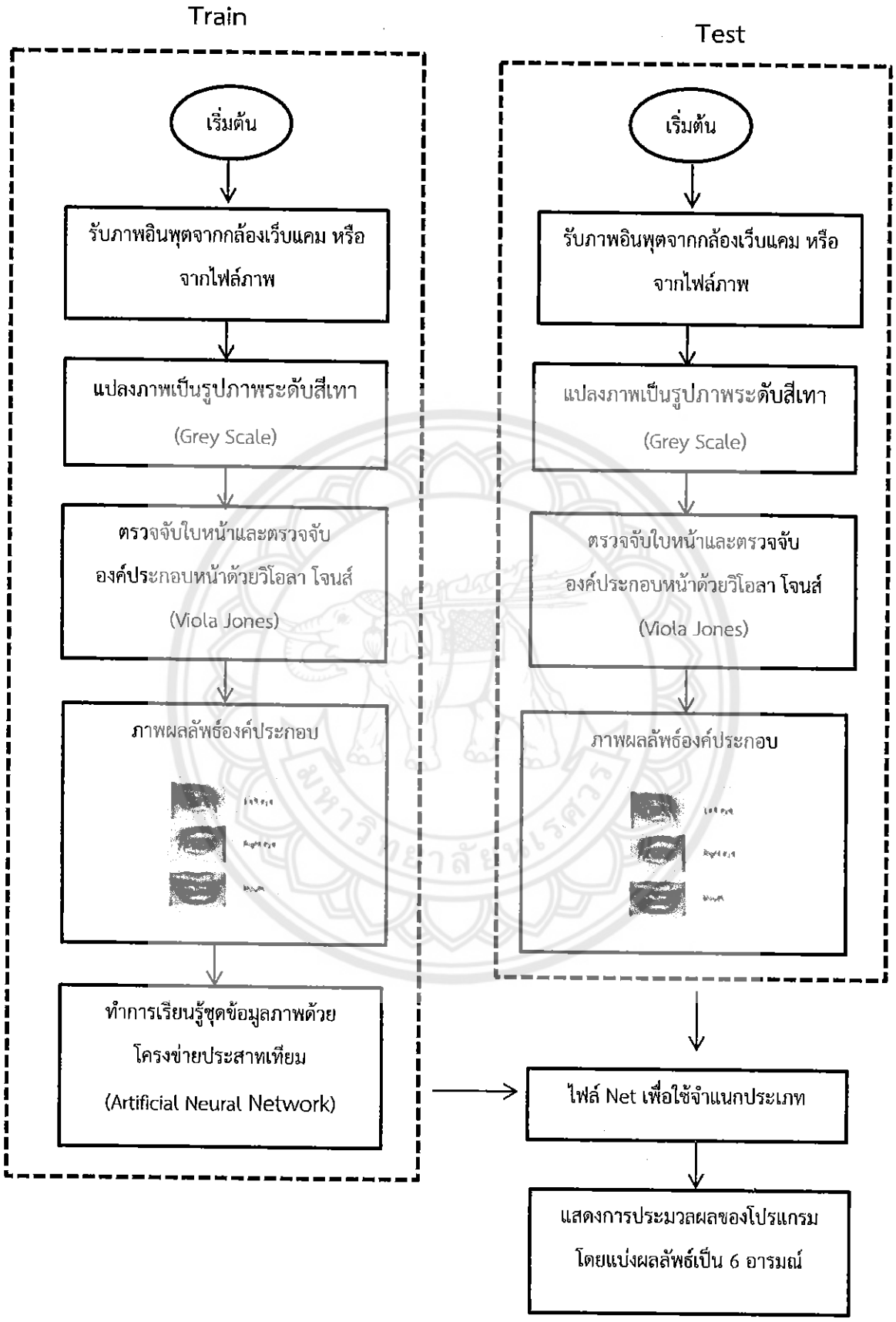
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้ได้มาซึ่งซอฟต์แวร์ที่สามารถตรวจจับองค์ประกอบภาพของใบหน้าบุคคล ซึ่งได้ออกแบบให้รับภาพจากกล้องเว็บแคม แล้วทำการตรวจจับตา และปากบุคคลการออกแบบจึงมีขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานโดยรวม (System Overview)



