สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำป้ายทะเบียนรถด้วยระบบสมองกลฝังตัว

CAR PLATE RECOGNITION USING AN EMBEDDED SYSTEM

ธรรมนูญ กวินเฟื่องฟูกุล
ปวงชัย สัตยภิวัฒน์

วพ.
ธ3427ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83025
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2551

b 11959691
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การรู้จำป้ายทะเบียนรถด้วยระบบสมองกลฝังตัว

CAR PLATE RECOGNITION USING AN EMBEDDED SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายธรรมนูญ กวินเฟื่องฟูกุล รหัสนักศึกษา 47010326

2. นายปวงชัย สัตยภิวัฒน์ รหัสนักศึกษา 47010443

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ปกรณ์ วัฒนจตุรพร)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วัจนพงศ์ เกษมศิริ)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้จำป้ายทะเบียนรถด้วยระบบสมองกลฝังตัว

นายธรรมนูญ กวินเฟื่องฟูกุล 47010326
นายปวงชัย สัตยภิวัฒน์ 47010443
ดร.ปกรณ์ วัฒนจตุรพร อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วัจนพงศ์ เกษมศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ศึกษา และพัฒนาเกี่ยวกับระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถ ซึ่งการทำงานของระบบนั้นจะทำงานโดยใช้ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ (Linux) บนบอร์ด JampII-Mini ที่มีขนาดเล็ก และประหยัดพลังงานโดยระบบจะรับภาพทะเบียนรถจากกล้องเวปแคม (WebCam) จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนเตรียมภาพเบื้องต้น (Preprocessing) ได้แก่ การทำไบนาไรเซชัน (Image Binarization),การจำแนกภาพ (Image Segmentation) หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมภาพเบื้องต้นเข้าสู่ขั้นตอนการแยกคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) โดยการแบ่งแต่ละเลขทะเบียนเป็น 112 ช่องย่อย แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่อง จากนั้นนำผลที่ได้จากการคำนวณเข้าสู่การรู้จำ (Pattern Regconition) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ (Back-propagation Neuron Network) เพื่อจำแนกเลขทะเบียนบนแผ่นป้ายทะเบียนรถ โดยแบ่งเป็นโครงข่ายสำหรับรู้จำพยัญชนะ มีจำนวนอินพุตโหนด 112 โหนด, 1 ฮิดดันเลเยอร์, 36 ฮิดดันโหนด, 36 เอาท์พุตโหนดโดยที่แทนค่า ก ถึง ฮ ยกเว้นตัวอักษร ฃ ฅ ฆ ญ ฎ ฑ ฒ ด ตามลำดับ และโครงข่ายสำหรับรู้จำตัวเลข มีจำนวนอินพุตโหนด 112 โหนด, 1 ฮิดดันเลเยอร์, 10 ฮิดดันโหนด, 10เอาท์พุตโหนดโดยที่แทนค่า 0 ถึง 9 ตามลำดับ จากนั้นจึงแสดงผลลัพธ์ที่ได้ออกบนหน้าจอแอลซีดี (LCD) ภาพที่ถ่ายแสดงออกหน้าจอกราฟฟิกแอลซีดี (Graphic LCD) และเก็บค่าลงในไฟล์ จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง พบว่าระบบสามารถรู้จำได้ถูกต้องทั้งพยัญชนะ และตัวเลขทั้งสิ้น 151 ภาพจาก 200 ภาพ คิดเป็น 75.50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Car Plate Recognition Using an Embedded System

Thammanoon	Kawinfrungfukul	47010326
Puangchai	Satayapiwat	47010443
Pakorn	Watanachaturaporn	Advisor
Charoen	Vongchumyen	Co-Advisor
Watjanapong	Kasemsiri	Co-Advisor

Academic Year 2007

ABSTRACT

This thesis is a research and a development of a license plate recognition system that operates on JampII-mini using Linux operating system. The proposed system consists of five units namely an input, a preprocessing, a feature extraction, pattern recognition and an output unit. Input unit is to retrieve images of license plate from a web camera. The preprocessing unit consists of two parts. The first part is an image binarization that converts 24-bits bitmap image to a binary image. In this step thresholding is used to classify pixels. Pixels which their color depths are greater than the threshold are considered as white pixels. On the other hand, the ones with color depth lesser than threshold are considered as black pixels. The second part is an image segmentation which is to find the position of the license plate in pictures and then extracts each alpha-numeric in that area. In the feature extraction unit, each of a character is divided into 112 blocks. Each block is calculated its percentage of black pixel. The pattern recognition unit uses the back-propagation neuron network model. The unit consists of two networks; one is for classifying numerics and the other is for classifying alphabets. The topology of the two networks consists of 112 input nodes and one hidden layer. The network for classifying numeric consists of ten hidden nodes and ten output nodes that are used to represent 0 to 9. The other has 36 hidden nodes and 36 output nodes that are used to represente ก to ฮ except ฃ, ฅ, ฆ, ญ, ฏ. ฑ, ฒ, and ศ. In the output unit, result from the pattern recognition unit is displayed on an LCD module and also saved into a text file. The binary image is also displayed on the graphic LCD module. An efficientcy of the system in real environment is 75.50% accurate (Correct classify 151 pictures from 200 pictures.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึง เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จลงได้ก็คือ ดร.ปกรณ์ วัฒนจตุรพร อาจารย์วัจนพงศ์ เกษมศิริ และอาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น ซึ่งเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำความรู้และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านเสมอมา ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ผู้ที่ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง คือ คุณสิริโรจน์ จึงถาวรรณ และบริษัทไทยเจอร์เทค จำกัดที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และที่ช่วยแนะนำการแก้ปัญหาเกี่ยวกับระบบสมองกลฝังตัว และเป็นผู้ที่คอยให้คำปรึกษาดีๆ ในหลายๆ ด้าน

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุด ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ธรรมนูญ กวินเฟื่องฟูกุล

ปวงชัย สัตยภิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.5 ส่วนประกอบของรายงาน 2

บทที่ 2 การประมวลผลภาพ (Image Processing) 3

2.1 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดเจเพ็ก JPEG (Joint Photographic Experts Group) 3

2.2 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป 3

2.2.1 รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป 3

2.2.2 โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป 4

2.3 Digital Image 4

2.3.1 Color Image 4

2.3.2 Binary Image 5

2.4 การแปลงภาพเป็น Binary Image โดยใช้วิธี เทรชโฮล (Threshold) 5

2.4.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value) 6

2.4.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) 6

บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) 7

3.1 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ (Activation Function) 9

3.1.I Step function หรือ linear threshold function 9

3.1.2 ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid function) 10

3.1.3 ไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชัน (Hyperbolic tangent function) 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม (Training of Artificial Neural Networks) 11
3.3 วัตถุประสงค์ของการฝึกฝน (Objective of Training 12
3.3.1 การฝึกฝนแบบควบคุม (Supervised Training) 12
3.3.2 การฝึกฝนแบบอิสระ (Unsupervised Training) 12
3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Artificial Neural Networks) 13
3.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Artificial Neural Networks) 14
3.6 เพอร์เซ็ปตรอน (Perceptrons) 15
3.7 แบคพรอพเกชัน 16
3.7.1 การพัฒนาประสิทธิภาพของ Back-propagation 18
3.8 Recurrent Networks 19
3.9 Hopfield Network 19
3.10 Bidirectional Associative Memories (BAMs) 20
3.11 Kohonen Maps 21
3.12 ข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียม 22
3.13 ข้อเสียของโครงข่ายประสาทเทียม 22
3.14 การพัฒนาของโครงข่ายประสาทเทียม 22
บทที่ 4 หลักการทำงานและโครงสร้างของโปรแกรม 23
4.1 หลักการทำงานโดยรวมของระบบ 23
4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์และเตรียมความพร้อมระบบ 25
4.2.1 การเลือกใช้บอร์ดทดลอง 25
4.2.2 การเลือกใช้กล้อง Webcam 27
4.2.3 การติดตั้ง Linux Kernel บน JampII-Mini 28
4.2.4 การทำให้ระบบปฏิบัติการรองรับกล้อง (chipset Spca5xx) 31
4.3 การดึงภาพจากกล้องและแปลงเป็นภาพบิตแมป 33
4.4 การเตรียมข้อมูลภาพก่อนทำการรู้จำเลขทะเบียน 33
4.4.1 การแปลงเป็นภาพไบนารี 33
4.4.2 การหาตำแหน่งป้ายทะเบียน 36
4.4.3 การกำจัดสิ่งรบกวน 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.4 การแยกเลขทะเบียนออกจากภาพ 37
4.4.5 การหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีของแต่ละตัวอักษร 38
4.5 การรู้จำเลขทะเบียนรถยนต์ 39
4.6 ส่วนติดต่อกับ GPIO Driver 43
4.6.1 GPIO Driver 43
4.6.2 การติดต่อกับ LCD Module 45
4.6.3 การติดต่อกับ GLCD Nokia 6100 47
4.6.4 การอ่านค่าจาก switch 50
บทที่ 5 การทดลอง และผลการทดลอง 51
5.1 การทำงานของระบบ 51
5.1.1 การติดตั้ง Linux Kernel, Root file system และ Boot script 51
5.1.2 การทำให้ระบบปฏิบัติการรองรับกล้อง (Chipset Spca5xx) 51
5.1.3 การแสดงผลของโปรแกรม 52
5.2 การเตรียมข้อมูลภาพก่อนทำการรู้จำเลขทะเบียน 53
5.3 การจดจำเลขทะเบียนรถยนต์ 55
5.4 การทดลองระบบในสภาวะแวดล้อมจริง 57
บทที่ 6 สรุปการดำเนินงาน 58
6.1 สรุปโครงงาน 58
6.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข 59
6.3 ข้อเสนอแนะ 60
บรรณานุกรม 61
ภาคผนวก 62
ภาคผนวก ก 63
ภาคผนวก ข 66
ภาคผนวก ค 68
ภาคผนวก ง 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 File Format BMP 4

4.1 เปรียบเทียบ PC และ Embedded Board 25

4.2 เปรียบเทียบ ALTAIR 255 และ JAMPII-Mini 26

4.3 แสดง Driver GPIO 43

4.4 ขาสัญญาณของ LCD Module 45

4.5 ขาสัญญาณของ GLCD Nokia 6100 47

5.1 เปอร์เซ็นต์ของภาพที่แยกเลขทะเบียนได้ครบที่มุมต่างๆ 54

5.2 เปอร์เซ็นต์ของภาพที่แยกเลขทะเบียนได้ครบ 55

5.3 ผลการทดลองจากภาพถ่ายของตัวเลข 0 – 9 56

5.4 ผลการรู้จำที่ผิดพลาดของพยัญชนะ ก ถึง ฮ ยกเว้น ข ค ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด 57

5.5 ผลการรู้จำที่ผิดพลาดของพยัญชนะ ก ถึง ฮ ยกเว้น ข ค ฆ ช ฌ ญ ฏ ฑ ฒ ด ฝ 57

5.6 ผลการทดสอบระบบโดยรวม 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงแต่ละ pixel ใน Binary Image 5

3.1 แสดงโครงสร้างตัวอย่างของเซลล์ประสาทชีวภาพ 7

3.2 แสดงไดอะแกรมนิวรอลที่สร้างขึ้น (Artificial Neuron) 8

3.3 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของ step function 9

3.4 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของ sigmoid function 10

3.5 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของ hyperbolic tangent function 11

3.6 แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single-Layer Neural Networks) 14

3.7 แสดงการแผนภาพของ feed-forward network 15

3.8 แสดงการแผนภาพของ perceptron 15

3.9 แสดงแผนภาพของ Back-propagation Neural Networks แบบสองชั้น 17

4.1 ผังการทำงานโดยรวม 23

4.2 System Layer ของระบบ 23

4.3 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโปรแกรม 24

4.4 ขั้นตอนการทำงานของส่วนเตรียมข้อมูลภาพ 24

4.5 JampII-Mini 27

4.6 บล็อกไดอะแกรม การทำงานภายในกล้อง 27

4.7 WEB CAMERA 28

4.8 เลือก COM Port 28

4.9 กำหนดค่าของ serial port 29

4.10 RedBoot 29

4.11 ลง Driver SPCA5XX (1) 32

4.12 ลง Driver SPCA5XX (2) 32

4.13 ภาพตัวอย่างด้านหน้ารถ 33

4.14 ภาพที่ได้จากการแปลงเป็นไบนารี 34

4.15 ภาพที่เกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลสูงเกินไป 35

4.16 ภาพที่เกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลต่ำเกินไป 35

4.17 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการหาตำแหน่งป้ายทะเบียน 36

4.18 วิธีการกำจัดสิ่งรบกวน 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.19 ตัวอย่างก่อนการกำจัดสิ่งรบกวน 37

4.20 ตัวอย่างหลังการกำจัดสิ่งรบกวน 37

4.21 ตัวอย่างการแยกเลขทะเบียนออกจากภาพ 37

4.22 ภาพแสดงตัวอย่างผลการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำของตัวอักษร 38

4.23 โครงสร้างของโครงข่าย 39

4.24 ภาพแสดงตัวอย่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 41

4.25 แสดงขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม 42

4.26 แสดงการเชื่อมต่อกับ GLCD Nokia 6100 47

4.27 แสดงจังหวะการส่งสัญญาณติดต่อ GLCD 48

4.28 ทิศทางการแสดงจุดพิกเซลบน GLCD 48

4.29 แสดงการเชื่อมต่อ switch และ GPIO ของ JampII-mini 50

5.1 แสดงการเริ่มทำงานของบอร์ด JampII-mini 52

5.2 แสดงระบบปฏิบัติการพบกล้องเมื่อเสียบกล้องที่บอร์ด JampII-mini 53

5.3 บอร์ด JampII-Mini และกล้อง WEBCAM 53

5.4 แสดงผลการทำงานของโปรแกรม 53

5.5 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมทาง LCD 54

5.6 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมทาง GLCD 54

5.7 แสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายสำหรับรู้จำ 0-9 ที่ได้จากโปรแกรม NeuroSolutions 4 55

5.8 แสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก-ฮ ที่ได้จากโปรแกรม NeuroSolutions 4 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบัน การคมนาคมและขนส่งมีปัจจัยเกี่ยวข้องกับทุกคนมาก อีกทั้งปริมาณรถในท้องถนนมีจำนวนมากเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงเป็นการยากที่จะจำแนกได้ว่ารถคันใดเป็นรถที่ทำผิดกฎจราจร หรือในสถานที่ให้บริการรับจอดรถซึ่งจำเป็นต้องมีบุคคลที่ทำหน้าที่จดบันทึกเวลาการเข้าออกเพื่อให้สามารถคำนวณค่าใช้บริการจอดรถในสถานที่นั้นๆได้ จึงมีแนวคิดพัฒนาระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถเพื่อลดปัญหา ทำให้ใช้ทรัพยากรบุคคล และเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษา และพัฒนาการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)
- เพื่อศึกษาการประมวลผลภาพเชิงดิจิตอล
- เพื่อศึกษาระบบการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบคพรอพเกชัน (back-propagation)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์
- มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประมวลผลภาพเชิงดิจิตอล
- มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบคพรอพเกชัน

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

- สามารถรู้จำเลขทะเบียนรถได้ (0 – 9 และ ก – ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด)
- ป้ายทะเบียนรถเป็นป้ายชนิดใหม่เท่านั้น
- ถ่ายภาพในสภาวะแสงเหมาะสม (ค่าเทรชโฮลอยู่ในช่วง 130 – 170 จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยจุดสีบริเวณห่างจากขอบ 50 พิกเซล)
- ระยะการถ่ายภาพตั้งแต่ 20-60 เซนติเมตร(ระยะที่เหมาะสมคือ 40 เซนติเมตร)
- มุมการถ่ายภาพที่สามารถรู้จำไม่เกิน 20 องศาเทียบกับมุมฉากของทะเบียน
- รับภาพจากกล้อง ด้วยความละเอียดของภาพ 640 x 480 pixels
- ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux บนบอร์ด JampII-mini

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ส่วนประกอบของรายงาน

รายงานฉบับนี้มีจำนวนบททั้งหมด 4 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตของโครงงาน และส่วนประกอบของรายงานฉบับนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงงานในส่วนเตรียมภาพเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วย ไฟล์ภาพชนิดบิตแมป ไฟล์ภาพชนิดเจเพ็ก (JPEG) และการแปลงภาพจากภาพ 24 บิต เป็นภาพไบนารีโดยใช้วิธีเทรชโฮล

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงงานในส่วนระบบรู้จำซึ่งประกอบด้วย ความหมายของโครงข่ายประสาทเทียม ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ (Activation Function) การฝึกฝนและจุดประสงค์การโครงข่ายประสาทเทียม ประเภทของการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียม โดยแบ่งเป็นการฝึกฝนแบบอิสระและการฝึกฝนแบบควบคุม โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น และรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการและการทำงานของระบบทั้งหมด ตั้งแต่การเลือกใช้อุปกรณ์ลงเคอเนล (Kernel) และ ไดร์เวอร์ (Driver) กล้องบนบอร์ด การทำงานของโปรแกรมส่วนติดต่อกับกล้อง ส่วน ถอดรหัสภาพเจเพ็กเป็นบิตแมป ส่วนเตรียมข้อมูลภาพเบื้องต้นก่อนการรู้จำ ส่วนรู้จำเลขทะเบียน รวมถึงการเขียนจีพีไอโอ (GPIO) เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลอง ตั้งแต่การติดตั้งเคอเนล และไดร์เวอร์ การดึงภาพจากกล้อง แปลงเป็นภาพบิตแมป การเตรียมภาพก่อนการรู้จำเลขทะเบียน ส่วนการรู้จำทั้งโครงข่ายสำหรับรู้จำ 0 – 9 และก – ฮ และการทดลองระบบในสภาวะแวดล้อมจริง

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง ทั้งส่วนประมวลผลภาพเบื้องต้น และส่วนรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การประมวลผลภาพ (Image Processing)

2.1 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดเจเพ็ก JPEG (Joint Photographic Experts Group)

รูปแบบกราฟิกนี้ใช้ในการบีบอัดภาพแบบมีบางส่วนสูญหาย (lossy compression) เข้าช่วย โดยอาศัยหลักการมองเห็นของมนุษย์ที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อยจะสังเกตเห็นได้ไม่ชัดเจนเท่าการเปลี่ยนแปลงในความสว่าง การบีบอัดของเจเพ็กจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ตราบใดที่ไม่ใช้สัดส่วนของการบีบอัดสูง โดยปกติแล้วเจเพ็กจะใช้สัดส่วนของการบีบอัด 10:1 หรือ 20:1 โดยเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นคุณภาพของภาพนั้นด้อยลง ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีกว่าที่ใช้ในรูปแบบการเปลี่ยนระหว่างกราฟิก (Graphics Interchange Format: GIF) รูปแบบของกราฟิกแบบเจเพ็กนี้พัฒนาโดยคณะกรรมการของผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก (JPEG)

มาตรฐานการบีบขนาดแบบเจเพ็กไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ใดๆ โดยเฉพาะ แต่ได้นำเสนอวิธีการบีบขนาดที่สามารถใช้ทั่วๆไปหลายวิธี ดังนั้นจึงมีการบีบขนาดหลายวิธีที่เกิดขึ้นมาโดยใช้มาตรฐานการบีบขนาดแบบเจเพ็ก การบีบขนาดด้วยวิธีนี้ช่วยลดขนาดของภาพกราฟิกและประหยัดเวลาในการโหลดได้มาก เหลือเพียงหนึ่งในสิบของภาพเดิม และบางครั้งสามารถลดขนาดลงได้มากถึง 100 ต่อ 1

เจเพ็กเป็นไฟล์ที่เหมาะสำหรับใช้ในภาพประเภทภาพถ่าย (โทนสีต่อเนื่อง) เนื่องจากใช้สีทั้งสเปกตรัมสีที่มีในมอนิเตอร์ และเป็นไฟล์ประเภทที่ถูกบีบอัดให้เล็กลงเพื่อให้โหลดเร็วขึ้น เช่นเดียวกับ GIF โดยการตัดค่าสีในช่วงที่ตามองไม่เห็นทิ้งไป แต่เมื่อบันทึกไฟล์เป็นเจเพ็กแล้ว ข้อมูลสีที่ถูกตัดทิ้งไปจะไม่สามารถเรียกกลับมาได้อีก ถ้าต้องการใช้ค่าสีเหล่านั้นในอนาคต ควรจะบันทึกเป็นไฟล์ชนิดอื่นแล้วเปลี่ยนเป็นไฟลเจเพ็กด้วยการบันทึกเป็นไฟล์ก็อปปี้

2.2 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

2.2.1 รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

รูปแบบของไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมปเป็นฟอร์แมตของวินโดว์บิตแมปซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับไฟล์กราฟิกบนวินโดว์ซึ่งจะใช้ในการตัดต่อหรือสำเนาภาพต่างๆลงบนคลิปบอร์ด (Clipboard) เมื่อเวลาจัดเก็บไฟล์ที่มีสกุล BMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

ข้อมูลภายในไฟล์รูปภาพ BMP นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนเฮดเดอร์ (header)
2. ส่วนดาต้า (data)

ในการอ่านและเขียนไฟล์รูปภาพ BMP นั้นจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของข้อมูลต่างๆทั้งภายในเฮดเดอร์ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 File Format BMP

Field Name	Size in Bytes	Description
bfType	2	เป็นตัวบอกว่าเป็น file BMP มีค่าเท่ากับ "BM"
bfSize	4	ขนาดของรูปภาพ
bfReserved1	2	Unused - must be zero
bfReserved2	2	Unused - must be zero
bfOffBits	4	ตำแหน่งเริ่มต้นการอ่าน
biSize	4	ขนาดของ header
biWidth	4	ความกว้างของรูป
biHeight	4	ความสูงของรูป
biPlanes	2	Must be 1
biBitCount	2	จำนวน bit ต่อ 1 ตำแหน่ง - 1, 2, 4, 8, 16, 24, หรือ 32
iCompression	4	รูปแบบการบีบอัด (0 = ไม่มีการบีบอัด)
biSizeImage	4	ขนาดของรูปที่มีการบีบอัด ถ้าไม่มีเป็น 0
biXPelsPerMeter	4	X Preferred resolution in pixels per meter
biYPelsPerMeter	4	Y Preferred resolution in pixels per meter
biClrUsed	4	Number Color Map entries that are actually used
biClrImportant	4	หมายเลขของสีที่สำคัญ

2.3 Digital Image

2.3.1 Color Image

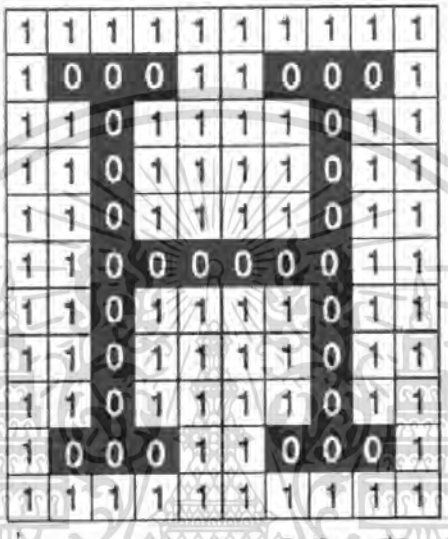
ปรกติโดยทั่วไปนั้นจะมีค่าความละเอียดอยู่ที่ 8-24 บิตแล้วแต่ชนิดของภาพ ซึ่งความคมชัดของรูปภาพส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ของจุดสีทั้งหมดในรูปภาพ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเป็นรูปชนิด 8 บิต จะมีความแตกต่างของระดับสีทั้งหมด 256 ระดับ หรือหากเป็นรูปขนาด 24 บิต จะมีความแตกต่างของจุดสีได้มากถึง 16.7 ล้านระดับสี เป็นต้น

