การซ่อนข้อมูลและความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์

นายประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA HIDING AND SECURITY FOR PRINTED DOCUMENTS

Mr.Pratarn Chotipanbandit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การซ่อนข้อมูลและความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์
โดย	นายประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ว่าที่ร้อยตรีหญิง ดร.สิริพร ผลสมบูรณ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์ : การซ่อนข้อมูลและความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์. (DATA HIDING AND SECURITY FOR PRINTED DOCUMENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สาธิต วงศ์ประทีป, 94หน้า.

ปัจจุบัน การโจรกรรมข้อมูลบัตรประชาชนมีการเพิ่มขึ้นสูงเรื่อยๆ ผลเสียของการถูกโจรกรรมข้อมูล ได้แก่ การทำธุรกรรมทางธุรกิจ, การถูกรบกวนทางโทรศัพท์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ขอนำเสนอการซ่อนข้อมูลโดยการประยุกต์เทคนิคดาต้ากลิฟส์ ดาต้ากลิฟส์มีความทนทานและเป็นวิธีการอำพรางการซ่อนข้อมูลที่สามารถอ่านได้ด้วยคอมพิวเตอร์บนพื้นผิววัสดุ อย่างเช่น กระดาษ, ป้าย, พลาสติก, แก้ว, หรือโลหะ ซึ่งมีต้นทุนที่ต่ำ มีความทนทานและง่ายต่อการประยุกต์

กระบวนการของดาต้ากลิฟส์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ การเข้ารหัสข้อมูลและการถอดรหัสข้อมูล โดยขั้นตอนแรกนำข้อความเข้ารหัสด้วย ASCII Code จากนั้นนำมาแปลงเป็นดาต้ากลิฟส์ซึ่งเป็นรหัสแท่งสองมิติ สุดท้ายเตรียมรูปภาพดาต้ากลิฟส์และพิมพ์ลงบนเอกสาร ส่วนของการถอดรหัส ขั้นตอนแรกอ่านข้อมูลกลับสามารถทำได้โดยวิธีการใช้เครื่องสแกนเนอร์ ไฟล์รูปภาพจะถูกแปลงเป็นไบนารีไฟล์ หลังจากนั้นถูกส่งเข้าขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนและนำไบนารี่ไฟล์มาเข้าขั้นตอนก่อนการประมวลผลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพ ขั้นตอนก่อนการประมวลผลใช้วิธีการ thresholding เพื่อทำให้พื้นหน้ารูปภาพและพื้นหลังรูปภาพมีความแตกต่างกัน สุดท้ายตรวจรูปแบบของสัญลักษณ์

ผลการทดลองได้นำเสนอวิธีการเพิ่มความมั่นคงและนำข้อมูลที่ต้องการซ่อนลงบนเอกสารสิ่งพิมพ์โดยการใช้เทคนิคดาต้ากลิฟส์เพื่อป้องกันการเข้าถึงและยากต่อการอ่านหรือรับรู้ได้ด้วยสายตา ง่ายต่อการจัดการและมีความถูกต้องสมบูรณ์สูงจากการอ่านข้อมูลกลับ

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สาธิต

ปีการศึกษา 2552

4971440021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORDS : DATA HIDING / PRINTED DOCUMENTS / SECURITY

PRATARN CHOTIPANBANDIT : DATA HIDING AND SECURITY FOR PRINTED DOCUMENTS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SARTID VONGPRADHIP, Ph.D., 94 pp.

Nowadays, due to piracy information of identity card, this affects to the increasing of security. Disadvantage of piracy information of identity card such as business transactions, assail with telephone. This research proposes the method for data hiding by applying the Data Glyphs technique. Data Glyphs are a robust and unobtrusive method for embedding computer-readable data on surfaces such as paper, labels, plastic, glass, or metal. It is low-cost, robust, and easy to apply. The procedure of Data Glyphs is separated into two parts; encoding data and the other is decoding data. The part of encoding is as follows. Firstly, encode the message into the ASCII code. Next, transform encoded message into Data Glyphs that is represented as 2D barcode. Finally, prepare the Data Glyphs image and print on the document. The part of decoding is as follows. Firstly, read the Data Glyphs image by using retrieving equipment is a scanner. The imaging file will be transformed into binary files. After that, send to noise reduction process and send the binary image file to a preprocessing process for improving the quality. The preprocessing process uses a thresholding method for making the foreground image differ from the background. Finally, check the pattern. Experimental results show the proposed method performing well in security and have to put private information into document using Data Glyphs technique in order to protect pirate accessing and difficult to guess with eye vision and safe for piracy information, easy for management and high integrity for retrieving data.

Department : Computer Engineering Student's Signature ประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์

Field of Study : Computer Science Advisor's Signature

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งของท่านรองศาตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ ให้คำแนะนำแนวทางการวิจัย และการสนับสนุนเป็นอย่างดี จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จออกมาด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์ อ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภา และว่าที่ร้อยตรีหญิง ดร.สิริพร ผลสมบูรณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลา ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และญาติ ๆ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอ ขอขอบคุณ คุณเหมี่ยว (ทิพภอร) ที่ช่วยดูเรื่องภาษาอังกฤษให้ คุณอ้วน (พัชรีพร) คุณปู (ปัญญภัค) ที่ให้โอกาสลางานเพื่อทำงานวิจัยหลายวัน รวมถึงท่านอื่น ๆ ของโรงพยาบาลเวชธานี ที่ให้โอกาส ให้คำปรึกษา และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณเมา(มหาศักดิ์) คุณน่าน (เฉลิมทรัพย์) ที่คอยติดตามแก้ไข งานวิจัยและ Paper ที่ไปนำเสนอ และให้กำลังใจเสมอ รวมถึงที่ห้องธุรการของภาค และท่านอื่น ที่มิได้กล่าวชื่อไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 4

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 การสื่อสารข้อมูล..... 5

2.2 การซ่อนข้อมูล..... 6

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพ..... 7

2.4 เทคโนโลยีรหัสแท่ง..... 14

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 34

3.1 กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)..... 35

3.2 กระบวนการถอดรหัสข้อมูล (Decoding)..... 38

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 50

4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง..... 50

4.2 การวัดประสิทธิภาพจากการทดลองข้อมูลภาพเอกสาร..... 50

4.3 ผลการทดลอง..... 51

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 55

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 59
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 59
5.2 ปัญหาที่พบจากงานวิจัย..... 59
5.3 แนวทางการวิจัยต่อ..... 60
รายการอ้างอิง..... 61
ภาคผนวก..... 63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การแปลงข้อความต้นฉบับเป็น ASCII Code.....	37
3.2	ตารางเปรียบเทียบรหัสแท่ง.....	38
4.1	ตัวอย่างข้อความก่อนแปลงเป็น ASCII Code.....	51
4.2	ตัวอย่างข้อความที่ถูกแปลงเป็น ASCII Code.....	51
4.3	ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพ 3 x 3.....	52
4.4	ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพ 5 x 5.....	53
4.5	ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพ 7 x 7.....	54
4.6	ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพ 10 x 10.....	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ภาพลักษณะทั่วไปของรหัสแท่งมิติเดียวที่ใช้กันในปัจจุบัน…….……..	15
2.2	ลักษณะที่กายภาพของแท่งรหัส 2 มิติรหัสแอซเทค พัฒนาโดยบริษัท เวลช์แอลิน....	18
2.3	ลักษณะที่กายภาพของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 พัฒนาโดยบริษัทอินเตอร์เมค…	19
2.4	ภาพการทำงานการประมวลผลสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติ แบบดาต้าเมทริกซ์……..	21
2.5	ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานรหัสแท่งแบบเก่าและการทำงานรหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417……..…….	24
2.6	แสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่โค้ด……..……...	25
2.7	ภาพแสดงการใช้งานของ รหัสแท่ง 3 มิติ……...…….	28
2.8	ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Line shift coding……...	31
2.9	ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Word shift coding…….	32
2.10	ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Feature coding…….	33
3.1	กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)…….	34
3.2	กระบวนการดึงข้อมูล (Decoding)…….	35
3.3	รูปสัญลักษณ์ แทนค่าต่าง ๆ……..…….	39
3.4	ตัวอย่างของการใช้เทคโนโลยี Data Glyphs……..…….	39
3.5	ภาพแสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานของการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์…….	42
3.6	ภาพแสดงการแบ่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนและภาพหลังจากขจัดสัญญาณรบกวน	43
3.7	ภาพแสดงการแบ่งภาพตามแนวทฤษฎี โปรเจคชั่น……	45
3.8	ภาพเอกสารย่อยเมื่อทำการแบ่งส่วนของภาพแล้วกับภาพบล็อกที่จะนำมาเปรียบเทียบ……..	47
3.9	ภาพของการทำการแบ่งส่วนของภาพเปรียบเทียบกับบล็อกย่อย……...	47
3.10	ภาพการแบ่งบล็อกย่อยในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อความเหมาะสมในการทำงานด้านการวิเคราะห์โดยรูปแบบการแบ่งบล็อกย่อยขึ้นกับรูปแบบของบล็อก……..	48
4.1	แสดงค่าความถูกต้องของการถอดรหัสจากการสแกน……..……	56
4.2	แสดงอัตราการเพิ่มความจุของข้อมูลแบบเดิม……..….	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่ายในทุกวันนี้ได้มีการพัฒนาและเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งด้วยเหตุนี้เองทำให้มีการเข้าถึงข้อมูลและการใช้บริการทางด้านสารสนเทศได้อย่างสะดวกรวดเร็วขึ้น ข้อมูลที่มีการเข้าถึงนั้นมีส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของข่าวสารต่าง ๆ ทางธุรกิจ การงาน ความบันเทิง หรือการใช้ชีวิตประจำวัน สิ่งเหล่านี้นับว่าเป็นข้อมูลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การสื่อสารข้อมูลโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบ กล่าวคือ การสื่อสารแบบเปิดเผยข้อมูล และการสื่อสารแบบปกปิดข้อมูล โดยการสื่อสารแบบเปิดเผยข้อมูลคือการสื่อสารโดยทั่วไปที่เรากระทำอยู่เป็นประจำ เป็นการสื่อสารที่บุคคลหรืออุปกรณ์สองกลุ่มติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันโดยไม่สนใจว่าจะมีบุคคลที่สามเข้ามารับรู้ข้อมูลที่มีการสื่อสารกันอยู่หรือไม่ ในทางกลับกันการสื่อสารแบบปกปิดจะเป็นการสื่อสารที่บุคคลหรืออุปกรณ์ติดต่อส่งข้อมูลเฉพาะให้แก่กันและกันโดยอาศัยวิธีการบางประการเพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่สามที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องนั้น ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้

วิธีการสื่อสารแบบปกปิดข้อมูลสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ออกได้เป็นสองประเภท คือ การสื่อสารแบบปกปิดข้อมูลประเภทไม่ซ่อนเร้น และการสื่อสารข้อมูลแบบปกปิดประเภทซ่อนเร้น รูปแบบวิธีการสื่อสารแบบปกปิดข้อมูลประเภทไม่ซ่อนเร้นคือวิธีการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) การสื่อสารประเภทนี้ข้อมูลจะถูกเข้ารหัสโดยยอมให้บุคคลหรืออุปกรณ์สองฝ่ายที่เกี่ยวข้องเท่านั้นที่สามารถถอดรหัสและเข้าใจความหมายที่แท้จริงของข้อมูลได้ โดยที่บุคคลที่สามที่ไม่เกี่ยวข้องและไม่ได้รับอนุญาตแม้จะรับรู้ว่ามีการติดต่อส่งข้อมูลระหว่างบุคคลหรืออุปกรณ์ทั้งสองฝ่ายเกิดขึ้น จะไม่สามารถถอดรหัสข้อมูลหรือรับทราบเนื้อหาจริงของข้อมูลนั้นได้ อย่างไรแล้วด้วยวิธีการสื่อสารประเภทนี้ความลับหรือความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ในการสื่อสารแบบปกปิดข้อมูลจะขึ้นกับวิธีการ (algorithm) และกุญแจ (key) ที่ใช้ในการเข้ารหัสและถอดรหัส ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ที่บุคคลที่สามที่ไม่เกี่ยวข้องอาจจะสามารถถอดรหัสเข้าไปถึงเนื้อหาจริงได้ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวคิดการเข้ารหัสแบบปกปิดอีกประเภทหนึ่งคือ การเข้ารหัสข้อมูลแบบซ่อนเร้น หรือการซ่อนข้อมูล (Steganography) กล่าวคือการสื่อสารแบบปกปิดข้อมูลประเภทนี้จะอำพรางไม่ให้บุคคลที่สามารถรับรู้ได้ว่ามีการสื่อสารเกิดขึ้นระหว่างบุคคลหรืออุปกรณ์สองกลุ่ม

ปัจจุบันความร้ายแรงของการโจรกรรมข้อมูลบัตรประชาชนมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้น ผลเสียของการถูกโจรกรรมข้อมูล ได้แก่ การทำธุรกรรมทางธุรกิจ การถูกละเมิดสิทธิส่วนตัวด้วย

การสวมรอยไปใช้ในทางไม่ถูกต้อง การถูกรบกวนทางโทรศัพท์ เป็นต้น ปัญหาต่าง ๆ ส่งผลให้กับผู้เสียหายทั้งทางตรงและทางอ้อม บางกรณีทำให้เกิดการสูญเสียเงินทองมูลค่ามหาศาลจากการโดนโจรกรรมข้อมูลในการทำธุรกรรมทางธุรกิจ ด้วยผลเสียเหล่านี้ได้มีงานวิจัยในเรื่องการเพิ่มความปลอดภัยและเก็บรักษาข้อมูลหลายรูปแบบ ที่สามารถใช้การฝังแนบข้อมูลกับสื่อสิ่งพิมพ์ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างที่เราสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในปัจจุบัน เช่น รหัสแท่งแบบมิติเดียว รหัสแท่งแบบสองมิติ ซึ่งข้อมูลที่ได้บันทึกอยู่ในรูปแบบรหัสแท่งดังกล่าวนั้น ทำให้การทำงานเชื่อมโยงระหว่างข้อมูล การอ้างถึงข้อมูลและการดึงกลับข้อมูลมาใช้ประโยชน์มีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น จากแนวความคิดนี้ ทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเพื่อเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จึงได้นำเสนอแนวคิดการฝังข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์

เทคโนโลยีรหัสแท่งและเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ [1] เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น โดยเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการพัฒนาจากบริษัท Xerox และมีการทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องโดย Palo Alto Research Center Incorporated. เทคโนโลยีดังกล่าวมีพื้นฐานการทำงานการพิมพ์ภาพข้อมูลและการอ่านภาพข้อมูลที่สามารถหาได้ทั่วไป ไม่จำเพาะเจาะจง ซึ่งสามารถพิมพ์ภาพข้อมูลของเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์ทั่วไป และสามารถอ่านภาพข้อมูลได้ด้วยเครื่องกราดภาพ เทคโนโลยีดังกล่าวนั้นยังมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือรหัสแท่งและเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มีความสามารถในการจัดเก็บบันทึกข้อมูลได้เพียง 24-36 บิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์นั้นมีการทำงานในเชิงการผสมผสานข้อมูลการพิมพ์ไปกับข้อมูลดิจิตอล มีการแบ่งพื้นที่ข้อมูลออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อย ๆ แต่ละพื้นที่ย่อยแบ่งด้วยสัญลักษณ์ที่มีลักษณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งและบ่งบอกถึงตำแหน่งข้อมูลที่ให้ความสำคัญ เทคโนโลยีดังกล่าวมีการทำงานในด้านการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลหลังจากการอ่านค่าข้อมูลคืนกลับจากสัญลักษณ์ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ได้ทำการออกแบบเป็นสัญลักษณ์ 2 รูปแบบที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยรูปแบบแรกจะเป็นเส้นตรงเอียงทำมุม 45 องศาไปทางซ้ายและเส้นตรงทำมุมเอียง 45 องศาไปทางขวา ทำหน้าที่แทนข้อมูลตัวเลขฐานสองด้วย 0 และ 1 จากเทคโนโลยีดังกล่าวมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลที่ต่ำ จากข้อจำกัดนี้ได้มีงานวิจัย [2] ที่ได้เพิ่มสัญลักษณ์ในการแทนข้อมูลต่าง ๆ และใช้เฉดสีในการเพิ่มความสามารถความจุข้อมูลได้ถึง 8 เท่าของปริมาณข้อมูล แต่ประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลกลับลดลง

จากปัญหาต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการศึกษาหาเทคนิคการซ่อนข้อมูลและเพิ่มความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์ โดยการนำเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์และการเพิ่มสัญลักษณ์ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและป้องกันไม่ให้ผู้ที่ไม่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยใช้เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มาแปลงข้อมูลที่ต้องการปกปิดให้อยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถอ่านหรือรับรู้ได้ด้วยสายตาและเพิ่มสัญลักษณ์ในการเพิ่มความจุข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการซ่อนข้อมูลลงบนเอกสารสิ่งพิมพ์และเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูลรวมถึงไม่ให้อ่านหรือรับรู้ได้ด้วยสายตา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. พัฒนาเทคโนโลยีการซ่อนข้อมูลลงบนกระดาษแข็ง

1.3.2. จำลองกระดาษแข็งเหมือนบัตรประชาชน เพื่อใช้ในการทดลอง

1.3.3. พัฒนาวิธีการสำหรับอ่านและบันทึกข้อมูลที่ต้องการจากกระดาษแข็ง

1.3.4. กำหนดขอบเขตตำแหน่งของข้อมูลที่ไม่ทำการซ่อน ได้แก่ บนแถบแม่เหล็ก บนชิพ บนข้อความบนบัตร รูปภาพเลเซอร์สีเงินบนบัตร

1.3.5. กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการฝัง เช่น

1.3.6. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการฝังมีขนาด 10 x 10 จุดภาพ

1.3.7. Printed Document ที่ใช้คือกระดาษแข็งที่มีความหนา 120 แกรม เป็นอุปกรณ์ในการทดลองและมีรูปร่างเหมือนบัตรประชาชน

1.3.8. ใช้เกณฑ์วัดความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสแกนกลับ

1.3.9. ใช้เครื่องสแกนภาพที่มีความละเอียดอย่างน้อย 600 dpi ขึ้นไป

1.3.10. ใช้เครื่องพิมพ์ Laser ขาวดำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. สามารถนำไปพัฒนาและใช้งานได้จริง

1.4.2. เพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูลและไม่สามารถรับรู้หรืออ่านได้ด้วยสายตา

1.4.3. เพิ่มประโยชน์ในการใช้รูปภาพเป็นสื่อและลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บข้อมูล

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1. ศึกษาเรื่องความปลอดภัย และลักษณะความเป็นไปได้ของงานวิจัยจากงานวิจัยอื่น ๆ

1.5.2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

1.5.3. ศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ที่มีอยู่ถึงแนวคิด หลักการ ข้อดีและข้อบกพร่องของแต่ละเทคนิค

1.5.4. กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย จุดประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย

1.5.5. พัฒนาวิธีการ ซึ่งสามารถฝังข้อมูลได้ภายใต้กระบวนการต่าง ๆ

1.5.6. ทำการทดลองและประเมินผลการทดลอง

1.5.7. สรุปผลและจัดทำเอกสารประกอบงานวิจัย

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการระดับนานาชาติ 2 บทความ ได้แก่

1.6.1 หัวข้อเรื่อง “An Information Hiding Model for Intelligent Audio Watermarking” Mr.Pratarn Chotipanbandit and Assc.Prof.Dr.Sartid Vongpradhip, “13th International ANnual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE 13)” March 25-27, 2009 Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

1.6.2 หัวข้อเรื่อง “Data Hiding and Security for Printed Documents” Mr.Pratarn Chotipanbandit and Assc.Prof.Dr.Sartid Vongpradhip, “14th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE 14)” March 23-26, 2010 Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการวิจัย ได้แก่ การสื่อสารข้อมูล การซ่อนข้อมูล ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพ เทคโนโลยีรหัสแท่ง การตรวจสอบแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งความรู้และทฤษฎีเหล่านี้จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและจะกล่าวถึงในบทถัดไป

2.1 การสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูล (Data Communications) หมายถึง กระบวนการถ่ายโอนหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับ โดยผ่านช่องทางสื่อสาร เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล เพื่อให้ผู้ส่งและผู้รับเกิดความเข้าใจซึ่งกันและกัน

วิธีการส่งข้อมูลจะแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณหรือรหัสก่อนแล้วจึงส่งไปยังผู้รับ เมื่อถึงปลายทางหรือผู้รับจะต้องมีการแปลงสัญญาณกลับมาให้อยู่ในรูปที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้ ในระหว่างการส่งอาจจะมีอุปสรรคที่เกิดขึ้นคือ สิ่งรบกวน (Noise) จากภายนอก ทำให้ข้อมูลบางส่วนเสียหายหรือผิดเพี้ยนไปได้ จึงต้องมีการหาวิธีลดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ องค์ประกอบของการสื่อสารประกอบด้วย

1) ผู้ส่งข่าวสาร (Sender) หมายถึงแหล่งกำเนิดสาร อาจเป็นบุคคล องค์การ สถาบันหรือคณะบุคคลเป็นผู้กำหนดสาระ ความรู้ ความคิด ที่จะส่งไปยังผู้รับสาร ดังนั้นการสื่อสารจะบรรลุจุดประสงค์หรือไม่ เพียงใด ขึ้นอยู่กับผู้ส่งสารและสารที่ส่งเป็นสำคัญ

2) ข้อมูลข่าวสาร (Message) หมายถึงเรื่องราว ความรู้ความคิดต่าง ๆ ที่ผู้ส่งประสงค์ให้ไปถึงผู้รับ มีองค์ประกอบที่เป็นปัจจัยชี้ความสำเร็จของการสื่อสาร 3 ประการคือ เนื้อหาสาร, สัญลักษณ์หรือรหัสของสารและการจัดลำดับข่าวสาร

3) สื่อในช่องทางการสื่อสาร (Channel) ข่าวสารจากผู้ส่งถูกถ่ายทอดโดยอาศัยสื่อหรือตัวกลาง (Media) เช่น การพบปะพูดคุยกัน การเขียน การแสดงกิริยาท่าทาง ไปจนถึงการใช้สื่อที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น วิทยุ โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ภาพยนตร์ เป็นต้น

4) ตัวเข้ารหัสสาร (Encoder) หมายถึงการช่วยให้ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารมีความเข้าใจตรงกันในการสื่อความหมาย จึงมีความจำเป็นต้องแปลงความหมายนี้ การเข้ารหัสจึงหมายถึงการแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูป พลังงาน ที่พร้อมจะส่งไปในสื่อกลาง ทางผู้ส่งมีความเข้าใจต้องตรงกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับ หรือมีรหัสเดียวกัน การสื่อสารจึงเกิดขึ้นได้

5) ตัวถอดรหัสสาร (Decoder) หมายถึงการที่ผู้รับข่าวสารแปลงพลังงานจากสื่อกลาง ให้กลับไปอยู่ในรูปข่าวสารที่ส่งมาจากผู้ส่งข่าวสาร โดยมีความเข้าใจหรือรหัสตรงกัน

6) ผู้รับข่าวสาร (Receiver) หมายถึง จุดหมายปลายทางของการสื่อสาร ซึ่งจะต้องมีการรับรู้ เข้าใจ หรือแสดงพฤติกรรม ตามที่ผู้ส่งสารต้องการ หากไม่เป็นไปตามนั้น จะถือว่าการสื่อสารนั้นล้มเหลว ผู้รับสารจะต้องมีทักษะการสื่อที่ดีเช่นเดียวกับผู้ส่งสารจะช่วยให้การสื่อสารบรรลุผลสมบูรณ์

7) ปฏิกิริยาของผู้รับสารและการตอบสนอง (Response and Feed Back) หมายถึง ผู้รับได้รับสารและแปลความหมายจนเป็นที่เข้าใจอย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว ผู้รับย่อมมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารอย่างใดอย่างหนึ่งด้วย เช่น เห็นด้วย ไม่เห็นด้วย คล้อยตามหรือต่อต้าน ซึ่งการตอบสนองของผู้รับอาจผิดไปจากที่ผู้ส่งต้องการได้ ปฏิกิริยาตอบสนองของผู้รับ หาได้มีการย้อนกลับไปยังผู้ส่งสารให้รับรู้ จะช่วยให้เกิดการปรับการสื่อสารให้ได้ผลดียิ่งขึ้น กรณีเช่นนี้เรียกว่า การสื่อสารแบบสองทาง (Two-way Communication)

การตอบสนองของผู้รับสารกลับไปยังผู้ส่งสาร ย่อมเกิดกระบวนการสื่อสารเริ่มต้นขึ้นอีกครั้งหนึ่ง โดยผู้รับจะทำหน้าที่เป็นผู้ส่งสารและผู้ส่งสารในตอนแรกจะทำหน้าที่เป็นผู้รับสารแทน ซึ่งจะต้องอาศัยองค์ประกอบต่าง ๆ ของการสื่อสารเช่นเดียวกับการสื่อสารในตอนแรก การสื่อสารแบบ 2 ทาง ผู้สื่อสารจะทำหน้าที่เป็นทั้งผู้รับและผู้ส่งสารพร้อม ๆ กัน การสื่อสารมีองค์ประกอบในด้านต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว องค์ประกอบแต่ละด้านล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การสื่อสารประสบผลสำเร็จหรือล้มเหลวได้ ฉะนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการสื่อสารได้แก่ คุณสมบัติของผู้สื่อสาร การใช้สื่อและเทคนิคในการสื่อสาร

2.2 การซ่อนข้อมูล

การซ่อนข้อมูล (Data hiding) [3, 4, 5] คือการฝังข้อมูลบางอย่างลงในสื่อ สื่อนั้นอาจเป็นรูปภาพ วีดีโอ เสียง หรือเอกสารต่าง ๆ โดยทั่วไปการซ่อนข้อมูลจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของการซ่อนข้อมูลลงในสื่อ (Encoding) และส่วนของการดึงข้อมูลออกจากสื่อ (Decoding) ซึ่งหลักการทำงานทั้งสองส่วนนี้จะต้องมีความสอดคล้องกันจึงจะให้ผลการทำงานที่ถูกต้อง ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูลที่ซ่อนลงใส่สื่อ สามารถกระทำได้โดยการนำข้อมูลเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) เสียก่อน

2.2.1 คุณสมบัติของการซ่อนข้อมูล

1) สื่อที่ถูกซ่อนข้อมูลแล้วจะต้องไม่ถูกสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

2) การซ่อนข้อมูลควรจะซ่อนลงไปที่ตัวสื่อโดยตรงแทนที่จะซ่อนในส่วนของเฮดเดอร์ไฟล์ เนื่องจากการซ่อนข้อมูลลงในส่วนของเฮดเดอร์ไฟล์ อาจถูกตรวจพบได้ง่ายหรืออาจสูญหายไปได้ในกระบวนการพิมพ์หรือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเอกสาร

3) ข้อมูลที่ถูกซ่อนภายในสื่อจะต้องมีความคงทนต่อการที่สื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การพิมพ์ (Printing) การสแกน (Scanning) การถ่ายเอกสาร (Photocopying) การแปลงสื่อจากข้อมูลดิจิตอลเป็นข้อมูลอนาล็อก (Digital-to-analog conversion) หรือการแปลงสื่อจากข้อมูลอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิตอล (Analog-to-digital conversion)

2.2.2 วัตถุประสงค์ของการซ่อนข้อมูล

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งวัตถุประสงค์ของการซ่อนข้อมูลไว้ 3 อย่างดังนี้

1) การซ่อนข้อมูลที่เป็นความลับ (Secret message hiding) มีจุดประสงค์เพื่อที่จะส่งข้อมูลที่เป็นความลับไปพร้อมกับสื่อโดยที่ไม่ทำให้บุคคลอื่นสามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของการซ่อนข้อมูลในลักษณะนี้คือ ข้อมูลที่ถูกซ่อนต้องมีความปลอดภัยสูงและควรจะซ่อนข้อมูลไว้ปริมาณมาก

2) การซ่อนข้อมูลเพื่อใช้แสดงลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของในสื่อนั้น (Watermarks) มีจุดประสงค์เพื่อที่จะใช้ในการพิสูจน์หรือตรวจสอบความเป็นเจ้าของในสื่อ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของการซ่อนข้อมูลในลักษณธนี้คือ ข้อมูลที่ถูกซ่อนต้องมีความคงทนสูงต่อการที่สื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ และไม่ถูกทำลายได้ง่าย

3) การซ่อนข้อมูลรายละเอียดของสื่อ (Captions) มีจุดประสงค์เพื่อที่จะซ่อนข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของสื่อเพิ่มเติมลงไปในสื่อด้วย ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของการซ่อนข้อมูลในลักษณธนี้คือ ต้องสามารถซ่อนข้อมูลได้ในปริมาณมากและสามารถดึงข้อมูลออกมาได้อย่างไม่ยุ่งยากนัก

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพ [6, 7, 8]

การมองเห็นของมนุษย์เป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นกลไกการรับภาพที่ซับซ้อนอย่างหนึ่ง ดังนั้นภาพนับได้ว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ เพราะภาพหนึ่งภาพสามารถเก็บข้อมูลข่าวสารได้อย่างมากมาย ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยจัดเก็บข้อมูลเหล่านั้น ซึ่งการบันทึกภาพ

เชิงดิจิตอลเป็นอีกวิธีที่มีบทบาทสำคัญอย่างมาก ความต้องการภาพที่มีขนาดเท่ากับมุมมองที่มนุษย์มองเห็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต่อเนื่อง ยังเป็นที่ต้องการ แต่ด้วยอุปกรณ์เสริมเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลภาพที่มีราคาสูง ความรู้ในการประมวลผลภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถจัดการกับข้อมูลภาพเหล่านั้นได้

2.3.1 **ภาพดิจิตอล** (Digital Image) หมายถึงภาพที่ผ่านกระบวนการสร้างสรรค์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีในปัจจุบัน ซึ่งอาจทำได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การกราดภาพ (Scan) การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล และการสร้างภาพขึ้นใหม่ด้วยคอมพิวเตอร์ หรือภาพที่เกิดจากกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีอินฟาเรด รังสีเอ็กซเรย์ เป็นต้น ในที่นี้มุ่งเน้นไปที่ภาพที่เกิดจากแสงธรรมดาเท่านั้น ภาพดิจิตอล 2 มิติ g(x, y) ของความเข้มแสง (Intensity) โดยที่ x และ y คือ ค่าแสดงตำแหน่งในระบบเชิงพิกัดฉากและค่าของฟังก์ชั่น g ณ ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มแสง ณ ตำแหน่งนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) ภาพสี (Color Image) โดยทั่วไปภาพดิจิตอลจะเก็บค่าของความเข้มเป็นปริมาณเวกเตอร์ซึ่งในแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยค่ามากกว่าหนึ่งค่า เช่น ในระบบแบบจำลองสี RGB ที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือ ความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มาผสมในอัตราส่วนที่ต่างกัน เพื่อประกอบกันเป็นภาพ 1 ภาพ

2) ภาพโทนสีเทา (Gray Scale Image) เป็นภาพที่มีค่าความเข้มเป็นปริมาณสเกลาร์ บางครั้งอาจเรียกว่าภาพสีเดียว ภาพโทนสีเทาเกิดจากการกำหนดค่าให้กับความเข้มแสงของแต่ละจุดภาพโดย สีขาวจะถูกแทนด้วยค่า 255 และสีดำจะถูกแทนด้วยค่า 0 ในขณะที่ระดับของโทนสีจะเข้มขึ้นเรื่อย ๆ จากสีขาวจนถึงเป็นสีดำ

3) ภาพขาวดำ (Black and White Image) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Binary Image ซึ่งจะมีค่าแต่ละพิกเซลอยู่ 2 ค่าคือ ค่า 1 และ 0

2.3.2 **รูปร่างของภาพ** (Image Shape) วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์

(array) โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ สมมุติให้ Image เป็นตัวแปรแบบอะเรย์ขนาด M X N (M แถว และ N คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด M x N จุด (M จุดในแนวนอน และ N จุดในแนวตั้ง) ค่าสี (หรือความสว่าง ในกรณีที่เป็นภาพ grey level) ของจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของ Image (5,4) จะเห็นว่าเราใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอะเรย์ จากการใช้หน่วยความจำเพื่อการเก็บภาพในลักษณะที่กล่าวมา เนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก M x N x g เมื่อ g เป็นจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า g มีค่าเท่ากับ 8 บิต เราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า M และ N จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640x480, 800x600 และ 1024x768 จุด เป็นต้น การกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดแค่ 30 x 50 จุด ซึ่งอาจจะพอแล้ว แต่ในงานบางชนิดจำเป็นต้องใช้ความละเอียดถึง 1000 x 1000 จุด ยังไม่พอ ปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่าง ๆ จะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐานจะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเช่นในบางระบบอาจจะใช้ความละเอียดในการแสดงเท่ากับ 640 x 512 ซึ่งจะทำให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นหัวข้อที่ต้องสนใจสำหรับการเขียนโปรแกรมทางด้านกราฟิกและการจัดการข้อมูล จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละะจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้น จะทำให้จำนวนของสีมากขึ้น สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิตและ 8 บิตนั้นจะมีการทำงานที่จะใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยว ๆ ได้ ดังนั้นในการแสดงข้อมูลออกทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์ จะทำการก็อปปี้ข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 Byte) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่ Pixel มีขนาด 1 บิต เมื่อโปรเซสเซอร์จะทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้ว จะทำการก็อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ทันที่โดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณี Pixel ที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์จะทำการก็อปปี้ข้อมูลจุดใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว ตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800x600 และมีขนาด 16 บิตต่อ Pixel จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับและต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ 800x600x16 บิต

2.3.3 **เทคนิคการตรวจหาขอบภาพ** เทคนิคการตรวจหาขอบรูปภาพเป็นวิธีหาขอบรูปภาพ คือชุดของพิกเซลต่อ ๆ กันที่วางอยู่บนขอบระหว่างพื้นที่สองส่วนของรูปภาพ โดยขอบรูปภาพจะช่วยอธิบายถึงรูปร่าง ลักษณะ และขนาดของรูปภาพ การตรวจหารูปภาพทำได้โดย

แยกรูปภาพเป็นส่วน (Image Segmentation) แล้วนำมาประกอบรวมกันเป็นออบเจ็กต์ (Object) หรือพื้นที่ใหม่ (Region) ในที่นี้จะพิจารณาการตรวจหาขอบอิมเมจด้วยอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสอง

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง ได้แก่ โอเปอร์เรเตอร์ Sobel, Prewitt และ Frei-Chen ส่วนอนุพันธ์อันดับสอง ได้แก่ Laplacian

อนุพันธ์อันดับหนึ่งถ้านำมาหาขอบรูปภาพในทิศทางแนวนอน และแนวตั้งจะเป็นการหาอนุพันธ์ของสมการที่ 1 เราจะเรียกว่าการหา Gradient ซึ่งเป็นเวคเตอร์เมตริก แสดงดังสมการที่ 1

$$\nabla f = \begin{bmatrix} Hr(x,y) \\ Hc(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

โดยที่ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$ จะเป็นการหาขอบรูปภาพในทิศทางแนวนอน (x) และ $\frac{\partial}{\partial y} f(x,y)$ จะเป็นการหาของรูปภาพในทิศทางแนวตั้ง (y) ถ้าหาทั้งสองทิศทาง จะเป็นขนาดของเวคเตอร์ ของสมการซึ่งเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2

$$\nabla f = \left[H_r^2(x,y) + H_c^2(x,y)\right]^{\frac{1}{2}} \cong \left|H_r(x,y)\right| + \left|H_c(x,y)\right| \tag{2.2}$$

ส่วนทิศทางการตรวจหาขอบรูปภาพได้จากสมการที่ 3

$$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{H_c(x,y)}{H_r(x,y)}\right] \tag{2.3}$$

โอเปอร์เรเตอร์ Sobel จะใช้ค่า Mask Coefficient ดังนี้

ในทิศทางแนวนอน $H_r(x,y)$

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

หรือ

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

ในทิศทางแนวตั้ง $H_c(x,y)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

หรือ

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

โอเปอร์เรเตอร์ Prewitt จะใช้ค่า Mask Coefficient ดังนี้

ในทิศทางแนวนอน $H_r(x, y)$

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

หรือ

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

ในทิศทางแนวตั้ง $H_c(x, y)$

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

หรือ

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

โอเปอร์เรเตอร์ Frei-Chen จะใช้ค่า Mask Coefficient ดังนี้

ในทิศทางแนวนอน $H_r(x, y)$

-1	$-\sqrt{2}$	-1
0	0	0
1	$\sqrt{2}$	1

หรือ

1	$\sqrt{2}$	1
0	0	0
-1	$-\sqrt{2}$	-1

ในทิศทางแนวตั้ง $H_c(x, y)$

-1	0	1
$-\sqrt{2}$	0	$\sqrt{2}$
-1	0	1

หรือ

1	0	-1
$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$
1	0	-1

อนุพันธ์อันดับสองโดยการนำสมการที่ 1 มาหาค่าอนุพันธ์อีกครั้งจะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial^2}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \qquad (2.4)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุพันธ์อันดับสองจะมีโอเปอร์เรเตอร์ Laplacian ซึ่งมีค่า Mask Coefficient ดังนี้

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

หรือ

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

2.3.4 **Projection profile method** เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพ โดยเริ่มจากการอ่านภาพที่สแกนเข้ามาแล้วทำการปรับค่าภาพต้นฉบับให้มีมาตรฐานที่เท่ากัน โดยการนำภาพที่ได้จากการสแกนเข้ามานั้นมาทำการแยกบรรทัดโดยใช้เทคนิค horizontal projection profile และ vertical projection profile

