

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถว
ในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์

AUTOMATIC BARCODE 1D READER SYSTEM FOR ARRAY-ARRANGED
BARCODE IN HARD DISK TESTER



T125096



ชาวลิต เชียงปิว
CHAVALIT CHIANGPIW

๑๒๘/๖
๒๕๕๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 125096
วัน,เดือน,ปี 5 ก.ค. 2556

b. 12508299
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-DS-M-001-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC BARCODE 1D READER SYSTEM FOR ARRAY-ARRANGED
BARCODE IN HARD DISK TESTER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN DATA STORAGE TECHNOLOGY
COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

KMITL-2013-DS-M-001-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013






COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์
Thesis Title AUTOMATIC BARCODE 1D READER SYSTEM FOR ARRAY-ARRANGED BARCODE IN HARD DISK TESTER
นักศึกษา นายชวลิต เชียงปิว
รหัสประจำตัว 52690305
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-DS-M-001-05

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบุลย์	
รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเขต	สุรักษา	
ดร.เลิศศักดิ์	เลขวัต	
รองศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงค์ไทย	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 12 มีนาคม 2556 เวลา 13.30 - 15.30 น.

สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ธนชยานนท์)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

วันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถว ในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์
นักศึกษา	นายชวลิต เชียงบัว
รหัสประจำตัว	52690305
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการพัฒนาระบบการอ่านรหัสแถบ 1 มิติ (รหัส Code39) โดยใช้การประมวลผลภาพ เพื่อประยุกต์ใช้งานกับการเก็บข้อมูลและระบุตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์แต่ละลูกภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยระบบใหม่นี้จะเข้ามาแทนที่การอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์แบบเดิมซึ่งใช้หัวอ่านแบบมือถือ ซึ่งใช้พนักงานในการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์ทีละลูกพร้อมกับนำฮาร์ดดิสก์เข้าไปยังแต่ละตำแหน่งของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ซึ่งพนักงานจะต้องทำการเก็บข้อมูลจากบาร์โค้ด 1 มิติ ที่อยู่ติดกันบริเวณท้ายฮาร์ดดิสก์ ซึ่งบ่อยครั้งที่พนักงานจะต้องทำการการสแกนใหม่อันเนื่องมาจากการสแกนบาร์โค้ดซ้ำตำแหน่งเดิมเนื่องจากจำนวนฮาร์ดดิสก์ที่มีจำนวนมากส่งผลให้เวลาในการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์ของพนักงานค่อนข้างมาก โดยระบบใหม่นี้จะทำการเก็บข้อมูลบาร์โค้ดของฮาร์ดดิสก์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์จำนวน 720 บาร์โค้ด ภายในเวลาน้อยกว่า 10 นาที ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนบันทึกภาพ ส่วนประมวลผล และส่วนถอดรหัสบาร์โค้ด ซึ่งการพัฒนาซอฟต์แวร์ของระบบนั้นจะใช้ภาษาซีซึ่งมีความยืดหยุ่นและรวดเร็วในการประมวลผล ผลการทดสอบระบบเวลาที่ใช้ในการทำงานของระบบรวม 12.10 นาที (จำนวน 720 บาร์โค้ด ที่ความถูกต้อง 93.75 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งหากเราสามารถทำการประมวลผลแบบขนานกับระบบได้ จะสามารถลดระยะเวลาในการทำงานของระบบลงได้อีก โดยมุ่งหวังว่าระบบดังกล่าว จะช่วยเพิ่มอัตราการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยลดเวลาในการปฏิบัติงานที่เข้าไปเข้ามาของการอ่านข้อมูลอันเป็นผลทำให้เกิดผิดพลาดในการอ่านข้อมูลและล่าช้าของพนักงานผู้ปฏิบัติและนำไปสู่การออกแบบสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำต่อไป

Thesis	Automatic Barcode 1D Reader System For Array-arranged Barcode in Hard Disk Tester
Student	Mr.Chavalit Chiangpiw
Student ID.	52690305
Degree	Master of Engineering
Program	Data Storage Technology
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Choomchuay

ABSTRACT

This thesis details the development of array 1-D barcode reader where 1-D code are stacked in both x and y direction. The challenge is to apply the image processing technique to acquire product information within a permitted acquisition and processing times. The new system is intended to replace the current system that a hand held laser scanner is used. The product is actually a HDD unit with 2 code 39 barcodes attached at it rear. The HDD array holds 8 column and 30 rows. Each docking holds also a code 39 label. According to the required reading speed, the new design mechanical support has to cope multi-camera transportation. In reading of 720 barcode within 10 minutes, the software has been developed in C programming language. To enhance the reading successful rate, majority decision technique has been used on top to moving blur correction. In depth, the designed system comprises 3 main section; image acquisition, image enhancement, and barcode decoding. With the current system with low cost webcam cameras installed, the obtained best reading time is 12.10 minutes (input = 720 barcodes and success rate = 93.75 percents). The true parallel processing may be needed to improve to reading speed of this work.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนทุนในการทำงานวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชวลิต เชียงปิว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode).....	3
2.3 รหัสแท่ง 1 มิติ (1 D Barcode).....	7
2.3.1 การพิจารณาข้อมูลที่บรรจุในรหัสแท่ง.....	7
2.3.2 ประเภทของบาร์โค้ด.....	8
2.3.3 รหัสแท่งที่ในปัจจุบัน.....	8
2.3.4 การอ่านค่าบาร์โค้ด 1 มิติ เบื้องต้น.....	14
2.4 ภาพเชิงดิจิทัล (Digital Image Definitions).....	22
2.4.1 ภาพสี (Color Image).....	23
2.4.2 ภาพสีเทา (Gray Image).....	23
2.4.3 ภาพโทนสีขาวดำ.....	24
2.5 ระบบสี RGB.....	25
2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	25
2.7 การแปลงภาพ.....	25
2.7.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพสีเทา.....	26
2.7.2 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพขาวดำ.....	26
2.7.2.1 ฮิสโทแกรม.....	27
2.7.2.2 เธรดโซลต์.....	27
2.8 การหาขอบภาพ (Edge detection).....	28
2.8.1 Gradient method.....	28
2.8.2 Laplacian method.....	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 มอร์โฟโลยี (Morphology)	29
2.10 การแปลงฟูรีเยร์ของภาพดิจิทัล	30
2.10.1 การแปลงฟูรีเยร์	30
2.10.2 การแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติ	32
2.10.3 การคอนโวลูชัน(Convolution)	34
2.10.4 การคอนโวลูชัน 2 มิติ	36
2.11 การเชื่อมขอบที่ใช้การแปลง Hough	37
2.12 การฟื้นฟูภาพเพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพ	41
2.12.1 รูปแบบการสูญเสียความคมชัด	42
2.12.2 การหาค่าพารามิเตอร์ความไม่คมชัด	44
2.12.3 การปรับปรุงภาพด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด	45
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง	47
3.1 การพัฒนาระบบขับเคลื่อนในการควบคุมกล้อง	47
3.1.1 การออกแบบระบบขับเคลื่อน	47
3.1.2 การออกแบบระบบควบคุม	49
3.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอ่านบาร์โค้ด	50
3.2.1 การควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	51
3.2.2 ขั้นตอนการอ่านค่าบาร์โค้ด	52
3.2.3 การค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด	53
3.2.4 การอ่านค่าบาร์โค้ด	54
บทที่ 4 วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	55
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	55
4.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย	56
4.3 ตัวอย่างบาร์โค้ดที่ใช้ในงานวิจัย	56
4.4 การทดลอง	57
4.4.1 การทดลองที่ 1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระยะห่างที่สามารถถ่ายภาพบาร์โค้ด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	57
4.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด	60
4.4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการแก้ไขปัญหาการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่ ..	64
4.4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการอ่านค่าบาร์โค้ด	67
4.4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียง แถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์	71
4.5 สรุปผลการทดลอง	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 ข้อเสนอแนะ	74
5.2 ข้อบกพร่องและข้อจำกัด.....	74
5.3 พัฒนางานวิจัย	75
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	78
ภาคผนวก ข การติดตั้งโปรแกรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	97



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวเลขรหัสประเทศต่าง ๆ.....	12
2.2 แสดงหมายเลข Number System ของแต่ละประเทศ.....	16
2.3 แสดงค่า Weighting ของแต่ละตำแหน่งของรหัสบาร์โค้ด.....	17
2.4 แสดงการแทนค่าบาร์และช่องว่างของเลขแต่ละหลักของบาร์โค้ด EAN-13.....	19
2.5 แสดงการแทนค่าความกว้างของแท่ง(Bar) และช่องว่าง(Space)ของ Code 39.....	20
2.6 แสดงรูปแบบการเข้ารหัส Code 39.....	21
4.1 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	55
4.2 เปรียบเทียบภาพบาร์โค้ดที่ระยะต่างๆ ของกล้องเว็บแคม(Logitech Webcam C160).....	58
4.3 เปรียบเทียบการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดด้วย Operator ต่าง ๆ.....	61
4.4 ผลการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด.....	63
4.5 ผลการทดลองการกู้คืนภาพ.....	66
4.6 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 4 ซม.....	68
4.7 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 5 ซม.....	68
4.8 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 6 ซม.....	69
4.9 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 7 ซม.....	69
4.10 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดจากกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่ระยะห่าง 9 ซม.....	70
4.11 ระยะเวลาในการถ่ายภาพบาร์โค้ดด้วยความเร็วต่างๆ โดยหยุดครั้งละ 10 วินาที.....	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) รูป EAN-13-Barcode(b)รูป EAN-8-Barcode.....	4
2.2 โครงสร้างของบาร์โค้ด.....	5
2.3 บาร์โค้ด UPC.....	8
2.4 บาร์โค้ด EAN-8.....	10
2.5 บาร์โค้ด EAN-13.....	10
2.6 บาร์โค้ด Interleaved 2 of 5.....	12
2.7 บาร์โค้ด Code 39.....	13
2.8 บาร์โค้ด Code 128.....	13
2.9 บาร์โค้ด PDF417.....	14
2.10 บาร์โค้ด Data Matrix.....	14
2.11 บาร์โค้ด EAN-13.....	15
2.12 เปรียบเทียบระหว่างบาร์โค้ด UPC-A และ บาร์โค้ด EAN-13.....	16
2.13 บาร์โค้ด EAN-13 รหัส 8851552108001.....	18
2.14 การเข้ารหัสบาร์โค้ด EAN-13 ด้วยบาร์โค้ด 8711253001202.....	19
2.15 แสดงการเข้ารหัสด้วยสัญลักษณ์บาร์โค้ด Code 39.....	21
2.16 ตัวอย่างบาร์โค้ด Code39 ที่เข้ารหัส "A".....	22
2.17 ภาพในเชิงดิจิทัลเมื่อแบ่งค่าพิกเซล.....	22
2.18 แสดงภาพ RGB และ Pixel Value ของภาพ RGB.....	23
2.19 แสดงค่าสีใน Gray Scale.....	23
2.20 ภาพประกอบที่มีโทนสีขาวดำ.....	24
2.21 ภาพโทนสีขาวดำแสดงค่าระดับความเข้มของแสง.....	24
2.22 การผสมสีทางแสงหรือการบวกแม่สีเข้าด้วยกัน.....	25
2.23 ฮิสโตแกรมแสดงค่าเรดเชลต์.....	26
2.24 ขั้นตอนการแปลงให้เป็นภาพขาวดำ โดยใช้เรดเชลต์แบบต่างๆ.....	28
2.25 กราฟแสดงการหาขอบด้วยวิธี Gradient method และ Laplacian method ของกราฟ ความแตกต่างของระดับความเข้มของสี.....	29
2.26 ฟังก์ชันและการแปลงฟูเรียร์ของฟังก์ชัน.....	32
2.27 การแปลงฟูเรียร์ของฟังก์ชัน 2 มิติ.....	33
2.28 ตัวอย่างการคอนโวลูชัน พื้นที่สีดำคือกรณีที่ผลคูณไม่เป็นศูนย์.....	35
2.29 แสดงการคำนวณหาค่าคอนโวลูชัน.....	37
2.30 แสดงระนาบพารามิเตอร์.....	38
2.31 การแบ่งช่วงแกนพารามิเตอร์สำหรับการแปลง Hough.....	38
2.32 แสดงการแปลง Hough.....	39
2.33 ผลลัพธ์การแปลง Hough.....	40
2.34 ตัวอย่างการแปลง Hough.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.35	แบบจำลองการสูญเสียความคมชัด	42
2.36	การเคลื่อนที่ของวัตถุ	43
2.37	ผลลัพธ์การสร้างฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัด	43
2.38	ผลลัพธ์การจำแนกความไม่คมชัด	44
2.39	แบบจำลองของการปรับปรุงภาพ	45
2.40	การฟื้นฟูโดย Wiener Filter	46
3.1	ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	47
3.2	มุมมองการออกแบบด้านหน้าของระบบขับเคลื่อน	48
3.3	ทิศทางการเคลื่อนที่ของกล้องในการบันทึกภาพตำแหน่งต่างๆ	49
3.4	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุม	50
3.5	บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	51
3.6	บล็อกไดอะแกรมการอ่านค่าบาร์โค้ด	52
3.7	บล็อกไดอะแกรมการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด	53
3.8	บล็อกไดอะแกรมการอ่านค่าบาร์โค้ด	54
4.1	(a) ภาพบาร์โค้ดที่ติดกับฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊ก (b) ภาพบาร์โค้ดจำลองที่สร้างขึ้น (c) ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องเว็บแคมความละเอียด 640x480 พิกเซล	56
4.2	ภาพเปรียบเทียบตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์และการจำลองตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์	57
4.3	ภาพบาร์โค้ดจากกล้องดิจิทัลไมโครสโคป	59
4.4	ภาพที่ใช้ในการทดสอบหาตำแหน่งบาร์โค้ด	60
4.5	ขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด	60
4.6	กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตรวจพบตำแหน่งบาร์โค้ดด้วยเทมเพลตต่างๆ	63
4.7	ภาพที่ได้ภายหลังจากผ่านกระบวนการค้นหาบาร์โค้ด	63
4.8	ขั้นตอนการอ่านบาร์โค้ด	64
4.9	กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าบาร์โค้ดของกล้องดิจิทัล ไมโครสโคปและกล้องเว็บแคม	65
4.10	ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ	67
4.11	กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าบาร์โค้ดของกล้องดิจิทัล ไมโครสโคปและกล้องเว็บแคม	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีบาร์โค้ดได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในงานอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน ในงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ก็เช่นเดียวกัน ได้มีการนำเทคโนโลยีบาร์โค้ดมาใช้ในการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลและรายละเอียดของอุปกรณ์นั้น ๆ ในการกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ก่อนการส่งออกไปจำหน่ายนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้แน่ใจว่าฮาร์ดดิสก์ทุกลูกนั้น สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ขั้นตอนการทดสอบนั้น พนักงานจะนำฮาร์ดดิสก์เข้าไปเรียงภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งสามารถบรรจุฮาร์ดดิสก์ได้ถึง 240 ลูก (ฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊ก) ซึ่งระบบการทำงานปัจจุบันจะทำการตรวจเก็บข้อมูลจากตัวฮาร์ดดิสก์ที่ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ก่อนการทดสอบ เพื่อระบุตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวว่าอยู่ที่ตำแหน่งเซลล์ไอดีใดในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ก่อนเริ่มกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ฮาร์ดดิสก์จะถูกทำการสแกนรหัสแถบ 1 มิติ ที่ติดมา รหัส Code 39 ขนาด 3.5x22 มม.² โดยใช้เครื่องสแกนแบบมือถือโดยที่ตัวฮาร์ดดิสก์จะมีบาร์โค้ดอยู่ 2 ตำแหน่ง และที่ตัวเซลล์ไอดีจะมีบาร์โค้ดอยู่อีก 1 ตำแหน่ง รวม 3 ตำแหน่งซึ่งเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์สามารถบรรจุจำนวนฮาร์ดดิสก์ได้ทั้งหมด 240 ลูก ทำให้พนักงานจะต้องทำการอ่านบาร์โค้ด จำนวน 720 บาร์โค้ด ต่อกระบวนการทดสอบหนึ่งครั้งเพื่อเก็บข้อมูลในการระบุตำแหน่งฮาร์ดดิสก์ว่าอยู่ที่ตำแหน่งเซลล์ไอดีใด

- ตรวจสอบเทียบในฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าชิ้นงานได้ผ่านขั้นตอนอื่น ๆ มาอย่างครบถ้วนและถูกต้อง

เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการปฏิบัติที่ใช้พนักงานเป็นหลักจึงมักทำให้เกิดปัญหาจากตัวผู้ปฏิบัติ (Human Errors) เช่น

- ความไม่คงเส้นคงวา (inconsistency) ของมุมและระยะในการสแกน ทำให้การสแกนสำเร็จบ้างไม่สำเร็จบ้าง ต้องมีการทำซ้ำ

- อาจเกิดการสแกนซ้ำหรือการสแกนข้าม (double scanning & escape scanning) ต่อชิ้นงานเดิมเพราะตำแหน่งบาร์โค้ดอยู่ติดกันทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น

- เนื่องจากตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์อยู่ลึกเข้าไปในตัวเครื่อง และส่วนเป็นเซลล์ไอดียื่นออกมาทำให้พนักงานต้องเสียเวลาในการอ่านข้อมูลก่อนแล้วจึงนำฮาร์ดดิสก์บรรจุเข้าไปยังตำแหน่งที่เครื่องกำหนด

จะเห็นได้ชัดเจนว่ากระบวนการดังกล่าวมีความล่าช้าและทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่ายการวิจัยนี้ เป็นการออกแบบระบบใหม่เพื่อทดแทนระบบเก่า ซึ่งปรับปรุงความเร็วและความถูกต้องของกระบวนการ โดยระบบใหม่จะใช้กล้องดิจิทัลในการตรวจจับตำแหน่งบาร์โค้ดบนตัวฮาร์ดดิสก์ขณะที่อยู่ในตำแหน่งเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักสำหรับงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

- เพื่อทดแทนระบบการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์แบบเก่า ในกระบวนการระบุตำแหน่งฮาร์ดดิสก์ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเดิมใช้เครื่องสแกนด้วยมือถือโดยใช้พนักงานในการสแกน ซึ่งระบบใหม่จะใช้ระบบการเก็บข้อมูลด้วยกล้องดิจิทัลแล้วใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพอ่านค่าบาร์โค้ดแทน โดยตำแหน่งฮาร์ดดิสก์จะคงยังอยู่ในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์อย่างเดิม
- เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการบวนการเก็บและตรวจสอบข้อมูลฮาร์ดดิสก์
- เพื่อปรับปรุงความถูกต้องของการรับเข้าข้อมูล

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ระบบการเก็บข้อมูลด้วยกล้องดิจิทัล และอ่านข้อมูลบาร์โค้ดโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องดิจิทัล โดยอัตราความเร็วในการทำงานของระบบฯ ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่กล้องและอัตราเร็วในการถ่ายภาพแต่ละภาพ โดยที่การอ่านข้อมูลบาร์โค้ดได้อย่างถูกต้องจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบาร์โค้ดจากตู้ทดสอบบาร์โค้ด โดยใช้กล้องดิจิทัลในการเก็บข้อมูลบาร์โค้ด

1.4.2 ใช้การประมวลผลภาพในการอ่านค่าบาร์โค้ด

1.4.3 ระบบที่พัฒนาสามารถนำเอาต์พุตส่งไปใช้งานร่วมกับระบบฐานข้อมูลของระบบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.4 อัตราความเร็วในการรับข้อมูลไม่เกิน 10 นาทีต่อหนึ่งเครื่องทดสอบ (เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ 1 เครื่อง มีจำนวนฮาร์ดดิสก์ 240 ลูก โดยต้องอ่านจำนวนบาร์โค้ด 3 จุดต่อฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัว)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถค้นหาบาร์โค้ดและอ่านค่าบาร์โค้ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 สามารถประยุกต์การนำกล้องเว็บแคมหรือกล้องดิจิทัลมาใช้ในการอ่านบาร์โค้ด

1.5.3 สามารถนำเทคนิควิธีการดังกล่าวมาประยุกต์และพัฒนาต่อเพื่อสร้างระบบที่สามารถทดแทนระบบเดิมได้จริงในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงเทคโนโลยีรหัสแท่งที่มีการใช้งานตั้งแต่อดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบัน รวมไปถึงการอ่านบาร์โค้ด 1 มิติ การประมวลผลภาพเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 เทคโนโลยีรหัสแท่ง(Barcode)

ความหมาย

รหัสแท่ง (Barcode) หรือเรียกทับศัพท์ว่า บาร์โค้ดคือ สัญลักษณ์ที่มีรูปแบบเป็นแท่ง (Bar) ที่มีความหนาและบางแตกต่างกันเพื่อใช้แทนข้อมูล (Code) ตัวเลขฐานสอง (Binary codes) สามารถแยกแยะหรือระบุให้สิ่งของแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกันได้ ลักษณะทางกายภาพของบาร์โค้ด เป็นแถบรหัสรูปปลายทางสีดำ (Bar) และแถบขาว (Space) เรียงขนานกันคล้ายทางม้าลาย แต่ขนาดความหนาและแถบระยะห่างมีลักษณะเป็นสัญลักษณ์เฉพาะ (Symbology) ที่กำหนดขึ้นตามเลขที่กำกับอยู่ ขนาดของแถบบาร์โค้ดมีความยาวแตกต่างกันขึ้นกับการใช้งาน

เทคโนโลยีบาร์โค้ดถูกนำมาใช้ทดแทนในส่วนการบันทึกข้อมูล (Data Entry) เนื่องจากการบันทึกด้วยคีย์บอร์ดมีความผิดพลาดอยู่ประมาณ 1 ใน 100 หรือบันทึกข้อมูลผิดพลาด 1 ตัวอักษรในทุกๆ 100 ตัวอักษรและเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบบาร์โค้ดแทนในขั้นตอนการบันทึกข้อมูล อัตราการเกิดความผิดพลาดจะลดลงเหลือเพียง 1 ใน 10,000,000 ตัวอักษรรูปแบบบาร์โค้ดที่พบเห็นกันมากในสินค้าผลิตภัณฑ์ต่างๆอาจอยู่ในรูปแถบกระดาษภาพพิมพ์กระดาษห่อผลิตภัณฑ์หรือเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์

ประวัติความเป็นมาของบาร์โค้ด

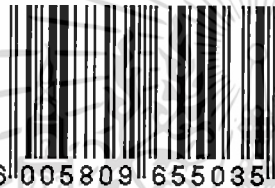
เริ่มในปี ค.ศ. 1970 ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการเฉพาะกิจด้านพาณิชย์ขึ้นสำหรับค้นคว้ารหัสมาตรฐาน และสัญลักษณ์ที่สามารถช่วยกิจการด้านอุตสาหกรรม ค.ศ. 1973 คณะกรรมการเฉพาะกิจฯ ได้จัดพิมพ์บาร์โค้ดระบบ UPC (Uniform Product Code) ขึ้นเป็นครั้งแรกสำหรับติดบนสินค้าต่างๆ ในวงการอุตสาหกรรม ใช้สำหรับควบคุมยอดการขายและสินค้าคงคลัง

ค.ศ. 1975 กลุ่มประเทศทางยุโรปจัดตั้งคณะทำงานด้านวิชาการขึ้น เพื่อสร้างระบบบาร์โค้ด เรียกว่า EAN (European Article Number) และปี ค.ศ. 1977 สมาคม EAN ถูกจัดตั้งขึ้นครอบคลุมประเทศในยุโรปและประเทศอื่น ๆ ของโลก ยกเว้นอเมริกาเหนือต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น IANA (International Article Numbering Association) แต่อักษรย่อยังคงใช้ EAN ระบบบาร์โค้ดของยุโรปถูกพัฒนาจากระบบ UPC และได้พัฒนาให้มีความสามารถเช่นเดียวกับระบบ UPC

ประเทศไทยนำระบบ EAN เข้ามาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 โดย Thai Product Numbering Association-TPNA ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นนายทะเบียนในการรับสมัครสมาชิกระบบบาร์โค้ดทำหน้าที่รับจดทะเบียนสมาชิกบาร์โค้ดในระบบ EAN ทั้งนี้เพื่อสินค้าที่ผลิตภายในประเทศได้มาตรฐานสากลและเพื่อประโยชน์แก่ผู้ผลิต ผู้ส่งออกผู้ซื้อผู้ค้าปลีก จนปี พ.ศ. 2536 TPNA ได้โอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิทธิ์การเป็นนายทะเบียนให้กับสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยรหัสประจำของประเทศไทย คือ 885 ระบบ EAN ตามระบบสากลของ EAN International ภายใต้การบริหารงานของสถาบันสัญลักษณ์รหัสแห่งประเทศไทย EAN Thailand หมายเลข 885 จะช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับสินค้าไทยในตลาดต่างประเทศโดยที่ผู้ประกอบการจะสามารถตรวจสอบได้ว่า 885 เป็นของประเทศไทยช่องทางหรือโอกาสทางการตลาดของสินค้าไทยจะกว้างขึ้นสามารถนำสินค้าไทยไปสู่ตลาดใหญ่ ๆ ได้โดยง่าย รหัสประจำประเทศเปรียบเสมือนการประกาศเอกราชในทางระบบเศรษฐกิจ เพราะสินค้าจากกว่า 91 ประเทศทั่วโลกใช้ระบบ EAN มีเลขหมายประจำแต่ละประเทศหมายเลขจะพิมพ์อยู่ 2 หรือ 3 ตำแหน่งแรกที่อยู่ใกล้รหัสแห่ง การใช้หมายเลข EAN ประจำประเทศทำให้คู่แข่งทางการค้าทั่วโลกทราบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีมาตรฐานการผลิตสูงระดับหนึ่งที่สามารถแจ้งแหล่งผลิตสินค้าออกเหตุผลที่ควรใช้รหัสแห่ง คือ สินค้าอุปโภคบริโภคเกือบทุกชนิดหรือสินค้าสำเร็จรูปต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่จะพิมพ์รหัสแห่งลงบนสินค้าเลยหรืออาจไม่จำเป็นต้องติดบนตัวสินค้าก็ได้ ซึ่งจะช่วยสร้างความเชื่อถือให้กับผู้ซื้อ หรือผู้นำเข้าในประเทศได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.1 (a) รูป EAN-13-Barcode(b)รูป EAN-8-Barcode

หลักการจัดระบบการทำงานของบาร์โค้ด

หลักการจัดระบบการทำงานของบาร์โค้ดมีส่วนประกอบของระบบ ดังนี้

- 1) ส่วนการเตรียมข้อมูลการเลือกโปรแกรมบาร์โค้ดการจัดเลขรหัสการจัดทำแถบบาร์โค้ด การพิมพ์แถบบาร์โค้ดและการป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์
- 2) ส่วนของซอฟต์แวร์การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการเขียนระบบการทำงาน
- 3) ส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์ฮาร์ดดิสก์เครื่องพิมพ์และเครื่องอ่านบาร์โค้ด

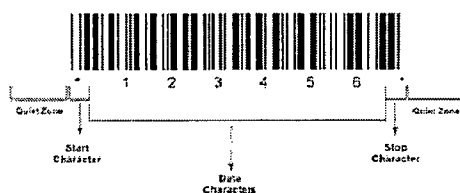
ส่วนประกอบของบาร์โค้ด

ปกติแล้วส่วนประกอบของบาร์โค้ดจะมีรูปแบบตามมาตรฐานของแต่ละองค์กรและตามจุดประสงค์ของการใช้งาน แต่โดยทั่วไปแล้วบาร์โค้ดจะมีส่วนประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

- Quiet Zone เป็นบริเวณที่ว่างเปล่าไม่มีการพิมพ์ข้อความใด ๆ โดยจะอยู่ก่อนและหลังบาร์โค้ด
- Start/Stop Character เป็นบริเวณแถบแท่งหรือช่องว่างเพื่อเตรียมสั่งให้เซนเซอร์เริ่มต้นหรือหยุดการอ่านบาร์โค้ด
- Data เป็นบริเวณแถบแท่งหรือช่องว่างที่แทนข้อมูลต่าง ๆ ที่เราต้องการ
- Check Digit เป็นบริเวณแถบแท่งที่มีไว้สำหรับเก็บค่าตัวเลขเพื่อตรวจสอบข้อมูลในส่วน Data เพื่อให้มั่นใจว่าอ่านข้อมูลถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Structure of a Width - Based Bar Code



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของบาร์โค้ด

หลักการการทำงานของบาร์โค้ด

รหัสบาร์โค้ดประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1) ส่วนลายเส้นซึ่งเป็นลายเส้นสีขาว (โปร่งแสง) และสีดำที่มีความกว้างของลายเส้นตามมาตรฐานของบาร์โค้ดแต่ละชนิด

2) ส่วนข้อมูลตัวอักษร เป็นส่วนที่แสดงความหมายของชุดข้อมูลลายเส้นสำหรับให้อ่านเข้าใจ

3) ส่วนแถบว่างเป็นส่วนที่เครื่องอ่านบาร์โค้ดใช้กำหนดขอบเขตของบาร์โค้ดและกำหนดค่าให้กับสีขาวโดยทุกเส้นจะมีความยาวเท่ากันเรียงตามลำดับในแนวนอนจากซ้ายไปขวา

แถบสีทั้งสีขาวและสีดำที่มีความกว้างจะแทนค่าเป็น 00 และ 11 ตามลำดับ ส่วนแถบสีที่มีความแคบ (หรือมองด้วยตาเหมือนเป็นเส้นตรงเล็ก ๆ) ทั้งสีขาวและสีดำจะมีค่าเป็น 0 และ 1 ตามลำดับ แถบขาวและดำมีชื่อเรียกตามความกว้าง คือ

- แถบสีดำที่มีความกว้างมากกว่าเรียกว่า Width Bar ถ้ามีความกว้างน้อยเรียกว่า Narrow Bar
- ช่องว่างหรือแถบสีขาวที่มีความกว้างมากกว่าเรียกว่า Wide Space ถ้ามีความกว้างน้อยเรียกว่า Narrow Space

เรียกว่า Narrow Space

บาร์โค้ดประกอบด้วยแถบสีดำและสีขาว โดยความกว้างของแถบสีดำสลับขาวเป็นรหัสแทนข้อมูลโดยเรียงจากซ้ายไปขวา การถอดรหัสจำเป็นต้องทราบความกว้างของแถบดำ และแถบขาวนำไปเทียบกับตารางมาตรฐานเครื่องอ่านบาร์โค้ดประกอบด้วยหัวอ่านอินฟราเรด (Infrared) แบบปากกาและแบบวงจรถอดรหัสการใช้งานเริ่มต้นด้วยการกวาดหัวอ่านผ่านบาร์โค้ด ซึ่งหัวอ่านจะมีตัวตรวจจับแสงสะท้อนไปจุดขนวนวงจรถอดรหัสทำให้เกิดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยความกว้างของรูปคลื่นจะเป็นสัดส่วนกับความกว้างของแถบโค้ดต่อจากนั้นวงจรถอดรหัสจะตรวจสอบความกว้างของรูปคลื่นแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแถบขาวดำทั้งหมดที่แทนข้อมูลตัวเลขหรือตัวอักษร โดยปกติเครื่องอ่านจะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ดังนั้นวงจรถอดรหัสจะส่งข้อมูลตัวเลขที่ถอดรหัสได้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป

เซนเซอร์อ่านบาร์โค้ด

เซนเซอร์อ่านบาร์โค้ดส่วนใหญ่แล้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) แบบ Laser จะใช้อ่านบาร์โค้ดที่ติดในสายการผลิตซูเปอร์มาร์เกตและคลังสินค้า หลักการทำงาน คือ ลำแสงเลเซอร์ถูกปล่อยออกจากเลเซอร์ไดโอดมากระทบกับกระจกแบบหลายเหลี่ยมเพื่อที่จะสแกนบาร์โค้ด เมื่อลำแสงเลเซอร์กระทบบาร์โค้ดจะกระจายออกและถูกส่งมาที่โฟโต้ไดโอด ลักษณะของลำแสงที่กระจายตามบาร์โค้ดจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) จากนั้นทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล (Digital) ลักษณะของสัญญาณดิจิตอลจะขึ้นอยู่กับขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นว่าใบเซอร์ไอเซนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแท่งและที่วางในแถบบาร์โค้ดจากนั้นก็แปลงรหัสเป็นข้อมูลผ่านพอร์ตคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลหรือเก็บข้อมูล

2) แบบ CCD จะใช้อ่านบาร์โค้ดที่ติดตั้งงานที่มีขนาดเล็กเช่นหลอดทดลองแผงวงจรที่ขึ้นงานกับตัวอ่านใกล้เคียง หลักการทำงานคือหลอด LED จะเปล่งแสงมากระทบบาร์โค้ดแล้วสะท้อนมาที่เซนเซอร์ CCD Image เพื่อจับภาพของบาร์โค้ดขึ้นมาเป็นข้อมูลเก็บไว้ใช้งานต่อไปการสแกนของเซนเซอร์อ่านบาร์โค้ดจะมี 2 แบบ คือ แบบ Singer Scan จะปล่อยลำแสงขวางในการสแกน 1 แถว ซึ่งเหมาะแก่การเคลื่อนที่ของบาร์โค้ดแบบ Picket Fence Direction และแบบ Raster Scan จะปล่อยลำแสงขวางในการสแกนหลายแถวแม้บาร์โค้ดที่พิมพ์จะคุณภาพไม่ดีก็สามารถอ่านค่าได้ถูกต้อง การสแกนแบบนี้เหมาะสำหรับการเคลื่อนที่ของบาร์โค้ดแบบ Ladder Direction

เครื่องอ่านบาร์โค้ด

เครื่องอ่านบาร์โค้ดสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1. Moving Beam Scanner เครื่องอ่านอยู่กับที่แต่แสงฉายกวาดไปที่สินค้าเพื่อหาบาร์โค้ดที่กำกับบนสินค้านั้น
2. Fixed Beam Scanner เครื่องอ่านอยู่กับที่ลำแสงไม่เคลื่อนที่สินค้าเคลื่อนที่ผ่านจุดที่แสงฉาย
3. Hand Held Scanner เครื่องอ่านที่ต้องใช้คนควบคุมและถือได้เหมาะสำหรับการอ่านบาร์โค้ดของสินค้าที่มีขนาดใหญ่เคลื่อนที่ยากเช่นม้วนกระดาษใหญ่ที่ผลิตจากโรงงาน
4. Wand Scanner เครื่องอ่านที่ให้แสงสีแดงอินฟราเรดในการอ่านต้องใช้เครื่องอ่านสัมผัสกับแถบบาร์โค้ด
5. Hand Held Laser Scanner เครื่องอ่านที่มีหลักการทำงานแบบ Moving Beam Scanner ที่ให้แสงเลเซอร์

ความสำคัญของบาร์โค้ดต่อองค์กรธุรกิจ

● ด้านผู้ผลิต

1. ช่วยในการควบคุมคลังสินค้า
2. ช่วยในการติดตามสินค้าที่อยู่ระหว่างผลิต
3. ได้ตัวเลขยอดขายที่แน่นอนแม่นยำ ทำให้ขจัดปัญหาสินค้าขาดได้
4. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดขั้นตอนการสั่งซื้อให้เป็นไปอย่างรวดเร็วและแม่นยำ
5. ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้า ขนาดโกดัง และดอกเบี้ยสินค้าคงคลัง
6. สร้างเอกลักษณ์ด้วยตัวเลขที่เป็นสากลสำหรับการค้าระหว่างประเทศ
7. สามารถเปิดโอกาสและช่องทางการค้าได้อย่างกว้างขวางขึ้น

● ด้านผู้ค้าส่ง

1. สามารถนำรายการสินค้าต่าง ๆ เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์และหลังการขายสินค้าออกไป
2. สามารถทราบยอดขายและยอดคงเหลือได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ
3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสั่งซื้อสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ด้านผู้ค้าปลีก