2.3.2 Binary Image

ไบนารีอิมเมจ (Binary Image) คือไฟล์ภาพที่มีความละเอียดของจุดสีต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างของจุดสีได้เพียง 2 ระดับเท่านั้น คือ สีขาว และสีดำ ทั้งนี้ไบนารีอิมเมจใช้ข้อมูลเพียง 1 บิต ในการเก็บค่าจุดสี 1 พิกเซล (pixel)



รูปที่ 2.1 แสดงแต่ละพิกเซลในไบนารีอิมเมจ

2.4 การแปลงภาพเป็นไบนารีอิมเมจโดยใช้วิธี เทรชโฮล (Threshold)

ในการประมวลผลเพื่อหาตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นจะทำในรูปของไบนารี่ไฟล์ เนื่องจากส่วนของแผ่นป้ายทะเบียนจะมีเพียง 2 สี คือพื้นหลังสีอ่อน และตัวหนังสือสีเข้ม ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลจึงต้องมีการกำหนดค่าตัวแปรหนึ่งขึ้นมา เรียกว่า ค่าเทรชโฮล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยจะกำหนดให้ปริเวณจุดสีพิกเซล ใดๆที่มีค่าความสว่างน้อยกว่าเทรชโฮลนั้น เป็นสีดำ และให้พิกเซลที่ค่าความสว่างมากกว่าเทรชโฮลเป็นสีขาว

ในการสร้างภาพไบนารี่โดยใช้เทคนิคเทรชโฮล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและคมชัด จะต้องเกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกค่าเทรดโชไม่เหมาะสม เช่น ค่าเทรชโฮลที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัด หรืออาจจะทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไป หรือภาพที่ได้อาจจะมืดเกินไป หรือสว่างเกินไป หรืออาจจะเป็นภาพที่มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้นทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาในการสร้างภาพแบบไบนารี่คือทำอย่างไรจึงจะคำนวณค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมกับภาพแต่ละภาพที่จะมาสร้างเป็นภาพแบบไบนารี่ ซึ่งค่าเทรชโฮลสามารถคำนวณได้หลายวิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเป็นการคำนวณค่าโดยการกำหนดเองของผู้ใช้ ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้ โดยการเลือกค่าคงที่ที่เรียกว่าค่า เทรชโฮลนั้น ค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของข้อมูลอินพุทแต่ละพิเซลของภาพ เช่น ภาพข้อมูลอินพุทมีเกรย์เลเวล (Gray Level) 256 ระดับจะมีค่าทั้งหมด 0-255 เมื่อเลือกค่าเทรดโฮล แล้วก็สามารถนำค่าเทรชโฮลเป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารี่ได้ วิธีนี้มีข้อดีคือไม่ต้องเสียเวลาหาค่าเทรชโฮลทำให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้น แต่มีข้อเสียคือความสว่างโดยรวมของแต่ละภาพมักจะไม่เท่ากัน ทำให้ภาพเกิดสิ่งรบกวนได้ง่าย

2.4.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลโดยพิจารณาจากค่ากลางเป็นการหาค่าเทรชโฮลที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด โดยการหาค่าเทรชโฮลวิธีนี้อาศัยหลักการคำนวณพื้นฐานทางสถิติในเรื่องของการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) มาประยุกต์ใช้ ค่าเทรชโฮล ที่คำนวนได้มาจากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าที่มีความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของข้อมูลอินพุท เมื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮล ได้แล้วก็จะสามารถนำค่าเทรชโฮลเป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารี่ได้ ข้อดีของวิธีนี้คือภาพที่ได้จะมีความคมชัดมากกว่าและมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นน้อย แต่ข้อเสียคือจะต้องใช้เวลาประมวลผลนานขึ้น

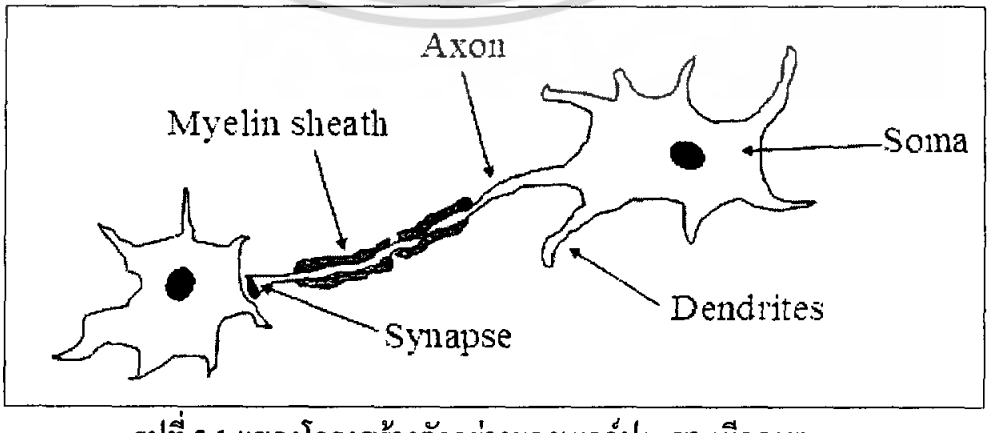
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) หรือที่มักจะเรียกสั้น ๆ ว่า **ข่ายงานประสาท** (Neural Network หรือ Neural Net) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป (Pattern Recognition) และการอุปมานความรู้ (Knowledge Deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ "นิวรอน" (Neurons) และ จุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (Dendrite) ซึ่งเป็นอินพุทเข้ามายัง "โซมา" (Soma) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเซลล์ประสาท ส่งออกไปยังปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า "แอคซอน" (Axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาท์พุทของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาท (Action Potential) จะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่โซมาซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอนของมันไปยังเดนไดรท์ของเซลล์ถัดไป ซึ่งข้อดีของสมองมนุษย์นั้นคือสามารถเรียนรู้ได้ จึงเป็นแรงจูงใจในการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม

ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นโครงข่ายที่ทำงานร่วมกัน

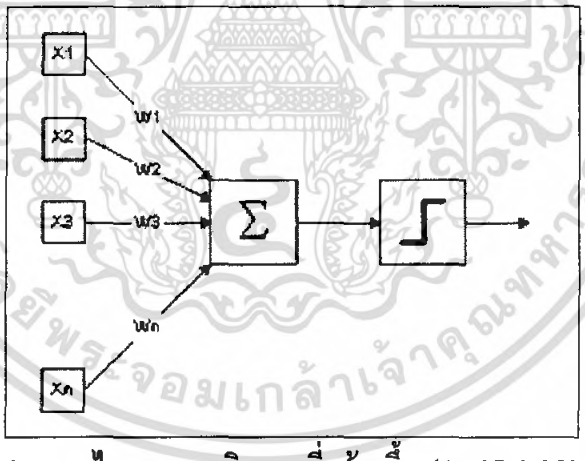


รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างตัวอย่างของเซลล์ประสาทชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีสมมติฐานขั้นแรกจากคุณสมบัติของระบบประสาทชีวภาพ ดังที่กล่าวมา กล่าวคือ ชุดรับสัญญาณข้อมูล อินพุทของเซลล์ประสาทหนึ่งได้จากสัญญาณเอาท์พุทของเซลล์ประสาทอื่นๆ ผ่านทางจุดประสานประสาทและเดนไดรท์ ข้อมูลแต่ละค่าที่รับมาจะถูกลดขนาดด้วยจุดประสานประสาท ซึ่งภายในประกอบด้วยสารเคมีประเภท K^{+} ,Ca^{++} ,Na^{+} ,Cl^{-} ซึ่งจะมีลักษณะทางความนำพัลส์ (Pulse) สัญญาณไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกันด้วยเหตุนี้โมดุลโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น จะต้องมีการถ่วงน้ำหนักให้กับโมดุลก่อนที่จะนำเข้าสู่โมดุลประสาทเทียม จุดนี้เรียกว่า ซินแนปติกส์เวจท์ ปริมาณของข้อมูลที่เข้าสู่นิวรอลจะถูกนำมารวมกัน และตัดสินใจด้วยระดับความสนใจของนิวรอล (Activation level) แล้วจะส่งเป็นเอาท์พุทออกที่แอกซอนไปยังนิวรอลอื่นๆ

โครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าโครงข่ายงานประสาทเทียม การรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน อย่างไรก็ดีหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทนี้



รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมนิวรอลที่สร้างขึ้น (Artificial Neuron)

จากภาพแสดงถึงโมดุลที่สร้างขึ้นโดยแนวความคิดจากเซลล์สมองชีวภาพ สัญญาณอินพุทคือ $X_1, X_2, \ldots, X_n$ จะถูกป้อนเข้าไปยังนิวรอลที่สร้างขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบได้กับสัญญาณที่ป้อนเข้ายังซินแนปส์ของนิวรอลชีวภาพ สัญญาณอินพุทนี้จะนำไปคูณกับค่าซินแนปติกส์เวจท์ที่มีค่าตั้งแต่ 0-1 $W_1, W_2, \ldots, W_n$ ก่อนที่จะเข้าสู่บล็อกซัมเมชั่น ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะสอดคล้องกับค่าสเตรงท์ (Strength) ของจุดต่อซินแนปส์ชีวภาพแต่ละจุด (Single biological synaptic connection) บล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

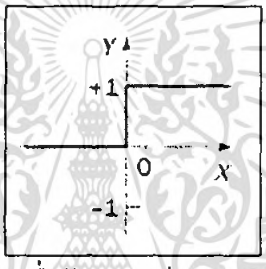
ซัมเมชั่นนี้ก็จะทำหน้าที่สอดคล้องคล้ายกับตัวเซลล์สมองชีวภาพ ผลรวมทางคณิตศาสตร์ของอินพุตและเวจท์จะได้เป็นเอาท์พุท เราเรียกว่า เน็ต (NET) ซึ่งเราจะรวมกันในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$NET = X_1 W_1 + X_2 W_2 + \ldots + X_n W_n$$

3.1 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ (Activation Function)

เมื่อได้สัญญาณ NET แล้วกระบวนการต่อมาที่นิวรอลต้องทำคือตัดสินใจ เราจึงต้องกำหนดฟังก์ชันการตัดสินใจ เพื่อใช้เป็นระดับของการตัดสินใจให้กับนิวรอล เพื่อให้ได้สัญญาณเอาท์พุทของนิวรอลออกมา ซึ่งเชื่อมต่อไปยังนิวรอลตัวอื่นๆ เป็นโครงข่าย OUT

3.1.1 สเตปฟังก์ชัน (Step function) หรือลีเนียร์เทรชโฮลฟังก์ชัน (linear threshold function)



รูปที่ 3.3 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของสเตปฟังก์ชัน

สเตปฟังก์ชัน หรือลีเนียร์เทรชโฮลฟังก์ชันนั้นจะนำสัญญาณที่เข้ามาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ค่าผลรวมจะมาเทียบกับค่าเทรชโฮล หากผลรวมมากกว่าค่าเทรชโฮลแล้วค่าระดับความสนใจของนิวรอลเท่ากับ +1 ถ้าค่าน้อยกว่าเทรชโฮลนั้นค่าระดับความสนใจของนิวรอลจะเป็น -1 (อาจแทนด้วย 0 ในบางระบบ)

$$X = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \tag{3.1}$$

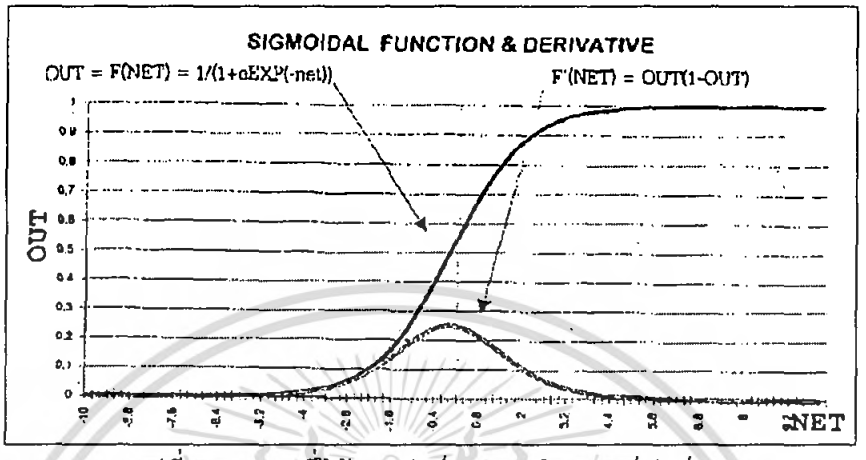
โดย X เป็นค่าผลรวมระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับอินพุต

$$Y = \begin{cases} +1 \; for \; X > t \\ 0 \; for \; X \le t \end{cases} \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Y เป็นค่าระดับความสนใจของนิวรอล และ t เป็นค่าเทรสโฮลดงที่ หรืออาจเป็นฟังก์ชันอื่นๆ ที่เลียนแบบคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นของเซลล์ประสาทชีวภาพได้อย่างใกล้เคียงกว่า และใช้เป็นฟังก์ชันให้กับโครงข่ายทั่วไปได้

3.1.2 ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid function)



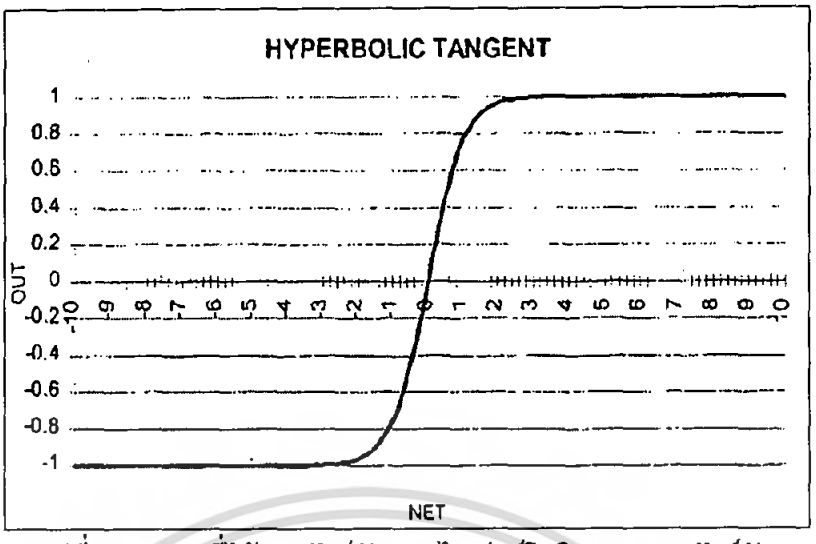
รูปที่ 3.4 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของซิกมอยด์ฟังก์ชัน

ลักษณะของเทรชโฮลฟังก์ชันมีลักษณะเป็นนอลลีเนียร์ฟังก์ชัน (Non-linear function) เช่น เอสเคิร์ฟว (S-Curve) เราจะได้ค่าเอาท์พุทที่มีความไวต่อสัญญาณอินพุทที่มีขนาดเล็กๆ และเฉลี่ยต่อสัญญาณแรงๆ ซึ่งสัญญาณอ่อนๆ ไปทางบวกเพียงเล็กน้อยก็จะให้ผลใกล้เคียง "1" กระตุ้นหรือสัญญาณอ่อนๆ ทางลบเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ผลใกล้เคียง "0" (ยับยั้ง) ขณะที่สัญญาณแรงๆ ทางบวกก็ยังคงให้ผลใกล้เคียง "1" และสัญญาณทางลบแรงๆ ก็ยังคงให้ผลใกล้เคียง "0" เช่นกัน 00 จะมีอัตราขยายแบบนอลลีเนียร์ (non- linear gain) ซึ่งคุณลักษณะแบบนี้สามารถแก้ปัญหานอยซ์แซททูเรชันดิเลมมา (Noise-saturation dilemma) ได้ และทำให้นิวรอลเทียมที่สร้างขึ้นสามารถทำงานกับขนาดของอินพุทได้กว้างมากขึ้น โดยครอบคลุมอินพุตในช่วง $-\infty$ ถึง $+\infty$ โดยฟังก์ชันของซิกมอยด์ฟังก์ชันคือ

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชัน (Hyperbolic tangent function)



รูปที่ 3.5 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันของไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชัน

มีลักษณะคล้ายกับซิกมอยด์ฟังก์ชันแต่เนื่องจากมันจะมีความสมมาตรจึงให้ผลอยู่ระหว่าง "-1" ถึง "1" ผลจะเป็น "0" เมื่อเน็ตเป็น "0" และผลเข้าใกล้ "1" เมื่ออินพุทไปทางบวกและเข้าใกล้ "-1" เมื่อ อินพุทมีทิศทางไปทางลบ โดยฟังก์ชันของไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชันคือ

$$\text{Tanh}(x) \qquad (3.4)$$

3.2 การฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม(Training of Artificial Neural Networks)

ค่าถ่วงน้ำหนัก มีความสัมพันธ์กับอะไร เปลี่ยนแปลงอย่างไร นั้นก็เช่นเดียวกับเด็กที่คลอดออกมาก็มีสมองแล้วแต่สมองยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอ และยังไม่ได้รับการฝึกสอน และเรียนรู้ เด็กจึงไม่สามารถทำกิจกรรมใดๆด้วยตนเอง เว้นแต่กิจกรรมที่ธรรมชาติสร้างมาพร้อมกับการกำเนิดที่เรียกว่า "สัญชาติญาณ" ซึ่งธรรมชาติใส่คุณลักษณะบางอย่างให้เซลล์สมองบางส่วนตั้งแต่ทารก เจริญเติบโตอยู่ในครรภ์มารดา เช่น ระบบควบคุมการหายใจ, ความรู้สึก, การเรียกร้องเมื่อหิว, การตอบสนองต่อสิ่งเร้า ฯลฯ เด็กจะพัฒนาการเรียนรู้ไปตามขั้นตอน หลังจากนั้นสมองของเขาจะได้รับการฝึกสอน และเจริญเติบโตไปพร้อมๆกัน เซลล์สมองจะได้รับการปรับคุณลักษณะสอดคล้องกับการฝึกสอน และจะเจริญเป็นโครงข่ายสอดคล้องกัน

โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ เมื่อสร้างเสร็จ แต่ละเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้นมานั้น จะยังไม่มีคุณลักษณะใดเลย เนื่องจากยังไม่มีการกำหนดค่าซินแนปติกส์เวจท์ที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการให้กับมัน จึงต้องมีการฝึกสอนเพื่อให้โครงข่ายที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ การฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม จะกระทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าซินแนปติกส์เวจท์เพื่อให้โครงข่ายจดจำรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทได้ โดยใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกกำหนดเป็นค่าสุ่มใดๆ (Random weight) ก่อนแล้วถึงปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักไปตามอัลกอริทึมสมมติฐานหลายๆรอบจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ของโครงข่าย เหมือนกับผลลัพธ์ที่ต้องการในเงื่อนไขความผิดพลาดที่ยอมรับได้

3.3 วัตถุประสงค์ของการฝึกฝน (Objective of Training)

เนื่องจากค่าถ่วงน้ำหนักที่ให้เป็นค่าสุ่มใดๆ โครงข่ายจึงไม่แสดงคุณลักษณะใดออกมา การฝึกสอน (Training) ให้โครงข่ายก็คือการปรับค่าค่าถ่วงน้ำหนักทุกๆจุดให้สอดคล้องกับอินพุทหลายๆแบบ เพื่อให้ได้เอาท์พุทตามต้องการนั่นเอง การฝึกสอนโครงข่าย จะต้องบรรลุถึงกระบวนการเข้าใจพื้นฐานเสียก่อน คือการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีขีดจำกัด ปัญหาต่างๆ ผู้ใช้คงต้องแก้ไขให้มันก่อน แล้วนำผลนั้นไปอ้างอิงสำหรับการปรับปรุงค่าค่าถ่วงน้ำหนัก หลังจากปรับค่าถ่วงน้ำหนักจนได้ค่าผิดพลาดที่เอาท์พุทเทียบกับเป้าหมายน้อยลงเป็นที่พอใจแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมนั้นก็พร้อมที่จะวิเคราะห์อินพุทและให้เอาท์พุทตามลักษณะตัวอย่างที่มันเคยเรียนรู้มาการเรียนรู้จะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักหลายๆรอบ จนค่าถ่วงน้ำหนักสอดคล้องกับตัวอย่างหลายๆตัวอย่าง และให้เอาท์พุทตามต้องการ พบว่าโครงข่ายได้ตัวอย่างสำหรับการฝึกฝนมากๆ โครงข่ายก็จะมีความแม่นยำสูงขึ้น แต่ก็จะใช้เวลาในการฝึกฝนเพิ่มขึ้นเช่นกัน หากพิจารณาต่อไปจะพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นจะมีพฤติกรรมคล้ายกับระบบการเรียนรู้ของมนุษย์มากเป็นเพราะมีต้นแบบมาจากระบบประสาทชีวภาพนั่นเอง

3.3.1 การฝึกฝนแบบควบคุม (Supervised Training)

วิธีการฝึกฝนถูกจัดเป็น 2 ประเภท คือ แบบควบคุม และแบบอิสระ (Unsupervised training) โดย การฝึกฝนแบบควบคุม จะต้องการคู่ของการฝึกฝนระหว่างอินพุทกับเป้าหมายที่ต้องการที่เรียกว่า คู่การฝึกฝน (Training pairs) โครงข่ายจะถูกเทรนไปตามจำนวนของคู่ที่ฝึกฝน (จำนวนคู่ของอินพุทกับเอาท์พุทที่ต้องการให้โครงข่ายรู้จัก) เอาท์พุทที่คำนวณได้จากโครงข่ายจะถูกเปรียบเทียบกับความสอดคล้องกับเป้าหมาย ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนกลับไปยังโครงข่ายและเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักให้สอดคล้องกับวิธีการ ที่ทำให้แนวโน้มของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างผลลัพธ์กับเป้าหมายโดยเฉลี่ยมีค่าลดต่ำลง ตัวอย่างการฝึกฝนแบบนี้ ได้แก่ การฝึกฝนแบบแพร่กลับ (Back-propagation) ซึ่งการฝึกฝนแบบควบคุมนั้นจะต้องทำการฝึกฝนโครงข่ายก่อนที่จะนำข้อมูลที่ไม่เคยจำแนกในโครงข่าย

3.3.2 การฝึกฝนแบบอิสระ

ถึงแม้ว่าวิธีการแบบควบคุมสามารถจะประยุกต์ใช้เพื่อปรับคุณลักษณะของโครงข่ายได้สำเร็จ แต่ก็ยังมีข้อวิจารณ์อยู่ คือ มันเป็นไปอย่างชีวภาพไม่ได้ และยากที่จะเชื่อได้ว่า กลไกการฝึกฝนของสมองจะต้องการ การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ต้องการกับผลลัพธ์จริง โดยกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

