การพัฒนาการอ่านคิวอาร์โค้ดบนวัตถุที่เคลื่อนที่

นางสาววรรษมน หงษ์ประชา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF QR CODE READER ON MOVING OBJECT

Miss Watsamon Hongpracha

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการอ่านคิวอาร์โค้ดบนวัตถุที่เคลื่อนที่
โดย	นางสาววรรษมน หงษ์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ มัณฑนา ปราการสมุทร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วรรษมน หงษ์ประชา : การพัฒนาการอ่านคิวอาร์โค้ดบนวัตถุที่เคลื่อนที่ (DEVELOPMENT OF QR CODE READER ON MOVING OBJECT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สาธิต วงศ์ประทีป, 69 หน้า.

งานวิจัยเกี่ยวกับการอ่านคิวอาร์โค้ดส่วนใหญ่ เป็นการอ่านคิวอาร์โค้ดจากภาพหรือจากวัตถุที่หยุดนิ่ง เช่น คิวอาร์โค้ดบนกระดาษ คิวอาร์โค้ดบนแผ่นป้ายโฆษณา เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาการอ่านคิวอาร์โค้ดบนวัตถุที่เคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่างๆ แต่เนื่องจากคิวอาร์โค้ดอยู่บนวัตถุมีการเคลื่อนที่ ส่งผลให้ภาพที่ได้นั้นไม่ชัดเจนหรือภาพเบลอ จึงได้นำเสนอการปรับปรุงภาพก่อนทำการอ่านคิวอาร์โค้ด โดยเทคนิคที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ เทคนิค Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE) เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงภาพโดยทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วนเล็กๆ เรียกว่า Tiles และทำการปรับปรุงที่ละส่วน ซึ่งเหมาะกับคิวอาร์โค้ดซึ่งมีความละเอียด จากการทดลองวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถอ่านคิวอาร์โค้ดได้ถูกต้อง 100% และความเร็วสูงสุดที่ทำการทดลองอยู่ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถอ่านคิวอาร์โค้ดได้ถูกต้อง 30%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5670363221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS: QR CODE / 2D BARCODE / MOVING OBJECT / CLAHE / IMAGE ENHANCEMENT / IMAGE PROCESSING

WATSAMON HONGPRACHA: DEVELOPMENT OF QR CODE READER ON MOVING OBJECT. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SARTID VONGPRADHIP, 69 pp.

Most research about QR Code reader were reading QR Code from image or motionless object. This research was developed about QR Code reader on motion object at various speeds. QR Code was attached on motion object effect blurred image. So we proposed enhanced image before read QR Code by using Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE). This technique operates on small regions in the image, called tiles. Each tile's contrast is enhanced. From the experiment results, the identification success rate of 100 percent was achieved when the car was moving under 30 kilometer per hour and 60 kilometer per hour is the maximum speed that testing, the identification success rate was 30 percent.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป ที่ท่านได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีจนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ได้แก่ รองศาสตราจารย์ มัณฑนา ปราการสมุทร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์ และ ดร.มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ ที่ให้ความเมตตา ข้อคิด คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้ข้อคิดและแนวทางในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆในหลักสูตร วิศวกรรรมคอมพิวเตอร์ (วศ.ม. ก1) และเพื่อนๆพี่ๆทุกคนในห้องวิจัย Digital System Engineering Laboratory (DSEL) ที่ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบของพระคุณ นางมารศรี หงษ์ประชา และ นางสาวชุติมา หงษ์ประชา มารดาและน้องสาวของผู้วิจัย ซึ่งมีส่วนช่วยในการเก็บผลการทดลองเพื่อใช้ในการทำวิจัย อีกทั้งยังคอยสนับสนุนเป็นห่วงและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวชื่อไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ญ
สารบัญตาราง ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 4
1.6 งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 Barcode 5
2.1.1 ข้อมูลทั่วไป 5
2.1.2 ประเภท (Type) 6
2.2 QR Code 8
2.2.1 ประวัติของ QR Code 8
2.2.2 โครงสร้าง (Structure) 9
2.2.3 โหมดภาษา (Language Mode) 12
2.2.4 การแก้ไขข้อผิดพลาด 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.2.5 ความสามารถในการบรรจุข้อมูล (Input Capacity)....13
2.2.6 การถอดรหัสของ QR Code....14
2.3 พื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิตอล....15
2.3.1 RGB Image....15
2.3.2 Grayscale Image....16
2.3.3 Binary Image....17
2.4 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)....19
2.4.1 Histogram ของภาพ....19
2.4.2 Histogram Stretch....21
2.4.3 Histogram Equalization....22
2.4.4 Adaptive Histogram Equalization....23
2.4.5 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization....23
2.5 เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพ....24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....28
3.1 ภาพรวมทั้งหมดของงานวิจัย....28
3.1.1 ภาพรวมของการอ่าน QR Code....28
3.1.2 ตำแหน่งของ QR Code บนกระจกรถยนต์....30
3.1.3 ตำแหน่งของกล้อง....30
3.2 การแปลงภาพต้นฉบับให้เป็นภาพระดับเทา (Convert to Grayscale Image)....31
3.3 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)....32
3.4 การกำหนดขอบเขตในการถอดรหัส QR Code (Region of Interest)....32
3.5 การแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพไบนารี่ (Convert to Binary Image)....33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.6 การถอดรหัส QR Code (Decode QR Code) 34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 35
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 35
4.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในงานวิจัย 35
4.1.2 ซอฟแวร์ (Software) ที่ใช้ในงานวิจัย 35
4.1.3 QR Code ที่ใช้ในงานวิจัย 36
4.2 ผลการทดลอง 36
4.2.1 เปรียบเทียบกรณีปรับปรุงภาพและไม่ปรับปรุงภาพ 37
4.2.2 กรณีไม่ตัดภาพ 38
4.2.3 กรณีตัดภาพ 40
4.2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง 42
4.2.5 Identification Success Rate 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 45
5.1 บทสรุป 45
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
รายการอ้างอิง 47
ภาคผนวก 50
ภาคผนวก ก. ตารางแสดง Data Capacity ของ QR Code version 1-40 51
ภาคผนวก ข. ตัวอย่าง Code ของการถอดรหัส QR Code ในโปรแกรม Matlab 55
ภาคผนวก ค. ตัวอย่าง Code ของดึงภาพจากวีดีโอ ใน Matlab 56
ภาคผนวก ง. ผลการทดลอง (ฉบับเต็ม) 57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการนำ Barcode ไปใช้กับเครื่องหมายแสดงการเสียภาษี....2
ภาพที่ 2 ตัวอย่างการนำ Barcode ไปใช้งานด้านต่างๆ....5
ภาพที่ 3 ตัวอย่าง One Dimension Barcode....6
ภาพที่ 4 ตัวอย่าง Two Dimension Barcode....6
ภาพที่ 5 ตัวอย่างบาร์โค้ดประเภทสแต็ก PDF417....7
ภาพที่ 6 ตัวอย่างของ Matrix Barcode และ Finder Pattern....7
ภาพที่ 7 โครงสร้างของ QR Code....9
ภาพที่ 8 โครงสร้าง Position Detection Pattern....10
ภาพที่ 9 Data and Error Correction Codewords....11
ภาพที่ 10 Decode QR Code....14
ภาพที่ 11 ภาพ RGB ลองแต่ละ Channel....15
ภาพที่ 12 Additive color mixing....15
ภาพที่ 13 ระดับของ Grayscale Image....16
ภาพที่ 14 ภาพสีและภาพระดับเทา....17
ภาพที่ 15 แสดงภาพ Binary Image....17
ภาพที่ 16 Image Enhancement....19
ภาพที่ 17 Histogram of Dark Image....19
ภาพที่ 18 Histogram of Bright Image....20
ภาพที่ 19 Histogram of High Contrast Image....20
ภาพที่ 20 Histogram of Low Contrast Image....20
ภาพที่ 21 ภาพ **และ** Histogram ของ Grayscale Image และ....21

ภาพที่ 22 ภาพ และHistogram หลังการปรับปรุงโดยใช้ HE.....22
ภาพที่ 23 ค่า Histogram ต้นฉบับ และ ค่า Histogram ที่ถูกตัด.....23
ภาพที่ 24 รูปและค่า Histogram ต้นฉบับ และ รูปและค่า Histogram ของ CLAHE.....23
ภาพที่ 25 ภาพรวมของการอ่าน QR Code.....27
ภาพที่ 26 ตำแหน่งของ QR Code บนกระจกรถยนต์.....29
ภาพที่ 27 ตำแหน่งของกล้อง.....29
ภาพที่ 28 การแปลงภาพจาก RGB Image เป็น Grayscale Image.....30
ภาพที่ 29 การปรับปรุงภาพ.....31
ภาพที่ 30 การกำหนดขอบเขต.....31
ภาพที่ 31 การที่ได้จากการกำหนดขอบเขต.....32
ภาพที่ 32 การแปลงภาพจาก Grayscale Image เป็น Binary Image.....32
ภาพที่ 33 QR Code ที่ใช้ในการทดลอง.....35
ภาพที่ 34 ขั้นตอนการตัดภาพและการปรับปรุงภาพ.....39
ภาพที่ 35 ผลลัพธ์ของการอ่าน QR Code.....42
ภาพที่ 36 Identification Success Rate ของการอ่าน QR Code.....42
ภาพที่ 37 ตัวอย่าง QR Code ที่ทำการเข้ารหัส.....45

Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบขนาดความจุของ Two Dimension Barcode ชนิดต่างๆ.....8

ตารางที่ 2 รูปแบบข้อมูลของ QR Code.....12

ตารางที่ 3 ตัวอย่าง Data Capacity ของ QR Code Version 1, 2 และ 40.....13

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าสีของ RGB.....16

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่าง ใช้เทคนิค CLAHE และ ไม่ใช้เทคนิค CLAHE.....36

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์กรณีไม่ตัดภาพ.....38

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์กรณีตัดภาพ.....40

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์ของการอ่าน QR Code.....41

ตารางที่ 9 Identification Success Rate ของการอ่าน QR Code.....43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

QR Code ถูกพัฒนาโดยบริษัท Denso Wave ประเทศญี่ปุ่น ในปี 1994 จุดประสงค์คือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ (Automotive Industry) เพื่อติดแทนหมายเลขชิ้นส่วนต่างๆของอะไหล่รถยนต์ ต่อมา QR Code เริ่มนิยมนำมาใช้กับงานประเภทอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณาสินค้า นามบัตร เป็นต้น โดยเราสามารถใช้โทรศัพท์มือถือเป็นตัวสแกนเพื่อถอดรหัส QR Code ได้ ซึ่งได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับ QR Code มากมาย ไม่ว่าจะเป็น Identifying QR code [1], Using mobile phone to recognize the QR code [2], A technique to remove scratches from QR code [3], Research on distortion correction of QR code Images [4], Data hiding method for QR code based on DCT, DFT and DWT were compared [5][6][7] หรือแม้ประทั้งการนำ QR Code ไปใช้ในระบบต่างๆ เช่น A Students Attendance System Using QR Code [8] ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับ QR Code จะทำการติดQR Code บนวัตถุที่ไม่เคลื่อนไหว ทำให้มีแนวคิดที่จะทำการวิจัยเกี่ยวกับ QR Code ที่ติดบนวัตถุที่เคลื่อนไหวได้ โดยใช้รถยนต์เป็นกรณีศึกษาในการแทนเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ได้

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนรถยนต์มากมาย โดยสถิติรถ (รถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์) ที่จดทะเบียนสะสมของประเทศไทยกับทางกรมการขนส่งทางบก ณ วันที่ 30 เมษายน 2558 [9] มีจำนวนทั้งสิ้น 35,045,929คัน โดยแบ่งเป็น รย.1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน (Sedan not more than 7 passengers) จำนวน 7,452,863 คัน รย.2รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (Microbus and Passenger Van) จำนวน 430,732 คัน รย.3รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Van and Pick Up) จำนวน 6,028,646 คัน และรถยนต์ประเภทอื่นๆ รย.4 – รย.17 จำนวน 21,139,688 คัน ซึ่งเมื่อตรวจสอบสถิติรถที่จดทะเบียนใหม่ของปี 2556 [10] มีจำนวนทั้งสิ้น 3,513,491 คัน โดยแบ่งเป็น รย.1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน จำนวน 923,899 คัน รย. 2รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน จำนวน 25,249 คัน รย.3รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล จำนวน 350,360 คัน และรถยนต์ประเภทอื่นๆ รย.4 – รย.17 จำนวน 2,213,983 คัน สถิติรถที่จดทะเบียนใหม่ของปี 2557 มีจำนวนทั้งสิ้น 2,803,882คัน โดยแบ่งเป็น รย.1 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน จำนวน 603,843 คัน รย. 2 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน จำนวน 19,407 คัน รย.3รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล จำนวน 281,719 คัน และรถยนต์ประเภทอื่นๆ รย.4 – รย.17 จำนวน 1,898,913 คัน

ซึ่งตามราชกิจจานุเบกษา [11] กำหนดให้รถแสดงเครื่องหมายแสดงการเสียภาษีประจำปี ที่ด้านในของกระจกกันลมด้านหน้ารถ โดยหันข้อความด้านหน้าของเครื่องหมายแสดงการเสียภาษีประจำปีออกด้านนอกรถ เว้นแต่ รถจักรยานยนต์ รถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์ และรถอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ให้ติดในที่ที่สามารถมองเห็นข้อความด้านหน้าของเครื่องหมายแสดงการเสียภาษีประจำปีได้ชัดเจน ข้อสังเกตจากสถิติในแต่ละปีมีรถยนต์จดทะเบียนใหม่เพิ่มขึ้น ปีละเป็นล้านๆ คัน โดยจากสถิติจำนวนรถสะสมของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่ามีรถอยู่เป็นจำนวนมากบนท้องถนน ทำให้ตำรวจตรวจสอบว่ารถแต่ละคันนั้นได้ทำการเสียภาษีประจำปีแล้วหรือยังนั้นทำได้ยากและไม่ครอบคลุมทั้งหมด อีกทั้งการใช้คนในการตรวจสอบอาจจะพบความผิดพลาดที่เกิดจากคน หรือที่เรียกว่า Human Error เนื่องจากคนมีปัจจัยต่างๆ เช่น ปัจจัยภายใน (สภาวะทางอารมณ์ สุขภาพร่างการ ประสบการณ์ เป็นต้น) ปัจจัยภายนอก (สภาพแวดล้อม ชั่วโมงการทำงาน เป็นต้น) และ ปัจจัยจากความกดดัน (ความเครียดเป็นเวลานาน ความเจ็บปวด ความร้อนที่มากเกินไป เป็นต้น)

จึงมีแนวคิดที่จะนำ QR Code มาใส่ในเครื่องหมายแสดงการเสียภาษี เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรถนั้นๆ เช่น วันสิ้นอายุของเครื่องหมายแสดงการเสียภาษี ดังภาพที่ *1*

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการนำ Barcode ไปใช้กับเครื่องหมายแสดงการเสียภาษี

เนื่องจาก QR Code สามารถเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก อีกทั้งQR Code ยังสามารถเก็บอักขระต่างๆได้หลายประเภท เช่น Numeric, Alphabetic, Kanji, Kana, Hiragana, Symbols Binary และ Control Code [12] โดยความจุสูงสุดของ QR Code (Version 40) สามารถเก็บอักขระประเภท Numericได้มากถึง 7,089 ตัว นอกจากนั้น QR Code ยังสามารถเข้ารหัสภาษาไทยได้ ซึ่งได้มีการพัฒนาการเข้ารหัสที่เป็นภาษาไทยให้สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น [13] และ QR Code สามารถ

ถอดรหัสด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาการอ่าน QR Codeที่ติดอยู่หน้ากระจกรถยนต์ โดยขณะที่รถยนต์หยุดนิ่งและมีการเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการอ่าน QR Code บนวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยทำการติด QR Code บนกระจกรถยนต์ที่เคลื่อนที่ และทำการอ่าน QR Code ที่ติดอยู่บนกระจกรถยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้ QR Code ที่ติดบนกระจกรถยนต์ที่เคลื่อนที่ เป็นกรณีศึกษา
2. QR Code ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
    - QR Code Version 2
    - Error Correction ระดับ L (ความผิดพลาด 7% สามารถกู้คืนข้อมูลได้)
    - ขนาด 9 x 9 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว)
3. การทดสอบ
    - อ่าน QR Code ในแสงปกติเท่านั้น
    - ตำแหน่งที่ติด QR Code ทางซ้ายสุดของคนขับ
    - สามารถติดแผ่นป้ายอื่นๆ พร้อมกับ QR Code ได้
    - ความเร็วสูงสุดของรถยนต์ที่ทดลองคือ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
    - ระยะห่างของตัวอ่านกับ QR Code ไม่เกิน1เมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ มีดังนี้

1. สามารถอ่าน QR Code ที่ติดอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ ณ ความเร็วต่างๆ
2. สามารถอ่าน QR Code ที่ติดบนกระจกรถยนต์ขณะรถยนต์เคลื่อนที่ได้
3. สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาการอ่าน QR Code ที่ติดอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่อื่นๆ
4. สามารถนำการอ่าน QR Codeไปใช้ประยุกต์เพื่อต่อยอดในอนาคตได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของงานวิจัย มีดังนี้

1. กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย จุดประสงค์ของงานวิจัย
2. กำหนดขอบเขตของงานวิจัย
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้สำหรับงานวิจัย
4. ศึกษาเทคนิคต่างๆ พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิค
5. พัฒนาการอ่าน QR Code ให้สามารถอ่าน QR Code บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้
6. ทำการทดลอง และปรับปรุงการอ่าน QR Code
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
8. เรียบเรียงวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงานวิจัย

1.6 งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

W. Hongpracha, S. Vongpradhip, Recognition System for QR Code on Moving Car, The 10th IEEE International Conference on Computer Science & Education (IEEE-ICCSE 2015), Cambridge, UK, 22-24 July 2015, pp. 14-18.