1. ลดความสูญเสียขั้นตอนในการค้าปลีก
2. ทันทต่อเหตุการณ์ในช่วงส่งเสริมการขาย
3. เปลี่ยนแปลงราคาสินค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องเปลี่ยนฉลากสินค้า
4. สะดวกต่อการควบคุมสต็อกสินค้ารวมทั้งการสั่งสินค้าครั้งต่อไป
5. เพิ่มประสิทธิภาพในการบริการลูกค้าที่รวดเร็วให้เป็นที่น่าพอใจ
6. ทำให้ระบบการเก็บเงินถูกต้อง และควบคุมการเงินไว้ได้

2.3 รหัสแท่ง 1 มิติ (1 D Barcode)

รหัสแท่งเป็นภาษาที่ใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยมีเครื่องอ่านรหัสแท่งผ่านไปยังซอฟต์แวร์ที่สามารถแปลสัญญาณดิจิทัลเป็นข้อมูลได้ โดยใช้ขนาดของรหัสและช่องว่างเป็นตัวกำหนดในการแปลค่า การคัดเลือกรหัสจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เพราะในปัจจุบันมีรหัสแท่งมากกว่า 20 รหัส ซึ่งรหัสสามารถแปลเป็นได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษร มาตรฐานระบบรหัสแท่งสำหรับกำกับสินค้า ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะแบ่งได้เป็นสองระบบคือ UPC (Universal Product Code) ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ EAN (International Article Numbering) ที่ใช้ในทวีปยุโรปและเอเชีย ระบบ EAN นี้เป็นมาตรฐานของประเทศไทยเพราะบริษัทต่าง ๆ ในประเทศนิยมใช้มาตรฐาน EAN13 โดยมีรหัสของประเทศไทยขึ้นต้นด้วยเลข 885 เป็นรหัสที่นิยมใช้สามารถแปรตัวเลขแทนข้อมูลได้ 12 ตัว เนื่องจากข้อมูลมีมากขึ้นในปัจจุบันจึงมีการขยายเป็น EAN 128

ประเทศไทยใช้รหัส TAN (Thai Article Numbering) โดยเป็นรหัสที่มีอยู่ภายใต้รูปแบบรหัสของ EAN (International Article Numbering) ซึ่งมีสมาชิกอยู่ทั่วโลกยกเว้นประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา สมาชิกทุกประเทศถูกกำหนดให้มีเลขหมายประจำตัวสินค้าภายใต้กฎและข้อกำหนดตามมาตรฐานของ EAN และใช้แบบแผนเดียวกัน เพื่อให้เกิดภาษาในการสื่อสารเป็นภาษาเดียวกันทั่วโลก ดังนั้นผู้ใช้รหัสจาก TAN จะได้รับประโยชน์เช่นเดียวกันกับผู้ใช้อื่นๆ โดยในระบบ EAN ผู้ค้าปลีกสามารถใช้เครื่องอ่านรหัสสินค้าที่เป็นทั้งระบบ EAN และ UPC ที่ใช้ในทวีปอเมริกาโดยไม่ต้องจัดทำฉลากรหัสใหม่

2.3.1 การพิจารณาข้อมูลที่บรรจุในรหัสแท่ง

รหัสแท่งสามารถใช้แทนข้อมูลได้หลายประเภท รวมถึงหลายชิ้นส่วน ปริมาณ ตำแหน่ง จัดเก็บ และข้อมูลอื่นๆ อีกมากมาย การพิจารณาเกี่ยวกับข้อมูลจึงต้องพิจารณา จากหลายปัจจัย คือ ประเภทข้อมูล ปริมาณข้อมูล และผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้รหัส

ประเภทข้อมูล (Data Type) ข้อมูลที่ต้องการอาจจะรวมถึงตัวเลข ตัวอักษร หรือรหัสพิเศษ เช่น % * โดยรูปแบบของข้อมูลมีข้อจำกัดตามที่กำหนดในแต่ละมาตรฐาน โดยรหัสผสมระหว่างตัวอักษรและตัวเลข (Alphanumeric) จะประกอบด้วยทั้งตัวเลขและตัวอักษร ส่วนตัวรหัสตัวเลข (Numeric) จะมีเฉพาะตัวเลขเท่านั้น ซึ่งต้องพิจารณาอย่างละเอียดว่าจะเลือกใช้รหัสแบบใด โดยให้ดูจากผู้ที่เกี่ยวข้องในระบบ

ปริมาณข้อมูล (Amount of Data) ปริมาณข้อมูลที่ต้องการใช้ทั้งในปัจจุบันและอนาคตถือว่าเป็นเรื่องสำคัญเพราะเกี่ยวกับพื้นที่ใช้ในการพิมพ์ฉลาก เช่นปัจจุบันมีรหัส 13 ตัว ถ้ามองการขยายการเก็บข้อมูลอาจจะลงทุนในระบบ EAN 128 แทนเป็นต้น เพราะพื้นที่เท่ากันแต่สามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่า

การใช้การบ่งชี้ข้อมูล (Use of a Data Identification) เป็นตัวเลขหรือเป็นค่าสตริง (String) ที่ใช้กำหนดว่าข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดถูกต้องตามที่กำหนดในแต่ละมาตรฐานหรือไม่ ส่วนมากนิยมใช้ในการแลกเปลี่ยนสารสนเทศทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Data Interchange: EDI) เช่นรหัส EAN 13 หรือ TAN ของประเทศไทย

การประมาณพื้นที่สำหรับรหัสแท่ง ต้องเข้าใจในระบบรหัสแท่ง การพิมพ์ฉลาก ขนาดข้อมูลที่มีอยู่ การพิมพ์มีความหนาแน่นสูง (High Density) เช่น ระหว่าง EAN13 และ EAN128 ในอเมริกา รหัส 2/5 จะใช้พื้นที่น้อยกว่า 3/9 เพราะส่วนมากต้องพิจารณาใช้ฉลากให้น้อยที่สุด เช่น รหัส 49 , 16K จะย่อข้อมูลโดยการพิมพ์แถวรหัสแท่งในฉลากหลายแถว แต่ต้องพิจารณาถึงข้อดีข้อเสีย ของรหัสแท่งแต่ละชนิด

2.3.2 ประเภทของบาร์โค้ด

1. โค้ดภายใน (Internal Code) เป็นบาร์โค้ดที่สร้างขึ้นใช้เองในองค์กรต่างๆ ไม่สามารถนำออกไปใช้ภายนอกได้

2. โค้ดมาตรฐานสากล (Standard Code) เป็นบาร์โค้ดที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกมี 2 ระบบ คือ

- ระบบ EAN (European Article Numbering) เริ่มใช้เมื่อปี พ.ศ. 2519 มีประเทศต่างๆ ใช้มากกว่า 90 ประเทศทั่วโลกในภาคพื้นยุโรป เอเชีย และแปซิฟิก, ออสเตรเลีย, ลาติน อเมริการวมทั้งประเทศไทย ทั้งนี้ EAN มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่กรุงบรัสเซลประเทศเบลเยียม

- ระบบ UPC (Universal Product Code) เริ่มใช้เมื่อปี พ.ศ. 2515 ซึ่งกำหนดมาตรฐานโดย Uniform Code Council, Inc ใช้แพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา

2.3.3 รหัสแท่งที่ใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.3 บาร์โค้ด UPC

1. UPC (Universal Product Code) รหัสบาร์โค้ดแบบ UPC มีหน่วยงาน Uniform Council [UCC] ที่ตั้งอยู่รัฐ OHIO ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดูแลในการจดทะเบียนบาร์โค้ดใช้ในธุรกิจค้าปลีกและขยายไปยังภาคอุตสาหกรรมการผลิต และมีผู้สนใจนำไปพัฒนาต่อในรูปของรหัส EAN ซึ่งคล้ายกับ UPC สินค้าที่ใช้รหัสภายใต้ระบบ UPC สามารถที่จะอ่านรหัสได้โดยเครื่องที่ออกแบบมาสำหรับระบบนี้โดยเฉพาะ แต่เครื่องอ่านที่ใช้อยู่ในร้านค้าขายปลีกของประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดายังไม่สามารถอ่านรหัสแท่งมาตรฐาน EAN ได้ ผู้ส่งออกสินค้าไปยังประเทศทั้งสองนี้ ในปัจจุบันจึงจำเป็นต้องใช้รหัสภายใต้ระบบ UPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 UPC- A เวอร์ชันนี้ใช้ในร้านขายของชำทั่วไป รหัสที่ใช้เป็นแบบ 10 หลัก ตัวที่ 11 บอกระเภทสินค้า ตัวที่ 12 ใช้เช็คความถูกต้องของการอ่านรหัส (check digit) โดยแบ่งครึ่งข้างละ 5 ตัว ส่วนอีก 2 ตัว สามารถวางไว้ตำแหน่งซ้าย ขวา หรือตรงกลางก็สามารถทำได้ ด้านหน้ามีตัวเลขไว้บอกระเภทสินค้า เช่น 0 สำหรับ สินค้าอุปโภคบริโภค, 3 สำหรับยา เป็นต้น ใน 1 ตำแหน่งถูกกำหนดรหัสเป็นลำดับด้วยแท่ง และช่องว่างอย่างละ 2 เส้น มีช่องว่าง 7 ชุด ตามแนวกว้าง ความกว้างของแท่งและช่องว่างอาจจะเป็น 1,2,3 หรือ 4 ชุดตามแนวกว้าง รวมแล้วมี 20 ชุด ข้างละ 10 ชุด โดยข้างซ้ายเริ่มจากช่องว่าง ข้างขวาเริ่มด้วยแท่งเสมอ แท่งตรงกลางจะยาวกว่าทุกช่อง ความสูงของแท่งอย่างน้อยต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวผลลาก

1.2 UPC-E เป็นบาร์โค้ดแบบ UPC ที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กถูกพัฒนามาจากบาร์โค้ดแบบ UPC-A โดยตัดจะเลข 0 (ศูนย์) ออกทั้งหมด บาร์โค้ด UPC-E สามารถพิมพ์ออกมาได้ขนาดเล็กมากไว้ใช้สำหรับป้ายขนาดเล็กที่ติดบนตัวสินค้า

1.3 UPC-B เป็นรุ่นที่พัฒนาเพื่อใช้กับรหัสเวชภัณฑ์ภายในประเทศและรหัสรายการเกี่ยวกับสุขภาพ (The National Code and Nation Health Related Items Code) มี 11 หลัก และตัวเลขตัวแรกแทนประเภทผลิตภัณฑ์ ไม่มีชุดเช็คดิจิต

1.4 UPC-C เป็นรุ่นที่พัฒนาเพื่อใช้กับอุตสาหกรรม มี 12 หลัก มีชุดเช็คดิจิต รวมอยู่ด้วย

1.5 UPC-D เป็นรุ่นที่พัฒนาเพื่อให้มีความยาวแปรตามข้อมูล มี 12 หลัก กับ ตัวแรก 1 หลัก เป็นประเภทผลิตภัณฑ์ ตัวที่ 12 ใช้เช็คดิจิต

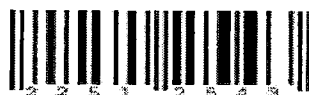
2. EAN (European Article Numbering) โครงสร้างมาตรฐาน EAN-13 จะเป็นระบบที่มีแนวโน้มของการนำมาใช้สูงกว่าแบบ EAN-8 เพราะสินค้าต่าง ๆ ที่นำมาขายภายในห้างสรรพสินค้าอาจมาจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกที่มีรหัสแท่งกำกับตัวสินค้ามาแล้วซึ่งสินค้าเหล่านั้นจะต้องมีรหัสแท่งของประเทศรวมอยู่ด้วยเป็นจำนวนรหัส 12 หลัก เนื่องจากประเทศของเรายังมีบริษัทผู้ผลิตสมัครเป็นสมาชิกEAN อยู่ไม่มากนัก เพราะยังไม่มีความมั่นใจหรือเห็นประโยชน์ของการสมัครเป็นสมาชิกของEANสินค้าต่าง ๆ ที่ผลิตในประเทศส่วนใหญ่จึงไม่มีการกำกับรหัสแท่งกับตัวสินค้าไว้ก่อนการใส่รหัสแท่งภายในห้างสรรพสินค้าปัจจุบันจึงเป็นลักษณะของการกำหนดรหัสขึ้นใช้เองซึ่งทำให้เสียเวลาสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและรหัสที่กำหนดไม่ได้มาตรฐานมีโอกาสชำรุดผิดพลาดได้ง่าย

ขณะนี้หน่วยงานที่เป็นตัวแทนของ EAN ในประเทศไทย ยังเป็นบริษัทเอกชน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตหลายแห่งเห็นว่าตัวแทนของ EAN ควรเป็นหน่วยงานของรัฐบาลเพื่อกำหนดรหัสแท่งแก่สมาชิกมากกว่าจะเป็นบริษัทเอกชน เท่าที่ผ่านมามีบริษัทตัวแทนของ EAN ในประเทศไม่มีการประชาสัมพันธ์ หรือชี้บอกข้อดีและประโยชน์ของระบบ EAN ต่อบริษัทผู้ผลิตต่าง ๆ ดีเท่าที่ควร จึงเกิดการเข้าใจผิดและไม่ยอมเข้าร่วมเป็นสมาชิกตามที่กล่าวมาแล้วถ้าบริษัทผู้ผลิตหันมาใช้ระบบ EAN กำกับรหัสแท่งกับสินค้ามาจากโรงงานอย่างเต็มที่ ห้างสรรพสินค้าจะให้บริการการซื้อขายสินค้าให้กับเราได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

รหัสแท่ง (Bar Code) นอกจากนำมาใช้กำกับสินค้าแล้ว เรายังนำมาประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆ ได้อีกมากเท่าที่พบเห็นกันมาก ๆ ได้แก่ การนำรหัสแท่งมากำกับหนังสือและบัตรสมาชิกเพื่อการยืมหนังสือในห้องสมุดการกำกับรหัสแท่งกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อการควบคุมปริมาณและคุณภาพ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบาร์โค้ดในประเทศไทยเริ่มนำมาใช้อย่างจริงจัง โดยมีสถาบันสัญลักษณ์รหัสแห่งประเทศไทย (Thai Article Numbering Council) หรือ TANC เป็นองค์กรตัวแทน EAN ภายใต้การดูแลของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ทั้งนี้ ระบบ EAN ที่ประเทศไทยใช้นั้นจะมีลักษณะเป็นเลขชุด 13 หลัก ซึ่งมีความหมายดังนี้



รูปที่ 2.4 บาร์โค้ดEAN-8

2.1 EAN-8 เป็นบาร์โค้ดแบบ EAN ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กใช้หลักการคล้ายกันกับบาร์โค้ดแบบ EAN-13 แต่จำนวนหลักน้อยกว่า คือจะมีตัวเลข 2 หรือ 3 หลัก แทนรหัสประเทศ 4 หรือ 5 หลักเป็นข้อมูลสินค้าและอีก 1 หลักสำหรับตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของบาร์โค้ด (Check Digit) แต่สามารถขยายจำนวนหลักออกไปได้อีก 2 หรือ 5 หลัก ในลักษณะของ Extension Barcode (UPC-A+2 , UPC-A+5) ซึ่งเป็นคนละลักษณะกับการใช้บาร์โค้ดแบบ UPC-E ที่จะต้องพิมพ์ออกมาในรูปแบบเต็มเหมือน UPC-A แต่ทำการตัด '0' (ศูนย์) ออก

ข้อมูลตัวเลขในสัญลักษณ์บาร์โค้ดแบบ EAN-8 จะปงซ์ถึงผู้ผลิตและผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการใช้ EAN-8 มากขึ้นในหลายประเทศจำนวนของตัวเลขที่นำมาใช้ซึ่งมีจำนวนจำกัดทำให้ไม่เพียงพอกับผู้ใช้งานมาใช้บาร์โค้ดแบบ EAN-13 แทน อุตสาหกรรมสัญลักษณ์รหัสแห่งประเทศไทยสำหรับแสดงข้อมูลสินค้า ตามแนวทางของระบบ EAN นี้สามารถแบ่งมาตรฐาน EAN ได้เป็น 2 ระบบ คือ EAN-8 และ EAN-13 ซึ่งได้กำหนดตำแหน่งหรือหลักของตัวเลขแปดและสิบสามหลักไว้ดังนี้

รหัสประเทศ (Country Code) ทางสำนักงานของ EAN ที่ประเทศเบลเยียมเป็นผู้กำหนด ขึ้น แต่ได้สำรองรหัส 20 ถึง 29 เป็นรหัสที่ใช้เฉพาะของร้านค้าเองเพื่อไม่ให้กระทบกับระบบรหัสแห่งที่กำกับในตัวสินค้าที่มาจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรงซึ่งอาจมาจากต่างประเทศ

รหัสผู้ผลิต (Manufacturer) เป็นรหัสที่แต่ละประเทศเป็นผู้กำหนด ซึ่งบริษัทผู้ผลิตต่าง ๆ จะต้องสมัครเข้าเป็นสมาชิกกับหน่วยงานที่เป็นตัวแทนของ EAN โดยเสียค่าสมาชิกแรกเข้าและค่าสมาชิกรายปี หน่วยงานตัวแทนของ EAN จะเป็นผู้ดูแลกำหนดรหัสแก่สมาชิก

รหัสตัวสุดท้ายเรียก Check digit จะใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2.2 EAN-12 เป็นรหัสที่มีชุดแห่งรหัสข้างละ 6 ชุด มีตัวเลขนำหน้า 2 ตำแหน่ง และมีตัวเลขเช็คดิจิต 1 ตัว และใช้แทนข้อมูลสินค้าได้เพียง 11 ตัว



รูปที่ 2.5 บาร์โค้ดEAN-13

2.3 EAN-13 (European Article Numbering international retail product code) เป็นแบบบาร์โค้ดที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในโลกโดยบาร์โค้ดประเภทนี้จะมีลักษณะเฉพาะของชุดตัวเลขจำนวน 13 หลักซึ่งมีความหมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3 **หลักแรก** คือ รหัสของประเทศที่กำหนดขึ้นมาเพื่อให้ผู้ผลิตได้ทำการลงทะเบียนเพื่อบอกถึงประเทศที่ทำการผลิต

- 4 **หลักถัดมา** คือ รหัสโรงงาน สำหรับบาร์โค้ดแบบ EAN-13 กับ UPC-A ที่ใช้อยู่เดิมหากผู้ผลิตต้องการส่งออกสินค้าไปยังสหรัฐอเมริกาและแคนาดาต้องใช้บาร์โค้ดทั้ง 2 แบบบนผลิตภัณฑ์

การคำนวณตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของบาร์โค้ดแบบ EAN-13 (Check digit Calculation) โดยนำตัวเลขในตำแหน่งคู่ (หลักที่ 2,4,6,8,10,12) มารวมกัน แล้วคูณด้วย 3 นำตัวเลขในตำแหน่งคี่ (หลักที่ 1,3,5,7,9,11) มารวมกันนำผลลัพธ์จากข้อ 1 และ 2 มารวมกันนำผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 3 ทำการ MOD ด้วย 10 จะได้เป็นตัวเลข (Check digit) ที่จะต้องแสดงในหลักที่ 13

2.4 ISSN (International Standard Serial Number for periodicals) เป็นมาตรฐานสากล (EAN-13) ที่ใช้ในการระบุหมายเลขชุดการออกวารสารตามช่วงเวลา โดยมีเลขนำหน้าเป็น 977

2.5 ISBN (International Standard Book Number) เป็นมาตรฐานสากล (EAN-13) ที่ใช้ในการระบุหมายเลขของหนังสือ ตำรา โดยมีเลขนำหน้าเป็น 978

2.6 ISMN (International Standard Music Number) เป็นมาตรฐานสากล (EAN-13) ที่ใช้ในการระบุหมายเลขของดนตรี โดยมีเลขนำหน้าเป็น 979

2.7 Refund receipts เป็นมาตรฐานสากล (EAN-13) ที่ใช้ในการระบุหมายเลขการคืนเงิน โดยมีเลขนำหน้าเป็น 980

2.8 Coupons เป็นมาตรฐานสากล (EAN-13) ที่ใช้แทนคูปอง โดยมีเลขนำหน้า เป็น 99

2.9 รหัสมาตรฐานของไทย (Thailand Article Numbering : TAN) ในปัจจุบันใช้รหัสมาตรฐาน (EAN-13) มี 10 ตัวเลข มีจำนวนตัวเลขนำหน้า 3 ตัวเป็นเลขธงที่แทนประเทศคือ 885 และมีตัวเลขเช็คดิจิต 1 ตัว

2.10 รหัสมาตรฐานของญี่ปุ่น (The Japanese Article Numbering: JAN) รหัสมาตรฐานญี่ปุ่นเหมือนกับ EAN-13 แต่มีตัวเลขนำหน้า (The flag characters) เป็น 49

2.11 รหัสสากลประจำประเทศ ประเทศต่าง ๆ ที่ใช้ EAN-13 เป็นมาตรฐานสากลมีตัวเลขรหัสนำหน้าเป็นไปตามตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวเลขรหัสประเทศต่าง ๆ

00-13: USA & Canada	20-29: In-Store Functions	30-37: France
40-44: Germany	45: Japan (also 49)	46: Russian Federation
471: Taiwan	474: Estonia	475: Latvia
477: Lithuania	479: Sri Lanka	480: Philippines
482: Ukraine	484: Moldova	485: Armenia
486: Georgia	487: Kazakhstan	489: Hong Kong
899: Indonesia	90 & 91: Austria	93: Australia
49: Japan (JAN-13)	50: United Kingdom	520: Greece
528: Lebanon	529: Cyprus	531: Macedonia
535: Malta	539: Ireland	54: Belgium & Luxembourg
560: Portugal	569: Iceland	57: Denmark
590: Poland	594: Romania	599: Hungary
600 & 601: South Africa	609: Mauritius	611: Morocco
613: Algeria	619: Tunisia	622: Egypt
625: Jordan	626: Iran	64: Finland
690-692: China	70: Norway	729: Israel
73: Sweden	740: Guatemala	741: El Salvador
742: Honduras	743: Nicaragua	744: Costa Rica
746: Dominican Republic	750: Mexico	759: Venezuela
76: Switzerland	770: Colombia	773: Uruguay
775: Peru	777: Bolivia	779: Argentina
780: Chile	784: Paraguay	785: Peru
786: Ecuador	789: Brazil	80 - 83: Italy
84: Spain	850: Cuba	858: Slovakia
859: Czech Republic	860: Yugoslavia	869: Turkey
87: Netherlands	880: South Korea	885: Thailand
888: Singapore	890: India	893: Vietnam
94: New Zealand	955: Malaysia	977: ISSN
978: ISBN	979: ISMN	980: Refund receipts
99: Coupons	981 & 982: Common Currency Coupons	



รูปที่ 2.6 บาร์โค้ด Interleaved 2 of 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Interleaved 2 of 5 เป็นรหัสบาร์โค้ดที่ใช้ในระบบรับ-ส่งสินค้ารหัสบาร์โค้ดแบบนี้เหมาะสำหรับพิมพ์ลงบนกระดาษลูกฟูกมักใช้ในโกดังจัดเก็บสินค้าและอุตสาหกรรมต่าง ๆ



รูปที่ 2.7 บาร์โค้ด Code 39

4. Code 39 เป็นบาร์โค้ดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในงานอุตสาหกรรมและหน่วยงานของรัฐและองค์กรเอกชน นอกจากบาร์โค้ดแบบ Code 39 นี้ เรายังรู้จักบาร์โค้ดแบบนี้ในชื่อ 3 Of 9 , USD-3 บาร์โค้ดแบบนี้เป็นรหัสที่ไม่กำหนดจำนวนหลักขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องอ่านบาร์โค้ดและไม่จำเป็นต้องมีตัวเลขในการตรวจสอบความถูกต้องของบาร์โค้ดสามารถแสดงได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษร รวมถึงอักขระพิเศษ (ASCII) มีการเพิ่มเครื่องหมาย ‘ * ’ ที่หลักแรกและหลักสุดท้ายเพื่อบอกตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุดนิยมใช้ในการทำงานเกี่ยวกับรหัสที่ต้องระบุเป็นตัวอักษร



รูปที่ 2.8 บาร์โค้ด Code 128

5. Code 128 (รหัส EAN/UCC 128) เป็นบาร์โค้ดที่สามารถกำหนดความยาวได้หลายขนาดขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของอักษรและคุณภาพการพิมพ์ ด้วยความยาวของข้อมูล ขนาดของรหัสจะแปรเปลี่ยนไปตามข้อจำกัด อันเนื่องมาจากวิธีการพิมพ์ซึ่งมีคุณภาพที่ต่างกัน รหัสถูกออกแบบมาให้อ่านได้สองทิศทาง ด้วยเครื่องอ่านที่ติดตั้งอยู่กับที่หรือชนิดพกพา รหัส EAN/UCC 128 สามารถพิมพ์ได้ในขนาดกำลังขยายระหว่าง 25-100% ควรใช้ขนาดกำลังขยาย 50% เป็นอย่างน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าการอ่านรหัสจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทุกสภาพแวดล้อมซึ่งรวมถึงการอ่านรหัสบนสายพานลำเลียงสินค้า รหัส EAN/UCC 128 เริ่มใช้ครั้งแรกในปี 1981 บาร์โค้ดนี้เป็นที่นิยมในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับทั่วโลกมีการใช้บาร์โค้ดแบบนี้มากกว่าบาร์โค้ดแบบ Code 39 สามารถแสดงได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษรแต่ข้อเสียคือไม่สามารถแสดงอักขระพิเศษได้ โดยจะเข้ารหัสระหว่าง ASCII (0-127) ตัวเลขของรหัสเริ่มต้นสามารถเลือกได้ 3 วิธี

Code A: เข้ารหัสทั้งตัวเลข และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่

Code B: เข้ารหัสทั้งตัวเลข และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ และ/หรือตัวพิมพ์เล็ก

Code C: เข้ารหัสทั้งตัวเลขโดยจับเป็นคู่ซึ่งเริ่มจาก 00 ถึง 99

ในเวอร์ชันใหม่ของรหัส 128 ที่รู้จักกันดีในชื่อ EAN-UCC128 ได้รับการส่งเสริมจากมาตรฐานขององค์กรสากล (The international Organization of Standard) และมาตรฐานยุโรป (European Standard Bureau) ซึ่งยังใช้ภาษาโรมันใน ASCII ในตำแหน่งที่ 129-255

6. บาร์โค้ด 2 มิติ (2 Dimensions Barcode) ในกรณีที่ต้องการรหัสแท่งที่มีจำนวนหลักมาก แต่พื้นที่ในการจัดวางรหัสในฉลากมีขนาดเล็ก สามารถเลือกใช้ระบบ 2D เพราะสามารถบรรจุตัวอักษรได้มากกว่าเมื่อเทียบกับชนิด 1D รหัส 2D ในปัจจุบันได้แก่



รูปที่ 2.9 บาร์โค้ดPDF417

6.1 PDF417 (Portable Data File) เป็นบาร์โค้ด 2 มิติแบบสแต็ก ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1992 โดยบริษัท Symbol Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา บาร์โค้ดแบบ PDF417 สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC 15438 และ AIM USS-PDF417 ลักษณะบาร์โค้ดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีส่วนแทนรหัสข้อมูลหรือที่เรียกว่าโมดูลข้อมูล (Data Module) เป็นแถบสีดำและสีขาวเรียงตัวกันหลายๆ แถวทางแนวตั้งและแนวนอนซึ่งประกอบด้วย 3 ถึง 90 แถว และ 1 ถึง 30 คอลัมน์สามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุดถึง 2,710 ตัวเลข 1,850 ตัวอักษร 1,018 ไบนารีค่าว่า PDF ย่อมาจาก Portable Data File และประกอบไปด้วย 4 แถบ และ 4 ช่องว่างใน 17 โมดูล จึงทำให้ได้หมายเลข 417 เครื่องอ่านบาร์โค้ดจะสามารถอ่านได้ในทิศทางเดียว เช่น อ่านจากทางซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้าย และอ่านจากบนลงล่าง หรือ ล่างขึ้นบน เป็นต้นโดยส่วนใหญ่บาร์โค้ดแบบ PDF 417 จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการความละเอียดและถูกต้องเป็นพิเศษ



รูปที่ 2.10 บาร์โค้ดData Matrix

6.2 Data Matrix บาร์โค้ด 2 มิติแบบนี้ ถูกพัฒนาโดยบริษัท RVSI Acuity Cicatrix ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC 16022 และ ANSI/AIM BC11-ISS-Data Matrix ลักษณะบาร์โค้ดมีทั้งรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับบาร์โค้ดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีโมดูลข้อมูลระหว่าง 10×10 ถึง 144×144 โมดูล และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามี 8×18 ถึง 16×48 โมดูล Data Matrix สามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุด 3,116 ตัวเลข หรือ 2,355 ตัวอักษรแต่สำหรับข้อมูลประเภทอื่นได้แก่ข้อมูลเลขฐานสองบรรจุได้ 1,556 ไบต์ (1 ไบต์ เท่ากับเลขฐานสอง 8 หลัก) และตัวอักษรภาษาญี่ปุ่นบรรจุได้ 778 ตัวอักษรรูปแบบค้นหาของบาร์โค้ดแบบ Data Matrix อยู่ที่ตำแหน่งของด้านซ้ายและด้านล่างของบาร์โค้ด บาร์โค้ด Data Matrix ส่วนใหญ่ใช้ในงานที่มีพื้นที่จำกัดและต้องการบาร์โค้ดขนาดเล็ก

2.3.4 การอ่านค่าบาร์โค้ด 1 มิติ เบื้องต้น

สำหรับการอ่านรหัสแถบจะใช้หลักการที่ว่า พื้นสว่างจะสะท้อนได้มากกว่าพื้นมืด ดังนั้นเมื่อตัวอ่านถูกกวาดไปบนรหัสแถบลำแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหัวอ่านจะสะท้อนกลับมาหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับว่าแสงได้ตกกระทบแถบขาวหรือแถบดำ แสงสะท้อนกลับเหล่านี้จะถูกตัดแปลงเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้าโดย “Photo Diode” ที่ติดอยู่ที่หัวอ่าน องค์ประกอบสำคัญของตัวอ่านรหัสแถบก็คือขนาดของลำแสงที่ส่งออกมา นั้นจะต้องสัมพันธ์กับความละเอียด (resolution) ของแถบบาร์โค้ดดังกล่าว เนื่องจากขนาดของลำแสงจะต้องไม่ใหญ่กว่าความกว้างของแถบดำหรือแถบขาวที่แคบที่สุดในทางปฏิบัติจะใช้จุดลำแสงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2 มม.