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม

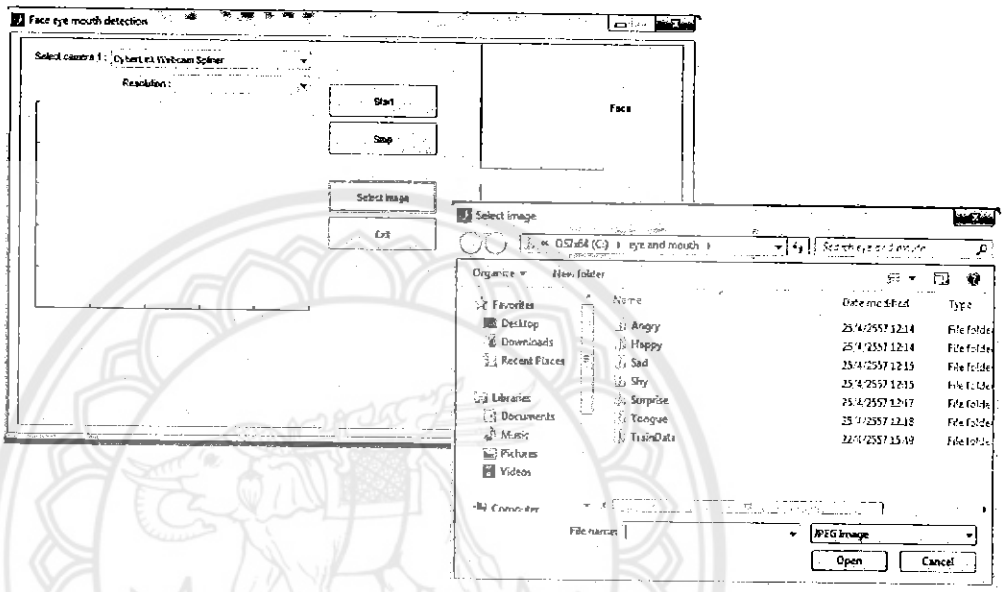


ภาพที่ 3.2 แสดงลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม

3.2 ขั้นตอนรับภาพ

3.2.1 การรับภาพจากโฟลเดอร์

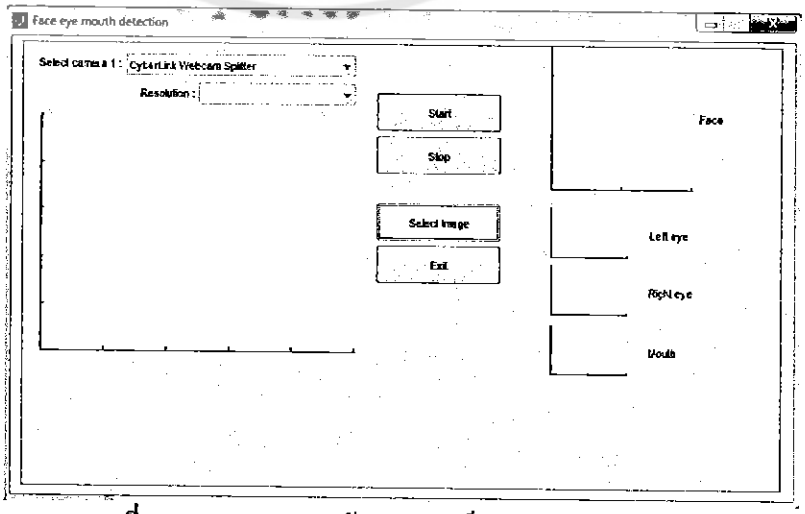
เป็นการรับภาพที่ต้องการตรวจหาเข้ามาในโปรแกรม โดยกดที่ปุ่ม Select Image ของหน้าต่างโปรแกรม แล้วไปยังโฟลเดอร์เป้าหมายเพื่อเลือกภาพที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ภาพแสดงการรับภาพจากโฟลเดอร์

3.2.2 การรับภาพจากเว็บแคม (Webcam)

เป็นการรับภาพที่ต้องการตรวจหาเข้ามาในโปรแกรม โดยกดที่ปุ่ม Start ของหน้าต่างโปรแกรม ดังรูปที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงการรับภาพจากเว็บแคม

3.3 การตรวจจับใบหน้า และองค์ประกอบของใบหน้า

ในโครงงานนี้ส่วนของการตรวจจับใบหน้านั้นเราประยุกต์ใช้จะไลบารี (Library) ของแมทแลบ (MATLAB) ซึ่งมีหลักการที่พัฒนาขึ้นโดยพอล วิโอลา (Paul Viola) และไมเคิล โจนส์ (Michael Jones) ซึ่งถูกตีพิมพ์ในปี 2001 หรือที่เรียกว่า "วิธีการของวิโอลาโจนส์ (Viola-Jones method)" โดยใช้การตรวจจับวัตถุในภาพรวมกับแนวคิดหลัก 4 แนวคิดดังนี้

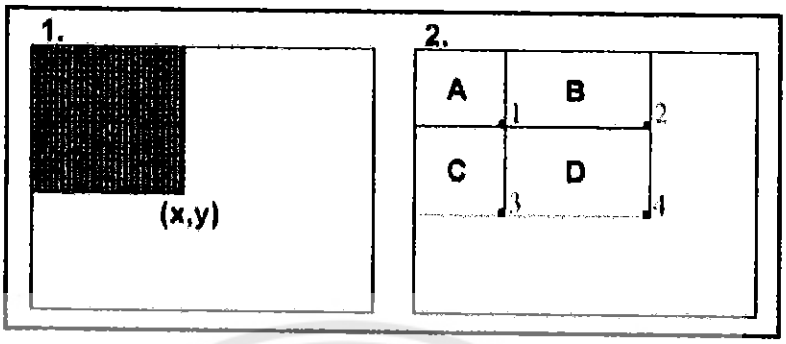
- ใช้คุณลักษณะของฮาร์ (Haar features)
- ใช้การรวมภาพอินทิกรัล (Integral Image) เพื่อตรวจจับลักษณะเด่นอย่างรวดเร็ว (Rapid Feature Detection)
- ใช้วิธีการแมชชีนเลิร์นนิ่งเอด้าบูสท์ (The Adaboost machine-learning method)
- ใช้จำแนกลักษณะแบบต่อเรียง (Cascaded classifier) เพื่อรวมลักษณะเด่นต่าง ๆ เข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ

การมีอยู่ของลักษณะเด่นของฮาร์ (Haar) ถูกกำหนดโดยการลบค่าเฉลี่ยบริเวณจุดภาพมืดออกจากค่าเฉลี่ยบริเวณจุดภาพสว่าง ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง (ถูกตั้งค่าในระหว่างการเรียนรู้) แสดงว่ามีลักษณะเด่นของฮาร์อยู่

ภาพที่ 3.5 แสดงตัวอย่างลักษณะเด่นของฮาร์ที่ถูกใช้

การตรวจสอบหาลักษณะเด่นของฮาร์ ในแต่ละส่วนของภาพอย่างมีประสิทธิภาพนั้น วิโอลา (Viola) และโจนส์ (Jones) ใช้เทคนิคที่เรียกว่าการรวมภาพอินทิกรัล (Integral Image) โดยการรวมจุดภาพเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน

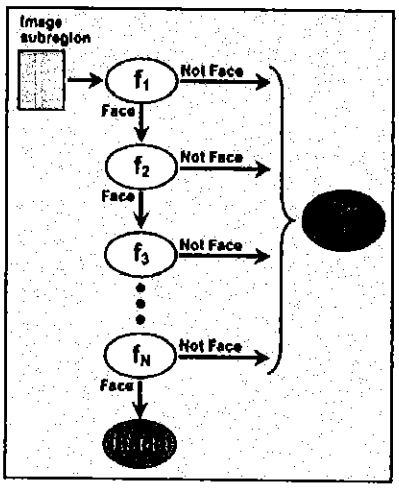
จากภาพที่ 3.6 การจะหาค่าของรูปสี่เหลี่ยม D คือการนำ A+B+C+D (ตำแหน่งที่ 4) ลบออกด้วย A+B (ตำแหน่งที่ 2) และ A+C (ตำแหน่งที่ 3) และบวกเพิ่มเข้าไปด้วย A (ตำแหน่งที่ 1) นั่นคือ D=(A+B+C+D) - (A+B)-(A+C)+(A) ซึ่งมีค่าเท่ากับ (x4,y4)-(x2,y2)-(x3,y3)+(x1,y1)



ภาพที่ 3.6 แสดงเทคนิคการรวมภาพ (a) หลังจากที่รวมภาพแล้ว จุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) จะรวมค่าของทุกจุดภาพในสี่เหลี่ยมสีดำ (b) ผลรวมค่าของทุกจุดภาพในสี่เหลี่ยม D คือ (x4,y4)-(x2,y2)-(x3,y3)+(x1,y1)

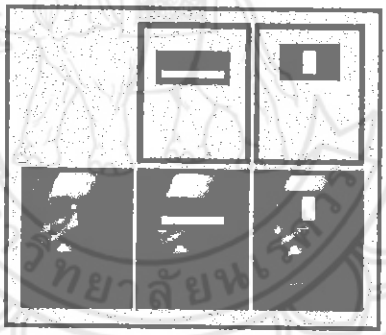
ในการเลือกลักษณะเด่นของฮาร์ (Haar) และการตั้งระดับค่าขีดแบ่งวิโอลา (Viola) และโจนส์ (Jones) ใช้วิธีการแมชชีนเลิร์นนิ่ง (Machine-learning method) ที่เรียกว่า "เอด้าบูสท์ (Adaboost)" ซึ่งรวมลักษณะของตัวแยกจำแนกอย่างอ่อน (Weak classifier) (ได้รับคำตอบที่ถูกต้องมากกว่าการเดาสุ่มเพียงเล็กน้อย) จำนวนมากเข้าด้วยกันเพื่อสร้างตัวแยกจำแนกอย่างแข็ง (Strong classifier) โดยใช้หลักตัวแยกจำแนกอย่างอ่อนแต่ละตัวค่อยๆผลักดันคำตอบสุดท้ายไปในทิศทางที่ถูกต้อง เอด้าบูสท์ (Adaboost) จะทำการเลือกชุดของตัวแยกจำแนกอย่างอ่อน (Weak classifier) ในการรวมและกำหนดน้ำหนักของแต่ละตัว การรวมกันของน้ำหนักก็คือ ตัวแยกจำแนกอย่างแข็ง (Strong classifier) นั่นเอง