W. Hongpracha, S. Vongpradhip, A Technique to Improve Recognition Time of QR Code on Windshield, The 6th International Conference on Networking and Information Technology (ICNIT 2015), Tokyo, Japan, 5-6 November 2015

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึง Barcode ประเภทต่างๆ ประกอบไปด้วยOne Dimension Barcode (บาร์โค้ด 1มิติ) Two Dimension Barcode (บาร์โค้ด 2 มิติ) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ QR Code ซึ่งเป็น Barcode ประเภท 2 มิติ โดยจะกล่าวถึงโครงสร้างของ QR Code, โหมดภาษา, การแก้ไขข้อผิดพลาด (Error Correction), ความสามารถในการบรรจุข้อมูล (Input Capacity) และการถอดรหัส QR Code อีกทั้งยังอธิบายเกี่ยวกับรูปแบบของภาพต่างๆ เช่น RGB Image, Grayscale Image, Binary Image รวมไปถึงการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) โดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น เทคนิคHistogram Stretch เทคนิค Histogram Equalization เทคนิค Adaptive Histogram Equalization และ เทคนิค Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization เป็นต้น

2.1 Barcode

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

บาร์โค้ด (Barcode) เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกในหลายหลายด้าน โดยนำ Barcode มาติดกับตัวสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง เพื่อเก็บรหัส ชื่อ และราคาของสินค้า หรือใช้ Barcodeมาช่วยจัดการสต๊อกสินค้า ตรวจสอบจำนวนสินค้าคงเหลือได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ในปัจจุบันมีการใช้ Barcode อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็น ป้ายโฆษณา, Boarding Pass ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการนำ Barcode ไปใช้งานด้านต่างๆ

2.1.2 ประเภท (Type)

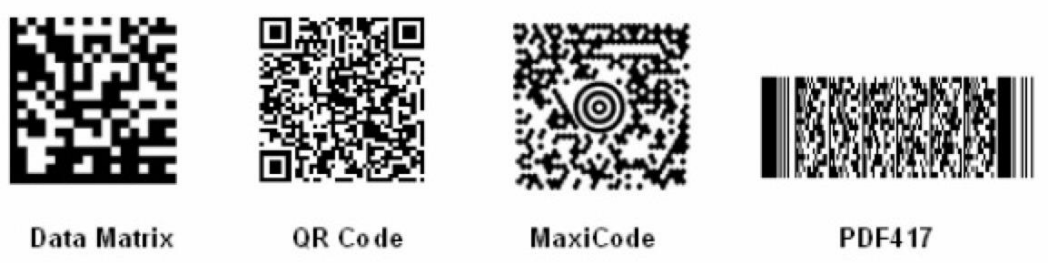
Barcode แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ บาร์โค้ด 1มิติ (One Dimension Barcode) และ บาร์โค้ด 2 มิติ (Two Dimension Barcode)

1. One Dimension Barcode มีลักษณะเป็นแถบเส้นสีดำสลับเส้นสีขาว ใช้แทนรหัสตัวเลขหรือตัวอักษร ซึ่งสามารถบรรจุข้อมูลได้ประมาณ 20 ตัวอักษร One Dimension Barcode มีหลายชนิด เช่น UPC EAN-13 หรือ ISBN ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ตัวอย่าง One Dimension Barcode

การใช้งาน One Dimension Barcode มักใช้ร่วมกับฐานข้อมูล (Database) คือเมื่ออ่าน Barcode และ ถอดรหัส (Decode) จะนำรหัสที่ได้นั้นไปเรียกดูข้อมูลจากฐานข้อมูลอีกที

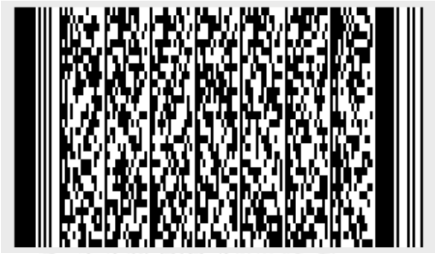
2. Two Dimension Barcode เป็น Barcode ที่พัฒนามาจาก Barcode ประเภท One Dimension Barcode โดยออกแบบให้บรรจุได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ทำให้สามารถบรรจุข้อมูลได้ประมาณ 200เท่าของ One Dimension Barcode ในพื้นที่เท่ากันหรือว่าเล็กกว่า Two Dimension Barcode สามารถใช้ภาษาอื่นนอกจากภาษาอังกฤษ เช่น ภาษาญี่ปุ่น จีน เป็นต้น โดยสามารถถอดรหัสได้ตั้งแต่เครื่องอ่านแบบซีซีดี,เครื่องอ่านแบบเลเซอร์เหมือนกับของ One Dimension Barcode หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือแบบมีกล้องถ่ายรูปในตัวซึ่งติดตั้งโปรแกรมถอดรหัส Two Dimension Barcode มีหลายชนิด เช่น Data Matrix, QR Code, MaxiCode และ PDF417 ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่าง Two Dimension Barcode

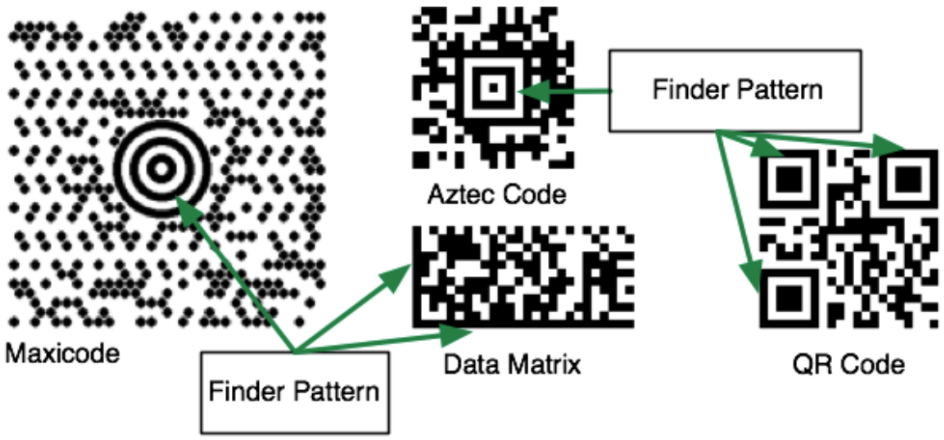
โดยสามารถแยกประเภทของ Two Dimension Barcode สามารถแยกได้ 2 ประเภทคือ บาร์โค้ดประเภทสแต็ก (Stacked Barcode) และ บาร์โค้ดประเภทเมตริกซ์ (Matrix Barcode)

- Stacked Barcode เป็นการวางซ้อนกันของBarcode 1 มิติ มีการทำงานโดยปรับความกว้างของ Barcode ก่อนทำการถอดรหัส (Decode) ซึ่งการปรับความกว้างนี้ทำให้สามารถถอดรหัสภาพที่มีการเสียหายบางส่วนได้ โดยส่วนที่เสียหายต้องไม่เกินขีดจำกัดตามที่กำหนดไว้ การอ่าน Stacked Barcode สามารถอ่านได้ทิศทางเดียวกัน เช่น อ่านจากขวาไปซ้าย หรือ ซ้ายไปขวา และ อ่านจากบนลงล่าง หรือ ล่างขึ้นบน เป็นต้น ตัวอย่างของ Stacked Barcode เช่น PortableDataFile (PDF417) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างบาร์โค้ดประเภทสแต็ก PDF417

- Matrix Barcode มีลักษณะหลากหลายและมีความเป็น 2มิติมากกว่าแบบ Stacked Barcode โดยลักษณะเด่นของ Matrix Barcode จะมี Finder Pattern (รูปแบบค้นหา) ทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงตำแหน่งในการอ่านและถอดรหัสข้อมูล ทำให้สามารถอ่านได้รวดเร็วและอ่านได้แม้บาร์โค้ดเอียง หมุน หรือกลับหัว ตัวอย่างของ Matrix Barcode คือ QR Code, Data Matrix, MaxiCode, Aztec Code เป็นต้น ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างของ Matrix Barcode และ Finder Pattern

โดย Two Dimension Barcode แต่ละชนิดสามารถเก็บข้อมูลได้ไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่นำมาเก็บ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบขนาดความจุของ Two Dimension Barcode แต่ละชนิด ดังตารางที่ *1*

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบขนาดความจุของ *Two Dimension Barcode* ชนิดต่างๆ

ชนิดของข้อมูล	PDF417	MaxiCode	Data Matrix	QR Code
ตัวเลข	2710	138	3116	7089
ตัวอักษร	1850	93	2355	4296
เลขฐานสอง	11018	-	1556	2953
ตัวอักษรญี่ปุ่น	554	-	778	1817

2.2 QR Code

2.2.1 ประวัติของ QR Code

QR Code ถูกพัฒนาโดยบริษัท Denso Wave ประเทศญี่ปุ่น ในปี 1994 จุดประสงค์คือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ (Automotive Industry) เพื่อติดแทนหมายเลขชิ้นส่วนต่างๆของอะไหล่รถยนต์ ต่อมา QR Code เริ่มนิยมนำมาใช้กับงานประเภทอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณาสินค้า นามบัตร เป็นต้น โดยเราสามารถใช้โทรศัพท์มือถือเป็นตัวสแกนเพื่อถอดรหัส QR Code ได้

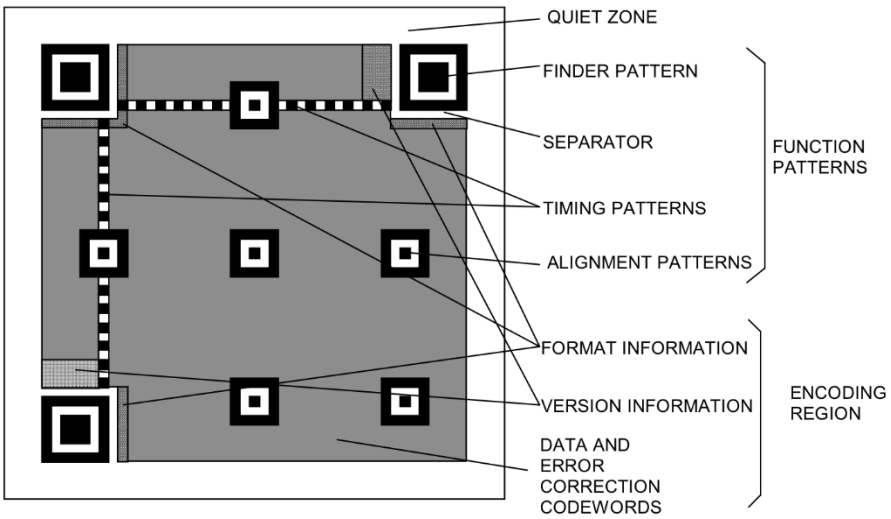
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

QR Code ยังได้รับมาตรฐานต่างๆ [12] อาทิเช่น

1. AIM (Association for Automatic Identification and Mobility) (ค.ศ.1997)
2. JIS X 0510 (ค.ศ.1999)
3. ISO/IEC 18004:2000 Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Bar code symbology – QR code (ค.ศ.2000 ปัจจุบันยกเลิกแล้ว)
4. ISO/IEC 18004:2006 Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR code 2005 bar code symbology specification (ค.ศ.2006)

2.2.2 โครงสร้าง (Structure)

โครงสร้างของ QR Code ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วน Quiet Zone, ส่วน Function Patterns และ ส่วน Encoding Region ดังภาพที่ 7

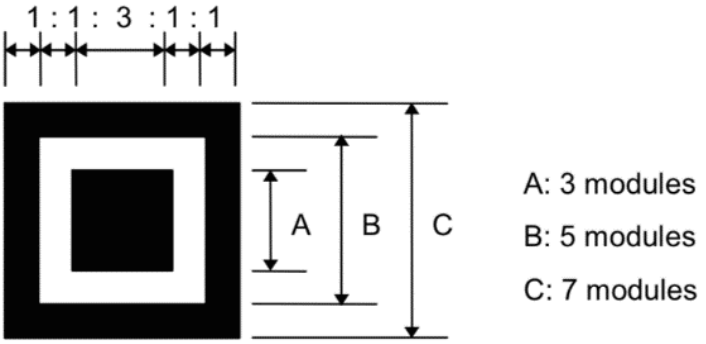


ภาพที่ 7 โครงสร้างของ QR Code

1. **Quiet Zone** คือ บริเวณสีขาวหรือสีสว่างอยู่บริเวณทั้ง 4ด้านของ QR Code เป็นส่วนช่วยให้ซอฟแวร์ที่ใช้ถอดรหัสสามารถค้นพบ QR Code ได้รวดเร็วขึ้น โดยขนาดของ Quiet Zone ใน QR Code นั้นจะมีขนาดเป็น 4 เท่าของโมดูลย่อย

2. **Function Patterns** คือ ส่วนที่ใช้สำหรับระบุตำแหน่งและปรับรูปร่าง เพื่อให้ QR Codeพร้อมสำหรับการถอดรหัสข้อมูล ซึ่งส่วนของ Function Pattern ไม่ได้มีส่วนในการเข้ารหัสข้อมูล ประกอบด้วย Finder Pattern, Separator, Timing Pattern และ Alignment Pattern

- Finder Pattern เป็นส่วนช่วยให้สามารถอ่าน QR Codeได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถทำให้อ่าน QR Code ได้ 360องศา ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการถอดรหัส QR Code หากส่วนนี้ถูกทำลายอาจส่งผลให้การถอดรหัสล้มเหลวได้ โดย Finder Pattern ประกอบด้วย Position Detection Pattern 3ตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งอยู่ที่ มุมซ้ายล่าง มุมซ้ายบน และ มุมขวาบน โดยแต่ละ Position Detection Pattern สร้างด้วยโมดูลสีดำ 7x7 โมดูล โมดูลสีขาว 5x5 โมดูล และโมดูลสีดำ 3x3 โมดูล ซึ่งอัตราส่วนระหว่างโมดูลของ Position Detection Pattern คือ 1:1:3:1:1 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้าง Position Detection Pattern

- Separator เป็นโมดูลสีขาวที่มีขนาด 1 โมดูล อยู่ระหว่างส่วน Position Detection Pattern และ Encoding Region

- Timing Pattern เป็นส่วนช่วยให้สามารถตรวจสอบพิกัดของ QR Code เพื่อใช้ในการถอดรหัส โดย Timing Pattern ประกอบด้วยโมดูลสีขาวสลับโมดูลสีดำ โดยเริ่มจาก Separator ไปสิ้นสุดที่ Separator อีกฝั่ง