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะใช้อ่านรหัสแถบสีอะไร โดยทั่วไปเขาใช้แสงอินฟราเรด (Infrared) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.95 ไมครอน (micron) สำหรับอ่านแถบขาวดำ และใช้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 0.65 ถึง 0.7 ไมครอน สำหรับอ่านรหัสแถบสีเขียวหรือสีน้ำเงินที่พิมพ์บนพื้นสีเหลืองหรือส้ม

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการอ่านค่าบาร์โค้ดเฉพาะที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันซึ่งรายละเอียดของบาร์โค้ดแต่ละชนิดมีดังนี้

1 บาร์โค้ด EAN 13

บาร์โค้ด EAN-13 พัฒนามาจากบาร์โค้ด UPC-A ซึ่งเป็นบาร์โค้ดในมาตรฐานของ International Article Numbering Association (EAN) ในยุโรปมาตรฐานนี้มีการใช้งานส่วนใหญ่ เพราะมาตรฐานบาร์โค้ด UPC ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับการใช้งานระหว่างประเทศโดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรปเนื่องจากบาร์โค้ด EAN-13 พัฒนามาจากบาร์โค้ด UPC-A จึงทำให้ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ที่ใช้กับบาร์โค้ด EAN-13 สามารถใช้ร่วมกับบาร์โค้ด UPC-A ได้ โดยทางหน่วยงาน UCC Council ได้ประกาศให้ทุกประเทศโดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา นั้นจะต้องปรับปรุงระบบบาร์โค้ดให้สามารถจัดอ่านบาร์โค้ด EAN-13 ได้เพื่อให้ผู้ผลิตทุกประเทศไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการพิมพ์บาร์โค้ดของตน ซึ่งข้อแตกต่างระหว่าง EAN-13 และ UPC-A คือรหัสตัวเลขที่อยู่ในระบบ UPC-A คือ หลักเดียวจาก 0 ถึง 9 ในขณะที่ EAN-13 รหัสระบบหมายเลขประกอบด้วยตัวเลขสองหลัก ตั้งแต่ 00 ถึง 99 ซึ่งเป็นรหัสประเทศเป็นหลักโดยแต่ละประเทศมีอำนาจที่จะกำหนดรหัสหมายเลขผู้ผลิตให้กับบริษัท ภายในเขตอำนาจของตนรหัสของผู้ผลิตยังคงเป็นตัวเลขห้าหลักยาวตามรหัสสินค้า และหลักตรวจสอบมีการคำนวณจากตัวเลขทั้ง 12 หลักแรก



สังเกตได้ว่าข้อแตกต่างระหว่างบาร์โค้ด UPC-A และบาร์โค้ด EAN-13 จะมีเพียงการเพิ่มหลักของชุด Number System เป็น 2 หลัก ในบาร์โค้ด EAN-13 จากเดิมที่มีเพียง 1 หลักในบาร์โค้ด UPC-A โดยบาร์โค้ดชนิดนี้สามารถใช้สายตาของมนุษย์ในการตรวจสอบตัวเลขของบาร์โค้ดได้ที่บริเวณด้านล่างของบาร์โค้ด ตัวอย่างเช่นรหัสบาร์โค้ด UPC-A คือ “075678164125” ถ้าใช้บาร์โค้ด EAN-13 จะมีรูปแบบเป็น “0075678164125” ซึ่งเพิ่มเพียงจำนวนหลักของ Number System คือ ‘0’ เท่านั้น ที่หลักหน้าสุดดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบระหว่างบาร์โค้ด UPC-A และบาร์โค้ด EAN-13

ส่วนประกอบของบาร์โค้ด EAN-13 แบ่งออกเป็นสี่ส่วนคือ 1) ระบบตัวเลข (The number system), 2) รหัสผู้ผลิต (The manufacturer code), 3) รหัสสินค้า (the product code) และ 4) ตรวจสอบหลัก (the check digit) โดยปกติระบบจำนวนตัวเลขแรกจะถูกพิมพ์เพียงแค่ว่าไปทางซ้ายของบาร์โค้ด, ระบบจำนวนหลักที่สองจะพิมพ์เป็นอักษรตัวแรกของรหัสกลุ่มหกตัวเลขซ้ายมือ (หลักที่ 2-7) ซึ่งคือประกอบด้วยรหัสผู้ผลิตจำนวนห้า (หลักหลักที่ 3-7), กลุ่มหกตัวเลขด้านขวา (หลักที่ 8-12) จะประกอบด้วยรหัสสินค้าจำนวนห้าหลัก (หลักที่ 8-12) และหลักตรวจสอบที่หลักสุดท้าย (หลักที่ 13)

Number System : หมายเลขระบบประกอบด้วยตัวเลขสองหลัก (บางครั้งตัวเลขสามหลัก) โดยระบุตามประเทศผู้ผลิต (หรือเขตเศรษฐกิจ) ระบบจำนวนใด ๆ ที่เริ่มต้นด้วยเลข 0 คือบาร์โค้ด UPC-A รหัสหมายเลขระบบที่ถูกต้องจะแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงหมายเลข Number System ของแต่ละประเทศ

00-13: USA & Canada	20-29: In-Store Functions	30-37: France
40-44: Germany	45: Japan (also 49)	46: Russian Federation
471: Taiwan	474: Estonia	475: Latvia
477: Lithuania	479: Sri Lanka	480: Philippines
482: Ukraine	484: Moldova	485: Armenia
486: Georgia	487: Kazakhstan	489: Hong Kong
49: Japan (JAN-13)	50: United Kingdom	520: Greece
528: Lebanon	529: Cyprus	531: Macedonia
535: Malta	539: Ireland	54: Belgium & Luxembourg
560: Portugal	569: Iceland	57: Denmark
590: Poland	594: Romania	599: Hungary
600 & 601: South Africa	609: Mauritius	611: Morocco
613: Algeria	619: Tunisia	622: Egypt
625: Jordan	626: Iran	64: Finland
690-692: China	70: Norway	729: Israel
73: Sweden	740: Guatemala	741: El Salvador
742: Honduras	743: Nicaragua	744: Costa Rica
746: Dominican Republic	750: Mexico	759: Venezuela
76: Switzerland	770: Colombia	773: Uruguay
775: Peru	777: Bolivia	779: Argentina
786: Ecuador	789: Brazil	80 - 83: Italy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงหมายเลข Number System ของแต่ละประเทศ (ต่อ)

84: Spain	850: Cuba	858: Slovakia
859: Czech Republic	860: Yugoslavia	869: Turkey
87: Netherlands	880: South Korea	885: Thailand
888: Singapore	890: India	893: Vietnam
899: Indonesia	90 & 91: Austria	93: Australia
978: ISBN	979: ISMN	980: Refund receipts
99: Coupons	981 & 982: Common CurrencyCoupons	

Manufacturer Code : รหัสผู้ผลิต รหัสผู้ผลิตเป็นรหัสเฉพาะที่กำหนดให้กับแต่ละผู้ผลิต โดยหน่วยงานหมายเลขที่ระบุโดยรหัสในระบบจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตโดยบริษัทเดียวกันจะใช้หมายเลขรหัสผู้ผลิตเดียวกันเนื่องจากจำนวนรหัสสินค้าของแต่ละบริษัทจะมีจำนวนห้าหลักซึ่งหมายความว่าบริษัทหนึ่ง ๆ จะสามารถกำหนดหมายเลขรหัสสินค้าได้ถึง 99,999 รหัสผลิตภัณฑ์ และผู้ผลิตจำนวนมากไม่ได้ผลิตสินค้าจำนวนมากซึ่งหมายถึงจำนวนร้อยประเภททำให้เกิดการสูญเสียรหัสสินค้าที่ไม่ได้ใช้งานของผู้ผลิตที่มีเพียงไม่กี่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากผู้ผลิตรู้ตัวว่ามันจะผลิตสินค้าเพียงไม่กี่ผลิตภัณฑ์ ทาง EAN จะแก้ปัญหาโดยการกำหนดหมายเลขรหัสผู้ผลิตให้มีจำนวนหลักมากขึ้นเพื่อให้จำนวนหลักของรหัสสินค้ามีจำนวนลดลง ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้งานของผู้ผลิต

Product Code : รหัสสินค้าเป็นรหัสที่ไม่ซ้ำกันซึ่งกำหนดโดยผู้ผลิต ซึ่งแตกต่างจากรหัสผู้ผลิตซึ่งจะต้องได้รับ UCC โดยผู้ผลิตมีอิสระที่จะกำหนดรหัสสินค้าให้กับแต่ละผลิตภัณฑ์ของตนโดยไม่ปรึกษาหน่วยงานอื่นๆ โดยรหัสสินค้าจะต้องไม่ซ้ำกับรหัสผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของตัวเอง

Check Digit : หลักตรวจสอบเพิ่มเติม เป็นหลักที่ใช้ในการตรวจสอบว่าบาร์โค้ดได้รับการสแกนอย่างถูกต้องหลักตรวจสอบคำนวณจากโค้ดส่วนที่เหลือของแถบหลักโดยปกติถ้าหลักตรวจสอบเป็นค่าเดียวกับค่าของหลักตรวจสอบจากการสแกนแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการสแกนมีความเชื่อมั่นในระดับสูงที่บาร์โค้ดถูกสแกนอย่างถูกต้องหลักวิธีการคำนวณค่าตรวจสอบ Digit บาร์โค้ด EAN-13 จะมีการเข้ารหัสโดยซอฟต์แวร์ซึ่งคำนวณค่าของหลักตรวจสอบ (Check Digit) ซึ่งจะถูกผนวกเข้ากับบาร์โค้ดโดย checksum หลักจะขึ้นอยู่กับมอดุโล 10 ซึ่งการคำนวณขึ้นอยู่กับผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักในระบบจำนวนรหัสผู้ผลิตและรหัสสินค้านั้นหมายความว่าเราจะต้องคำนวณค่า Checksum สำหรับบาร์โค้ดขั้นต้นสำหรับการคำนวณตรวจสอบหลักมีดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า Weighting ของแต่ละตำแหน่งของรหัสบาร์โค้ด

Barcode												
Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Weighting	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Calculation												
Weighted Sum												

1. จากตารางข้างบนให้กรอกหมายเลขระบบ รหัสผู้ผลิต และรหัสสินค้า ตามลำดับ ซึ่งจะได้ทั้งหมด 12 หลัก (12 position) ในช่อง Barcode ตามลำดับ
2. คูณค่าในช่อง Barcode กับ ค่า Weighting ของแต่ละหลักแล้วรอกลงในช่อง Calculation
3. ทำการรวมค่าของ Calculation ในแต่ละหลักแล้วรอกลงในช่อง Weighted Sum
4. พิจารณาว่าค่า ของ Weighted Sumหารด้วย 10 ลงตัวหรือไม่ ถ้าลงตัวจะได้ค่า Checksum = 0 แต่ถ้าไม่ลงตัวให้เอาเศษที่ได้จากการหารไปลบออกจาก 10 ผลลัพธ์ที่ได้ คือค่า Weighted Sum

ตัวอย่าง รหัสบาร์โค้ดของเราคือ 885155210800 (จำนวน 12 หลัก) ต้องการหาค่า Check sum ของบาร์โค้ดนี้โดย กำหนดให้ 885 = รหัสประเทศไทย, 1552 = รหัสบริษัทของท่าน, 10800 = รหัสผลิตภัณฑ์

Barcode	8	8	5	1	5	5	2	1	0	8	0	0
Weighting	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Calculation	8	24	5	3	5	15	2	3	0	24	0	0
Weighted Sum	$8+24+5+3+5+15+2+3+0+24+0+0 = 89$											

- 1) จะได้ค่า Weighted Sum = 89 ซึ่ง 9 เหลือเศษ 10/89
- 2) นำสิบตั้ง แล้วลบด้วยเศษที่ได้จากการหาร
- 3) Check Sum คือ $10-9 = 1$
- 4) จะได้รับรหัสบาร์โค้ด EAN-13 เป็น 8851552108001



รูปที่ 2.13 บาร์โค้ด EAN-13 รหัส 8851552108001

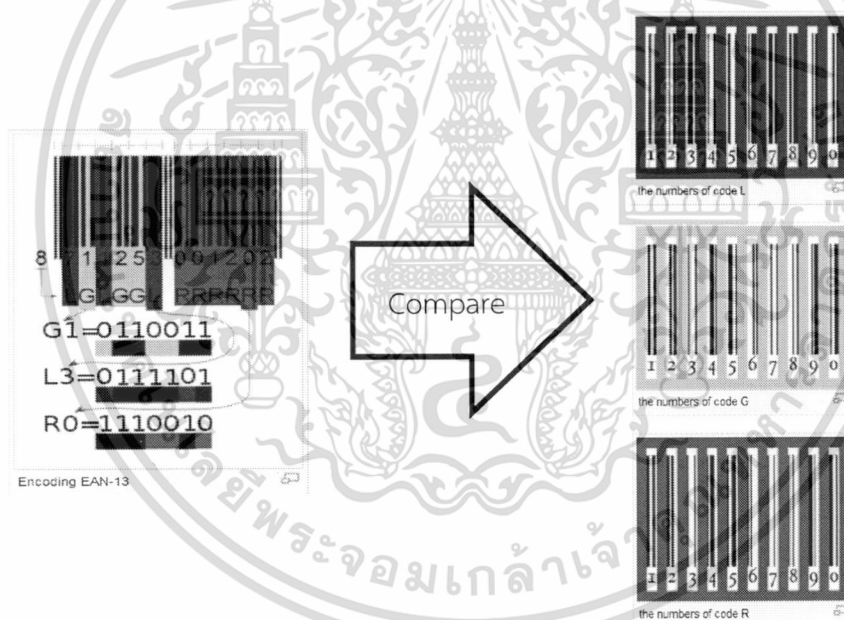
การเข้ารหัสข้อมูล EAN-13

1. ในการเข้ารหัส หมายเลข 1 หรือ 0 จะแทนค่าความกว้างเท่ากับหนึ่งเท่าของความกว้างบาร์โค้ดที่กำหนด ถ้ามีตัวเลข 11 หรือ 00 จะแทนค่าความกว้างเท่ากับสองเท่า และ 111 หรือ 000 จะแทนค่าความกว้างเป็นสามเท่า (เป็นการแทนค่าขนาดความกว้างของบาร์และช่องว่างของบาร์โค้ด ซึ่งมีความกว้างแตกต่างกันสามค่า ซึ่งแต่ละค่ามีอัตราส่วนเป็นจำนวนเท่าของบาร์และช่องว่างที่แคบที่สุด)
2. นำค่าตัวเลขหลักที่ 1 ไปเปรียบเทียบกับตาราง Structure of EAN-13 เพื่อกำหนดรูปแบบของ First group of 6 digits และ Last group of 6 digits ตามลำดับ
3. ทำการแทนค่าตัวเลขตามรูปแบบที่ได้ในตาราง Structure of EAN-13 ว่าเป็น ตัวเลขในชุดการเข้ารหัสแบบไหน เช่น ชุด L-code, G-code หรือ R-code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงการแทนค่าบาร์และช่องว่างของเลขแต่ละหลักของบาร์โค้ด EAN-13

Structure of EAN-13			Encoding of the digits			
First digit	First group of 6 digits	Last group of 6 digits	Digit	L-code	G-code	R-code
0	LLLLLL	RRRRRR	0	0001101	0100111	1110010
1	LLGLGG	RRRRRR	1	0011001	0110011	1100110
2	LLGGLG	RRRRRR	2	0010011	0011011	1101100
3	LLGGGL	RRRRRR	3	0111101	0100001	1000010
4	LGLLGG	RRRRRR	4	0100011	0011101	1011100
5	LGGLLG	RRRRRR	5	0110001	0111001	1001110
6	LGGGLL	RRRRRR	6	0101111	0000101	1010000
7	LGLGLG	RRRRRR	7	0111011	0010001	1000100
8	LGLGGL	RRRRRR	8	0110111	0001001	1001000
9	LGGLGL	RRRRRR	9	0001011	0010111	1110100



รูปที่ 2.14 การเข้ารหัสบาร์โค้ด EAN-13 ด้วยค่าบาร์โค้ด '8711253001202'

2. บาร์โค้ด Code 39

บาร์โค้ดโค้ด 39 (หรือเรียกว่า"USS Code 39", "รหัสสินค้า 3/9", "code3 of 9", "USD-3", "Alpha39", "Type39") เป็นบาร์โค้ดที่สามารถเข้ารหัสตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (A ถึง Z) เข้ารหัสตัวเลข (0 ถึง 9) และตัวอักษรพิเศษ เช่น \$ เป็นต้น ตัวบาร์โค้ดเองจะไม่มีกระบวนการตรวจสอบหลัก (Check Digit) แต่ก็สามารถได้รับการพิจารณาตรวจสอบได้จากการที่ไม่สามารถอ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง ข้อเสียของบาร์โค้ดชนิดนี้ คือ มีความหนาแน่นของข้อมูลที่ต่ำ ทำให้ตัวบาร์โค้ดเองต้องการพื้นที่มากในการเข้ารหัสข้อมูล ซึ่งในงานบางอย่างมีพื้นที่จำกัดทำให้ไม่สามารถติดบาร์โค้ด 39 ได้ แต่บาร์โค้ดชนิดนี้ยังคงใช้กันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส 39 นั้น สามารถเก็บตัวอักษรและตัวเลขโดยชุดอักขระจะมี 43 ตัวอักษร มีความหมาย: 0-9, A-Z, _ , . , \$, / , + , * , % และพื้นที่แต่ละตัวอักษรจะประกอบด้วยองค์ประกอบของบาร์โค้ด คือ มีจำนวนบาร์ห้าบาร์และจำนวนช่องว่างสี่ช่องว่างโดยทั่วไปจะทำการเพิ่มเติมเครื่องหมายดอกจัน (*) เพื่อใช้สำหรับการเริ่มต้นและหยุดของรหัส 39 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย ดร. เดวิด Allais และ Ray Stevens ของอินเตอร์แมคในปี 1974

การเข้ารหัส Code 39

บาร์โค้ดชนิดนี้จะใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) เป็นตัวกำหนดขอบเขตของจุดเริ่มต้นและหยุดของบาร์โค้ด โดยระหว่างเครื่องหมายดอกจันจะเป็ข้อมูลที่เราต้องการเก็บในรูปแบบบาร์โค้ด โดยขนาดความกว้างของแถบบาร์โค้ดบาร์สีดำ และช่องว่าง (space) ซึ่งมีอัตราส่วนความกว้างเป็นเพียงสองค่า คือ แถบแคบและแถบกว้างซึ่งมีอัตราส่วนเป็น 1:2 โดยสามารถแทนค่าความกว้างของแถบบาร์ได้ดังตาราง

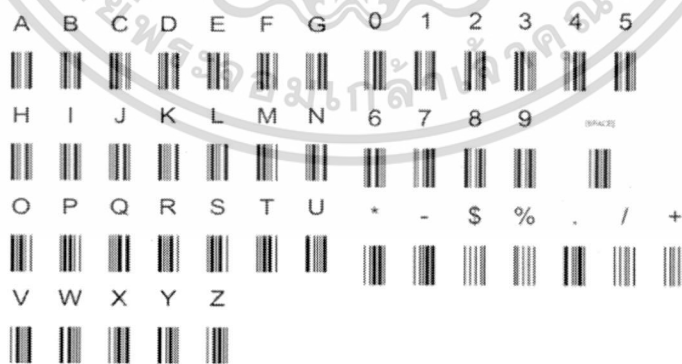
ตารางที่ 2.5 แสดงการแทนค่าความกว้างของแท่ง (Bar) และช่องว่าง (Space) ของ Code 39

Format1	Format2	Description
W	B	Wide - Black
N	b	Narrow - Black
w	W	Wide - White
n	w	Narrow - White

* (หมายเหตุ Format 1 และ Format 2 เป็นเพียงสองวิธีที่แตกต่างกันของการอธิบายการเข้ารหัสของ Code 39 ซึ่งสามารถเลือกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งในการเข้ารหัสได้)

ตารางที่ 2.6 แสดงรูปแบบการเข้ารหัส Code 39

Code Details			Code Details		
Char	Format1	Format2	Char	Format1	Format2
0	NnNwWnWnN	bwbWBwBwb	M	WnWnNnNwN	BwBwbwbWb
1	WnNwNnNnW	BwbWbwbwB	N	NnNnWnNwW	bwbwBwbWB
2	NnWwNnNnW	bwBWbwbwB	O	WnNnWnNwN	BwbwBwbWb
3	WnWwNnNnN	BwBWbwbwb	P	NnWnWnNwN	bwBwBwbWb
4	NnNwWnNnW	bwbWBwbwB	Q	NnNnNwWwW	bwbwbwBWB
5	WnNwWnNnN	BwbWBwbwb	R	WnNnNwWwN	BwbwbwBWB
6	NnWwWnNnN	bwBWbwbwb	S	NnWnNwWwN	bwBwbwBWB
7	NnNwNnWnW	bwbWbwbwB	T	NnNnWnWwN	bwbwBwbWb
8	WnNwNnWnN	BwbWbwbwB	U	WwNnNnNwN	BWbwbwbwB
9	NnWwNnWnN	bwBWbwbwB	V	NwWnNnNnW	bWBwbwbwB
A	WnNnNwNnW	BwbwbWbwb	W	WwWnNnNnN	BWBwbwbwb
B	NnWnNwNnW	bwbwbWbwb	X	NwNnWnNnW	bWbwbwbwB
C	WnWnNwNnN	BwBwbWbwb	Y	WwNnWnNnN	BWbwbwbwb
D	NnNnWwNnW	bwbwBwbwB	Z	NwWnWnNnN	bWBwbwbwb
E	WnNnWwNnN	BwbwBwbwb	-	NwNnNwWwN	bWbwbwBwB
F	NnWnWwNnN	bwBwBwbwb	.	WwNnNnWnN	BWbwbwBwb
G	NnNnNwWnW	bwbwbWbwb	(space)	NwWnNnWnN	bWBwbwbwB
H	WnNnNwWnN	BwbwbWBwb	\$	NwNwNwNnN	bWbWbWbwb
I	NnWnNwWnN	bwbwbWBwb	/	NwNwNnNwN	bWbWbwbWb
J	NnNnWwWnN	bwbwBWBwb	+	NwNnNwWwN	bWbwbWbWb
K	WnNnNnNwW	BwbwbwbWB	%	NnNwNwNwN	bwbWbWbWb
L	NnWnNnNwW	bwbwbwbWB	*	NwNnWnWnN	bWbwbWbWb



รูปที่ 2.15 แสดงการเข้ารหัสด้วยสัญลักษณ์บาร์โค้ด 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ถ้าต้องการบาร์โค้ด Code39 ประกอบด้วยตัวอักษร "A" เราจะต้องแทนค่าสัญลักษณ์บาร์โค้ด "A" ไว้ระหว่างเครื่องหมายดอกจัน (*) และคั่นแต่ละตัวอักษรด้วยช่องว่าง (w) เสมอ ซึ่งจะได้บาร์โค้ด ดังรูป

"* A*" = [bWbwBwBwb] w [BwbwbWbwB] w [bWbwBwBwb]



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างบาร์โค้ดรหัส 39 ที่เข้ารหัส "A"

2.4 ภาพเชิงดิจิตอล (Digital Image Definitions)

ภาพดิจิตอล คือฟังก์ชัน 2 มิติ หรือ $f(x,y)$ ของค่าความเข้มของแสงโดยที่ x และ y คือ ค่าที่บอกถึงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น กระบวนการแปลงภาพให้เป็นภาพในเชิงดิจิตอลเราเรียกว่า Image Digitization มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ การบันทึกภาพ (Image Acquisition), การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling) และการประมาณค่าความเข้มของแสง (Image Quantization)

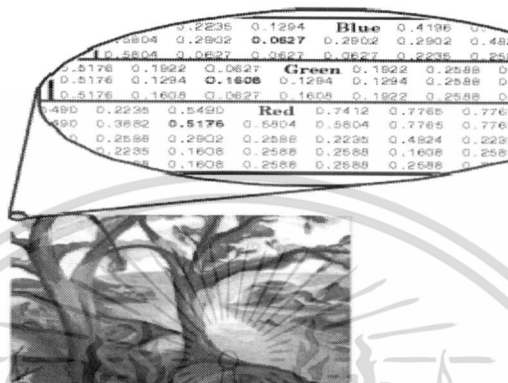


รูปที่ 2.17 ภาพในเชิงดิจิตอลเมื่อแบ่งค่าพิกเซล

ภาพเชิงดิจิตอลสามารถจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบสีที่แตกต่างกันออกไป เช่น ภาพขาวดำ, ภาพสีเทา, และภาพสีตั้งนี้

2.4.1 ภาพสี (Color Image)

ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพสีจะประกอบไปด้วยค่าเวกเตอร์ (Vector) ของค่าของแม่สี ได้แก่ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) มีขนาดเท่ากับ 8 บิต ดังนั้นภาพ RGB จำนวน 1 พิกเซลจะประกอบไปด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 24 บิตทำให้ภาพ RGB มีค่าจำนวนสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 16,777,216 สีตัวอย่างดังภาพประกอบที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงภาพ RGB และ Pixel Value ของภาพ RGB

2.4.2 ภาพสีเทา (Grey Image)

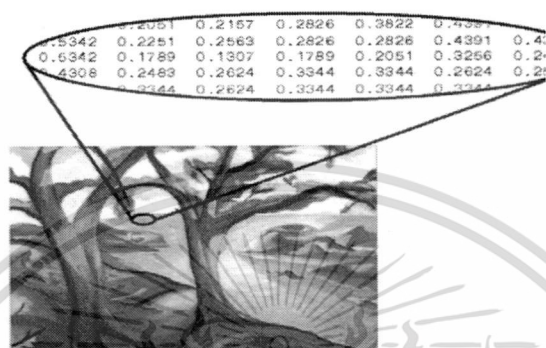
Grey Scale เป็นอัตราส่วนของโทนสีเทา ซึ่งมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ที่อยู่ระหว่างสีขาวกับสีดำ (Halftone Image) การสร้างภาพให้มีระดับสีต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องด้วยการใช้จุดสีที่มีขนาดต่างกัน หรือมีความหนาแน่นของจุดต่างกันค่าในแต่ละ pixel ของ Grey Image คือค่าความเข้มของแสง ณ แต่ละตำแหน่งของ pixel ซึ่งจะอยู่ในรูปของ Grey Scale (Grey Level) ค่าที่เป็นไปได้ของ Grey Scale จะขึ้นอยู่กับจำนวน bit ที่ใช้ ตัวอย่างเช่น 8-bit Monochrome จะมี Grey Scale ทั้งหมด 256 ระดับดังภาพประกอบที่ 2.19



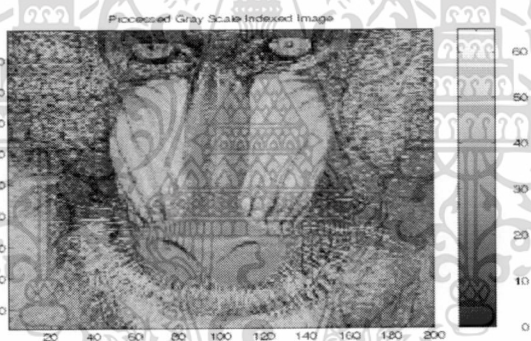
รูปที่ 2.19 แสดงค่าสีใน Grey Scale

2.4.3 ภาพโทนสีเขาดำ

ภาพประกอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสง (Intensity Image) ค่าในแต่ละพิกเซล คือ ค่าความเข้มของแสงณแต่ละตำแหน่งของพิกเซลซึ่งอยู่ในรูปแบบของระดับค่าขาวดำ (Binary) ดังภาพประกอบที่ 2.20 ค่าที่เป็นไปได้ของระดับขาวดำจะขึ้นอยู่กับจำนวน Bit ที่ใช้ ตัวอย่างเช่น 8-Bit จะมีระดับของโทนสีเขาดำทั้งหมด 256 ระดับ ดังภาพประกอบที่ 2.20 และภาพประกอบที่ 2.21



รูปที่ 2.20 ภาพประกอบที่มีโทนสีเขาดำ

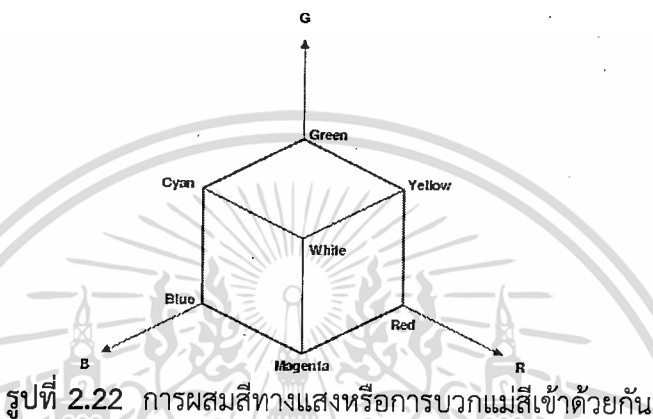


รูปที่ 2.21 ภาพโทนสีเขาดำแสดงคาร์ระดับความเข้มของแสง

จากภาพประกอบที่ 2.20 และ 2.21 พิจารณาพื้นที่บางส่วนของภาพจะได้ค่าข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ในระหว่างค่าของ 0 ถึงค่า 1 และเมื่อจากคาร์ระดับโทนสีเขาดำของภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าได้เท่ากับ 256 ค่า

2.5 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยปกติจะใช้ในจอภาพแบบ CRT และเนื่องจากระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง จึงทำให้ภาพประกอบที่ได้ ออกมานั้น มีความสมจริงและยังดูสวยงาม โมเดลสี หรือ Color Space ประกอบด้วยแม่สีหลัก 3 สี ได้แก่ สีแดง(R) สีเขียว(G) และสีน้ำเงิน(B)โดยทฤษฎีการแทนสีของ Young สามารถแทนด้วยแบบจำลองลูกบาศก์ RGB ดังภาพประกอบที่ 2.22 โดยที่จุดยอดของลูกบาศก์คือแม่สี (Red Green and Blue) และสีของแสงขั้นที่สอง(Secondary: Cyan, Margenta and Yellow)



2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการมองเห็น ซึ่งการมองเห็นของมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญและมีกลไกที่ซับซ้อนอย่างหนึ่ง ซึ่งภาพประกอบที่มองเห็นนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับองค์กรที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เช่น สถานีโทรทัศน์ หนังสือพิมพ์ต่างๆ เป็นสื่อสำหรับการนำเสนอข้อมูลข่าวสารที่น่าสนใจเกี่ยวกับการมองเห็น

ดังนั้นการประมวลผลภาพจึงเปรียบเสมือนเป็นเครื่องมือการจัดการสารสนเทศของภาพและการวิเคราะห์สารสนเทศของภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและวิธีการประมวลผลขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ของภาพประกอบที่ต้องการ เช่นการแปลงภาพ(Image Transformation) การนิยามภาพ (Image Description)การกรองภาพ(Image Filters)การคืนคืนภาพ(Image Restoration)การปรับปรุงคุณภาพของภาพ(Image Enhancement)การแบ่งภาพและการหาขอบวัตถุในภาพ(Image Segmentation and Edge Detection)และการบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression)

2.7 การแปลงภาพ

การแปลงภาพเป็นขั้นตอนที่ใช้แปลงจากภาพสีให้เป็นภาพขาวดำหรือการแปลงภาพสีเป็นภาพสีเทา โดยทำการแยกระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกัน ในรูปแบบภาพสีจากนั้นนำค่าจากภาพสีมาเข้าสู่สมการเพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนในจุดพิกเซลเดิม

2.7.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพสีเทา

นำค่าพิกเซลของสี RGB แต่ละสีมาแยกออกจากกันจากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการเพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$G' = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (2.1)$$

หรือ

$$G' = \frac{R+G+B}{3} \quad (2.2)$$

โดยกำหนดให้

G'	คือค่าระดับสีเทา
R	คือค่าระดับสีแดง
G	คือค่าระดับสีเขียว
B	คือค่าระดับสีน้ำเงิน

2.7.2 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพขาวดำ

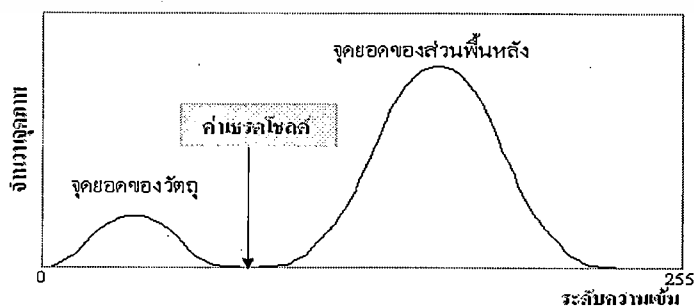
ทำให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้โดยอาศัยวิธีการทำธรดโซลด์ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการแปลง RGB Image ให้อยู่ในรูปแบบของ Binary Image ทำให้สามารถจำแนกวัตถุและพื้นหลังออกจากกันได้ซึ่งหากดูจากฮิสโตแกรมที่แสดงระดับความเข้มของภาพ $f(i,j)$ นั้น จะเห็นว่าส่วนที่เป็นวัตถุจะมีค่าความเข้มมากกว่าส่วนที่เป็นพื้นหลังดังภาพประกอบที่ 2.23 จะทำให้สามารถแยกกลุ่มของวัตถุและพื้นหลังออกจากกันอย่างชัดเจนและเลือกค่าธรดโซลด์ที่มีระดับความเข้มอยู่ระหว่างกลุ่มทั้งสองของฮิสโตแกรมได้

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละจุดภาพหากค่า $f(i,j)$ น้อยกว่าค่าธรดโซลด์จุดภาพนั้นจะถูกปรับให้เป็นสีดำหรือส่วนของวัตถุ และหากค่า $f(i,j)$ มากกว่าหรือเท่ากับค่าธรดโซลด์จุดภาพนั้นจะถูกปรับให้เป็นสีขาวหรือส่วนของพื้นหลังซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$f_{thr}(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_r(i,j) < T \\ 0 & \text{if } f_r(i,j) \geq T \end{cases} \quad (2.3)$$

โดยกำหนดให้

- 1 คือ สีดำ ซึ่งเป็นส่วนของวัตถุ
- 0 คือ สีขาว ซึ่งเป็นส่วนของพื้นหลัง



รูปที่ 2.23 ฮิสโตแกรมแสดงค่าธรดโซลด์

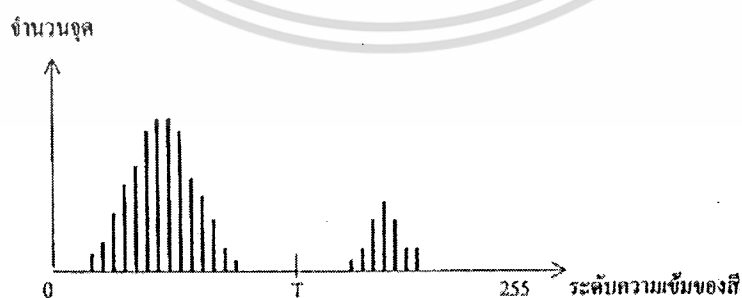
2.7.2.1 ฮิสโทแกรม (Histogram) คือ มาตรการที่ใช้ในการบอกการกระจายของค่าระดับเทาในภาพทั้งภาพ

2.7.2.2 เธรดโซลด์ (Thresholding Technique) คือ การพิจารณาจุด Pixel ในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาวหรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยเปรียบเทียบกับค่าของแต่ละ pixel ($f(x,y)$) กับค่าคงที่ที่เรียกว่า เธรดโซลด์ (Threshold Value) เทคนิคนี้นิยมใช้กันมากในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ค่า pixel ในภาพประกอบที่มีค่าน้อยกว่าค่าเธรดโซลด์จะถูกกำหนดเป็น 0 (จุดดำ) และถ้าค่าของ pixel ใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเธรดโซลด์จะถูกกำหนดให้เป็น 1 (จุดขาว)

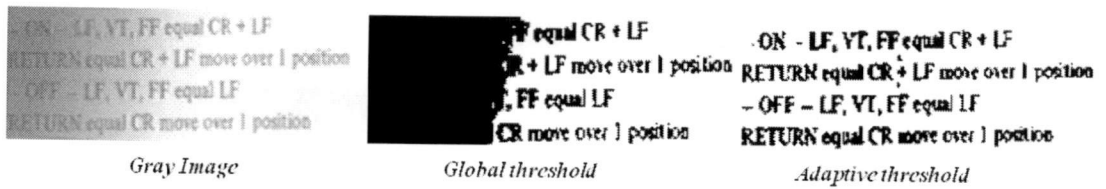
ในการทำภาพขาวดำโดยวิธีเธรดโซลด์ให้ได้ภาพที่ดีและคมชัดต้องเกิดจากการเลือกค่าเธรดโซลด์ที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกเธรดโซลด์ไม่เหมาะสม เช่น ค่าเธรดโซลด์ที่มากหรือน้อยจนเกินไปจะทำให้ภาพประกอบที่ได้ขาดความคมชัดหรืออาจทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไปหรือภาพที่ได้อาจจะมืดเกินไปหรือสว่างเกินไปหรืออาจจะเป็นภาพประกอบที่มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้น ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจน ซึ่งวิธีการหาค่าเธรดโซลด์สามารถหาได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

1. Global Threshold เป็นการหาค่าเธรดโซลด์ค่าเดียวรวมกันทั้งภาพโดยใช้ Histogram ในการหาเธรดโซลด์ได้จากค่าที่น้อยที่สุดที่อยู่ระหว่างยอดทั้งสอง มีหลักการในการแบ่ง คือ ค่าที่อยู่ทางซ้ายของค่าเธรดโซลด์จะเป็นสีดำ ส่วนค่าที่อยู่ทางขวามือของเธรดโซลด์เป็นสีขาว

2. Adaptive Threshold การหาค่าเธรดโซลด์ด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น จึงหาค่าเธรดโซลด์หลายค่าเพราะแต่ละบริเวณจะใช้ค่าเธรดโซลด์ไม่เท่ากัน วิธีการหาค่าเธรดโซลด์ทำได้โดยการสร้าง window ขึ้นมาขนาด $N \times N$ โดยที่ N นั้นควรเป็นเลขคี่ จากนั้น นำ window นี้ไปวางไว้ที่บริเวณหนึ่งของภาพแล้วนำค่า Gray Level ของทุกพิกเซลที่อยู่ในขอบเขตของ window มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนช่องทั้งหมดของ window จะได้ค่า เธรดโซลด์ที่อยู่ภายใน window นั้น จากนั้นทำการหาค่าเธรดโซลด์เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกัน จนกระทั่งได้มีการกำหนดค่าเธรดโซลด์ครบในทุก ๆ พิกเซล ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่าเธรดโซลด์ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้เป็นสีขาว แต่ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นน้อยกว่าเธรดโซลด์ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้เป็นสีดำ ทำเช่นนั้นจนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพขาวดำ



รูปที่ 2.23 Histogram แสดงค่าเธรดโซลด์



รูปที่ 2.24 ขั้นตอนการแปลงให้เป็นภาพขาวดำ โดยใช้เรดโซลต์แบบต่าง ๆ

2.8 การหาขอบภาพ (Edge detection)

การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุ เราจะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรูปร่าง ชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตาม การหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เป็นเรื่องที่ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำที่มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอภาพขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความแตกต่างมากขอบภาพก็จะเห็นได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อยขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน

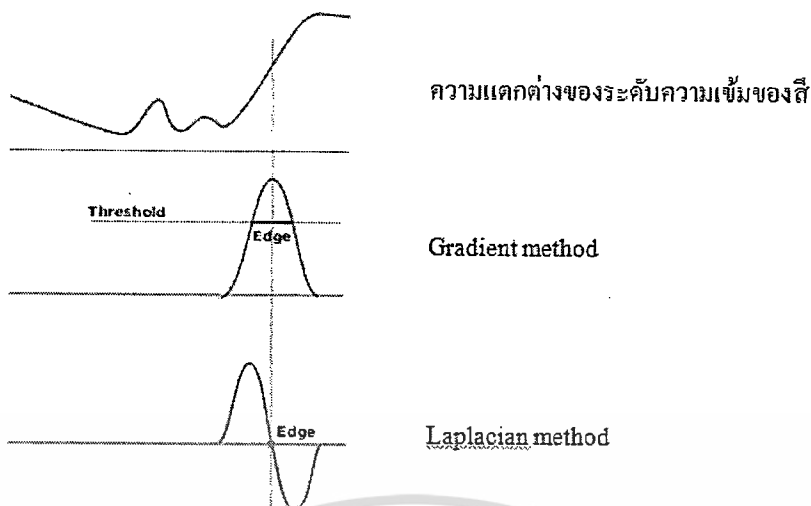
การหาขอบภาพคือการตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ Gradient method และ Laplacian method โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 Gradient method

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่าเรดโซลต์จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny

2.8.2 Laplacian method

วิธีนี้จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zero crossing) ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงการหาขอบด้วยวิธี Gradient method และ Laplacian method ของกราฟ ความแตกต่างของระดับความเข้มของสี