(Viola) และโจนส์ (Jones) รวมชุดของตัวจำแนกแบบเอด้าบูสท์ (Adaboost classifiers) เป็นเหมือนโซ่กรองดังแสดงในภาพที่ 3.7 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการแบ่งพื้นที่ภาพ



ภาพที่ 3.7 แสดงสายโซ่ของตัวกรอง บริเวณเล็กๆของภาพซึ่งสามารถผ่านตัวกรองทั้งหมดจะถูกจัดว่าเป็นใบหน้า ส่วนที่เหลือถูก

ตำแหน่งของตัวกรองในลำดับอยู่บนพื้นฐานของค่าน้ำหนักความสำคัญที่เอด้าบูสท์ (Adaboost) กำหนดไว้ ตัวกรองที่มีค่าน้ำหนักสูงสุดจะอยู่ในลำดับแรกเพื่อกำจัดส่วนของภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าออกไป



ภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของตัวกรองสองตัวแรกในวิโอลาโจนส์แบบต่อเรียง

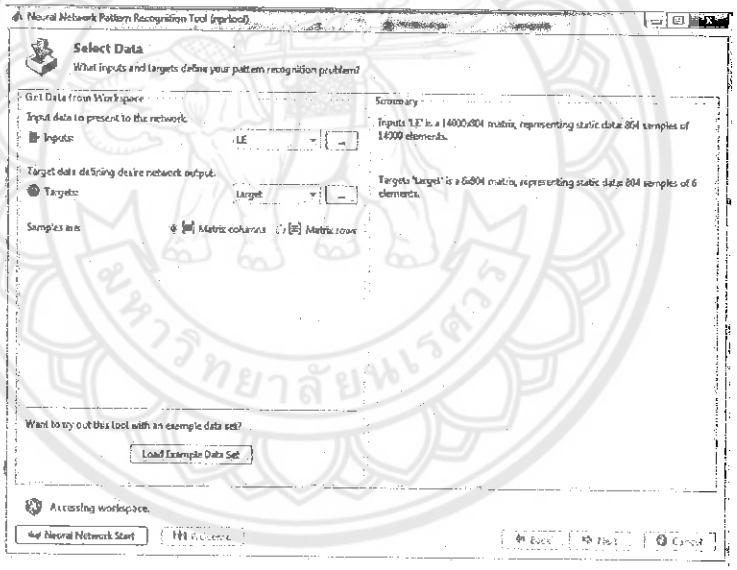
ภาพรูปที่ 3.8 จะพบว่าตัวกรองแรกใช้ความจริงที่ว่าบริเวณแก้มสว่างกว่าบริเวณดวงตา และตัวกรองตัวที่สองใช้ความจริงที่ว่าบริเวณสันจมูกจะสว่างกว่าบริเวณดวงตา

3.4 การเรียนรู้ชุดข้อมูลภาพ

ขั้นตอนการรู้จำ

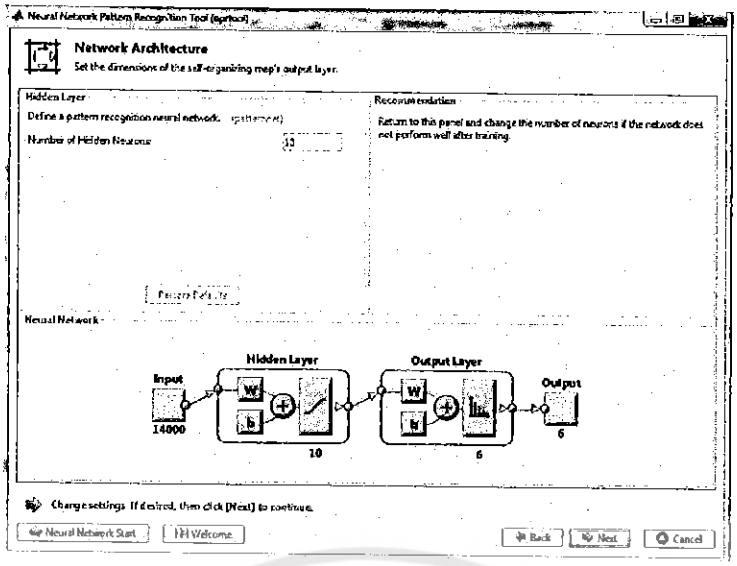
เขียนโค้ดคำสั่งพัฒนาโปรแกรมการรู้จำการแสดงออกทางสีหน้าของใบหน้าบุคคลและการจำแนกประเภทของการแสดงออกสีหน้าของใบหน้าบุคคลด้วยโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) โดยการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนามีขั้นตอนดังนี้

- ใช้คำสั่งเครื่องมือการรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition Tool) ในโปรแกรมแมทแลบสำหรับการรู้จำการแสดงออกทางสีหน้าของใบหน้าบุคคล
- นำภาพที่ผ่านการแยกองค์ประกอบของใบหน้าแล้วมาเข้าสู่กระบวนการรู้จำ และระบุเป้าหมาย (Target)