การทำ horizontal projection profile เป็นการทำการตัดภาพต้นฉบับออกตามแนวนอน โดยการหาค่าโปรเจคชั่นแนวนอนจะทำการหาค่าโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปสู่ค่าใด ๆ ก็ตามที่สันนิษฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นบรรทัด และมีการคำนวณหาค่าวัดระยะห่างระยะเส้นบรรทัดว่ามีค่าเพียงพอ และถ้าค่าโปรเจคชั่นแนวนอนลดลงจนเท่ากับ 0 อีกครั้ง หรือใกล้เคียง 0 ในขอบเขตที่กำหนด ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนทั่วรูปภาพก็จะได้บรรทัดตามที่ต้องการ

การทำ vertical projection profile เป็นการตัดสัญลักษณ์ออกเป็นตัว ๆ โดยทำเช่นเดียวกับ horizontal projection profile แต่จะแตกต่างไปแค่เพียงทำตามแนวดิ่งของรูปภาพซึ่งจะสามารถตัดภาพเป็นคอลัมน์ตัวสัญลักษณ์ได้ ทำให้เราสามารถแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ ได้

2.3.5 **รูปแบบของเอกสารรูปภาพชนิด Bitmap** ภาพแบบ Bitmap หรือ BMP หรืออาจจะเรียกภาพแบบราสเตอร์ (Raster) เป็นภาพที่เกิดจากจุดสีที่เรียกว่า Pixels ซึ่งประกอบกันเป็นรูปร่างบนพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเส้นตาราง (Grid) แต่ละ Pixels จะมีค่าของตำแหน่งและค่าสีของตัวเอง ภาพหนึ่งภาพจะประกอบด้วย Pixels หลาย Pixels ผสมกัน แต่เนื่องจาก Pixels มีขนาดเล็กมาก จึงเห็นภาพมีความละเอียดสวยงาม ไม่เห็นลักษณะของกรอบสี่เหลี่ยม จึงเป็นภาพที่เหมาะสมต่อการแสดงภาพที่มีเฉดและสีสันจำนวนมาก เช่น ภาพถ่ายหรือภาพวาด

ภาพแบบ Bitmap เป็นภาพที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดหรือความคมชัด (Resolution) ซึ่งคือจำนวน Pixels ที่แน่นอนในการแสดงภาพ ดังนั้นเมื่อมีการขยายภาพ จะเกิดปัญหาคือ เห็นเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ หลาย ๆ จุด ประกอบกัน เพราะ Grid ของภาพที่มีขนาดที่แน่นอนและในส่วนของโครงสร้างของรูปแบบ Bitmap จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

1) ข้อมูลเฮดเดอร์ (Header) คือข้อมูลที่อยู่บริเวณส่วนหัวของไฟล์ ประกอบไปด้วยข้อมูลที่บอกรายละเอียดต่าง ๆ ของภาพ เช่น ความ

กว้างและความยาวของภาพ จำนวนสี จำนวนบิต ความละเอียด เป็นต้น

2) ข้อมูลจานสี (Palette) คือข้อมูลที่บอกถึงชุดของจานสี (Palette) ที่เกิดจากการผสมแม่สีทั้งสามสีคือ แดง เขียว น้ำเงิน มาผสมกันได้เป็นสีต่าง ๆ ตามจำนวนสีของภาพ เช่น รูปขนาด 4 bit จะมี 16 สี, รูปขนาด 8 bit จะมี 256 สี เป็นต้น ซึ่งถ้ามีจำนวนสีน้อย จะมีการเก็บค่า Palette นี้ลงไฟล์ไปด้วย แต่ถ้าเป็นรูปประเภท 24 bit จะไม่มีค่า Palette แต่จะใช้วิธีการเก็บค่าแม่สีทั้งสามลงไปเป็นข้อมูลแทน เพราะถ้าเก็บค่า Palette ที่มีถึง 16.7 ล้านสีลงไปด้วย จะส่งผลให้เปลืองพื้นที่มาก ข้อแตกต่างของไฟล์ประเภท Bitmap คือจะเก็บค่าของ Palette ชุดละ 4 byte คือ แดง เขียว น้ำเงิน อย่างละ 1 byte

3) ข้อมูลภาพ (Data) คือข้อมูลสีของภาพแต่ละจุดบนจอภาพที่มาประกอบกันเป็นรูปภาพ ซึ่งค่าที่เก็บนี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการชี้หมายเลขตาราง Palette เช่น จุดแรกมีค่าเป็น 10 จะไปเปิดตาราง Palette หมายเลข 10 สมมติว่า ได้ความเข้มของแม่สีเป็น R=0, G=0, B=100 จะได้จุดนี้เป็นสีน้ำเงิน ถ้าเป็นในกรณีของรูป 24 bit จะเป็นการอ่านข้อมูลขึ้นมา 3 ค่าเป็นค่าของแม่สี แดง เขียว น้ำเงิน แล้วนำไปผสมบนจอแทน

การจัดเก็บไฟล์ข้อมูลภาพชนิด Bitmap มีการเก็บอยู่ 2 แบบคือ

1) แบบบีดอัดข้อมูล RLE4 เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบ Run Length Encoder แบบ 4 bit และ RLE 8 เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบ Run Length Encoder แบบ 8 bit

2) แบบไม่ได้บีบอัด เป็นการเก็บข้อมูลจริง ๆ ซึ่งทำให้ไฟล์ภาพค่อนข้างใหญ่ แต่จะทำการแสดงภาพได้รวดเร็วเพราะไม่ต้องเสียเวลาในการคลายข้อมูล

เอกสารที่นำมาซ่อนข้อมูลในงานวิจัยนี้จะเป็นเอกสารรูปภาพที่มีการจัดเก็บแบบ Bitmap และจัดเก็บไฟล์ข้อมูลภาพแบบไม่ได้บีบอัดข้อมูล ซึ่งเป็นไฟล์ที่สามารถรักษาความละเอียดภาพได้เป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

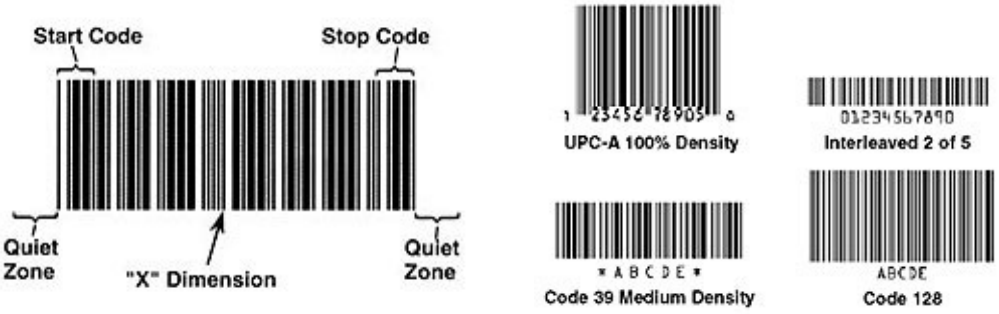
2.4 เทคโนโลยีรหัสแท่ง

เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) [2] เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อมูลตัวเลขมีลักษณะเป็นแถบมีความหนาบางแตกต่างกัน การอ่านข้อมูลจะอาศัยหลักการสะท้อนแสง เพื่ออ่านข้อมูลเข้าเก็บในคอมพิวเตอร์โดยตรงไม่ต้องผ่านการกดปุ่มที่แป้นพิมพ์ ระบบนี้เป็นมาตรฐานสากลที่นิยมใช้กันทั่วโลก การนำเข้าข้อมูลจากรหัสแถบของสินค้าเป็นวิธีที่รวดเร็วและความน่าเชื่อถือ ได้ของข้อมูลมีสูงและให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้ดี การใช้บาร์โค้ดเพื่อความรวดเร็วทันสมัยต่อเหตุการณ์ รหัสบาร์โค้ดประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนลายเส้นซึ่งเป็นลายเส้นสีขาว (โปร่งใส) และสีดำ มีขนาดความกว้างของลายเส้นตามมาตรฐานแต่ละชนิดของบาร์โค้ด ส่วนข้อมูลตัวอักษรเป็นส่วนที่แสดงความหมายของข้อมูลลายเส้นสำหรับให้อ่านเข้าใจได้ และส่วนสุดท้ายแถบว่าง (Quiet Zone) เป็นส่วนที่เครื่องอ่านบาร์โค้ดใช้กำหนดขอบเขตของบาร์โค้ดและกำหนดค่าให้กับ สีขาว (ความเข้มของการสะท้อนแสงในสีของพื้นผิวแต่ละชนิดที่ใช้แทนสีขาว) โดยแต่ละเส้นจะมีความยาวเท่ากันเรียงตามลำดับในแนวนอนจากซ้ายไปขวา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Scanner) ในการอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้

รูปแบบบาร์โค้ดในปัจจุบันมีวิวัฒนาการทั้งรูปแบบและความสามารถในการเก็บข้อมูล โดยที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 รูปแบบดังนี้

2.4.1 บาร์โค้ดแบบ 1 มิติ

เป็นรหัสแท่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการพิมพ์พร้อมกับ ฉลากผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้เครื่องจักรสามารถทำความเข้าใจกับผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) และ 2.1 (ข) โดยลักษณะของรหัสแท่งดังกล่าวนั้นมักจะอยู่ในรูปแบบรหัสแท่งมิติเดียว โดยจะมีการใช้ตัวเลขที่มีความจำเพาะจงเจาะ (A unique serial number code) ทดแทนค่าข้อมูลที่ต้องการ โดยที่รหัสแท่งมิติเดียวจะมีการแทนด้วยแถบสีดำบนพื้นขาว เพื่อใช้ในการอ่านค่าที่เป็นตัวเลขดัชนีของระบบฐานข้อมูลซึ่งถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบรหัสแท่งจากนั้นจึงทำการดึงข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ จากฐานข้อมูลขึ้นมา จึงทำให้รหัสแท่งมิติเดียวกลายเป็นฐานข้อมูลแบบพกพาที่สามารถใช้งานได้สะดวก



(ก) ภาพแสดงลักษณะการอ่านค่าต่างๆของรหัสแท่งแบบมิติเดียว

(ข) ภาพแสดงรูปแบบของรหัสแท่งแบบมิติเดียวที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

รูปที่ 2.1 ภาพลักษณะทั่วไปของรหัสแท่งมิติเดียวที่ใช้กันในปัจจุบัน

ในปี ค.ศ. 1984 แนวโน้มการเจริญเติบโตของระบบฐานข้อมูลแบบพกพาได้เริ่มขึ้น เมื่อกลุ่ม ออโต้โมทีฟ อินดัสตรี แอคชั่น (Automotive Industry Action Group (AIAG)) ได้ทำการตีพิมพ์ระบบมาตรฐานประยุกต์ (An application standard) สำหรับการขนส่งและฉลากสินค้า โดยมีการฝังข้อมูล 4 ประเภทลงไปบนฉลาก ได้แก่ ตัวเลข จำนวน ผู้ผลิต และตัวเลขเรียง (A serial number) ในชื่อ รหัสแท่ง โค้ด 39 (Code 39 bar codes)

โดยปกติแล้วรหัสแท่งจะถูกแสดงในรูปแบบ ความซ้ำซ้อนแนวดิ่ง (Vertical redundant) ซึ่งนั้นหมายความว่า ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกเรียงแบบซ้ำซ้อนตามแนวดิ่ง จึงสามารถกล่าวได้ว่ารหัสแท่งนั้นแสดงอยู่ในระดับแค่เพียง 1 มิติเท่านั้น ดังนั้นไม่ว่ารหัสแท่งจะถูกตัดให้สั้นลงข้อมูลต่าง ๆ ที่ฝังอยู่ในรหัสแท่งก็ไม่ได้สูญหายไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังมีการอนุญาตให้มีการพิมพ์สื่อที่มีความหมายลงแนบไปพร้อมกับรหัสแท่งด้วยเพื่อความสะดวกในการที่มนุษย์จะทำความเข้าใจ ลักษณะรหัสแท่งในปัจจุบันมีหลากหลายมากขึ้นกว่าในอดีตมาก โดยมีการพัฒนาให้รหัสแท่งมีความแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

2.4.2 บาร์โค้ดแบบ 2 มิติ [9]

เป็นการเพิ่มความสามารถให้แก่รหัสแท่งโดยมีการเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูล จากเดิมในรหัสแท่งมิติเดียวปกติให้ความสำคัญเพียงแค่ข้อมูลแนวดิ่งเท่านั้น แต่ใน รหัสแท่งแบบ 2 มิตินี้มีการให้ความสำคัญทั้งข้อมูลแนวดิ่งและข้อมูลแนวราบของแถบข้อมูล โดยปกติแล้วลักษณะตัวอักษรของมนุษย์เองก็มีลักษณะเดียวกับ รหัสแท่ง 2 มิติอยู่แล้ว ดังนั้นหลังจากที่เกิดรหัสแท่งแบบใหม่ขึ้นมาแล้ว ทำให้สามารถลดความซ้ำซ้อนที่เกิดจากข้อมูลแนวดิ่งจำนวนมากที่เกิดจากรหัสแท่งแบบมิติเดียวแบบเดิมลงไปได้ อีกหนึ่งเทคนิคที่จำเป็นต้องนำมาใช้

ในการป้องกันความผิดพลาดจากการอ่านข้อมูลที่มีความสามารถที่สูงขึ้นทำให้สามารถลดอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขณะที่อ่านข้อมูลไปได้

ระบบรหัสแท่งแบบ 2 มิติมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งานร่วมกับเครื่องกราดภาพแบบแสงเลเซอร์ มาใช้ประกอบควบคู่ด้วย โดยลักษณะของการนำเข้าข้อมูลจากรหัสแท่ง 2 มิตินั้น เครื่องอ่านสามารถทำได้อย่างรวดเร็วเพียงแค่นำแถบรหัสแท่งผ่านเครื่องกราดภาพเท่านั้น ความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลจากรหัสแท่งแบบ 2 มิตินั้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการนำรหัสแท่งผ่านเครื่องกราดภาพ ความละเอียดที่เครื่องกราดภาพสามารถอ่านได้ และระยะห่างระหว่างสัญลักษณ์ของรหัสแท่ง ทุกอย่างที่กล่าวมาข้างต้นยังคงเป็นปัญหาที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขหรือพัฒนาให้มีความสามารถดีกว่ารหัสแท่งมิติเดียว เนื่องจากมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่ามาก ถึงแม้ว่าปริมาณข้อมูลที่สามารถบันทึกได้จะมีปริมาณสูงกว่าก็ตาม

ในครั้งแรกที่สัญลักษณ์รหัสแท่งแบบ 2 มิติถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานอยู่ในวงแคบเพื่อเป็นสัญลักษณ์ทดแทนการใช้ตัวเลขดัชนีแบบเก่าต่อมาเมื่อความจำเป็นในการบันทึกข้อมูลจำนวนมากเริ่มมีความสำคัญ ก็เริ่มเล็งเห็นว่าความสามารถในการเก็บข้อมูลของรหัสแท่งแบบ 2 มิตินั้นเป็นประโยชน์สามารถที่จะเก็บข้อมูลปริมาณมากได้ ทางด้านอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเอามาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งรหัสแท่งแบบ 2 มิติในปัจจุบันมีมากว่า 20 แบบ แต่ก็ยังมีไม่มากนักที่ได้รับความนิยม ปัจจุบันรหัสแท่งแบบ 2 มิติยังมีแนวโน้มด้านการใช้งานเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการเข้ารหัสด้วยรหัสแท่ง 2 มิติในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบอะเรย์แท็ก** (Array Tag)

อะเรย์แท็กได้รับการพัฒนาโดย ดร.วาเรน ดี. ลิตเติ้ล (Dr. Warren D. Little) จากมหาวิทยาลัยวิคตอเรีย ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับอะเรย์แท็ก โดยใช้สัญลักษณ์เป็นรูปหกเหลี่ยมจำนวนหลายรูปมาทำการซ้อนทับกัน โดยสามารถที่จะใช้เพียงรูปหกเหลี่ยมเพียงสัญลักษณ์เดียวหรือต่อกันหลายรูปสัญลักษณ์ก็ได้ โดยสัญลักษณ์แบบนี้สามารถที่จะเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษรได้หลายร้อยตัว และมีความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลคืนกลับที่มีประสิทธิภาพสูง และสัญลักษณ์เหล่านี้มีความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลคืนกลับจากระยะไกล โดยสามารถใช้เครื่องอ่านอ่านค่าข้อมูลจากระยะ 50 เมตรในขณะที่มีแสงอื่นมารบกวนแสงจากเครื่องอ่านได้

2) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวัน** (Code 1 two dimension barcode)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวัน ถูกพัฒนาในปี ค.ศ. 1992 โดย นายเท็ด วิลเลี่ยมส์ (Mr. Ted Williams) เป็นผู้ประดิษฐ์ และได้ทำการเผยแพร่ออกสู่สาธารณะอย่างรวดเร็ว รหัสแท่ง

2 มิติแบบโค้ดวันนั้น ใช้หลักการค้นหารูปแบบสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์ที่นำมาใช้นั้นสามารถนำเข้าไปประมวลในรูปแบบรหัสข้อมูลแอสกี้ (ASCII code) ได้ มีการแนบข้อมูลการแก้ไขความผิดของตัวอักษรและข้อมูลที่สามารถนำเข้าไปประมวลรหัสเลขฐานสองรหัสแท่ง 2 มิติแบบ

โค้ดวันมีขนาดให้เลือกใช้งานได้ 8 ขนาดโดยเริ่มต้นจากรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ A ถึงรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ H โดยที่รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ A สามารถเลือกบันทึกเป็นลักษณะผสมกันระหว่างอักษรตัวและตัวเลขได้ถึง 13 ตัวหรือถ้าเลือกบันทึกเฉพาะตัวเลขก็สามารถบันทึกได้ 22 ตัวเลข ในขณะที่ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ H สามารถบันทึกข้อมูลที่เป็นอักษรและตัวเลข ที่ผสมกันได้ถึง 22,189 ตัว หรือ จะเลือกบันทึกเพียงตัวเลขก็สามารถทำได้ถึง 3,550 ตัวเลข จำนวนสัญลักษณ์ที่มากที่สุดจะถูกบันทึกลงบนเนื้อที่ที่มีขนาดวัดได้กว้าง 134 หน่วย และ สูง148 หน่วย

3) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทค** (Aztec Code)

นายแอนดี้ ลองกาค์ร (Mr. Andy Longacre) จากบริษัทเวลช์แอลิน (Welch Allyn Inc.) ได้ทำการวิจัยและพัฒนารหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทคขึ้นในปี ค.ศ. 1995 รหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทคออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการพิมพ์และการอ่านรหัส โดยรหัสจะประกอบไปด้วยรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ พิมพ์ซ้อนต่อกันอย่างมีแบบแผน จำเพาะเจาะจง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) และ 2.2 (ข) โดยจะมีหลายขนาดให้เลือกใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบความกว้าง 26 X 26