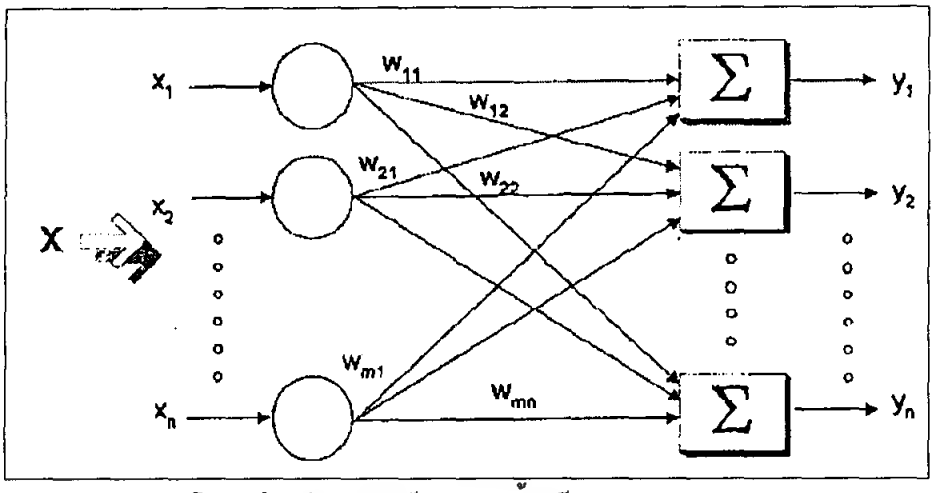
ป้อนกลับไปแก้ไขคุณลักษณะของโครงข่าย และถ้าสมมติว่า ถ้าสมองมีกลไกเช่นนี้ ต้องมีผู้หาผลลัพธ์ที่ต้องการเพื่อนำมาเป็นเป้าหมายตลอดเวลา และจะเอามาจากที่ใดสรุปคือ ต้องมีผู้คิดเป้าหมายให้กับโครงข่ายก่อน โครงข่ายไม่สามารถคิดและปรับคุณลักษณะได้ก่อนด้วยตนเอง ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาทารกแรกเกิดสมองของเขาสามารถจัดระบบเองได้อย่างไร การฝึกฝนแบบอิสระที่สร้างขึ้นคงยังห่างไกลความเป็นไปได้ ที่จะมีลักษณะการฝึกฝนแบบระบบของสมอง จนกระทั่งมีการพัฒนาการฝึกฝนแบบอิสระนี้ขึ้นปี 1984 ได้เสนอแนวคิดที่เป็นการฝึกฝนแบบไม่ต้องการเป้าหมายไม่มีการตัดสินใจด้วยเหตุผลในอุดมคติมาก่อน

ชุดข้อมูลของการฝึกฝน จะมีเพียงอินพุทเวกเตอร์เท่านั้น ฝึกฝนอัลกอริทึมจะเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย เพื่อสร้างเอาท์พุทที่มีความคงที่ ยกตัวอย่างเช่น หากให้โครงข่ายรู้จำภาพหน้าคนหนึ่ง หากภาพหน้าคนคนนั้นเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย (ภาพอาจมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่บ้าง) โครงข่ายนั้นก็ยังสามารถบอกได้ว่าคนคนนั้นเป็นคนเดิม เป็นต้น การฝึกฝนจะไม่มีการตัดสินใจมาก่อน ไม่มีการกำหนดแบบเอาท์พุทมาก่อน (อาจกล่าวได้ว่าแบบเอาท์พุทจะถูกกำหนดโดยอินพุทเวกเตอร์นั่นเอง) ดังนั้น เอาท์พุทของโครงข่ายก็เช่นกัน ส่วนใหญ่จะถูกแปรรูปซึ่งจะเข้าใจได้ภายหลังกระบวนการฝึกฝน ดังนั้นจึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่เคร่งครัดสำคัญได้ แต่มักนิยมใช้โครงข่ายแบบนี้กับงานง่ายๆ ประเภทการเปรียบเทียบเอกลักษณ์ รูปแบบที่สัมพันธ์กันระหว่างอินพุท-เอาท์พุท ที่ถูกกำหนดโดยโครงข่าย

3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Artificial Neural Networks)

ที่กล่าวมาจะถึงจุดนี้ เป็นการกล่าวถึงหลักการและเหตุผลในการสร้างเซลล์ประสาทเทียมเพียงหนึ่งเซลล์ โดยใช้แนวความคิดจากเซลล์ประสาทชีวภาพ การจะนำเซลล์ประสาทเทียมมาใช้งานได้นั้นต้องใช้เซลล์ประสาทเทียมที่มีคุณลักษณะต่างๆกัน (ค่าถ่วงน้ำหนักจะทำให้คุณสมบัติของเซลล์ประสาทเทียมแต่ละเซลล์มีคุณลักษณะแตกต่างกันไป) มาเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายในลักษณะเดียวกับเซลล์สมองชีวภาพเสียก่อน ซึ่งลักษณะการเชื่อมโยงมีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single-Layer Neural Networks)

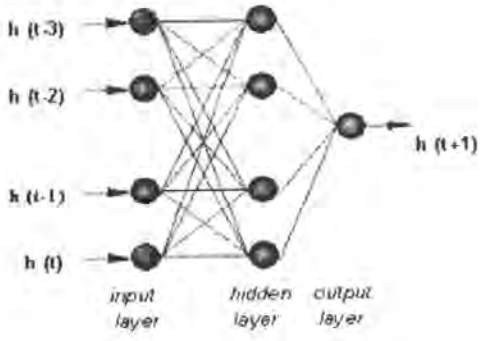
จากรูป เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว ที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมง่ายๆ หลายชุด ความสามารถในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมได้มาจากลักษณะการเชื่อมต่อ เป็นโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายง่ายๆเป็นกลุ่มโมดูลประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันเป็นชั้นๆ (Layer)

อย่างไรก็ดีลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างโครงข่ายไม่ได้มีแบบเดียว การเชื่อมโยงระหว่างชั้นอาจมีการเชื่อมโยงย้อนกลับมาที่ชั้นอินพุทอีก ซึ่งโครงข่ายประสาทชีวภาพก็มีลักษณะดังกล่าวเช่นกัน สำหรับค่าน้ำหนัก มีวิธีการพิจารณาในรูปของ เวจท์เมตริก (Weight matrix) ซึ่งหากโครงข่ายมีหลายชั้น จะช่วยให้ระบุค่าถ่วงน้ำหนักได้ง่ายขึ้น และเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนจะกำหนดเป็นมิติ (Dimensions) ของเมตริก โดยให้ m แทนจำนวนแถว หรือจำนวนของอินพุท และ n แทน จำนวนของนิวรอล ที่สร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างอินพุทตัวที่ 4 กับนิวรอลตัวที่ 2 คือ $W_{4,2}$

3.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Artificial Neural Networks)

โครงข่ายที่ซับซ้อนจะมีความสามารถในการคำนวณที่ดีขึ้นมันจะเป็นโครงข่ายที่มีโครงสร้างเป็นจินตนาการที่น่าเป็นไปได้โดยการจัดการเชื่อมโยงนิวรอลมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ คล้ายส่วนหนึ่งของสมองและมีการพัฒนาวิธีการเกี่ยวกับการฝึกสอนให้โครงข่ายแบบหลายชั้นทำงานได้ ตามความต้องการแล้วเมื่อไม่นานมานี้โครงข่ายแบบหลายชั้นอาจจะสร้างจากกลุ่มของโครงข่ายแบบชั้นเดียวเอาท์พุทของชั้นหนึ่ง จะใช้เป็นอินพุทของชั้นถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

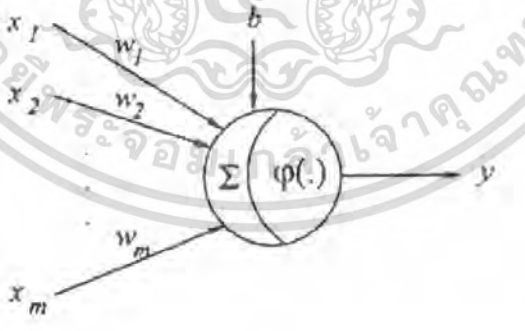


รูปที่ 3.7 แสดงการแผนภาพของโครงข่ายแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (Feed-forward network)

จากภาพเป็นโครงข่ายแบบฟีดฟอร์เวิร์ดโดยชั้นแรกเป็นอินพุตเลเยอร์ (Input layer) แต่ละโหนดในชั้นนี้ได้รับสัญญาณจากภายนอก ซึ่งชั้นนี้อาจไม่ใช่นิวรอลก็ได้ แล้วส่งสัญญาณนี้ไปยังชั้นถัดไปคือ ฮิดดันเลเยอร์ (Hidden layer) ในชั้นนี้ประกอบด้วยนิวรอล สัญญาณที่รับเข้ามาจะถูกส่งไปยังเอาท์พุตเลเยอร์ (Output layer) เพื่อส่งสัญญาณที่ได้ออกไป เมื่อโครงข่ายแบบฟีดฟอร์เวิร์ดผ่านการฝึกฝนแล้วสถานะจะไม่เปลี่ยนถ้าข้อมูลใหม่เข้ามา กล่าวคือระบบนี้ไม่มีหน่วยความจำ

สาเหตุที่เรียกว่าฟีดฟอร์ดเวิร์ดเนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมาจากอินพุตโหนด (Input node) จะถูกส่งไปยังเอาท์พุตโหนด (Output node) โดยไม่มีการส่งข้อมูลบางส่วนของเอาท์พุตโหนด กลับมายังอินพุตโหนดระบบที่มีการส่งข้อมูลบางส่วนของเอาท์พุตโหนดกลับมานั้นเรียกว่า recurrent network

3.6 เพอร์เซ็ปตรอน (Perceptrons)



รูปที่ 3.8 แสดงการแผนภาพของเพอร์เซ็ปตรอน

เพอร์เซ็ปตรอนเป็นโมเดลแรกของโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นแบบควบคุม (Rosenblatt, 1958) ซึ่งเป็นสามารถแยกข้อมูลที่รับมาแบ่งได้เป็นสองประเภท โดยสามารถนำไปใช้เพื่อจำแนกรูปและในงานจำพวกการรู้จำต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพอร์เซ็ปตรอนใช้สเตปฟังก์ชัน ถ้าค่าผลลัพธ์เป็น +1 แสดงว่าผลรวมระหว่างการคูณของข้อมูลที่รับมาและค่าถ่วงน้ำหนักมีค่ามากกว่า เทรชโฮล และในทางกลับกันถ้าค่าน้อยกว่าค่าผลลัพธ์จะเป็น -1 ฟังก์ชันของ step สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Step(X) = \begin{cases} +1 \; for \; X > t \\ -1 \; for \; X \le t \end{cases} \tag{3.5}$$

ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจของเพอร์เซ็ปตรอนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y = Step\left(\sum_{i=0}^{n} w_i x_i \right) \tag{3.6}$$

การสอนเพอร์เซ็ปตรอนนั้นสามารถสังเกตจากผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งแยก ถ้าผลลัพธ์ไม่ถูกต้องต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อทำให้ใกล้กับข้อมูลที่รับมา

$$w_i \longleftarrow w_i + (a \times x_i \times e) \tag{3.7}$$

เมื่อ e คือ ค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์

a คือ ค่าอัตราการเรียนรู้ (0 < a < 1)

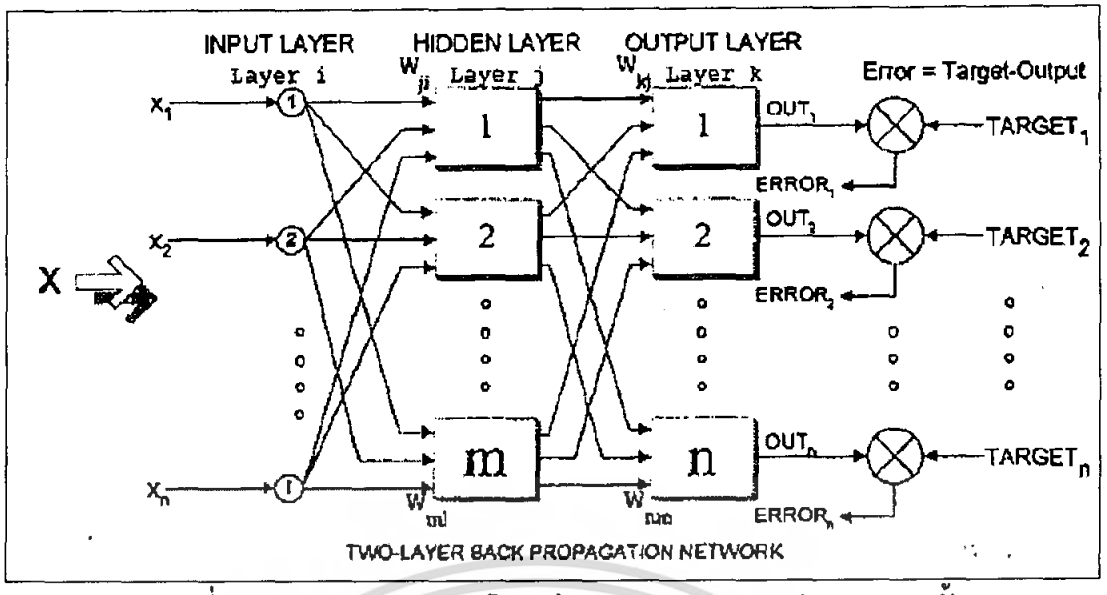
ถ้าค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์เป็นศูนย์แสดงว่าผลลัพธ์นั้นถูกต้อง ถ้าผลลัพธ์มีค่ามากจะทำการลดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับค่าของข้อมูลที่รับมาที่มีค่าเป็นบวก และการสอนถ้าทำในครั้งแรกไม่ถูกต้องก็จะใช้วิธีเดิมสอนจนกระทั่งได้ผลที่ถูกต้อง เรียกวิธีว่า epoch

3.7 แบคพรอพเกชัน

แบคพรอพเกชันเป็นโครข่ายที่มีโครงสร้างแบบมัลติเลเยอร์ (Multilayer network) การเรียนรู้ควบคุมโดยแต่ละนิวรอลมีค่าถ่วงน้ำหนักช่วยกับอินพุต และค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกปรับเปลี่ยนเมื่อมีค่าความผิดพลาดจากฝึกฝน โดยส่วนใหญ่ใน multilayer back-propagation network จะนิยมใช้ซิกมอยด์ฟังก์ชัน

วิธีการแบคพรอพเกชันจะกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักโดยการสุ่มค่า จากนั้นจะนำข้อมูลเข้าโครงข่ายจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ แล้วนำค่าความผิดพลาดจากผลลัพธ์ส่งกลับเป็นข้อมูลทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักเปลี่ยนไป ทำวิธีการนี้จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ใกล้ค่าตามที่ต้องการ หรือจนกระทั่งค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพของโครงข่ายแบบแบคพรอพเกชันแบบสองชั้น

เราพิจารณาทั้งสามชั้นของโครงข่ายโดยให้ i แทนโหนดในอินพุตเลเยอร์ j แทนโหนดในฮิดดันเลเยอร์ และ k แทนโหนดในเอาท์พุตเลเยอร์ w_{ij} แทนค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างโหนดในอินพุตเลเยอร์ และโหนดในฮิดดันเลเยอร์

ฟังก์ชันที่ใช้หาค่าผลลัพธ์จากโหนด j ในโครงข่าย

$$X_j = \sum_{i=1}^{n} x_i . w_{ij} - \theta_j \tag{3.8}$$

$$Y_j = \frac{1}{1+e^{-X_j}} \tag{3.9}$$

เมื่อ n แทนจำนวนของข้อมูลในโหนด j w_{ij} แทนค่าถ่วงน้ำหนักของจุดเชื่อมต่อระหว่างโหนด i และ j θ_j แทนค่าเทรชโฮล ที่ใช้ในโหนด j โดยการสุ่มค่าระหว่าง 0 ถึง 1 x_j แทนข้อมูลจากอินพุตโหนด I และ y_j แทนผลที่ได้จากโหนด j

ข้อมูลที่ส่งเข้าโครงข่ายจนถึงผลลัพธ์ ค่าความผิดพลาด (Error gradient) จะถูกคำนวณจากแต่ละโหนด k ในเอาท์พุตเลเยอร์โดยค่าความผิดพลาดถูกกำหนดจากผลต่างระหว่างค่าที่ต้องการและค่าที่ได้จริง

$$e_k = d_k - y_k \tag{3.10}$$

ค่าความผิดพลาดของอาท์พุตโหนด k ถูกกำหนดจากค่าความผิดพลาดจากโหนดคูณกับค่าที่ได้จากฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83025

$$\delta_k = \frac{\partial y_k}{\partial x_k}.e_k = y_k.(1-y_j).e_k \tag{3.11}$$

เมื่อ x_k แทนผลรวมของค่าอินพุตในโหนด k

ค่าความผิดพลาดสำหรับแต่ละโหนด j ในฮิดดันเลเยอร์จาก

$$\delta_j = y_j.(1-y_j)\sum_{k=1}^{n} w_{jk}\delta_k \tag{3.12}$$

เมื่อ n เป็นจำนวนของโหนดในเอาท์พุตเลเยอร์โดยที่จำนวนของผลลัพธ์ได้มาจากแต่ละโหนดในฮิดดันเลเยอร์

ค่าถ่วงน้ำหนักในโครงข่ายจะถูกทำให้เป็นข้อมูลที่ถูกต้องดังสูตร

$$w_{ij} \longleftarrow w_{ij} + \alpha.x_i.\delta_j \tag{3.13}$$

$$w_{jk} \longleftarrow w_{jk} + \alpha.y_i.\delta_k \tag{3.14}$$

เมื่อ x_i เป็นข้อมูลจากอินพุตโหนด i และ α เป็นอัตราการเรียนรู้ ซึ่งควรเป็นค่าบวกและมีค่าไม่เกิน 1 อีกทั้งไม่ควรเป็นค่าที่มากจนเกินไป

3.7.1 การพัฒนาประสิทธิภาพของแบคพรอพเกชัน

เนื่องจากวิธีการแบคพรอพเกชันเมื่อนำไปแก้ปัญหานั้นพบว่ามีแนวโน้มค่อนข้างช้า ในบางปัญหาอาจทำร้อยหรือพันครั้งของ epoch จึงทำให้ได้ค่าความผิดพลาดที่เป็นที่พอใจได้ จึงได้มีการรวมแรงกระตุ้น (Momentum) ในสูตรเพื่อช่วยแก้ค่าถ่วงน้ำหนัก โดยคิดเฉพาะค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนในรอบที่ผ่านมา เมื่อ t แทนรอบปัจจุบันและ t-1 แทนรอบที่ผ่านมา เราสามารถเขียนกฎการเรียนรู้ได้ดังนี้

$$\Delta w_{ij}(t) = \alpha.x_i.\delta_j + \beta\Delta w_{ij}(t-1) \tag{3.15}$$

$$\Delta w_{jk}(t) = \alpha.y_i.\delta_k + \beta\Delta w_{jk}(t-1) \tag{3.16}$$

เมื่อ $\Delta w_{ij}(t)$ เป็นผลรวมการเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างโหนด i และ j

β แทนค่าแรงกระตุ้นมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีการใช้แรงกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎที่มีการเพิ่มค่าแรงกระตุ้นเรียกว่า generalized delta rule และการเพิ่มแรงกระตุ้นนั้นยังทำให้วิธีการแบคพรอพเกชันหลีกเลี่ยงจาก local minima และทำให้เคลื่อนผ่านพื้นที่ที่มีค่าความผิดพลาดที่เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น

อาจมีการใช้ไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชันแทนซิกมอยด์ฟังก์ชันเพื่อให้เพอร์เซ็ปตรอนทำงานได้เร็วยิ่งขึ้น สมการของไฮเปอร์โบลิกแทนเจนฟังก์ชัน คือ

$$\tanh(x) = \frac{2a}{1+e^{-bx}} - a \tag{3.17}$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ เช่น a = 1.7 และ b = 0.7

3.8 Recurrent Networks

recurrent network เป็นการเรียนรู้แบบควบคุมสามารถนำข้อมูลย้อนกลับจากผลลัพธ์ไปยังอินพุตโหนด และสถานะสามารถเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลที่ได้รับ กล่าวคือระบบมีหน่วยความจำ ในการแก้ปัญหาไม่ว่าสถานการณ์ใดๆนั้นปัจจัยจะขึ้นกลับข้อมูลก่อนหน้าทั้งหมด

recurrent network นำข้อมูลผ่านเข้าระบบ รวมถึงนำข้อมูลย้อนกลับจากผลลัพธ์ไปยังอินพุต และจะทำกระบวนการนี้ซ้ำจนกระทั่งผลลัพธ์ไม่เปลี่ยน เรียกสถานะนี้ว่า equilibrium หรือ stability และในบางกรณี recurrent network ไม่สามารถไปสถานะที่คงที่ได้ เนื่องจากค่าต่างของผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

3.9 Hopfield Network

โดยมากจะใช้ sign activation function เป็นฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจโดยมีสมการดังนี้

$$Sign(X) = \begin{cases} +1 \; for \; X > 0 \\ -1 \; for \; X < 0 \end{cases} \tag{3.18}$$

ในฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจจะไม่กำหนด Sign(0) เนื่องจากถ้าโครงข่ายได้รับข้อมูล 0 หมายถึง สถานะเดิมกล่าวคือ ระบบคงที่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ hopfield network จะใช้เครื่องหมายเมทริคซ (matrix arithmetric) โดยค่าถ่วงน้ำหนักจะแทนด้วย matrix W ดังนี้

$$W = \sum X_i X_i' - NI \tag{3.19}$$

เมื่อ X_i แทน vector ของข้อมูล

X_i' แทน matrix transposition

I แทน เมตริกซ์เอกลักษณ์ขนาด m x m

N แทน จำนวนของสถานะ (X_i) ที่สามารถเรียนรู้ได้เวกเตอร์ผลลัพธ์ถูกกำหนดโดย $Y_i = Sign(WX_i - \theta)$ เมื่อ θ แทนค่า threshold matrix

ระยะการพัฒนาการใช้ hopfield network แบ่งได้ 3 ระยะคือ

1. ใช้สำหรับฝึกฝนโครงข่ายให้สามารถจดจำได้
2. ทดสอบโครงข่าย โดยการใส่ข้อมูลแล้วตรวจสอบผลลัพธ์ว่าข้อมูลถูกต้องหรือไม่
3. นำระบบไปใช้จริง

Hamming distance ใช้วัดจำนวนของสอง vector ที่แตกต่างกัน เช่นถ้าวัดระหว่าง vector X และ Y แทนด้วย $\|X, Y\|$

Hopfield network มีหน่วยความจำสำหรับนำ vector ที่รับมาใส่ใน vector หน่วยความจำของ hamming distance จาก vector ที่ได้รับที่ค่าน้อยที่สุด