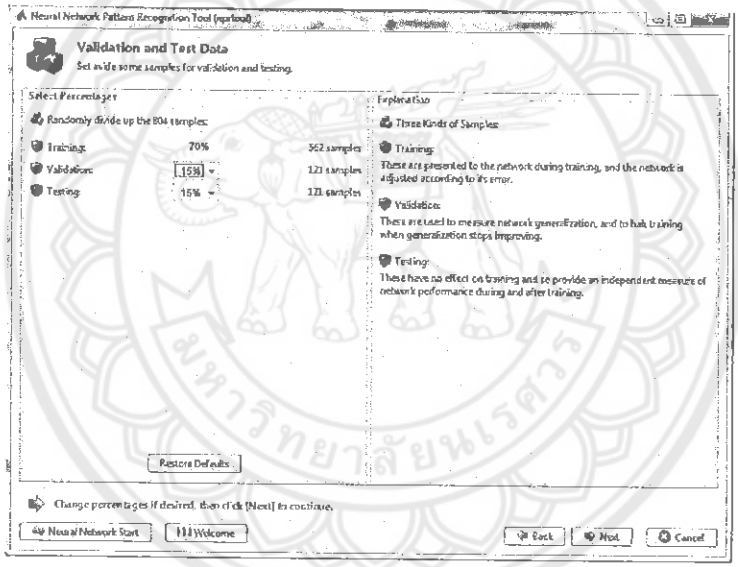


ภาพที่ 3.9 (ก) แสดงตัวอย่างขั้นตอนการรู้จำ

- กำหนดฮิดเดนเลเยอร์ไซส์ (Hidden Layer Size) = 10 , เทรนนิ่ง (Training) = 70% , ตรวจสอบความถูก (Validation) = 15%, ทดสอบ (Testing) = 15 % ซึ่งเป็นค่าประกอบในการสอน (Train) เน็ตเวิร์ก
- ทำการเก็บไฟล์เน็ต (Net) ที่ได้เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรม



รูปที่ 3.9 (ข) แสดงตัวอย่างขั้นตอนการรู้จำ



รูปที่ 3.9 (ค) แสดงตัวอย่างขั้นตอนการรู้จำ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของตัวโปรแกรมตรวจจับองค์ประกอบของใบหน้าและการรู้จำใบหน้าโดยการทดลองการรู้จำใบหน้าด้วยหลักการโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยรับรูปภาพที่กำหนด

4.1 ผลการทดลองในส่วนของการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้า

ในการทดลอง ผู้ทดลองได้ทำการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้าด้วยขั้นตอนวิธีของวิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) โดยผลการทดลองมีดังนี้

ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้า

4.2 ผลการทดลองในส่วนของการรู้จำใบหน้าโดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN)

ในการทดลอง ผู้ทดลองได้นำภาพบุคคลทั้งหมด 300 ภาพ จาก The Japanese Female Facial Expression (JAFFE) Database [10] ซึ่งแบ่งเป็น 6 อารมณ์ ๆ ละ 50 ภาพ โดยใช้การตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคลที่หาได้จากขั้นตอนวิธีของวิโอลา โจนส์ (Viola-Jones) และทำการรู้จำด้วยการใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการรู้จำใบหน้า

Actual class (%)	Predicted class (%)					
อารมณ์	Angry	Happy	Sad	Fear	Surprise	Neutral
Angry	45				2	3
Happy		43			4	3
Sad			45			5
Fear			3	42	5	
Surprise	5			4	41	
Neutral		1	3			46

จากตารางผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าการประมวลผลของโปรแกรมมีความถูกต้องโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 87.3 และความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 12.7

จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อนำภาพของบุคคลจำนวน 50 ภาพ มาทดสอบการรู้จำใบหน้า ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์โกรธ (Angry) คิดเป็นร้อยละ 90.0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 10.0 และเมื่อนำภาพการแสดงอารมณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์โกรธ (Angry) มาทำการทดลอง โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์โกรธ (Angry) เป็นร้อยละ 98.0 และประมวลผลผิดเป็นอาการโกรธ (Angry) คิดเป็นร้อยละ 2.0

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์โกรธ (Angry)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Angry	อารมณ์อื่นๆ
Angry	90.0	2.0
อารมณ์อื่นๆ	10.0	98.0

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของอารมณ์โกรธ (Angry) โดยเปลี่ยนจากอารมณ์โกรธ (Angry) เป็นอารมณ์มีความสุข (Happy) ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.3 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์มีความสุข (Happy) คิดเป็นร้อยละ 86.0 และประมวลผลผิดอารมณ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 14.0 ในส่วนของอารมณ์อื่นๆ โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์มีความสุข (Happy) คิดเป็นร้อยละ 94.0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์มีความสุข (Happy) คิดเป็นร้อยละ 6.0

ตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์มีความสุข (Happy)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Happy	อารมณ์อื่นๆ
Happy	86.0	6.0
อารมณ์อื่นๆ	14.0	94.0