(ข) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบความกว้าง 42 X 42

(ค) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบขาวดำ รหัส 1

(ง) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบสีรหัส 1

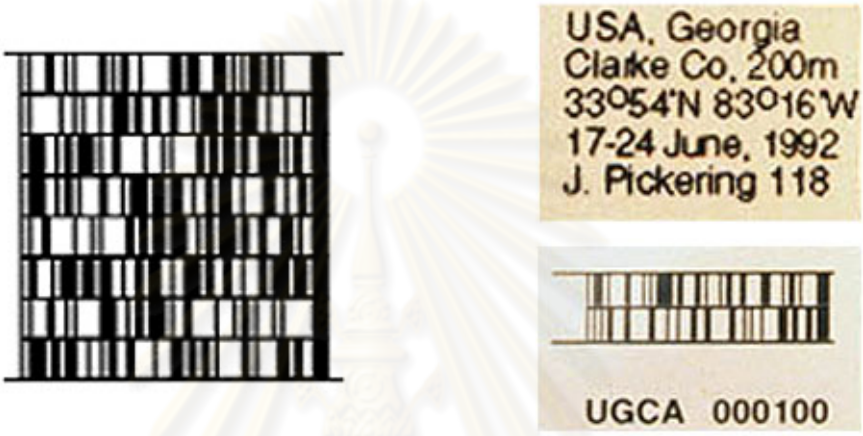
รูปที่ 2.2 ลักษณะที่กายภาพของแท่งรหัส 2 มิติรหัสแอซเทค พัฒนาโดยบริษัท เวลช์แอลิน

โดยที่ขนาดที่เล็กที่สุดจะอยู่ที่ขนาด 15X15 รูปสี่เหลี่ยม และขนาดที่ใหญ่ที่สุดจะอยู่ที่ขนาด 151X151 รูปสี่เหลี่ยม ขนาดที่เล็กที่สุดของรหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทคสามารถบรรจุ ตัวอักษรพร้อมตัวเลขรวมได้ 12 ตัวอักษร หรือเลือกบรรจุเพียงบรรจุตัวเลขสามารถบรรจุได้ 13 ตัวเลข ในขณะที่ขนาดใหญ่ที่สุดสามารถบรรจุตัวอักษรพร้อมตัวเลขได้ถึง 3,067 ตัวอักษร หรือเลือกบรรจุเพียงตัวเลขได้ 3,822 ตัวเลข

4) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด** 49 (Code 49 Two dimension bar code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1987 โดย นายเดวิด แอลไลส์ (Mr. David Allais) ได้รับการสนับสนุนการพัฒนาโดยบริษัทอินเตอร์เมค (Intermec Inc.) รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 นั้นพัฒนาขึ้นโดยเพิ่มความสามารถในการบีบอัดสัญลักษณ์ขนาดเล็ก ลักษณะของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาให้ใช้ความสามารถในการใช้สัญลักษณ์รหัสแท่งชุดนำมาเรียงต่อกันเป็นลำดับชั้น สัญลักษณ์แต่ละแถวที่ถูกสร้างขึ้นสามารถมีจำนวนแถว

ตั้งแต่ 2 แถวถึง8 แถว แต่ละแถวประกอบด้วยรูปแบบของข้อมูลในลักษณะต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก.) โดยข้อมูลเหล่านั้น ได้แก่ ขอบเขตกำหนดจุดเริ่มต้น ขอบเขตกำหนดรูปแบบเริ่มต้น ขอบเขตของข้อมูลจำนวน ที่ถูกเข้ารหัสเป็น 8 ตัวอักษร และตัวอักษรตัวสุดท้ายเป็นตัวอักษรสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล อีกทั้งยังมีขอบเขตกำหนดรูปแบบการหยุด และขอบเขตกำหนดจุดจบ แถวทุกแถวจะถูกเข้าประมวลรหัสข้อมูลให้อยู่ในรูป แท่งรหัส 18 แท่งรหัส และช่องว่าง 17 ช่องว่าง และแถวแต่ละแถวจะถูกคั่นด้วยแถบเส้นแบ่งแถบข้อมูล



(ก) รูปภาพแสดงลักษณะที่กายภาพของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 แบบ 81ตัวอักษร

(ข) รูปแสดงการใช้งานของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 กับการบอกตำแหน่ง

รูปที่ 2.3 ลักษณะที่กายภาพของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 พัฒนาโดยบริษัทอินเตอร์เมค

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 เป็นรหัสที่มีความต่อเนื่องของสัญลักษณ์และความยาวของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความยาวของข้อมูลซึ่งข้อมูลเหล่านั้นถูกเข้าประมวลรหัสชุดตัวอักษรแบบรหัสข้อมูลแอสกี้ 128 โดยลักษณะของการทำงานของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 นั้น เป็นลักษณะที่มีคุณสมบัติระหว่าง รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด ยูพีซี และ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 39

ค่าของความยาวของสัญลักษณ์ตามแนวกว้างที่น้อยสุดที่สามารถระบุค่าได้คือ 7.5 มิลลิเมตร สมมุติค่าของความยาวของสัญลักษณ์ตามแนวกว้างที่น้อยสุดคือ7.5 มิลลิเมตร จะทำให้ความสูงสัญลักษณ์แถวที่น้อยสุดที่สามารถระบุค่าได้อยู่ที่ 0.5475 นิ้ว รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 จะมีความสามารถบรรจุความหนาแน่นสูงสุดเชิงทฤษฎีของตัวอักษรได้ 170 ตัวอักษรรวมกับเลขและพยัญชนะต่อ 1 ตารางนิ้ว

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมด้านสุขภาพเนื่องจากสินค้าที่เกี่ยวกับงานด้านสุขภาพนั้น จำเป็นต้องมีการอ้างอิงถึง ตัวอักษรและตัวเลข อีกทั้งยังต้องการความรวดเร็วในการจัดหา

โดยมีการนำรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ไปใช้ทดแทน ตัวอักษรที่มีความจำเป็นคือ ชุดตัวเลข NDC จำนวน10 หลัก วันหมดอายุของสินค้าจำนวน 5 หลักและตัวเลขตัวอักษรและพยัญชนะอีก 10 ตัวอักษรดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ลักษณะของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 หลังจากที่คำนวณจากปริมาณข้อมูลดังกล่าวจะมีขนาดอยู่ที่ 0.3 X 0.53 ตารางนิ้ว

การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จาก รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 สามารถทำได้ด้วยเครื่องกราดภาพลำแสงเลเซอร์ ซีซีดี (CCD Laser Scanner) โดยการนำ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 เคลื่อนที่ผ่านเพื่อให้แสงเลเซอร์ทำการอ่านข้อมูล ส่วนการพิมพ์ตัวรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49ทำได้โดยการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์มาตรฐานทั่วไป

5) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์** (Data Matrix)

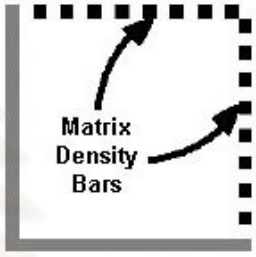
รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ได้รับการพัฒนาจาก บริษัท แอคคิวตี้ ซี เมทริกซ์ (Acuity Ci Matrix) โดยมีการกำหนดรูปแบบของรหัสแท่ง 2 มิติเพื่อบรรจุข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) รูปภาพแสดงตัวอย่างสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่บนพื้นผิวสีขาว

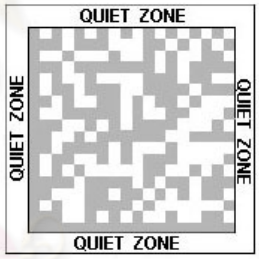
(ข) รูปภาพแสดงตัวอย่างสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่บนพื้นผิวสีดำ

(ค)รูปภาพแสดงการหาขอบเริ่มต้นภายใน สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์



(ง) รูปภาพแสดงการหาความหนาแน่นของ สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์

(จ)รูปภาพแสดงขอบเขตของข้อมูลที่ฝังอยู่ใน สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์



(ฉ) รูปภาพแสดงขอบเขตที่ไม่มีความสำคัญของ สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์

รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการทำงานของการประมวลผลสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์

ข้อมูลที่แปลงเป็นสัญลักษณ์ภายในแถวจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1 ถึง 500 ตัวอักษร ลักษณะของสัญลักษณ์สามารถปรับขนาดได้ตั้งแต่สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรไปจนถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 14 ตารางนิ้ว จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นในเชิงทฤษฎีแล้วรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ นี้มีความสามารถในการจุข้อมูลปริมาณจำนวนมากถึง 5 ร้อยล้านตัวอักษรต่อตารางนิ้ว แต่ความหนาแน่นในทางปฏิบัตินั้นถูกจำกัดด้วยขอบเขตของเทคโนโลยีการพิมพ์และเทคโนโลยีของเครื่องอ่านที่ถูกใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลักษณะรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ มีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจอยู่หลายประการเริ่มต้นจากข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดที่ไม่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงเหมือนอย่างรหัสแท่งรูปแบบดั้งเดิม ทำให้ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังจากการเข้า

ประมวลรหัส รูปแบบของข้อมูล อีกทั้งข้อมูลยังถูกจัดเรียงรูปแบบที่ได้ทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลในระดับที่สูงจึงทำให้ข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การออกแบบลักษณะของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ นั้น มีลักษณะพิเศษโดยทำการนำเอาส่วนของข้อมูลมาวางติดกับแนวฐานรอบ ๆ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการอ่านค่า สัญลักษณ์ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ มีการกำหนดการอ่านค่าไว้สองรูปแบบแตกต่างกันตามวิธีการแก้ไขความผิดพลาดเนื่องจากปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกัน

โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้กับรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ เหล่านี้ใช้ความสามารถ เข้าประมวลรหัสประมาณ 50 ตัวอักษร ให้อยู่ในสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 ถึง 3 ตารางมิลลิเมตรและความจริงที่ว่ารหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถถูกอ่านแม้ว่าจะมีความคมชัดเพียงแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ การอ่านรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถอ่านได้โดยใช้กล้องถ่ายรูปวีดิโอแบบ ซีซีดี หรือเครื่องกราดภาพแบบซีซีดี

สัญลักษณ์ของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่ระหว่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.8 ตารางนิ้วไปจนถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 7 ตารางนิ้วสามารถถูกอ่านแม้ว่าจะมีระยะระหว่างตัวอ่านกับข้อมูลจะห่างมากถึง 36 นิ้ว ด้านความสามารถในการอ่านรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถทำความเร็วได้ที่ 5 สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ต่อ 1 วินาที

6) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ** (Data strip code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทซอฟท์ซตริพ (Soft strip Inc.) รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เป็นรูปแบบของการพัฒนาในช่วงยุคแรกของรหัสแท่งแบบ 2 มิติ จึงทำให้รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ มีเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดในรูปแบบของการพัฒนาทางด้าน รหัสแท่งแบบ 2 มิติ

ในปัจจุบันนี้รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เองนั้นสามารถที่จะทำการบันทึกข้อมูลภาพกราฟิกและเสียงโดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นเลขพิมพ์ลงบนกระดาษในรูปแบบที่ถูกกลั่นกรองแล้วและการอ่านค่านั้นมีความถูกต้องสูง ลักษณะส่วนประกอบที่สำคัญของ Data strip คือรูปแบบเฉพาะซึ่งถูกพิมพ์ลงบนกระดาษและใช้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการอ่านค่ารหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพที่ประกอบด้วยรูปแบบแถวที่มีส่วนประกอบจากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สีดำและสีขาวจำนวนมาก อีกทั้งยังมีเครื่องหมายตามด้านข้างและ ส่วนที่สูงสุดของภาพสัญลักษณ์โดยรวม (เพื่อบอกถึงจุดเริ่มต้นของการอ่านแล้วจุดจบในการอ่านค่า) ด้านการบรรจุข้อมูลจะทำตามแนวนอนเพื่อเรียงตามลำดับทำให้การอ่านค่ามีความถูกต้องยิ่งขึ้น ข้อมูลใน

ส่วนหัวจะบรรจุรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้ทั้งหมดซึ่งได้แก่ ชื่อแฟ้ม จำนวนความยาวและความหนาแน่นของข้อมูล เป็นต้น

วิธีเข้าประมวลรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ จะมีการสร้างข้อมูลจำนวนหนึ่งไว้เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้การเข้าประมวลรหัสแต่ละครั้งมีความน่าเชื่อถือและความสามารถการแก้ไขความผิดที่เกิดในระหว่างการประมวลผลได้ด้วยลักษณะของการทำงานดังกล่าวทำให้ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้ในพื้นที่ที่กว้างเพียง 0.625 นิ้วและความยาว 9 นิ้วได้

ความหนาแน่นของข้อมูลสามารถเพิ่มได้ตั้งแต่จาก 150 ไบต์ ถึง1,000 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้วความสามารถทั้งหมดของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการพิมพ์ โดยที่ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ สามารถถูกพิมพ์โดยใช้การพิมพ์แบบจุด การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ หรือเครื่องพิมพ์แบบใช้ความร้อนก็ได้ อีกทั้งรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ สามารถนำไปใช้กับพื้นผิววัสดุที่มีความหลากหลายทั้งวัสดุแบบดั้งเดิมที่เป็นกระดาษและวัสดุแบบที่เป็นพลาสติก โดยที่ความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดจะอยู่ที่ 1,100 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้ว ความหนาแน่นที่บรรจุได้มากที่สุดของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ คือ 3,500 ไบต์ ต่อ 1 ตารางนิ้ว และการพิมพ์ที่ให้ความหนาแน่นสูงที่สุดเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เทคโนโลยีถ่ายภาพ คือ 4,800 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้ว

สำหรับเทคโนโลยีด้านการอ่านค่าคืนกลับของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ต้องถูกอ่านจากเครื่องอ่านแบบพิเศษของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เองและตัวเครื่องอ่านนั้นจำเป็นต้องมีรหัสพิเศษฝังไว้ภายในเพื่อการคำนวณด้วย โดยดั้งเดิม รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ นี้ถูกส่งเสริมเพื่อให้เป็นทางเลือกใหม่ของการตีพิมพ์ซอฟต์แวร์ในหนังสือและนิตยสารในรูปแบบแมชชีนรีดเอเบิล (Machine readable) ปัจจุบันรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ยังได้รับความสนใจจากคนส่วนใหญ่ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพิมพ์ข้อมูลลงบนบัตรประชาชน

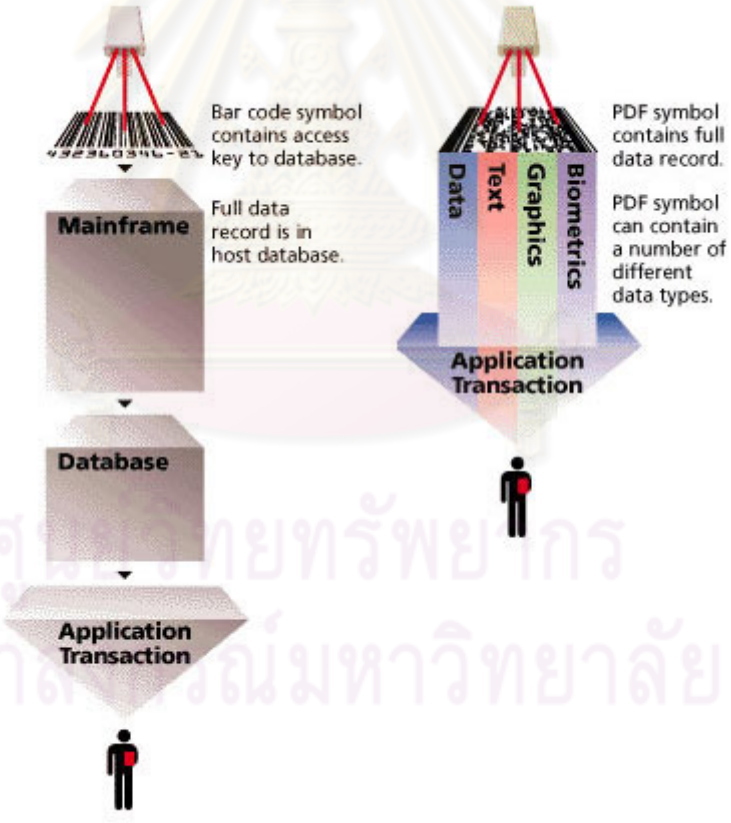
7) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 (PDF417 code)**

รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 เป็นภาพรวมของสัญลักษณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย นายหยินจิน วาง (Mr. Ynjiun Wang) ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ซิมโบล์ เทคโนโลยี (Symbol Technologies Inc.) ในปี ค.ศ. 1991 รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ เป็นการจัดเก็บแฟ้มข้อมูลแบบใช้พกติดตัว โดยที่โครงสร้างประกอบด้วยสัญลักษณ์ซึ่งมีส่วนประกอบ 17 สัญลักษณ์แต่ละอันบรรจุรวมอยู่ด้วย 4 แถบมีช่องว่างระหว่างตัวข้อมูล ดังนั้นรหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟจึงได้ชื่อรหัสว่า รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417

ลักษณะความหนาแน่นของจำนวนตัวอักษรเริ่มต้นตั้งแต่ 100 ตัวอักษร จนถึง 3,409 ตัวอักษร โดยข้อมูลจะมีความจุตั้งแต่ 1,000 ตัวอักษรถึง 2,000 ตัวอักษร ต่อสัญลักษณ์ 1 สัญลักษณ์ โดยที่สัญลักษณ์แต่ละสัญลักษณ์จะมีการบอกจุดเริ่มต้นและจุดหยุดโดยการอาศัยการขยายความสูงของสัญลักษณ์

รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 สามารถถูกอ่านด้วยลำแสงเลเซอร์ แบบพกพาที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้วโดยให้มีคุณลักษณะเหมือนเครื่องอ่านกราดภาพซีซีดีหรือ จะอ่านจากเครื่อง กราดภาพ ซีซีดี ก็ได้

ด้านการพิมพ์สามารถใช้เครื่องพิมพ์ที่มีระดับความหนาแน่นของน้ำหมึกสูงเพื่อให้สามารถสร้างสัญลักษณ์ที่ชัดเจนลงบนสื่อ การพัฒนารูปแบบนี้ได้ทำการพัฒนาโดยอ้างอิงกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซึ่งทำให้สามารถบันทึกข้อมูลจากพวกแฟ้มรูปภาพ แล้วสามารถดึงข้อมูลกลับมาเพื่อทำการบันทึกลงบนโปรแกรมพิมพ์ดีดได้



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานรหัสแท่งแบบเก่าและการทำงานรหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417

ตัวโปรแกรมที่ทำการสร้างรูปแบบสัญลักษณ์นั้น อนุญาตให้ผู้ใช้การจัดการพารามิเตอร์ ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 ได้อย่างอิสระเช่นจำนวนของแถวและคอลัมน์ ระดับจัดการการแก้ไขความผิดพลาด ก็สามารถตั้งได้ตามความพอใจของผู้ใช้

8) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด** (Maxi code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด หรืออีกชื่อหนึ่งว่า รหัสแท่ง 2 มิติแบบยูพีเอส โค้ด (UPS Code) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1992 โดย กลุ่ม ยูนิตเตด พาเซล เซอร์วิส (United Parcel Service) โดยรูปแบบของการพัฒนาเริ่มต้นขึ้นมีการค้นพบว่ารูป หกเหลี่ยมนั้นสามารถจะบรรจุลงในพื้นที่ขนาดเดียวกันได้มากกว่ารูปสี่เหลี่ยมโดยสามารถเพิ่มพื้นที่ได้ร้อยละ 15 ของพื้นที่โดยรวม โดยที่พื้นที่ที่บรรจุมีขนาดเท่ากัน เมื่อมีการทดลองนำรูป หกเหลี่ยมมาวางเรียงต่อกันในพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้วสามารถเรียงต่อกันได้ถึง 866 ชิ้น

(ก) รูปภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ดแบบสีเดียว

(ข) รูปภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ดแบบไล่ระดับเฉดสี

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่โค้ด

แต่ผลการทดลองทั้งหมดจำเป็นต้องอาศัยเครื่องพิมพ์คุณภาพสูงในการพิมพ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด ด้านความสามารถในการจุปริมาณข้อมูลของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด อยู่ที่ 100 ตัวอักษรต่อ 1 ตารางนิ้ว และ ลักษณะพิเศษอีกอย่างของรหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด นั้นคือ หากข้อมูลที่ทำการพิมพ์ลงไปนั้นสูญหายไปน้อยกว่า 25% การที่ทำการดึงข้อมูลกลับมาก็ยังสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง

9) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด** (Super code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด ถูกพัฒนาขึ้นนายหยินจิน หว่าง (Mr. Ynjiun Wang) ในปี ค.ศ. 1994 และถูกเผยแพร่ออกสู่สาธารณะชนในปีเดียวกันโดย รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดนั้นจะมีโครงสร้างแบบกลุ่มของเครื่องหมาย มีลักษณะพื้นฐานคือเป็นกลุ่ม

ของข้อมูลที่มีหลายแถวอยู่รวมกัน ลักษณะหลักของสัญลักษณ์ที่นำมาใช้นั้นจะมีตัวกำหนดจุดเปลี่ยนตำแหน่งของตัวสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแนวนอนของกลุ่มสัญลักษณ์ทั้งหมดเพื่อบอกตำแหน่งในการอ่านค่าซึ่งจะมีกฎเกณฑ์ตายตัว

แต่ถึงกระนั้น รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด นั้นก็มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นอิสระในการแทนที่กลุ่มสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแนวตั้งและแนวนอนได้มากกว่าที่ทำแบบรหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด ด้วยโครงสร้างของกลุ่มสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดนั้นมีการประมวลผลเข้ารหัสข้อมูลของแต่ละกลุ่มสัญลักษณ์ทำให้สามารถแก้ไขความผิดพลาด ที่อาจจะเกิดขึ้นเกี่ยวพันกับตัวอักษรสัญลักษณ์ที่กลุ่มสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดโดยการอ้างอิงจากตำแหน่งและค่าที่ปรากฏ

ดังนั้นการเรียงลำดับของสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด จึงมีความแตกต่างออกไป ไม่ใช่เพียงแค่จะพิจารณาดูเฉพาะที่ไม่ใช่สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น แต่จะต้องดูด้วยว่า กลุ่มสัญลักษณ์แต่ละอันนั้นจะต้องไม่ชิดติดกันกับอันอื่น ๆ ปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่สุดที่สามารถบรรจุได้ต่อ หนึ่งกลุ่มสัญลักษณ์ โดยที่มีการตั้งค่าการป้องกันระดับแก้ไขความผิดพลาดที่ต่ำที่สุดคือ กรณีที่เป็นตัวอักษรผนวกกับตัวเลขสามารถบรรจุได้ 4,083 ตัวอักษร กรณีที่เป็นตัวเลขเพียงอย่างเดียวสามารถบรรจุได้ 5,102 ตัวเลข หรือ ปริมาณข้อมูลโดยรวมคือ 2,546 ไบต์

10) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด** (Ultra code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด ได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก กลุ่ม ซีบร้า เทคโนโลยี (Zebra technologies Group) รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด นั้นมีโครงสร้างของแถบข้อมูลที่มีลักษณะเป็นการรวมตัวกันของคอลัมน์ของจุด ที่มีความกว้างจำกัด ตัวข้อมูลสัญลักษณ์นั้นสามารถบรรจุได้ทั้ง ตัวเลข และ ตัวอักษร และมีการป้องกันความผิดพลาด แนวทางการพัฒนานั้นมีการอ้างอิงใน 2 รูปแบบคือ การพัฒนาที่ว่าด้วยเรื่องของสีดำและสีขาวที่มีความหนาแน่นที่ไม่สูงมากนัก กินเนื้อที่ของแถบข้อมูลจำนวนมากเมื่อเทียบกับหลังการพัฒนาให้มีความสามารถแบบเฉดสี

รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด รูปแบบที่สอง คือมีการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สีมาใช้ โดยใช้ค่าสีทั้งหมดจำนวน 8 สี ในการแทนค่าข้อมูล ได้แก่ สีขาว, สีแดง, สีเขียว, สีฟ้าอมเขียว, สีแดงอมชมพู, สีม่วงอมน้ำเงิน, สีเหลืองและสีดำ ซึ่งการนำเอาสีทั้ง 8 สีมาใช้นั้นเพื่อรองรับการใช้ภาษาตัวอักษรที่แตกต่างกัน 43 ภาษา รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ดนั้นมีความแตกต่างจากรหัสแท่ง 2 มิติโดยทั่วไปที่เป็นรหัสแท่ง 2 มิติจากรหัสแท่งผสมกับข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาด ซึ่งรหัสแท่งเหล่านั้นจะมีอัตราส่วนสัญลักษณ์ที่มีขนาดความยาวและ

บางที่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการบ่งบอกว่ารหัสแท่งดังกล่าว รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ดนั้นใช้สีมาช่วยในการทดแทนข้อมูล จึงทำให้มีความสามารถในการพิมพ์ที่ง่ายขึ้นด้วย

11) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบ ดาต้ากลิฟส์**(Data glyphs)

ดาต้ากลิฟส์ เป็นเทคโนโลยีที่ทำการพัฒนาขึ้นมาจาก บริษัทซีรอกซ์ (Xerox Co., Ltd.) และเป็นเทคนิคซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่าน และเข้าใจข้อมูลบนเอกสารกระดาษ โดยที่ดาต้ากลิฟส์จะเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษร รูปภาพ ด้วยสัญลักษณ์รูปภาพขนาดเล็ก โดยแต่ละกลุ่มสัญลักษณ์จะประกอบด้วยเส้นทแยงมุม 45 องศา ที่มีขนาดเล็ก ประมาณ 1,000 เส้นต่อ 1 ตารางนิ้วหรือน้อยกว่านั้น โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของการพิมพ์ และการอ่านภาพจากเครื่องกราดภาพ ที่ใช้ แต่ละสัญลักษณ์จะแทนสัญญาณทวิภาค 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับว่าสัญลักษณ์นั้นเอียงซ้าย หรือขวา

สัญลักษณ์จะอยู่เป็นกลุ่มในช่องสี่เหลี่ยม เมื่อสัญลักษณ์ถูกพิมพ์อย่างดี ดาต้ากลิฟส์จะสามารถประกอบกันเป็นรูปได้โดยไม่สามารถแยกได้โดยสายตามนุษย์ แต่ละดาต้ากลิฟส์ประกอบไปด้วยการฝังโครงร่างตาข่ายที่สอดคล้องกัน โดยรูปแบบที่ซ้ำ ๆ กันของสัญลักษณ์จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของดาต้ากลิฟส์ ซึ่งช่วยปรับปรุงความเชื่อถือได้ของการอ่านกลุ่มของสัญลักษณ์ แต่ละสัญลักษณ์แทนไบต์ของข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มลงในบล็อกซึ่งมี 24 – 36 บิต แต่ละหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีการเพิ่มรหัสในการแก้ไขความผิดพลาด ซึ่งแต่ละโปรแกรมประยุกต์จะกำหนดจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขความผิดพลาดที่ใช้โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพที่ต้องการจากงานพิมพ์และการอ่านภาพ ในดาต้ากลิฟส์ ไบต์ข้อมูลจะถูกกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ ดังนั้นหากมีบางส่วนของ ดาต้ากลิฟส์ถูกทำลาย การเข้ารหัสที่ช่วยแก้ไขความผิดพลาดจะช่วยกู้ข้อมูลในส่วนที่หายไปคืนมาได้ การมีการเข้ารหัสข้อมูลที่ช่วยแก้ไขความผิดพลาดนั้น ทำให้ดาต้ากลิฟส์มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการเข้ารหัสข้อมูลแบบอื่น

จำนวนของข้อมูลที่สามารถเข้ารหัสลงในดาต้ากลิฟส์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์พิมพ์ และอุปกรณ์อ่านภาพที่ใช้ โดยความหนาแน่นของดาต้ากลิฟส์จะถูกระบุโดยปัจจัยหลัก 4 อย่างคือ

(ก) ความละเอียดที่ใช้ในการพิมพ์ โดยอุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูงกว่า เช่น การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์จะมีความหนาแน่นของดาต้ากลิฟส์สูงกว่าการใช้เครื่องพิมพ์แบบจุด หรือการสแกนด้วยความละเอียดที่สูง ยิ่งทำให้มีความถูกต้องของการอ่านข้อมูลที่ดีกว่า เช่น การสแกนภาพที่ความละเอียด 300 จุดต่อตารางนิ้ว ย่อมให้ผลของความถูกต้องที่ดีกว่า การสแกนภาพที่ความละเอียด 150 จุดต่อตารางนิ้ว

(ข) จำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ และ แก้ไขความผิดพลาดโดยความหนาแน่นของดาต้ากลิฟส์ที่มากที่สุดจะเกิดจากการไม่เข้ารหัสข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขความผิดพลาดเลย ซึ่งอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดทำให้การดึงข้อมูลที่แฝงไว้กลับมา

(ค) การบีบอัดข้อมูลที่ใช้การนำเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลมาช่วยจะทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลในดาต้ากลิฟส์มากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการบีบอัดยังมี การพัฒนาน้อยอยู่มากสาเหตุ เนื่องจากดาต้ากลิฟส์ ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่

(ง) ขนาดของเฟรมแบบสมวาร (Synchronization Frame) และส่วนหัว (Header) สำหรับดาต้ากลิฟส์ ส่วนของเฟรมเป็นส่วนที่มีขนาดข้อมูลที่แน่นอน และมีส่วนหัวที่มีขนาดเล็กจะเป็นส่วนที่ทำการบรรจุส่วนที่ทำการตรวจสอบรายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูล

ปัญหาของดาต้ากลิฟส์ในปัจจุบันคือ มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลต่ำ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการพิมพ์ข้อมูลดังกล่าวลงบนกระดาษ จำเป็นต้องใช้กระดาษที่มีคุณภาพสูง พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังจำเป็นต้องอ่านข้อมูลจากเครื่องกราดภาพที่มีคุณภาพสูงอีกด้วย จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน ดาต้ากลิฟส์ดังกล่าว

2.4.3 บาร์โค้ดแบบ 3 มิติ

รหัสแท่งแบบ 3 มิติความจริงแล้วลักษณะส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกับรหัสแท่งแบบ 1 มิติ เช่นเดียวกับ รหัสแท่งแบบ โค้ด 39 และ รหัสแท่งแบบ โค้ด 128 โดยที่ รหัสแท่งแบบ 3 มิติจะมีลักษณะที่แตกต่างคือ จะมีลักษณะความโค้งนูนพิเศษบนพื้นผิววัสดุที่เป็นรหัสแท่ง

รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการใช้งานของ รหัสแท่ง 3 มิติ

การอ่านรหัสแท่ง 3 มิตินี้จะให้ความสำคัญกับความสูงของพื้นผิวมากกว่าความเข้มจางของลักษณะแถบสีของรหัสแท่ง ซึ่งความแตกต่างระหว่างรหัสแท่งและพื้นที่ว่างจะถูกอ่านด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษ รหัสแท่ง 3 มิตินี้จะนำไปใช้ในลักษณะพื้นผิวที่รหัสแท่ง 2 มิติไม่สามารถพิมพ์ลงไปได้หรือพื้นผิวที่ต้องทนทานต่อสภาพที่ต้องถูกกัดกร่อน รหัสแท่ง 3 มิติแบบนี้ทำให้การทำงานที่ต้องการติดฉลากลงบนพื้นผิวที่ไม่สามารถทำได้ ให้สามารถทำได้ง่ายขึ้น

ในงานวิจัยได้นำเอาเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มาใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะดาต้ากลิฟส์เป็นเทคโนโลยีรหัสแท่งที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ไม่สามารถใช้เครื่องอ่านที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไปได้ ทำให้การอ่านข้อมูลนั้นสามารถกำหนดได้จากผู้สร้างเอง และมีความเป็นอิสระเพราะสามารถกำหนดหรือสร้างเอกลักษณ์ของข้อมูลดาต้ากลิฟส์ได้เอง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1976 Whitfield Diffie และ Martin Hellman ได้พัฒนาแนวคิดการเข้ารหัสลับรูปแบบใหม่โดยมีชื่อเรียกว่า วิทยาการรหัสลับชนิดกุญแจสาธารณะ (Public-key cryptography) เพื่อแก้ปัญหาระบบการจัดการกุญแจ (key management) หลักการสำคัญของวิธีการใหม่นี้คือการเปลี่ยนแปลงจากการใช้กุญแจเพียงดอกเดียวสำหรับใช้ทั้งในขั้นตอนการเข้ารหัสและถอดรหัสมาเป็นการใช้กุญแจสองดอก กุญแจดอกแรกมีชื่อเรียกว่า กุญแจสาธารณะ (Public key) มีไว้สำหรับใช้ในการเข้ารัหสลับข้อความ ส่วนกุญแจดอกที่สองเรียกว่า กุญแจส่วนตัว(Private key) มีไว้สำหรับใช้ในกระบวนการถอดรหัสลับข้อความ

ในยุคแรก ๆ ของการซ่อนข้อมูล Schyndel และคณะ [10] ได้นำเสนอวิธีการฝังสัญญาณข้อมูลลงในบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Bit: LSB) ของแต่ละจุดภาพในรูปภาพโดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่าการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง LSB จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปภาพโดยรวมน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธีการนี้มีข้อเสียคือจะไม่มีความทนทานต่อการโจมตีที่ใช้หลักการของการรวมสัญญาณรบกวนโดยตรงกับตัวข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ LSB ให้เป็น 0 หรือ 1 ทั้งหมด

สุวรฐ สุตันยสุวรรณ [2] ได้เสนอนำเอาเทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) และเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ (Data glyphs) มาใช้ทำการฝังแนบข้อมูลลงบนสื่อสิ่งพิมพ์ และมุ่งเน้นการออกแบบเทคโนโลยีการฝังแนบข้อมูลผสมผสานกับการประมวลผลภาพ และทำการปรับปรุงเทคโนโลยีการฝังข้อมูลบนสื่อสิ่งพิมพ์ให้มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลที่มีความหนาแน่นมากขึ้นและมีความถูกต้องสูงเมื่อทำการอ่านค่าที่บันทึกกลับ ข้อเสียของวิธีการนี้คือใช้การใช้ระดับเฉด

สีมีข้อจำกัดจำนวนมาก ทั้งขอบเขตและช่องว่างระหว่างสี ทำให้ไม่สามารถแบ่งแยกปริมาณของสีที่มีลักษณะระดับเฉดสีเดียวกันได้มาก และใช้การคำนวณมากกว่าเดิม

R. Villan, S. Voloshynovskiy, O. Koval, F. Deguillaume, and T. Pun [11] ได้นำเสนอการจัดการกับปัญหาของการพิสูจน์ตัวตน และการตรวจสอบการถูกแก้ไขของข้อความ ซึ่งสามารถกระจายอยู่ในอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคหรือรูปแบบการพิมพ์ งานวิจัยนี้ได้รวบรวม robust text hashing และเทคโนโลยีการซ่อนข้อมูลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยในส่วนแรก งานวิจัยนี้จะพิจารณาปัญหาของการซ่อนข้อมูลใน ขอบเขตของ Gel'fand-Pinsker data-hiding framework มีตัวอย่าง 2 รูปแบบคือ color index modulation (CIM) และ location index modulation (LIM) ส่วนที่สองจะศึกษา CIM และ LIM จะพิจารณาถึงปัญหาในเรื่อง robust text hashing ส่วนแรกทำขึ้นใช้สำหรับ OCR และประเภทการเข้ารหัสข้อความเพื่อพิสูจน์ข้อความ MAC. ส่วนที่สองเป็นสิ่งใหม่และสามารถใช้ในบางกรณีที่ OCR ไม่สามารถสร้างผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง การเปรียบเทียบงานทดลองทั้งสองส่วน และแสดงรูปแบบความทนทานการย้อน intentional/unintentional ข้อความผิดเพี้ยน การรวมรูปแบบอุปกรณ์แปลง เครื่องพิมพ์ Photocopying และแฟ็กซ์

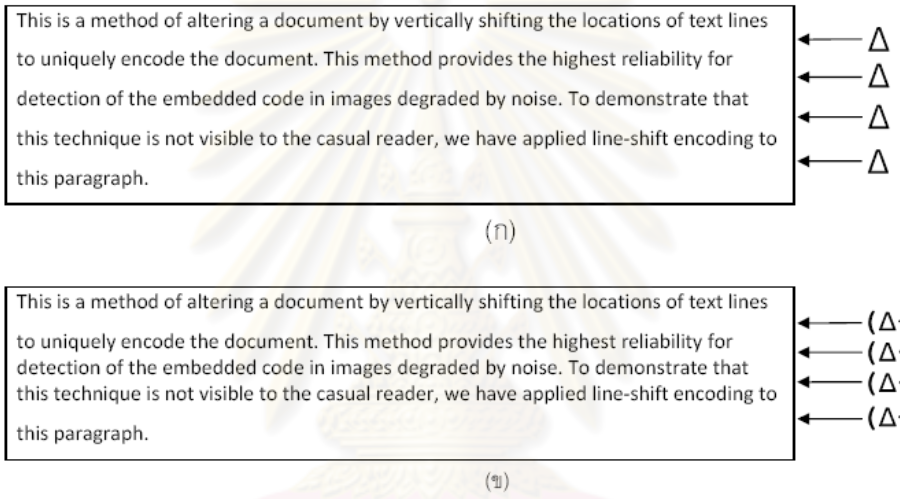
Q. Mei, E. K. Wong and N. Memon [12] ได้นำเสนอการซ่อนข้อมูลเป็นแบบเลขฐานสอง (Binary) ด้วยการฝังข้อมูลไว้ที่ขอบด้านนอกของตัวอักษรแต่ละตัว และได้เพิ่มประสิทธิภาพของการฝังข้อมูลโดยการฝังเพิ่มเข้าไปที่ขอบด้านในของตัวอักษร ซึ่งสามารถทำให้เพิ่มข้อมูลในการซ่อนได้มากขึ้น