3.10 Bidirectional Associative Memories (BAMs)

โครงสร้างคล้ายกับ hopfield network เป็นการเรียนรู้แบบควบคุม และสามารถใช้ associate item จากกลุ่มหนึ่งไปใช้ในกลุ่มอื่นได้ โดยโครงข่ายประกอบด้วย 2 ชั้น แต่ละโหนดในชั้นแรกจะเชื่อมต่อกับทุกโหนดในชั้นอื่น (fully connected) ซึ่งต่างจาก hopfield network ที่จะเชื่อมทุกโหนดภายในชั้นเดียวกันเท่านั้น แต่ในและใช้ sign activation function เหมือนกับ hopfield network

weights matrix ถูกกำหนดโดย

$$W = \sum_{i}^{n} X_i Y_i' \tag{3.20}$$

เมื่อ X, Y เป็นกลุ่มข้อมูลที่จะทำการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบโครงข่ายเมื่อแทนข้อมูล X_i โครงข่ายจะได้ผลลัพธ์ตาม vector (Y_i) นี้ $Sign(W^t X_1)$ และในทางกลับกันสามารถแทน Y_1 แล้วได้ X_1 ดังนี้ $Sign(WY_1)$ ดังนั้น BAM จะรับประกันความคงที่ของผลลัพธ์ไม่ว่าจะใส่ข้อมูลใดก็ตาม แล้วทำการฝึกฝนข้อมูลนั้น

3.11 Kohonen Maps

kohonen map หรือ self-organizing feature map โดย kohonen map ใช้วิธีการ winner – take –all เป็นการเรียนรู้แบบอิสระอาจเรียกว่า competitive learning ซึ่งวิธีการ winner – take –all นั้นใช้หลักการที่ใช้หน่วยประสาทเดียวจัดการผลลัพธ์ของโครงข่ายในการตอบสนองให้ข้อมูลที่ได้รับ

จุดประสงค์ของ kohonen map เป็นการรวมกลุ่มของข้อมูลที่ได้รับเข้ากับกลุ่มของการรวมกลุ่ม เช่นถ้า kohonen map ได้รับกลุ่มหัวข้อใหม่จะนำหัวข้อนั้นไปรวมกับประเภทของหัวเรื่อง kohonen map จะไม่บอกว่าอยู่กลุ่มใดแต่จะบอกว่าเป็นของส่วนไหน kohonen map จะมีประโยชน์ในการจัดกลุ่มข้อมูลที่ไม่รู้จัก

kohonen map ประกอบด้วย 2 ชั้นคืออินพุตเลเยอร์ และcluster layer โดย cluster layer จัดการเหมือนเอาท์พุตเลเยอร์แต่ละอินพุตเลเยอร์ จะเชื่อมต่อกับทุกๆ โหนดใน cluster layer และโหนดใน cluster layer ถูกจัดเตรียม grid information ถึงแม้ไม่มีความจำเป็นก็ตาม

การฝึกฝนตาม kohonen map เริ่มจากทุกค่าถ่วงน้ำหนักนั้นทำการสุ่มเป็นค่าน้อยๆ ค่าอัตราการเรียนรู้สุ่มเป็นค่าบวกเลขน้อยๆ จากนั้นแทนอินพุตเวกเตอร์เข้าไปในอินพุตเลเยอร์ของแผนที่ในอินพุตเลเยอร์ส่งข้อมูลที่ได้รับไปยัง cluster layer หน่วยประสาทใน cluster layer ที่เข้ากับข้อมูลที่รับมากที่สุดจะเป็นผู้ชนะ โดยหน่วยประสาทจะจัดการผลที่ได้จากการจัดกลุ่มของแผนที่ แล้วค่าถ่วงน้ำหนักจะเปลี่ยนแปลง

ในการพิจารณาว่าหน่วยประสาทใดจะชนะนั้น เวกเตอร์ที่ได้จะถูกเปรียบเทียบกับอินพุตเวกเตอร์ โดยค่าหน่วยประสาทใดมีค่าใกล้เคียงอินพุตเวกเตอร์จะเป็นผู้ชนะ

Euclidean distance (d_i) จาก input vector x ของหน่วยประสาทด้วย weight vector w_i คำนวณโดย

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(w_{ij} - x_j\right)^2} \qquad (3.21)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนของหน่วยประสาทในอินพุตเลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงข่ายที่มีค่า d_i มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นผู้ชนะ และหน่วยประสาทนั้นจะปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักดังนี้ $w_{ij} = w_{ij} + \alpha(x_j - w_{ij})$ ในทางปฏิบัติแล้วนั้นเมื่อหน่วยประสาทที่ชนะปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักแล้วนั้น หน่วยประสาทที่อยู่ใกล้หน่วยประสาทที่ชนะทั้งสองแนวก็จะปรับปรุงค่าด้วย การฝึกฝนจะสิ้นสุดเมื่อการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยมากๆจากกลุ่มของหน่วยประสาท

3.12 ข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียม

1.เซลล์ของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตทั้งหลายโครงข่ายประสาทชีวภาพซึ่งทำงานแบบขนาน คือ ส่วนต่าง ๆ ของข่ายประสาททำงานพร้อม ๆ กันในเวลาเดียวกัน

2. เกิดความสามารถในการเรียนรู้ขึ้นได้

3.13 ข้อเสียของโครงข่ายประสาทเทียม

1. โครงข่ายประสาทเป็นวิธีที่ยากต่อการทำความเข้าใจในแบบที่ถูกผลิตออกมา

2. โครงข่ายประสาทมีคุณสมบัติที่ไวต่อรูปแบบของข้อมูลที่รับมา ถ้าเราแทนข้อมูลด้วยรูปแบบที่ แตกต่างกันก็จะสามารถผลิตผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกมา ดังนั้นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ ข้อมูลจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่ง

3.14 การพัฒนาของโครงข่ายประสาทเทียม

การนำ genetic algorithm นำมาหาค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับโครงข่าย เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับวิธีการค้นหา อีกทั้งช่วยให้จำนวนของหน่วยประสาท และการเชื่อมต่อระหว่างหน่วยประสาทมีจำนวนที่เหมาะสมได้

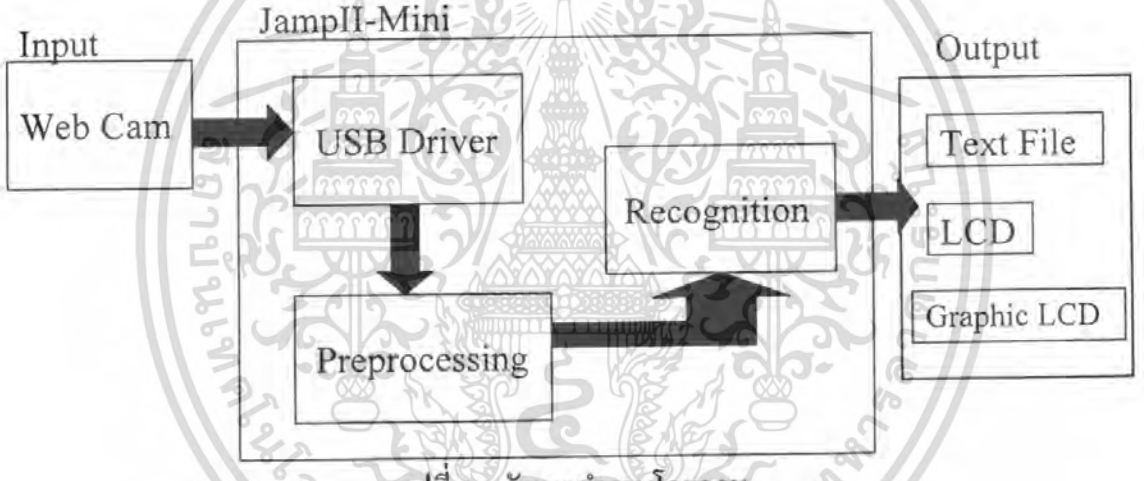
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

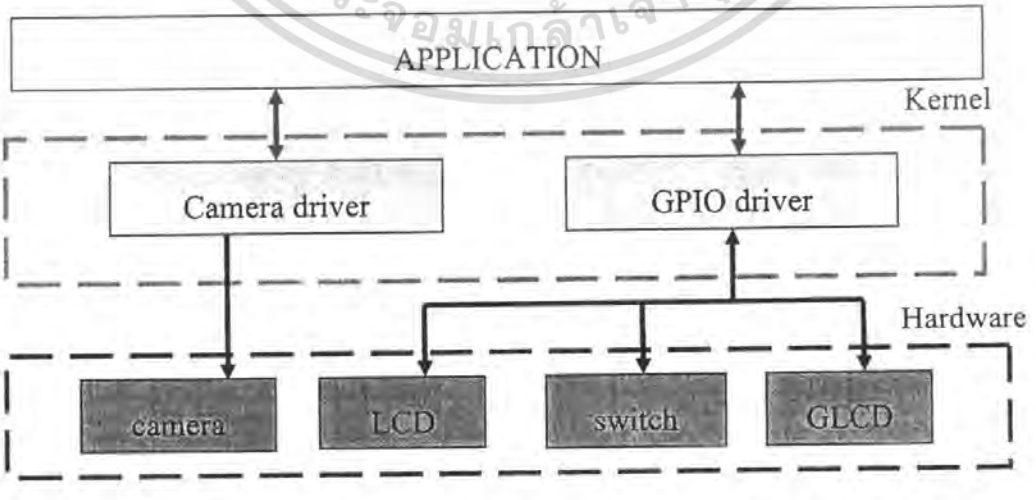
หลักการทำงานและโครงสร้างของโปรแกรม

4.1 หลักการทำงานโดยรวมของระบบ

ระบบจะรับภาพเจเพ็กจากกล้องเว็ปแคม (Webcam) ผ่านทางยูเอสบีพอร์ท (USB port) จากนั้นจะทำการเปลี่ยนภาพเจเพ็ก เป็นไฟล์ภาพบิตแม็ปเพื่อแปลงเป็นภาพไบนารี่โดยใช้วิธีการเทรชโฮล จากนั้นจะกำจัดสิ่งรบกวนต่างๆ แล้วจึงทำการหาตำแหน่งป้ายทะเบียนต่อด้วยการหาตำแหน่งเลขทะเบียน เพื่อนำเข้าสู่ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาหมายเลขทะเบียนต่อไป โดยจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้ออกทางหน้าจอแอลซีดี (LCD) และเก็บบันทึกลงเท็กไฟล์ (Text File)



รูปที่ 4.1 ผังการทำงานโดยรวม



รูปที่ 4.2 System Layer ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโปรแกรม

รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการทำงานของส่วนเตรียมข้อมูลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์และเตรียมความพร้อมระบบ

4.2.1 การเลือกใช้บอร์ดทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียต่างๆระหว่าง PC (Personal computer) และบอร์ดทดลองสมองกลฝังตัว พบว่าบอร์ดทดลองสมองกลฝังตัวมีข้อดีกว่าตรงที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานน้อย และราคาถูกกว่า ซึ่งตรงกับความต้องการที่จะให้ระบบนั้นสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบ PC และ Embedded Board

คุณสมบัติ	PC	Embedded Board
ความเร็วในการประมวลผล	**เร็ว**	ช้า
หน่วยความจำ	**มาก**	น้อย
ขนาด	ใหญ่	**เล็ก**
ใช้พลังงาน	มาก	**น้อย**
ราคา	แพง	**ถูก**

เนื่องจากบอร์ดทดลองสมองกลฝังตัวที่จะต้องเลือกมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องมีการทำงานที่เร็วพอสมควร รวมทั้งมีเมมโมรี่ (Memory) มากพอ และมีอินเทอเฟส (Interface) ที่ติดต่อได้ง่าย ภายหลังจากการค้นหาข้อมูลแล้วทำให้ทราบว่า ปัจจุบันมี Embedded Board ที่เหมาะสมดังนี้

1. บอร์ดทดลองสมองกลฝังตัว รุ่น ALTAIR 255 ของบริษัท Thaigertec
2. บอร์ดทดลองสมองกลฝังตัว รุ่น JAMPII-Mini ของบริษัท Design Gateway

โดยที่บอร์ดทดลองสมองกลฝังตัวทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบ ALTAIR 255 และ JAMPII-Mini

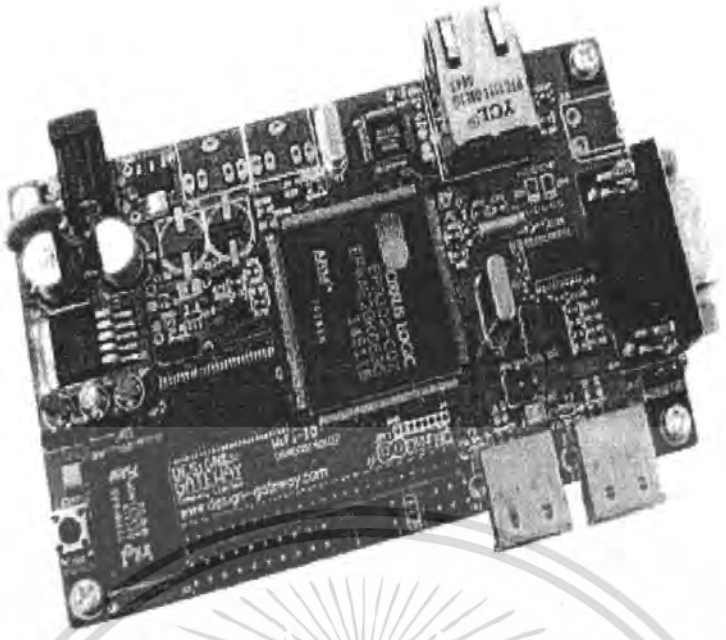
Embedded Board	ALTAIR 255	JAMPII-Mini
CPU	Intel® XScale™ รุ่น PXA255 400 MHz	ARM920T รุ่น EP9302 200 MHz
SDRAM	64 MBytes	32 MBytes
Flash	32 MBytes	8 MBytes
FPGA	Xilinx® Virtex-II™	-
Ethernet	10/100Base-TX, full/half duplex	10/100Base-TX, full/half duplex
USB Interface	USB 2.0 On-The-Go/host/device	Two-port USB 2.0 Full-speed Host
LCD Interface	Maximum 640x480x16 Bit/pixel	-
GPIO	yes	yes
ราคา	50,000 – 60,000 บาท	4,800 บาท

หลังจากได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆและทดลองใช้ Embedded Board ทั้งสองชนิดนี้แล้ว จึงตัดสินใจเลือกใช้บอร์ด JampII-Mini ในโครงงานนี้ เนื่องจากมีราคาถูกกว่ามาก และยังรองรับการใช้งาน USB-Host อีกด้วย

คุณสมบัติโดยละเอียดของ JampII-Mini

- ARM9 EP9302 CPU that run on frequency up to 200 MHz
- 32Meg x 16 SDRAM
- 8Meg x 16 Flash memory
- Two-port USB2.0 Full Speed Host (OHCI) (12 Mbits per second)
- 5 channel 12-bit Analog-to-Digital Converter Input
- One RS-232/RS-485 port
- 20 general purpose I/O
- One Ethernet 10/100 port, RJ-45 connector
- Linux base operating system (Linux 2.6.x)

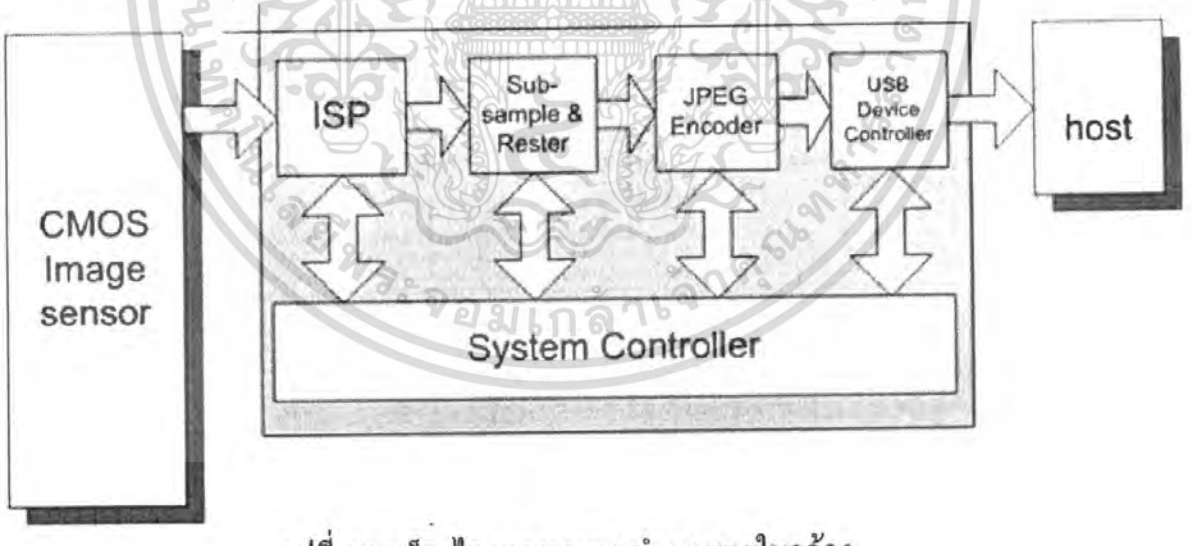
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 JampII-Mini

4.2.2 การเลือกใช้กล้องเว็ปแคม

จากคุณสมบัติรองรับยูเอสบี ของบอร์ด JampII-Mini จึงตัดสินใจเลือกใช้กล้องเว็ปแคม รุ่น WebCam Live! ของ CREATIVE ซึ่งกล้องรุ่นนี้ใช้ชิพประมวลผลรุ่น ZC301-2 โดยมีการทำงานดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรม การทำงานภายในกล้อง

คุณสมบัติของกล้อง

- ความละเอียดสูงสุดของการถ่ายภาพนิ่ง 1024 X 768
- ความละเอียดสูงสุดของการถ่ายภาพเคลื่อนไหว 640 X 480; 15 fps
- ระยะโฟกัส ปรับบริเวณหน้ากล้อง
- การเชื่อมต่อ USB 1.1 (Compatible with USB 2.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

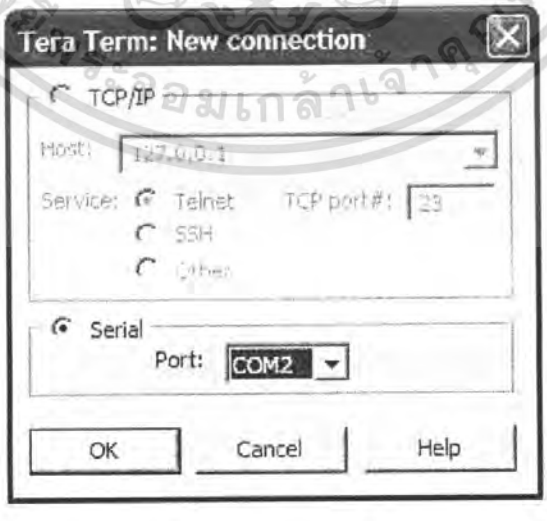
รูปที่ 4.7 กล้องเว็ปแคม

4.2.3 การติดตั้ง Linux Kernel บน JampII-Mini

การติดตั้ง Linux Kernel , Root File System และ Boot script นั้นจะกระทำผ่าน Redboot โดยที่ Redboot มีหน้าที่เชื่อมต่อสำหรับนำระบบปฏิบัติการ และโปรแกรมประยุกต์ (Application) ลงบอร์ด JampII-mini ซึ่งการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด JampII-mini และคอมพิวเตอร์ผ่าน serial port

ขั้นตอนการเตรียมการเชื่อมต่อกับบอร์ด JampII-mini

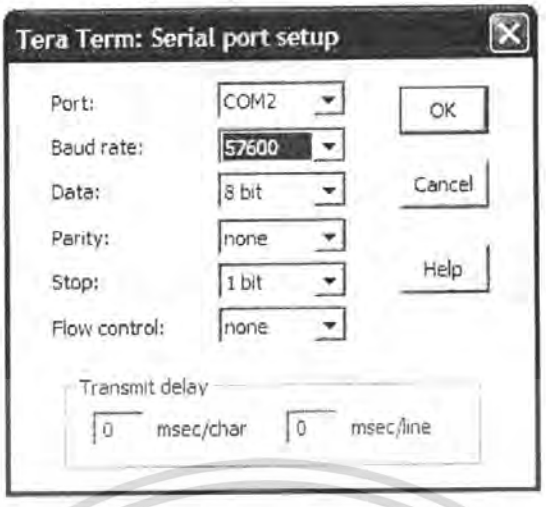
- การตั้งค่า Tera Term
  - ค่าพอร์ทที่ต้องการเชื่อมต่อกับบอร์ด JampII-mini



รูปที่ 4.8 เลือก COM Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

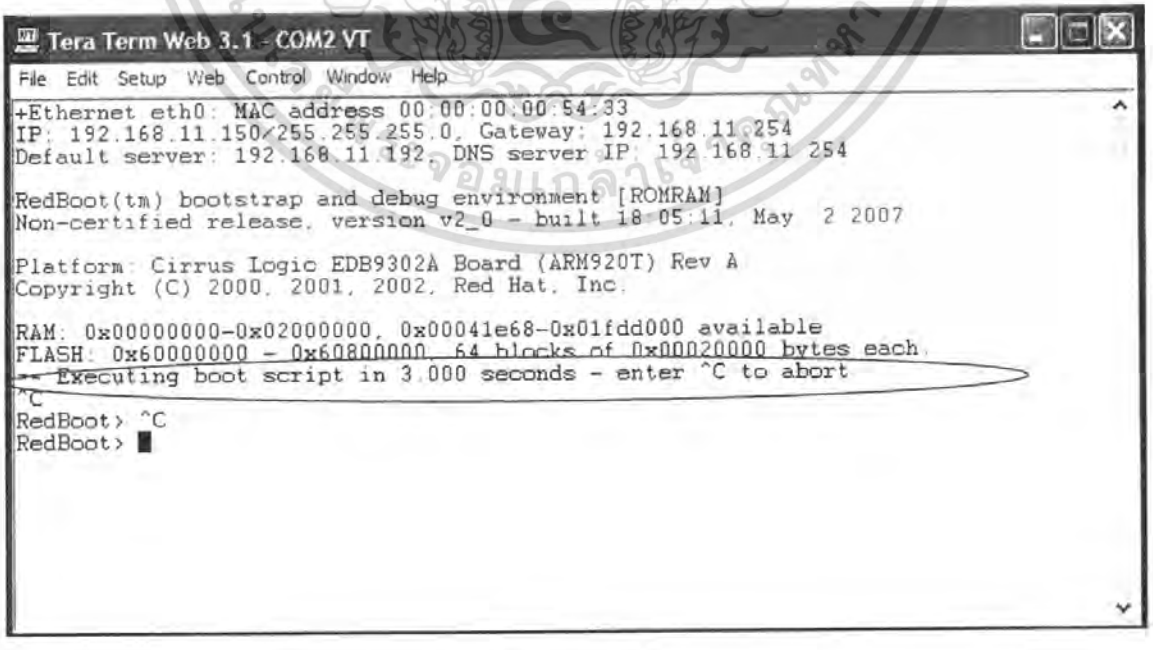
- กำหนดค่าของ serial port ดังรูป



รูปที่ 4.9 กำหนดค่าของ serial port

- ขั้นตอนการเตรียมการติดตั้ง Linux Kernel , Root File System และ Boot script
  - เสียบสาย Serial ระหว่าง PC กับบอร์ด JampII-mini
  - เสียบสาย Power Adapter เข้ากับ บอร์ด JampII-mini
  - กดปุ่ม switch เพื่อเริ่มการทำงานของระบบ
- การเข้าสู่ RedBoot Prompt
  - กดปุ่ม reset switch เพื่อเริ่มการทำงานอีกครั้ง
  - ขณะที่ระบบเริ่ม ให้กดปุ่ม Ctrl-C พร้อมกัน เมื่อเห็นข้อความ