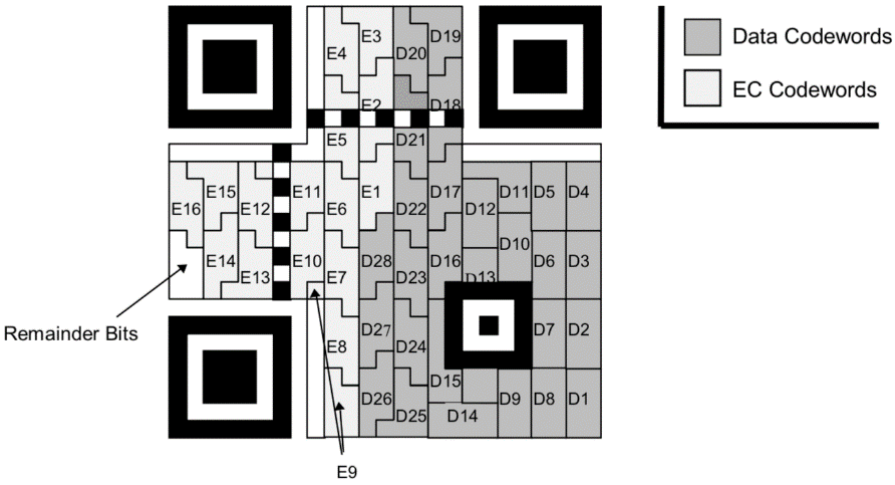
- Alignment Pattern เป็นส่วนช่วยแก้ไขQR Code ที่บิดเบือน เช่น เอียง โค้ง งอ ให้สามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้องเหมือนเดิม โดย Alignment Pattern สร้างด้วยโมดูลสีดำ 5x5 โมดูล โมดูลสีขาว 3x3 โมดูล และ โมดูลสีดำ 1x1 โมดูล ซึ่งจำนวนของ Alignment Pattern ขึ้นอยู่กับ Version ของ QR Code โดยจะพบใน QR Code Version 2 ขึ้นไป

3. **Encoding Region** คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเข้ารหัส QR Code ประกอบด้วย Format Information, Version Information และ Data and Error Correction Codewords

- Format Information เป็นส่วนที่มีไว้เพื่อจัดเก็บข้อมูล Data Type, Binary Indicators ของ Error Correction Level และ Data Mask ที่ใช้ใน QR Code นั้นๆ เพื่อใช้ในการถอดรหัส

- Version Information เป็นส่วนที่มีไว้เพื่อจัดเก็บข้อมูล Version ของ QR Code โดยจะเริ่มมีใน QR Code Version 7 เป็นต้นไป

- Data and Error Correction Codewords เป็นส่วนที่มีไว้เพื่อจัดเก็บข้อมูลของ QR Code และ Error Correction มีลักษณะเป็น Array มีแถวและคอลัมน์ โดยที่เก็บข้อมูลในเลขฐานสอง (0 และ1) ส่วนนี้จะเป็นการเรียงตัวต่อกันโดยเริ่มจากData Codewords และจะต่อด้วยบิตของ Error Correction Codewords ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 Data and Error Correction Codewords

โดยเป็น QR Code Version 2 Error Correction Level M โดยการวาง Data Codewords (D1-D28) และ Error Correction Codewords (E1-E16) ส่วนData and Error Correction Codewords เป็นส่วนที่มีพื้นที่มากที่สุดใน QR Code

- Remainder Bits เป็นบิตที่เหลือจากการเข้ารหัส ซึ่งไม่ครบ 1 Codeword จะอยู่ต่อจากส่วน Error Correction Codeword

2.2.3 รูปแบบข้อมูล (Data Type)

รูปแบบข้อมูลของ QR Code แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ Numeric, Alphanumeric, 8-bit Byte, Kanji ดังตารางที่ *2*

ตารางที่ 2 รูปแบบข้อมูลของ QR Code

Mode	Characters
Numeric	0–9
Alphanumeric	0–9, A–Z (upper-case only), space, $, %, *, +, -, ., /, :
8-bit Byte	Refer to ISO 8859-1
Kanji	Refer to Shift JIS system based on JIS X 0208

2.2.4 การแก้ไขข้อผิดพลาด

Error Correction (การแก้ความผิดพลาด) คือ เปอร์เซ็นต์กรณีข้อมูลถูกทำลายหรือสูญเสียข้อมูลบางส่วนที่ไม่เกินกำหนดไว้ จะสามารถกู้คืนข้อมูลนั้นกลับมาได้ โดย QR Code สามารถกู้คืนข้อมูลกลับมาได้ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ

1) Level L คือ ความผิดพลาด 7% หรือน้อยกว่า สามารถกู้คืนข้อมูลได้
2) Level M คือ ความผิดพลาด 15% หรือน้อยกว่า สามารถกู้คืนข้อมูลได้
3) Level Q คือ ความผิดพลาด 25% หรือน้อยกว่า สามารถกู้คืนข้อมูลได้
4) Level H คือ ความผิดพลาด 30% หรือน้อยกว่า สามารถกู้คืนข้อมูลได้

2.2.5 ความสามารถในการบรรจุข้อมูล (Input Capacity)

ความสามารถในการบรรจุข้อมูลของ QR Code ขึ้นอยู่กับ ชนิดของข้อมูล (Numeric, Alphanumeric, 8-bit Byte, Kanji), Version ของ QR Code และ Error Correction Level (L,M,Q,H) โดยยกตัวอย่าง Data Capacity ของ QR Code ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่าง Data Capacity ของ QR Code Version 1, 2 และ 40

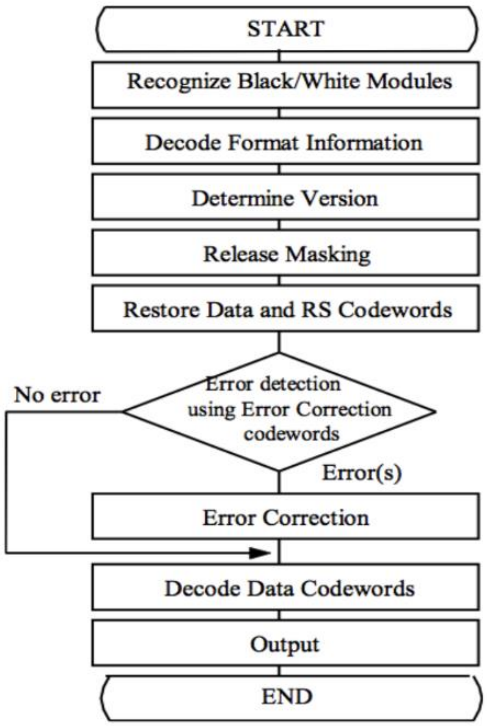
Version	Error Correction Level	Data capacity			
		Numeric	Alphanumeric	Byte	Kanji
1	L	41	25	17	10
	M	34	20	14	8
	Q	27	16	11	7
	H	17	10	7	4
2	L	77	47	32	20
	M	63	38	26	16
	Q	48	29	20	12
	H	34	20	14	8
40	L	7089	4296	2953	1817
	M	5596	3391	2331	1435
	Q	3993	2420	1663	1024
	H	3057	1852	1273	784

(สามารถดูฉบับเต็มได้ที่ ภาคผนวก ก.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.6 การถอดรหัสของ QR Code

การถอดรหัส QR Code สามารถใช้ Library ของ Zxing ซึ่งเป็น Open Source ที่ใช้สำหรับถอดรหัส QR Code ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 Decode QR Code

โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. Recognize Black/White Modules นำภาพ Binary Image ทำการหาตำแหน่งของภาพและทำให้โมดูลเรียนรู้แสงสว่างและแสงมืด แล้วทำการแปลงภาพที่นำเข้าโดยการแปลงเป็น Array Bit '0' และ '1'

2. Decode Format Information ถอดรหัส Format Information ในส่วนของประเภท Masking Pattern และระดับ Error Correction

3. Determine Version อ่านข้อมูล Version ของ QR Code

4. Release Masking ทำการถอด Masking โดยใช้โอเปอเรเตอร์ XOR

5. Restore Data and RS Codewords อ่านตำแหน่งในรูปแบบการวางโมดูลตามหลักเกณฑ์

6. Error detection using Error Correction codewords ตรวจสอบความผิดพลาด

   - Error(s) ถ้าพบ ไปที่ขั้นตอนที่ 7
   - No Error ถ้าไม่พบ ไปที่ขั้นตอนที่ 8

7. Error Correction ใช้ Error Correction Codewords ที่สอดคล้อง

8. Decode Data Codewords ถอดรหัส Data Codewords

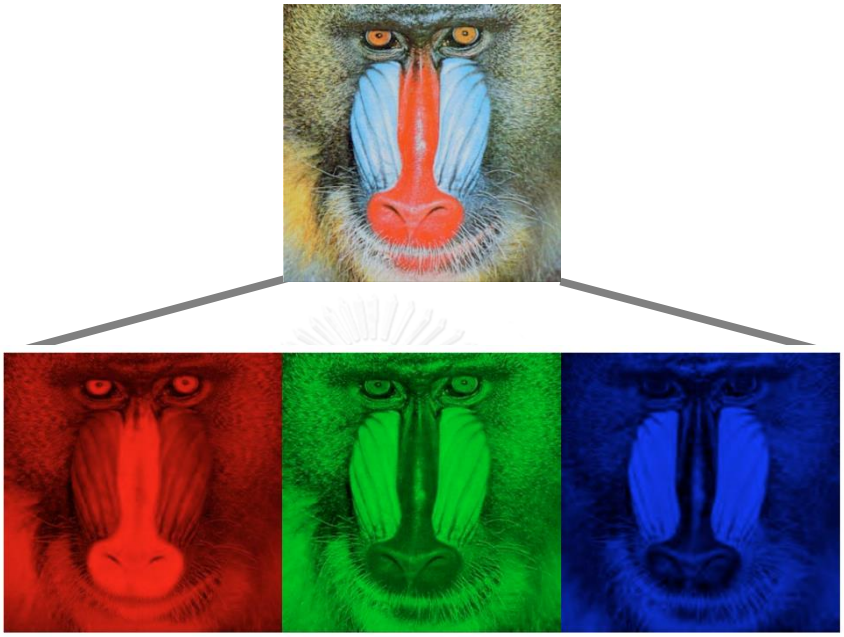
9. Output ส่งที่ทำการถอดรหัสออกให้ User

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 พื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิตอล

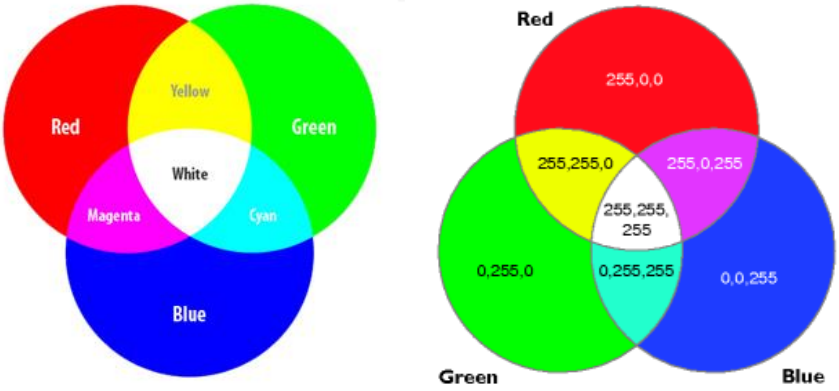
2.3.1 RGB Image

ภาพ RGB มีสามช่อง (Channel) คือ R (Red), G(Green) และ B(Blue) ดังภาพที่ *11*



ภาพที่ 11 ภาพ RGB ลองแต่ละ Channel

ซึ่งเมื่อผสมกันจะทำให้เกิดสีจำนวนมาก และเมื่อนำมารวมกันที่ความเข้มสูงสุดจะได้สีขาว (White) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 Additive color mixing

ส่วนใหญ่การใช้สีลักษณะนี้จะใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง เช่น จอภาพ กล้องดิจิตอล เป็นต้นหากเป็นกรณี RGB 24 bits แต่ละช่องจะมี 8 bits โดยแต่ละช่องมีค่าความเข้มของสีตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังตารางที่ 4

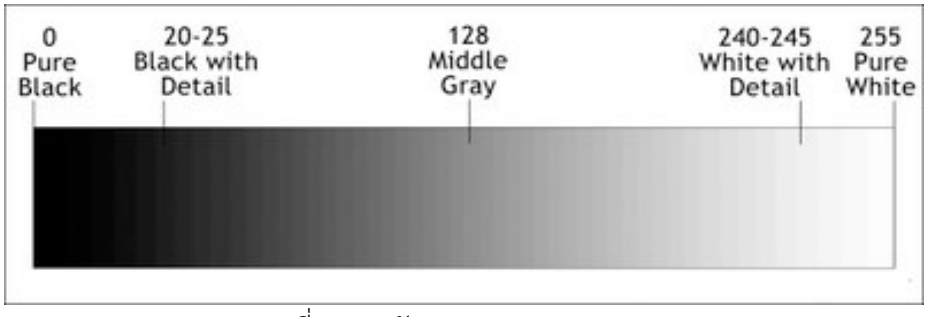
ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าสีของ RGB

Color	สี	Arithmetic	Digital 8-bit per channel
Black	ดำ	(0 , 0 , 0)	(0 , 0 , 0)
Blue	น้ำเงิน	(0 , 0 , 1)	(0 , 0 , 255)
Green	เขียว	(0 , 1 , 0)	(0 , 255 , 0)
Cyan	น้ำเงินเขียว	(0 , 1 , 1)	(0 , 255 , 255)
Red	แดง	(1 , 0 , 0)	(255 , 0 , 0)
Magenta	ม่วงแดง	(1 , 0 , 1)	(255 , 0 , 255)
Yellow	เหลือง	(1 , 1 , 0)	(255 , 255 , 0)
White	ขาว	(1 , 1 , 1)	(255 , 255 , 255)

2.3.2 Grayscale Image

Grayscale Image คือ ภาพระดับเทา โดยจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังภาพที่ 13

- สีดำ แทนด้วยค่า 0
- สีขาว แทนด้วยค่า 255

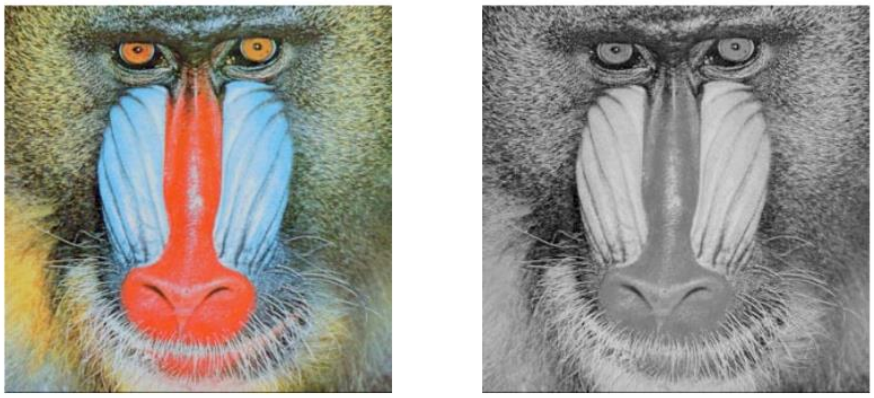


ภาพที่ 13 ระดับของ Grayscale Image

ในการแปลงค่าสี RGB เป็น ค่าสี Grayscale สามารใช้ Algorithm จากสมการ (2.1)

$$\text{Grayscale Value} = (0.2989 \times R) + (0.5870 \times G) + (0.1140 \times B) \qquad (2.1)$$

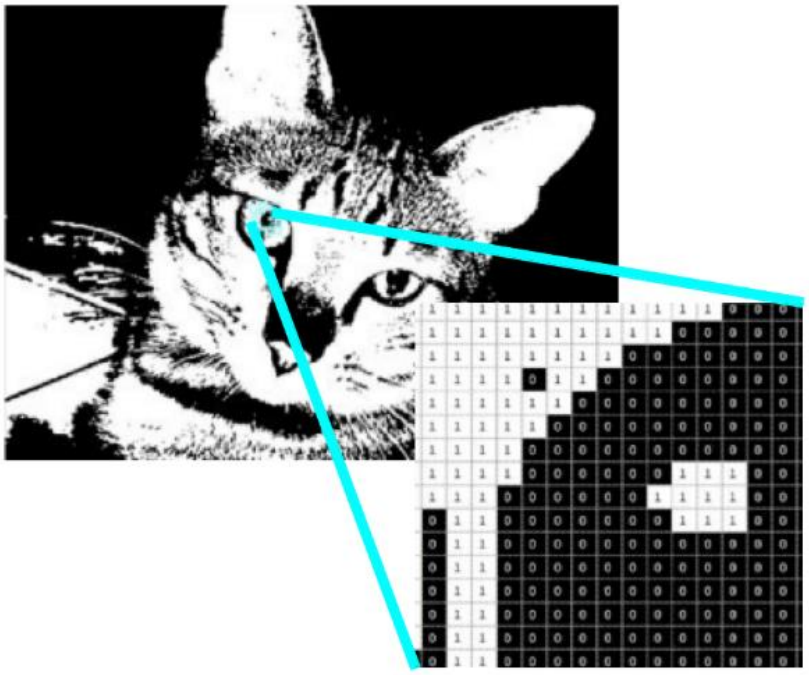
ภาพที่ได้จากการแปลงค่าสี RGB เป็นค่าสี Grayscale ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ภาพสีและภาพระดับเทา