2.9 มอร์โฟโลยี (Morphology)

มอร์โฟโลยีจัดเป็นคณิตศาสตร์แขนงหนึ่งที่อยู่ในพวกของพีชคณิต ที่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากตัวดำเนินการของมันสามารถสร้างขึ้นมาให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานและสามารถจำแนกวัตถุที่มีรูปร่างต่างกันในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ที่ริเริ่มนำทฤษฎีนี้มาใช้ คือ Hadwiger โดยในช่วงแรก ๆ จะใช้ประมวลผลกับเซตที่มีค่าเป็นจริงกับเท็จ ซึ่งต่อมาได้มีผู้พัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลภาพไบนารีและได้พัฒนาเรื่อยมาจนสามารถนำมาใช้กับภาพสีเทา

ตัวที่ถูกดำเนินการ (Operand) โดยมอร์โฟโลยีจะมีสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่เป็นข้อมูลภาพที่จะถูกประมวลผล สำหรับภาพไบนารีจะแทนด้วยเซต F และ SE ซึ่งแทนด้วยเซต K ที่มีรูปร่างเฉพาะซึ่งเหมือนกับตัวแปรที่จะนำไปดำเนินการกับภาพ ตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยีมีอยู่สองตัว คือ Dilation กับ Erosion โดยตัวดำเนินการ Dilation ของภาพไบนารี F ด้วย K ที่เป็นไบนารีเช่นกัน จะแทนด้วย $F \oplus K$ ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.5)

$$F \oplus K = \{f + k \mid \exists k \in K \wedge f \in F\} = \bigcup_{f \in F} K_f \oplus \quad (2.5)$$

$$F \ominus K = \{x + k \mid x + k \in F \forall k \in K\} = \bigcap_{k \in K} F_{-k} \quad (2.6)$$

ในสมการที่ (2.6) เป็นตัวดำเนินการ Erosion ของภาพไบนารี F ด้วย K ซึ่งเขียนแทนด้วย $F \ominus K$ ที่ x เป็นสมาชิกทั้งหมดที่ซึ่ง $x + k \in F$ โดยที่ $\forall k \in K$ ผลจากตัวดำเนินการ Dilation และ Erosion เมื่อนำมารวมกับ SE อีกครั้งหนึ่งทำให้เกิดตัวดำเนินการใหม่อีกสองตัว คือ Opening ซึ่งแทนด้วย $F \circ K$ และ Closing แทนด้วย $F \bullet K$ โดยตัวดำเนินการทั้งสองแสดงไว้ในสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ

$$F \circ K = (F \ominus K) \oplus K \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F \bullet K = (F \oplus K) \ominus K \quad (2.8)$$

หากทำ Erosion และทำต่อด้วย Dilatation จะเรียกว่า Opening คือ ทำการให้วัตถุที่เล็กนั้น ถูกกำจัดออกไปโดยจะแยกวัตถุที่เชื่อมต่อกันด้วยเส้นออกจากกันทำให้ขอบเรียบขึ้น จากนั้นทำให้วัตถุ มีขนาดใหญ่ขึ้น ผลลัพธ์จะได้วัตถุที่มีขนาดเท่าเดิม

หากทำ Dilatation และทำต่อด้วย Erosion จะเรียกว่า Closing รูเล็ก ๆ ต่าง ๆ ที่อยู่บนวัตถุ นั้น จะถูกเติมเต็มทั้งหมดทำให้วัตถุที่อยู่ใกล้กันมากจะถูกเชื่อมต่อกัน จากนั้นทำให้วัตถุเรียบขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้วัตถุจะมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อนำมอร์โฟโลยีมาใช้กับภาพเกรย์สเกล ลักษณะการดำเนินการก็จะต่างกันออกไป คือจาก เซ็ต F ที่ใช้แทนภาพไบนารีก็เปลี่ยนมาเป็นฟังก์ชัน $f(x, y)$ ที่แทนภาพเกรย์สเกล และ SE ของเซต K ก็แทนด้วยฟังก์ชัน $k(x, y)$ และที่สำคัญคือ ตัวดำเนินการยูเนียนใน Dilatation ก็ถูกแทนด้วยฟังก์ชันหาค่าสูงสุด $\text{Max}()$; ส่วนตัวดำเนินการอินเตอร์เซกชันใน Erosion ก็แทนด้วยฟังก์ชันหาค่าต่ำสุด $\text{Min}()$; ดังนั้น ตัวดำเนินการทั้งสองตัวที่ใช้กับภาพไบนารี สามารถกำหนดให้เหมาะกับการประมวลผลภาพ เกรย์สเกลดังแสดงไว้ในสมการที่ (2.9)

$$(f \oplus k)(x, y) = \text{Max}(f(x - i, y - j) + k(i, j) | (i, j) \in K, (x - i, y - j) \in F) \quad (2.9)$$

$$(f \ominus k)(x, y) = \text{Min}(f(x + i, y + j) - k(i, j) | (i, j) \in K) \quad (2.10)$$

$$(f \circ k)(x, y) = (f \ominus k)(x, y) \oplus k(x, y) \quad (2.11)$$

$$(f \bullet k)(x, y) = (f \oplus k)(x, y) \ominus k(x, y) \quad (2.12)$$

2.10 การแปลงฟูรีเยร์ของภาพดิจิทัล

การแปลงฟูรีเยร์ของภาพเป็นส่วนหนึ่งของการแปลงภาพ (Image transform) การแปลงภาพได้มีบทบาทสำคัญในด้านการประมวลผลภาพมาช้านาน ทฤษฎีของการแปลงภาพได้ถูกนำมาใช้ในด้านการปรับปรุงภาพ (Image enhancement) การฟื้นฟูภาพ (Image restoration) และการบีบอัดภาพ (Image compression) ในบทนี้จะกล่าวถึงการแปลงฟูรีเยร์ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหาการประมวลผลภาพดิจิทัล

2.10.1 การแปลงฟูรีเยร์

ถ้า $f(x)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของตัวแปรจำนวนจริง x ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระยะทางหรือเวลา การแปลงฟูรีเยร์ของ $f(x)$ แทนด้วย $F[f(x)]$ และมีคำจำกัดความดังนี้

$$F[f(x)] = F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-j2\pi ux] dx \quad (2.13)$$

โดยที่ $j = \sqrt{-1}$

การแปลงฟูเรียร์ย้อนกลับของ $F(u)$ แทนด้วย $F^{-1}[F(u)]$ และมีคำจำกัดความดังนี้

$$F^{-1}[F(u)] = f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp[j2\pi ux] du \quad (2.14)$$

สมการ (2.13) และ (2.14) ถูกเรียกว่าเป็นคู่ของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform Pair) และสามารถหาค่าได้เมื่อ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและสามารถอินทิเกรตได้แบบแอ็บโซลูท (Absolutely Integrable) และ $F(u)$ สามารถอินทิเกรตได้

ในส่วนี้เราถือว่า $f(x)$ เป็นเลขจำนวนจริงและ x เป็นตัวแปรของระยะทาง (Space) การแปลงฟูเรียร์ของเลขจำนวนจริงได้เป็นจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) นั่นคือ

$$F(u) = R(u) + jI(u) \quad (2.15)$$

โดยที่ $R(u)$ และ $I(u)$ คือ องค์ประกอบจำนวนจริง (Real Component) และจำนวนจินตภาพ (Imaginary Component) ของ $F(u)$ ตามลำดับ บ่อยครั้งที่เรามักเขียน (2.15) ในรูปของเอ็กซ์โปเนนเชียลดังนี้

$$F(u) = |F(u)|e^{j\theta(u)} \quad (2.16)$$

โดยที่

$$|F(u)| = [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \quad (2.17)$$

และ

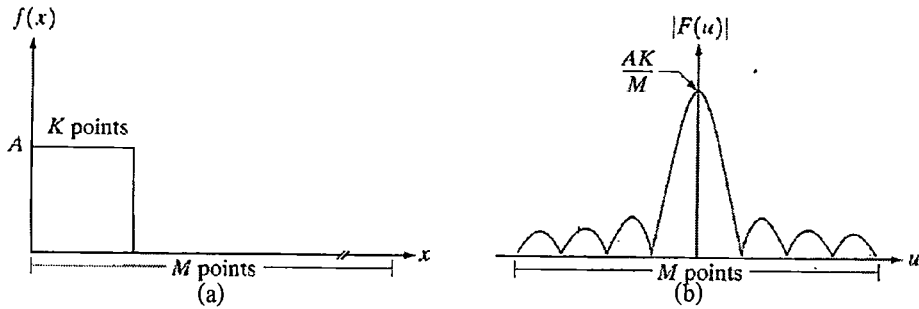
$$\theta(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \quad (2.18)$$

ฟังก์ชันแมกนิจูด (Magnitude Function) $|F(u)|$ ถูกเรียกว่าสเปกตรัมฟูเรียร์ของ $f(x)$ และ $\theta(u)$ ถูกเรียกว่ามุมเฟส (Phase Angle) ค่ายกกำลังสองของสเปกตรัม

$$\begin{aligned} P(u) &= |F(u)|^2 \\ &= R^2(u) + I^2(u) \end{aligned} \quad (2.19)$$

รู้จักในชื่อสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum) ของ $f(x)$ ตัวแปร u ที่ปรากฏอยู่ในการแปลงฟูเรียร์ถูกเรียกว่าตัวแปรความถี่ (Frequency Variable) ชื่อนี้ได้มาจากการเขียนเอ็กซ์โปเนนเชียลในรูปสมการ

$$\exp(-j2\pi ux) = \cos 2\pi ux - j \sin 2\pi ux \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.26 ฟังก์ชันและการแปลงฟูรีเยร์ของฟังก์ชัน

ดังนั้น สมการ (2.13) อาจมองในแง่ที่ว่า $F(u)$ ประกอบด้วยผลรวมจำนวนอนันต์ (Infinite Sum) ของเทอมไซน์และโคไซน์ และค่า u แต่ละค่าเป็นตัวกำหนดความถี่ของเทอมไซน์และโคไซน์

ตัวอย่าง พิจารณาฟังก์ชันในรูปที่ 2.26 (a) การแปลงฟูรีเยร์ คือ

$$\begin{aligned} F(u) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-j2\pi ux] dx \\ &= \int_0^M A \exp[-j2\pi ux] dx \\ &= \frac{-A}{j2\pi u} [e^{-j2\pi ux}]_0^M = \frac{-A}{j2\pi u} [e^{-j2\pi uM} - 1] \\ &= \frac{A}{j2\pi u} [e^{j\pi uM} - e^{-j\pi uM}] e^{-j\pi uM} \\ &= \frac{A}{\pi u} \sin(\pi uM) e^{-j\pi uM} \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อน สเปกตรัมฟูรีเยร์ (แสดงในรูปที่ 2.26(b)) คือ

$$\begin{aligned} |F(u)| &= \left| \frac{A}{\pi u} \right| |\sin(\pi uM)| |e^{-j\pi uM}| \\ &= A \left| \frac{\sin(\pi uM)}{\pi u} \right| \end{aligned}$$

2.10.2 การแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติ

การแปลงฟูรีเยร์สามารถนำไปใช้กับฟังก์ชัน 2 มิติได้ ถ้า $f(x,y)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและสามารถอินทิเกรตได้แบบเอ็บบ์โซลูท และ $F(u,v)$ สามารถอินทิเกรตได้ ดังนั้นการแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติและการแปลงฟูรีเยร์ 2 มิตย้อนกลับ คือ

$$F[f(x,y)] = F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j2\pi(ux+vy)] dx dy \quad (2.21)$$

และ

$$F^{-1}[F(u,v)] = f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) \exp[j2\pi(ux+vy)] du dv \quad (2.22)$$

โดยที่ u และ v เป็นตัวแปรความถี่ เช่นเดียวกับกรณี 1 มิติ สเปกตรัมฟูรีเยร์ สเปกตรัมของเฟส และสเปกตรัมของกำลัง คือ

$$[F(u, v)] = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{\frac{1}{2}} \tag{2.23}$$

$$(u, v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \tag{2.24}$$

และ

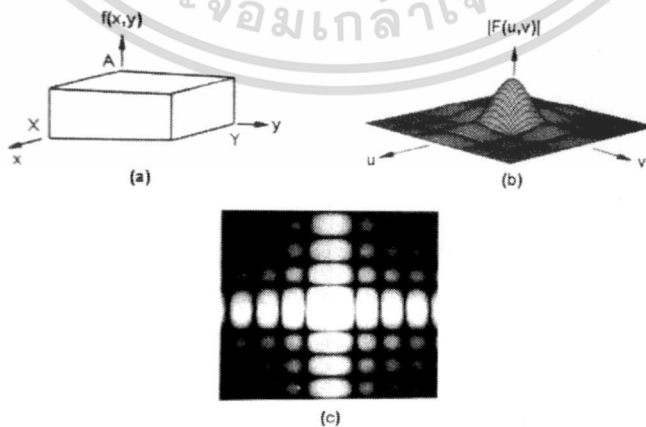
$$P(u, v) = [F(u, v)]^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v) \tag{2.25}$$

ตัวอย่าง การแปลงฟูรีเยร์ของฟังก์ชันแสดงในรูปที่ 2.27(a) คือ

$$\begin{aligned} F(u, v) &= \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \\ &= A \int_0^x \exp[-j2\pi ux] dx \int_0^y \exp[-j2\pi vy] dy \\ &= A \left[\frac{e^{-j2\pi ux}}{-j2\pi u} \right]_0^x \left[\frac{e^{-j2\pi vy}}{-j2\pi v} \right]_0^y \\ &= \frac{A}{-j2\pi u} [e^{-j2\pi ux} - 1] - \frac{A}{-j2\pi v} [e^{-j2\pi vy} - 1] \\ &= AXY \left[\frac{\sin(\pi ux) e^{-j2\pi ux}}{\pi ux} \right] \left[\frac{\sin(\pi vy) e^{-j2\pi vy}}{\pi vy} \right] \end{aligned}$$

สเปกตรัม คือ

$$|F(u, v)| = AXY \left| \frac{\sin(\pi ux)}{\pi ux} \right| \left| \frac{\sin(\pi vy)}{\pi vy} \right|$$



รูปที่ 2.27 การแปลงฟูรีเยร์ของฟังก์ชัน 2 มิติ
 (a) ฟังก์ชัน 2 มิติ; (b) และ (c) สเปกตรัมเป็นฟังก์ชันกับความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.27 (b) แสดงพล็อตของฟังก์ชัน รูปที่ 2.27 (c) แสดงสเปกตรัมเป็นฟังก์ชันกับความเข้มความสว่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดของ $|F(u,v)|$

2.10.3 การคอนโวลูชัน (Convolution)

วิธีการคอนโวลูชันโดยปกติแล้วจะเป็นวิธีการประมวลผลเชิงกลุ่ม ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกำจัดสัญญาณรบกวน การคอนโวลูชันของสัญญาณต่อเนื่องในแกนก่อนเวลา โดย $f_1(x)$ และ $f_2(x)$ เป็นฟังก์ชันสองฟังก์ชัน การคอนโวลูชันของ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$ ถูกนิยามว่าเป็นฟังก์ชัน

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t)f_2(x-t)dt \quad (2.26)$$

ซึ่งมักจะใช้สัญลักษณ์

$$f(x) = f_1(x) * f_2(x) \quad (2.27)$$

กรณีพิเศษเมื่อ

$$f_1(0) = 0, t < 0 \quad \text{และ} \quad f_2(0), t < 0$$

กรณีนี้ (2.26) จะกลายเป็น

$$f(x) = f_1(x) * f_2(x) = \int_0^x f_1(t)f_2(x-t)dt \quad (2.28)$$

ตัวอย่าง จากรูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการคอนโวลูชันระหว่าง $f(x)$ และ $g(x)$ ที่แสดงในรูปที่ 2.28 (a) และรูปที่ 2.28 (b) ตามลำดับ ก่อนทำการอินทิเกรชัน เราต้องทำการสร้าง $g(x-\alpha)$ ซึ่งทำได้ใน 2 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (c) และรูปที่ 2.28 (d) โดยรูปที่ 2.28 (c) เป็นการพับ (Folding) ฟังก์ชันรอบแกน y รูปที่ 2.28 (d) เป็นการเลื่อนฟังก์ชันที่พับด้วยระยะทาง x ลักษณะของการเลื่อนคือ ถ้า x มากกว่าศูนย์ทำการเลื่อนไปทางขวา ในทางกลับกันถ้า x น้อยกว่าศูนย์ทำการเลื่อนไปทางซ้าย จากนั้น สำหรับแต่ละค่าของ x ทำการคูณ $f(\alpha)$ ด้วย $g(x-\alpha)$ แล้วทำการอินทิเกรชัน ผลคูณจาก $-\infty$ ถึง ∞ ผลคูณ $f(\alpha)g(x-\alpha)$ มีค่าที่สามารถอินทิเกรชันได้ในช่วงต่าง ๆ ดังนี้

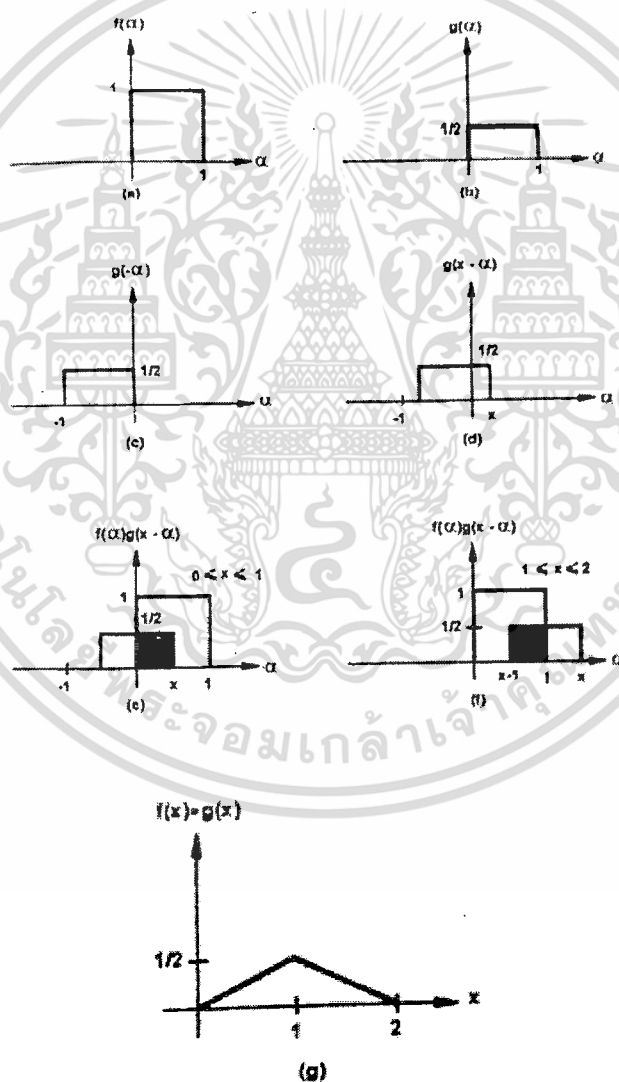
1. $0 \leq x \leq 1$ (รูปที่ 2.28(e)) ผลลัพธ์ของคอนโวลูชัน คือ

$$\begin{aligned} \int_0^x f(\alpha)g(x-\alpha)d\alpha &= \int_0^x 1 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) d\alpha \\ &= \frac{\alpha}{2} \Big|_0^x = \frac{x}{2} \end{aligned}$$

2. $1 \leq x \leq 2$ (รูปที่ 2.28(e)) ผลลัพธ์ของคอนโวลูชัน คือ

$$\begin{aligned} \int_{x-1}^1 f(\alpha)g(x-\alpha)d\alpha &= \int_{x-1}^{1x} 1 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) d\alpha \\ &= \frac{\alpha}{2} \Big|_{x-1}^1 \\ &= \frac{1}{2} - \frac{x-1}{2} \\ &= 1 - \frac{x}{2} \end{aligned}$$

ผลลัพธ์สุดท้ายของการอินทิเกรชันแสดงในรูปที่ 2.28(g)



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการคอนโวลูชัน พื้นที่สีดำ คือ กรณีสี่ผลคูณไม่เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การคอนโวลูชัน (Convolution) สองมิติ

ในทำนองเดียวกัน เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสัญญาณสองมิติโดยให้สัญญาณอินพุตเป็น $r(\lambda, \eta)$ ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ $h(\lambda, \eta)$ จะให้สัญญาณเอาต์พุต คือ $g(\lambda, \eta)$

$$g(\lambda, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega, \Omega) h(\lambda - \omega, \eta - \Omega) d\omega d\Omega \quad (2.29)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อข้อมูลภาพมีลักษณะเป็นดิจิทัล และให้ i กับ j เป็นค่าเต็มหน่วย (Discrete) ของ ω กับ Ω ในทำนองเดียวกัน x กับ y เป็นค่าเต็มหน่วยของ λ กับ η สมการที่ (2.29) เขียนใหม่ได้เป็น

$$g(x, y) = \sum_i \sum_j f(i, j) h(x - i, y - j) \quad (2.30)$$

จากสมการที่ (2.30) เป็นการทำการคอนโวลูชันแบบดิจิทัล โดยจะให้ผลรวมครอบคลุมพื้นที่ของตัวแปร i และ j ในที่นี้ $f(x, y)$ เป็นภาพต้นฉบับ ขณะที่ $h(x, y)$ เป็นฟังก์ชันระบบ (System function) ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า เทมเพลต (Template) โดยทั่วไปแล้วขนาดของเทมเพลตจะเล็กกว่าขนาดของภาพต้นฉบับ และมักมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3×3 หรือ 5×5 จุดภาพ เป็นต้น

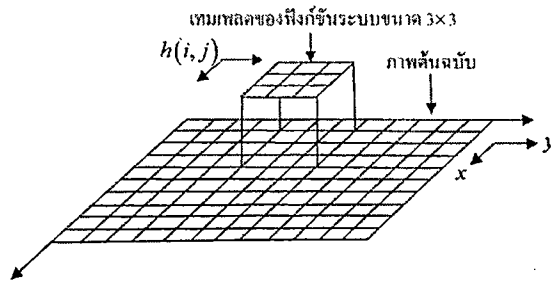
จากคุณสมบัติคอมมิวเตทีฟ (Commutative) ของการคำนวณค่าคอนโวลูชัน (Convolution) สมการที่ (2.30) เขียนใหม่ได้เป็น

$$g(x, y) = \sum_i \sum_j f(x - i, y - j) h(i, j) \quad (2.31)$$

ดังนั้น ถ้าเทมเพลต $h(i, j)$ มีขนาด 5×5 จุดศูนย์กลางของเทมเพลตอยู่ที่ $h(0, 0)$ สมการที่ (2.30) จะเขียนเป็น

$$g(x, y) = \sum_{i=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 f(x - i, y - j) h(i, j) \quad (2.32)$$

การคำนวณค่าคอนโวลูชันของภาพผลลัพธ์ g ที่พิกัด (x, y) เกิดจากการนำเทมเพลตวางทับบนภาพต้นฉบับ โดยให้จุดศูนย์กลางของเทมเพลต $h(0, 0)$ ซ้อนทับกับจุดภาพในภาพต้นฉบับที่พิกัด (x, y) จากนั้นทำการคูณค่าเทมเพลตกับจุดภาพในภาพต้นฉบับแบบจุดต่อจุดก่อนที่จะนำมาบวกกันเป็นค่าผลลัพธ์ของการทำคอนโวลูชัน $g(x, y)$ แต่เนื่องจากการประมวลผลต้องทำตลอดทั้งภาพ ดังนั้นจุดพิกัด (x, y) จะต้องแปรไปตามแนวนอนและแนวตั้งของภาพต้นฉบับ ลักษณะการทำคอนโวลูชันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.29 แสดงการคำนวณหาค่าคอนโวลูชัน

ตัวอย่างของเทมเพลตที่ใช้ในการปรับปรุงภาพขนาด คือ

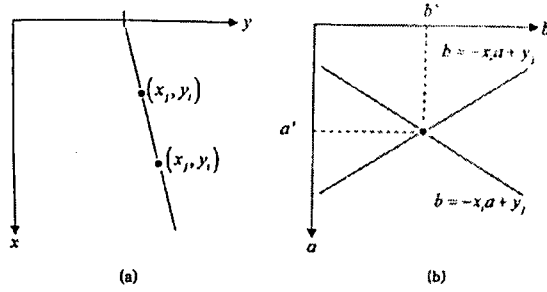
$$h(i,j) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \\ -\frac{1}{9} & \frac{17}{9} & -\frac{1}{9} \\ -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

เทมเพลตในสมการที่ (2.33) จะถูกนำไปคำนวณหาภาพผลลัพธ์ $g(x,y)$ ที่มีการเน้นข้อมูลขอบภาพจากการใช้สมการที่ (2.31) ในการประมวลผลข้อมูลภาพเชิงตัวเลขยังมีการนำเทมเพลตลักษณะอื่น ๆ และขนาดต่าง ๆ มาใช้งาน โดยอาศัยการทำคอนโวลูชันจากสมการที่ (2.31) เป็นหลัก

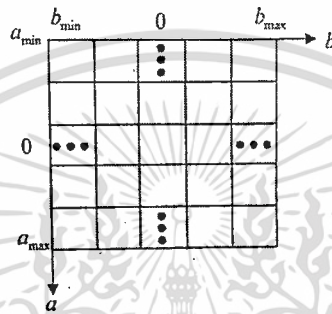
2.11 การเชื่อมขอบที่ใช้การแปลง Hough

ในการหาเส้นของภาพในแถบความถี่ของภาพ กล่าวถึงการเชื่อมจุดโดยการตรวจสอบว่าจุดดังกล่าวอยู่บนเส้นโค้งหรือเส้นตรงใด ๆ พิจารณาภาพที่มี n จุด เราต้องการหาเซตย่อยของจุดเหล่านี้ที่อยู่บนเส้นตรง หนึ่งในวิธีที่เป็นไปได้คือการหาทุกเส้นตรงที่ผ่านทุกคู่ของจุดแล้วทำการหาเซตย่อยของจุดที่อยู่ใกล้กับเส้นเฉพาะใด ๆ ปัญหานี้เกี่ยวกับการหาเส้น $n(n-1)/2 \sim n^2$ แล้วทำการเปรียบเทียบ $(n(n-1))/2 \sim n^2$ ของทุกจุดบนทุกเส้น

Hough ได้เสนอวิธีทางเลือกซึ่งรู้จักในชื่อการแปลง Hough พิจารณาจุด (x_i, y_i) และสมการของเส้นตรง (ในรูปแบบความชันและจุดตัด) $y_i = ax_i + b$ จะเห็นว่าเส้นตรงที่ผ่านจุด (x_i, y_i) มีมากมายแต่ที่ผ่านและเป็นไปตามสมการ $y_i = ax_i + b$ มีจำกัด ถ้าเราทำการเขียนสมการในรูปแบบ $b = -x_i a + y_i$ และพิจารณาระนาบ ab (เรียกว่าระนาบพารามิเตอร์) จะได้สมการของเส้นตรงเส้นเดียวสำหรับคู่ของจุด (x_i, y_i) นอกจากนั้นจุดที่สอง (x_j, y_j) จะมีเส้นตรงในระนาบพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กัน และเส้นตรงนี้ตัดกับเส้นตรงที่สัมพันธ์กับจุด (x_i, y_i) ที่จุด (a', b') โดยที่ a' คือความชันและ b' คือ จุดตัดของเส้นตรงที่ประกอบทั้งจุด (x_i, y_i) และ (x_j, y_j) ในระนาบ xy จริง ๆ แล้วทุกจุดที่อยู่บนเส้นตรง มีเส้นในระนาบพารามิเตอร์ตัดกันที่จุด (a', b') รูปที่ 2.34 แสดงตัวอย่างแนวคิดนี้



รูปที่ 2.30 แสดงระนาบพารามิเตอร์
 (a) ระนาบ xy ; (b) ระนาบของพารามิเตอร์ ab

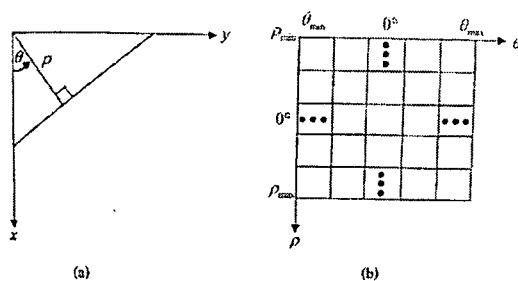


รูปที่ 2.31 การแบ่งช่วงแกนพารามิเตอร์สำหรับการแปลง Hough

การคำนวณของการแปลง Hough เริ่มจากการแบ่งช่วงของพารามิเตอร์เกิดเป็นช่องเล็ก ๆ ที่เรียกว่า เซลสะสม (Accumulator Cell) ดังแสดงในรูปที่ 2.31 โดยที่ (a_{max}, a_{min}) และ (b_{max}, b_{min}) เป็นช่วงของความชันและจุดตัด พิกัดของเซลล์ (i, j) ที่มีค่าของเซลล์สะสม $A(i, j)$ สอดคล้องกับสี่เหลี่ยมที่สัมพันธ์กับพิกัดพารามิเตอร์ (a_i, b_j) เริ่มแรกนั้นค่าภายในเซลล์ถูกตั้งให้มีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นสำหรับทุกจุด (x_k, y_k) ในระนาบของภาพ เราให้ a มีค่าตามค่าที่กำหนดในแกน a ของระนาบของพารามิเตอร์ ทำการแก้สมการสำหรับ b โดยใช้สมการ $b = -x_k a + y_k$ ค่า b ที่คำนวณได้ถูกปัดให้มีค่าใกล้กับค่าในแกน b ของระนาบพารามิเตอร์ ถ้าค่าของ a_p ได้ผลลัพธ์เป็น b_p เราให้ $A(p, q) = A(p, q) + 1$ เดิมทีนั้นค่าในเซลล์เหล่านี้ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ เมื่อจบขบวนการ ค่า M ใน $A(i, j)$ สอดคล้องกับ M จุดในระนาบ xy ที่อยู่บนเส้นตรง $y = ax + b$ ความถูกต้องของการอยู่บนเส้นตรงเดียวกันของจุดเหล่านี้ ถูกกำหนดโดยจำนวนของช่วงที่แบ่งในระนาบ ab ในกรณีที่เรแบ่งช่วงบนแกน a และ b ออกเป็น k ช่วง สำหรับ n จุดของภาพ เราต้องทำการคำนวณ nk ครั้ง ดังนั้น จึงมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

ปัญหาของการใช้สมการ $y = ax + b$ แทนสมการเส้นตรงอยู่ที่ว่าค่าความชันและค่าจุดตัดมีค่าเข้าใกล้อนันต์ เมื่อเส้นตรงเข้าใกล้เส้นแนวตั้ง เพื่อลดความยุ่งยากที่เกิด เราจะแทนสมการเส้นตรงในรูป

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \tag{2.34}$$



รูปที่ 2.32 แสดงการแปลง Hough
(a) ระนาบปกติ xy (b) ระนาบพารามิเตอร์ p θ

จากรูปที่ 2.32 (a) แสดงความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการ (2.34) จากนั้น ทำการสร้างเซลล์สะสมเหมือนกับที่กล่าวถึงในกรณีใช้ความชันและจุดตัดที่แตกต่างกัน คือ แทนที่จะได้ลักษณะของเส้นตรงระนาบพารามิเตอร์ เราจะได้ลักษณะของทางเดินของเส้นโค้งไซน์ซอียดในระนาบ p θ ถ้ามี M จุดบนเส้น $x\cos\theta_j + y\sin\theta_j = p_i$ เราจะได้ M เส้นโค้งไซน์ซอียดตัดกันที่จุด (p_i, θ_j) ในระนาบพารามิเตอร์ การเพิ่มค่า θ และการแก้สมการสำหรับ p จะได้จำนวน M ในเซลล์สะสม $A(i,j)$ ที่สัมพันธ์กับเซลล์ที่ระบุโดยพารามิเตอร์ (p_i, θ_j) รูปที่ 2.32 (b) สาธิตการแบ่งช่วงของพารามิเตอร์

ช่วงของมุม θ เท่ากับ $\pm 90^\circ$ ถูกวัดเทียบกับแกน x ดังนั้น ตามที่อ้างอิงในรูปที่ 2.32(a) เส้นแนวนอนมี $\theta = 0$ องศา และมีค่า p เท่ากับจุดตัดในค่าบวก x ทำนองเดียวกัน เส้นในแนวตั้งมีจุด $\theta = -90^\circ$ องศา และมีค่า p เท่ากับจุดตัดในค่าลบ y

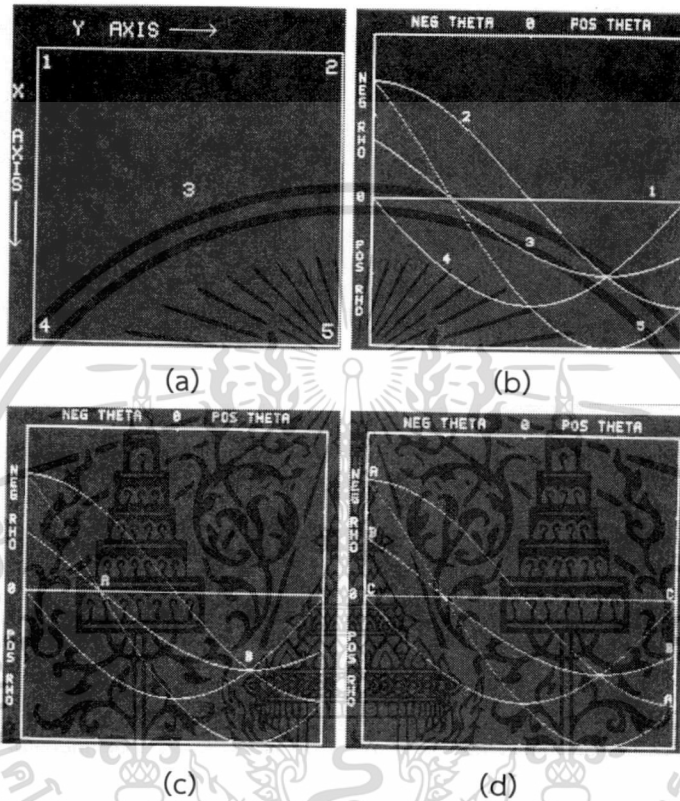
ตัวอย่าง จากรูปที่ 2.33 แสดงการแปลง Hough ที่ใช้สมการ (2.34) โดยรูปที่ 2.33 (a) แสดงภาพที่มีจุด 5 จุด แต่ละจุดถูกแมป (Map) ลงในระนาบ p θ ดังแสดงในรูป 2.41 (b) ย่าน θ คือ $\pm 90^\circ$ ย่านของแกน p คือ $\pm\sqrt{2}D$ โดยที่ D คือ ระยะระหว่างมุมของภาพ ข้อแตกต่างกับกรณีใช้ความชันและจุดตัดคือแต่ละเส้นโค้งมีรูปร่างไซน์ซอียดที่ต่างกัน เส้นแนวนอนเป็นผลจากการแมปจุด 1 ที่มีค่า p เป็นศูนย์ เส้นโค้งไซน์ซอียดที่เหลือเป็นการแมปจุดที่เหลือ แสดงหมายเลขกำกับไว้

คุณสมบัติการตรวจหาการอยู่บนเส้นเดียวกันของการแปลง Hough ถูกแสดงในรูปที่ 2.33 (c) จุด A แสดงการตัดกันของเส้นโค้งที่สอดคล้องกับจุด 1, 3 และ 5 ในระนาบ xy ตำแหน่งของจุด A เป็นการระบุว่าจุดทั้งสามอยู่บนเส้นตรงเดียวกันที่ผ่านจุดกำเนิด ($p = 0$) และทำมุม -45 องศาทำนองเดียวกันจุด B แสดงการตัดกันของเส้นโค้งที่สอดคล้องกับจุด 2, 3 และ 4 ในระนาบ xy ตำแหน่งของจุด B เป็นการระบุว่าจุดทั้งสามอยู่บนเส้นตรงเดียวกันบนเส้นที่ทำมุม 45 องศา และมีระยะห่างจากจุดกำเนิดเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะจากจุดกำเนิดถึงมุมด้านตรงข้าม