Jack T. Brassil และคณะ [13] มีงานวิจัยและได้สรุปเกี่ยวกับการซ่อนข้อมูลลงในเอกสารรูปภาพ โดยมีรายละเอียดของวิธีการต่างๆ ดังนี้

1) Line shift coding วิธีการนี้จะซ่อนข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของบรรทัดแนวตั้ง (เลื่อนขึ้น เลื่อนลง) ซึ่งมีหลักการคือ ถ้าบรรทัดใด ๆ ถูกเลื่อนตำแหน่งขึ้นจากตำแหน่งเดิมจะแทนข้อมูลไบนารี “1” แต่ถ้าบรรทัดใดถูกเลื่อนตำแหน่งลงจากตำแหน่งเดิมจะแทนข้อมูลไบนารี “0” โดยบรรทัดที่ถูกเปลี่ยนแปลงตำแหน่งนี้จะต้องอยู่ระหว่างบรรทัดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเท่านั้น ดังนั้นบรรทัดที่สามารถซ่อนข้อมูลได้คือ บรรทัดที่ 2, 4, 6, ... พิจารณารูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธีการนี้ โดยรูปที่ (ก) แสดงรูปเอกสารต้นฉบับที่ยังไม่ถูกซ่อนข้อมูล (ช่องว่างระหว่างบรรทัดจะมีขนาดเท่ากันทั้งหมดในทุก ๆ ตำแหน่ง) ส่วนรูปที่ (ข) แสดงรูปเอกสารที่ถูกซ่อนข้อมูลลงในบรรทัดที่สองโดยการเลื่อนตำแหน่งของบรรทัดนี้ลงมาจากตำแหน่งเดิมเล็กน้อย (δ) เพื่อซ่อนข้อมูล “0” ทำให้ช่องว่างระหว่างบรรทัดที่หนึ่งกับสองนั้น จะมีขนาดกว้างขึ้น ($\Delta + \delta$) ส่วนช่องว่างระหว่างบรรทัดที่สองกับสามนั้น จะมีขนาดลดลง

$(\Delta - \delta)$ สำหรับหลักการที่ใช้ดึงข้อมูลออกจากเอกสารนั้น จะพิจารณาจากขนาดช่องว่างระหว่างบรรทัดที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเพื่อกำหนดค่าบิตข้อมูลที่ถูกซ่อนภายในเอกสาร

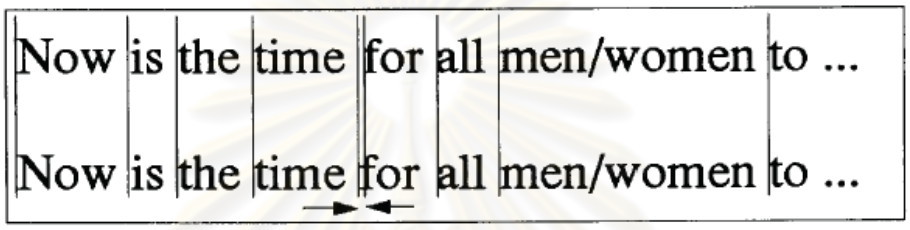
ข้อดีของวิธีการนี้คือข้อมูลที่ถูกซ่อนจะมีความทนทานต่อการที่เอกสารผ่านกระบวนการประมวลผลทางด้านเอกสารได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่มีข้อจำกัดคือจะซ่อนข้อมูลได้น้อยเนื่องจากต้องใช้จำนวนบรรทัดถึงสองบรรทัดในการซ่อนข้อมูลเพียงหนึ่งบิต อีกทั้งการซ่อนข้อมูลด้วยวิธีการนี้จะทำให้เอกสารถูกสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เนื่องจากวิธีการนี้จะเปลี่ยนแปลงตำแหน่งบรรทัดในการซ่อนข้อมูล ทำให้ช่องว่างระหว่างบรรทัดภายในหน้าเอกสารมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วช่องว่างระหว่างบรรทัดภายในหน้าเอกสารควรจะมีขนาดเท่ากัน



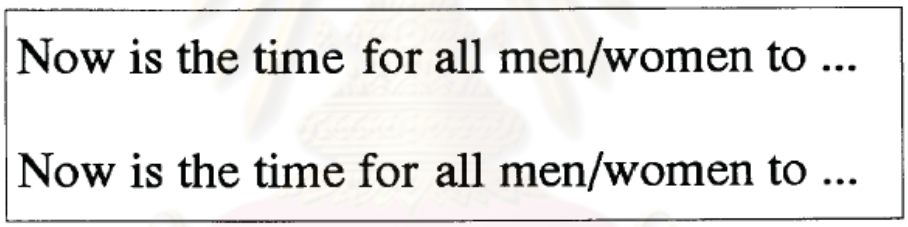
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Line shift coding (ก) เอกสารต้นฉบับ (ข) เอกสารที่ถูกซ่อนข้อมูล

2) Word shift coding วิธีการนี้จะซ่อนข้อมูล โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของคำในแต่ละบรรทัดตามแนวนอน (เลื่อนไปทางซ้าย-ขวา) ซึ่งมีหลักการคือถ้าคำใดถูกเลื่อนจากตำแหน่งเดิมไปทางขวาจะแทนข้อมูลไบนารี “1” แต่ถ้าคำใดถูกเลื่อนจากตำแหน่งเดิมไปทางซ้ายจะแทนข้อมูลไบนารี “0” โดยคำที่ถูกเปลี่ยนแปลงตำแหน่งนี้จะต้องอยู่ระหว่างคำที่ไม่ถูกเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง พิจารณารูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการซ่อนข้อมูลลงในเอกสารโดยใช้วิธีการนี้ ข้อมูลถูกซ่อนลงที่ช่องว่างหน้าตำแหน่งของคำว่า “for” โดยการเลื่อนตำแหน่งของคำนี้ไปทางซ้ายเล็กน้อยเพื่อซ่อนข้อมูล “0” สำหรับหลักการที่ใช้ดึงข้อมูลออกจากเอกสารนั้นจะพิจารณาจากขนาดของช่องว่างระหว่างคำที่ถูกเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปจากเดิม เพื่อกำหนดค่าบิตที่ข้อมูลที่ถูกซ่อน

ข้อดีของวิธีการนี้คือเอกสารจะถูกสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าวิธี Line shift coding เนื่องจากช่องว่างระหว่างคำในแต่ละบรรทัด มีขนาดไม่แน่นอนอยู่แล้ว (สำหรับเอกสารที่มีการจัดแบบชิดขอบ) แม้ว่าภายใจเอกสารจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของคำจะไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ อีกทั้งวิธีการนี้ยังสามารถซ่อนข้อมูลได้มากกว่าวิธีการแรก แต่จะมีความทนทานต่อการที่เอกสารผ่านกระบวนการประมวลผลเอกสารได้น้อยกว่า และข้อจำกัดอีกอย่างของวิธีการนี้คือ สามารถใช้ได้กับเอกสารที่มีช่องว่างระหว่างคำเท่านั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Word shift coding (ก) “for” ถูกเลื่อนตำแหน่งไปทางซ้าย ทำให้ช่องว่างทางซ้ายมีขนาดลดลงเพื่อซ่อนข้อมูล “0” (ข) รูปเดียวกับ (ก) แต่ไม่มีเส้นกำหนดในแนวตั้ง

3) Feature coding วิธีการนี้จะซ่อนข้อมูล โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของตัวอักษรภายในเอกสาร ซึ่งมีหลักการคือตัวอักษรใดที่ถูกเปลี่ยนแปลงจะแทนด้วยข้อมูลไบนารี “1” ส่วนตัวอักษรที่ไม่ถูกเปลี่ยนแปลงจะแทนด้วยข้อมูลไบนารี “0” การเปลี่ยนแปลงตัวอักษรนั้นสามารถทำได้โดยการลดหรือเพิ่มขนาดความยาวของตัวอักษร เช่น การเพิ่มความยาวของตัวอักษร b, d หรือ h พิจารณารูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการซ่อนข้อมูลด้วยวิธีการเพิ่มความยาวของตัวอักษร “l” เพื่อซ่อนข้อมูล “1” และลดความยาวของตัวอักษร “t” เพื่อซ่อนข้อมูล “0” สำหรับหลักการที่ใช้ในการดึงข้อมูลที่ซ่อนออกจากเอกสารนั้น สามารถทำได้โดยการนำเอกสารที่ซ่อนข้อมูลมาเปรียบเทียบกับเอกสารต้นฉบับ

ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถซ่อนข้อมูลได้ในปริมาณที่มากและเอกสารจะถูกสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ยากมาก เนื่องจากวิธีการนี้จะเปลี่ยนแปลงลักษณะของตัวอักษรเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือ ข้อมูลที่ถูกซ่อนจะมีความทนทานต่อการที่เอกสารผ่านกระบวนการประมวลผลทางด้านเอกสารได้น้อยมาก

(ก)

(ข)

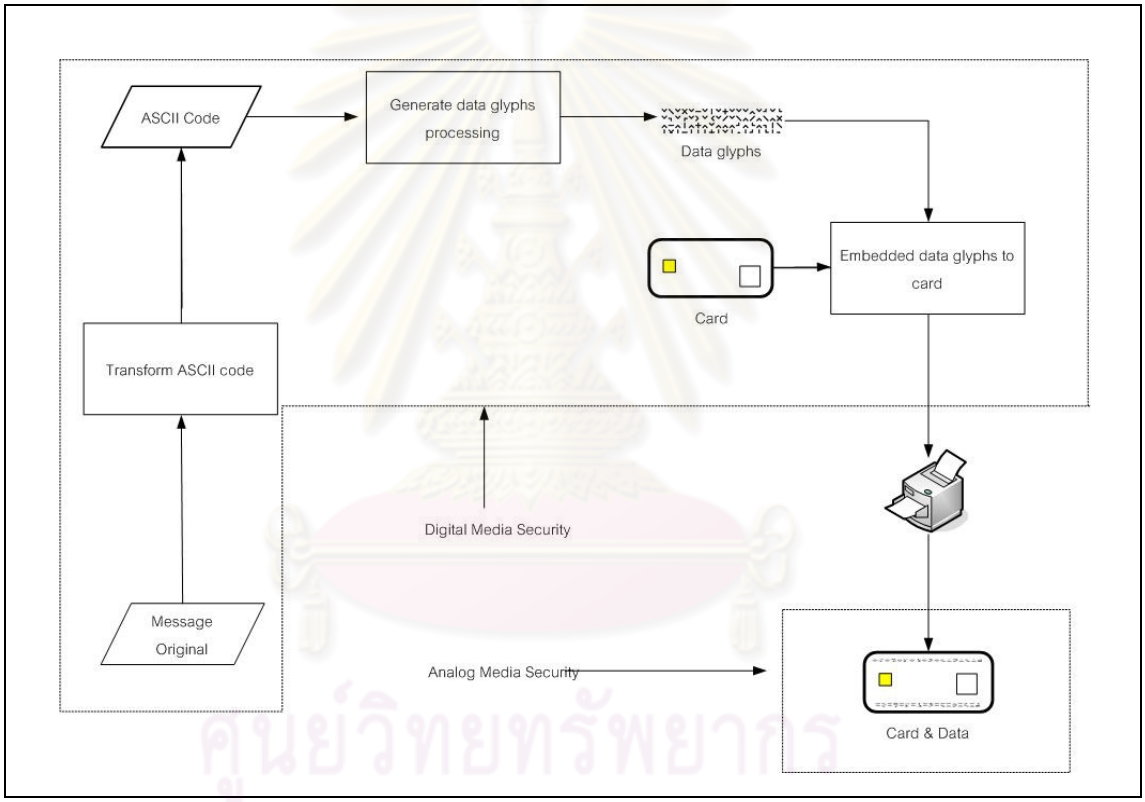
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการซ่อนข้อมูลโดยใช้วิธี Feature coding (ก) ข้อความต้นฉบับ (ข) ข้อความที่ซ่อนข้อมูลโดยการเพิ่มความยาวของ “l” และลดความยาวของ “t”

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

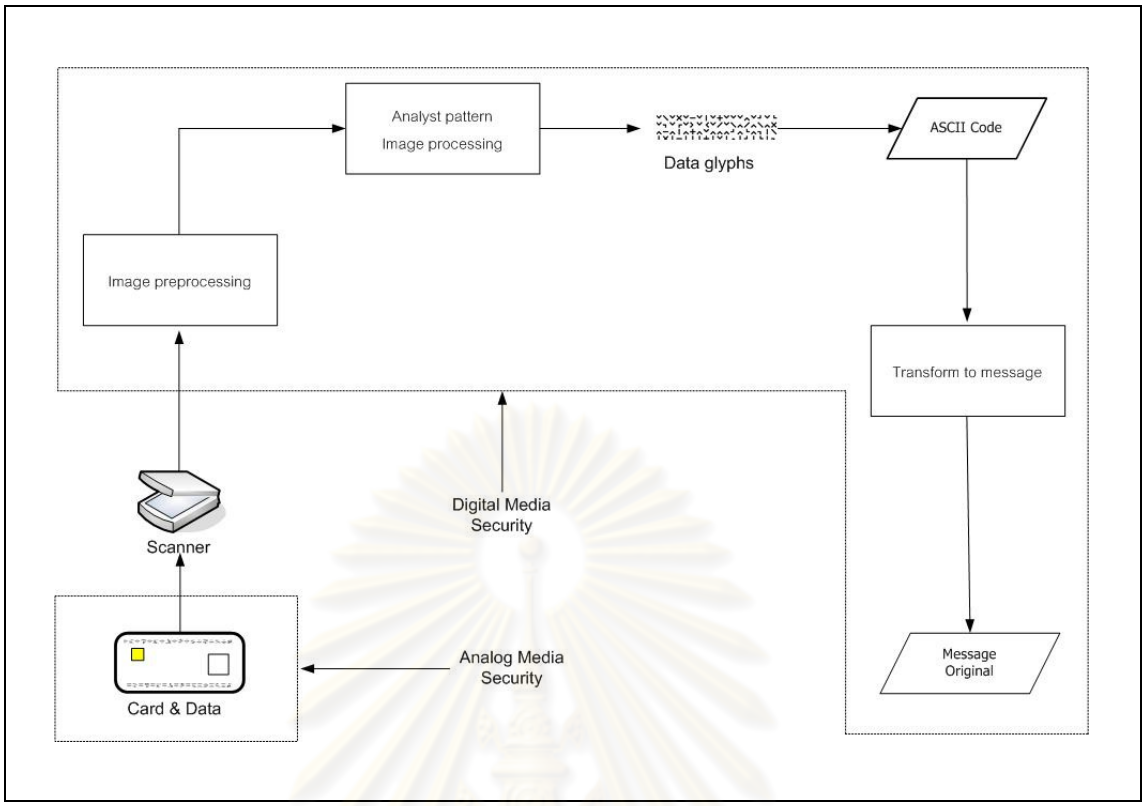
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ผ่านมาได้กล่าวให้ทราบถึงทฤษฎีต่าง ๆ รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนในบทนี้จะกล่าวถึงการนำเอาทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มาประยุกต์ใช้ในการปกปิดข้อมูลที่สำคัญบนบัตรประชาชน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ รูปที่ 3.1 กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) และ รูปที่ 3.2 กระบวนการถอดรหัสข้อมูล (Decoding) โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)



รูปที่ 3.2 กระบวนการดึงข้อมูล (Decoding)

3.1 กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)

กระบวนการซ่อนข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) ข้อมูลที่ใช้ในการซ่อนลงในเอกสารที่จำลองเหมือนบัตรประชาชนคือข้อมูลต่าง ๆ ที่อยู่บนบัตรประชาชน ซึ่งประกอบไปด้วย

   ก) เลขประจำตัวประชาชน (Identification Number)

   ข) คำนำหน้าชื่อ, ชื่อ, นามสกุล (Prefix, Name, Last name)

   ค) ที่อยู่ (Address)

   ง) วันเดือนปีเกิด (Date of Birth)

   จ) วันออกบัตร (Date of Issue)

   ฉ) วันหมดอายุ (Date of Expire)

   ช) เจ้าพนักงานออกบัตร (Issue by)

เมื่อทำการรับข้อมูลของบัตรประชาชนแล้ว จะทำการแยกข้อมูลออกเป็นบล็อก โดยการกำหนดสัญลักษณ์ เพื่อแบ่งข้อมูล เพราะมิฉะนั้นแล้วข้อมูลจะปนกัน จะทำให้การ

แยกข้อมูลมีความยากลำบาก โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสัญลักษณ์ “^” ขึ้นมาเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่เตรียมไว้มาทำการแปลงเป็น ASCII code โดยนิยามของ ASCII code ใช้เป็นตัวเลขฐานสิบ ซึ่งการแปลงเป็น ASCII code เป็นการเข้ารหัสอย่างหนึ่ง วิธีการแปลงนั้น เราจะมีการสร้าง Decimal code table เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับเข้ามาโดยจะตัดทีละตัวอักษร นำมาเปรียบเทียบกับ Decimal code table ตาม pseudo code ดังต่อไปนี้

```
var tCount, AsciiTxt : integer;
begin
    tCount := 1;
    while Copy(txtInput.text, tCount, 1) <> '' do
    begin
        cTxt := txtInput.text[tcount];
        AsciiTxt := Ord(ctxt);
        txtEnCode.Text := txtEnCode.Text + FormatFloat('000', Asciitxt));
        inc(tCount);
    end;
end;
```

โดยที่ txtInput.text = ข้อมูลต้นฉบับ

txtEncode.text = ข้อมูลที่ได้ทำการแปลง

tCount = ตัวแปรที่ใช้อ้างตำแหน่งตัวอักษร

cTxt = ตัวแปรที่ใช้เก็บตัวอักษรที่ถูกตัดมาทีละตัวอักษร

AsciiTxt = ตัวแปรทีใช้เก็บตัวอักษรที่ได้ทำการเปรียบเทียบมาแล้ว

ตัวอย่างหลังจากนำข้อมูลมาเรียงต่อกันโดยมีสัญลักษณ์ “^” เป็นตัวแบ่งข้อมูลและแปลงเป็น ASCII code ดูได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแปลงข้อความต้นฉบับเป็น ASCII Code