2.3.3 Binary Image

Binary Image มีแค่ความเข้ม 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 และ 1 กรณีPixel ใดมีค่าเป็น 0 แสดงว่า Pixel นั้นแสดงสีดำPixel ใดมีค่าเป็น 1 แสดงว่า Pixel นั้นแสดงสีขาว ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงภาพ Binary Image

การแปลงภาพ Grayscale เป็นภาพ Binary

1) กำหนดค่า Threshold (ค่าความเข้มของสีทา) ที่ต้องการอ้างอิง ซึ่งค่านี้จะถูกกำหนดจากผู้ใช้ จากใช้สมการ (2.2)

โดย I(x,y) คือ ภาพ Grayscaleของตำแหน่ง x,y

g(x,y) คือ ภาพ Binary ของตำแหน่ง x,y

T(x,y) คือ ค่า Threshold จากสมการ (2.3)

$$g(x,y)=\begin{cases}1 & if \quad I(x,y)>T(x,y)\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{2.2}$$

$$T(x,y)=\begin{cases}constant\\ f(\max(x,y),\min(x,y))\\ f(mean(x,y))\\ f(median(x,y))\\ f(mean(x,y),standard_deviation(x,y))\end{cases} \tag{2.3}$$

2) ใช้ ***Algorithms ในการหาค่า Threshold*** โดยแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่คือ

- Global Threshold คือ การใช้ค่า Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ เช่น Otsu, KittlerMet, Maximum Entropyและ Histogram

- Local Threshold คือ การแบ่งภาพหลักออกเป็นภาพย่อยๆ ที่แต่ละภาพย่อยเหล่านั้นจะมีค่า Threshold เป็นของตัวเอง เช่น Bernsen, Mean, Median, MidGray และ Niblack

2.4 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

Image Enhancement คือ การปรับปรุงหรือซ่อมแซมภาพให้มีคุณภาพขึ้น เช่น กรณีภาพที่ได้มาอาจมีความคมชัด (Contrast) น้อยหรือภาพเบลอ สามารถปรับปรุงได้ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น Contrast Enhancement หรือ Edge Enhancement กรณีที่ภาพมีความไม่สมบูรณ์เช่น มีสิ่งรบกวน (Noise) สามารถใช้ เทคนิคการกรองสัญญาณภาพ (Image Filtering) เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนได้ การปรับปรุงภาพแสดงดังภาพที่ 16

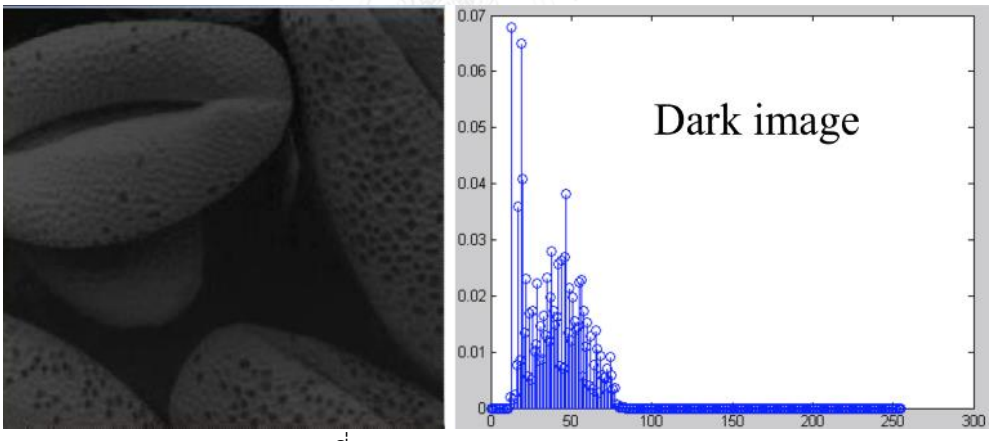
ภาพที่ 16 Image Enhancement

ภาพที่ดี (Good Image) สำหรับมุมมองของมนุษย์ เกิดจากสายตาและกระบวนการมองเห็นของแต่ละคน ไม่สามารถหาข้อกำหนดมาประเมินได้ว่าภาพใดเป็นภาพที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับเครื่องจักรหรือ คอมพิวเตอร์ สามารถรู้จำ (Recognition) หรือแยกแยะข้อมูลต่างๆได้ง่าย

2.4.1 **Histogram** ของภาพ

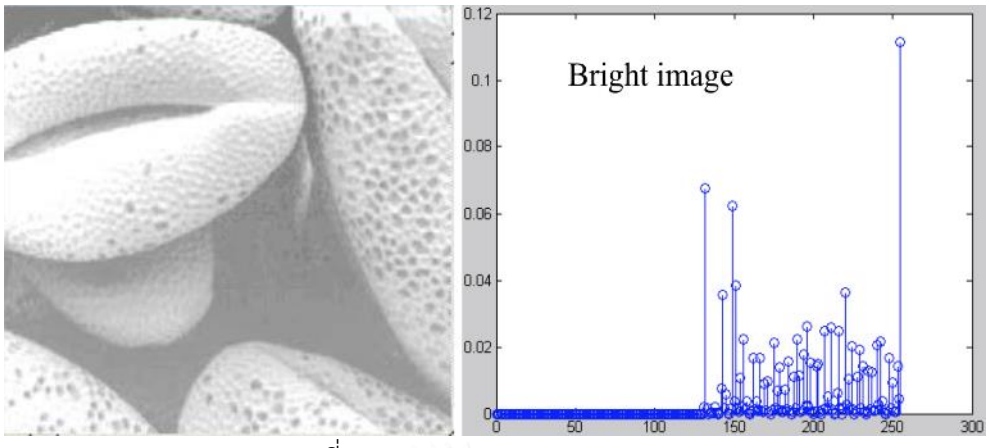
Histogram หมายถึง กราฟที่แสดงจำนวน pixel ของสี หรือ Intensity ต่างๆดังนั้น

ภาพที่มืด : Histogram จะไปกองอยู่ทางซ้าย ดังภาพที่ 17



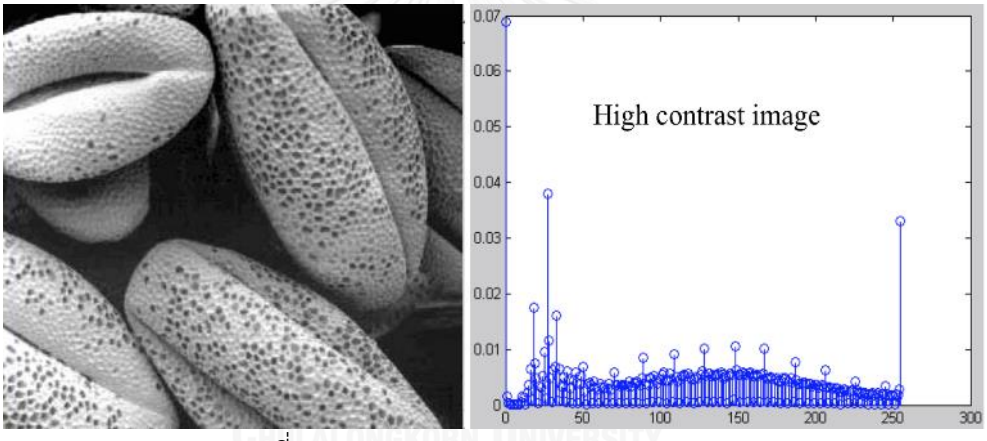
ภาพที่ 17 Histogram of Dark Image

ภาพที่สว่าง : Histogram จะไปกองอยู่ทางขวา ดังภาพที่ 18



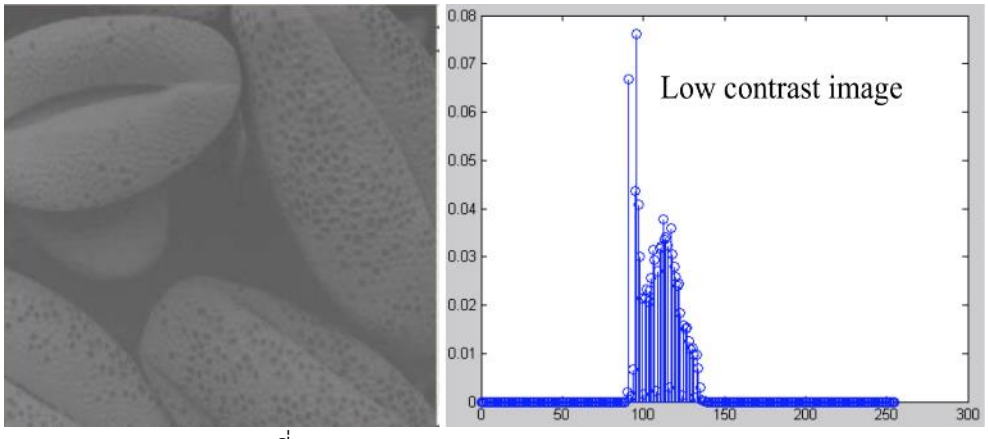
ภาพที่ 18 Histogram of Bright Image

ภาพที่ Contrast สูง : Histogram จะกระจายกันอยู่ในช่วงกว้างๆ ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 Histogram of High Contrast Image

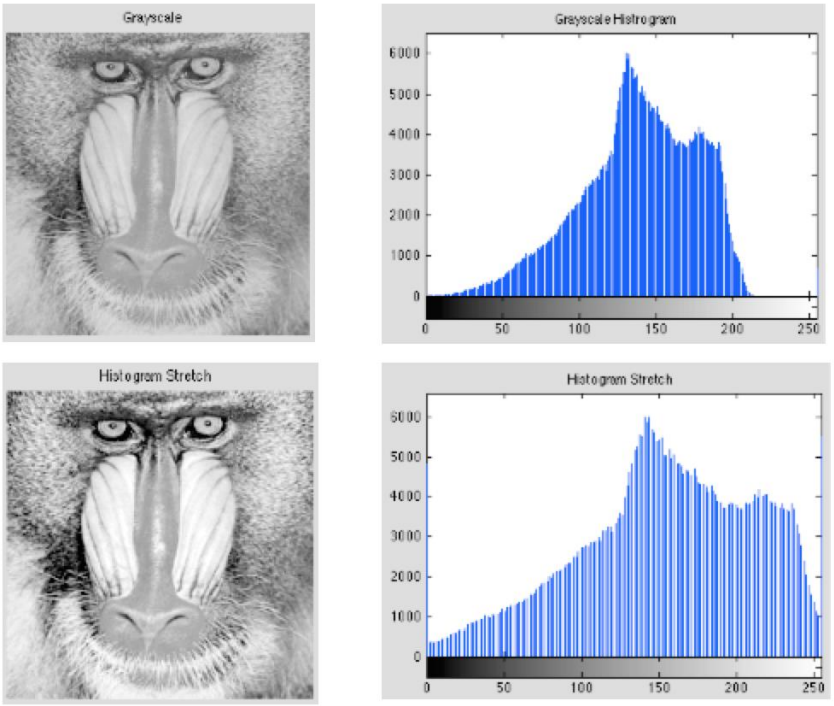
ภาพที่ Contrast ต่ำ : Histogram จะไปกระจุกตัวอยู่ในช่วยแคบๆ ดังภาพที่ *20*



ภาพที่ 20 Histogram of Low Contrast Image

2.4.2 Histogram Stretch

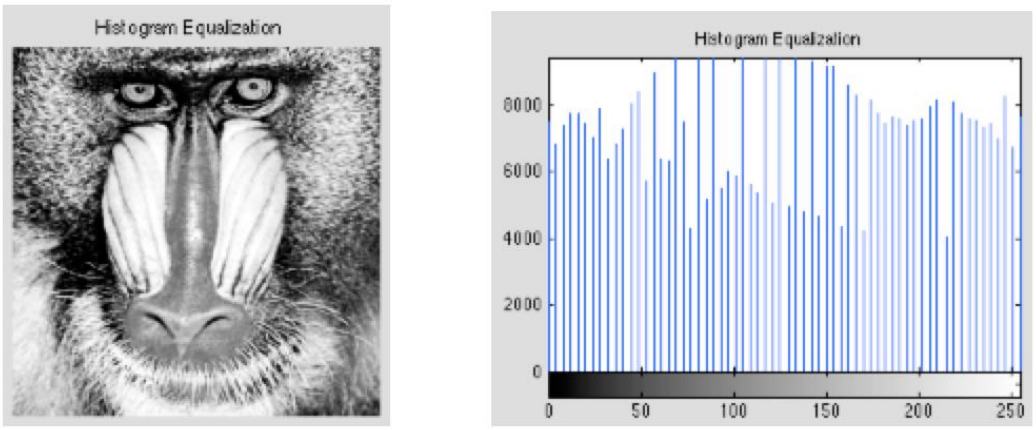
Histogram Stretch เป็นเทคนิคการทำภาพให้คมชัดขึ้น มีหลักการคือปรับค่าความเข้มสีเกรย์ (Grayscale) ของPixel ที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดใหม่ โดยค่าต่ำสุดเป็น 0 และค่าสูงสุดเป็น 255 การทำ Histogram Stretch เทียบกับการยืด Histogram ออกให้ครอบคลุมช่วงระดับ Grayscale ตั้งแต่ 0-255 โดยภาพที่ได้จะมีความคมชัดมากขึ้น ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ภาพ **และ** Histogram ของ Grayscale Image และ
ภาพหลังการปรับปรุงโดยใช้ Histogram Stretch

2.4.3 Histogram Equalization

Histogram Equalization (HE) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการทำให้ภาพคมชัดขึ้น ชนิดหนึ่งที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย โดยหลักการของ Histogram Equalization คือ การแปลง Histogram ของภาพให้มีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอ กล่าวคือ ความน่าจะเป็นที่จะเจอ Pixel ที่มีความเข้มสีเกรย์สเกล (Grayscale) มีค่าเท่ากันทุกๆความเข้มสีเกรย์สเกล ดังรูป Histogram ในภาพที่ *22*



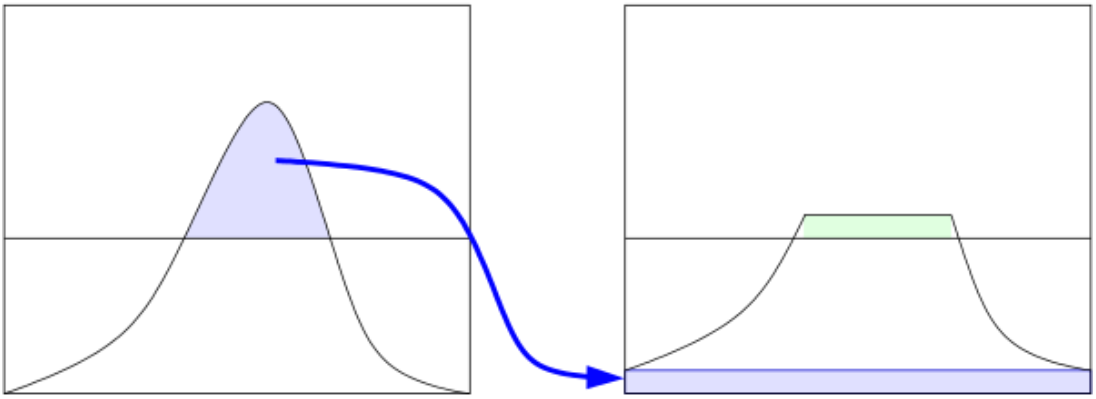
ภาพที่ 22 ภาพ และHistogram หลังการปรับปรุงโดยใช้ HE

2.4.4 Adaptive Histogram Equalization

Adaptive Histogram Equalization (AHE) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการทำให้ภาพมีความคมชัดขึ้นโดยแตกต่างกับ Histogram Equalization (HE) ตรง Histogram Equalization กระทำกับภาพทั้งภาพ ส่วนAdaptive Histogram Equalization กระทำกับภาพย่อย (Tiles) โดยเมื่อทำครบทั้งภาพแล้ว จะทำการนำ Bilinear Interpolation มาทำการประสานภาพเข้าด้วยกันเพื่อความต่อเนื่อง