    == Executing boot script in 1.000 seconds - enter ^C to abort



รูปที่ 4.10 RedBoot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

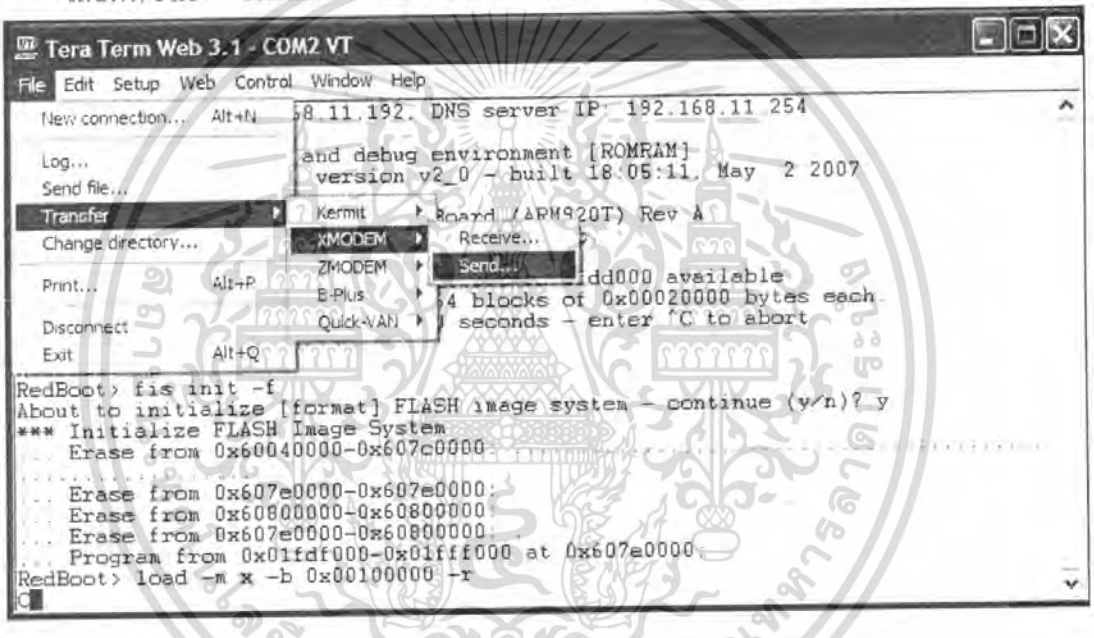
ขั้นตอนการติดตั้ง Linux Kernel ลงบอร์ด JampII-mini

- initial flash memory : ใช้คำสั่ง fis init –f เพื่อสร้างระบบเก็บข้อมูลภายใน FLASH memory

```
RedBoot> fis init -f
About to initialize [format] FLASH image system - continue (y/n)? y
*** Initialize FLASH Image System
... Erase from 0x60040000-0x607c0000: ..........................................
.................
... Erase from 0x607e0000-0x607e0000:
... Erase from 0x60800000-0x60800000:
... Erase from 0x607e0000-0x60800000: .
... Program from 0x01fdf000-0x01fff000 at 0x607e0000: .
RedBoot>
```

- Load Linux Kernel

- เลือกที่ File -> Transfer -> XMODEM -> Send.. เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการส่ง



- load Linux Kernel ไปเก็บใน SDRAM ณ ตำแหน่ง 0x00100000

```
RedBoot> load -m x -b 0x00100000 -r
CCC
Raw file loaded 0x00100000-0x0020d19b, assumed entry at 0x00100000
xyzModem - CRC mode, 8613(SOH)/0(STX)/0(CAN) packets, 3 retries
RedBoot>
```

- บันทึก Linux Kernel เก็บใน FLASH memory

```
RedBoot> fis create zImage -b 0x00100000 -l 0x1c0000
... Erase from 0x60040000-0x60200000: ..............
... Program from 0x00100000-0x002c0000 at 0x60040000: ..............
... Erase from 0x607e0000-0x60800000: .
... Program from 0x01fdf000-0x01fff000 at 0x607e0000: .
RedBoot>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการติดตั้ง Root File System ลงบอร์ด JampII-mini

บอร์ด JampII-mini จะใช้ส่วนของ SDRAM เป็น RAM disk สำหรับ Linux root file system โดยที่ ramdisk image จะเก็บบน FLASH memory และถูกโหลดโดย Redboot สำหรับ *Linux kernel*

- load root file system ไปเก็บใน SDRAM ณ ตำแหน่ง 0x01000000

```
RedBoot> load -m x -b 0x00100000 -r
CCC
Raw file loaded 0x00100000-0x0020d19b, assumed entry at 0x00100000
xyzModem - CRC mode, 8613(SOH)/0(STX)/0(CAN) packets, 3 retries
RedBoot>
```

- บันทึก root file system เก็บใน FLASH memory

```
RedBoot> fis create zImage -b 0x00100000 -l 0x1c0000
... Erase from 0x60040000-0x60200000: ..............
... Program from 0x00100000-0x002c0000 at 0x60040000: ..............
... Erase from 0x607e0000-0x60800000: .
... Program from 0x01fdf000-0x01fff000 at 0x607e0000: .
RedBoot>
```

ขั้นตอนกำหนด Boot script เพื่อ boot Linux

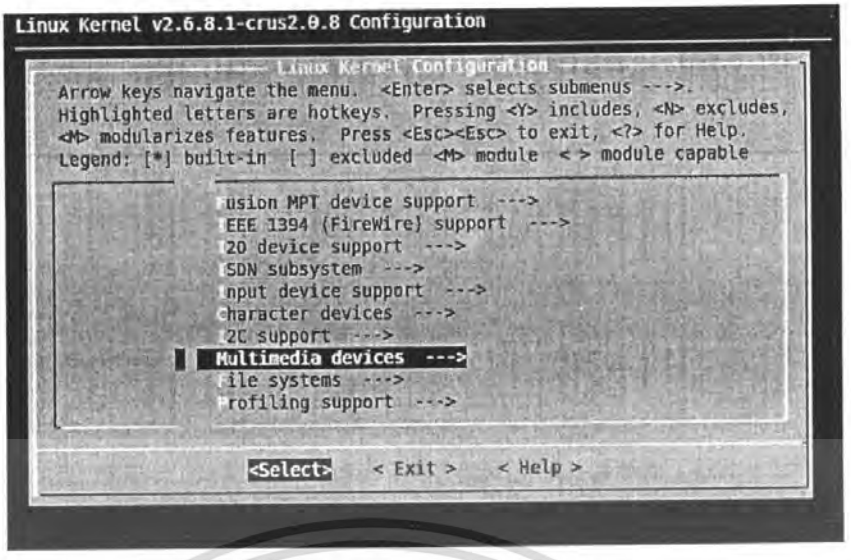
```
RedBoot> fconfig
Run script at boot: true
Boot script:
Enter script, terminate with empty line
>> fis load initrd
>> fis load zImage
>> exec -r 0x01000000 -s 0x400000 -c "console=ttyAM0,57600 root=/dev/ram rw"
>>
Boot script timeout (1000ms resolution): 3
Use BOOTP for network configuration: false
Gateway IP address: 192.168.11.254
Local IP address: 192.168.11.250
Local IP address mask: 255.255.255.0
Default server IP address: 192.168.11.100
DNS server IP address: 192.168.11.254
Set eth0 network hardware address [MAC]: true
eth0 network hardware address [MAC]: 0x00:0x00:0x00:0x00:0xCC:0x33
GDB connection port: 9000
Force console for special debug messages: false
Network debug at boot time: false
Update RedBoot non-volatile configuration - continue (y/n)? y
RedBoot>
```

4.2.4 การทำให้ระบบปฏิบัติการรองรับกล้อง (chipset Spca5xx)

ภายหลังจากได้ source ของ linux-2.6.8.1 แล้วนั้น เนื่องจาก source ยังไม่รองรับกล้องจึงจำเป็นทำให้กล้องรองรับเสียก่อน ดังนี้

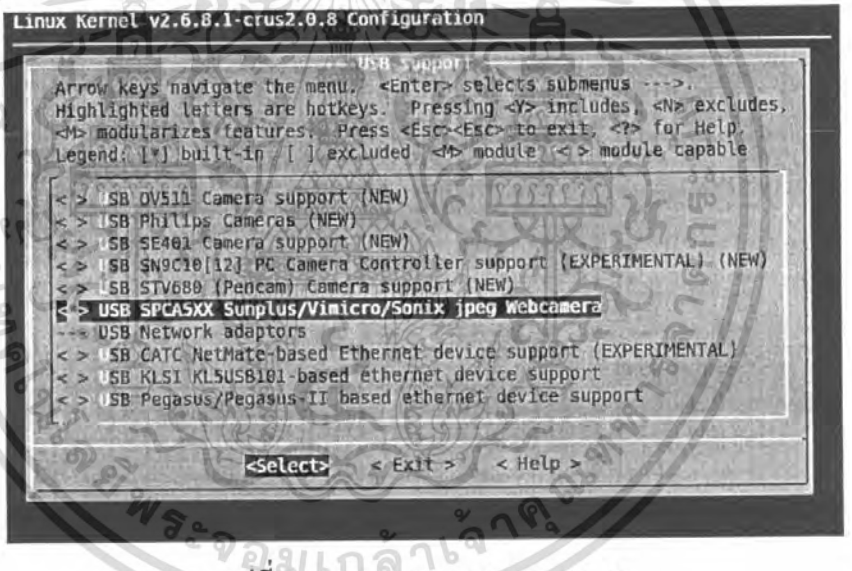
- นำไฟล์ patch (usb-2.6.8.1-2.patch) ไปวางตำแหน่ง /drivers/usb
- เข้าไปตำแหน่ง /drivers/usb ของ kernel source file
- patch -p1 < usb-2.6.8.1-2.patch
- make menuconfig
  - เข้าไปใน Multimedia devices แล้วเลือก include Video For Linux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ลง Driver SPCA5XX(1)

- เข้าไปใน USB support แล้วเลือก chipset ของกล้อง (USB SPCA5XX Sunplus/Vimicro/Sonix jpeg Webcamera)



รูปที่ 4.12 ลง Driver SPCA5XX(2)

จากนั้นบันทึก และออก

- make
- make modules

จากนั้นจะได้ zImage ที่อยู่ในตำแหน่ง /arch/arm/boot ใน kernel source file

การติดต่อกับกล้องบนบอร์ด JampII-mini

```
mknod /dev/video0 c 81 0
./spcacat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

mknod /dev/video0 c 81 0 เป็นการสร้าง device node บน file system เพื่อให้ application สามารถเชื่อมต่อกับ device ที่ต้องการเชื่อมต่อ

4.3 การดึงภาพจากกล้องและแปลงเป็นภาพบิตแมป

ในส่วนนี้ได้นำโปรแกรม spcacat ซึ่งเป็นโปรแกรม Opensource ที่สามารถเซฟภาพจากกล้องเว็ปแคม เป็นไฟล์ภาพเจเพ็กมาทำการแก้ไข เพื่อดึงเอาข้อมูลเจเพ็ก มาส่งให้ส่วนแปลงข้อมูลเพื่อแปลงเป็นภาพบิตแม็ป ต่อไป

ขั้นตอนการทำงาน

1. เปิดการเชื่อมต่อกับกล้อง
2. ตรวจสอบรุ่นชิพประมวลผล และรุ่นของกล้อง ว่าเป็นรุ่นที่รองรับการทำงานหรือไม่
3. ตรวจสอบการทำงานของกล้อง ว่ารองรับการส่งข้อมูลแบบเจเพ็กขนาด 640*480 หรือไม่
4. กำหนดรายละเอียดต่างๆ เช่นชนิดของภาพ ความสว่าง ขนาดภาพ เป็นต้น
5. สร้างบัฟเฟอร์เพื่อรองรับข้อมูล จากนั้นจึงนำข้อมูลภาพเจเพ็กมาเก็บไว้
6. แปลงไฟล์ภาพจากเจเพ็กเป็นบิตแม็ปเพื่อส่งให้ส่วนเตรียมข้อมูลภาพต่อไป

4.4 การเตรียมข้อมูลภาพก่อนทำการรู้จำเลขทะเบียน

4.4.1 การแปลงเป็นภาพไบนารี

เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายป้ายทะเบียนรถจะพบว่า ป้ายทะเบียนนั้นประกอบด้วยบริเวณสีอ่อนซึ่งเป็นพื้นหลัง และบริเวณสีเข้มซึ่งเป็นเลขทะเบียนรถ ซึ่งทั้งสองสีนี้แตกต่างกันอย่างชัดเจน

รูปที่ 4.13 ภาพตัวอย่างด้านหน้ารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลจึงทำการแปลงข้อมูลจากภาพตั้งต้นซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพขนาด 24บิต มาเป็นภาพไบนารี คือมีความแตกต่างของระดับสีเพียง 2 ระดับได้แก่สีดำมีค่าเป็น 1 และสีขาวมีค่าเป็น 0 วิธีการแปลงข้อมูลของภาพให้เป็นไบนารีนั้น ทำได้โดยการคำนวนหาค่าเทรชโฮลจากค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพ จากนั้นนำข้อมูลภาพในแต่ละพิกเซลไปเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลนั้น โดยข้อมูลภาพที่มีค่าระดับความสว่างสูงกว่าค่าเทรชโฮลจะถูกปรับให้เป็น 0 หรือสีขาว ส่วนค่าระดับความสว่างที่มีค่าต่ำกว่าค่าเทรชโฮลจะถูกปรับให้เป็น 0 หรือสีดำ

ในการคำนวนหาค่าเทรชโฮลนั้น จะใช้วิธีการนำค่าความเข้มสี R(แดง) G(เขียว) B(น้ำเงิน) ของแต่ละจุดพิกเซลมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนจุดพิกเซลทั้งหมดที่นำมาคำนวน

รูปที่ 4.14 ภาพที่ได้จากการแปลงเป็นไบนารี

หากใช้ค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมจะได้รูปที่สามารถมองเห็นพื้นหลังของป้ายทะเบียนและส่วนของเลขทะเบียนแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจนแต่ถ้าหากใช้ค่าเทรชโฮลไม่เหมาะสม เช่นสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้เลขทะเบียนไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 ภาพที่เกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลสูงเกินไป

รูปที่ 4.16 ภาพที่เกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลต่ำเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การหาตำแหน่งป้ายทะเบียน

หลังจากได้ภาพไบนารีแล้ว ในขั้นแรกจะไล่สำรวจหาบริเวณที่มีพื้นที่สีขาวติดกันยาวๆในแนวนอนที่อยู่ห่างกันมากที่สุด จากนั้นจึงใช้วิธีหาจุดที่พื้นที่สีขาวติดกันในแนวตั้งโดยไล่จากขอบซ้ายขวาของรูปเข้ามาจนกระทั่งพบ โดยในการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนนั้น จะตัดบริเวณที่ใกล้กับขอบรูปมากเกินไป เนื่องจากถือเสมือนว่าตำแหน่งป้ายทะเบียนจะไม่ชิดขอบจนเกินไป ซึ่งโดยปรกติแล้ว ภาพที่ได้จากการตัดในครั้งแรกมักจะมีสิ่งรบกวนติดมาด้วยเสมอ

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการหาตำแหน่งป้ายทะเบียน

4.4.3 การกำจัดสิ่งรบกวน

ในขั้นตอนการแปลงไฟล์รูปภาพเป็นไบนารีนั้นอาจทำให้เกิดสิ่งรบกวน (Noise) ขึ้น และอาจทำให้การประมวลผลผิดพลาดได้ ดังนั้นเมื่อได้ตำแหน่งของป้ายทะเบียนแล้ว จะใช้วิธี median filter โดยทำการวนลูปไล่ไปตามพิกเซลแต่ละพิกเซล โดยจะพิจารณาจุด 8 จุดล้อมรอบพิกเซลนั้นๆ (ตามรูป) โดยหากบริเวณโดยรอบมีค่าเป็น 1 มากกว่า 4 จุดขึ้นไปให้เปลี่ยนจุดตรงกลางเป็น 1 เช่นเดียวกันถ้าหากบริเวณโดยรอบมีค่าเป็น 0 มากกว่า 4 จุดขึ้นไปก็ให้เปลี่ยนค่าจุดตรงกลางเป็น 0

รูปที่ 4.18 วิธีการกำจัดสิ่งรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้วิธีนี้สามารถลดสิ่งรบกวน ได้ดีในระดับหนึ่ง และทำให้ภาพคมชัดมากขึ้น ดังภาพตัวอย่าง

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างก่อนการกำจัดสิ่งรบกวน

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างหลังการกำจัดสิ่งรบกวน

4.4.4 การแยกเลขทะเบียนออกจากภาพ

ใช้วิธีการหากลุ่มก้อนของสีดำ(ที่เป็นตัวอักษร) ที่มีพื้นสีขาวกั้นกลาง โดยที่กลุ่มสีดำเหล่านั้นจะต้องไม่ล้ำออกไปนอกกรอบบริเวณป้ายทะเบียนมากเกินไป รวมทั้งหาขอบเขตที่แท้จริงของตัวอักษรแต่ละตัวในด้านบนและด้านล่าง ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หากภาพตัวอย่างเอียง

รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการแยกเลขทะเบียนออกจากภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีของแต่ละตัวอักษร

หลังจากที่ได้พิกัดของตัวอักษรในแต่ละตัวในทะเบียนรถแล้วนั้นจะทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำ(มีค่าเท่ากับ 1) ในแต่ละเฟรม โดยแนวแถวจะแบ่งเป็น 14 แถวและแนวคอลัมน์จะแบ่งเป็น 8 คอลัมน์จะได้ทั้งหมด 112 เฟรมซึ่งขนาดของแต่ละเฟรมจะมีค่าดังนี้

วภ 3571
กรมทหารมหาดร

83.6735	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	64.2857
100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	83.3333
51.0204	57.1429	57.1429	63.2653	67.3469	100.0000	100.0000	69.0476
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	53.0612	100.0000	97.9592	21.4286
0.0000	0.0000	0.0000	14.2857	97.9592	100.0000	40.8163	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	61.2245	100.0000	83.6735	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	10.2041	97.9592	100.0000	30.6122	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	46.9388	100.0000	85.7143	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	79.5918	100.0000	51.0204	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	8.1633	100.0000	100.0000	18.3673	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	32.6531	100.0000	91.8367	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	48.9796	100.0000	73.4694	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	62.5000	100.0000	57.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	51.7857	87.5000	32.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

รูปที่ 4.22 ภาพแสดงตัวอย่างผลการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำของตัวอักษร

จำนวนแถวของแต่ละเฟรมของตัวอักษร = จำนวนแถวทั้งหมดของตัวอักษร/14 (ถ้าหารแล้วเหลือเศษจะเพิ่มจำนวนแถวในเฟรมนั้นไปอีกหนึ่งซึ่งจำนวนเฟรมที่เพิ่มจะเพิ่มเท่ากับเศษของการหาร 14)

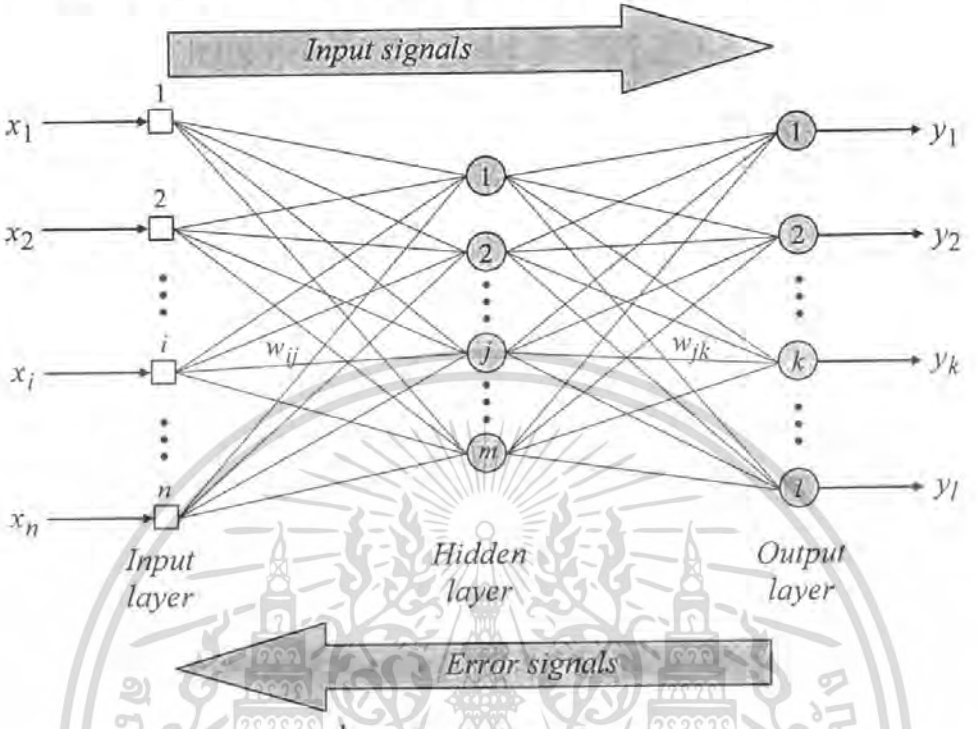
จำนวนคอลัมน์ของแต่ละเฟรมของตัวอักษร = จำนวนคอลัมน์ทั้งหมดของตัวอักษร/8 (ถ้าหารแล้วเหลือเศษจะเพิ่มจำนวนคอลัมน์ในเฟรมนั้นไปอีกหนึ่งซึ่งจำนวนเฟรมที่เพิ่มจะเพิ่มเท่ากับเศษของการหารด้วย 8)

การหาค่าที่เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำนั้นเนื่องจากจำนวนแถวและจำนวนคอลัมน์ของแต่ละตัวอักษรมีค่าไม่เท่ากัน และเพื่อจำกัดจำนวนข้อมูลที่เป็นอินพุท ให้เหมาะสมกับการรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การรู้จำเลขทะเบียนรถยนต์

การพัฒนาส่วนรู้จำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบคพรอพเกชัน



รูปที่ 4.24 โครงสร้างของโครงข่าย

การพัฒนาโครงข่ายจะพัฒนาโครงข่ายจำนวน 2 โครงข่ายโดยที่โครงข่ายหนึ่งสำหรับรู้จำ 0 – 9 และอีกโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก – ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด โดยส่วนประกอบของแต่ละโครงข่ายมีดังนี้

- โครงข่ายสำหรับรู้จำ 0 – 9 มีจำนวนอินพุตโหนด 112 โหนดซึ่งรับมาจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล มีจำนวนฮิดดันเลเยอร์จำนวน 1 ชั้น โดยมี 10 โหนดมีจำนวนเอาท์พุตโหนด 10 โหนดโดยที่แทนค่า 0 ถึง 9 ตามลำดับ
- โครงข่ายสำหรับรู้จำ ก – ฮ มีจำนวนอินพุตโหนด 112 โหนดซึ่งรับมาจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล มีจำนวนฮิดดันเลเยอร์จำนวน 1 ชั้นโดยมี 36 โหนดมีจำนวนเอาท์พุตโหนดเอาท์พุตโหนด 36 โหนด โดยที่แทนค่า ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด

หมายเหตุ เนื่องจาก ด ใช้เฉพาะในวัง และ ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ยังไม่นำมาใช้ในปัจจุบัน

การเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอนโครงข่าย

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบคพรอพเกชันนั้นเราต้องทำการฝึกสอนโครงข่ายเพื่อให้มีความสามารถในการรู้จำตัวอักษร โดยเรียกข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายว่า Training Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนสำหรับโครงข่ายสำหรับรู้จำ 0 – 9 มีจำนวนภาพเลข 0 ถึง 9 ตัวเลขละ 50 ตัว รวมทั้งสิ้น 500 ตัว โดยถ่ายภาพจากป้ายทะเบียนรถยนต์

ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนสำหรับโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก – ฮ มีจำนวนภาพ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด ตัวเลขละ 30 ตัวอักษร รวมทั้งสิ้น 1,080 ตัว โดยถ่ายภาพจากป้ายทะเบียนรถยนต์

ภาพป้ายทะเบียนรถที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงงานนี้ แบ่งออกเป็นสองแหล่งคือ ภาพจากโทรศัพท์มือถือ และภาพจากกล้องเวปแคม โดยภาพจากโทรศัพท์มือถือใช้ในการฝึกฝนโครงข่ายให้สามารถรู้จำเลขทะเบียนรถ และภาพที่จากกล้องเวปแคมใช้ในการทดสอบระบบ ซึ่งภาพที่ใช้ในการฝึกฝนโครงข่าย และทดสอบระบบนั้นไม่ได้นำมาจากแหล่งเดียวกัน แต่จากตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำของทั้งสองแหล่งพบว่าลักษณะของเลขทะเบียนจากทั้งสองแหล่งมีความคล้ายคลึงกันจึงสามารถใช้ภาพจากแหล่งที่ต่างกันมาใช้ในการพัฒนาระบบได้ (ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่อง ในภาคผนวก ง)

ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่าย

1. แปลงจากข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนซึ่งเป็นรูปภาพ ให้อยู่ในรูปของอินพุตเวกเตอร์ที่จำเป็นสำหรับตัวอักษรที่จะเอาไปฝึกสอนแต่ละตัว เพื่อเอาไปใส่เป็นอินพุตของโครงข่ายนั่นเอง
2. กำหนดผลลัพธ์ที่ถูกต้องซึ่งเข้ากับ feature ของตัวอักษรใด ๆ ที่ใส่เป็นอินพุตของโครงข่าย
3. กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก และเทรชโฮล โดยสุ่มค่าในช่วง –2.4/จำนวนของอินพุตโหนด ถึง 2.4/จำนวนของอินพุตโหนด
4. กระตุ้นเพอร์เซ็ปตรอน โดยการใส่ค่าอินพุต (Xn) และผลที่ต้องการ (Yn)

4.1 ผลลัพธ์ของฮิดดันเลเยอร์

$$\mathrm{Yj(p)} = \mathrm{sigmoid}\left[\sum_{i=1}^{n} Xi(p)Wij(p) - \theta j\right] \qquad (4.2)$$

โดยที่ p คือการทำงานในรอบปัจจุบัน n คือลำดับของอินพุตของนิวรอล j ในฮิดดันเลเยอร์ และ θ คือค่าเทรชโฮล

4.2 ผลลัพธ์ของเอาท์พุตเลเยอร์

$$\mathrm{Yk(p)} = \mathrm{sigmoid}\left[\sum_{j=1}^{m} Xjk(p)Wjk(p) - \theta k\right] \qquad (4.3)$$

โดยที่ m คือลำดับของอินพุตของนิวรอล k ในเอาท์พุตเลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ยุติการฝึกสอนเมื่อ MSE (mean square error) น้อยกว่าค่าที่กำหนด หากยังมีค่ามากกว่าจะทำการแก้ไขค่าถ่วงน้ำหนักแล้วย้อนกลับไปทำในขั้นแรก โดยค่าถ่วงน้ำหนักในรอบถัดไปจะมีค่าดังนี้

5.1 การคำนวณ error gradient สำหรับนิวรอลในเอาท์พุตเลเยอร์

$$\delta k(p) = Yk(p)x[1 - Yk(p)]x(Yd,k(p) - Yk(p)) \quad (4.4)$$

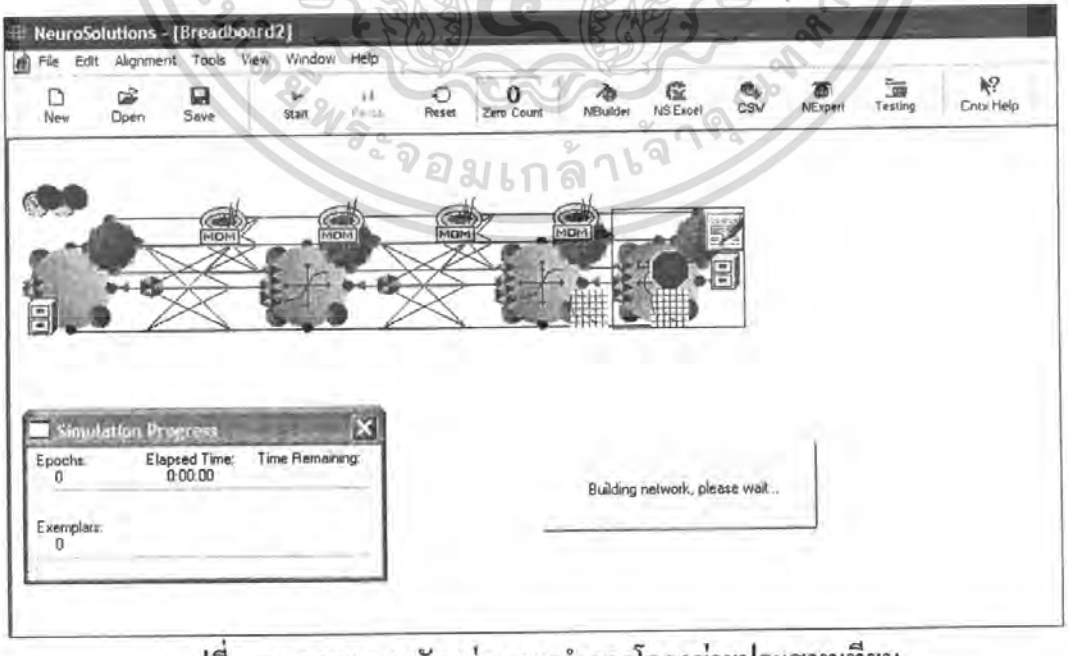
$$\text{Wjk(p+1)} = \text{Wjk(p)} + \alpha\, x\, Yj(p)\, x\, \delta k(p) \quad (4.5)$$

5.2การคำนวณ error gradient สำหรับนิวรอลในฮิดดันเลเยอร์

$$\delta j(p) = Yj(p)x[1 - Yj(p)]x\sum_{k=1}^{1} \delta k(p)xWjk(p) \quad (4.6)$$

$$\text{Wij(p+1)} = \text{Wij(p)} + \alpha\, x\, Xi(p)\, x\, \delta j(p) \quad (4.7)$$

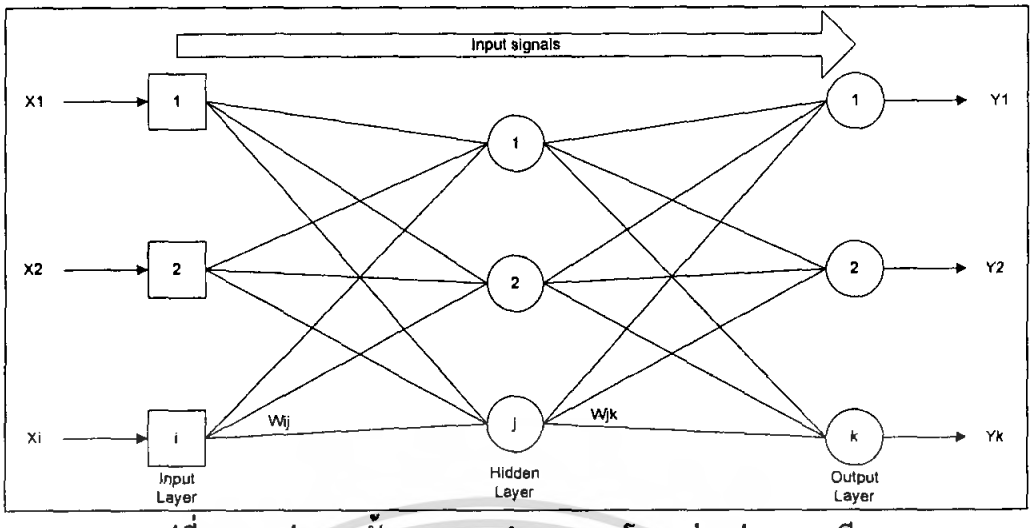
ในโครงงานนี้ใช้โปรแกรม NeuroSolutions 4 ซึ่งทำงานด้วยระบบปฏิบัติการวินโดร์ บน PC (Pentium4 1.6 MHz, Ram 512 MB) จำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ส่วนของ NeuralBuilder สร้างโครงข่ายประสาทเทียม และในระหว่างการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับค่าอัตรา (momentum rate) และ step size เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีค่า MSE (mean square error) เท่ากับค่าที่กำหนดไว้แล้วจึงสิ้นสุดการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 4.25 ภาพแสดงตัวอย่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโครงข่ายเพื่อใช้ในการรู้จำ



รูปที่ 4.26 รูปแสดงขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

1. หลังจากฝึกสอนโครงข่ายด้วยโปรแกรม NeuroSolutions 4 จะนำค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าเทรชโฮล บันทึกลงไฟล์
2. กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก และเทรชโฮล โดยอ่านค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าเทรชโฮลจากไฟล์
3. นำค่าที่ผ่านขั้นตอนเตรียมข้อมูลส่งเข้าอินพุตโหนด
4. คำนวณผลลัพธ์ของฮิดดันเลเยอร์

$$Yj = \frac{1}{1+e^{-\left[\sum_{i=1}^{n} XiWij - \theta j\right]}} \qquad (4.8)$$

โดยที่ n คือลำดับของอินพุตของนิวรอล j ใน ฮิดดันเลเยอร์ และ θ คือค่าเทรชโฮล

5. คำนวณผลลัพธ์ของเอาท์พุตเลเยอร์

$$Yk = \frac{1}{1+e^{-\left[\sum_{j=1}^{m} XjkWjk - \theta k\right]}} \qquad (4.9)$$

โดยที่ m คือลำดับของอินพุตของนิวรอล k ในเอาท์พุตเลเยอร์

6. หาค่ามากที่สุดของผลลัพธ์ของเอาท์พุตโหนด (Yk) เพื่อเป็นผลของการรู้จำ

การพัฒนาโปรแกรมที่ทำงานบนบอร์ด JampII-mini พัฒนาด้วยภาษาซี และทำการ compile ด้วย cross-compiler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ส่วนติดต่อกับ GPIO Driver

4.6.1 GPIO Driver

GPIO driver ทำหน้าที่รับคำสั่งจาก application ผ่านฟังก์ชัน ioctl() และติดต่อกับฮาร์ดแวร์ในการอ่านค่า และเขียนค่าผ่านฟังก์ชัน readl() และ writel()

หลักการทำงานของไดรเวอร์นั้นจะอ่านหรือเขียนค่าครั้งละ 1 pin โดยจะรับค่า port และ pin ที่ต้องการ การอ่านหรือเขียนแล้วจึงกำหนดตำแหน่ง (Address) ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ จากนั้นส่งผลลัพธ์กลับออกไปให้โปรแกรมประยุกต์ (Application)

ตารางที่ 4.3 แสดง Driver GPIO

function	การใช้งาน
int ep93xx_gpio_get_pin(int port, int pin);	อ่านค่า pin
int ep93xx_gpio_set_pin(int port, int pin);	เขียนค่า 1 ลงใน data-pin
int ep93xx_gpio_clear_pin(int port, int pin);	เขียนค่า 0 ลงใน data-pin
int ep93xx_gpio_get_status(int port, int pin);	อ่านค่า IO-status ของ pin
int ep93xx_gpio_input_pin(int port, int pin);	กำหนดให้pin เป็น input
int ep93xx_gpio_output_pin(int port, int pin);	กำหนดให้pin เป็น output
int ep93xx_gpio_interrupt_enable(int port, int pin);	เปิดใช้งาน interrupt
int ep93xx_gpio_interrupt_disable(int port, int pin);	ปิดการใช้งาน interrupt
int ep93xx_gpio_interrupt_edge(int port, int pin);	กำหนดให้ interrupt แบบ edge sensitive
int ep93xx_gpio_interrupt_level(int port, int pin);	กำหนดให้ interrupt แบบ level sensitive
int ep93xx_gpio_interrupt_rising_positive(int port, int pin);	กำหนดให้ interrupt เมื่อ high level หรือ rising edge
int ep93xx_gpio_interrupt_falling_negative(int port, int pin);	กำหนดให้ interrupt เมื่อ low level หรือ falling edge
int ep93xx_gpio_interrupt_eoi(int port, int pin);	สิ้นสุด interrupt
int ep93xx_gpio_interrupt_enable_db(int port, int pin);	เปิดใช้ debouncing
int ep93xx_gpio_interrupt_disable_db(int port, int pin);	ปิดใช้ debouncing
int ep93xx_gpio_get_rawintsts(int port, int pin);	อ่านค่าสถานะของ interrupt
int ep93xx_gpio_get_intsts(int port, int pin);	อ่านค่าสถานะของ interrupt
int ep93xx_gpio_ADC(int ADC_pin);	อ่านค่าจาก A/D Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากฟังก์ชันต่างๆดังกล่าว จะเห็นว่าสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ data-function (1-3), IO-status function (4-6), interrupt-function (7-17) และ A/D-function (18)

– data-function ทำหน้าที่อ่านหรือเขียนในรีจิสเตอร์ซึ่งใช้ในการรับและแสดงค่าใน pin ต่างๆ

– IO-status-function ทำหน้าที่อ่านหรือเขียนในรีจิสเตอร์ซึ่งใช้ในการกำหนดค่า I/O ของ pin ต่างๆ

– interrupt-function ทำหน้าที่อ่านหรือเขียนค่าในรีจิสเตอร์ซึ่งใช้ในการ interrupt ซึ่งในส่วนของการอ่านค่าสถานะของฟังชั่นที่16 และ 17 นั้นจะมีความแตกต่างกัน คือ รีจิสเตอร์ที่ใช้ในฟังก์ชันที่16 จะไม่สนใจว่ามีการ enable interrupt หรือไม่ ซึ่งในส่วนของรีจิสเตอร์ที่ใช้ในฟังก์ชันที่ 17 จะมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่ได้ enable interrupt

– A/D-function เป็นเพียงฟังก์ชันเดียวที่รับค่า pin เพียงค่าเดียว โดยค่า pin ที่รับเข้ามานี้จะเป็นค่าที่ไปกำหนด pin ของ ADC ที่จะอ่าน (ADC switch)

นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันอื่นๆ ซึ่งไม่ได้มีหน้าที่ในการอ่านหรือเขียนรีจิสเตอร์ แต่จะคอยควบคุมการทำงานอยู่เบื้องหลัง ดังนี้

1. เริ่มการทำงานของไดรเวอร์ int gpio_open(struct inode *inode, struct file *filp);
2. จบการทำงานของไดรเวอร์ int gpio_release(struct inode *inode, struct file *filp);
3. รับคำสั่งจาก application int gpio_ioctl(struct inode *inode, struct file *filp, unsigned int cmd, unsigned long arg); ฟังก์ชันนี้จะรับค่าผ่านฟังก์ชัน ioctl() ใน <sys/ioctl.h> ซึ่งจะถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมประยุกต์
4. ติดตั้งโมดุล static int __init ep93xx_gpio_init(void);
5. ถอนการติดตั้งโมดุล static void __exit ep93xx_gpio_exit(void);