แม้ว่าที่ผ่านมาเราได้ใช้การแปลง Hough กับเส้นตรง ความจริงแล้วการแปลง Hough สามารถถูกประยุกต์ใช้งานกับฟังก์ชันที่อยู่ในรูป $g(v,c) = 0$ โดยที่ v คือ เวกเตอร์ของพิกัด และ c คือ เวกเตอร์ของสัมประสิทธิ์ ตัวอย่างเช่นจุดที่อยู่บนวงกลม

$$(x - c_1)^2 + (y - c_2)^2 = c_3^2 \quad (2.35)$$

สามารถถูกตรวจพบโดยใช้วิธีที่เพิ่งกล่าวถึง ความแตกต่างที่เด่นชัดก็คือการที่มี 3 พารามิเตอร์ (c_1 , c_2 และ c_3) ทำให้ระนาบพารามิเตอร์มีลักษณะเป็นเซลล์แบบลูกบาศก์ และเซลล์สะสมอยู่ในรูป $A(i, j, k)$ ขบวนการเริ่มจากการเพิ่ม c_1 และ c_2 แล้วทำการแก้สมการสำหรับ c_3 โดยใช้สมการ (2.35) แล้วทำการอัปเดตค่าในเซลล์สะสมสอดคล้องกับเซลล์ที่สัมพันธ์กับ (c_1, c_2, c_3) เห็นได้ชัดว่าความซับซ้อนของการแปลง Hough ขึ้นกับจำนวนพิกัดและจำนวนสัมประสิทธิ์

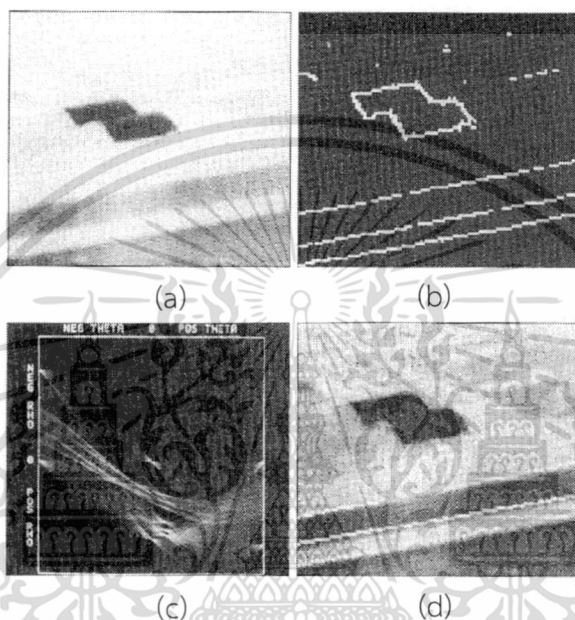


รูปที่ 2.33 ผลลัพธ์การแปลง Hough

กลับไปที่ปัญหาของการเชื่อมขอบโดยใช้การแปลง Hough ขบวนการเริ่มจาก
 ขั้นตอนที่ 1 คำนวณแกร์เดียนของภาพ
 ขั้นตอนที่ 2 ระบุช่วงย่อยของ $p\theta$
 ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบจำนวนนับของเซลล์สะสมสำหรับพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงสูง (ขาว)
 ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบความสัมพันธ์ (ความต่อเนื่อง) ระหว่างพิกเซลในเซลล์ที่เหลือ ความต่อเนื่องในที่นี้หมายถึงระยะระหว่างพิกเซลที่อยู่ในเซลล์สะสม ความไม่ต่อเนื่อง (Gap) เกิดเมื่อระยะระหว่างจุดใดกับจุดนั้นมีค่ามากกว่าระดับกั้น (Threshold)

ตัวอย่าง พิจารณารูปที่ 2.34 (a) ซึ่งเป็นภาพถ่ายทางอากาศแบบอินฟราเรดของโรงจอดอากาศยานและรันเวย์ รูปที่ 2.34 (b) ภาพผ่านการทำเป็นไบนารี ให้สังเกตช่องว่าง (Gap) ในขอบเขตของลู่วิ่ง รูปที่ 2.34 (c) แสดงการแปลง Hough แบบเชิงเส้นของภาพไบนารี รูปที่ 2.34 (d) แสดง (สีขาว) เส้นของพิกเซลที่ถูกเชื่อมกันใช้เกณฑ์ที่ว่า

1. อยู่หนึ่งในสามของเซลล์สมที่มีค่านับสูงสุด
2. ไม่มีช่องว่างเกินกว่า 5 พิกเซล การหายไปของช่องว่างระหว่างเส้นในรูปที่ 2.34 (b) เป็นผลมาจากการเชื่อมพิกเซล



รูปที่ 2.34 ตัวอย่างการแปลง Hough

(a) ภาพถ่ายอินฟราเรด, (b) ภาพแกรีเดียน, (c) การแปลง Hough, (d) พิกเซลที่ถูกเชื่อม

2.12 การฟื้นฟูภาพเพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพ

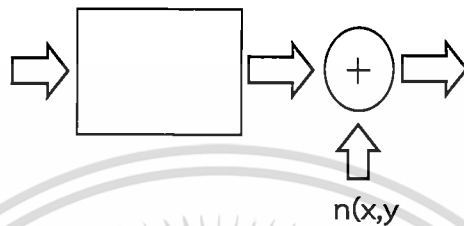
การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพสำหรับการฟื้นฟูภาพ (Image Restoration) นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างภาพคืนหรือฟื้นฟูภาพจากภาพที่มีการเสื่อมไป (Degradation) จากปรากฏการณ์บางอย่าง ซึ่งเทคนิคในการฟื้นฟูภาพเกี่ยวข้องกับการหาแบบจำลอง (Modeling) ของการเสื่อมแล้วทำขบวนการย้อนกลับ (Inverse Process) เพื่อสร้างภาพเดิมกลับคืนมา

เทคนิคในการฟื้นฟูภาพในยุคแรก ๆ ใช้เทคนิคที่ทำในฟรีควีนซีโดเมน เทคนิคสมัยใหม่จะเกี่ยวข้องกับวิธีทางพีชคณิต แม้ว่าการหาคำตอบโดยตรงของวิธีพีชคณิตค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องแก้สมการขนาดใหญ่ แต่ภายในเงื่อนไขบางประการ ความซับซ้อนของวิธีนี้ลดลงอย่างมากซึ่งอยู่ในระดับเดียวกันกับวิธีที่ทำในฟรีควีนซีโดเมน โดยพิจารณาปัญหาของการฟื้นฟูภาพจากจุดที่ภาพนั้นได้ถูกทำให้เสื่อมลงไปแล้วโดยไม่กล่าวถึงต้นเหตุของการเสื่อมลงของภาพที่เกิดจากเซ็นเซอร์ดิจิทัลและภาคแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1 รูปแบบการสูญเสียความคมชัด

รูปที่ 2.35 แสดงแบบจำลองกระบวนการสูญเสียความคมชัดภาพ โดยภาพที่สูญเสียความคมชัดมีสาเหตุจากฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัด (Degradation function) และสัญญาณรบกวนจากภายนอก (Noise) โดย $f(x,y)$ คือ ภาพต้นฉบับ, $h(x,y)$ คือ ฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัด, $n(x,y)$ คือสัญญาณรบกวนจากภายนอก, $g(x,y)$ คือ ภาพที่สูญเสียความคมชัด เราสามารถเขียนสมการการสูญเสียความคมชัดโดยไม่นำสัญญาณรบกวนมาคำนวณได้ดังสมการที่ 2.36



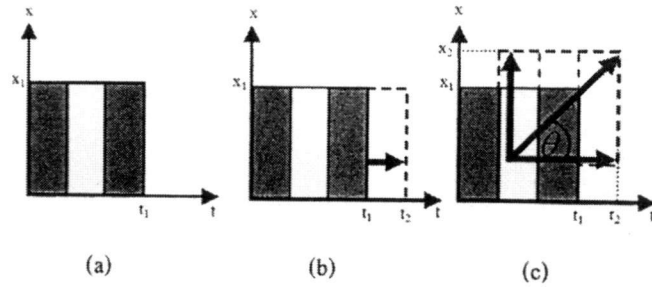
รูปที่ 2.35 แบบจำลองการสูญเสียความคมชัด

$$\begin{aligned} g(x,y) &= h(x,y) * f(x,y) \\ &= \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} h(x-i, y-j) * f(x,y) \end{aligned} \quad (2.36)$$

สัญลักษณ์ * หมายถึง การทำคอนโวลูชันระหว่าง $h(x,y)$ และ $f(x,y)$ จากแบบรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ใน Spatial domain ให้ขนาดของภาพเท่ากับ $M \times N$ อยู่ในแกน x แกน y ตามลำดับสามารถแปลงสมการ 2.36 ให้อยู่ใน Frequency domain ดังนี้

$$G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) \quad (2.37)$$

การเคลื่อนที่มีผลต่อความคมชัดของภาพ กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับภาพ ทำให้ภาพที่ได้เป็นผลรวมของภาพตำแหน่งต่าง ๆ ตามการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับภาพ ทำให้ภาพที่ได้เป็นภาพในลักษณะไหว ขาดความคมชัด หรือที่เรียกว่า “Motion Blur” ตัวอย่างของภาพไหวในลักษณะเชิงเส้นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับภาพ (Uniform Linear Motion) สมมติให้ภาพไหวเกิดจากการรับภาพเริ่มต้นที่ตำแหน่ง (x,y) แล้วเคลื่อนที่ไปด้วยฟังก์ชันของระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ตามระยะเวลา $x_0(t)$ ในแกน x และ $y_0(t)$ แกน y ผลรวมของภาพตลอดระยะเวลาที่รับภาพสามารถหาได้จากการทำอินทิเกรตภาพตลอดช่วงเวลาที่รับภาพตาม เราสามารถหาฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัดของการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นได้จากสมการที่ 2.37 โดยอาศัยสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากรูปที่ 2.36 พิจารณาตำแหน่งต่าง ๆ บนเส้นตรงหนึ่ง เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง ความคมชัดอาจจะเป็นจุดศูนย์ในพิกัด เนื่องจากเราจะใช้เฉพาะแกน และอาจบอกว่าภาพของเราอยู่ที่ตำแหน่งใดห่างจากจุดอ้างอิงที่เวลาดังกล่าว



รูปที่ 2.36 การเคลื่อนที่ของวัตถุ

(a) รูปปกติ (b) รูปที่มีการเคลื่อนที่ 1 มิติ (c) รูปที่มีการเคลื่อนที่ 2 มิติ

$$L = \dot{v}t \tag{2.38}$$

โดย L =ระยะ, \dot{v} =ความเร็ว, t = เวลา

ให้ v = ความเร็ว, t = เวลา, θ = มุมของความไม่คมชัดจากการเคลื่อนที่ที่จะได้สมการการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นดังนี้

$$h(x,y) = \begin{cases} \frac{1}{L}, & \text{if } 0 \leq |x| \leq L \cos \theta ; y = L \sin \theta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.39}$$



รูปที่ 2.37 ผลลัพธ์การสร้างฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัด
(a) $h(x,y)$, (b) $h(u,v)$

จากสมการที่ 2.39 หากเราสามารถประมาณค่า L และ θ ได้ เราจะสามารถสร้างฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นได้ ซึ่งสามารถแสดงรูปผลลัพธ์การสร้างฟังก์ชันดังกล่าวในสเปซโดเมน และในฟรีควเอนซีโดเมน ในรูปที่ 2.37

เมื่อกำหนดค่าของการเคลื่อนที่ของภาพโดยให้มุมการเคลื่อนที่ = 0 โดยแทนค่าลงในสมการ 2.39 และทำการแปลงฟูเรียร์จะได้

$$H(u) = \text{sinc}(\pi u L) \cdot e^{-j\pi u L} \tag{2.40}$$

ค่าการแปลงฟังก์ชันขนาด จากสมการ 2.40 จะได้

$$|H(u)| = \text{sinc}(\pi u L) \tag{2.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดนี้ใน 2 มิติ สามารถแสดงไม่คมชัดของระยะและมุม จากสมการนี้

$$H(u, v) = \text{sinc}(\pi Lf) ; \text{ where } f = u \cos \theta + v \sin \theta \tag{2.42}$$

2.12.2 การหาค่าพารามิเตอร์ความไม่คมชัด

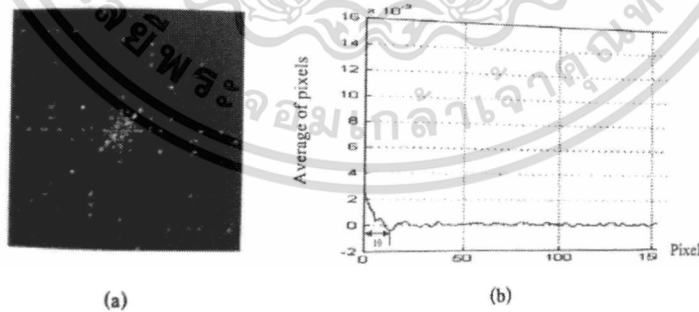
การหาค่าพารามิเตอร์ความไม่คมชัด (Blur parameter) เพื่อใช้สร้างฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัด เราจะหาในพารามิเตอร์ดังกล่าวในเซพตรัมโดเมน (Cepstrum domain) ซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$C(i, j) = F^{-1}[\log(1 + |F(g(x, y))|)] \tag{2.43}$$

โดย F และ F⁻¹ แทนค่าการแปลงฟูเรียร์และการแปลงอินเวิร์สฟูเรียร์ตามลำดับ ในการหาค่าทิศทางของความไม่คมชัดนั้นจะใช้การแปลง Hough ในการหาค่ามากที่สุดของ accumulator array ซึ่งหาได้จากค่า Log สเปคตรัมของ G(u,v) ซึ่งได้จากการแปลงฟูเรียร์ของภาพที่สูญเสียความคมชัด ดังสมการต่อไปนี้

$$C(u, v) = \log(1 + G(u, v)) \tag{2.44}$$

เมื่อได้ทิศทางของความไม่คมชัดแล้วจึงทำการหมุนภาพเพื่อให้อยู่ในทิศทางปกติ โดยหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของความไม่คมชัดแล้วแทนค่าผลลัพธ์ของการหมุนด้วย C'(u,v) ขั้นตอนต่อไป เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละพิกเซลใน C'(u,v) สุดท้าย คือ การหาค่าตำแหน่งพิกเซลที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ครั้งแรก (Zero crossing) ของส่วนจำนวนจริงที่ได้จากการแปลง C'(u,v) ในสมการ 2.43 ค่าดังกล่าว คือค่าระยะความไม่คมชัดนั่นเอง

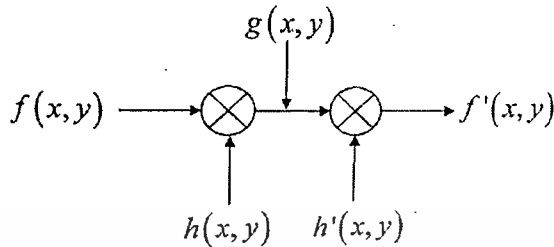


รูปที่ 2.38 ผลลัพธ์การจำแนกความไม่คมชัด

(a) การจำแนกมุมที่มีการเคลื่อนที่ 45 องศา (b) กราฟแสดงค่าเฉลี่ยภาพที่เลื่อนระยะ 10 พิกเซล

2.12.3 การปรับปรุงภาพด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด

วิธีในการปรับปรุงภาพเกี่ยวข้องกับหาแบบจำลองการปรับปรุงภาพและทำกระบวนการย้อนกลับเพื่อสร้างภาพมาดั้งเดิม โดยเขียนเป็นแบบจำลองของการปรับปรุงภาพ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.39 แบบจำลองของการปรับปรุงภาพ

โดย $f(x,y)$ คือ ภาพต้นฉบับ $g(x,y)$ คือ ภาพที่ไม่มีควมคมชัดและ $h(x,y)$ คือ PSF ของการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear motion) หรือฟังก์ชันของภาพที่มีการสูญเสีย $h'(x,y)$ คือ การเคลื่อนที่ของการเคลื่อนที่ของ PSF และ $f(x,y)$ คือ ค่าภาพที่สร้างขึ้น

ตัวกรองค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุดหรือตัวกรองเวียร์เนอร์ เป็นการนำเทคนิคตัวกรองสัญญาณอินเวิร์สซึ่งลดสัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชันการลดทอนมาพิจารณาร่วมกับคุณลักษณะทางสถิติของสัญญาณรบกวนในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่า “MMSE Filter” หรือ “Wiener Filter” ซึ่งนำเสนอโดย N. Wiener ในปี 1942 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)}} \right] G(u, v) \quad (2.45)$$

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{|H(u, v)|^2}{H(u, v)[|H(u, v)|^2 + H(u, v) \frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)}]} \right] G(u, v) \quad (2.46)$$

สำหรับ $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ โดยที่ $|H(u, v)|^2 = H^*(u, v) H(u, v)$ และ $M = N$
ในกรณีที่ไม่มีนอยส์ $S_n(u, v) = 0$ จะได้ Wiener Filter กลายเป็น Inverse Filter

เนื่องจากค่าเพาเวอร์สเปกตรัมของภาพที่ดี $S_f(u, v)$ และของสัญญาณรบกวน $S_n(u, v)$ นั้นเป็นค่าที่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ ดังนั้น ถ้ากำหนดปรับสมการเพื่อให้ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์เป็น $\frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)} = K$ เป็นค่าคงที่ จะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{1}{H(u, v) [|H(u, v)|^2 + K]} \right] G(u, v) \quad (2.47)$$



รูปที่ 2.40 การฟื้นฟูโดย Wiener Filter

(a) ภาพบาร์โค้ดที่เบลอ (b) ค่า K มีค่าเท่ากับ 0.01 (c) ค่า K มีค่าเท่ากับ 0.1

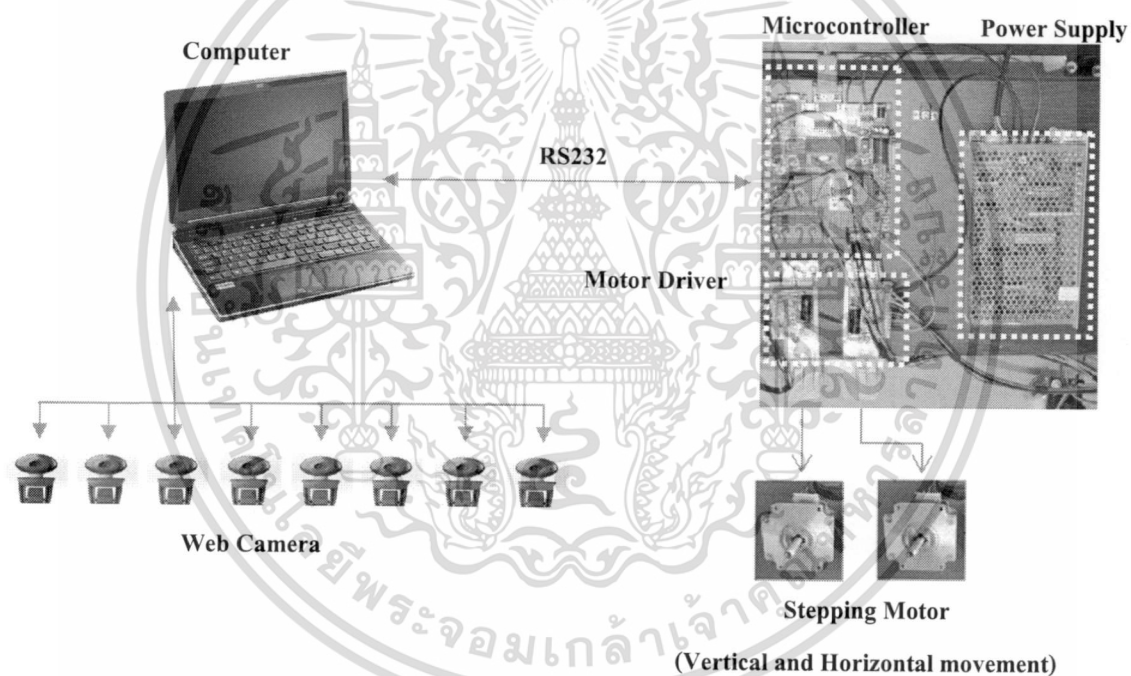


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องออกแบบระบบในการเคลื่อนที่กลิ้งเพื่อใช้ในการบันทึกภาพบาร์โค้ดในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการอ่านค่าบาร์โค้ดโดยซอฟต์แวร์ต่อไป ดังแสดงภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยในรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเริ่มจากคอมพิวเตอร์สั่งงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม (RS232) เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนเคลื่อนที่กลิ้งไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ในตู้ทดสอบ (โดยควบคุมการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง คือ แนวแกนตั้งและแนวแกนระนาบ ซึ่งจะใช้สเต็ปมอเตอร์เป็นตัวช่วยในการเคลื่อนที่กลิ้ง) ในระหว่างที่กลิ้งเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ นั้น กลิ้งจะทำการบันทึกภาพบาร์โค้ดไปพร้อม ๆ กัน เพื่อใช้ในกระบวนการอ่านค่าบาร์โค้ดต่อไป



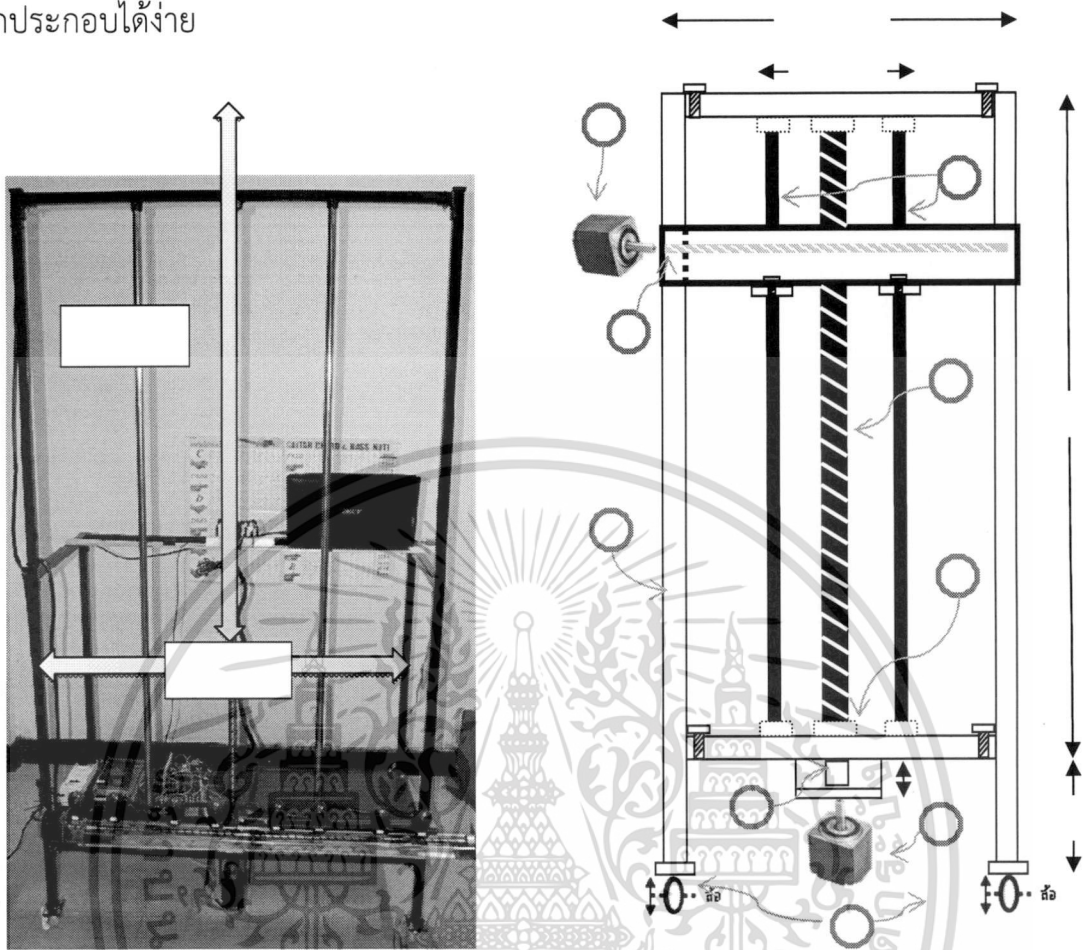
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 การพัฒนาระบบขับเคลื่อนในการควบคุมกลิ้ง

3.1.1 การออกแบบระบบขับเคลื่อน

ในการบันทึกภาพบาร์โค้ดภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์โดยอัตโนมัตินั้นจำเป็นต้องมีระบบขับเคลื่อนที่สามารถนำกลิ้งไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ได้ ดังนั้น ระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบจึงประกอบด้วยแกนเคลื่อนที่ 2 แกน คือ ชุดเคลื่อนที่กลิ้งในแนวแกนระนาบ (แนวระนาบ) และชุดเคลื่อนที่กลิ้งขึ้น-ลงในแนวตั้ง (เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับเครื่องทดสอบบาร์โค้ดรุ่นต่าง ๆ ได้ เนื่องจากแต่ละรุ่นมีจำนวนฮาร์ดดิสก์ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของฮาร์ดดิสก์ จึงออกแบบให้สามารถเพิ่มจำนวนกลิ้งในแนวระนาบได้ตามต้องการ) ดังได้แสดงส่วนประกอบบางส่วนของระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับเคลื่อนในรูปแบบที่ 3.2 การออกแบบจะรวมไปถึงการซ่อมบำรุงและการเคลื่อนย้าย สามารถแยกประกอบได้ง่าย



รูปที่ 3.2 มุมมองการออกแบบด้านหน้าของระบบขับเคลื่อน

ส่วนประกอบที่ใช้ในระบบเคลื่อนที่มีดังนี้

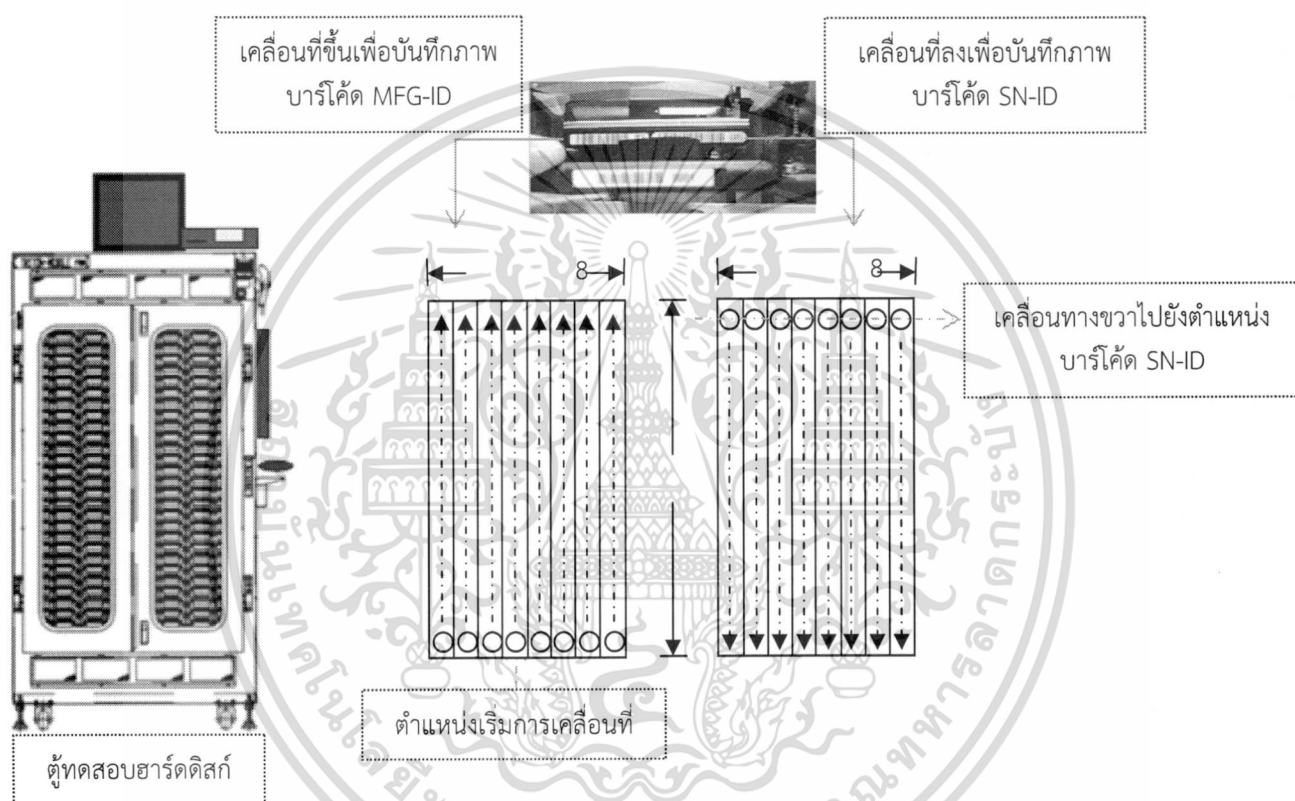
1. ตลับลูกปืน (Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลลา ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส เพื่อลดปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน
2. บอลสกรู (Ball screw) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวแกนหมุน ให้เป็นการเคลื่อนที่ในเชิงเส้น มีความแม่นยำสูง
3. เพลลาสำหรับในการประกอบส่วนเคลื่อนที่แนวระนาบ ช่วยให้แกนเคลื่อนที่ทั้งสองตั้งฉากกัน
4. มอเตอร์ขับเคลื่อนแนวระนาบเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีหน้าที่ในการหมุนบอลสกรูให้กล่องเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์บันทึกภาพในแนวระนาบ
5. มอเตอร์ขับเคลื่อนแนวตั้งเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีหน้าที่ในการหมุนบอลสกรูให้กล่องเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์บันทึกภาพในแนวตั้ง
6. คัปปลิง (Coupling) ทำหน้าที่ ยึดเพลลาของมอเตอร์และเพลลาของบอลสกรูเข้าด้วยกัน มีลักษณะการส่งถ่ายแรงบิดที่มีการเอียงศูนย์ของเพลลา (Shaft Misalignment) เพื่อส่งถ่ายแรงบิดจากมอเตอร์ไปยังบอลสกรู
7. ล้อสำหรับเคลื่อนย้ายระบบขับเคลื่อนไปยังบริเวณต่าง ๆ ที่ต้องการ
8. โครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบควบคุม

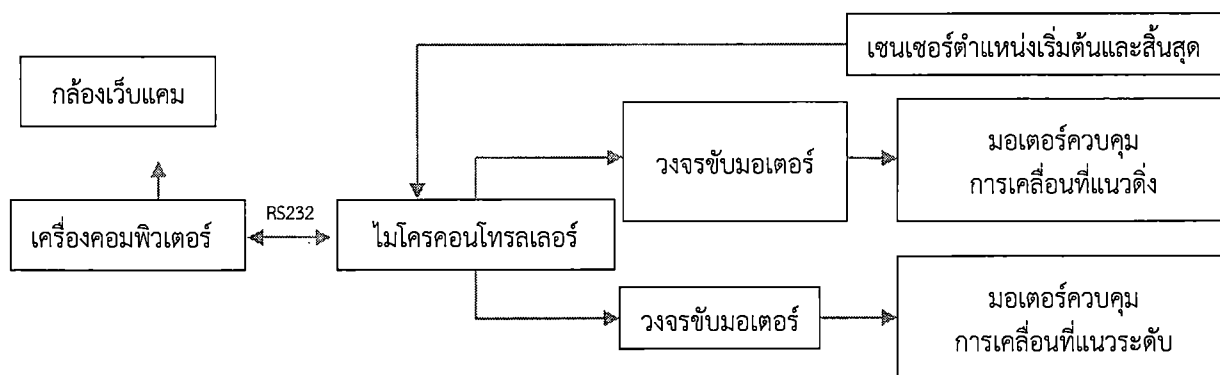
การพัฒนาาระบบแมกคาทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมกล้องนั้น มีแนวความคิดที่จะใช้กล้องเว็บแคมมากกว่าหนึ่งตัวในการอ่านบาร์โค้ด เนื่องจากจำนวนฮาร์ดดิสก์ภายในตู้นั้นมีจำนวนมาก (8 columns x 30 rows = 240 HDD) หากใช้เพียงกล้องเดียวจะทำให้เสียเวลาในการเคลื่อนที่ของกล้องเพื่ออ่านบาร์โค้ด โดยในเบื้องต้นเราจะใช้กล้องจำนวน 8 กล้อง (สามารถเพิ่มกล้องได้เป็น 16 กล้องเพื่อไม่ต้องให้กล้องเคลื่อนที่ในแนวระนาบ) ในการบันทึกภาพของแต่ละคอลัมน์และใช้การเคลื่อนที่ในแนวระนาบในการบันทึกภาพบาร์โค้ดตำแหน่งที่สองของฮาร์ดดิสก์ โดยแนวคิดในการเคลื่อนที่ของกล้องแสดงดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของกล้องในการบันทึกภาพตำแหน่งต่าง ๆ

จากรูประบบควบคุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่กล้องนั้น จะควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองแกน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งระบบควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 (ใช้คริสตัลความถี่ 20 MHz) และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับคำสั่งให้เริ่มการทำงานผ่านทางพอร์ทอนุกรม (RS232) ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 3.4 การเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ในระบบขับเคลื่อนนั้น เพื่อให้สามารถควบคุมระยะในการขึ้น, ลง, ซ้าย, ขวา ของกล้องในแต่ละตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุม

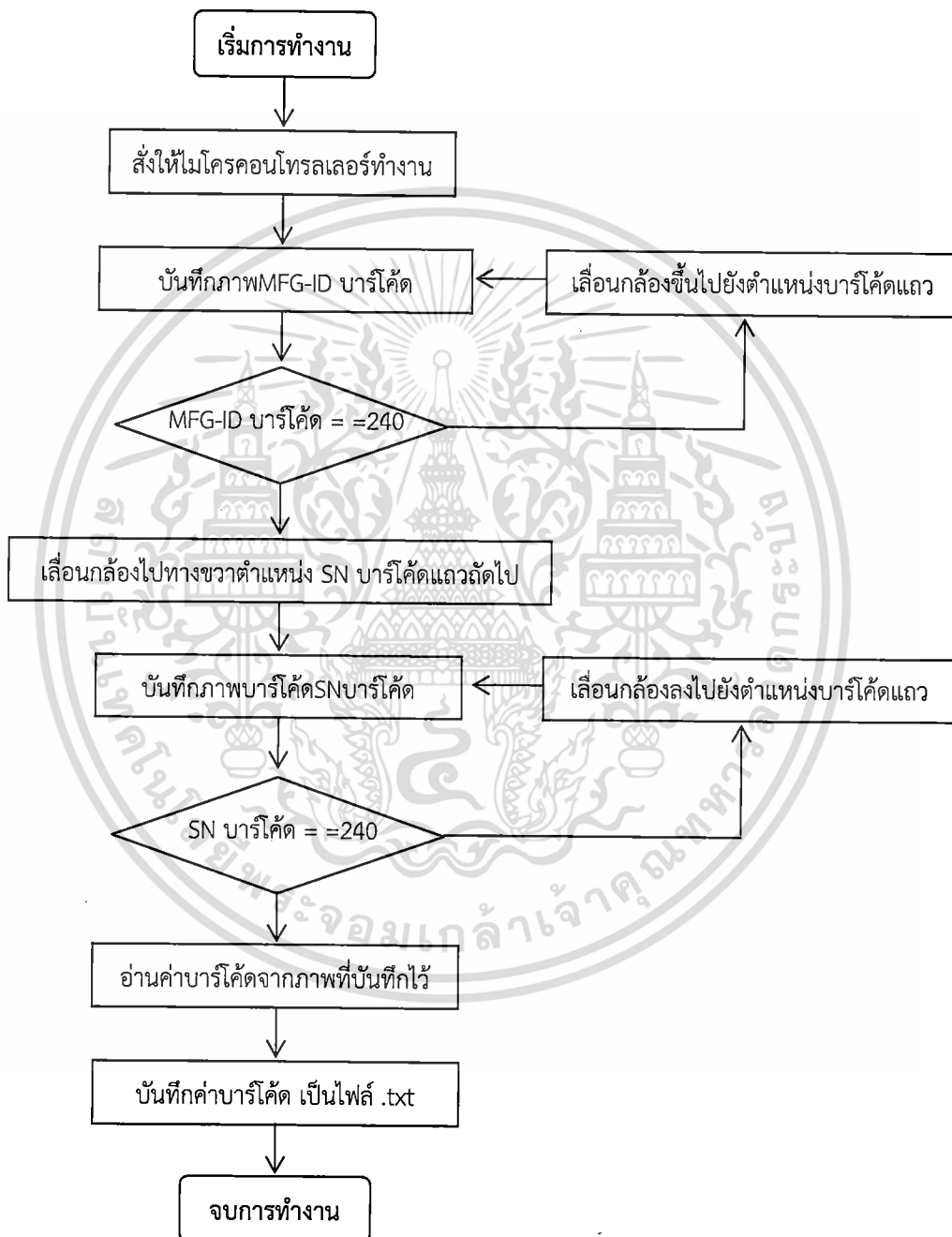
หลักการทำงานของระบบควบคุมคือ เมื่อเริ่มให้ระบบทำงานคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่แนวตั้ง (Vertical Movement) เพื่อหมุนบอลสกรู ซึ่งจะทำให้กล้องที่ติดตั้งอยู่บนบอลสกรูเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ได้ตามต้องการ โดยจะบันทึกภาพในตำแหน่งของบาร์โค้ด MFG-ID ก่อน (เริ่มต้นที่บริเวณด้านล่างสุดของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์) และเคลื่อนที่ขึ้นไปด้านบนไปยังตำแหน่งบาร์โค้ดถัดไปแล้วจึงหยุดเพื่อทำการบันทึกภาพ ทำเช่นนี้จนกระทั่งถึงตำแหน่งบนสุดของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ (ฮาร์ดดิสก์ลูกบนสุด) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่แนวระนาบ (Horizontal Movement) ให้เคลื่อนที่ไปทางขวาในตำแหน่งของ SN บาร์โค้ด จากนั้นจะเริ่มทำการบันทึกภาพและเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งเพื่อเก็บภาพในตำแหน่งต่าง ๆ ของ SN บาร์โค้ด จนครบทุกบาร์โค้ด ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจะหยุดทำงานและรอคำสั่งจากคอมพิวเตอร์

3.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอ่านบาร์โค้ด

เนื่องจากระบบการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์แต่ละลูกในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์จะใช้การอ่านบาร์โค้ด (Code39) ที่ติดตัวฮาร์ดดิสก์ ในการบอกตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์แต่ละลูกภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ ดังนั้น เราจึงพัฒนาโปรแกรมที่สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดจากการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคม เพื่อลดปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบมือถือของพนักงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ได้แบบอัตโนมัติ จากการศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพในการหาตำแหน่งบาร์โค้ด และการอ่านค่าบาร์โค้ด 1 มิติ (Code 39) โดยทดลองเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพในการถอดรหัสบาร์โค้ด Code 39 และควบคุมการทำงานของกล้องเว็บแคมโดยใช้ไลบรารีต่าง ๆ ร่วมกับภาษาซี เราเลือกเอาไลบรารีของ OpenCV Ver.2.4 มาใช้ เนื่องจากสามารถทำงานด้านการประมวลผลภาพและควบคุมกล้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกในการใช้งานมากกว่าไลบรารีตัวอื่น ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนภาษาซีนั้น เราใช้โปรแกรม Visual C++ 2010 เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมในแบบ GUI (Graphical User Interface) ได้สะดวกและรวดเร็วอันเป็นข้อดีของภาษาซี

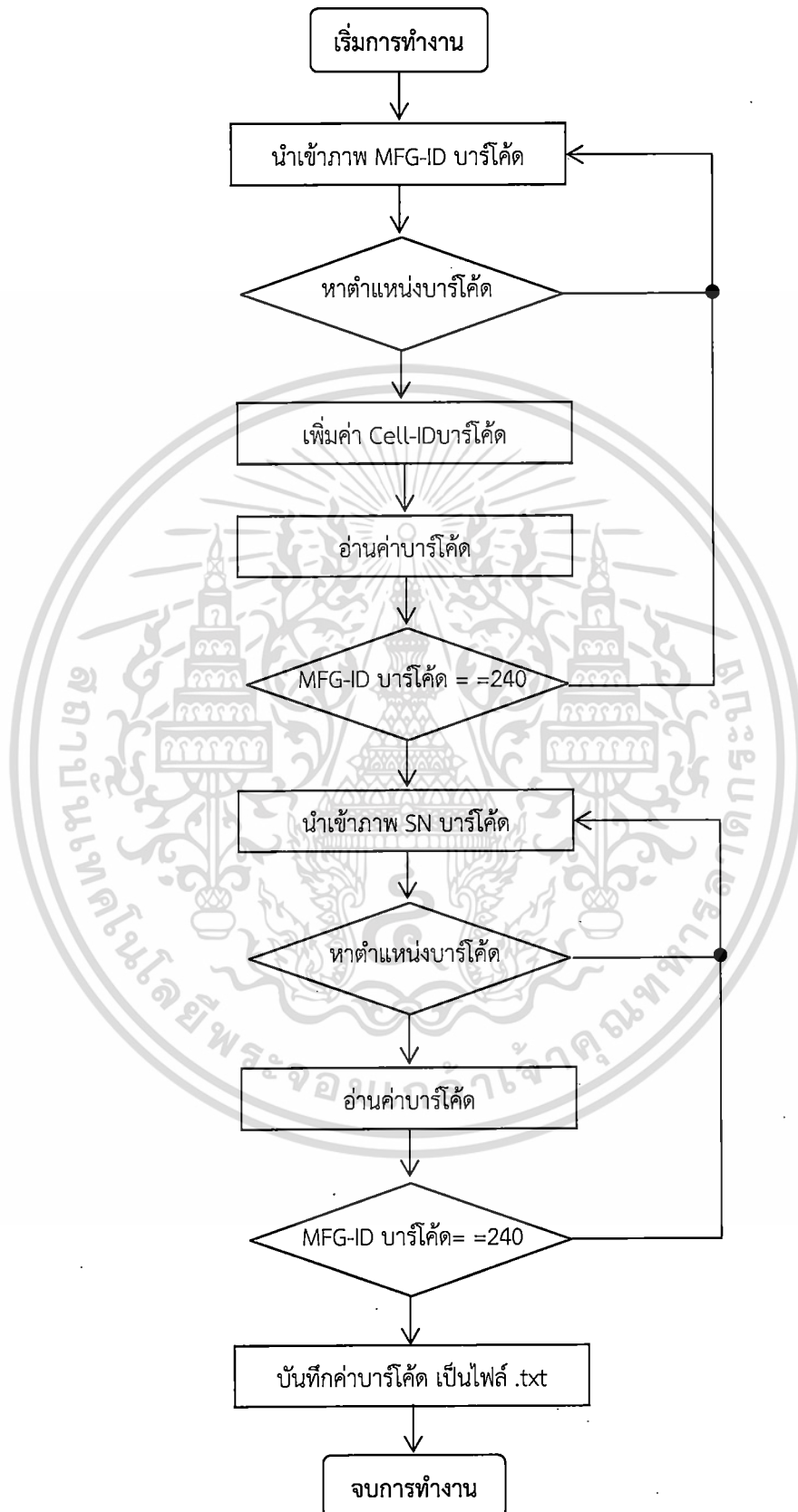
3.2.1 การควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้เคลื่อนที่กล้องไปยังตำแหน่งต่าง ๆ (บันทึกแถวละ 8 ภาพ จากนั้น จึงเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง) เพื่อให้สามารถบันทึกภาพของบาร์โค้ดทั้งหมดมาเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่ออ่านค่าบาร์โค้ด และบันทึกค่าที่อ่านได้เป็นไฟล์นามสกุล .txt ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ขั้นตอนการอ่านค่าบาร์โค้ด

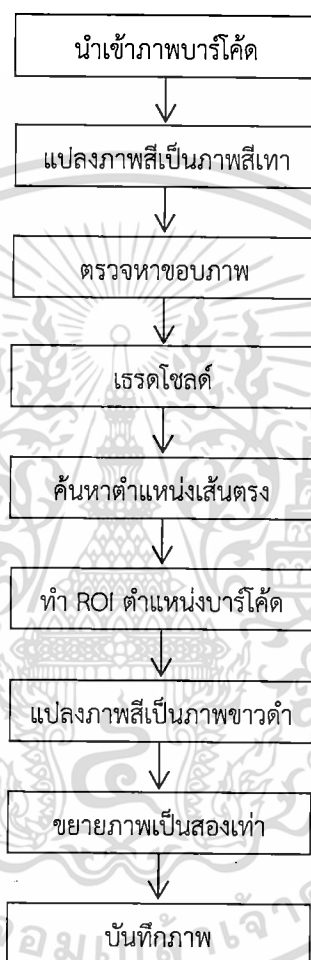


รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการอ่านค่าบาร์โค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากการบันทึกภาพบาร์โค้ดในตำแหน่งต่าง ๆ จนครบทุกตำแหน่งแล้ว ภาพที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของบาร์โค้ดภายในภาพ เมื่อตรวจพบบาร์โค้ดภายในภาพแสดงว่ามีฮาร์ดติสก์อยู่ภายในตู้ทดสอบฮาร์ดติสก์ตำแหน่งนั้น เราจะทำการเพิ่มค่า Cell-ID Barcode เข้าไปเพราะเป็นตำแหน่งที่คงที่ภายในตู้ทดสอบฮาร์ดติสก์ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการอ่านค่าบาร์โค้ดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.6

3.2.3 การค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด

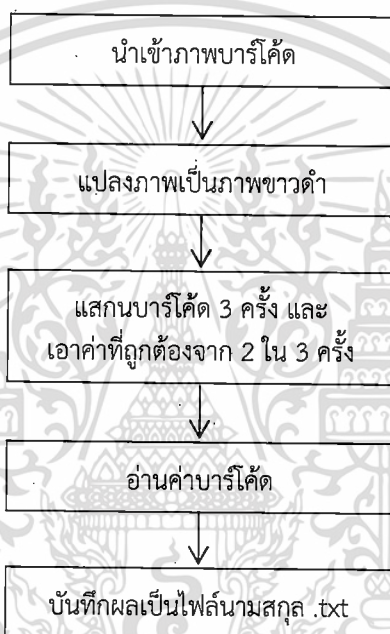


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด

ในกระบวนการค้นหาบาร์โค้ดภายในภาพจะเริ่มจากการแปลงภาพที่ได้เป็นภาพสีเทา (Grayscale) จากนั้นจึงตรวจหาขอบภาพ (Edge detection) แบบ Sobel แล้วจึงทำเธรตโซลต์ (Threshold) เพื่อแบ่งภาพออกเป็นสองกลุ่ม ขั้นตอนถัดไปเป็นการค้นหาตำแหน่งเส้นตรง (Scan Line) เพื่อหาตำแหน่งบาร์โค้ด โดยตำแหน่งที่มีบาร์โค้ดจะมีจำนวนเส้นของบาร์โค้ดบริเวณเดียวกันและใกล้เคียงกันซึ่งสามารถตัดสินใจได้ว่าบริเวณใดเป็นบาร์โค้ด เมื่อพบตำแหน่งบาร์โค้ด เราจะเลือกเฉพาะบริเวณที่เป็นบาร์โค้ดมาทำเธรตโซลต์ (Threshold) ใหม่และขยายภาพบาร์โค้ดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (2เท่า) เพื่อให้เส้นบาร์โค้ดมีความกว้างเพียงพอในการอ่านค่าบาร์โค้ดในกระบวนการถัดไป

3.2.4 การอ่านค่าบาร์โค้ด

กระบวนการอ่านค่าบาร์โค้ด Code 39 เนื่องจากภาพบาร์โค้ดที่ได้มานั้นไม่สามารถที่จะอ่านค่าได้ทันที ต้องทำการแปลงเป็นภาพไบนารีก่อนเพื่อให้สามารถแยกได้ว่าส่วนไหนเป็นแถบ (สีดำ) ส่วนไหนเป็นช่องว่าง (สีขาว) ซึ่งผลจากการแปลงภาพเป็นไบนารีนั้น จะทำให้ภาพบาร์โค้ดมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไป ทำให้เราจำเป็นต้องทำการสแกนบาร์โค้ดจากซ้ายไปขวา โดยจะทำการอ่านค่าบาร์โค้ดจำนวนสามครั้งแล้วนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของค่าบาร์โค้ดก่อนการอ่านค่า ในการอ่านค่าบาร์โค้ดนั้น เราจะนำค่าที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของบาร์โค้ดเพื่อเทียบเป็นตัวอักษรแต่ละตัวออกมา หลังจากนั้นจึงนำค่าที่อ่านได้ ไปเก็บในรูปแบบของเท็กซ์ไฟล์ที่ตั้งแสดงขั้นตอนการอ่านค่าบาร์โค้ดในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการอ่านบาร์โค้ด

บทที่ 4



วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการออกแบบระบบแมกคานิกส์และการออกแบบโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดมีรายละเอียดของเครื่องมือ อุปกรณ์ และโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

กล้องเว็บแคม (Logitech Webcam C160 และ Digital USB Microscope Video Camera) ติดตั้งบนระบบแมกคานิกส์ และเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งมีคุณสมบัติดังระบุในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

Hardware	Specification
คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก	
CPU	Intel Core i5 processor 430M (2.26 GHz, 1066 MHz FSB)
Memory	6 GB
Hard disk	150 GB
Logitech Webcam C160 	Image Sensor Type = CMOS Interface Type = USB, USB 2.0 Video Capture Speed = 15 frames/second Image Resolution = 640 x 480 pixel Focus = Manual focus
Digital USB Microscope Video Camera 	Image Sensor Type = CMOS Interface Type = USB, USB 2.0 Video Capture Speed = 30 frames/second Image Resolution = 640 x 480 pixel Focus = Manual focus Magnification Ratio: 10x to 220x.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

4.2.1 โปรแกรมระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 7

4.2.2 โปรแกรม Visual C++ 2010 ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานและประมวลผลการทำงาน

4.2.3 โลบรารี Open CV 2.4 ใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพ

4.3 ตัวอย่างบาร์โค้ดที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้บาร์โค้ด Code 39 ที่ได้จากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ขาว-ดำ) ในการพิมพ์บาร์โค้ดเพื่อใช้ในการทดลอง โดยจำลองบาร์โค้ดที่ติดกับฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊กในแต่ละตำแหน่งของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำมาสร้างแบบจำลองของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่มีการเรียงฮาร์ดดิสก์อยู่ภายในตู้ทั้งหมด 240 ลูก ซึ่งเมื่อมองเข้าไปภายในตู้จะเห็นเฉพาะบาร์โค้ดของฮาร์ดดิสก์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยภาพที่ใช้ในการทดลองจะเป็นภาพที่ได้จากการถ่ายภาพบาร์โค้ดจากตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์จำลอง โดยภาพที่ได้มีความละเอียด 640x480 พิกเซล



(a)



(b)



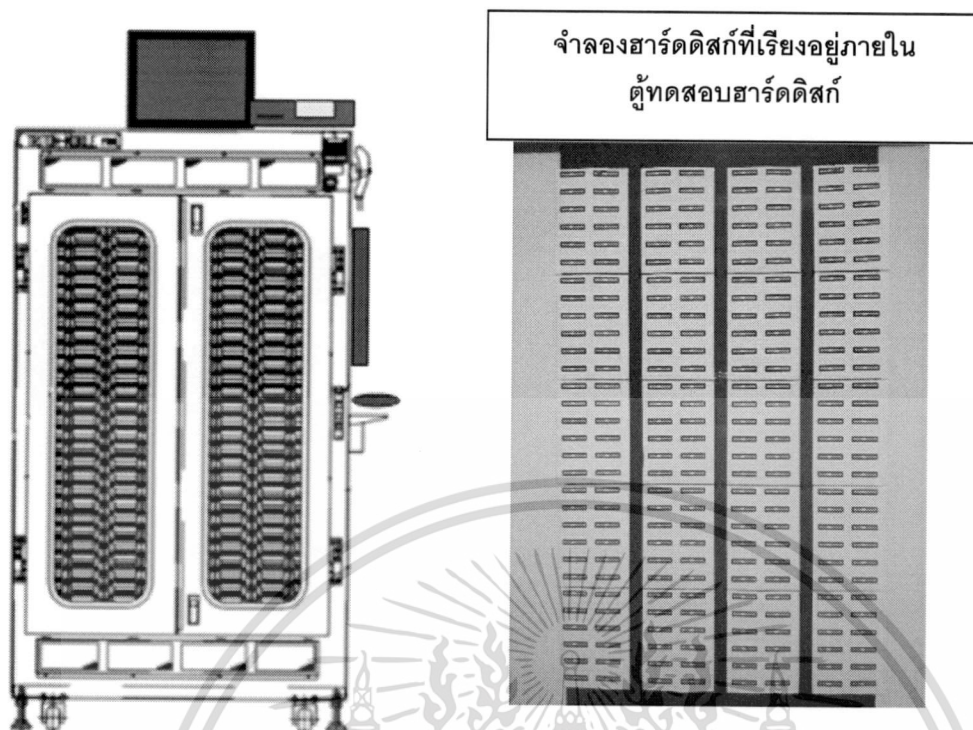
(c)

รูปที่ 4.1 (a) ภาพบาร์โค้ดที่ติดกับฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊ก

(b) ภาพบาร์โค้ดจำลองที่สร้างขึ้น

(c) ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องเว็บแคมความละเอียด 640x480 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ภาพเปรียบเทียบตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์และการจัดวางตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์

4.4 การทดลอง

สำหรับการทดลองในบทนี้ โปรแกรมที่ใช้ได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาซี ซึ่งใช้การเขียนโปรแกรมด้วย Visual C++ 2010 ร่วมกับ Library OpenCV 2.4 บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ซึ่งการทดสอบการทำงานของระบบนั้น ได้จำลองบาร์โค้ดของฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ ดังภาพ 4.2 โดยในบทนี้จะแบ่งการทดลองเพื่อศึกษา ข้อดี-ข้อเสีย ของแต่ละการทดลอง เพื่อใช้ในการเลือกและปรับปรุงวิธีการในการทำงานของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 การทดลอง ดังนี้

- การทดลองที่ 1 ศึกษาระยะเวลาที่สามารถถ่ายภาพบาร์โค้ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด
- การทดลองที่ 3 ศึกษาการแก้ไขปัญหาการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่
- การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการอ่านค่าบาร์โค้ด
- การทดลองที่ 5 ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์

4.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระยะเวลาที่สามารถถ่ายภาพบาร์โค้ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อศึกษาขอบเขตความสามารถในการถ่ายภาพบาร์โค้ดขนาดยาว 3 ซม. จากกล้องเว็บแคม (Logitech Webcam C160) และกล้องดิจิทัลไมโครสโคป โดยใช้ความละเอียด 640x480 พิกเซล ในงานวิจัย







วิธีการทดลอง

ถ่ายภาพบาร์โค้ดขนาด 3 ซม. ที่ติดกับฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊ก เพื่อเปรียบเทียบความละเอียดของภาพและดูระยะห่างที่สามารถถ่ายภาพได้ครอบคลุมบาร์โค้ดที่ใช้ในการทดลองและทดสอบหาระยะ Deep of field ของกล้องแต่ละชนิดโดยการเลื่อนกล้องไปมา โดยใช้ค่าโฟกัสเดิมเพื่อดูระยะที่ภาพยังคงคมชัดอยู่

ผลการทดลอง

จากการตรวจสอบภาพถ่ายบาร์โค้ดที่ระยะต่าง ๆ ของกล้องเว็บแคม (Logitech Webcam C160) จากตารางที่ 4.2 เราจะพบว่าภาพบาร์โค้ดที่ระยะห่างน้อย ๆ จะมีความคมชัดของภาพบาร์โค้ดมาก และลดลงเมื่อระยะห่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น และที่ระยะห่างตั้งแต่ 7 ซม. เป็นต้นไป กล้องจะถ่ายภาพได้ครอบคลุมฮาร์ดดิสก์โน้ตบุ๊กทั้งหมด ซึ่งทำให้เราทราบถึงขอบเขตของกล้องในการถ่ายภาพบาร์โค้ดนั้นอยู่ในช่วง 2 - 7 ซม. หากมากกว่านั้นจะทำให้ความละเอียดของภาพน้อยเกินไปและไม่สามารอ่านค่าบาร์โค้ดได้โดยกล้องเว็บแคมนั้น จากการทดลองหาค่า Deep of field (DOF) ของกล้องโดยเลื่อนกล้องที่ค่าโฟกัสเดิมไปมาเพื่อตรวจสอบความคมชัดของภาพนั้น ค่า DOF มีค่าประมาณ 1 ซม. ส่วนจากการทดสอบการถ่ายภาพโดยกล้องดิจิทัลไมโครสโคป เมื่อทดสอบปรับโฟกัสนั้น ผลการทดลองสามารถถ่ายภาพบาร์โค้ดได้คมชัดเพียงระยะเดียว คือระยะห่าง 9 ซม. ที่ระยะโฟกัสนี้สารธซึ่งสามารถถ่ายภาพบาร์โค้ดที่มีความกว้างไม่เกิน 2.9 ซม. ซึ่งจากการทดลองสามารถถ่ายภาพบาร์โค้ดได้พอดี และจากการหาค่า DOF ของกล้องไมโครสโคปจะมีค่าประมาณ 0.6 ซม.

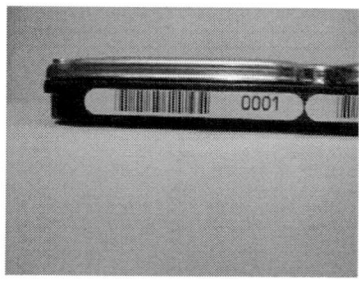
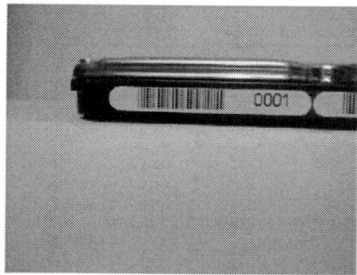
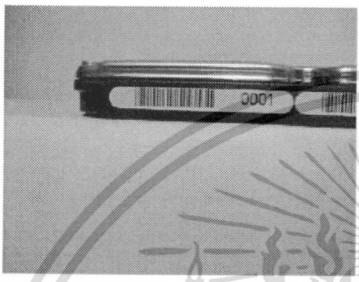
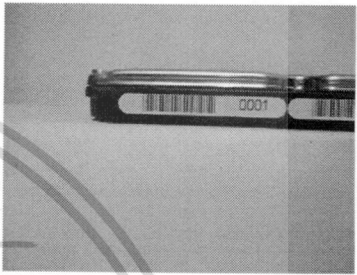
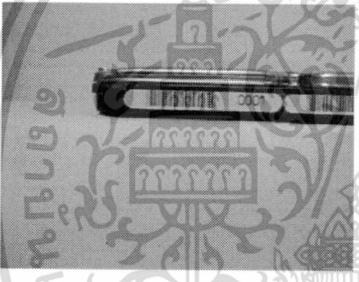

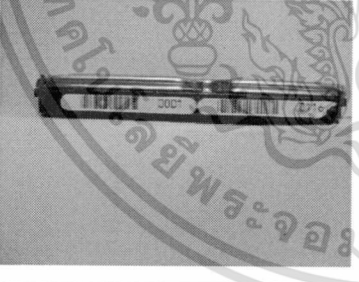

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพบาร์โค้ดที่ระยะต่าง ๆ ของกล้องเว็บแคม (Logitech Webcam C160)

ระยะห่าง (ซม.)	ภาพ	ระยะห่าง (ซม.)	ภาพ
2.0		2.5	
3.0		3.5	
4.0		4.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพบาร์โค้ดที่ระยะต่าง ๆ ของกล้องเว็บแคม (Logitech Webcam C160) (ต่อ)

ระยะห่าง(ซม.)	ภาพ	ระยะห่าง(ซม.)	ภาพ
5.0		5.5	
6.0		6.5	
7.0		7.5	
8.0		8.5	



รูปที่ 4.3 ภาพบาร์โค้ดจากกล้องดิจิตอลไมโครสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

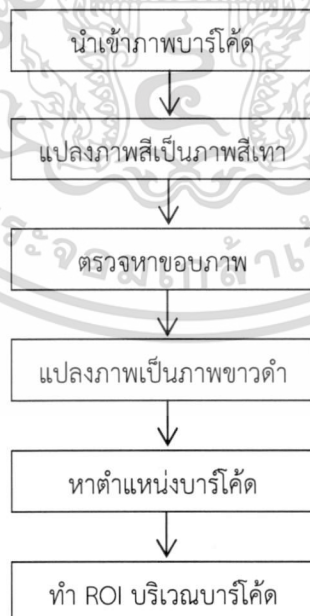
4.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อทดสอบการค้นหาบาร์โค้ดที่ได้จากการถ่ายภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติของบาร์โค้ดหนึ่งมิติที่ประกอบไปด้วยกลุ่มของเส้นตรงจำนวนมาก หากเราต้องการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดหนึ่งมิติภายในภาพ เราจะใช้ทฤษฎีการตรวจหาขอบภาพเพื่อให้สามารถหาตำแหน่งของบาร์โค้ดได้ง่ายขึ้น โดยตำแหน่งของบาร์โค้ดจะเป็นตำแหน่งที่มีกลุ่มของจำนวนเส้นตรงเป็นจำนวนมากในบริเวณเดียวกัน ซึ่งสามารถตัดสินใจได้ว่าบริเวณใดเป็นตำแหน่งบาร์โค้ดและตำแหน่งใดไม่ใช่

วิธีการทดลอง

ในกระบวนการค้นหาบาร์โค้ดภายในภาพ จะทดลองใช้เทมเพลตในการตรวจหาขอบภาพ (Edge detection) แบบต่าง ๆ เช่น Roberts operator, Laplace operator, Prewitt operator, Sobel operator และ Robinson operator Grayscale เพื่อหาเทมเพลตที่เหมาะสมในการใช้ค้นหาภาพบาร์โค้ด ในการทดลองจะใช้ภาพบาร์โค้ดในรูปที่ 4.4 ในการทดสอบตามขั้นตอนที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.4 ภาพที่ใช้ในการทดสอบหาตำแหน่งบาร์โค้ด



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 วิธีการในการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แปลงภาพที่ได้จากภาพสีเป็นภาพขาวดำ (grayscale)

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบหาขอบภาพ (Edge detection) ด้วยเทมเพลตแบบต่าง ๆ เช่น Roberts operator, Laplace operator, Prewitt operator, Sobel operator และ Robinson operator

ขั้นตอนที่ 3 แปลงภาพเป็นภาพไบนารีโดยการ threshold


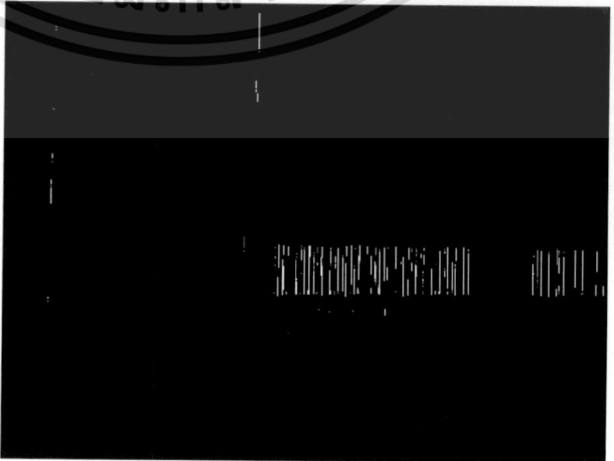
ขั้นตอนที่ 4 สแกนหาตำแหน่งของกลุ่มเส้นตรงภายในภาพ เพื่อระบุตำแหน่งบาร์โค้ด

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกภาพเฉพาะบริเวณที่เป็นตำแหน่งของบาร์โค้ด (ROI)

ผลการทดลอง

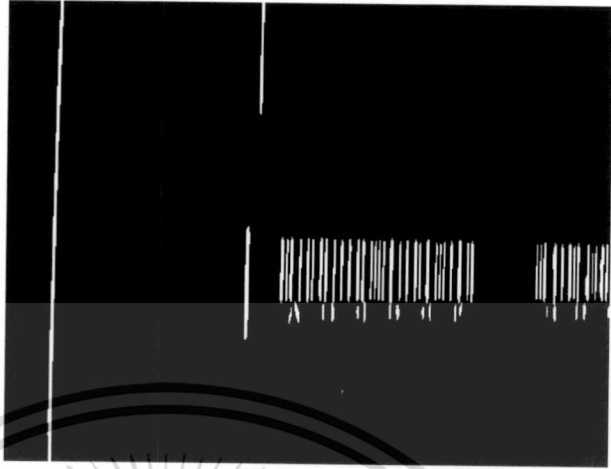


เมื่อได้ทำตามขั้นตอนในรูปที่ 4.5 เราจะได้ภาพที่ผ่านการตรวจสอบหาขอบด้วยเทมเพลตต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เพื่อตรวจสอบลักษณะของเส้นบาร์โค้ดที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบหาว่ามีลักษณะสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด สามารถใช้ในการตรวจสอบหาตำแหน่งบาร์โค้ดได้ดีหรือไม่ จากนั้นจึงทดสอบการหาตำแหน่งบาร์โค้ดจากภาพบาร์โค้ดที่ได้จากการถ่ายที่ระยะ 6 ซม. จำนวน 240 ภาพ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดด้วย Operator ต่าง ๆ

Operator	Mark	Output
Roberts	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	
Laplace	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

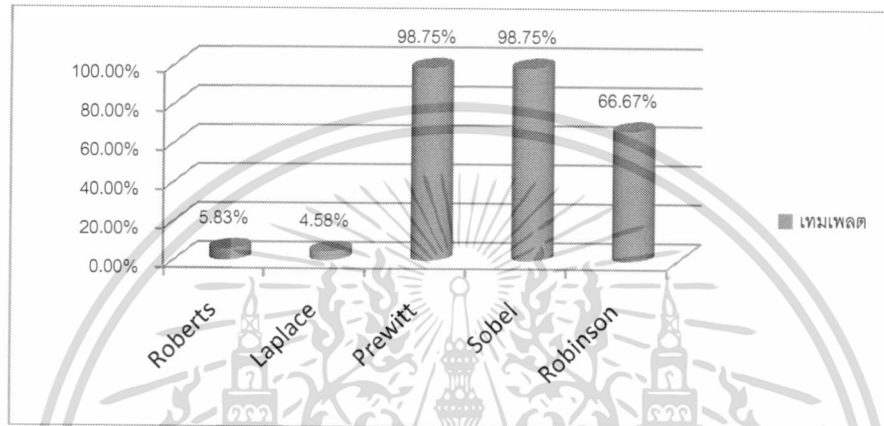
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการค้นหาค่าตำแหน่งบาร์โค้ดด้วย Operator ต่าง ๆ (ต่อ)

Operator	Mark	Output
Prewitt	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Sobel	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Robinson	$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด

Operator	จำนวนบาร์โค้ด	ค้นหาได้	เปอร์เซ็นต์
Roberts	240	14	5.83%
Laplace	240	11	4.58%
Prewit	240	237	98.75%
Sobel	240	237	98.75%
Robinson	240	160	66.67%



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตรวจพบตำแหน่งบาร์โค้ดด้วยเทมเพลตต่างๆ



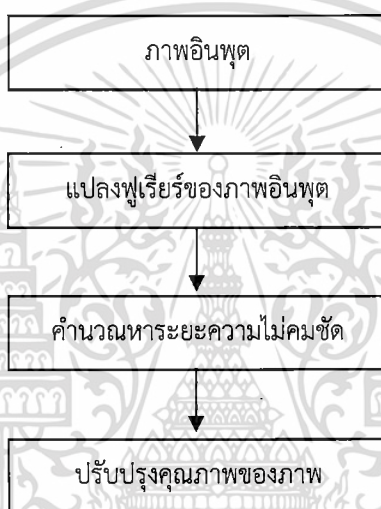
รูปที่ 4.7 ภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการค้นหาบาร์โค้ด

จากการทดลองค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดด้วย Operator ต่าง ๆ ข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการตรวจหาขอบภาพในตารางที่ 4.4 และผลการทดสอบในตารางที่ 4.5 นั้น เทมเพลตที่มีความสามารถในการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดหนึ่งมิติที่ใช้ในการทดลองนั้น คือ Prewitt operator และ Sobel operator ซึ่งสามารถค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดได้ถูกต้องคิดเป็น 98.75 % โดยที่เทมเพลตอื่น ๆ ที่เหลือนั้น สาเหตุที่ทำให้ความถูกต้องในการตรวจพบตำแหน่งบาร์โค้ดน้อยนั้นเป็นผลจากลักษณะของเส้นบาร์โค้ดที่ได้จากการตรวจหาขอบไม่สมบูรณ์เพียงพอโดยสามารถสังเกตได้จากตารางที่ 4.2 โดยเส้นมีการขาดหายไปบางส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับ Prewitt, Sobel and Robinson operator ซึ่งจะให้ภาพที่มีรายละเอียดของบาร์โค้ดสมบูรณ์กว่า ดังนั้นในการเลือก Operator ในการตรวจหาขอบภาพเราสามารถเลือกใช้ Prewitt หรือ Sobel operator ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการค้นหาบาร์โค้ดเท่ากัน

4.4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการแก้ไขปัญหาการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาการแก้ไขปัญหาการสูญเสียความคมชัดของภาพที่เกิดจากการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น โดยการสูญเสียความคมชัดของภาพจะสัมพันธ์กับความเร็วของการเคลื่อนที่ ในการสูญเสียความคมชัดนั้นเกิดขึ้นในกระบวนการถ่ายภาพหรือรับภาพเข้า โดยกล้องจะดึงภาพออกมาครั้งละ 1 เฟรมจากกล้อง ซึ่งภาพที่ได้จะมีขนาด 640x480 พิกเซล โดยการสูญเสียความคมชัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล้อง ยิ่งกล้องเคลื่อนที่เร็วมากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้ภาพสูญเสียความคมชัดมากขึ้นเท่านั้น

การปรับปรุงภาพบาร์โค้ดที่สูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่นั้น จะเกี่ยวข้องกับการหาแบบจำลองการปรับปรุงภาพและทำกระบวนการย้อนกลับเพื่อสร้างภาพกลับคืนมา โดยเขียนเป็นขั้นตอนของการปรับปรุงภาพได้แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าความไม่คมชัด ให้ระยะของความไม่คมชัด (Blur Length) มีค่าดังนี้ 5, 10, 15 และ 20 พิกเซล และทิศทางของความไม่คมชัด (Blur Direction) = 90 องศา (เนื่องจากเคลื่อนที่ทิศทางเดียว)

ขั้นตอนที่ 2 แปลงฟูรีเยร์ของภาพที่ไม่มีคมชัด โดยใช้ผลการแปลงฟูรีเยร์ $G(u,v)$ ของภาพที่ไม่มีคมชัด $g(x,y)$