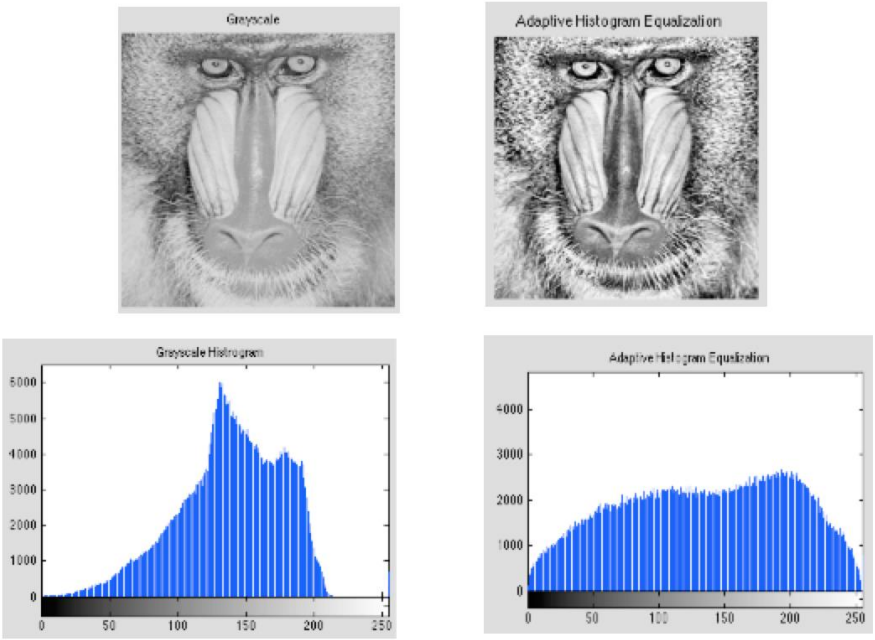
2.4.5 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) เป็นการเพิ่งคุณภาพของภาพที่ได้รับการพัฒนามาจาก Histogram Equalization (HE) โดย CLAHE พิจารณาถึงรายละเอียดข้อมูลจาก HE ในแต่ละค่า Pixel บนพื้นส่วนกลางของภาพต้นฉบับ โดยค่า Histogram ที่มีระดับมากกว่าค่าเฉลี่ย Pixel ในระดับ Gray จะถูกนำมากระจายให้กับทุก Pixel ในภาพ Grayscale โดยค่าที่สามารถกระจายเป็นค่า Histogram ที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ย Pixel ในระดับ Gray ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ค่า Histogram ต้นฉบับ และ ค่า Histogram ที่ถูกตัด

จึงส่งผลให้ค่า Histogram ดังกล่าวมีความแตกต่างจากค่า Histogram อื่นทั่วไปคือ ผู้ใช้สามารถกำหนดระดับความหนาแน่นของค่า Pixel ได้ และภาพที่ได้จากการปรับปรุงโดยใช้ CLAHE ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 รูปและค่า Histogram ต้นฉบับ และ รูปและค่า Histogram ของ CLAHE

2.5 เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ประเมินประสิทธิภาพในการประมวลผลโดยทำการจับเวลาตั้งต้น (Tstart) และ เวลาสิ้นสุด (Tstop) โดยใช้เวลาของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU Time) และใช้สมการ 2.4

$$\Delta T = T_{start} - T_{stop} \tag{2.4}$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ผลงานวิจัยของ Xiong Zou และคณะ [14] ได้เสนอลำดับในการทำ Preprocessing ของ QR Codeที่มี Noise รบกวน ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง (MBF) การทำ Binarization ก่อนแล้วทำ Filtering และ (MFB) การทำ Filtering ก่อนแล้วทำ Binarization โดยงานวิจัยนี้ใช้ Nonlinear Filtering แบบ 3x3 และ 5x5 Rectangular Madian Filtering และ Binarization โดยใช้ Otsu Algorithm ซึ่งจากผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบโดยดูค่า BER (Bit Error Rate) กรณี ใช้ขนาดภาพ 84x84 pixels [3x3] MBF มีค่า BER 0.0409 และ MFB มีค่า BER 0.1043 ส่วน [5x5] MBF มีค่า BER 0.0478 และ MFB มีค่า BER 0.0762 กรณี ใช้ขนาดภาพ180x180 pixels [3x3] MBF มีค่า BER 0.0510 และ MFB มีค่า BER 0.0986 ส่วน [5x5] MBF มีค่า BER 0.0642 และ MFB มีค่า BER 0.0851 ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า กรณีที่ทำการ Binarization ก่อนแล้วทำ Filtering มี BER น้อยกว่า ทำ Filtering ก่อนแล้วทำ Binarization

2.6.2 ผลงานวิจัยของ Jiejing Zhou และคณะ [15] ได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับ Binarization Methodสำหรับ QR Code แบ่งเป็นสองประเภทคือแบบ Global Threshold และแบบ Local Threshold กรณี Global Threshold มี Algorithm เช่น Otsu, KittlerMet, Maximum Entropyและ Histogram ส่วนกรณี Local Threshold มี Algorithm เช่น Bernsen, Mean, Median, MidGray และ Niblack โดยได้ทำการเสนอ Binarization ใหม่ โดยทำการปรับปรุงจาก Sanvola 's Threshold Algorithmจากผลการทดลองโดยใช้ขนาดภาพ 240x240 pixels QR Code เวอร์ชั่น 4 โดยภาพของ QR Code ที่นำมาทดลองนั้น เป็นกรณีที่แสงไม่สม่ำเสมอ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบ Recognition Rate (%) โดยเปรียบเทียบของ Otsu, KittlerMet, Maximum Entropry, Bernsen, Niblack, Sauvola และ Method ของเขา ผลปรากฏว่ามีค่า Recognition Rate เท่ากับ 69%, 55%, 63%, 81%, 76%, 95% และ 100% ตามลำดับ ทำให้ทราบว่า Recognition Rate (%) ของแต่ละ Algorithm มีค่าเป็นเท่าใด โดยกรณีที่ภาพของ QR Code มีแสงไม่สม่ำเสมอ

2.6.3 ผลงานวิจัยของ Zou Xing และคณะ [16] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ Binarization Method สำหรับ QR Code โดยทำการเสนอ Adaptive Nested Local Binarization Method ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกับ Ostu, Bimodal Histrogram, iterative, 6*6 Blocks Ostu, Niblack และ Nested Local Binarization โดยทำการเปรียบเทียบ Bit Error Rate (BER) และ Identification Success Rate โดยQR Codeที่นำมาใช้ในการทดลองมีโมดูลขนาด 37x37 โมดูลและขนาดภาพ 148x148 pixels โดยใช้กล้อง 30W pixels ในการถ่ายภาพ QR Code มาใช้ในการทดลอง โดยภาพที่ได้นั้น มีแสงสว่างไม่สม่ำเสมอ และมีการเบลอเกิดขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า BER ของ Ostu, Bimodal Histogram, iterative, 6*6 Blocks Ostu, Niblack และ Nested Local Binarization มีค่าเท่ากับ 0.17942, 0.21294, 0.18748, 0.1185, 0.1598 และ 0.0996 ตามลำดับ และ Identification Success Rate ของ Ostu, Bimodal Histrogram, iterative, 6*6 Blocks Ostu, Niblack และ Nested Local Binarization มีค่าเท่ากับ 42%, 31%, 34%, 90%, 60% และ 98%

2.6.4 ผลงานวิจัยของ Aidong Sun และคณะ [17] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การวิเคราะห์ภาพ QR Code ที่มีลักษณะเอียงบิดเบี้ยวจากจากเดิม งานวิจัยนี้ได้ทำการเสนอ Algorithm ในการแก้ไขลักษณะดังกล่าว โดยเริ่มจากทำการหามุมทั้งสี่ของสัญลักษณ์บาร์โค้ด 2 มิติ งานวิจัยนี้ได้ทำการนำเอา Canny Edge Detection กับ Contours Finding มาประมวลผล โดยเริ่มจาก Canny Edge Detection เพื่อหา Finder Pattern ทั้งสามมุม และทำการทำการหา Virtual Corner Point (Bottom-Right of QR Code) จะได้ QR Code ที่มีลักษณะบิดเบี้ยว จากนั้นทำการปรับสัญลักษณ์ให้กลับมาเป็นแบบเดิม โดยขอบเขตของ QR Code ที่สามารถใช้ Algorithm นี้ได้ขอบของสัญลักษณ์ที่บิดเบี้ยวต้องไม่เป็นเส้นตรงหรือไม่โค้ง

2.6.5 ผลงานวิจัยของ Cheng-Yi Yu และคณะ [18] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การปรับปรุงรูปภาพให้มีความคมชัดมากขึ้น โดยทำการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ CLAHE โดยใช้ AIHT Algorithm เนื่องจาก CLAHE ทำให้ภาพคมชัดขึ้นแต่การที่ทำให้ภาพคมชัดมากขึ้นอาจจะส่งผลให้สีผิดเพี้ยนไปจากเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเอา AIHT Algorithm มาเพิ่มประสิทธิภาพให้ภาพคมชัดและสีไม่ผิดเพี้ยน โดยจากผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง AIHT, CLAHE และ AIHT+CLAHE ซึ่งผลการทดลองการปรับปรุงรูปภาพให้มีความคมชัดขึ้น วิธี AIHT+CLAHE เป็นวิธีที่ดีที่สุด

2.6.6 ผลงานวิจัยของ Weibing Chen และคณะ [19] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การทำ Preprocessing ของ QR Code อย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มความเร็วของการถอดรหัส แทนการใช้วิธีการแบบเดิม เช่น Edge Detection และ Line Detection ซึ่งการทำ Preprocessing เป็นกุญแจสำคัญที่จะช่วยเพิ่มโอกาสในการถอดรหัส QR Code โดยเสนอวิธีการทำ Preprocessing คือ Binarization, Localization of QR Code ช่วยในการหา Finder Pattern เพื่อทำให้ง่ายต่อการ

ถอดรหัส, Geometric Rectification , Localization of Alignment Pattern ช่วยให้ทราบความกว้างและความยาวของ Finder Pattern, Image Sampling เป็นการสุ่มตัวอย่างตามเวอร์ชั่นของ QR Code เช่น QR Code เวอร์ชั่น 1 ไม่มี Alignment Pattern, QR Code เวอร์ชั่น 2-6 มี 1 Alignment Pattern, QR Code เวอร์ชั่น 7-13 มี 6 Alignment Pattern และ QR Code เวอร์ชั่น 14 มี 13 Alignment Pattern จากผลการทดลองภาพ QR Code 200 ภาพโดยอัตราการถอดรหัสอย่างถูกต้องมากกว่า 95%

2.6.7 ผลงานวิจัยของDavid Munoz-Meijias และคณะ [20] การเสนอระบบ Preprocessing ที่ไม่ซ้ำซ้อนสำหรับจัดการภาพ QR Code ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น เบลอจากการถ่ายภาพหรือจากแหล่งอื่น การหมุนที่ผิดปกติ โดยมีขั้นตอนคือ เริ่มจาก Contrast Enhancement (การเพิ่มประสิทธิภาพความคมชัด), QR code extraction โดยการใช้ Edge Detection เพื่อลบ Background ที่ไม่เกี่ยวข้องออก จากนั้นใช้ Deblurring Algorithm, Binarization แล้วทำการหา Aligment Pattern เพื่อทำการปรับภาพที่เอียงให้กลับมาปกติ จากนั้นเข้ากระบวนการถอดรหัสภาพต่อไป ซึ่งระบบนี้ให้ความสำคัญกับโมดูลแก้ไขการเบลอ (Deblurring Module) โดยใช้เสนอ Method ของตัวเอง คือ μ-optimized two-tone deblurring method (μO-2TDM) เปรียบเทียบกับ ALM deblurring algorithm แล้วผลการทดลองพบว่า แบบ μO-2TDM มีประสิทธิภาพ 97.4% โดย ALM มีประสิทธิภาพ 82.2% แต่อย่างไรก็ตาม μO-2TDM จำเป็นต้องมีค่า μO (optimal learning rate) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แสดงสมการที่ใช้หาค่าดังกล่าวไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

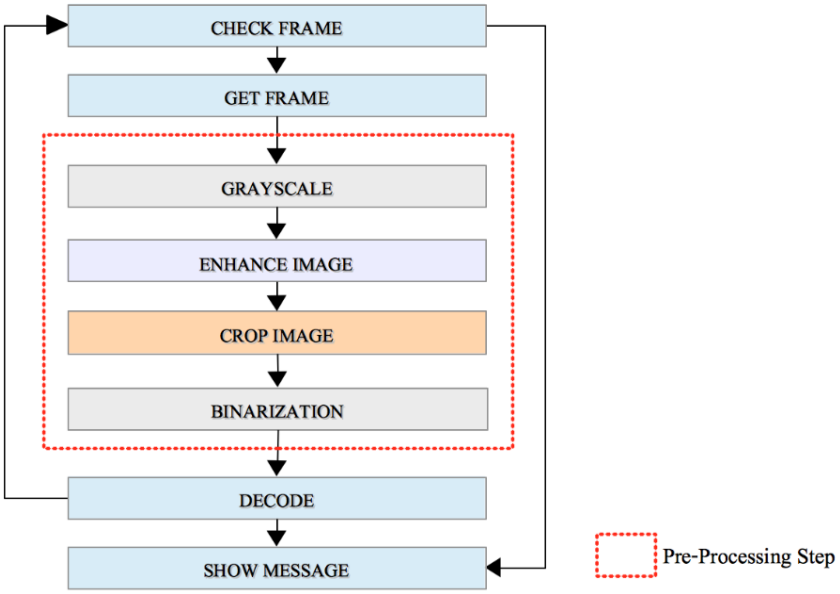
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาการอ่าน QR Code บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ โดยทำการติด QR Code ไว้ที่กระจกรถยนต์ เป็นกรณีศึกษาแทนวัตถุที่เคลื่อนที่ จากนั้นทำการบันทึกวีดีโอขณะรถยนต์เคลื่อนที่ ณ ความเร็วที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถในการอ่าน QR Codeในตอนแรกไม่สามารถอ่าน QR Code ขณะรถยนต์เคลื่อนที่ได้เลย จึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงภาพ (Enhance Image) ก่อนทำการถอดรหัส (Decode) เพื่อที่จะทำให้สามารถอ่าน QR Code ขณะรถยนต์เคลื่อนที่ได้ ลำดับขั้นตอนในการพัฒนาการอ่าน QR Code ประกอบไปด้วย ส่วนของการแปลงภาพต้นฉบับให้เป็นภาพระดับเทา (Grayscale Image) ส่วนของการปรับปรุงภาพ (Enhance Image) ส่วนของการแปลงภาพระดับเทาที่ถูกปรับปรุงคุณภาพให้อยู่เป็นภาพไบนารี (Binary Image) และส่วนของการถอดรหัส QR Code

3.1 ภาพรวมทั้งหมดของงานวิจัย

3.1.1 ภาพรวมของการอ่าน QR Code

ภาพรวมทั้งหมดของการทดสอบการอ่าน QR Code ณ ความเร็วต่างๆ เป็นดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ภาพรวมของการอ่าน QR Code

ขั้นตอนการทำงานของการอ่าน QR Codeมีดังต่อไปนี้

1. **CHECK FRAME** ตรวจสอบว่ามี Frame ภาพหรือไม่ *(พัฒนาเอง)*
    - กรณี ไม่มี ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 8 (Message: ไม่พบ QR Code)
    - กรณี มี ไปขั้นตอนต่อไป
2. **GET FRAME** ดึงภาพสีออกมาประมวลผล *(พัฒนาเอง)*
3. **GRAYSCALE** ปรับภาพสีจากขั้นตอนที่ 2 มาแปลงให้อยู่ในระดับเทา *(นำเทคนิคมาใช้)*
4. **ENHANCE IMAGE** ปรับภาพ Grayscale โดยใช้เทคนิค CLAHE *(นำเทคนิคมาใช้)*
5. **(Option) CROP IMAGE** ตัดภาพจากขนาด 1980x1080 เป็น 1000x600 *(พัฒนาเอง)*
6. **BINARIZATION** แปลงภาพที่ปรับปรุงแล้วให้เป็น Binary Image *(นำเทคนิคมาใช้)*
7. **DECODE** ถอดรหัส QR Code *(นำเทคนิคมาใช้)*
    - กรณี ไม่สามารถถอดรหัส กลับไปที่ขั้นตอนที่ 1 เพื่อตรวจสอบ Frame ถัดไป
    - กรณี สามารถถอดรหัส ไปขั้นตอนต่อไป (Message: จากการถอดรหัส)
8. **SHOW MESSAGE** แสดงข้อความให้แก่ User*(พัฒนาเอง)*

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบเพิ่มเติม Crop Image (ขั้นตอนที่ 5) โดยทำการกำหนดตำแหน่งของกระจกรถยนต์ที่ทำการติด QR Codeไว้ เพื่อช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของการอ่าน QR Code ได้แม่นยำและมีความรวดเร็วขึ้น ส่วนของรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนสามารถดูจากขั้นตอนที่ 3.2 – 3.6 โดย