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของอารมณ์โกรธ (Angry) โดยเปลี่ยนจากอารมณ์โกรธ (Angry) เป็นอารมณ์เศร้า (Sad) ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์เศร้า (Sad) คิดเป็นร้อยละ 90.0 และประมวลผลผิดอารมณ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 10.0 ในส่วนของอารมณ์อื่นๆ โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์เศร้า (Sad) คิดเป็นร้อยละ 98.0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์เศร้า (Sad) คิดเป็นร้อยละ 2.0

ตารางที่ 4.4 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์เศร้า (Sad)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Sad	อารมณ์อื่นๆ
Sad	90.0	2.0
อารมณ์อื่นๆ	10.0	98.0

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของอารมณ์โกรธ (Angry) โดยเปลี่ยนจากอารมณ์โกรธ (Angry) เป็นอารมณ์ลัว (Fear) ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์กลัว (Fear) คิดเป็นร้อยละ 84.0 และประมวลผลผิดอารมณ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 16.0 ในส่วนของอารมณ์อื่นๆ โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอาการอื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์กลัว (Fear) คิดเป็นร้อยละ 94.0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์กลัว (Fear) คิดเป็นร้อยละ 6.0

ตารางที่ 4.5 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์กลัว (Fear)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Fear	อารมณ์อื่นๆ
Fear	84.0	6.0
อารมณ์อื่นๆ	16.0	94.0

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของอารมณ์โกรธ (Angry) โดยเปลี่ยนจากอารมณ์โกรธ (Angry) เป็นอารมณ์ตกใจ (Surprise) ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.6 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์ตกใจ (Surprise) คิดเป็นร้อยละ 82.0 และประมวลผลผิดอาการอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 18.0 ในส่วนของอารมณ์อื่นๆ โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์ตกใจ (Surprise) คิดเป็นร้อยละ 92.0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์ตกใจ (Surprise) คิดเป็นร้อยละ 8.0

ตารางที่ 4.6 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์ตกใจ (Surprise)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Surprise	อารมณ์อื่นๆ
Surprise	82.0	8.0
อารมณ์อื่นๆ	18.0	92.0

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของอารมณ์โกรธ (Angry) โดยเปลี่ยนจากอารมณ์โกรธ (Angry) เป็นอารมณ์ปกติ (Neutral) ผลที่ได้จากการประมวลผลแสดงดังตารางที่ 4.7 โดยโปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์ปกติ (Neutral) คิดเป็นร้อยละ 92 และประมวลผลผิดอารมณ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 8 ในส่วนของอารมณ์อื่นๆ โปรแกรมประมวลผลถูกเป็นอารมณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อารมณ์ปกติ (Neutral) คิดเป็นร้อยละ 0 และประมวลผลผิดเป็นอารมณ์ปกติ (Neutral) คิดเป็นร้อยละ 100.0

ตารางที่ 4.7 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์ปกติ (Neutral)

Actual class (%)	Predicted class (%)	
	Neutral	อารมณ์อื่นๆ
Neutral	92.0	0
อารมณ์อื่นๆ	8.0	100.0

ภาพที่ 4.2 แสดงร้อยละของความถูกต้องในการตรวจจับอารมณ์

จากภาพที่ 4.2 พบว่า อารมณ์ปกติ (Neutral) มีร้อยละของความถูกต้องที่ดีที่สุด 92.0 และอารมณ์อื่นๆ มีร้อยละของความถูกต้องมากกว่า 80.0

บทที่5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองของโครงงาน ปัญหาที่พบขณะทำโครงงาน และข้อเสนอแนะของโครงงาน "การตรวจจับองค์ประกอบภาพใบหน้าบุคคล ดวงตา และปาก" เพื่อเพิ่มความเข้าใจในการใช้งานและการทำงานของโปรแกรมมากยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างโปรแกรมที่นำมาใช้ประโยชน์ในเรื่องของการตรวจจับองค์ประกอบใบหน้าบุคคล ดวงตาและปาก รวมไปถึงการตรวจจับการแสดงสีหน้าโดยสามารถระบุว่าเป็นบุคคลแสดงสีหน้าใดอยู่ โดยโปรแกรมจะทำการรับภาพใบหน้าจากไฟล์ภาพและครอบตัดส่วนของใบหน้าออกมาเมื่อผู้ใช้กดใช้งานที่หน้าต่างแสดงผล (GUI) จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่กระบวนการรู้จำ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงออกทางหน้าต่างแสดงผล ซึ่งความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 87.3

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทำโครงงาน

จากการทดลองจะพบปัญหาหลักๆที่พบในการจัดทำโครงงาน มีดังนี้

1. ปัญหาเกี่ยวกับการศึกษาทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความซับซ้อน ทำให้ใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลานานเป็นผลให้การทำงานในส่วนถัดไปล่าช้า

2. ปัญหาเกี่ยวกับแสงสว่างที่มากเกินไปมีผลกับความถูกต้องของผลลัพธ์เป็นอย่างมาก เนื่องจากแสงที่เปลี่ยนไปมีผลทำให้ค่าพิกเซลของรูปภาพเปลี่ยนไป