การติดตั้ง GPIO driver บนบอร์ด JampII-mini

```
mknod /dev/gpio c 245 0
insmod gpio.ko
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การติดต่อกับ LCD Module

ตารางที่ 4.4 ขาสัญญาณของ LCD Module

PIN	SYMBOL	LEVEL	FUNCTION
1	Vss	-	0 V GND
2	Vcc	-	+5 V Power Supply
3	Vee	-	+V For Liquid Crystal Drive
4	RS	H/L	Register Select H: Data Input L: Instruction Input
5	R/W	H/L	H: Data Read L: Data Write
6	E	H	Enable Signal (L -> H)
7	DB 0	H/L	Data Bus Bit 0
8	DB 1	H/L	Data Bus Bit 1
9	DB 2	H/L	Data Bus Bit 2
10	DB 3	H/L	Data Bus Bit 3
11	DB 4	H/L	Data Bus Bit 4
12	DB 5	H/L	Data Bus Bit 5
13	DB 6	H/L	Data Bus Bit 6
14	DB 7	H/L	Data Bus Bit 7

หลักการเบื้องต้น

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD Module จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ Instruction และ Data
2. โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือ RS = 0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (Instruction) หรืออ่านค่า Flag สภาพการทำงานของ LCD Module และถ้า RS = 1 จะหมายถึงการเขียนหรืออ่าน Data กับ LCD Module
3. หลักการเขียนข้อมูลให้ LCD Module คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว LCD Module จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ตาม execute time ของแต่ละคำสั่ง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จาก Busy Flag (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงสามารถเขียนข้อมูลอันถัดไปได้
4. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD Module สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 bits และ 4 bits โดยกรณี 4 bitsจะใช้สายสัญญาณ Data เพียง 4 เส้นคือ DB4-DB7 การเขียนข้อมูลจะเขียน DB4-DB7 ก่อนตามด้วย DB0 – DB3
5. DDRAM(Display Data Ram) คือหน่วยความจำภายใน LCD Module ที่เป็น Buffer ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII ลงไปในหน่วยความจำนี้จะปรากฏเป็นตัวอักษรแสดงทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

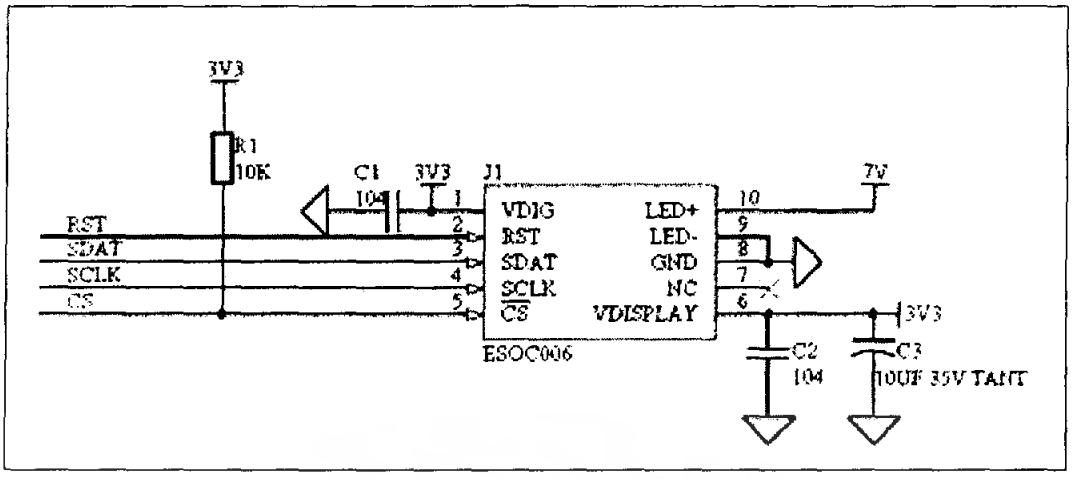
6. CGRAM(Character Generator Ram) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD Module สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่สามารถสร้างเองได้ (8 ตัว) โดยอ้างตำแหน่งได้ทั้งหมด 64 bytes คือ 8 ตัวอักษรคูณกับ 8 แถว

แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมติดต่อกับ LCD Module

1. ประกาศตัวแปรชนิด ep93xx_pin_t จากนั้นกำหนดค่า port ที่ต้องการติดต่อ(port) และกำหนดหมายเลขของ pin ที่ต้องการติดต่อ (num)
2. เริ่มการทำงานของไดรเวอร์ open_gpio()
3. กำหนดสถานะของ port และ pin ที่ต้องการติดต่อโดยกำหนดว่าเป็น output ดังนี้ ioctl(fd, EP93XX_GPIO_OUTPUT, &str_pin) โดยที่ fd คือ file descriptor ที่ได้จากฟังก์ชัน open_gpio()
4. ทำการ clear จอภาพทั้งหมด (CIear Display) กำหนดให้ RS,R/W,DB7-DB1 มีค่าสัญญาณเป็น '0' และ DB0 มีค่าสัญญาณเป็น '1'ในการกำหนด port และ pin ให้มีสัญญาณ '1' จะกำหนดโดย ioctl(fd, EP93XX_GPIO_SET, &str_pin); และการกำหนดให้สัญญาณเป็น '0' จะกำหนดโดย ioctl(fd, EP93XX_GPIO_CLEAR, &str_pin)
5. กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง Function Set คือ DL = 0 ในการติดต่อในแบบ 4 bits, N = 0 (แสดงข้อมูล 2 บรรทัด), F = 0 (กำหนดตัวอักษรแบบ 5*7 Dots)
6. กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง Display ON/OFF คือ D = 1 (On Display),C = 1 (ให้แสดง cursor โดย cursor จะเป็นเส้นใต้ตัวอักษร), B = 1 (กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง cursor)
7. แสดงข้อความออกที่หน้าจอ LCD Module การเขียนข้อมูลจะเขียน DB4-DB7 กำหนดให้ขาสัญญาณ Enable Signal ให้เป็น '1' และเป็น '0' ตามลำดับ จากนั้นก่อนตามด้วย DB0 – DB3 แล้วกำหนดให้ขาสัญญาณ Enable Signal ให้เป็น '1' และเป็น '0' ตามลำดับ
8. เมื่อสิ้นสุดการใช้งานใช้ฟังก์ชัน close_gpio() เพื่อยุติการติดต่อกับ driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การติดต่อกับ GLCD Nokia 6100



รูปที่ 4.27 แสดงการเชื่อมต่อกับ GLCD Nokia 6100

ตารางที่ 4.5 ขาสัญญาณของ GLCD Nokia 6100

ขาที่	ชื่อ	การทำงาน
1	VDIG	แรงดันไฟเลี้ยงสำหรับวงจร Digital เช่น ไฟเลี้ยง LCD Controller ที่ฝังอยู่
2	RST	ขารีเซต โดยทำงานที่ลอจิก 0
3	SDAT	ขาสำหรับรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม
4	SCLK	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับกำหนดจังหวะการอ่านข้อมูล
5	CS	Chip Select สำหรับ enable การรับส่งข้อมูลอนุกรม ทำงานที่ลอจิก 0
6	VDISPLAY	แรงดันที่ใช้ในการแสดงผล สามารถใช้ได้กับแรงดัน 3.3V
7	NC	ไม่มีการใช้งาน
8	GND	GND
9	LED-	ขาลบ สำหรับไฟ Backlight ถ้าไม่ต้องการควบคุม การจ่ายไฟ สามารถต่อ GND ได้โดยตรง
10	LED+	ขาบวก สำหรับไฟ Backlight ใช้ได้กับแรงดันประมาณ 6-7 V

ภายในจอ LCD 6100 จะมี LCD Controller ที่ทำหน้าที่สแกนภาพออกที่จอ โดยจะมีหน่วยความจำ SRAM ในตัว และเวลาเราติดต่อกับจอ ก็คือการติดต่อกับตัว LCD Controller ซึ่งสามารถติดต่อได้ทั้งแบบขนาน และแบบอนุกรม แต่ผู้ผลิตจอ LCD 6100 ได้ต่อวงจรในส่วนนี้เรียบร้อยแล้ว และให้สามารถติดต่อได้ทางอนุกรมเท่านั้น

สำหรับจอ LCD 6100 ที่ใช้ IC PCF8833 ของ Phillips เป็น LCD Controller ใช้การเชื่อมต่อแบบSPI 9-bit มี timing diagram ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

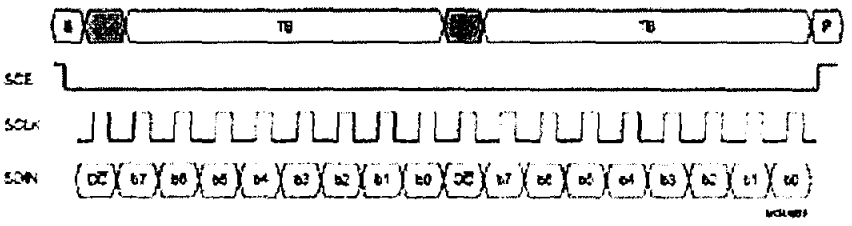
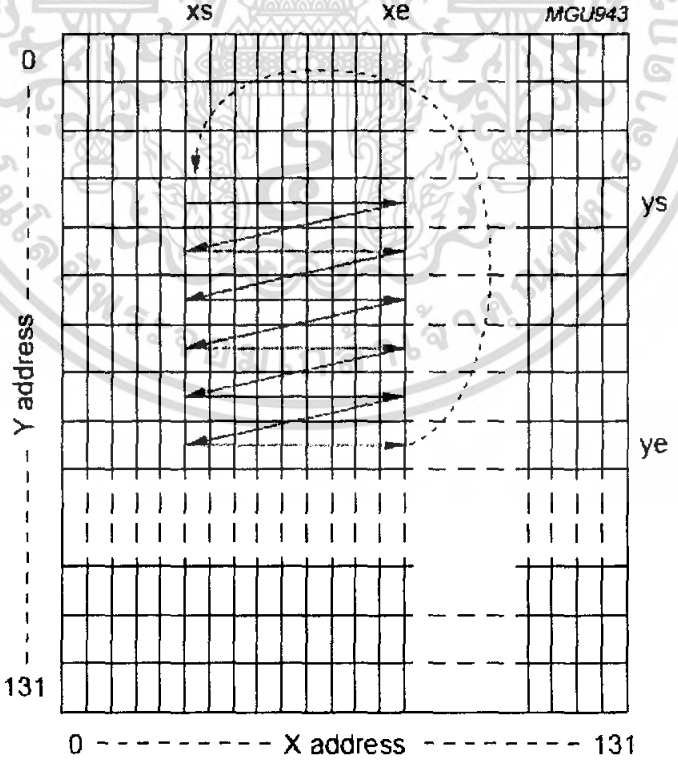


Fig.43 Serial bus protocol, write to register with control bit in transmission (PS[2:0] = XX0).

รูปที่ 4.28 แสดงจังหวะการส่งสัญญาณติดต่อ GLCD

จาก Timing diagram นั้นการส่งข้อมูลจะส่ง MSB ก่อน LSB และก่อนจะเป็นข้อมูล 8 บิต จะต้องส่ง บิต DC เพื่อบอก LCD Controller ว่าเป็นไบต์ที่จะส่งนั้น เป็นคำสั่ง หรือเป็นค่าพารามิเตอร์ สำหรับส่งคำสั่ง บิต DC จะต้องเป็นลอจิก 0 และสำหรับพารามิเตอร์ บิต DC จะต้องเป็น 1 และสัญญาณ CS (SCE ในรูป) ใช้กำหนดจังหวะการเริ่มต้นการส่งข้อมูล เพื่อให้ผู้ส่งและผู้รับ เข้าใจตรงกันว่าให้นับบิตไหนเป็นบิตแรก และแต่ละไบต์ สามารถส่งต่อเนื่องกันโดยที่ไม่ต้องหยุดการส่งข้อมูลแล้วเริ่มใหม่ โดยสามารถเริ่มต้นครั้งเดียวแล้วส่งคำสั่งตามด้วยค่าพารามิเตอร์แล้วส่งคำสั่งถัดไปได้ทันที



รูปที่ 4.29 ทิศทางการแสดงจุดพิกเซลบน GLCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

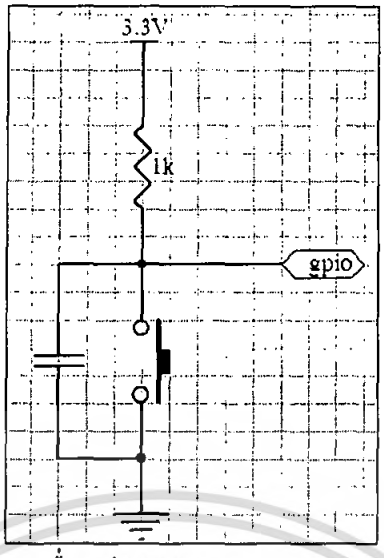
จากรูป คือการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ เมื่อกำหนดคอลัมน์เริ่มต้น คอลัมน์สุดท้าย แถวแรก และแถวสุดท้าย เป็น xs, xe, ys ,ye ตามลำดับ

แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมติดต่อกับ GLCD Nokia 6100

1. ประกาศตัวแปรชนิด ep93xx_pin_t จากนั้นกำหนดค่า port ที่ต้องการติดต่อ (port) และกำหนดหมายเลขของ pin ที่ต้องการติดต่อ (num)
2. เริ่มการทำงานของไดรเวอร์ open_gpio()
3. กำหนดสถานะของ port และ pin ที่ต้องการติดต่อโดยกำหนดว่าเป็น output ดังนี้ ioctl(fd, EP93XX_GPIO_OUTPUT, &str_pin) โดยที่ fd คือ file descriptor ที่ได้จากฟังก์ชัน open_gpio()
4. กำหนดให้ทุกขาสัญญาณ rst ,sdat ,sclk ,cs มีค่าเป็น 1
5. ทำการรีเซตโดยการกำหนดสัญญาณ rst เป็น 0 แล้วกำหนดกลับเป็น 1
6. เริ่มการติดต่อกับ LCD 6100 โดยกำหนดขา cs และ sclk เป็น 0
7. ส่งคำสั่งเพื่อตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ LCD คือ Sleep out ,Display normal mode ,color interface pixel format ,Memory access control ,Set contrast ,Display On
8. กำหนดคอลัมน์เริ่มต้น คอลัมน์สุดท้าย แถวแรก และแถวสุดท้าย แล้วจึงเขียนลงในหน่วยความจำทีเดียวอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเขียนจนจบแถวแรก ตำแหน่งแอดเดรส จะเลื่อนไปยังแถวถัดไปทางซ้ายสุดให้เอง ดังนี้ กำหนดขา cs และ sclk เป็น 0 และส่งคำสั่ง Set column address Set row address และ Memory write
9. ทำการแปลงข้อมูลที่ได้จากกล้องเป็นขาวดำ และลดขนาดลงอีก 4 เท่า แล้วนำข้อมูลเขียนทีละจุดจนครบทั้งภาพ
10. เมื่อสิ้นสุดการใช้งานใช้ฟังก์ชัน close_gpio() เพื่อยุติการติดต่อกับ driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 การอ่านค่าจาก switch



รูปที่ 4.30 แสดงการเชื่อมต่อ switch และ GPIO ของ JampII-mini

การอ่านค่าจาก switch มีลำดับในการพัฒนาโปรแกรม ดังนี้

1. ประกาศตัวแปร ep93xx_pin_t str_pin; จากนั้นกำหนดค่า port ที่ต้องการติดต่อ (str_pin.port) และกำหนดหมายเลขของ pin ที่ต้องการติดต่อ (str_pin.num)
2. เริ่มการทำงานของไดรเวอร์ open_gpio()
3. กำหนดสถานะของ port และ pin ที่ต้องการติดต่อโดยกำหนดว่าเป็น input ดังนี้ ioctl(fd, EP93XX_GPIO_INPUT, &str_pin) โดยที่ fd คือ file descriptor ที่ได้จากฟังก์ชัน open_gpio()
4. เรียกใช้ฟังก์ชัน ioctl(fd, EP93XX_GPIO_READ, &str_pin) เพื่ออ่านค่า switch จาก port และ pin ที่ต้องการ หากไม่มีการกดปุ่ม switch จะอ่านได้ '1' หากมีการกดปุ่ม switch จะอ่านค่าได้ '0'
5. เมื่อสิ้นสุดการใช้งานใช้ฟังก์ชัน close_gpio() เพื่อยุติการติดต่อกับ driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

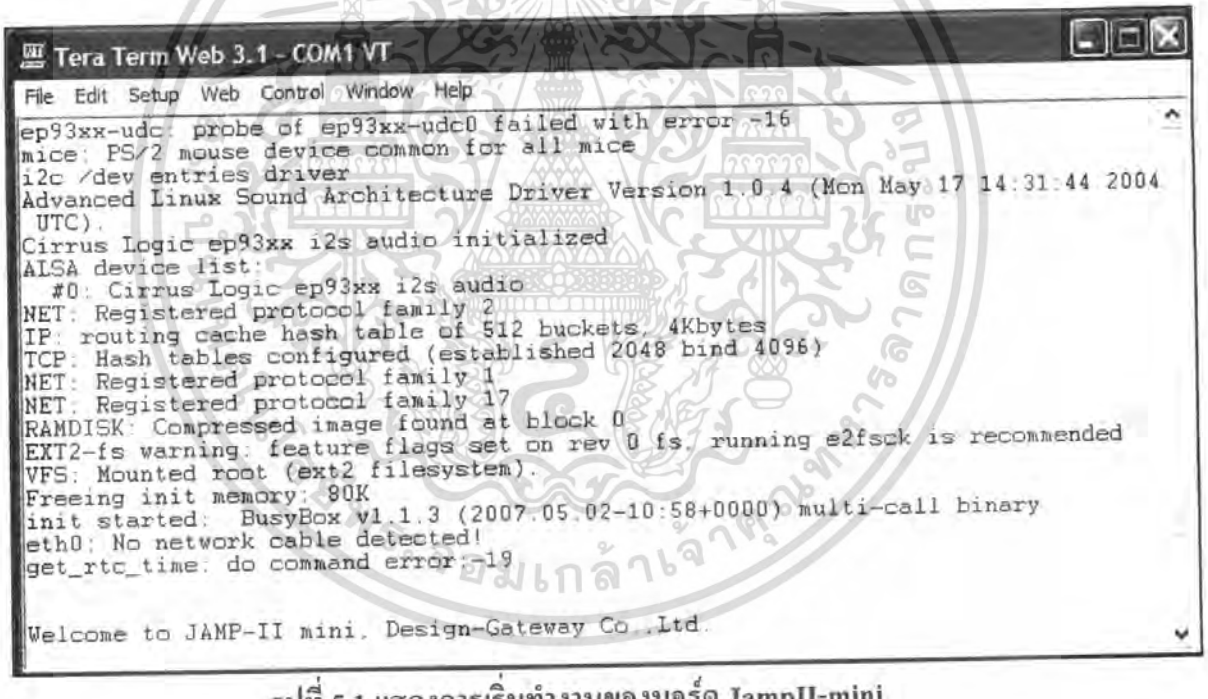
บทที่ 5

การทดลอง และผลการทดลอง

5.1 การทำงานของระบบ

5.1.1 การติดตั้ง Linux Kernel, Root file system และ Boot script

- เตรียมความพร้อมเบื้องต้นในการติดต่อกับบอร์ด JampII-mini
- ติดตั้ง Linux Kernel ลงบอร์ด JampII-mini
- ติดตั้ง Root File System ลงบอร์ด JampII-mini
- กำหนด Boot script
- reboot

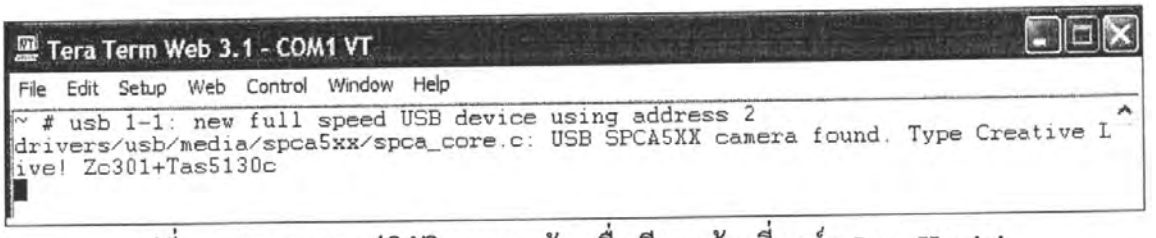


รูปที่ 5.1 แสดงการเริ่มทำงานของบอร์ด JampII-mini

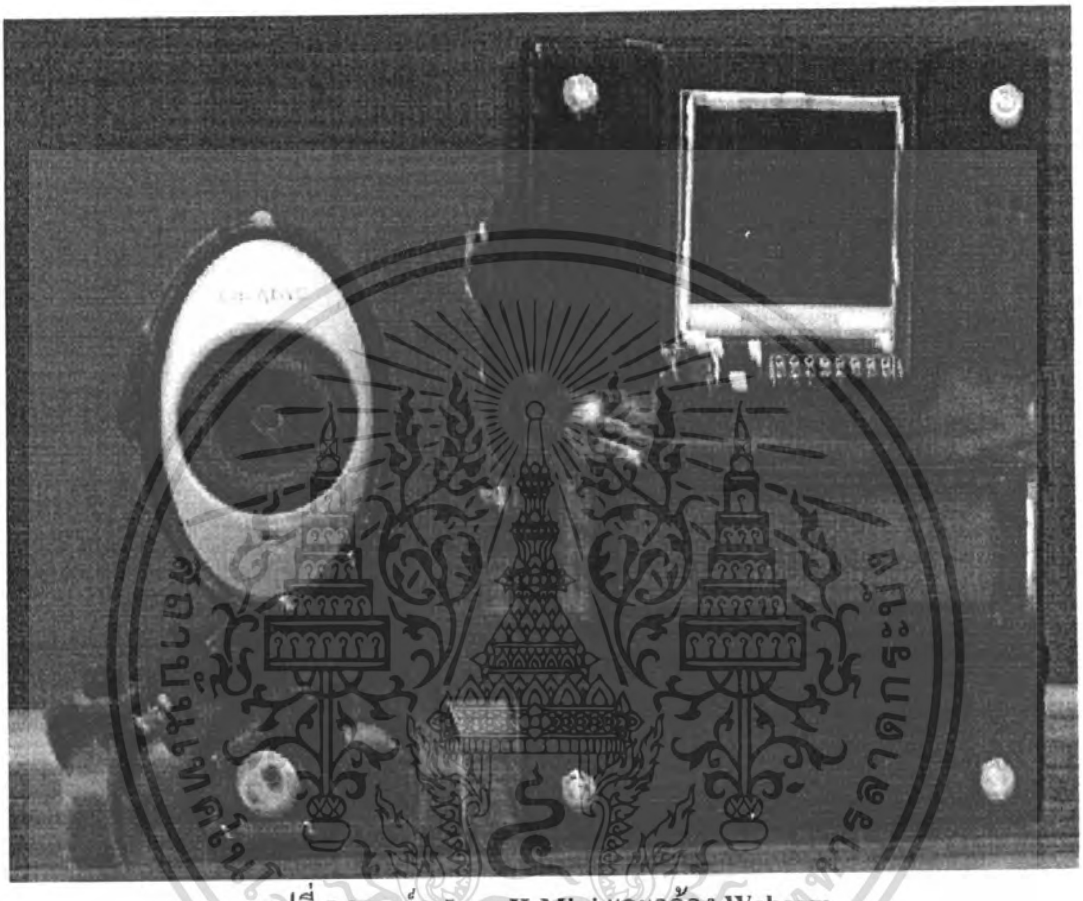
5.1.2 การทำให้ระบบปฏิบัติการรองรับกล้อง (chipset Spca5xx)

- patch kernel source file
- make menuconfig เพื่อเพิ่มให้รองรับ chipset ของกล้อง
- make
- จากนั้นจะได้ zImage ที่อยู่ในตำแหน่ง /arch/arm/boot ใน kernel source file นำไปติดตั้งตามขั้นตอนติดตั้ง Linux Kernel ลงบอร์ด JampII-mini

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

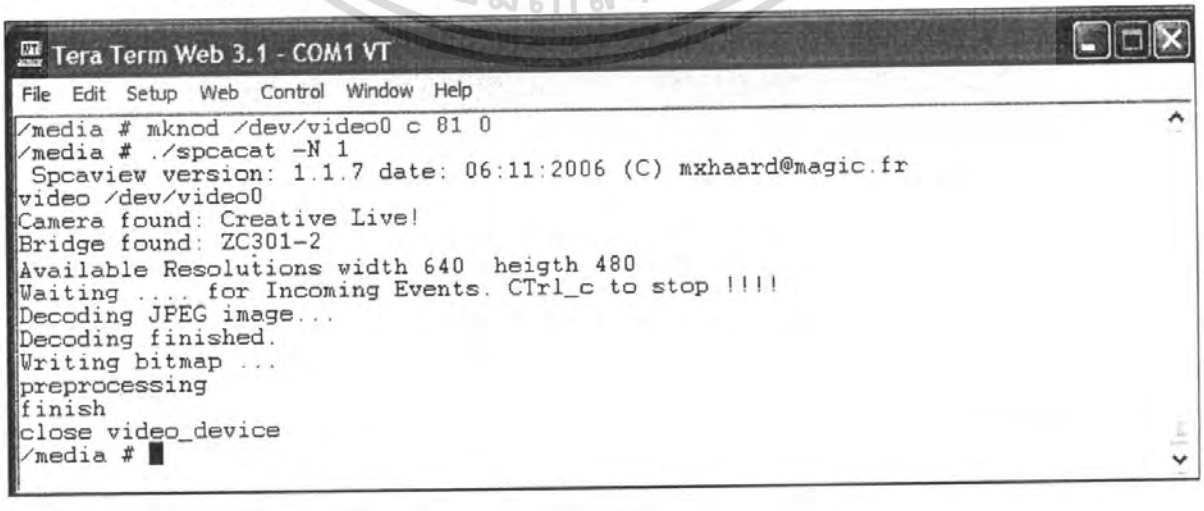


รูปที่ 5.2 แสดงระบบปฏิบัติการพบกล้องเมื่อเสียบกล้องที่บอร์ด JampII-mini



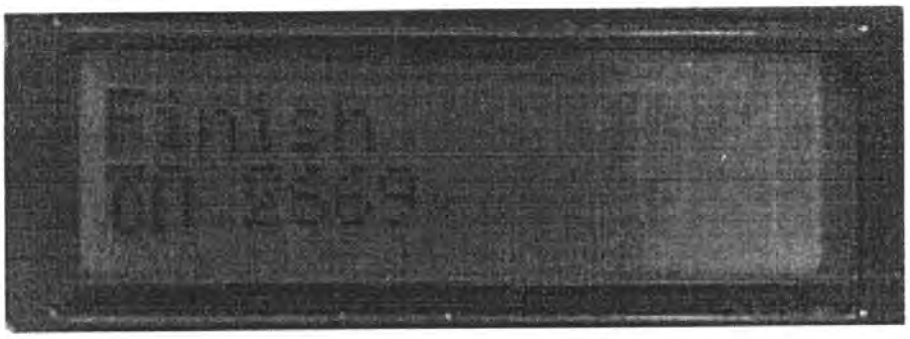
รูปที่ 5.3 บอร์ด JampII-Mini และกล้อง Webcam

5.1.3 การแสดงผลของโปรแกรม



รูปที่ 5.4 แสดงผลการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมทาง LCD

รูปที่ 5.6 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมทาง GLCD

5.2 การเตรียมข้อมูลภาพก่อนทำการรู้จำเลขทะเบียน

การทดสอบความสามารถของโปรแกรมในการแยกเลขทะเบียนออกจากป้ายทะเบียนได้ทำการถ่ายภาพทะเบียนรถที่มุม 0 ถึง 40 องศาเทียบกับมุมฉากของแผ่นป้ายทะเบียนรถ เพื่อหาข้อจำกัดของระบบ โดยมีภาพที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 368 ภาพ

ตารางที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์ของภาพที่แยกเลขทะเบียนได้ครบที่มุมต่างๆ

ภาพทำมุมกับป้ายทะเบียนรถ (องศา)	เปอร์เซ็นต์ภาพที่สามารถแยกเลขทะเบียนได้ครบ(%)
0	90.21
10	86.14
20	70.65
30	51.35
40	26.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบข้างต้น จึงได้ทำการกำหนดขอบเขตของโครงงานนี้อยู่ที่ระดับไม่เกิน 20 องศาเทียบกับมุมฉากของแผ่นป้ายทะเบียนรถ

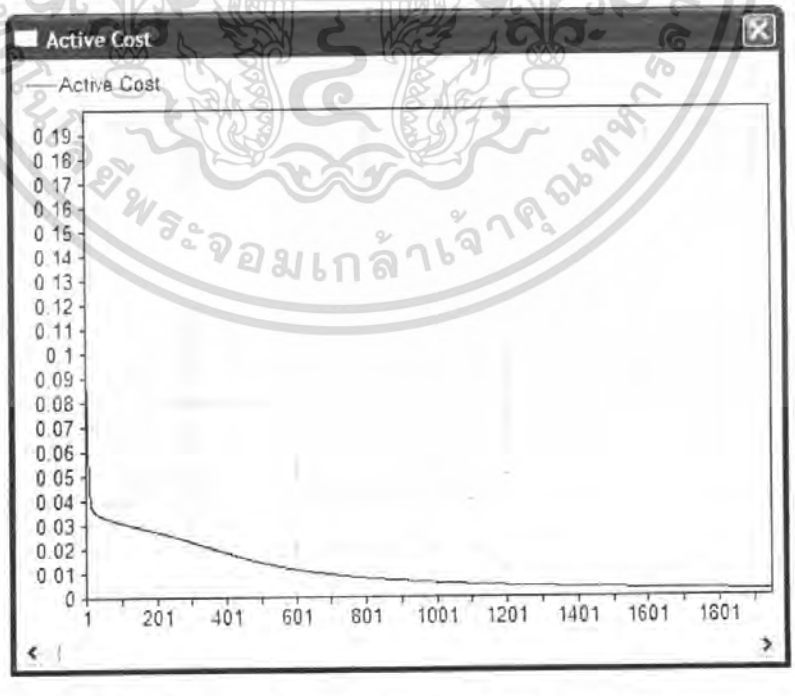
ในการทดสอบการหาตำแหน่งตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถที่ถ่ายที่มุมไม่เกิน 20 องศา มีทั้งภาพที่สามารถแยกเลขทะเบียนได้ครบทุกตัว ภาพที่ไม่สามารถแยกเลขทะเบียนจากป้ายทะเบียนได้ครบ และภาพที่ไม่สามารถแยกเลขทะเบียนได้เลย โดยมีภาพที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 1,689 ภาพ

ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์ของภาพที่แยกเลขทะเบียนได้ครบ

ผลการแยกเลขทะเบียน	จำนวน	เปอร์เซ็นต์(%)
แยกเลขทะเบียนได้ครบ	1407	83.3
แยกเลขทะเบียนได้ไม่ครบ	76	4.5
ไม่สามารถแยกเลขทะเบียนได้เลย	206	12.2

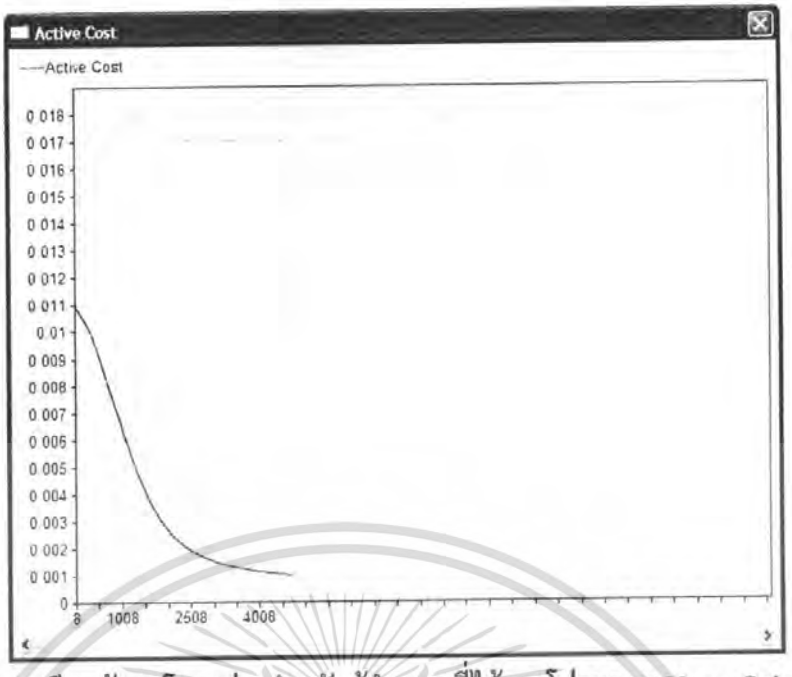
5.3 การจดจำเลขทะเบียนรถยนต์

ในการพัฒนาจะพัฒนาโครงข่ายจำนวน 2 โครงข่ายโดยที่โครงข่ายหนึ่งสำหรับรู้จำ 0 – 9 และอีกโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก – ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด ในการพัฒนาจะนำข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนสำหรับโครงข่ายส่งให้โปรแกรม NeuroSolutions 4 ทำการฝึกฝนโครงข่ายจากนั้นนำค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเทรชโฮลของโปรแกรมไปใช้กับโครงข่ายที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงทำการทดสอบโดยนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นนำเข้าสู่โครงข่าย แล้วนำผลเปรียบเทียบกับคำตอบที่ถูกต้อง



รูปที่ 5.7 แสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายสำหรับรู้จำ 0-9 ที่ได้จากโปรแกรม NeuroSolutions 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. 8 แสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก-ฮ ที่ได้จากโปรแกรม NeuroSolutions 4

การทดสอบโครงข่ายสำหรับรู้จำ 0 – 9 โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีจำนวนภาพเลข 0 ถึง 9 ตัวเลขละ 100 ตัว รวมทั้งสิ้น 1,000 ตัว โดยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองจากภาพถ่ายของตัวเลข 0 – 9

ภาพถ่าย	จำนวนที่สามารถรู้จำได้ (ตัว)										เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้
ตัวเลข	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	(%)
0	98	1	0	0	0	1	0	0	0	0	98.00
1	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00
2	0	0	99	1	0	0	0	0	0	0	99.00
3	0	0	0	98	2	0	0	0	0	0	98.00
4	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100.00
5	0	0	0	0	0	99	1	0	0	0	99.00
6	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100.00
7	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100.00
8	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100.00
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100.00
เฉลี่ย											99.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบโครงข่ายสำหรับรู้จำ ก – ฮ ทำการทดสอบโดยการสร้างโครงข่ายจำนวน 2 โครงข่าย ซึ่งโครงข่ายแรกสามารถรู้จำ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ช ฌ ญ ฏ ฑ ฒ ด ฝ อีกโครงข่ายสามารถรู้จำ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด เพื่อทำการทดสอบว่าหากเพิ่มพยัญชนะที่ลักษณะคล้ายกันเช่น ช กับ ซ และ ผ กับ ฝ จะทำให้เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้เปลี่ยนไปหรือไม่

โครงข่ายสามารถรู้จำ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ช ฌ ญ ฏ ฑ ฒ ด ฝ โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีจำนวนภาพ ก ถึง ฮ ตัวเลขละ 60 ตัว รวมทั้งสิ้น 1,980 ตัว โดยได้เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำเฉลี่ยเท่ากับ 99.29 % โดยที่สามารถรู้จำได้ถูกต้องจำนวน 1,966 ตัว