3.2 คือ ขั้นตอนการแปลงภาพเป็น Grayscale Image

3.3 คือ ขั้นตอนการปรับปรุงภาพ

3.4 คือ ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตที่ทำการถอดรหัส

3.5 คือ ขั้นตอนการแปลงภาพเป็น Binary Image

3.6 คือ ขั้นตอนการถอดรหัส QR Code โดยใช้ ZXing Library

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

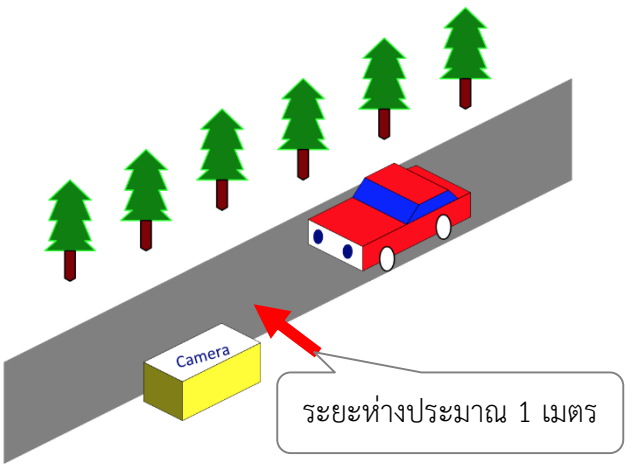
3.1.2 ตำแหน่งของ QR Code บนกระจกรถยนต์

ตำแหน่งของ QR Code ที่ใช้ในการทดลองเราคำนึงถึงการใช้งานจริง โดยอ้างอิงขนาดและตำแหน่งของแผ่นป้ายกำกับภาษีของรถยนต์เป็นเกณฑ์ ขนาดของ QR Codeที่ใช้ในการทดลองคือขนาด 9x9 เซนติเมตร และตำแหน่งคือทางซ้ายของกระจกรถยนต์ (ซ้ายมือของคนขับ) โดยทำการติดไว้ด้านในของกระจกรถยนต์เช่นเดียวกับแผ่นป้ายกำกับภาษี โดยทำการสร้าง QR Code ที่ระบุทะเบียนของรถยนต์คันดังกล่าวเป็นกรณีศึกษา ดังภาพที่ *26*

ภาพที่ 26 ตำแหน่งของ QR Code บนกระจกรถยนต์

3.1.3 ตำแหน่งของกล้อง

ตำแหน่งของกล้องอยู่ทางด้านซ้ายของรถยนต์ โดยระยะห่างระหว่างกล้องกับตัว QR Code (รถยนต์) ประมาณ 1 เมตร ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ตำแหน่งของกล้อง

3.2 การแปลงภาพต้นฉบับให้เป็นภาพระดับเทา (Convert to Grayscale Image)

เมื่อได้ภาพมาขั้นตอนแรกของ Pre-Processingคือแปลงภาพสีในระบบ RGB เป็นภาพระดับเทา (Grayscale Image) ดังภาพที่ 28

ภาพที่ 28 การแปลงภาพจาก RGB Image เป็น Grayscale Image

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

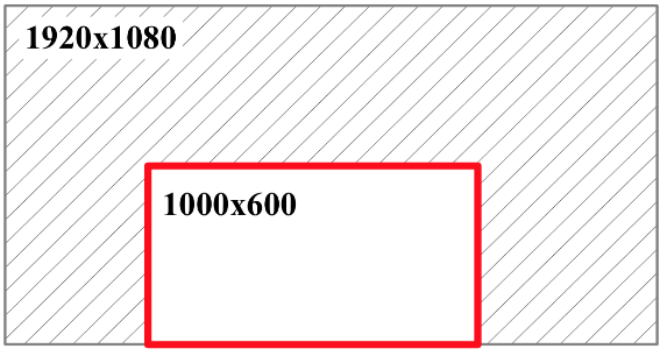
3.3 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

ขั้นตอนการปรับปรุงภาพนั้นสำคัญมากสำหรับการอ่าน QR Code ที่อยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่ งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization ดังภาพที่ *29*

ภาพที่ 29 การปรับปรุงภาพ

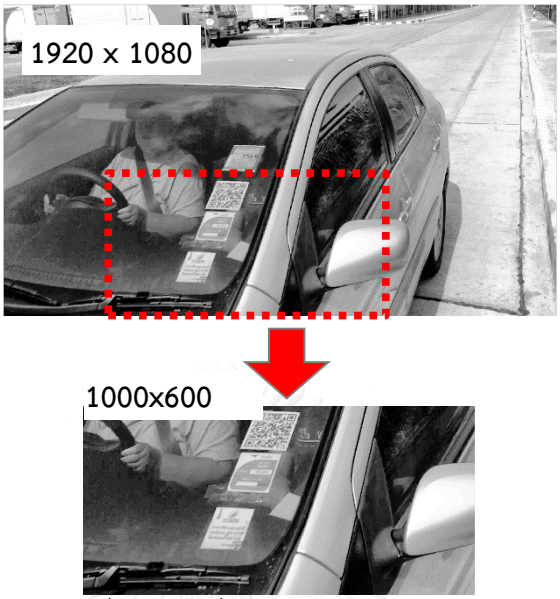
3.4 การกำหนดขอบเขตในการถอดรหัส QR Code (Region of Interest)

การกำหนดขอบเขตเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่าน QR Code สำหรับกรณีศึกษานี้เท่านั้น ถ้าเป็นกรณีศึกษาอื่นๆ ไม่จำเป็นต้องทำส่วนนี้ โดยทำการตัดบางส่วนของภาพลงจากเดิมภาพมีขนาด 1920x1080 Pixels ให้เหลือพื้นที่เพียง 1000x600 Pixels ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การกำหนดขอบเขต

ตำแหน่งที่เลือกมาคือตำแหน่งของกระจกรถยนต์ที่ทำการติด QR Code ดังภาพที่ *31*



ภาพที่ 31 การที่ได้จากการกำหนดขอบเขต

3.5 การแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพไบนารี่ (Convert to Binary Image)

นำภาพระดับเทาที่ทำการปรับปรุงแล้วมาแปลงให้อยู่ในรูปของรูปภาพไบนารี่ ดังภาพที่ *32*

ภาพที่ 32 การแปลงภาพจาก Grayscale Image เป็น Binary Image

3.6 การถอดรหัส QR Code (Decode QR Code)

งานวิจัยนี้ใช้ Zxing Library ซึ่งเป็น Open Source ที่ใช้สำหรับถอดรหัส QR Code โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำภาพ Binary Image ทำการหาตำแหน่งของภาพและทำให้โมดูลเรียนรู้แสงสว่างและแสงมืด แล้วทำการแปลงเป็น ทำการแปลงภาพที่นำเข้าโดยการแปลงเป็น Array Bit '0' และ '1'

2. ถอดรหัส Format Information ในส่วนของประเภท Masking Pattern และระดับ Error Correction

3. อ่านข้อมูล Version ของ QR Code

4. ทำการถอด Masking โดยใช้โอเปอเรเตอร์ XOR

5. อ่านตำแหน่งในรูปแบบการวางโมดูล

6. ตรวจสอบความผิดพลาด

   - ถ้าพบ ไปที่ขั้นตอนที่ 7

   - ถ้าไม่พบ ไปที่ขั้นตอนที่ 8

7. ใช้ Error Correction Codewords ที่สอดคล้อง

8. ถอดรหัส Data Codewords

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย ส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และส่วนของผลการทดลอง โดยส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ ซอฟแวร์ และ QR Code ส่วนของผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นกรณีไม่ทำการตัดภาพ กรณีตัดภาพ ผลการทดลองอ่าน QR Code ในขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5-60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแต่ละความเร็วมีทำการทดลองอ่านอย่างละ 20 ครั้ง และ Identification Success Rate

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในงานวิจัย

1. รถยนต์ เพื่อจำลองเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ได้
2. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ
    - Processor 2.6 GHz Intel Core i5
    - Memory 8 GB 1600 MHz DDR3
    - Storage 256 GB
    - OS OS X Yosemite version 10.90
3. มือถือรุ่น iPhone6 Plus สำหรับบันทึกวีดีโอขณะรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ

4.1.2 ซอฟแวร์ (Software) ที่ใช้ในงานวิจัย

1. Matlab version R2013a
2. Zxing Library ในการถอดรหัส QR Code
    - The core version 2.2
    - Javase parts version 2.2

4.1.3 QR Code ที่ใช้ในงานวิจัย

QR Code ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

- QR Code version 2
- Error Correction Level L
- ขนาด กว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร

ภาพที่ 33 QR Code ที่ใช้ในการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

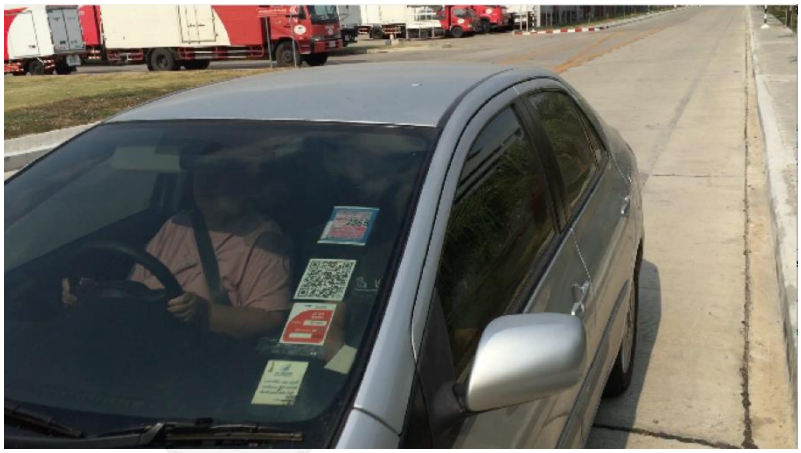
งานวิจัยนี้ทำการทดลองขณะรถยนต์วิ่งด้วยความเร็ว 5 ถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแต่ละความเร็วทำการทดสอบการอ่าน QR Codeอย่างละ 20 ครั้ง ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรณีที่ไม่ตัดภาพและกรณีที่ตัดภาพ เนื่องจากการตัดภาพนั้นช่วยให้การอ่าน QR Code มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม เนื่องจากลดขนาดของภาพลง ทำให้ความเร็วในการอ่าน QR Codeเพิ่มขึ้นจากเดิม 60% โดยกรณีตัดภาพมีผลกับกรณีศึกษานี้เท่านั่น ถ้าเป็นกรณีอื่นไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนในการตัดภาพ

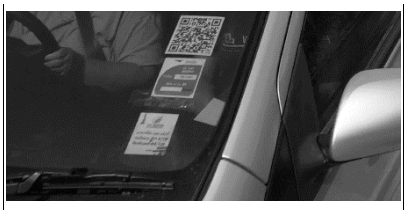
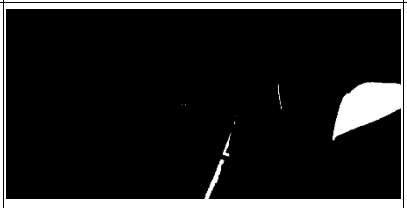
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1 เปรียบเทียบกรณีปรับปรุงภาพและไม่ปรับปรุงภาพ

การทดลองในช่วงแรกได้ทำการเปรียบเทียบการอ่าน QR Code เปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่มีการปรับปรุงภาพและกรณีปรับปรุงภาพด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) ดังตารางที่ *5*

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่าง ใช้เทคนิค CLAHE และ ไม่ใช้เทคนิค CLAHE

ขั้นตอน	Without CLAHE	With CLAHE
RGB Image		
Grayscale Image		
Enhanced Image	-	

Cropped Image		
Binary Image		
QR Code	-	

จะเห็นได้ว่าภาพ *Binary Image* ที่จะทำการถอดรหัส *QR Code* นั่นแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยภาพที่ได้จากการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิค *CLAHE* เราสามารถมองเห็น *QR Code* บนกระจกรถยนต์ได้อย่างชัดเจน แต่กรณีที่ไม่ทำการปรับปรุงภาพเราจะไม่สามารถเห็น *QR Code* บนกระจกรถยนต์ได้เลย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 กรณีไม่ตัดภาพ

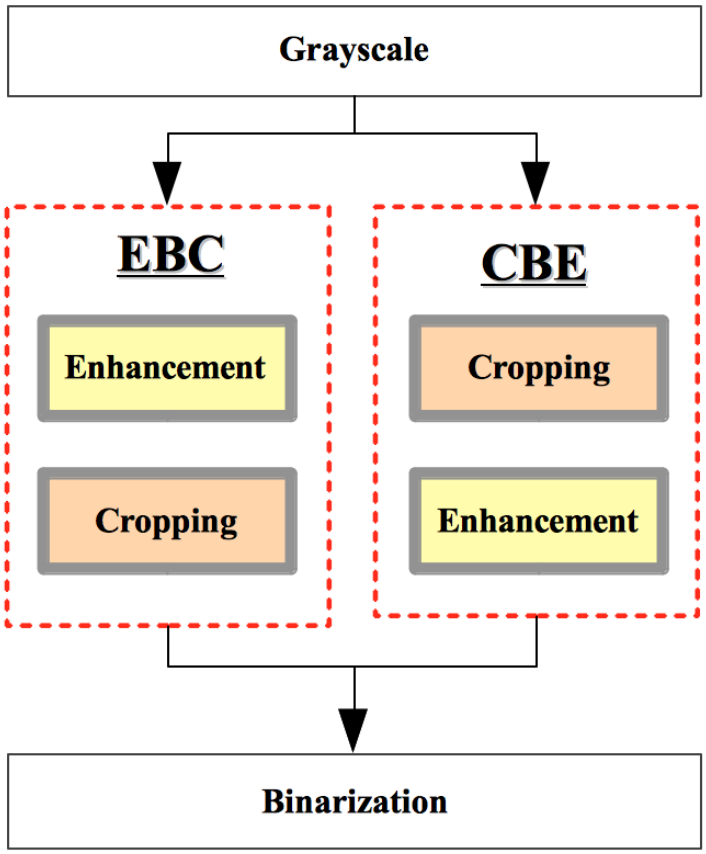
การทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ภาพที่ไม่ถูกตัดบางส่วนออก กับ ภาพที่ตัดบางส่วนของ โดยผลการทดลองกรณีไม่ตัดภาพแสดงตามตารางที่ *6*

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์กรณีไม่ตัดภาพ

ขั้นตอน	ผลลัพธ์
RGB Image	
Grayscale Image	
Enhanced Image	
Binary Image	
Output	ฎก3179 กรุงเทพมหานคร

4.2.3 กรณีตัดภาพ

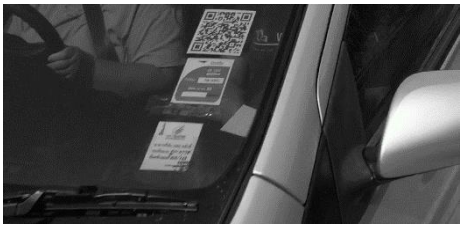
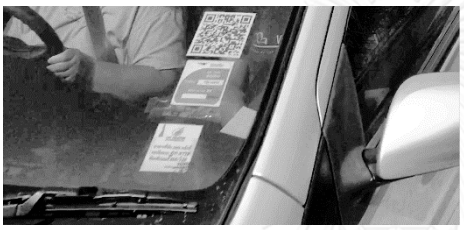
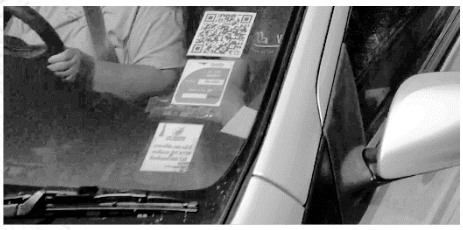
งานวิจัยนี้ มีการใช้รถยนต์เป็นกรณีศึกษา สำหรับเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ โดยได้ทำการนำเสนอเทคนิคที่ช่วยในการประมวลผลภาพทำให้ภาพใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง ซึ่งเทคนิคนี้นำการตัดภาพบางส่วน หรือ เลือกส่วนที่เราสนใจบางส่วนมาประมวลผล โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) ก่อนตัดภาพ (Cropping) และ วิธีตัดภาพก่อนการปรับปรุงภาพ ดังภาพที่ *34*



ภาพที่ 34 ขั้นตอนการตัดภาพและการปรับปรุงภาพ

ซึ่งผลการทดลองพบว่าวิธีการปรับปรุงภาพก่อนตัดภาพให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า วิธีตัดภาพก่อนการปรับปรุงภาพ โดยผลการทดลองตามตารางที่ *7*