3. ปัญหาเรื่องระยะห่างจากใบหน้าบุคคลกับกล้องแวบแคมต้องใกล้เคียงกับรูปภาพในชุดการเรียนรู้ เพราะถ้าใกล้หรือไกลจากระยะปกติจะเกิดความคลาดเคลื่อน

5.3 แนวทางการแก้ไขและข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาข้อมูลจากหลายๆที่เพื่อเพิ่มความเข้าใจให้มากขึ้น

2. พัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถปรับแสงสว่างได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อลดปัญหาในเรื่องของแสงที่สว่างไม่เท่ากับรูปภาพในชุดการเรียนรู้

3. แก้ปัญหาระยะห่าง

5.4 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

1. ปรับปรุงโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสามารถใช้ได้ในข้อจำกัดที่ลดลง เช่น สามารถใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้เดิมกับสถานที่อื่นนอกเหนือจากห้องที่ทำการทดลอง

2. ปรับปรุงโปรแกรมให้มีความรวดเร็วในการประมาณผลที่ดีมากยิ่งขึ้น

3. ปรับปรุงหน้าจอแสดงผลให้มีรูปร่างหน้าตาที่สวยงามมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ความน่าใช้งานมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] **การประมวลผลภาพดิจิทัล** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎา 2556. สืบค้นจาก : http://th.wikipedia.org/wiki/การประมวลผลดิจิทัล

[2] **รูปร่างของภาพ (Image Shape) : ภาพ Grayscale** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2556. สืบค้นจาก : http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=hin-kmitnb&date=24-04-2010&group=1&gblog=3

[3] **รูปร่างของภาพ (Image Shape) : ภาพ Binary** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2556. สืบค้นจาก : http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=hin-kmitnb&date=24-04-2010&group=1&gblog=4

[4] **ระบบสี (Color Model)** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2556. สืบค้นจาก : https://www.sites.google.com/site/wbicomputergraphics/rabb-si-color-model

[5] **Robust Real-time Object Detection** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2556. สืบค้นจาก : https://www. store.learnsquare.com/eserv/changeme:233/FullReport.pdf

[6] **โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network (ANN))** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2556. สืบค้นจาก : https://www.alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf

[8] Automatic Classification of Single Facial Images. Michael J. Lyons, Julien Budynek, & Shigeru Akamatsu IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 21 (12) : 1357-1362 (1999).

[9] Coding Facial Expressions with Gabor Wavelets. Michael J. Lyons, Shigeru Akamatsu, Miyuki Kamachi & Jiro Gyoba. Proceedings, Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, April 14-16 1998, Nara Japan, IEEE Computer Society, pp. 200-205.

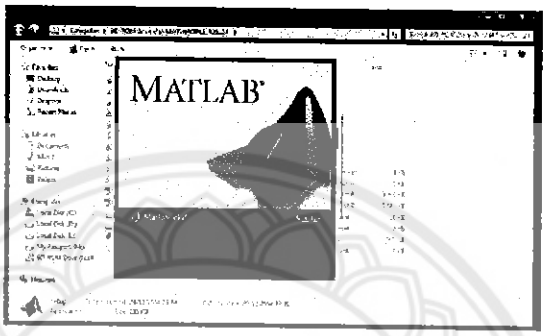
[10] The Japanese Female Facial Expression (JAFFE) Database (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2557 สืบค้นจาก : http://www.kasrl.org/jaffe.html

ภาคผนวก ก

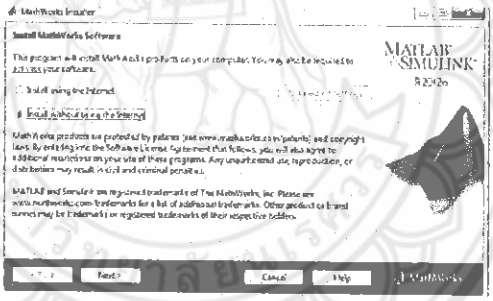
ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม MATLAB R2013b