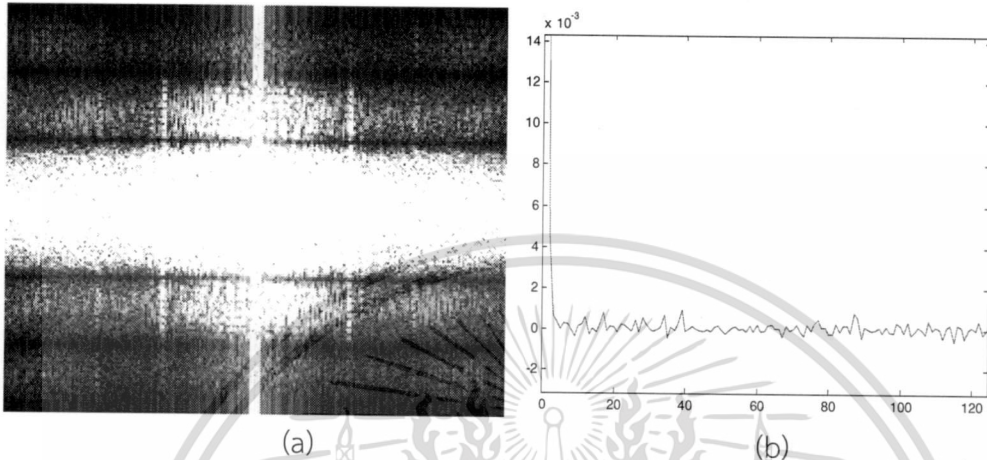
ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าระยะความไม่คมชัดของภาพ จากค่าเฉลี่ยทุกพิกเซลจากการแปลง Cepstrum domain ในสมการด้านล่าง ซึ่งระยะความไม่คมชัดของภาพ คือระยะห่างของตำแหน่งที่กราฟค่าเฉลี่ยตัดแกนศูนย์เป็นครั้งแรกจากจุดเริ่มต้น

$$C(u, v) = F^{-1}[\log(1 + |F(g(x, y))|)]$$

ซึ่ง F และ F^{-1} แทนการแปลงฟูรีเยร์ทรานฟอร์มและอินเวอร์สฟูรีเยร์ทรานฟอร์มตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้ค่าที่ทำให้เกิดการสูญเสียความคมชัด นำค่าที่ได้มาทำการปรับปรุงภาพด้วยตัวกรองเวียร์เนอร์

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \left[\frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)} \right]} \right] G(u, v)$$





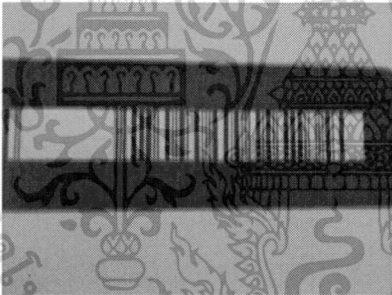

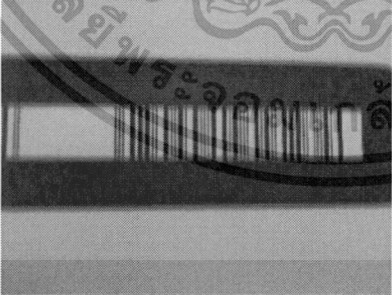

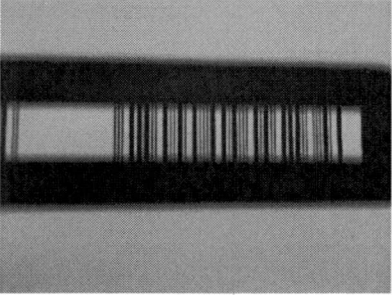
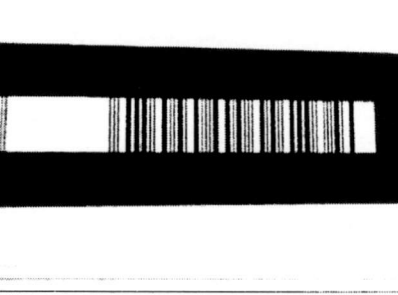
รูปที่ 4.9 (a) สเปกตรัมของภาพที่สูญเสียความคมชัด 5 พิกเซล (b) กราฟค่าเฉลี่ยตัดแกนศูนย์

ในการทดลองจะใช้ตัวอย่างบาร์โค้ดที่มีการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ซึ่งมีค่าระยะของความไม่คมชัดจำนวน 4 ค่า คือ 5, 10, 15 และ 20 พิกเซล ที่มุม 90 โดยให้มีค่าระยะของความไม่คมชัดให้ภาพที่ได้เสมือนเบลอจากการเคลื่อนที่ในทิศทางที่เรากำหนด โดยได้จำลองภาพที่สูญเสียความคมชัดด้วยโปรแกรม Matlab จากนั้นจึงนำภาพที่ได้ไปทำการกู้คืนภาพด้วยตัวกรองเวียร์เนอร์ที่เขียนขึ้นโดยภาษาซี เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมในการกู้คืนภาพ

ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 3 ได้แสดงการเปรียบเทียบผลการกู้คืนภาพที่มีการสูญเสียที่ค่าระยะของความไม่คมชัดค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งผลจากการทดลองการกู้คืนภาพที่ระยะค่าความไม่คมชัดต่าง ๆ นั้น โดยใช้เวียร์เนอร์ฟังก์ชันภาพที่ได้จากการกู้คืนภาพมีความคมชัดจนเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการกู้คืนภาพ

กำหนด		ผลการทดลอง		
Blur Length (Pixel)	Blur Direction (Degree)	Blurred Picture	Restoration Picture	Time (second)
5	90			0.378
10	90			0.388
15	90			0.367
20	90			0.370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการอ่านค่าบาร์โค้ด

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการอ่านบาร์โค้ดด้วยกล้องเว็บแคมทั้งสองที่ระยะต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาว่ากล้องแต่ละชนิดนั้น ควรจะถ่ายภาพระยะเท่าใดจึงจะได้ภาพที่มีความละเอียดเพียงพอที่จะสามารถอ่านบาร์โค้ดได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความละเอียด 640x480 พิกเซล โดยกล้องเว็บแคมจากภาพบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 4-7 ซม. และกล้องไมโครสโคปใช้ภาพที่ระยะ 9 ซม.

วิธีการทดลอง

นำภาพถ่ายบาร์โค้ดที่ระยะต่าง ๆ มาผ่านกระบวนการอ่านบาร์โค้ดด้วยซอฟต์แวร์ที่เขียนด้วย Visual C++ 2010 และไลบรารี OpenCV 2.4 โดยใช้ภาพบาร์โค้ดที่ผ่านขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดแล้ว โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 4.7

ขั้นตอนที่ 1 แปลงภาพเป็นภาพขาวดำโดยการทำให้เกรดโวลต์

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบผลการสแกนเส้นบาร์โค้ดจากซ้ายไปขวาในตำแหน่งต่างกันจำนวน 3 ครั้ง แล้วเอาค่าที่มากที่สุดจาก 2 ใน 3 เพื่อใช้ในการอ่านค่าบาร์โค้ด เนื่องจากอาจมีเส้นบาร์โค้ดในบางตำแหน่งไม่สมบูรณ์อันเป็นผลจากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องในการอ่านค่าบาร์โค้ดในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่าบาร์โค้ด Code39

ขั้นตอนที่ 4 บันทึกผลการอ่านค่าบาร์โค้ด



รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมการอ่านบาร์โค้ด

ผลการทดลอง

จากการทดลองอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่างต่าง ๆ ของกล้องเว็บแคมที่ถ่ายในตำแหน่งต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่ระยะต่าง ๆ กัน ดังนี้ คือ ระยะ 4 ซม., 5 ซม., 6 ซม. และ 7 ซม. โดยทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งต่อหนึ่งระยะห่าง ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.9 และผลการอ่านค่าบาร์โค้ดจากกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่ระยะ 9 ซม. ได้ผลตามตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 4 ซม.

ครั้งที่	จำนวนภาพ	อ่านถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
1	20	16	80%
2	20	18	85%
3	20	19	95%
4	20	17	85%
5	20	17	85%
6	20	15	75%
7	20	16	80%
8	20	14	70%
9	20	10	50%
10	20	17	85%
รวม	200	159	79.5%

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 5 ซม.

ครั้งที่	จำนวนภาพ	อ่านถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
1	20	14	70%
2	20	16	80%
3	20	14	70%
4	20	13	65%
5	20	12	60%
6	20	15	75%
7	20	15	75%
8	20	14	70%
9	20	14	70%
10	20	8	40%
รวม	200	135	67.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 6 ซม.

ครั้งที่	จำนวนภาพ	อ่านถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
1	20	10	50%
2	20	16	80%
3	20	12	60%
4	20	13	65%
5	20	6	30%
6	20	14	70%
7	20	16	80%
8	20	19	95%
9	20	15	75%
10	20	9	45%
รวม	200	130	65%

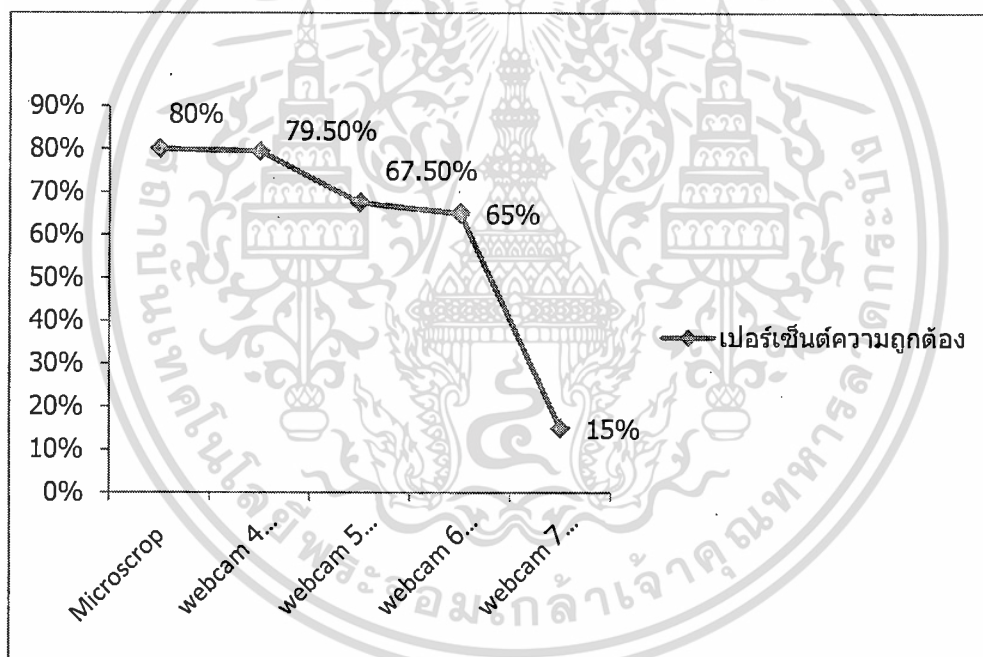
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดที่ระยะห่าง 7 ซม.

ครั้งที่	จำนวนภาพ	อ่านถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
1	20	4	20%
2	20	0	0%
3	20	5	25%
4	20	7	35%
5	20	5	25%
6	20	4	20%
7	20	0	0%
8	20	4	20%
9	20	1	5%
10	20	0	0%
รวม	200	30	15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการอ่านค่าบาร์โค้ดจากกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่ระยะห่าง 9 ซม.

ครั้งที่	จำนวนภาพ	อ่านถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
1	20	18	90%
2	20	9	45%
3	20	17	85%
4	20	18	90%
5	20	13	65%
6	20	13	65%
7	20	14	70%
8	20	18	90%
9	20	20	100%
10	20	20	100%
รวม	200	160	80%



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการอ่านค่าบาร์โค้ดของกล้องดิจิทัลไมโครสโคปและกล้องเว็บแคม

จากกราฟในรูปที่ 4.11 ทำให้ทราบว่ากล้องเว็บแคมที่ระยะ 4 ซม. และกล้องดิจิทัลไมโครสโคปนั้น มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน คือ 80% และ 79.5% ตามลำดับซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการถ่ายภาพจำนวนมาก ๆ บางครั้งขณะถ่าย กล้องอาจเคลื่อนที่ไปจากระยะโฟกัสเดิม ทำให้ภาพที่ถ่ายได้นั้นเบลอ ทำให้การอ่านค่าบาร์โค้ดในภาพนั้นผิดพลาดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติ ที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์

การทดลองนี้ จะเป็นการนำระบบอัตโนมัติในการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์จากบาร์โค้ดที่ติดอยู่ด้านหลังของบาร์โค้ด โดยระบบจะทำการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ภายในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยการถ่ายภาพ แล้วจึงนำภาพที่ได้มาประมวลผลด้วยการประมวลผลภาพ (Image Processing) แล้วจึงทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์นามสกุล .txt เพื่อนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลของเครื่องต่อไป โดยในการทดลองนี้จะเป็นการนำความรู้ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ๆ มา มาใช้ในการประยุกต์การทำงานของโปรแกรมของระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ รวมไปถึงการแก้ไขการสูญเสียความคมชัดซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของกล้องในการถ่ายภาพฮาร์ดดิสก์ในตำแหน่ง

การทดลองนี้ได้ทำการจำลองบาร์โค้ดที่ตัวฮาร์ดดิสก์ที่บรรจุอยู่ภายในตู้ทดสอบบาร์โค้ดโดยจะทำการถ่ายภาพบาร์โค้ดจำนวน 480 ภาพ การทดลองจะแบ่งเป็นการทดลองถ่ายภาพโดยหยุดการเคลื่อนที่ของกล้องแล้วจึงถ่ายภาพเพื่อให้ภาพที่ได้มีความคมชัด โดยแสดงขั้นตอนการถ่ายภาพขณะเคลื่อนที่ และขั้นตอนการถ่ายภาพโดยหยุดรอให้ถ่ายภาพเสร็จก่อนแล้วจึงเคลื่อนที่ต่อไป โดยจะทำการถ่ายแล้วหยุดจนกระทั่งครบ 480 ภาพ

ผลการทดลอง

จากการทดลองเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพของกล้องเว็บแคมจะใช้เวลาประมาณ 0.79 วินาที/ภาพ ที่ระยะ 4 ซม. ส่วนกล้องดิจิตอลไมโครสโคป 1.80 วินาที/ภาพ ที่ระยะ 9 ซม. การทดลองถ่ายภาพบาร์โค้ดเพื่อให้ทราบข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของระบบในแต่ละครั้งนั้น ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ถ่ายภาพโดยหยุดนิ่ง เนื่องจากในการสลับกล้องในการถ่ายภาพจะใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 วินาทีที่ต่อกล้อง หากเราเคลื่อนที่กล้องไปเรื่อย ๆ โดยไม่หยุดระยะเวลาที่ใช้เร็วกว่าแบบเคลื่อนที่แล้วหยุดไม่มากนักแต่ภาพที่ได้มีการสูญเสียความคมชัด อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ และต้องเสียเวลาในการแก้ไขภาพเพิ่มมากขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพในการอ่านบาร์โค้ดแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.11 ระยะเวลาในการถ่ายภาพบาร์โค้ดด้วยความเร็วต่างๆ โดยหยุดครั้งละ 10 วินาที

กล้อง	อัตราความเร็วการเคลื่อนที่กล้อง	เวลา	จำนวนบาร์โค้ด	ความถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์
เว็บแคม	1.81 ซม./วินาที	9.20 นาที	480	296	62.5 %
	1.2 ซม./วินาที	9.20 นาที	480	420	87.5 %
	0.85 ซม./วินาที	12.10 นาที	480	450	93.75 %
ดิจิตอลไมโครสโคป	1.81 ซม./วินาที	24.08 นาที	480	415	86.45%

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 จะพบว่ากล้องดิจิตอลไมโครสโคปนั้น ใช้ระยะเวลาในการถ่ายภาพนานกว่าการใช้กล้องเว็บแคมในการบันทึกภาพ ซึ่งความเร็วที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 0.85 ซม./วินาที เนื่องจากการเคลื่อนที่เร็วกว่านี้นั้นภาพที่ได้จะมีการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่มากกว่าเนื่องจากการเคลื่อนที่เร็วแล้วหยุดจะทำให้กล้องสั่น และในตำแหน่งสูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่เร็วนั้นมักทำสแต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่กล้องรับน้ำหนักของอุปกรณ์เคลื่อนที่แนวซ้ายขวาของกล้องไมไหวและเคลื่อนที่ตกลงมาทำให้การถ่ายภาพต่อจากตำแหน่งนั้นผิดพลาด

4.5 สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้เราได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการอ่านบาร์โค้ด 1 มิติ การปรับปรุงภาพที่สูญเสียความคมชัดด้วยฟิลเตอร์ ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด (Wiener Filter) และทดสอบการประยุกต์ใช้งานระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแถบรหัสแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์จากการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 ในการเลือกใช้กล้องเว็บแคมนั้น ควรใช้ระยะห่างในการถ่ายภาพในช่วง 4-6 ซม. และกล้องดิจิทัลไมโครสโคปถ่ายภาพที่ระยะห่าง 9 ซม. ซึ่งระยะการถ่ายภาพของกล้องทั้งสองสามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้อย่างมีประสิทธิภาพพอสมควรและจากค่า DOF ของกล้องทั้งสองที่อยู่ในช่วง 0.6-1.0 ซม. นั้น ทำให้เมื่อเรานำกล้องไปติดตั้งบนระบบเคลื่อนที่แล้วทำการปรับค่าระยะโฟกัสของกล้องเมื่อเครื่องทำงานในระยะต่าง ๆ ที่ทำการถ่ายภาพบาร์โค้ดหากกล้องมีการเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากตำแหน่งเดิมในระยะ 0.6-1.0 ซม. ซึ่งอาจเกิดจากการสั่นของระบบที่ทำการเคลื่อนที่หรือการเลื่อนไประบบขับเคลื่อน อันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การถูกทำให้เคลื่อนที่จากอุบัติเหตุของผู้ใช้งานเอง ภาพที่ถ่ายได้จะยังมีความคมชัดเพียงพอที่จะอ่านค่าได้

การทดลองที่ 2 การเลือกใช้เทมเพลตในกระบวนการค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ด ควรเลือกใช้เทมเพลตของ Sobel หรือ Prewitt เนื่องจากสามารถค้นหาตำแหน่งบาร์โค้ดได้ค่อนข้างแม่นยำมากที่สุด

การทดลองที่ 3 ในการปรับปรุงภาพบาร์โค้ด 1 มิติด้วยฟิลเตอร์ ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด (Wiener Filter) ในกระบวนการปรับปรุงภาพที่มีการสูญเสียไปจากการเคลื่อนที่ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้เป็นอย่างดี ดังแสดงภาพในตารางที่ 4.5 ซึ่งการปรับปรุงภาพบาร์โค้ดนั้นจะนำไปใช้ในส่วนของการอ่านค่าบาร์โค้ดด้วยซึ่งจะใช้ในกรณีที่การอ่านบาร์โค้ดครั้งแรกไม่สามารถอ่านได้ จะใช้การปรับปรุงนี้เพื่อแก้ไขภาพที่มีการเบลลออันเกิดจากการเคลื่อนที่ของกล้องในแนวตั้ง

การทดลองที่ 4 การเลือกระยะห่างในการอ่านค่าบาร์โค้ดของกล้องเว็บแคม คือ ระยะ 4 ซม. และกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่ระยะ 9 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่ภาพของบาร์โค้ดมีความละเอียดมาก และจากการทดลองนั้นยังเป็นระยะที่อ่านค่าบาร์โค้ดได้มากที่สุดอีกด้วย อันเป็นผลมาจากบาร์โค้ดที่ใช้ในการทดลองเส้นของบาร์โค้ดมีขนาดเล็กมาก หากความละเอียดไม่เพียงพอจะทำให้ค่าที่อ่านได้เกิดความผิดพลาด (Error) จากการสังเกตค่าของผลการทดลองที่ช่วงต้นและช่วงท้ายของตารางการทดลองแต่ละตาราง จะสังเกตได้ว่าเป็นตำแหน่งที่สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้ถูกต้องมากที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากเป็นตำแหน่งที่เริ่มถ่ายภาพหรือกล้องยังไม่ได้เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งใหม่ทำให้กล้องไม่มีการสั่น อันเกิดจากการเคลื่อนที่ และเมื่อทำการเคลื่อนที่กล้องเพื่อไปถ่ายในตำแหน่งใหม่นั้น ผลจากการเคลื่อนที่ของกล้องรวมไปถึงน้ำหนักของส่วนเคลื่อนที่แนวระนาบที่ค่อนข้างหนักทำให้เวลาหยุดในตำแหน่งที่จะถ่ายภาพกล้องจึงมีการสั่น ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดไม่เพียงพอ จากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าระบบที่ทำการออกแบบยังไม่เสถียรเพียงพอต้องทำการปรับปรุงให้มีการแกว่งของกล้องลดลง โดยการลดมวลของส่วนเคลื่อนที่ระนาบลง รวมไปถึงการหยุดรอให้กล้องเลิกแกว่ง (หน่วยเวลาการถ่ายภาพ) ก่อนการถ่ายภาพครั้งต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่คมชัดและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ระบบทำงานได้ช้าลง จะเห็นได้ว่าในการอ่านบาร์โค้ดนั้นได้มีการแทรกฟังก์ชันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงภาพอันเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของกล้องในแนวตั้งเข้าไปแต่ผลการอ่านยังคงไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าฟังก์ชันของการสูญเสียความคมชัดนั้นอยู่ในรูปของฟังก์ชันอื่นที่ไม่ใช่การสูญเสียจากการเคลื่อนที่

การทดลองที่ 5 ในการประยุกต์ใช้งานระบบการอ่านรหัสแท่งหนึ่งมิติที่มีการจัดเรียงแบบแถวในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้น เมื่อเทียบระยะเวลาในการถ่ายภาพของกล้องทั้งสองประเภทนั้น กล้องเว็บแคมเป็นกล้องที่ใช้เวลาในการถ่ายภาบน้อยกว่าการใช้กล้องดิจิทัลไมโครสโคปถึงเกือบเท่าตัว และประสิทธิภาพอ่านค่าบาร์โค้ดใกล้เคียงกัน ในการเลือกใช้งานจึงควรเลือกกล้องเว็บแคมจึงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากความต้องการในการนำเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติเข้ามาแทนที่การทำงานด้วยมนุษย์ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานกล้องเว็บแคมในการเก็บข้อมูลจากบาร์โค้ดในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยใช้โปรแกรม Visual C++ 2010 ร่วมกับไลบรารี OpenCV 2.4.2 ในการประมวลผลภาพ ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปผลการทำงานของระบบบาร์โค้ดอัตโนมัติได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้แบบอัตโนมัติเป็นไปตามที่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่ประสิทธิภาพที่ได้ในตอนนี้นั้นยังคงไม่สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลมาจากการออกแบบส่วนเคลื่อนที่ยังไม่มีความเหมาะสมเพียงพอจึงทำให้เกิดการสั่นของกล้อง ทำให้ภาพถ่ายที่ได้นั้นไม่สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้ถูกต้องทั้งหมด ถึงแม้จะได้เพิ่มฟังก์ชันปรับปรุงการสูญเสียความคมชัดจากการเคลื่อนที่เข้าไป แต่กลับช่วยได้ไม่มากนัก อันเป็นผลจากฟังก์ชันการสูญเสียความคมชัดไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ถึงแม้ระบบที่พัฒนายังอยู่ในขั้นต้นแบบที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องถึงร้อยละ 80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่สำหรับการนำไปใช้งานจริงยังคงต้องปรับปรุงในเรื่องของการสั่นของส่วนเคลื่อนที่ก่อนจึงจะใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

5.1 ข้อเสนอแนะ

5.1.1 ทดลองเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนและการเลื่อนแกน

5.1.2 ทดลองเปลี่ยนกล้องในการถ่ายภาพบาร์โค้ดเพื่อให้ภาพที่ได้มีความละเอียดที่มากขึ้น

5.1.3 เพื่อให้สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์นั้น เราจะต้องปรับปรุงระบบการเคลื่อนที่กล้องใหม่ให้เป็นแบบกล้องไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้จำนวนกล้องเท่ากับจำนวนบาร์โค้ดที่ต้องอ่าน เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบจากการสั่นของกล้องเวลาเคลื่อนที่ และยังช่วยลดเวลาในการเคลื่อนที่ของกล้องไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์

5.1.4 งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ใช้บาร์โค้ด 1 มิติ

5.2 ข้อบกพร่องและข้อจำกัด

5.2.1 ประสิทธิภาพของการอ่านบาร์โค้ดขึ้นอยู่กับระยะห่างและการปรับโฟกัสของกล้อง

5.2.2 การปรับปรุงภาพที่มีการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่นั้นใช้เวลาในการทำงานมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับจำนวนบาร์โค้ดแล้วทำให้เวลาในการทำงานของระบบเพิ่มมากขึ้น

5.2.3 การออกแบบระบบเคลื่อนที่ยังไม่เสถียรเพียงพอซึ่งทำให้เกิดการสั่นของกล้องขณะเคลื่อนที่ขึ้นลง ทำให้ภาพบาร์โค้ดที่ถ่ายได้มีการสูญเสียความคมชัดจนไม่สามารถอ่านค่าบาร์โค้ดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 พัฒนางานวิจัย (Future work)

- 5.3.1 การค้นหาบาร์โค้ดสามารถใช้เทคนิค Template Matching กับภาพบาร์โค้ด เป็นต้น
- 5.3.2 พัฒนาโปรแกรมการอ่านบาร์โค้ดในโทรศัพท์เคลื่อนที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- วิโรจน์ งามอาจ. การประมวลผลภาพวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยโพลีเมอร์จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- NattikaHattakam, WanuchWongniyom, RawinChinnasot. ทฤษฎีการหาจุดเปลี่ยนของภาพวีดีโอ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2549.
- Danupondotcom. “ระบบสี RGB” .
<http://www.danupon.com/project/chapterproject.doc> .
- กาญจนา เรืองธนาบุรุษ, นางสาวณัฐธิดา สีสม. “การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม”, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2550.
- Chunhui Zhang, Jian Wang, Shi Han, Mo Yi, Zhengyou Zhang. “Automatic real-time barcode localization in complex scenes.”, 2006 IEEE International Conference on Image Processing, 8-11 Oct. 2006, pp. 497 – 500
- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing.”, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2002.
- Xianyong Fang, Fuli Wu, Bin Luo, Haifeng Zhao, Peng Wang. “Automatic recognition of noisy code-39 barcode”, 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Nov. 2006, pp. 79 – 82.
- Federico Tombari, Luigi Di Stefano, Stefano Mattoccia and Angelo Galanti. “Performance Evaluation Of Robust Matching Measures.”, VISAPP, 2008
- “Grayscale Images”, <http://www.cpe.ku.ac.th/~jan/204496/imagetype.pdf>
- “BARCODE หรือ รหัสแท่ง”, <http://gotoknow.org/blog/agrocmu/82220>
- “BARCODE”, <http://de.wikipedia.org/wiki/Barcode>
- “BARCODE SYMBOLOGIES”, <http://www.barcodeisland.com/symbolgy.phtml>
- Muniz R., Junco L., Otero A. “A robust software barcode reader using the Hough Transform.”, Proceedings of 1999 International Conference on Information Intelligence and Systems, 31 Oct.-3 Nov. 1999 pp. 313 – 319.
- Ohbuchi E., Hanaizumi H., Hock L.A., “Barcode readers using the camera device in mobile phones.”, 2004 International Conference on Cyberworlds, 18-20 Nov. 2004 pp. 260 – 265.
- Yang Chen, Zhaoxuan Yang, Zhuofu Bai, Jiapeng Wu. “Simultaneous Real-Time Segmentation of Diversified Barcode Symbols in Complex Background.”, 2008 First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 1-3 Nov. 2008 pp. 527-530



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

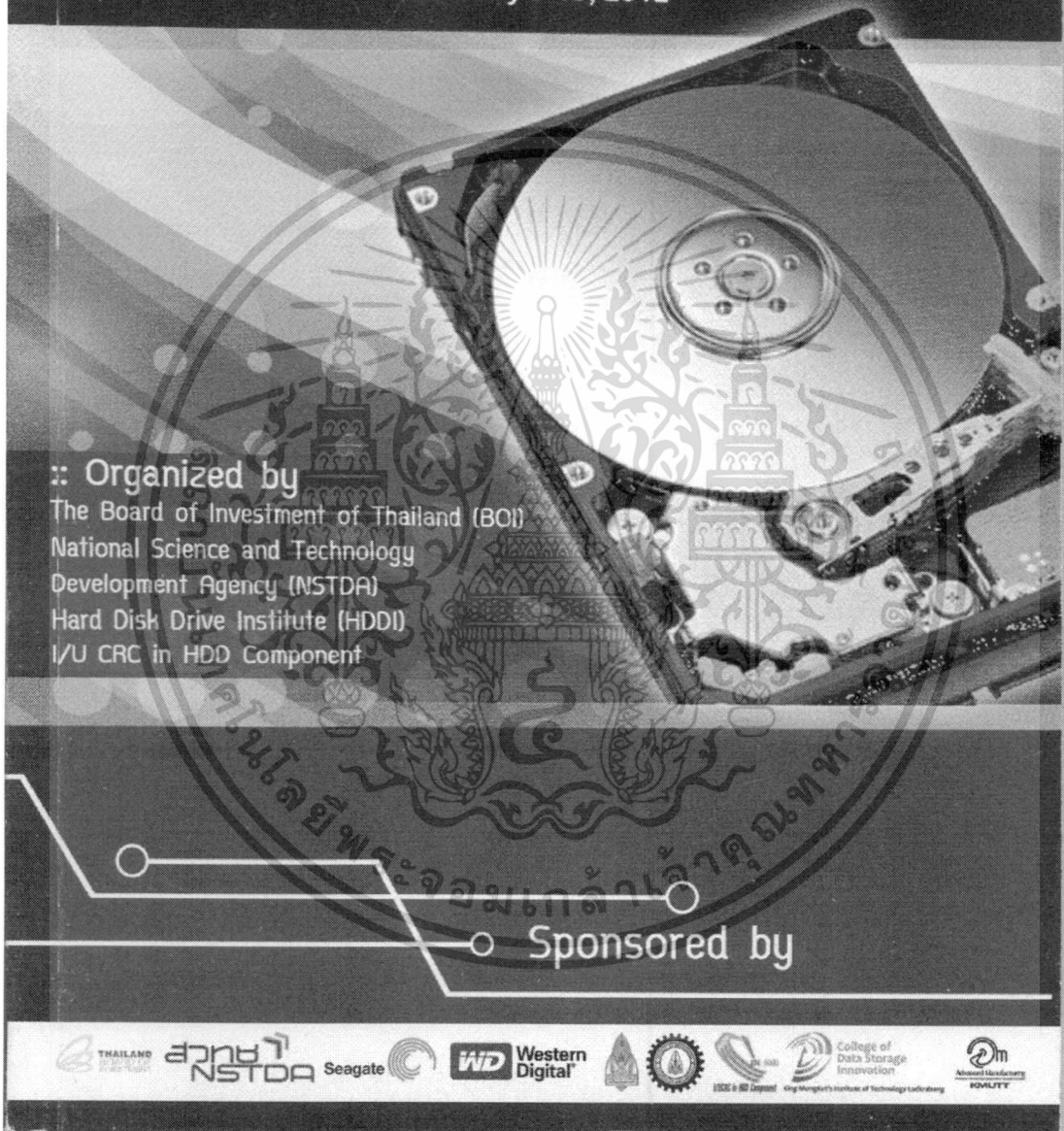
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DST-CON 2011

The 4th International Data Storage Technology Conference

Thailand – The paragon of the world's HDD manufacturing

IMPACT Convention Center (Hall 9)
Muangthong Thani, Nonthaburi, Thailand
January 9-10, 2012



Organized by
The Board of Investment of Thailand (BOI)
National Science and Technology
Development Agency (NSTDA)
Hard Disk Drive Institute (HDDI)
I/U CRC in HDD Component

Sponsored by

THAILAND BOARD OF INVESTMENT (BOI) | NSTDA | Seagate | WD Western Digital | | | College of Data Storage Innovation | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACD11

Title: Application of Code39 Barcode Recognition on Web-camera

Author: ¹Chavalit Chiangpiw
²Somsak Choomchuay

Affiliation: ¹College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

²Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

E-mail: ¹nookmts41@gmail.com
²kchsomsa@kmitl.ac.th

Abstract: Barcode is worldwide used, for keep data of product that attach it. We can see barcode in everywhere. This paper proposes a technique and implementation of reading barcodes (Code39) by web-camera. This algorithm is robust for real-time recognition of the codes. The algorithm can be divided into four part: Barcode Localization, Image pre-processing, Reconstruct barcode and Image decoding. Experimental results showed the accuracy of the proposed method for reading barcode.

Application of Code39 Barcode Recognition on Web-camera

Chavalit Chiangpiw¹ and Somsak Choomchuay²

¹College of Data Storage Innovation,

²Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

¹E-mail: nookmtts41@gmail.com

²E-mail: kchsomsa@kmitl.ac.th

Abstract—Barcode is worldwide used, it is used for keeping data of products which seen in everywhere. This paper proposes a technique and implementation of reading barcodes (Code39) by web-camera. This algorithm is robust for real-time recognition of the codes. The algorithm can be divided into four part: Barcode Localization, Image pre-processing, Reconstruct barcode and Image decoding. Experimental results showed the accuracy of the proposed method for reading barcode.

Keywords—Code39; Image processing; Web-camera; Barcode Localization; Reconstruct Barcode

I. INTRODUCTION

Nowadays, barcodes have been used in many kind of products like in the books, newspapers and hard disk drive that used for keeps the data of product. Originally, barcodes are read by laser-scanners or LED scanners which used in supermarket, book store and so on. But, it has limitation of scan to the targeted area as the result show the unclear outcome. The key concern is how to read barcode in the robust area. We can solve this problem by using camera to capture the image then read it by digital image processing. Camera-base readers, barcode reader are mostly used recently. The simply product we can see is the camera mobile phone which has reading barcode. The barcode will be linked to the website or to add pin of mobile phone.

There are many techniques for help reading barcode such as searching barcode by Hough Transform[1], jointly estimate texture and shape for barcode localization[2], Restoration motion blur barcode by Wiener filter[3]. In this paper will show only Code39 linear reading barcode.

In this paper, we present an image processing algorithm which relies on knowledge about structure and appearance of 1D barcodes. We use the characteristic of 1D barcode for help to decoding barcode such as amount of line in barcode, width of barcode.

II. CODE39 OVERVIEW

Code39 (also known as Alpha39, Code 3 of 9, Code 3/9, Type 39, USS Code 39, or USD-3) is one of other linear barcodes that invented in 1974. It is an easy to use for keep alpha-numerical. The Code 39 specification defines 43 characters, consisting of uppercase letters (A through Z),

numeric digits (0 through 9) and a number of special characters (-, ., \$, /, +, %, and space). The characteristic of this code is included black and white bar array alternate. We call Code39 because each character consist of 9 bars (black and white bars) and three of them are wider than the others. The width ratio between narrow and wide can be chosen between 1:2 and 1:3. There is also a start and stop character, commonly represented as an asterisk (*).

In industrial bar coding systems, it is Code39 that is most frequently used, although it is more widespread in the U.S. than Europe and elsewhere.



Fig. 1 Code 39 barcode

III. READING BARCODE ALGORITHMS

In this section, we present algorithm that used in reading barcode which can be shown as follow Fig.2.

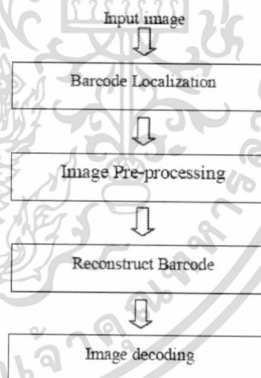
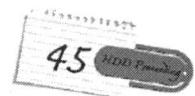


Fig. 2 The procedure of Reading Barcode

HDD Proceeding



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. Barcode Localization

This process show how to find barcode in image and focus only location barcode.