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์กรณีตัดภาพ

EBC	CBE
ปรับปรุงภาพ	ตัดภาพ 
ตัดภาพ 	ปรับปรุงภาพ 
Binarization	Binarization
QR Code	QR Code

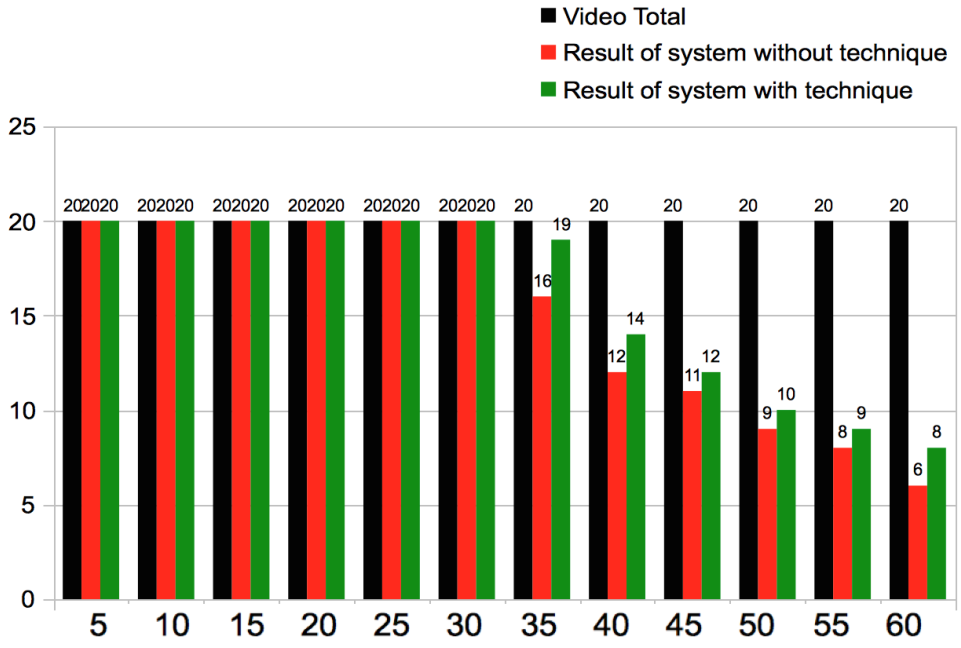
4.2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองอ่าน QR Code ขณะรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ โดยจากการทดลองได้ทำการทดสอบอ่าน QR Code โดยอ่านจากภาพโดยตรง และใช้เทคนิคตัดภาพบางส่วน โดยผลการทดลองอ่าน QR Code ของกรณีที่ไม่ตัดภาพและกรณีที่ตัดภาพ โดยจากผลการทดลองพบว่า สามารถอ่าน QR Code ได้ 100% กรณีที่รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังตารางที่ *8* และ ภาพที่ 35

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์ของการอ่าน QR Code

ความเร็วของรถยนต์ (กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง)	**จำนวนที่อ่านได้**		
	ไม่มีขั้นตอน ตัดภาพ	**มีขั้นตอน ตัดภาพ**	**ผลต่าง**
5	20	20	-
10	20	20	-
15	20	20	-
20	20	20	-
25	20	20	-
30	20	20	-
35	16	19	**+3**
40	12	14	**+2**
45	11	12	**+1**
50	9	10	**+1**
55	8	9	**+1**
60	6	8	**+2**

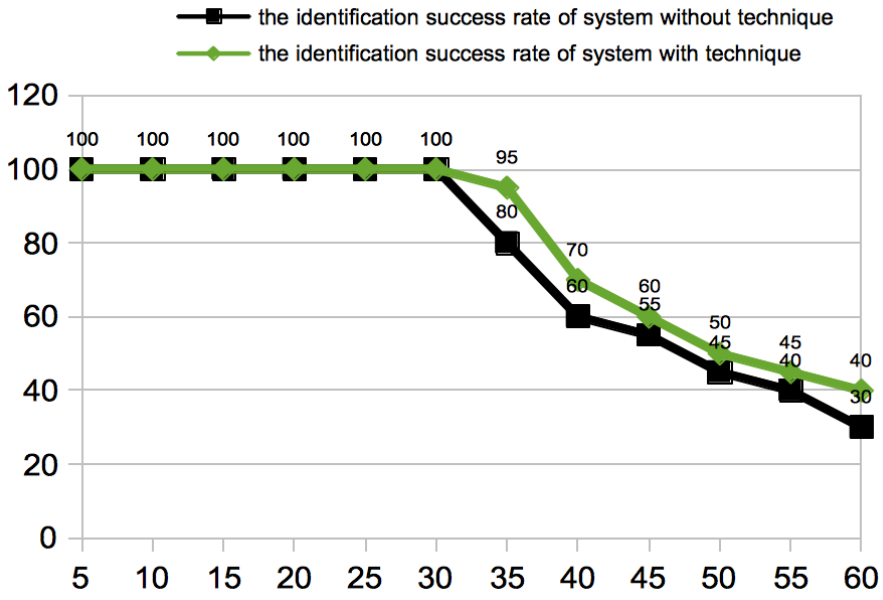
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 35 ผลลัพธ์ของการอ่าน QR Code

4.2.5 Identification Success Rate

โดยจากผลการทดลองในข้อ 4.2.4 สามารถแสดง Identification Success Rate ของการอ่าน QR Code ที่ความเร็วต่างๆได้ ดังภาพที่ 36 และ ตารางที่ *9*



ภาพที่ 36 Identification Success Rate ของการอ่าน QR Code

ตารางที่ 9 Identification Success Rate ของการอ่าน QR Code

ความเร็วของรถยนต์ (กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง)	Identification Success Rate		
	ไม่มีขั้นตอน ตัดภาพ	มีขั้นตอน ตัดภาพ	ผลต่าง
5	100%	100%	-
10	100%	100%	-
15	100%	100%	-
20	100%	100%	-
25	100%	100%	-
30	100%	100%	-
35	80%	95%	**+15%**
40	60%	70%	**+10%**
45	55%	60%	**+5%**
50	45%	50%	**+5%**
55	40%	45%	**+5%**
60	30%	40%	**+10%**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

สรุปผลของงานวิจัยนี้ ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะอันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงการอ่าน QR Code ในขณะที่ติดอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการอ่าน QR Code บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ โดยทำการติด QR Code บนกระจกรถยนต์ และทำการอ่าน QR Code ขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ โดยรถยนต์วิ่งด้วยความเร็ว 5 ถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการทดสอบช่วงแรก ไม่สามารถอ่าน QR Code ขณะติดบนรถยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ เนื่องจากความเร็วของรถยนต์ส่งผลให้ภาพที่ได้นั้นมีลักษณะเบลอ ไม่ชัดเจน เป็นผลมาภาพสะท้อนของกระจกรถยนต์

ทำให้จำเป็นต้องปรับปรุงภาพก่อนทำการถอดรหัส โดยทำการทดสอบวิธีการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น เทคนิค Histogram Stretch เทคนิค Histogram Equalization เทคนิค Adaptive Histogram Equalization และ เทคนิค Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization พบว่าเทคนิค Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization เป็นวิธีที่ดีที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคนี้ในขั้นตอนการปรับปรุงภาพก่อนทำการถอดรหัส

จากกรณีศึกษาที่นำรถยนต์มาเป็นวัตถุที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ทำให้มีแนวคิดที่จะทำการตัดภาพพื้นหลังบางส่วนออกเพื่อช่วยให้การอ่าน QR Code มีความรวดเร็วขึ้น เราทำการเลือกตำแหน่งที่นำมาตัดนั้น เลือกจากตำแหน่งที่สามารถอ่าน QR Code ได้จากกลุ่มตัวอย่าง ทำให้ได้ตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยทำการตัดภาพจากภาพที่มีขนาด 1980x1080 เป็นภาพที่มีขนาด 1000x600 ซึ่งส่งผลให้สามารถอ่าน QR Code ได้รวดเร็วขึ้น ในส่วนของการตัดภาพใช้กับกรณีศึกษานี้เท่านั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาขั้นตอนในระหว่างการปรับปรุงภาพก่อนการตัดภาพหรือการตัดภาพก่อนการปรับปรุงภาพ ซึ่งจากตารางที่ 4-2 ทำให้ทราบว่าวิธีปรับปรุงภาพก่อนตัดภาพได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

ผลการทดสอบอ่าน QR Code บนรถยนต์ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ กรณีไม่ตัดภาพและกรณีตัดภาพมาช่วยในการอ่าน QR Code โดยในส่วนของเทคนิคการตัดภาพส่งผลให้สามารถอ่าน QR Code ได้เพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองอ่าน QR Code บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ โดยทำการติด QR Code บนกระจกรถยนต์ ขณะรถยนต์เคลื่อนที่ที่ความเร็วสูงสุด 60 กิโลเมตร จึงมีข้อเสนอแนะให้เพิ่มความเร็วของรถยนต์เพื่อทำการทดสอบในอนาคต หรือแม้กระทั่งลดขนาดของ QR Code ลงเนื่องจากปัจจุบันขนาดของ QR Code ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเท่ากับแผ่นป้ายแสดงกำกับภาษี

จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบรักษาความปลอดภัยอื่นๆได้ เช่น การนำส่วนของการอ่านแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์และการอ่าน QR Code มาสร้างเป็นระบบกันการขโมยรถยนต์ได้ เนื่องจากแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์สามารถถูกเปลี่ยนได้ แต่ QR Code สามารถเข้ารหัสข้อมูลได้เพื่อกันปลอมแปลง ดังตัวอย่างในภาพที่ 37

ภาพที่ 37 ตัวอย่าง QR Code ที่ทำการเข้ารหัส

หรือในอนาคตสามารถนำ QR Code แทนส่วนของป้ายกำกับภาษีได้ เพื่อช่วยในการเช็ควันหมดอายุแทนตำรวจ เนื่องจากมีรถอยู่เป็นจำนวนมากบนท้องถนนทำให้ตำรวจตรวจสอบว่ารถแต่ละคันนั้นได้ทำการเสียภาษีประจำปีแล้วหรือยังนั้นทำได้ยากและไม่ครอบคลุมทั้งหมด อีกทั้งการใช้คนในการตรวจสอบอาจจะพบความผิดพลาดที่เกิดจากคนหรือที่เรียกว่า Human Error

รายการอ้างอิง

[7] Suppat Rungraungsilp, Mahasak Ketcham, Tanee Wiputtikul, Sartid Vongpradhip "Data Hiding Method for QR Code Based on Watermark by comparing DFT with DWT Domain", International Conference on Computer and Communication Technologies, pp.154-158, 2012.

[8] Fadi Masalha, Nael Hirzallah, “A Students Attendance System Using QR Code”, International Journal of Advanced Computer and Science and Application, vol.5, No. 3, 2014

[9] สถิติรถจดทะเบียนสะสม “http://apps.dlt.go.th/statistics_web/statistics.html”

[10] สถิติรถจกทะเบียนใหม่ ปี 2556 และ2557
“http://apps.dlt.go.th/statistics.../brochure/statreport114.pdf”

[11] ราชกิจจานุเบกษา
“http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2554/A/045/6.PDF”

[12] ISO/IEC. Information technology-Automatic identification and data capture techniques-Bar code symbology-QR Code. First Edition. 18004. Switzerland: ISO copyright office, 2000.

[13] Makhapu, P., Sangthongpattana, K.,Jantarapatin, S. and Mitrpant, C. The embedding of Thai in QR Code. the IEEE International conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) (May 2011) : 516-519.

[14] ISO/IEC. Information technology-Automatic identification and data capture techniques-Bar code symbology-QR Code. First Edition. 18004. Switzerland: ISO copyright office, 2006.

[15] Xiong Zou, Guo-dong Liu, Jiam-min Wang. Study on the Sequence of Steps in the QR Code Image Preprocessing. Proceedings of IEEE, 2010

[16] Jiejing Zhou, Yunfei Liu, Peng L. Research on Binarization of QR Code Image. Proceedings of IEEE, 2010 [9] Zou Xing, He Cuiqun, Liu Guodong, Liang Zhijun. A Binarization Method of Quick Response Code Image. 2010 2nd International Conference on Signal Precessing System (ICSPS), 2010

[17] Aidong Sun, Yan Sun, Caixing Liu. The QR-code reorganization in illegible snapshots taken by mobile phones. Fifth International Conference on Computational Science and Application, 2007

[18] Cheng-Yi Yu, Hsueh-Yi Lin, Yen-Chieh Ouyang, Tzu-Wei Yu. An International Journal Applied Mathematics and Information Sciences, 2013

[19] Weibing Chen, Gaobo Yang, Ganglin Zhang. A Simple and Efficient Image Pre-processing for QR Decoder. 2nd International Conference on Electrical and Mechanical Engineering and Information Technologies (EMEIT-2012), 2012

[20] Devid Munoz-Meijias, Ivan Fonzalez-Diaz. A Low-Complexity Pre-processing System for Restoring Low- Quality QR Code Image. IEEE Tranaction on Consumer Electronic, 2011

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดง Data Capacity ของ QR Code version 1-40

Data Capacity ของ QR Code version 1 ถึง version 40 และ Micro QR Code Version M1 M2 M3 และ M4 โดยแต่ละ Version จะสามารถเก็บข้อมูลได้ต่างกันตามชนิดของข้อมูลและ Error Correction Level

Version	Error correction level	Number of data codewords	Number of data bits	Data capacity			
				Numeric	Alphanumeric	Byte	Kanji
M1	Error Detection only	3	20	5	-	-	-
M2	L	5	40	10	6	-	-
	M	4	32	8	5	-	-
M3	L	11	84	23	14	9	6
	M	9	68	18	11	7	4
M4	L	16	128	35	21	15	9
	M	14	112	30	18	13	8
	Q	10	80	21	13	9	5
1	L	19	152	41	25	17	10
	M	16	128	34	20	14	8
	Q	13	104	27	16	11	7
	H	9	72	17	10	7	4
2	L	34	272	77	47	32	20
	M	28	224	63	38	26	16
	Q	22	176	48	29	20	12
	H	16	128	34	20	14	8
3	L	55	440	127	77	53	32
	M	44	352	101	61	42	26
	Q	34	272	77	47	32	20
	H	26	208	58	35	24	15
4	L	80	640	187	114	78	48
	M	64	512	149	90	62	38
	Q	48	384	111	67	46	28
	H	36	288	82	50	34	21
5	L	108	864	255	154	106	65
	M	86	688	202	122	84	52
	Q	62	496	144	87	60	37
	H	46	368	106	64	44	27

Version	Error correction level	Number of data codewords	Number of data bits	Data capacity			
				Numeric	Alphanumeric	Byte	Kanji
6	L	136	1 088	322	195	134	82
	M	108	864	255	154	106	65
	Q	76	608	178	108	74	45
	H	60	480	139	84	58	36
7	L	156	1 248	370	224	154	95
	M	124	992	293	178	122	75
	Q	88	704	207	125	86	53
	H	66	528	154	93	64	39
8	L	194	1 552	461	279	192	118
	M	154	1 232	365	221	152	93
	Q	110	880	259	157	108	66
	H	86	688	202	122	84	52
9	L	232	1 856	552	335	230	141
	M	182	1 456	432	262	180	111
	Q	132	1 056	312	189	130	80
	H	100	800	235	143	98	60
10	L	274	2 192	652	395	271	167
	M	216	1 728	513	311	213	131
	Q	154	1 232	364	221	151	93
	H	122	976	288	174	119	74
11	L	324	2 592	772	468	321	198
	M	254	2 032	604	366	251	155
	Q	180	1 440	427	259	177	109
	H	140	1 120	331	200	137	85
12	L	370	2 960	883	535	367	226
	M	290	2 320	691	419	287	177
	Q	206	1 648	489	296	203	125
	H	158	1 264	374	227	155	96
13	L	428	3 424	1 022	619	425	262
	M	334	2 672	796	483	331	204
	Q	244	1 952	580	352	241	149
	H	180	1 440	427	259	177	109
14	L	461	3 688	1 101	667	458	282
	M	365	2 920	871	528	362	223
	Q	261	2 088	621	376	258	159
	H	197	1 576	468	283	194	120
15	L	523	4 184	1 250	758	520	320
	M	415	3 320	991	600	412	254
	Q	295	2 360	703	426	292	180
	H	223	1 784	530	321	220	136
16	L	589	4 712	1 408	854	586	361
	M	453	3 624	1 082	656	450	277
	Q	325	2 600	775	470	322	198
	H	253	2 024	602	365	250	154
17	L	647	5 176	1 548	938	644	397
	M	507	4 056	1 212	734	504	310
	Q	367	2 936	876	531	364	224
	H	283	2 264	674	408	280	173