ก.1 การติดตั้งโปรแกรม MATLAB R2012a

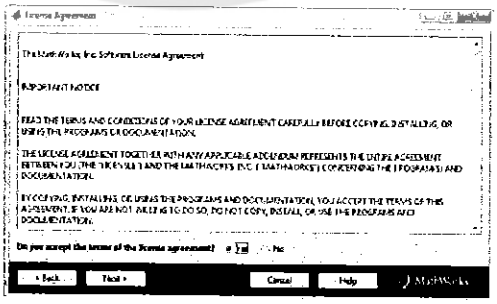
เปิดตัว setup file



เลือก Install without using the Internet แล้วกด Next >

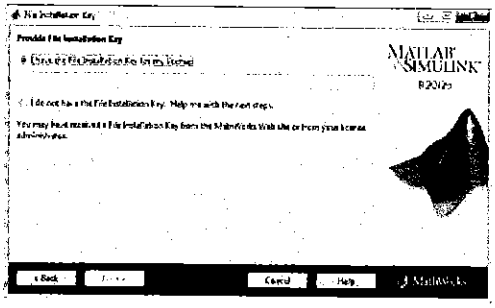


เลือก Yes แล้วกด Next >

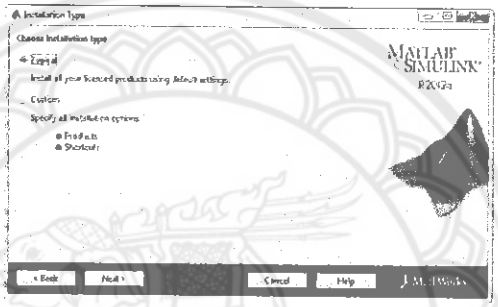


เลือก I have the Installation Key for my license

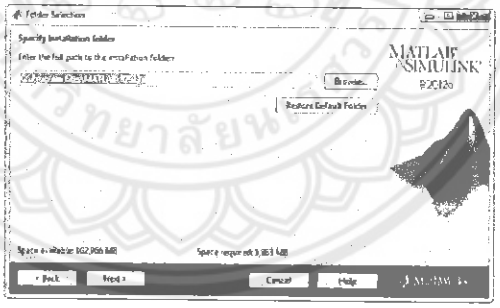
กรอก License Key ลงในช่องแล้วกด Next >



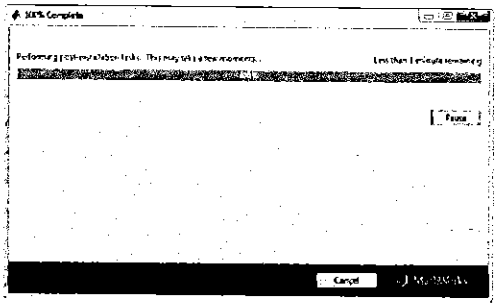
เลือก Typical แล้วกด Next >



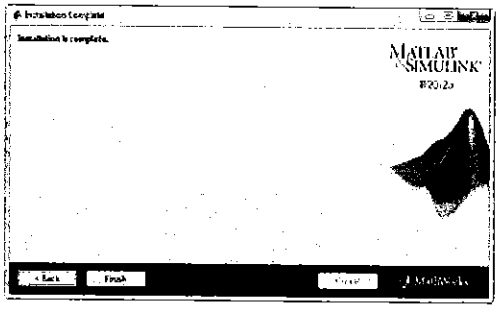
กด Browse เพื่อเลือก Directory ที่ต้องการ Install MATLAB



จากนั้น รอจนการลงเสร็จสมบูรณ์

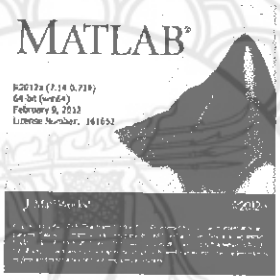


เลือก Finish



เมื่อการ Install เสร็จสมบูรณ์แล้ว

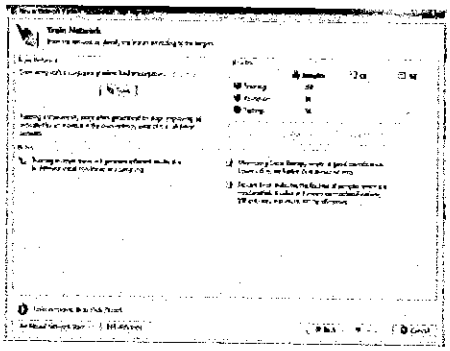
ตัว Run MATLAB R2012a จะอยู่ใน “.....\MATLAB\R2013b\bin”



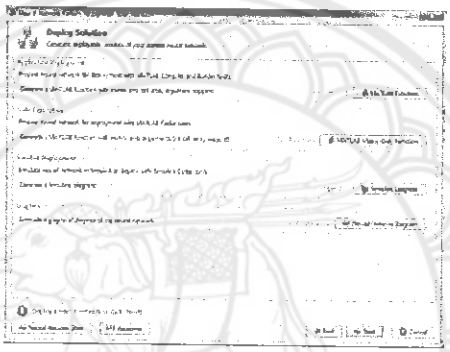
หน้าต่างการใช้งาน MATALAB

MISSING

กดปุ่ม Train



กด Save File



ก.3 ตัวอย่างภาพที่นำมาทำการเรียนรู้

ก.4 ตัวอย่างความถูกต้องของการตรวจจับอารมณ์

อารมณ์	ตรวจจับอารมณ์ถูกต้อง	ตรวจจับอารมณ์ผิด
โกรธ (Angry)		
มีความสุข (Happy)		
เศร้า (Sad)		
กลัว (Fear)		
ตกใจ (Surprise)		

ปกติ (Neutral)		

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวสุนิสา คำเกิด

ภูมิลำเนา 190 หมู่ 5 ต. ไทรงาม อ. ไทรงาม

จ.กำแพงเพชร 62150

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม จังหวัดกำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: dice_underline@hotmail.com