Message Original information	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 ^ น า ย ^ ป ร ะ ท า น ^ โ ช ติ พั น ธุ์ บั ณ ฑิ ต ย์ ^ 26092524^26092550^26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^นายวิชัย ศรีขวัญ
ASCII code	049 050 051 052 053 054 055 056 057 048 049 050 051 094 185 210 194 094 187 195 208 183 210 185 094 226 170 181 212 190 209 185 184 216 236 186 209 179 177 212 181 194 236 094 050 054 048 057 050 053 050 052 094 050 054 048 057 050 053 053 048 094 050 054 048 057 050 053 053 054 094 049 047 057 050 032 171 046 197 210 180 190 195 233 210 199 032 049 051 056 032 225 162 199 167 164 197 205 167 168 209 232 185 032 224 162 181 186 210 167 161 208 187 212 032 161 195 216 167 224 183 190 193 203 210 185 164 195 094 185 210 194 199 212 170 209 194 032 200 195 213 162 199 209 173
ASCII code concatenate	049050051052053054055056057048049050051094185210194094187195208183210185094226170181212190209185184216236186209179177212181194236094050054048057050053050052094050054048057050053053048094050054048057050053053054094049047057050032171046197210180190195233210199032049051056032225162199167164197205167168209232185032224162181186210167161208187212032161195216167224183190193203210185164195094185210194199212170209194032200195213162199209173

2) นำ ASCII Code มาแปลงเป็นดาต้ากลิฟส์ โดยใช้วิธีการ mapping กับ table ที่ได้สร้างขึ้นมา ดูจากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบรหัสแท่ง

Symbol	Decimal Number System	Symbol	Decimal Number System
	0		5
	1		6
	2		7
	3		8
	4		9

3) จากรูปสัญลักษณ์ที่แสดงสามารถแบ่งสีได้เป็นสองสีคือสีดำและสีขาว นำข้อมูลที่ได้จากการแปลงเป็นสัญลักษณ์มาแล้วนั้นมาฝังกับรูปภาพที่ได้ทำการจำลองให้เหมือนกับบัตรประชาชนจริง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดจุดที่ห้ามทำการซ่อน คือ ส่วนของชิพและส่วนของรูปภาพ โดยรหัสแท่งที่ผ่านกระบวนการสร้างมาแล้วจะทำการฝังไว้ที่ขอบของรูปภาพไว้สองที่ คือทางด้านบนและทางด้านล่างของบัตรประชาชน เพื่อเพิ่มชุดข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้องในกรณีที่ชุดข้อมูลเกิดการสูญเสียจากการดึงข้อมูล จากนั้นทำการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

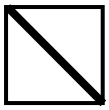
3.2 **กระบวนการถอดรหัสข้อมูล** (Decoding)

1) นำบัตรมาสแกนโดยใช้เครื่องสแกน
2) นำมาผ่านขั้นตอน Preprocessing
3) นำภาพที่ผ่านการ Preprocessing แล้วมาทำการวิเคราะห์หารูปร่างของสัญลักษณ์ต่าง ๆ
4) แปลงสัญลักษณ์ที่ได้ให้เป็น ASCII code โดยใช้วิธีการ mapping กับ table ที่ได้สร้างขึ้นมา ดูได้จากภาคผนวก
5) นำ ASCII code มาแปลงให้อยู่ในข้อความ

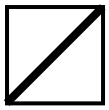
3.2.1 **เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์**

เทคโนโลยีรหัสแท่ง Data Glyphs ถูกพัฒนาขึ้นที่ Palo Alto Research Center (PARC) มีวิธีการแปลงข้อมูลให้เป็นเลขฐานสองโดยกำหนดสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย

ขีดเอียง และใช้ชื่อเรียกว่า Data Glyphs วิธีการบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีนี้จะใช้สัญลักษณ์เส้นตรงเอียงซ้ายแทนเลขฐานสองที่มีค่าเท่ากับ 0 และใช้สัญลักษณ์เส้นตรงเอียงขวาแทนเลขฐานสองที่มีค่าเท่ากับ 1 และทำการบันทึกสัญลักษณ์นี้ลงในสื่อสิ่งพิมพ์



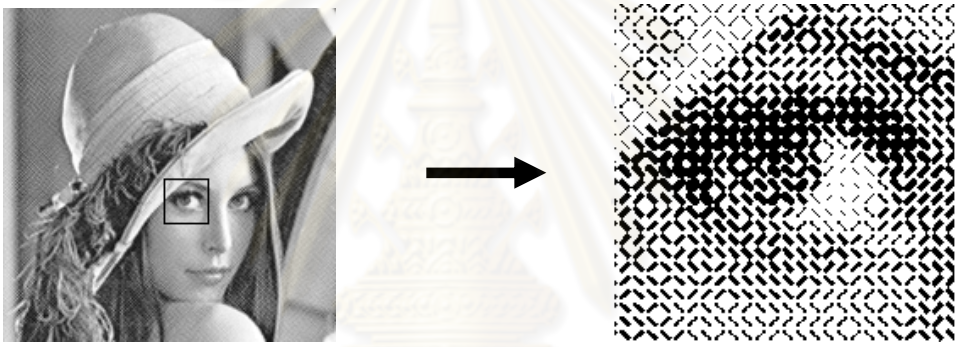
ก). รูปสัญลักษณ์ แทนค่า 0



ข). รูปสัญลักษณ์ แทนค่า 1

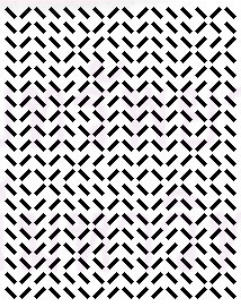
รูปที่ 3.3 รูปสัญลักษณ์ แทนค่าต่าง ๆ

ตัวอย่างของการใช้เทคโนโลยี Data Glyphs



ก). ภาพต้นฉบับ

ข). ภาพส่วนขยาย



ค). ตัวอย่างรูปที่ใช้เทคโนโลยี Data Glyphs

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการใช้เทคโนโลยี Data Glyphs

จากเดิมเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มีความสามารถในการแปลงข้อมูลได้เพียง 2 บิต โดยใช้สัญลักษณ์ในการแทนข้อมูลมี 2 รูปแบบ แต่จากแนวทางการพัฒนาที่ผู้วิจัยได้ทำการเสนอแนะนั้น ให้มีการเพิ่มรูปแบบของการแทนข้อมูลเป็น 10 รูปแบบ ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับคือ

ปริมาณความจุข้อมูลเพิ่มขึ้นถึง 5 เท่าของปริมาณข้อมูลเดิม โดยใช้เทคโนโลยีเดิม สามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณปริมาณความจุของข้อมูลที่คำนวณได้โดย สมการ

$$D = N \times K \tag{3.1}$$

โดยที่

D = แทนความจุข้อมูล

N = แทนจำนวนสัญลักษณ์

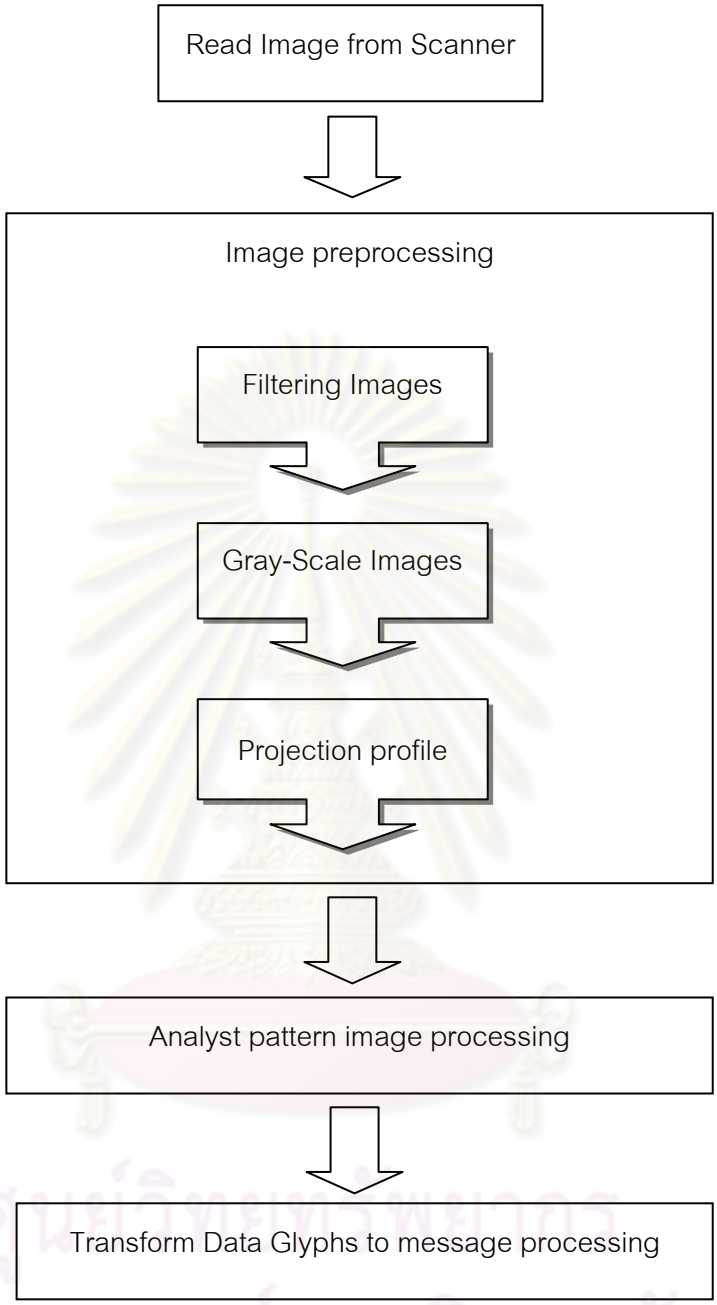
K = แทนจำนวนที่สามารถทดแทนข้อมูลได้

โดยหลักการการทำงานของเทคโนโลยีที่ได้รับการปรับปรุงความจุข้อมูลของเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ที่ได้พัฒนาขึ้น เนื่องด้วยในการพัฒนางานวิจัยดังกล่าว สิ่งแวดล้อมในการทำการทดลองมีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพิมพ์ภาพเอกสารผ่านทางเครื่องพิมพ์ภาพแบบหมึกและการอ่านภาพเอกสารจากเครื่องสแกนที่มีคุณภาพที่ไม่สูงนัก รวมไปถึงคุณภาพกระดาษที่ใช้งานกับการพัฒนามีคุณภาพไม่สูงเช่นกัน ดังนั้น การพิมพ์ภาพเอกสารทางเครื่องพิมพ์แบบหมึกและการอ่านภาพเอกสารผ่านทางเครื่องสแกนนั้น จึงก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในภาพเอกสาร ทางผู้วิจัยจึงมีการเพิ่มชุดข้อมูลที่ทำการพิมพ์ลงบนเอกสารออกเป็นสองชุด ชุดที่หนึ่งจะอยู่ทางด้านบนของตัวเอกสาร และชุดที่สองจะอยู่ด้านล่างของตัวเอกสารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความถูกต้องในการอ่านข้อมูลกลับ จากนั้นการอ่านข้อมูลกลับจะต้องทำการประมวลผลภาพก่อนหน้าก่อนที่จะนำภาพเอกสารชุดดังกล่าวไปทำขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนของการประมวลผลภาพก่อนหน้าก่อนที่จะนำเอาภาพเอกสารไปทำการวิเคราะห์ภาพ แบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้สามขั้นตอน ได้แก่ การกรองภาพเอกสารผ่านตัวกรองภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน การปรับค่าสีเข้าสู่ระบบค่าสีกลางและการแบ่งแยกภาพเอกสารสู่ภาพเอกสารย่อย

สำหรับขั้นตอนการกรองภาพเอกสารนั้น เนื่องจากการอ่านภาพเอกสารจากเครื่องสแกนนั้น ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนภาพเอกสารได้ ดังนั้นหากนำภาพเอกสารที่ได้จากเครื่องสแกนภาพไปทำการวิเคราะห์ภาพเอกสารโดยตรง อาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดสูงได้ จากลักษณะของภาพเอกสารที่ได้ ผู้วิจัยจึงได้นำเอาตัวกรองมัธยฐาน มาใช้งาน เพราะมีความเห็นว่ามีความเหมาะสมกับการทำงานในรูปแบบของภาพเอกสารดังกล่าว โดยที่ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดในลักษณะของจุดที่ไม่มีความสำคัญในภาพเอกสาร หลังจากที่ภาพเอกสารผ่านตัวกรองมัธยฐานแล้ว จะมีลักษณะของสัญญาณรบกวนดังกล่าวลดลงจนไม่มีความสำคัญต่อภาพเอกสาร ทำให้ข้อมูลที่ต้องการนั้น ไม่ได้รับผลกระทบเมื่อผ่านตัวกรองมัธยฐาน

ขั้นตอนหลังจากที่ภาพเอกสารได้ผ่านตัวกรองมัธยฐานคือการนำภาพเอกสารที่ได้ มาทำการปรับค่าสีของภาพเข้าสู่ค่าสีมาตรฐาน เนื่องจากภาพที่ได้จากเครื่องสแกนภาพนั้น มีความหลากหลายของการให้ค่าสีแตกต่างกันไปตามมาตรฐานของแต่ละโรงงาน ซึ่งในการวิเคราะห์ภาพสีดังกล่าวนั้นจำเป็น ต้องมีค่าสีที่สามารถอ้างอิงได้อย่างแน่นอน โดยการทำงานนั้นจะทำการอ้างอิงจากสีเนื้อกระดาษ ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นสีขาวแล้วทำการวัดระยะห่างจากค่าความเป็นจริง หลังจากที่ได้ค่าระยะความแตกต่างของสีพื้นกระดาษที่ได้จากภาพเอกสารเปรียบเทียบกับสีขาวในระบบ ก็จะทำการปรับค่าสีในทุก ๆ จุดบนภาพเอกสารให้มีค่าตรงกับค่าสีมาตรฐาน แล้วหลังการนั้น จึงทำการปรับภาพเอกสารที่ได้เข้าสู่ระบบภาพแบบ ขาวดำ ไล่ระดับเฉดสี หลังจากที่ได้ภาพเอกสารที่อยู่ในรูปแบบ ภาพเอกสารขาวดำแล้ว ภาพเอกสารดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบของระดับเฉดสี 256

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



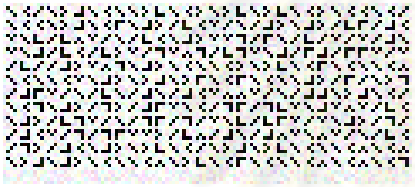
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานของการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายในการทำงานการประมวลผลภาพก่อนหน้า คือการแบ่งแยกย่อยภาพเอกสารโดยการใช้การโปรเจ็คชั่นแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งการแบ่งแยกย่อย ภาพเอกสารนั้น จะนำภาพเอกสารมาทำการแปลง สู่ ภาพ 2 บิต เพื่อให้มีความรวดเร็วในการคำนวณในการแบ่งแยกหลังจากนั้นจึงนำภาพเอกสารย่อยที่ได้นั้น ไปทำการวิเคราะห์รูปแบบและแสดงผลข้อมูลที่ฝังแนบมากับภาพเอกสาร สำหรับขั้นตอนและกระบวนการในรายละเอียด ที่เกี่ยวข้องกับ

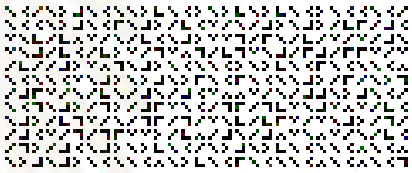
เทคนิควิธีการทางด้านการประมวลผลภาพ (Image processing) ที่เข้ามาช่วยประกอบในการประมวลผลนั้น โดยมีขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูป 3.5 โดยมีหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย การกำจัดสัญญาณรบกวน การวิเคราะห์เอกสารภาพและการตรวจสอบวิเคราะห์แบ่งแยกภาพเอกสารสู่การประมวลผลดิจิตอล ต่อไป

3.2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้ได้แก่ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการสแกนภาพที่ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่มีสภาพสิ่งแวดล้อมรบกวน อย่างเช่น ฝุ่น กระดาษที่ใช้พิมพ์ การพิมพ์ภาพเอกสารจากเครื่องพิมพ์ เป็นต้น สัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เหล่านี้มีผลทำให้การหาความสำคัญของสัญลักษณ์ในภาพเอกสารมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้



(ก) ภาพแสดงลักษณะข้อมูลดาต้ากลิฟส์หลังจากอ่านเอกสารรูปภาพจากเครื่องกราดภาพ โดยมีสัญญาณรบกวน



(ข) ภาพแสดงลักษณะข้อมูลดาต้ากลิฟส์หลังจากผ่านตัวกรองเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ

รูปที่ 3.6 ภาพแสดงการแบ่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนและภาพหลังจากขจัดสัญญาณรบกวน

ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น จากการวิเคราะห์ภาพเอกสารจำเป็นต้องให้ความสำคัญในแต่ละจุดบนภาพเอกสาร ดังนั้นหากสัญญาณรบกวนก่อให้เกิดจุดที่มีความสำคัญทั้ง ๆ ที่ในความเป็นจริงจุดบนภาพจุดนั้นไม่ได้มีความสำคัญหากแต่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน สาเหตุดังกล่าวจะทำให้การวิเคราะห์ภาพเอกสารมีความผิดพลาดที่ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวน เพื่อช่วยให้การหาสัญลักษณ์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยเลือกใช้ตัวกรองมัธยฐาน(Median filter) มาช่วยในการกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ เพราะการทำงานของตัวกรองมัธยฐานทำงานโดยอาศัยจุดรอบ ๆ ของจุดที่กำลังทำการกรองโดยการทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าสีของจุดที่อยู่ล้อมรอบจุดที่ให้ความสำคัญ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยมาแล้ว ก็จะทำการแทนค่าสีดังกล่าวนั้นลงไปแทนจุดที่กำลังทำการผ่านตัวกรองมัธยฐาน ก่อให้เกิดเป็นจุดใหม่บนภาพเอกสาร ทำเช่นนี้ไปจนครบทั้งภาพเอกสาร สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ก็จะลดลง จนภาพเอกสารมีคุณภาพดีและพร้อมที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ภาพ ภาพที่ผ่านตัวกรองนี้จะมีความเรียบกลมกลืนกัน ข้อดีของตัวกรองนี้คือถ้า

แม้ว่าจะทำการนำเอาภาพเอกสารมาผ่านตัวกรองนี้แล้วแต่ความคมชัดของส่วนสำคัญของภาพยังมีความคมชัดอยู่เช่นเดิม และทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ดีขึ้น

จากรูป 3.6 เป็นตัวอย่างภาพสัญลักษณ์ก่อนและหลังการผ่านตัวกรองมัธยฐาน ลักษณะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการอ่านภาพและจากการพิมพ์ภาพด้วยเครื่องพิมพ์แบบหมึกนั้น ถูกทำให้กลมกลืนกับภาพเอกสารจนกลายเป็นส่วนที่ไม่ต้องให้ความสนใจในการนำภาพมาประมวลผล แต่สัญลักษณ์สำคัญต่าง ๆ ยังคงมีความคมชัดและครบถ้วนชัดเจน ทำให้การนำภาพเอกสารดังกล่าวไปใช้ในการประมวลผลภาพ ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และช่วยในการลดข้อผิดพลาดในการประมวลผลภาพอีกด้วย