Version	Error correction level	Number of data codewords	Number of data bits	Data capacity			
				Numeric	Alphanumeric	Byte	Kanji
18	L	721	5 768	1 725	1 046	718	442
	M	563	4 504	1 346	816	560	345
	Q	397	3 176	948	574	394	243
	H	313	2 504	746	452	310	191
19	L	795	6 360	1 903	1 153	792	488
	M	627	5 016	1 500	909	624	384
	Q	445	3 560	1 063	644	442	272
	H	341	2 728	813	493	338	208
20	L	861	6 888	2 061	1 249	858	528
	M	669	5 352	1 600	970	666	410
	Q	485	3 880	1 159	702	482	297
	H	385	3 080	919	557	382	235
21	L	932	7 456	2 232	1 352	929	572
	M	714	5 712	1 708	1 035	711	438
	Q	512	4 096	1 224	742	509	314
	H	406	3 248	969	587	403	248
22	L	1 006	8 048	2 409	1 460	1 003	618
	M	782	6 256	1 872	1 134	779	480
	Q	568	4 544	1 358	823	565	348
	H	442	3 536	1 056	640	439	270
23	L	1 094	8 752	2 620	1 588	1 091	672
	M	860	6 880	2 059	1 248	857	528
	Q	614	4 912	1 468	890	611	376
	H	464	3 712	1 108	672	461	284
24	L	1 174	9 392	2 812	1 704	1 171	721
	M	914	7 312	2 188	1 326	911	561
	Q	664	5 312	1 588	963	661	407
	H	514	4 112	1 228	744	511	315
25	L	1 276	10 208	3 057	1 853	1 273	784
	M	1 000	8 000	2 395	1 451	997	614
	Q	718	5 744	1 718	1 041	715	440
	H	538	4 304	1 286	779	535	330
26	L	1 370	10 960	3 283	1 990	1 367	842
	M	1 062	8 496	2 544	1 542	1 059	652
	Q	754	6 032	1 804	1 094	751	462
	H	596	4 768	1 425	864	593	365
27	L	1 468	11 744	3 517	2 132	1 465	902
	M	1 128	9 024	2 701	1 637	1 125	692
	Q	808	6 464	1 933	1 172	805	496
	H	628	5 024	1 501	910	625	385
28	L	1 531	12 248	3 669	2 223	1 528	940
	M	1 193	9 544	2 857	1 732	1 190	732
	Q	871	6 968	2 085	1 263	868	534
	H	661	5 288	1 581	958	658	405
29	L	1 631	13 048	3 909	2 369	1 628	1 002
	M	1 267	10 136	3 035	1 839	1 264	778
	Q	911	7 288	2 181	1 322	908	559
	H	701	5 608	1 677	1 016	698	430

Version	Error correction level	Number of data codewords	Number of data bits	Data capacity			
				Numeric	Alphanumeric	Byte	Kanji
30	L	1 735	13 880	4 158	2 520	1 732	1 066
	M	1 373	10 984	3 289	1 994	1 370	843
	Q	985	7 880	2 358	1 429	982	604
	H	745	5 960	1 782	1 080	742	457
31	L	1 843	14 744	4 417	2 677	1 840	1 132
	M	1 455	11 640	3 486	2 113	1 452	894
	Q	1 033	8 264	2 473	1 499	1 030	634
	H	793	6 344	1 897	1 150	790	486
32	L	1 955	15 640	4 686	2 840	1 952	1 201
	M	1 541	12 328	3 693	2 238	1 538	947
	Q	1 115	8 920	2 670	1 618	1 112	684
	H	845	6 760	2 022	1 226	842	518
33	L	2 071	16 568	4 965	3 009	2 068	1 273
	M	1 631	13 048	3 909	2 369	1 628	1 002
	Q	1 171	9 368	2 805	1 700	1 168	719
	H	901	7 208	2 157	1 307	898	553
34	L	2 191	17 528	5 253	3 183	2 188	1 347
	M	1 725	13 800	4 134	2 506	1 722	1 060
	Q	1 231	9 848	2 949	1 787	1 228	756
	H	961	7 688	2 301	1 394	958	590
35	L	2 306	18 448	5 529	3 351	2 303	1 417
	M	1 812	14 496	4 343	2 632	1 809	1 113
	Q	1 286	10 288	3 081	1 867	1 283	790
	H	986	7 888	2 361	1 431	983	605
36	L	2 434	19 472	5 836	3 537	2 431	1 496
	M	1 914	15 312	4 588	2 780	1 911	1 176
	Q	1 354	10 832	3 244	1 966	1 351	832
	H	1 054	8 432	2 524	1 530	1 051	647
37	L	2 566	20 528	6 153	3 729	2 563	1 577
	M	1 992	15 936	4 775	2 894	1 989	1 224
	Q	1 426	11 408	3 417	2 071	1 423	876
	H	1 096	8 768	2 625	1 591	1 093	673
38	L	2 702	21 616	6 479	3 927	2 699	1 661
	M	2 102	16 816	5 039	3 054	2 099	1 292
	Q	1 502	12 016	3 599	2 181	1 499	923
	H	1 142	9 136	2 735	1 658	1 139	701
39	L	2 812	22 496	6 743	4 087	2 809	1 729
	M	2 216	17 728	5 313	3 220	2 213	1 362
	Q	1 582	12 656	3 791	2 298	1 579	972
	H	1 222	9 776	2 927	1 774	1 219	750
40	L	2 956	23 648	7 089	4 296	2 953	1 817
	M	2 334	18 672	5 596	3 391	2 331	1 435
	Q	1 666	13 328	3 993	2 420	1 663	1 024
	H	1 276	10 208	3 057	1 852	1 273	784

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่าง Code ของการถอดรหัส QR Code ในโปรแกรม Matlab

File ที่จำเป็นต้องใช้

ทำการ Download File ที่สำคัญสำหรับการถอดรหัส QR Code จาก ZXing

1. core.jar
2. javase.jar
3. decode_qr.m (เป็น Code ส่วนของการถอดรหัสโดยใช้ ZXing)

ตัวอย่าง Code ของการถอดรหัส QR Code ใน Matlab

```
% add the core and javase parts of zxing library
javaaddpath({'Path/core-2.2.jar','/Path/javase-2.2.jar'});

% load pic from file IMG_1027.jpg
pic = imread('/Path/IMG_1190.JPG');

% convert to grayscale image
imGray = rgb2gray(pic);

% convert to binary image
imBinary = im2bw(imGray,0.7);

% decode QRcode using decode_qr.m
message = decode_qr(BW00);

% show message to user
disp(message);
```

ขั้นตอนในการถอดรหัส QR Code จากภาพ

1. Add ZXing Library โดยใช้คำสั่ง : *javaaddpath*
2. Load รูปภาพ โดยใช้คำสั่ง : *imread*
3. แปลงรูปเป็น Grayscale Image โดยใช้คำสั่ง : *rgb2gray*
4. แปลงรูปเป็น Binary Image โดยใช้คำสั่ง : im2bw
5. ถอดรหัส QR Code โดยเรียกใช้จาก File decode_qr.m
6. โชว์ข้อความให้ผู้ใช้ โดยใช้คำสั่ง disp

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่าง Code ของดึงภาพจากวีดีโอ ใน Matlab

ตัวอย่าง Code *ของการดึงภาพจากวีดีโอใน* Matlab

```
% path + file name
filename        = '/Path/IMG_3120.MOV';
videoFReader    = vision.VideoFileReader(filename);
videoInfo       = info(videoFReader);
videoPlayer     = vision.VideoPlayer;

while ~isDone(videoFReader)

    videoFrame = step(videoFReader);
    step(videoPlayer, videoFrame);
    % convert to grayscale image
    imGray = rgb2gray(videoFrame);
    % convert to binary image
    imBinary = im2bw(imGray,0.7);
end

release(videoPlayer);
release(videoFReader);
```

จาก Code *ตัวอย่างด้านบน* Video frame *ที่เราใช้ในการประมวลผลภาพ ได้มาจากคำสั่ง* step

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลอง (ฉบับเต็ม)

O สามารถอ่านได้ x ไม่สามารถอ่านได้

ความเร็ว 5 km/hr.			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2301	o	o
2	IMG_2302	o	o
3	IMG_2304	o	o
4	IMG_2305	o	o
5	IMG_2308	o	o
6	IMG_2309	o	o
7	IMG_2310	o	o
8	IMG_2314	o	o
9	IMG_2319	o	o
10	IMG_2320	o	o
11	IMG_2361	o	o
12	IMG_2362	o	o
13	IMG_2367	o	o
14	IMG_2369	o	o
15	IMG_2370	o	o
16	IMG_3519	o	o
17	IMG_3520	o	o
18	IMG_3522	o	o
19	IMG_3524	o	o
20	IMG_3525	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 10 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2303	o	o
2	IMG_2306	o	o
3	IMG_2307	o	o
4	IMG_2311	o	o
5	IMG_2312	o	o
6	IMG_2313	o	o
7	IMG_2315	o	o
8	IMG_2316	o	o
9	IMG_2317	o	o
10	IMG_2318	o	o
11	IMG_2363	o	o
12	IMG_2364	o	o
13	IMG_2365	o	o
14	IMG_2366	o	o
15	IMG_2368	o	o
16	IMG_2371	o	o
17	IMG_2372	o	o
18	IMG_3521	o	o
19	IMG_3523	o	o
20	IMG_3526	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 15 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2341	o	o
2	IMG_2342	o	o
3	IMG_2344	o	o
4	IMG_2345	o	o
5	IMG_2350	o	o
6	IMG_2373	o	o
7	IMG_2374	o	o
8	IMG_2375	o	o
9	IMG_2376	o	o
10	IMG_2377	o	o
11	IMG_2379	o	o
12	IMG_3527	o	o
13	IMG_3528	o	o
14	IMG_3529	o	o
15	IMG_3530	o	o
16	IMG_3531	o	o
17	IMG_3532	o	o
18	IMG_3534	o	o
19	IMG_3535	o	o
20	IMG_3536	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 20 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2343	o	o
2	IMG_2346	o	o
3	IMG_2347	o	o
4	IMG_2348	o	o
5	IMG_2349	o	o
6	IMG_2378	o	o
7	IMG_2380	o	o
8	IMG_2383	o	o
9	IMG_2384	o	o
10	IMG_2385	o	o
11	IMG_3533	o	o
12	IMG_3537	o	o
13	IMG_3539	o	o
14	IMG_3541	o	o
15	IMG_3542	o	o
16	IMG_3543	o	o
17	IMG_3545	o	o
18	IMG_3547	o	o
19	IMG_3548	o	o
20	IMG_3549	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 25 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2351	o	o
2	IMG_2352	o	o
3	IMG_2354	o	o
4	IMG_2355	o	o
5	IMG_2357	o	o
6	IMG_2381	o	o
7	IMG_2382	o	o
8	IMG_2386	o	o
9	IMG_2387	o	o
10	IMG_2388	o	o
11	IMG_3550	o	o
12	IMG_3551	o	o
13	IMG_3553	o	o
14	IMG_3554	o	o
15	IMG_3557	o	o
16	IMG_3558	o	o
17	IMG_3559	o	o
18	IMG_3560	o	o
19	IMG_3562	o	o
20	IMG_3563	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 30 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2353	o	o
2	IMG_2356	o	o
3	IMG_2358	o	o
4	IMG_2359	o	o
5	IMG_2360	o	o
6	IMG_2389	o	o
7	IMG_2390	o	o
8	IMG_2391	o	o
9	IMG_2392	o	o
10	IMG_2393	o	o
11	IMG_3561	o	o
12	IMG_3564	o	o
13	IMG_3565	o	o
14	IMG_3566	o	o
15	IMG_3567	o	o
16	IMG_3568	o	o
17	IMG_3569	o	o
18	IMG_3570	o	o
19	IMG_3571	o	o
20	IMG_3572	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		20	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 35 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2394	o	o
2	IMG_2395	o	o
3	IMG_2396	o	o
4	IMG_2397	o	o
5	IMG_2401	o	o
6	IMG_2402	x	x
7	IMG_2403	x	o
8	IMG_2404	x	o
9	IMG_2406	o	o
10	IMG_2414	o	o
11	IMG_3573	o	o
12	IMG_3574	o	o
13	IMG_3576	o	o
14	IMG_3577	o	o
15	IMG_3578	o	o
16	IMG_3579	o	o
17	IMG_3584	o	o
18	IMG_3585	o	o
19	IMG_3586	o	o
20	IMG_3587	x	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		16	19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 40 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2398	x	o
2	IMG_2399	x	o
3	IMG_2400	o	o
4	IMG_2405	o	o
5	IMG_2407	o	o
6	IMG_2408	o	o
7	IMG_2409	o	o
8	IMG_2411	o	o
9	IMG_2412	o	o
10	IMG_2413	x	x
11	IMG_3580	o	o
12	IMG_3581	x	x
13	IMG_3582	o	o
14	IMG_3583	o	o
15	IMG_3589	x	x
16	IMG_3590	x	x
17	IMG_3591	o	o
18	IMG_3592	o	o
19	IMG_3593	o	o
20	IMG_3594	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		12	14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 45 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2415	x	x
2	IMG_2416	x	x
3	IMG_2417	x	x
4	IMG_2418	o	o
5	IMG_2419	o	o
6	IMG_2421	x	o
7	IMG_2422	x	x
8	IMG_2423	o	o
9	IMG_2424	o	o
10	IMG_2426	x	x
11	IMG_3595	x	x
12	IMG_3596	o	o
13	IMG_3819	o	o
14	IMG_3820	o	o
15	IMG_3821	o	o
16	IMG_3822	o	o
17	IMG_3824	o	o
18	IMG_3825	x	x
19	IMG_3826	x	x
20	IMG_3829	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		11	12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 50 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2420	x	x
2	IMG_2425	x	o
3	IMG_2427	x	x
4	IMG_2428	o	o
5	IMG_2429	o	o
6	IMG_2430	o	o
7	IMG_2431	o	o
8	IMG_2432	x	x
9	IMG_2433	x	x
10	IMG_2434	x	x
11	IMG_3597	o	o
12	IMG_3598	o	o
13	IMG_3599	x	x
14	IMG_3823	o	o
15	IMG_3827	x	x
16	IMG_3828	o	o
17	IMG_3830	x	x
18	IMG_3831	x	x
19	IMG_3832	o	o
20	IMG_3833	o	o
รวมสามารถอ่าน QR Code		9	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว 55 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2435	x	x
2	IMG_2436	o	o
3	IMG_2437	x	x
4	IMG_2439	o	o
5	IMG_2440	x	x
6	IMG_2441	x	x
7	IMG_2442	o	o
8	IMG_2445	o	o
9	IMG_2447	o	o
10	IMG_2449	x	x
11	IMG_3600	x	x
12	IMG_3601	x	x
13	IMG_3603	x	x
14	IMG_3834	x	x
15	IMG_3835	o	o
16	IMG_3837	x	o
17	IMG_3840	o	o
18	IMG_3842	o	o
19	IMG_3843	x	x
20	IMG_3844	x	x
รวมสามารถอ่าน QR Code		8	9

ความเร็ว 60 km/hr			
No.	File Name	อ่าน QR Code	
		กรณีไม่ตัดภาพ	กรณีตัดภาพ
1	IMG_2444	o	o
2	IMG_2450	x	x
3	IMG_2451	x	x
4	IMG_2452	x	x
5	IMG_2453	x	x
6	IMG_2456	o	o
7	IMG_2458	o	o
8	IMG_2459	o	o
9	IMG_2460	x	x
10	IMG_2463	x	x
11	IMG_3605	x	x
12	IMG_3606	x	x
13	IMG_3607	x	x
14	IMG_3836	x	x
15	IMG_3838	o	o
16	IMG_3839	o	o
17	IMG_3845	x	o
18	IMG_3846	x	o
19	IMG_3847	x	x
20	IMG_3849	x	x
รวมสามารถอ่าน QR Code		6	8

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรษมน หงษ์ประชา เกิดเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2532 มีภูมิลำเนาอยู่ที่กรุงเทพมหานครฯ เป็นบุตรคนแรกของนายชาตรี หงษ์ประชา และ นางมารศรี หงษ์ประชา เข้ารับการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2554 จากนั่นได้ทำงานในตำแหน่ง Software Engineering ในบริษัท Toyota Tsusho Electronics (Thailand) Co.,Ltd. เป็นระยะเวลา 1ปี และในปี พ.ศ.2556 เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University