โครงข่ายสามารถรู้จำ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีจำนวนภาพ ก ถึง ฮ ตัวเลขละ 60 ตัว รวมทั้งสิ้น 2,160 ตัว โดยได้เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำเฉลี่ยเท่ากับ 99.40 % โดยที่สามารถรู้จำได้ถูกต้องจำนวน 2,147 ตัว

ตารางที่ 5.4 ผลการรู้จำที่ผิดพลาดของพยัญชนะ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฏ ฑ ฒ ด

ผลที่ถูกต้อง	ผลที่รู้จำ	จำนวน	ผลที่ถูกต้อง	ผลที่รู้จำ	จำนวน
ช	ว	1	ธ	ษ	1
พ	ฟ	3	ป	ร	1
ย	บ	1	พ	ป	1
ฉ	ส	1	ม	พ	1
ณ	ต	1	ร	น	2
ต	พ	1			

ตารางที่ 5.5 ผลการรู้จำที่ผิดพลาดของพยัญชนะ ก ถึง ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ช ฌ ญ ฏ ฑ ฒ ต ฝ

ผลที่ถูกต้อง	ผลที่รู้จำ	จำนวน	ผลที่ถูกต้อง	ผลที่รู้จำ	จำนวน
ช	ว	1	ธ	ษ	1
พ	ฟ	2	บ	ย	1
ย	น	1	พ	ป	1
ฉ	ศ	1	ม	ฟ	1
ณ	ต	1	ร	น	2
ต	พ	1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบสองโครงข่ายเปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้ พบว่าการเพิ่มพยัญชนะที่มีโอกาสคล้ายกันจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้ใกล้เคียงกัน อันเนื่องจากเปอร์เซ็นต์จุดสีของภาพที่ป้อนให้โครงข่ายของพยัญชนะที่คล้ายกันมีค่าต่างกันจึงไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้ของระบบมากนัก

5.4 การทดลองระบบในสภาวะแวดล้อมจริง

โดยนำระบบที่ออกแบบไว้ไปทดลองถ่ายภาพห่างจากป้ายทะเบียนรถในระยะ 20 ถึง 60 เซนติเมตร ในสภาวะแสง และสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน โดยถ่ายภาพทั้งสิ้น 200 ภาพ โดยมีผลดังนี้

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบระบบโดยรวม

ผลการทดลอง	จำนวนภาพ	เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำได้ (%)
รู้จำถูกต้องทั้งพยัญชนะ และตัวเลข	151	75.5%
รู้จำพยัญชนะผิดพลาด	25	12.5%
รู้จำตัวเลขผิดพลาด	11	5.5%
รู้จำผิดพลาดทั้งพยัญชนะ และตัวเลข	13	6.5%

จากการทดลองนำระบบไปทดสอบในสภาวะแสงแตกต่างกันจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำถูกต้องลดลง ในที่นี้เกิดจากการถ่ายภาพย้อนแสง ถ่ายภาพที่ปริมาณแสงเกินที่กล้องจะถ่ายได้ ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ถ่ายขั้นตอนประมวลผลภาพเบื้องต้นได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ที่รู้จำถูกต้องลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปโครงงาน

การประมวลผลภาพเบื้องต้น สามารถตัดเลขทะเบียนได้ครบคิดเป็น 83.30 % จากภาพป้ายทะเบียนรถทั้งหมด 1,689 ภาพโดยความผิดพลาดของระบบเกือบทั้งหมดนั้นเกิดขึ้นที่ส่วนประมวลผลภาพเบื้องต้น ซึ่งมีตัวแปรหลายประการที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย ตั้งแต่สภาวะของแสงที่มืดหรือสว่างเกินไปจนทำให้การแปลงภาพเป็นไบนารีอิมเมจนั้นได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน เช่นเลขทะเบียนบางตัวอาจขาดหายไปเป็นต้น การถ่ายภาพที่ไม่ดีเช่นภาพเอียงมากเกินไปหรือถ่ายภาพเลขทะเบียนได้ไม่ครบ รวมไปถึงตัวป้ายทะเบียนเองที่บางครั้งสกปรกหรือมีน็อต อีกทั้งยังมีข้อจำกัดของระบบที่มีความเร็ว และหน่วยความจำในการทำงานค่อนข้างน้อย จึงไม่สามารถใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนในการหาเลขทะเบียนได้ รวมทั้งกล้อง Webcam ที่ใช้นั้นไม่สามารถถ่ายภาพได้ในสภาวะที่ความเข้มแสงมากจนเกินไป

ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การทำประมวลผลภาพเบื้องต้น นั้นได้ข้อมูลเลขทะเบียนไม่ครบถ้วน ส่งผลให้ความสามารถโดยรวมของระบบลดลง ซึ่งผู้จัดทำได้ลองพยายามเพิ่มความสามารถในส่วนนี้โดยการเพิ่มส่วนกราฟฟิกแอลซีดีและเลเซอร์เพื่อให้สามารถถ่ายภาพป้ายทะเบียนได้ครบถ้วนมากขึ้น รวมทั้งใช้ค่าเทรชโฮลแบบปรับค่าได้เพื่อให้รองรับกับสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในโครงงานนี้ได้กำหนดโครงข่ายสำหรับรู้จำไว้ 2 โครงข่าย คือโครงข่ายที่รู้จำพยัญชนะ (ก – ฮ ยกเว้น ฃ ฅ ฆ ญ ฎ ฑ ฒ ด) และโครงข่ายที่รู้จำตัวเลข พบว่า โครงข่ายที่รู้จำพยัญชนะและโครงข่ายที่รู้จำตัวเลข โดยในแต่ละโครงข่ายมีเปอร์เซ็นต์ที่รู้จำถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 99.40 %

ปัจจัยที่มีผลต่อถูกต้องของโครงข่าย คือ

1. ข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าสู่โครงข่าย ซึ่งได้ข้อมูลมาจากการประมวลผลภาพเบื้องต้น และแยกคุณลักษณะเด่น โดยการแบ่งแต่ละเลขทะเบียนเป็น 112 ช่องย่อย แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่อง ในระบบได้กำหนดระยะการถ่ายภาพไว้ไม่เกิน 60 เซนติเมตรจึงทำให้เมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งถึงเสร็จสิ้นขั้นตอนการแยกคุณลักษณะเด่นได้ข้อมูลที่ครบถ้วนมีความแตกต่างของแต่ละเลขทะเบียนอย่างชัดเจน จึงทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องค่อนข้างสูง (ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่อง ในภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในขั้นตอนการฝึกฝนโครงข่ายนั้น ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายถ้าข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายมีความใกล้เคียงกับเลขทะเบียนจะทำให้ความสามารถในการจดจำเลขทะเบียนรถยนต์ก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

3. หากเพิ่มความสามารถของโครงข่ายให้สามารถจดจำข้อมูลมากขึ้นจะทำให้ความถูกต้องในการรู้จำลดน้อยลง

6.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

1. **ปัญหาการรับภาพของกล้องเว็ปแคม** เนื่องจากรูรับแสงของกล้องเว็ปแคมมีลักษณะคงที่ กล่าวคือไม่สามารถเปลี่ยนขนาดรูรับแสงได้ตามสภาวะแสง จึงทำให้เมื่อนำไปถ่ายภาพบริเวณที่แสงสว่างมากๆ จะส่งผลให้ข้อมูลของภาพหายไป

แนวทางแก้ไข เมื่อนำไปถ่ายบริเวณที่มีแสงสว่างมากๆนั้น ควรนำแผ่นกรองแสงไปบังหน้าเลนส์ เพื่อให้สามารถนำภาพที่ถ่ายบริเวณนั้นไปวิเคราะห์ได้

2. **ปัญหาการแปลงภาพชนิดบิตแมปเป็นไบนารีอิมเมจ** ในขั้นตอนนี้ใช้ค่าเทรชโฮลในการแปลงเป็นไบนารีอิมเมจ หากค่าเทรชโฮลที่ใช้เป็นค่าที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จะส่งผลให้ข้อมูลที่ป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมได้ข้อมูลที่ไม่เหมาะสมได้

แนวทางแก้ไข พัฒนาให้ค่าเทรชโฮลสามารถเปลี่ยนค่าได้ตามสภาวะแสงได้

3. **ปัญหา Kernel Panic ในระหว่างการพัฒนา GPIO Driver**

แนวทางแก้ไข ทำการศึกษาการเข้าถึงหน่วยความจำของ CPU EP9302 จาก datasheet และ Linux Device Drivers

4. **ปัญหาการนำระบบไปใช้จริง** เมื่อนำระบบไปใช้จริงผู้ใช้ไม่สามารถทราบได้ว่าภาพที่ถ่ายนั้นถ่ายบริเวณใดของรถ ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น

แนวทางแก้ไข ผู้จัดทำจึงพัฒนาให้สามารถแสดงภาพไบนารีอิมเมจออกกราฟฟิกแอลซีดี เพื่อให้สามารถทราบได้ว่าถ่ายบริเวณใดของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. แสง และสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบมาก ดังนั้นหากนำไปใช้ประยุกต์ในงานด้านต่างๆ จำเป็นต้องควบคุมสภาวะแสงให้เหมาะสม

2. ในโครงงานนี้เลือกใช้กล้องเวปแคม ซึ่งสามารถรับแสงได้ในช่วงที่จำกัด หากจำเป็นต้องนำระบบใช้เวลาในบริเวณที่มีปริมาณแสงมากควรเปลี่ยนกล้องเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. หากต้องการพัฒนาให้ระบบมีคุณสมบัติที่สามารถทำงานได้ทันต่อเวลา (Real Time Systems) อาจนำ RTOS เช่น RTAI ติดตั้งแทนระบบเดิม จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และสามารถตอบสนองต่อระบบได้ดีมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษฎา กัลยาสิริวัฒน์ และฐิติ กันตถาวร. 2548. "ระบบรู้จำป้ายทะเบียน." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปรัชญา อำพันสุข และสุทธิกิตติ์ พูนธนาทรัพย์. 2547. "ระบบจดจำป้ายทะเบียนรถยนต์." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุธรรม โรจนวิภาต และพัชรินทร์ อุดมชัยศรี. 2549. "กล้องวีดีโอที่เก็บข้อมูลด้วยฮาร์ดดิสก์." ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Ben Coppin. 2004. **Artificial Intelligence Illuminated.** Canada : Jones and Barlett.

Cuturicu Cristi. 2007. **Programming Resource-JPEG Decode Source Code.** [Online]. Available : http://www.yov408.com/html/codespot.php?gg=48

Gonzalez Rafael, C. 2002. **Digital Image Processing.** New Jersey : Prentice-Hall.

Kirkby David. 2007. **Bitmap Format.** [Online]. Available : http://atlc.sourceforge.net/bmp.html

Xhaard Michel. 2007. **Linux Kernel Webcams Driver.** [Online]. Available : http://mxhaard.free.fr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

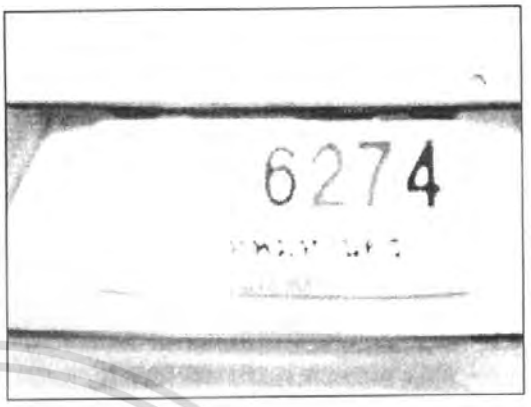
ตัวอย่างภาพที่สามารถตัดเลขทะเบียนและรู้จำได้ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างภาพที่ไม่สามารถตัดเลขทะเบียนและรู้จำได้ครบ

สภาวะแสงไม่เหมาะสม



ป้ายทะเบียนไม่สมบูรณ์

ถ่ายภาพป้ายทะเบียนได้ไม่ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่องของ ผ

20.0000	52.5000	17.5000	0.0000	0.0000	60.0000	87.5000	13.8889
85.0000	100.0000	92.5000	2.5000	0.0000	75.0000	100.0000	26.3889
100.0000	100.0000	100.0000	31.2500	0.0000	65.0000	100.0000	26.3889
100.0000	100.0000	100.0000	26.2500	0.0000	57.5000	100.0000	33.3333
92.5000	100.0000	90.0000	2.5000	0.0000	50.0000	100.0000	43.0556
83.3333	100.0000	7.7778	0.0000	0.0000	43.3333	100.0000	44.4444
77.7778	100.0000	6.6667	0.0000	0.0000	35.5556	100.0000	49.3827
70.0000	100.0000	14.4444	1.1111	0.0000	27.7778	100.0000	59.2593
60.0000	100.0000	20.0000	42.2222	43.3333	20.0000	100.0000	66.6667
50.0000	100.0000	24.4444	86.6667	94.4444	24.4444	100.0000	66.6667
41.1111	100.0000	86.6667	100.0000	100.0000	96.6667	100.0000	76.5432
36.6667	100.0000	100.0000	71.1111	20.0000	98.8889	100.0000	87.6543
30.0000	100.0000	100.0000	21.1111	0.0000	57.7778	100.0000	87.6543
12.2222	87.7778	70.0000	0.0000	0.0000	5.5556	62.2222	48.1481

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่องของ ฝ

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	54.1667	87.5000	31.2500
0.0000	8.3333	2.7778	0.0000	0.0000	68.0556	100.0000	40.6250
40.7407	98.7654	91.3580	14.8148	0.0000	62.9630	100.0000	44.4444
93.8272	100.0000	100.0000	56.7901	0.0000	59.2593	100.0000	50.0000
93.8272	100.0000	100.0000	39.5062	0.0000	54.3210	100.0000	62.5000
95.0617	100.0000	43.2099	12.3457	9.8765	56.7901	100.0000	69.4444
95.0617	100.0000	22.2222	60.4938	56.7901	55.5556	100.0000	75.0000
88.8889	100.0000	33.3333	95.0617	93.8272	56.7901	100.0000	75.0000
88.8889	100.0000	83.9506	100.0000	100.0000	91.3580	100.0000	77.7778
86.4198	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	84.7222
77.7778	100.0000	100.0000	71.6049	70.3704	100.0000	100.0000	87.5000
75.3086	100.0000	100.0000	28.3951	24.6914	100.0000	100.0000	87.5000
67.9012	100.0000	88.8889	0.0000	0.0000	81.4815	100.0000	94.4444
48.1481	87.6543	41.9753	0.0000	0.0000	28.3951	74.0741	56.9444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงแตกต่างเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่องของ ผ และ ฝ

20.0000	52.5000	17.5000	0.0000	0.0000	5.8333	0.0000	-17.3611
85.0000	91.6667	89.7222	2.5000	0.0000	6.9444	0.0000	-14.2361
59.2593	1.2346	8.6420	16.4352	0.0000	2.0370	0.0000	-18.0555
6.1728	0.0000	0.0000	-30.5401	0.0000	-1.7593	0.0000	-16.6667
-1.3272	0.0000	-10.0000	-37.0062	0.0000	-4.3210	0.0000	-19.4444
-11.7284	0.0000	-35.4321	-12.3457	-9.8765	-13.4568	0.0000	-25.0000
-17.2839	0.0000	-15.5555	-60.4938	-56.7901	-20.0000	0.0000	-25.6173
-18.8889	0.0000	-18.8889	-93.9506	-93.8272	-29.0123	0.0000	-15.7407
-28.8889	0.0000	-63.9506	-57.7778	-56.6667	-71.3580	0.0000	-11.1111
-36.4198	0.0000	-75.5556	-13.3333	-5.5556	-75.5556	0.0000	-18.0555
-36.6667	0.0000	-13.3333	28.3951	29.6296	-3.3333	0.0000	-10.9568
-38.6419	0.0000	0.0000	42.7160	-4.6914	-1.1111	0.0000	0.1543
-37.9012	0.0000	11.1111	21.1111	0.0000	-23.7037	0.0000	-6.7901
-35.9259	0.1235	28.0247	0.0000	0.0000	-22.8395	-11.8519	-8.7963

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าของพยัญชนะ ผ และ ฝ ที่มีความคล้ายกันเมื่อผ่านขั้นตอนการแยกคุณลักษณะเด่นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนเลขทะเบียน หรือเลขทะเบียนที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อค่าเทรชโฮล ณ สภาวะแวดล้อมเดียวกันหรือไม่ โดยนำภาพป้ายทะเบียนมาลบเลขทะเบียนทีละตัว แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยเทรชโฮลจากภาพป้ายทะเบียนทั้งสิน 10 ภาพ

ภาพแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเลขทะเบียน และค่าเทรชโฮล ณ สภาวะแวดล้อมเดียวกัน

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเลขทะเบียน และค่าเทรชโฮล ณ สภาวะแวดล้อมเดียวกัน

จำนวนเลขทะเบียนรถ (ตัว)	ค่าเทรชโฮล
6	142
5	143
4	144
3	145

จากตารางข้างต้นพบว่าจำนวนเลขทะเบียนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าเทรชโฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่องของเลข 1 ที่ถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ

0.0000	0.0000	0.0000	20.0000	96.4286	85.7143	85.7143	60.7143
0.0000	0.0000	0.0000	71.4286	100.0000	100.0000	100.0000	75.0000
14.2857	34.2857	74.2857	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	67.8571
97.5000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
77.5000	87.5000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	12.5000	72.5000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	60.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	60.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	77.5000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	75.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	77.5000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	60.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	80.0000	100.0000	100.0000	100.0000	50.0000
0.0000	0.0000	0.0000	55.0000	87.5000	81.2500	75.0000	28.1250

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของจุดสีดำในแต่ละช่องของเลข 1 ที่ถ่ายภาพด้วยกล้องเวปแคม

0.0000	0.0000	0.0000	9.5238	71.4286	85.7143	76.1905	28.5714
0.0000	0.0000	21.4286	80.9524	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
42.8571	67.8571	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
7.1429	32.1429	57.1429	95.2381	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	33.3333	100.0000	100.0000	100.0000	66.6667
0.0000	0.0000	0.0000	20.8333	83.3333	87.5000	87.5000	45.8333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้