1) Gray-scale processing: To convert any colour to a grayscale representation of its luminance, first one must obtain the values of its red, green, and blue (RGB) primaries in linear intensity encoding, by gamma expansion. Then, add together 30% of the red value, 59% of the green value, and 11% of the blue value by use the relationship between gray scale and RGB,

$$Y = 0.299R + 0.578G + 0.114B \tag{1}$$

2) Edge detection: for detect edge pixels. Edge detection algorithm usually utilizes the first or second order derivative of the image function to detect the discontinuity in gray values. Due to a barcode is made up of vertical lines. Hence using only the vertical edge detection kernel (Example Prewitt, Robert and Sobel) to detect barcode. Sobel detector is selected for edge detection of a barcode. The gradient of $f(x,y)$ is computed as:

$$g(x,y) = w * f(x,y) \tag{2}$$

Where $f(x,y)$ and $g(x,y)$ are the input image and gradient, respectively. 'w' is mask of Sobel detector and '*' is convolution operator.

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

Fig.3 Vertical Sobel mask

3) Extract barcode: barcode consist of many vertical lines. There for, we count the number of edges in image, and the barcode is the biggest number of edges.



(a)



(b)



(c)

Fig.4 Barcode Localization. (a) Grey-Scale image (b) Result of function edge using a vertical Sobel mask. (c) Image after extract barcode.

B. Image Pre-processing

This process is preparing image before decoding barcode. In order to make the image become clearer because the disadvantage of CMOS camera is higher level of noise by approximately one degree of magnitude. To reduce of effect of CMOS camera, we have to enhancement the image. We used the second derivative(the Laplacian) for image sharpening. Thus, the basic way in which we use the Laplacian for image sharpening is

$$g(x,y) = f(x,y) + c[\nabla^2 f(x,y)] \tag{3}$$

Where $f(x,y)$ and $g(x,y)$ are the input and sharpened images, respectively. The constant is $c = -1$ where the Laplacian filters is

$$\nabla^2 f(x,y) = f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x+1,y) + f(x,y-1) - 4f(x,y) \tag{4}$$



Fig.5 Result of using image sharpening

After that, upscale (zoom in) the image for increase the gap of barcode. Result of this process will decrease the error of decoding barcode.

C. Reading barcode

After Image Pre-processing, we have to convert the grey-scale image is turned into binary (black and white) image through the thresholding. The binary barcode image have occurred distortion during the thresholding. Some lines of barcode become white or partly of line become white. Sometime lines nearly merge become wider. We should image restoration or reconstruct the bar as same as model barcode before decoding. Fist, count black pixels in every vertical line and compare with the threshold values that should have values more than half of line barcode. Turning every pixel black or white according to whether its sum values in vertical line greater than or less than threshold value:

A vertical line becomes $\begin{cases} \text{white if sum of its values} < T \\ \text{black if sum of its values} \geq T \end{cases}$

The result shown in Fig.6 that we can reconstruct barcode as same as model barcode. Finally, scan value in one row from left to right of barcode and recode a value of each



HDD Proceeding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

distance of vertical line barcode then used the Code-39 coding table [6] for decoding the barcode.

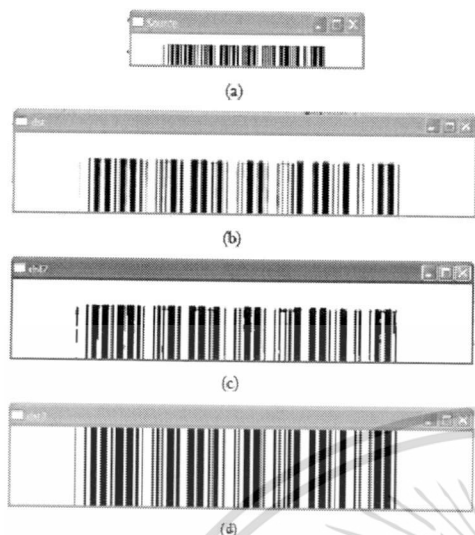


Fig. 7 Show process C : (a) Original Image size.
(b) Resize imaged (zoom in 2X).
(c) Result of using thresholding image. (d) Reconstruct barcode.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Implementation was done on Intel Core2 Duo 1.66 GHz running Windows XP with RAM 2 GB. We used USB web-camera (Logitech Webcam C200; VGA Sensor (640x480 pixels), manual focus, and video capture 30 frames/sec). In range 6 cm. - 3 cm. between barcode and web-camera. We used Visual C++ 2008 and OpenCV library for Enhancement and decoding barcode.

We tested our system on 300 images that captured from original barcode and printed barcode by laser printer. We test the manual capture image by hand that give effect of noise greater than capture by static capture without used light help for take photograph. The results shown in Table 1.

TABLE I
Result of Reading Barcode

Type Barcode	Total	Failed
Original barcode	100	9
Printed barcode	150	3

Among the 300 images, 12 of them can't be decoded correctly, with an average recognition 96%. The error could happen for many reasons, including out of focus blur, difficult lighting, etc.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this paper we presented an algorithm for barcode recognition by web-camera. That show in experimental result, that accuracy and useful. In future we will improve algorithm for removing motion blur from barcode image and accuracy.

ACKNOWLEDGMENT

This work is financially supported by College of Data Storage Technology Innovations (DSTAR), Institute of Technology Ladkrabang (KMILT), and the National Electronics and Computer Technology (NECTEC) under the National Sciences and Technology Development Agency (NSTDA), Grant No. HDD-01-52-12M. Authors would like to thank Hitachi Global Storage Technologies for facility provision.

REFERENCES

- [1] Miniz R., Junco L. and Otero A., "A Robust Software Barcode Reader Using the Hough Transform", Proceedings of 1999 Information Intelligence and Systems, 1999, pp.313-319
- [2] Chunhui Zhang, Jian Wang, Shi Han, Mo Yi and Zhengyou Zhang, "Automatic Real-Time Barcode Localization in Complex scenes", ICIP 2006
- [3] Chung-Hua Chu, De-Nian Yang and Ming-Syan Chen, "EXTRACTING BARCODES FROM A CAMERA-SHAKEN IMAGE ON CAMERA PHONES", ICME 2007
- [4] Xianrong Fang, Fuli Wu, Bin Luo, Haifeng Zhao and Peng Wang, "Automatic Recognition of Noise Code 39 Barcode", ICAT 2006
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing 3rd Edition", Prentice-Hall Publishing, 2002.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Code_39

HDD Proceeding



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract of ITC-CSCC 2012

International Technical Conference
on Circuits/Systems, Computers
and Communications

July 15 – 18, 2012

Sapporo Convention Center

Sapporo, Japan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACTS

IEICE ESS/IEEK/ECTI

International Technical Conference
on Circuits/Systems, Computers and Communications 2012

ITC-CSCC 2012

July 15 – 18, 2012

Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan

Official WEB site: <http://www.knt.co.jp/ec/2012/itc-cscc/>

Sponsored by

Engineering Science Society of
the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE ESS), Japan
The Institute of Electronics Engineers of Korea (IEEK), Korea
The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications
and Information Technology Association of Thailand (ECTI), Thailand
Hokkaido University, Graduate School of Information Science and Technology, Japan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F-T3-04 An implementation of ROS scheme for video broadcasting over a single channel

Chen-Ching Hsieh, *Tatung University, Taiwan*
 Hsiang-Wei Chen, *Tatung University, Taiwan*
 Bo-Sheng Wu, *Tatung University, Taiwan*

Reverse order scheduling (ROS) scheme partitions the video into equal-length segments and divides these segments into groups. Segments in the same group are broadcast over the same subchannel in reverse order of their indices. The main contribution of the ROS scheme is to exhibit not only a shorter waiting time but also a smaller buffer requirement. The system could be divided into three parts: client, ROS server, and streaming server. The ROS server is listening the requests from clients and then issues command to streaming server to send ROS videos to clients for play.

Tuesday

F-T3-05 Interfacing External World to Android Powered Device

Kuo-Chen Lang, *Nan-Kai University of Technology, Taiwan*
 Hui-Kang Teng, *Nan-Kai University of Technology, Taiwan*

An interface between Android cell phone and external world by taking the advantages of Android IOIO is demonstrated experimentally. The hardware and software is described in this report while the capability of human-machine interface is presented.

F-T3-06 Application of Code39 Barcode Recognition on Web-camera

Chavalit Chiangpiw, *King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand*
 Somsak Choomchuay, *King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand*

This paper proposes a technique and implementation of reading barcodes (Code39) by using a web-camera. The implementation is cost-effective whilst the algorithm is proved to be robust for real-time recognition. The technic works well even the motion-blurred image. The main technique for barcode images restoration is the use of Wiener filter and point spread function (PSF) parameters. The performance of our system is 99.1% decode at resolution 640x480 of VGA sensor.

Application of Code39 Barcode Recognition on Web-camera

Chavalit Chiangpiw¹ and Somsak Choomechuay²

¹College of Data Storage Innovation,
²Division of Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

¹E-mail: nookmatts41@gmail.com

²E-mail: kchsomsa@kmitl.ac.th

Abstract— This paper proposes a technique and implementation of reading barcodes (Code39) by using a web-camera. The implementation is cost-effective whilst the algorithm is proved to be robust for real-time recognition. The technic works well even the motion-blurred image. The main technique for barcode images restoration is the use of Wiener filter and point spread function (PSF) parameters. The performance of our system is 99.1% decode at resolution 640x480 of VGA sensor.

Keywords— Code39, Image processing, PSF, Wiener filter, Web-camera.

I. INTRODUCTION

Nowadays, barcodes have been used in many products in supermarkets, books, newspapers and even hard disk drives. A barcode is simply a compact information tag. Originally, barcodes are read by laser-scanners or LED scanners as commonly seen in supermarket, book store and so on. Such applications some limitation of uncertain reading that we can see the operators have to perform re-scanning. From time to time the double scans are usually found. There could be some causes of errors; for instances, the smudge and/or barcode, the nature and the condition of object's surface that a barcode is attached to or printed on, and the size of the barcode itself. The key concern is how to read barcode robustly. Those drawbacks can be remedied in many ways. However, in summary those can be 1) Control the quality of the barcode 2) control the consistency of the image acquisition and 3) the use of an efficient algorithm. The use of web-cam as a barcode reader becomes more popular lately; especially when a reader is integrated with a smartphone. Camera-base readers, as new kind of barcode reader, have recently gained much attention. Such as used mobile camera for read barcode of product after that link to the website or used to add pin of another mobile. Very fortunate these kinds of application do not require the reading rate. Web-cam is fairly cheap in cost. It has been designed for low frame rate (typ. 30 fps or less). As such it is quite interesting if we can make use of this type of camera to other applications that need consistency and/or speed.

In this work, we have investigated the use of web-cam 1-D barcode reading to an industrial application that reading speed is required. A common method that a barcode can be extracted from the background is how to specify rightly the barcode

location. There are few procedures for barcode localization and reading such as: searching local barcode by Hough Transform [1], jointly estimate texture and shape for barcode localization [2], Restoration motion blur barcode by Wiener filter [3]. In this paper will show only linear barcode reading (Code39) and how to restore image from a camera-shaken image.

The rest of this paper is organized as follows: The Code39 structure is reviewed in the next section (section II). In section III, image acquisition procedure as well as image restoration are given in brief. Section IV will detail the obtained result. The conclusion is finally made in section V.

II. CODE39 OVERVIEW

Code39 (also known as Alpha39, Code 3 of 9, Code 3/9, Type 39, USS Code 39, or USD-3) is one of other linear barcodes that invented in 1974. It is an easy protocol to keep alpha-numerical. The Code 39 specification defines 43 characters, consisting of uppercase letters (A through Z), numeric digits (0 through 9) and a number of special characters (-, ., \$, /, +, %, and space). The characteristic of this code is included black and white bar array alternate. We call Code39 because each character requires 9 bars for encoding (black and white bars) and three of them are wider than the others. The width ratio between narrow and wide can be chosen between 1:2 and 1:3. There is also a start and stop character, commonly represented as an asterisk (*).

In industrial bar coding systems, it is Code39 that is most frequently used, although it is more widespread in the U.S. than Europe and elsewhere.



Fig. 1 Code 39 barcode

III. READING BARCODE ALGORITHMS

In this section, we present algorithm that used in reading barcode which can be shown as follow Fig. 1.

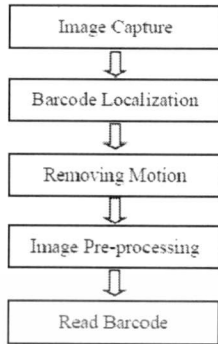


Fig. 1 The procedure of Reading Barcode

A. Barcode Localization

This process show how to find barcode in image and focus only location barcode.

1) Grey-scale processing: To convert any colour to a grey scale representation of its luminance, first one must obtain the values of its red, green, and blue (RGB) primaries in linear intensity encoding, by gamma expansion. Then, add together 30% of the red value, 59% of the green value, and 11% of the blue value by use the relationship between grey scale and RGB.

$$Y = 0.299R + 0.578G + 0.114B \quad (1)$$

2) Edge detection: for detect edge pixels. Edge detection algorithm usually utilizes the first or second order derivative of the image function to detect the discontinuity in grey scale values. Since a barcode is made up of vertical lines, it is possible to use only the vertical edge detection kernel (Example Prewitt, Robert and Sobel) to detect barcode. In this work, a Sobel detector is selected. The gradient of $f(x,y)$ is computed as:

$$g(x,y) = w * f(x,y) \quad (2)$$

Where $f(x,y)$ and $g(x,y)$ are the input image and gradient, respectively. 'w' is mask of Sobel detector and '*' denotes convolution operator.

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

Fig.3 Sobel Horizontal Edge detection mask.

3) Extract barcode: barcode consist of many vertical lines.

Therefore, we count the number of edges in image, and the barcode is the biggest number of edges.

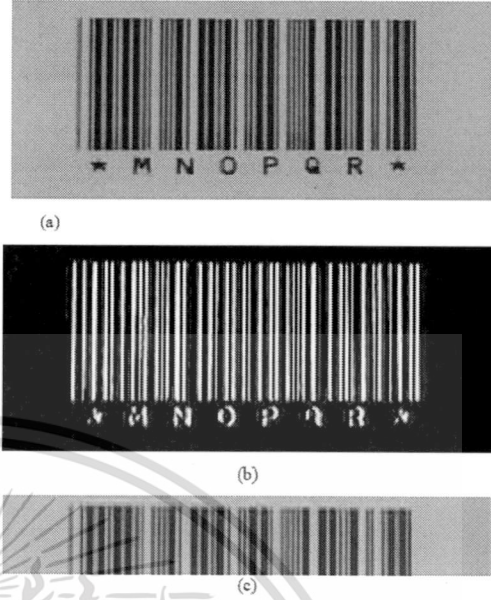


Fig.4 Barcode Localization. (a) Grey-Scale image. (b) Result of function edge using a vertical Sobel mask. (c) Image after extract barcode.

B. Removing Motion blur

Image degradation model were taken from ones published by Lokhande [4] and Tanaka [5] as well as resource provided by wiki [6]. The functions were re-written in C language. Fig.3 shows, the blurring process is model of image degradation [6]. That, together with an additive noise term, operates on an input image $f(x,y)$ to produce a degraded image $g(x,y)$. The degraded image is given in the spatial domain and frequency domain as follows respectively,

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) + n(x,y) \quad (3)$$

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + n(u,v) \quad (4)$$

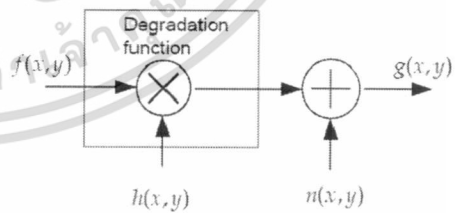


Fig. 3. The model of image blurring process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If $f(x, y)$ is the PSF (point spreading function) that can be formulated using the blur length L and the blur direction (θ).

$$h(x, y) = \frac{1}{L} \prod_L (x \cos \theta + y \sin \theta) \quad (5)$$

where $\prod_L(u)$ is a rectangle function defined by:

$$\prod_L(u) = 1; (|u| \leq L/2) \text{ and } \prod_L(u) = 0; (|u| > L/2).$$

The blur parameters (angle and length) can be easily extracted in the Cepstrum domain [3] defined as.

$$C(u, v) = \log(1 + |G(u, v)|) \quad (6)$$

Hough transform is used to detect the maximum value accumulator array which corresponds to blur direction in the log spectrum of $G(u, v)$. The resulted angle is employed to rotate $C(u, v)$ to its opposite direction and $C'(u, v)$ is obtained. Next, calculate the average of all pixels in $C'(i, j)$. Finally, calculate the first zero crossing of the real part $C'(i, j)$, which corresponds to the blur length.

C. Image Restoration and Pre-processing

Similar to others [7] we used Wiener filter [8] to restore the blurred image. Without loss of generality, it is also assumed that the noise has zero mean. The Wiener filter is defined as follows.

$$F(i, j) = \frac{H^*(i, j)}{|H(i, j)|^2 + \frac{S_n(i, j)}{S_f(i, j)}} G(i, j) \quad (7)$$

Here $H(i, j)$ is the frequency domain of $h(i, j)$, $H^*(i, j)$ is the complex conjugate of $H(i, j)$, $|H(i, j)|^2$ is equal to $H^*(i, j)H(i, j)$, S_f/S_n are the power spectrum of the original image and noise, respectively. The S_f/S_n or SNR is unknown variable that can approximate this variable, where the value approximate is larger than or equal to the height of the distorted image

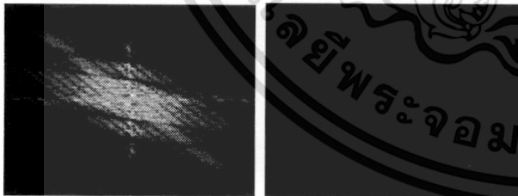


Fig. 4. (a) Spectrum of blurred barcode (b) Cepstrum of blurred barcode

This process is prepared image before decoding barcode. In order to make the image become clearer, we should

sharpening process and zoom 2X image for increase gap of barcode. Result of this process will decrease the error of decoding barcode.

D. Reading barcode

After Image Pre-processing, we have to convert the grey-scale image to binary (black and white) image through the thresholding. The binary barcode image have occurred distortion during the thresholding. Some lines of barcode become white or partly of line become white. Sometime lines nearly merge become wider. We have scanned the barcode for three times in difference places (Fig.6). Those tree results are then selected firstly based on majority vote and if the majority vote is fail then the average value is employed.

$$\text{Select value} = \begin{cases} \text{Majority vote (2 / 3)} \\ \text{Average value} \end{cases}$$

Shown in Fig. 7 are barcode image taken from some step of the whole process.



Fig. 6 Scan line direction.

In our investigation, barcodes were attached to goods that piled up in a stack form. We did scan one row at a time; from left to right and from top to bottom. Code-39 coding table [6] has been used for decoding the barcode.



Fig. 7 Barcode at different step: (a) Original Image size. (b) Resized image (zoom in 2X). (c) Result of using thresholding image. (d) Reconstruct barcode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The above discussed code 39 decoding scheme was implemented on Intel Core2 Duo 1.66 GHz with Windows XP with RAM 2 GB. We used USB web-camera (Logitech Webcam C200: VGA Sensor (640x480 pixels), manual focus and video capture 30 frames/sec). The distance of 6 cm. - 3 cm. between barcode and web-camera were set. We used Visual C++ 2008 and OpenCV library for Enhancement and decoding barcode.

We tested our system with 332 images captured from printed barcode. The reading result is shown in Table 1.

TABLE I
Result of Reading Barcode

Type Barcode	Total	Failed	Error (%)	Process Time
Printed barcode	332	3	0.9%	12 second

Among the 332 images, 3 of them cannot be decoded correctly. This gives the recognition rate of 99.1%. The error could happen for many reasons, including out of focus blur, difficult lighting, etc.

V. CONCLUSIONS

In this paper we presented an algorithm for barcode recognition by using a web-camera. The result has convinced us well the use of low profile camera in visual inspection application. The reading speed is much faster than that of man inspection (with a handheld reader). However we can increase the reading speed as well as decrease the hardware cost by replacing a pc with microcontrollers. On one hand we can even boost up the speed by making use of parallel processing

instead of the current serial processing. On the other hand, we have to pay for the cost of multiple cameras.

ACKNOWLEDGMENT

This work is financially supported by College of Data Storage Technology Innovations (DSTAR), Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), and the National Electronics and Computer Technology (NECTEC) under the National Sciences and Technology Development Agency (NSTDA), Grant No. HDD-01-52-12M. Authors would like to thank Hitachi Global Storage Technologies for facility provision.

REFERENCES

- [1] Muniz R., Junco L. and Otero A., "A Robust Software Barcode Reader Using the Hough Transform," Proceedings of 1999 Information Intelligence and Systems, 1999, pp.313-319.
- [2] Chunhui Zhang, Jian Wang, Shi Han, Mo Yi and Zhengyou Zhang., "Automatic Real-Time Barcode Localization in Complex scenes," In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2006), pp.497-500.
- [3] Chung-Hua Chu, De-Nian Yang and Ming-Syan Chen., "EXTRACTING BARCODES FROM A CAMERA-SHAKEN IMAGE ON CAMERA PHONES," ICME 2007.
- [4] R. Lokhonde, K.V.Arya and P.Gupta. "Identification of parameter and restoration of motion blurred image," Proceeding of ACM Symposium on Applied Computer, 2006.
- [5] M.Tanak, K. Yoneji. and M. Okutomi, "Motion Blur Parameter Identification from a Linearly Blur Image," 1-4222-0763-X/07, IEEE Xplore 2007.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Code_39.
- [7] Xianyong Fang, Fujii Wu, Bin Luo, Haifeng Zhao and Peng Wang. "Automatic Recognition of Noise Code 39 Barcode." ICAT 2006.
- [8] R.C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing 3rd Edition," Prentice-Hall Publishing, 2002.



ภาคผนวก ข
การติดตั้งโปรแกรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การติดตั้งโปรแกรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

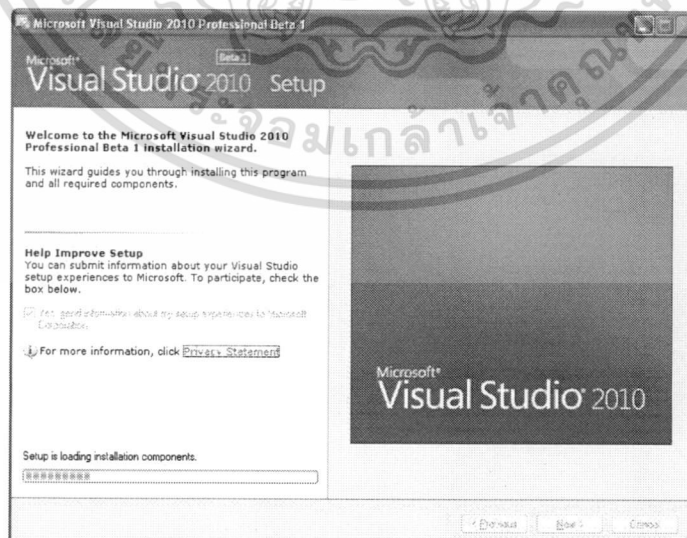
ในภาคผนวก ข นี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ Microsoft Visual Studio 2010และการใช้งานร่วมกับไลบรารี OpenCV 4.2

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010

1. เมื่อเริ่ม Install จะปรากฏหน้าต่างดังรูปให้เลือก Install Microsoft Visual Studio 2010

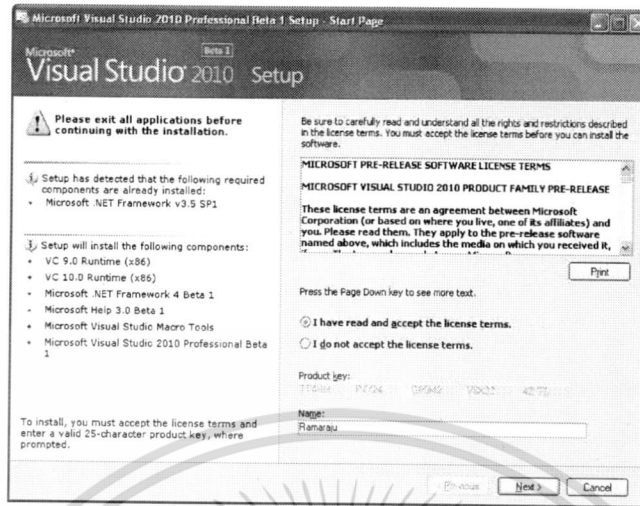


2. โปรแกรมจะเริ่มเตรียมการติดตั้ง

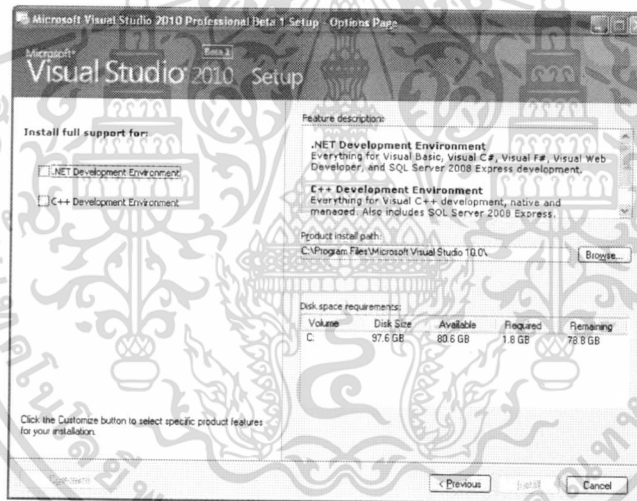


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

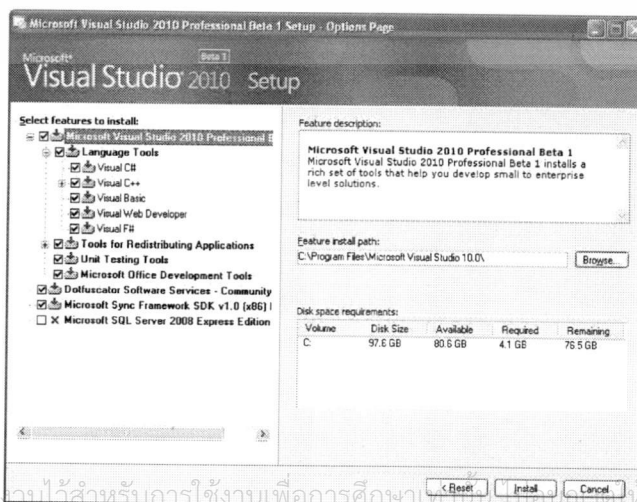
3. เลือก I have read and accept the license terms แล้วเลือก Next



4. เลือกตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม(Product Install path)

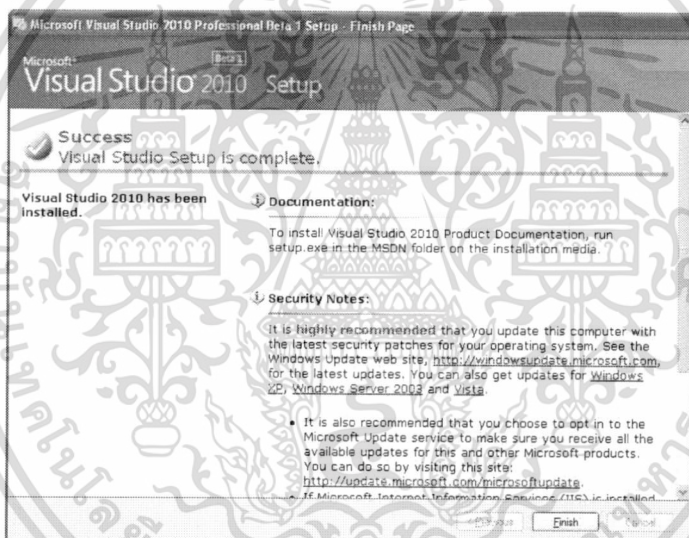
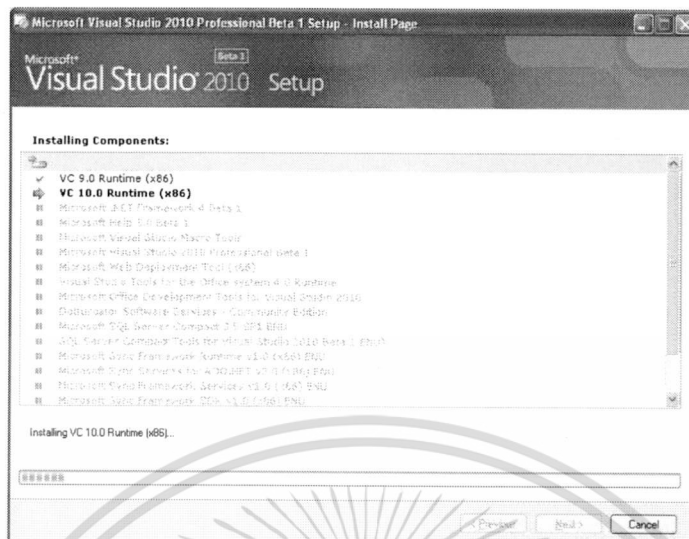


5. เลือกโปรแกรมที่จะติดตั้งตามความเหมาะสม หรือเลือกติดตั้งตามมาตรฐานจากนั้นเลือก Install



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

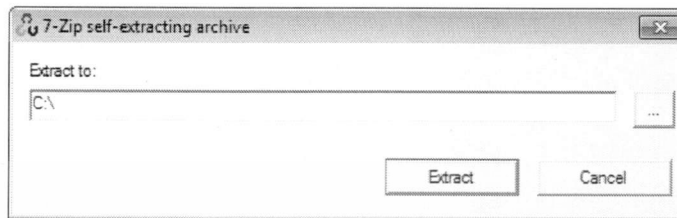
6. รออนการติดตั้งโปรแกรมติดตั้งเสร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการติดตั้งไลบรารี OpenCV 2.4.2

1. ดาวน์โหลดไลบรารี OpenCV 2.4.2 จากเว็บไซต์ sourceforge.net จากนั้นจึงเลือกตำแหน่งไดเรกทอรีเป็น C:\OpenCV2.4.2 เพื่อเก็บไฟล์ต่าง ๆ ของเช่น ไฟล์ header, ไฟล์ไลบรารี และ โค้ดตัวอย่าง เป็นต้น

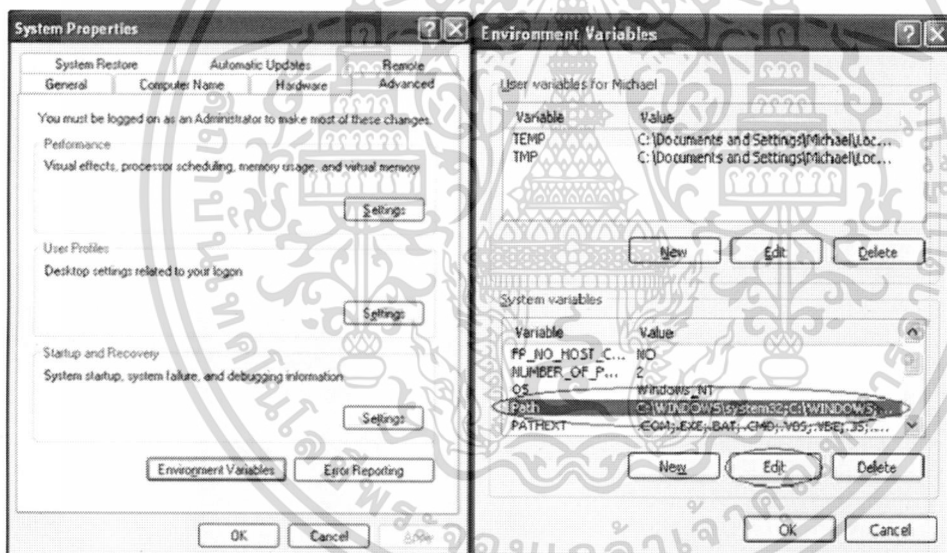


2. ทำการเพิ่มไดเรกทอรีต่อไปนี้

C:\OpenCV2.4.2\opencv\build\x86\vc10\bin

C:\OpenCV2.4.2\opencv\build\common\tbb\ia32\vc10

ใน System PATH. ซึ่งเป็นไดเรกทอรีที่เก็บไฟล์ OpenCV DLLs ต่าง ๆ

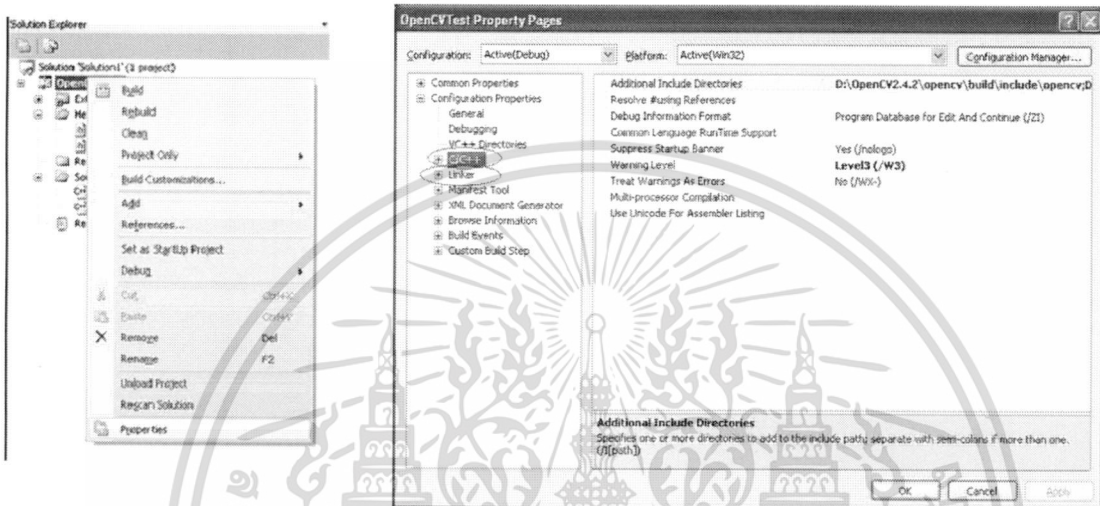


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งาน Microsoft Visual C++ 2010 ร่วมกับ ไลบรารี OpenCV 2.4

ทำการกำหนดค่า Property ของ Project ที่สร้างขึ้น โดยจะมีการตั้งค่า 2 ส่วน ดังนี้

1. ตั้งค่า C/C++ โดยแก้ไขค่าใน Additional Include Directories โดยเพิ่มไดเรกทอรีเหล่านี้
E:\OpenCV2.4.2\opencv\build\include\opencv
E:\OpenCV2.4.2\opencv\build\include



2. ตั้งค่า Linker โดยแก้ไขค่าใน Additional Library Directories โดยเพิ่มไดเรกทอรีดังนี้
E:\OpenCV2.4.2\opencv\build\x86\vc10\lib

เพิ่ม Input ดังต่อไปนี้ใน Linker group

opencv_core242d.lib
opencv_imgproc242d.lib
opencv_highgui242d.lib
opencv_ml242d.lib
opencv_video242d.lib
opencv_features2d242d.lib
opencv_calib3d242d.lib
opencv_objdetect242d.lib
opencv_contrib242d.lib
opencv_legacy242d.lib
opencv_flann242d.lib

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล ขวลิต เชียงปัว
- วัน เดือน ปีเกิด 3 กุมภาพันธ์ 2528
- ที่อยู่ 88/15416 ถ.ประชาชื่น แขวง ลาดยาว เขต จตุจักร กทม. 10900
- ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึก
ข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสบการณ์ทำงาน
- พ.ศ. 2552- ปัจจุบัน ผช.นายทหารตรวจสอบวิเคราะห์ กรส.ศทส.สส.ทหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้