3.2.3 การปรับภาพเอกสารให้เป็นภาพระดับเทา Gray-Scale

เป็นกระบวนการที่ทำให้ความเข้มของแม่สีในภาพมีระดับเดียวกัน (Intensity Transformation) ซึ่งใน Pixels หนึ่งนั้นจะประกอบไปด้วยสี R, G, B จะสังเกตได้ว่ามีถึง 3 ค่าใน 1 Pixels ซึ่งจะทำให้การประมวลผลเกิดความยุ่งยาก ดังนั้นควรทำให้ภาพมีความเข้มสีในระดับเดียวกันทั้งหมดก่อน ด้วยการทำให้เป็น Gray Level (การทำให้แม่สี R, G, B ทั้ง 3 มีค่าเท่ากัน) ส่วน Algorithm ที่ใช้ในการทำ Gray Scale นิยมใช้มีอยู่ 2 รูปแบบ วิธีที่ 1 จะเป็นการเฉลี่ยค่าของแม่สีทั้งสาม ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่อาจจะมีความผิดเพี้ยนของแม่สีได้ จึงมีแบบที่ 2 ซึ่งจะคิดตามความสว่างของแต่ละแม่สี โดยมีรูปแบบดังสมการดังนี้

1) วิธีการเฉลี่ยค่าของแม่สี

$$\mathrm{R_R} = \left(\frac{R_S+G_S+B_S}{3}\right),\ G_R = \left(\frac{R_S+G_S+B_S}{3}\right),\ B_R = \left(\frac{R_S+G_S+B_S}{3}\right)$$

2) วิธีคิดตามความสว่างของแต่ละแม่สี

$$R_R = \left((0.299\ X\ R_S) + (0.587\ X\ G_S)(0.114\ X\ B_S)\right)$$

$$G_R = \left((0.299\ X\ R_S) + (0.587\ X\ G_S)(0.114\ X\ B_S)\right)$$

$$B_R = \left((0.299\ X\ R_S) + (0.587\ X\ G_S)(0.114\ X\ B_S)\right)$$

โดยที่ R_R หมายถึง ค่า output pixels สีแดง

G_R หมายถึง ค่า output pixels สีเขียว

B_R หมายถึง ค่า output pixels สีน้ำเงิน

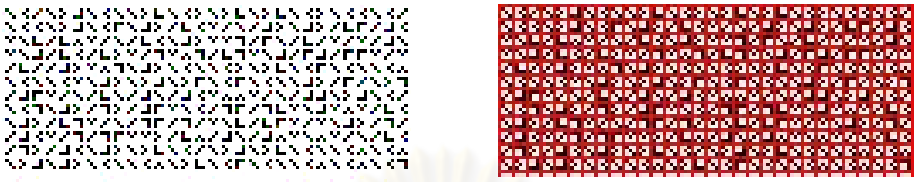
R_S หมายถึง ค่า input pixels สีแดง

G_S หมายถึง ค่า input pixels สีเขียว

B_S หมายถึง ค่า input pixels สีน้ำเงิน

3.2.4 การวิเคราะห์ภาพเอกสาร

การวิเคราะห์ภาพเอกสารเริ่มจากการอ่านภาพที่อ่านเข้ามา และทำการปรับค่าภาพเอกสารต้นฉบับให้เป็นภาพเอกสารที่มีมาตรฐานที่เท่ากัน



(ก) ภาพแสดงภาพเอกสารก่อนทำการแบ่งภาพออกเป็นภาพเอกสารย่อย

(ข) ภาพแสดงการแบ่งภาพตามแนวทฤษฎีโปรเจคชั่นแนวนอน (Horizontal projection) และ การโปรเจคชั่นแนวนิ่ง (Vertical projection)

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการแบ่งภาพตามแนวทฤษฎี โปรเจคชั่น

ตามขั้นตอนและวิธีการ ข้างต้น จากนั้นจึงนำภาพเอกสารดังกล่าวนำมาทำการแยกบรรทัดโดยใช้เทคนิควิธี โปรเจคชั่นแนวนอน (Horizontal projection) และ การโปรเจคชั่นแนวนิ่ง (Vertical projection) ดังที่แสดงในรูป 3.7

การทำโปรเจคชั่นแนวนอนนั้น เพื่อทำการตัดภาพเอกสารต้นฉบับออกตามแนวนอน โดยการหาค่าโปรเจคชั่นแนวนอนจะทำการหาค่าโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปสู่ค่าใด ๆ ก็ตามที่โดยที่สันนิษฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นบรรทัดและมีการคำนวณหาค่าวัดระยะห่างระยะเส้นบรรทัดว่ามีค่าเพียงพอ และถ้าค่าโปรเจคชั่นแนวนอนลดลงจนเท่ากับ 0 อีกครั้งหรือใกล้เคียง 0 ในขอบเขตที่กำหนด ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนทั่วภาพเอกสารก็จะได้บรรทัดตามที่ต้องการ

หลังจากที่ได้บรรทัดตัวสัญลักษณ์แล้ว ทำการโปรเจคชั่นแนวนิ่ง เพื่อตัดสัญลักษณ์ออกเป็นตัว ๆ โดยทำเช่นเดียวกับ การทำโปรเจคชั่นแนวนอน แตกต่างกันแค่เพียงทำตามแนวดิ่งของภาพเอกสาร ก็จะสามารถตัดภาพเป็นคอลัมน์ตัวสัญลักษณ์ได้ ทำให้เราสามารถแบ่งแยกภาพเอกสารออกเป็นส่วน ๆ ได้ ดังแสดงในรูป 3.7 หลังจากนั้นจึงทำการนำส่วนย่อยของภาพเอกสารไปทำการแบ่งแยกจัดจำพวกอีกที

การกระทำดังกล่าวจะเป็นการกำหนดจุดสำคัญบนระนาบที่กำลังทำการตรวจสอบอยู่ และเมื่อทำครบทุกระนาบที่มีอยู่บนรูปเอกสารแล้ว จะนำระนาบทั้งหมดมาทำการหาค่าระยะห่างระหว่างระนาบว่ามีค่าระยะห่างระหว่างระนาบเกินขอบเขตที่กำหนดหรือไม่ หากว่าระยะดังกล่าวแคบกว่าระยะห่างที่กำหนด แสดงว่า ระนาบที่ว่างอยู่ระหว่างสองระนาบนั้น ไม่มีนัยสำคัญเพียงพอที่จะใส่ข้อมูลลงไปถึงแม้ว่าจุดที่พบบนระนาบดังกล่าวจะมีนัยสำคัญมากพอก็

ตาม จากข้อมูลข้างต้นเราจึงทำการกำหนดนัยสำคัญของระนาบที่ตรวจพบดังกล่าวออกไปจะระนาบที่มีนัยสำคัญ ทำเช่น ๆ นี้ไปจนครบทุก ๆ ช่องว่างระหว่างระนาบ ก็จะทำให้ได้จุดตัดที่เกิดจากระนาบแนวดิ่งและระนาบแนวนอน ซึ่งก็คือตำแหน่งของสัญลักษณ์ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์

3.2.5 **การตรวจสอบวิเคราะห์และแบ่งแยกภาพเอกสาร**

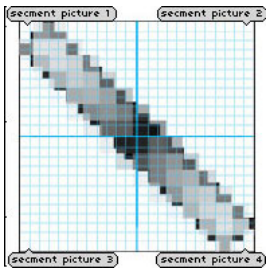
การตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญลักษณ์ภายในภาพเอกสารย่อยนั้นสามารถทำได้โดยการนำภาพเอกสารย่อยที่ได้หลังจากการตัดแบ่งตามการโปรเจคชั่นแนวนอนและการโปรเจคชั่นแนวนิ่งมาทำการเปรียบเทียบกับชุดบล็อกที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา โดยที่การวิเคราะห์รูปแบบนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของลักษณะเวคเตอร์ (Vector) ซึ่งตามหลักการแล้วนั้น จะใช้การแบ่งแยกลักษณะ โดยใช้ การถ่วงน้ำหนักระยะห่างแบบยูคลีดเดียน (Euclidean distance) ในการแบ่งแยกและบ่งชี้ถึงรูปแบบของสัญลักษณ์นั้น ๆ

รูปแบบของสัญลักษณ์ที่ไม่รู้ค่าในการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มของสัญลักษณ์ทั้งหมด โดยที่สัญลักษณ์ที่ยังไม่รู้ค่าจะถูกกำหนดให้เป็น รูปแบบ K และรูปแบบ K จะถูกกำหนดค่าเมื่อระยะห่างแบบยูคลีดเดียนระหว่าง รูปแบบ K และชุดรูปแบบ ที่มีค่าน้อยที่สุด ที่ K

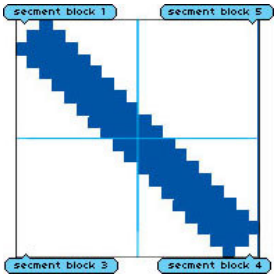
$$WED(k) - \sum_{i-1}^{N} \frac{\left(f_i f_i^{(k)}\right)^2}{\left(\varsigma_i^{(k)}\right)^2}$$

ที่ซึ่ง f_i แสดงถึง รูปแบบสัญลักษณ์ที่ไม่รู้ค่ารูปแบบที่ตำแหน่ง i^{th}, $f_i^{(k)}$ และ $\varsigma_i^{(k)}$ จะแสดงถึง ลักษณะและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของรูปแบบสัญลักษณ์ K ที่ตำแหน่ง i^{th} และ N แสดงถึงผลรวมจำนวนลักษณะรูปแบบทั้งหมด

เมื่อทำการตรวจสอบครบถ้วนบล็อกย่อยแล้ว ค่าความถูกต้องจะถูกส่งกลับมา โดยที่ค่าความถูกต้องของการเปรียบเทียบเอกสารย่อยกับกลุ่มบล็อกที่สร้างขึ้นจะมีค่าที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเลือกค่าความถูกต้องที่มีค่ามากที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนแสดงถึงรูปแบบที่ถูกต้องที่เป็นตัวแทนภาพย่อยเอกสารนั้น ๆ ได้

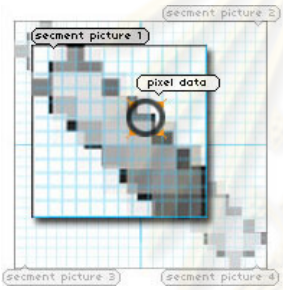


(ก) ภาพแสดงส่วนที่แบ่งย่อยได้ จากภาพชุดเอกสาร

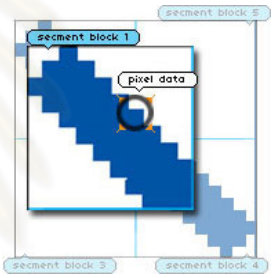


(ข) ภาพแสดงแบบภาพย่อยที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาส่วนคล้าย

รูปที่ 3.8 ภาพเอกสารย่อยเมื่อทำการแบ่งส่วนของภาพแล้วกับภาพบล็อกที่จะนำมาเปรียบเทียบ



(ก) ภาพแสดงส่วนที่แบ่งย่อยได้ จากภาพชุดเอกสาร ในจุดที่ต้องการเปรียบเทียบ



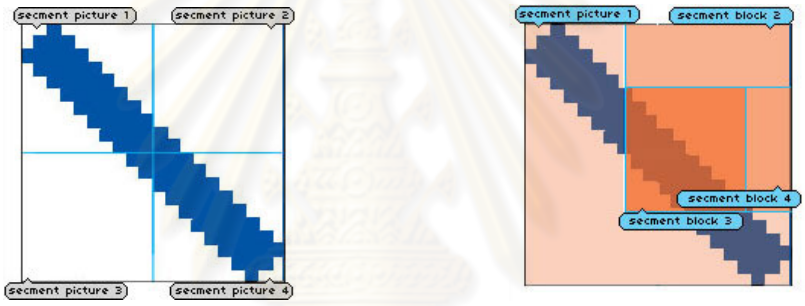
(ข) ภาพแสดงแบบภาพย่อยที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาส่วนคล้าย ในจุดที่ต้องการเปรียบเทียบ

รูปที่ 3.9 ภาพของการทำการแบ่งส่วนของภาพเปรียบเทียบกับบล็อกย่อย

ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกภาพเอกสารย่อยที่มีในระบบ ก็จะได้ค่าตัวแทนภาพย่อยเอกสารทั้งหมดที่มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับบล็อกรูปแบบแต่ละรูปแบบโดยครบถ้วนการตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญลักษณ์ภายในภาพเอกสารย่อยนั้นสามารถทำได้โดยการนำภาพเอกสารย่อยที่ได้หลังจากการตัดแบ่งตามการโปรเจคชั่นแนวนอนและการโปรเจคชั่นแนวนิ่งมาทำการเปรียบเทียบกับบล็อกที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา

เพื่อทำการเปรียบเทียบหาความคล้ายคลึงกันระหว่าง รูปภาพต้นแบบและกลุ่มบล็อกที่ทำการสร้างขึ้น โดยเริ่มแรกนำเอาภาพเอกสารย่อยที่ได้มาทำการตัดแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ตามรูปแบบบล็อกที่กำหนดเอาไว้แล้วทำการเปรียบเทียบ ตามบล็อกส่วนย่อยที่ได้แต่ละบล็อกเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและรูปแบบตามที่บล็อก ๆ นั้นกำหนดขึ้นมา โดยการตรวจสอบความสำคัญของแต่ละจุดย่อยบนภาพย่อยเอกสารนั้น จะทำการตรวจจุดที่มีนัยสำคัญแล้ว

แบ่งแยกว่าเป็น จุดที่เป็นส่วนของสัญลักษณ์หรือว่าเป็นส่วนของพื้นหลังของภาพเอกสารย่อย แล้วทำการเก็บค่าความถูกต้องพร้อม ๆ กับค่าความคลาดเคลื่อนเอาไว้ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าระยะห่างยูคลีเดี่ยนต่อไป สำหรับการพัฒนารูปแบบในการสร้างบล็อก 1 บล็อกนั้นสามารถที่จะแบ่งส่วนของ บล็อกย่อยได้ตามความเหมาะสมของลักษณะรูปแบบ เพื่อให้การตัดสินใจดีขึ้น เพราะฉะนั้นการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการตัดบล็อกออกเป็นบล็อกย่อย ๆ ก็มีความสำคัญในการตัดแบ่งเช่นกัน ดังภาพที่แสดงในรูปที่ 3.10 นั้นจะเห็นได้ว่า การแบ่งส่วนย่อยของภาพในรูป (ก) นั้นมีความซับซ้อนในการแบ่งที่น้อยกว่าในรูป (ข) และในงานวิจัยการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบบล๊อกตามรูป (ก) ในการทดลองซึ่งพบว่า มีประสิทธิภาพและให้ความถูกต้องได้ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ อีกทั้งยังมีความเร็วในการคำนวณ หาค่าความถูกต้องอีกด้วย ดังนั้นรูปแบบบล็อกตามรูป (ก) จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับทำการหาค่าระยะห่างแบบยูคลีดเดี่ยนในงานวิจัยนี้



(ก) ภาพแสดงส่วนที่แบ่งย่อยแบบสี่ส่วนเท่าๆกัน เพื่อสร้างบล็อกในการเปรียบเทียบ

(ข) ภาพแสดงส่วนที่แบ่งย่อยแบบสี่บล็อก โดยไม่เท่ากัน และอ้างอิงจุดที่มีความเด่นชัด

รูปที่ 3.10 ภาพการแบ่งบล็อกย่อยในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อความเหมาะสมในการทำงานด้านการวิเคราะห์โดยรูปแบบการแบ่งบล็อกย่อยขึ้นกับรูปแบบของบล็อก

ด้านการทำงานเกี่ยวข้องกับบล็อกย่อยนั้น การทำงานจะทำการตรวจสอบในบล๊อกย่อยของแต่ละรูปแบบจนครบทุก ๆ บล็อกย่อย เมื่อทำการตรวจสอบครบถ้วนบล็อกย่อยแล้ว จะมีการกำหนดค่าความถูกต้องส่งกลับมาซึ่งค่าความถูกต้องของการเปรียบเทียบเอกสารย่อยที่ตัดแบ่งแล้วกับกลุ่มบล็อกที่สร้างขึ้นทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกกลุ่มบล็อกที่มีในระบบค่าความถูกต้องที่มากที่สุด จะถูกกำหนดให้เอกสารย่อยนั้น มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับบล็อกรูปแบบนั้น

3.2.6 การแปลงข้อมูลตัวอักษรสู่รหัสภาพเอกสารแบบดาต้ากลิฟส์

ในการทำการแปลงจากรหัสตัวอักษรไปสู่รหัสภาพเอกสารแบบ ดาต้ากลิฟส์ ที่ใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์รูปแบบมาช่วยเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูล หรือความหนาแน่นของข้อมูล ขั้นตอนในการพัฒนาเริ่มต้น จากแนวทางการทดแทนข้อมูลของเทคโนโลยี

แบบเดิม คือการนำเอาสัญลักษณ์ที่อยู่ในรูปแบบเส้นทแยงมุมเอียงทำมุม 45 องศาทางด้านซ้ายและด้านขวามาใช้ในการทดแทนข้อมูล 0 และ 1 และเนื่องด้วยเทคโนโลยีใหม่นั้นจำเป็นต้องมีความสามารถในด้านการทดแทนข้อมูลให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ระบบตัวเลขที่ใช้ 0 และ 1 นั้นจึงไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของข้อมูล จึงได้มีการพัฒนาและออกแบบสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการทดแทนค่าข้อมูลให้ในการทำงานด้วย

กระบวนการแรกในการคำนวณค่าคือเริ่มต้นจากการนำเอาค่ารหัสตัวอักษรที่ต้องมาแปลงเป็นดาต้ากลิฟส์ มาทำการแปลงเข้าสู่เลขฐาน 10 เมื่อแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของระบบเลขฐานเรียบร้อย จากนั้นจะนำเอาชุดข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการเปรียบเทียบกับตารางเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ได้ทำการฝัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาและออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานกระบวนการสร้างระบบตามที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 3 แล้วนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการซ่อนข้อมูลลงในเอกสารสิ่งพิมพ์และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ คือ สภาวะแวดล้อมในการทดลอง, การวัดประสิทธิภาพจากการทดลองข้อมูลเอกสารภาพ, ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

1) ตัวประมวลผลกลาง Intel Core 2 Duo 2.0 GHz
2) หน่วยความจำ 3 GB
3) ระบบปฏิบัติการวินโดว์ Vista
4) รูปภาพเอกสาร ชนิดภาพ Bitmap ความละเอียด 600 จุดต่อตารางนิ้ว
5) เครื่องพิมพ์ Laser พิมพ์ภาพที่ความละเอียดสูงสุด 1024x1024 จุด
6) เครื่องสแกนภาพ EPSON TX101 สแกนภาพที่ความละเอียด 300 จุดต่อตารางนิ้ว
7) กระดาษขนาด A4 ความหนาแน่นเนื้อกระดาษ 120 แกรม

4.2 การวัดประสิทธิภาพจากการทดลองข้อมูลภาพเอกสาร

สำหรับการทดสอบผลการทดลองเริ่มต้นจากการสร้างภาพ โดยที่ภาพเอกสารนั้นได้จากการพัฒนาโปรแกรมสร้างดาต้ากลิฟส์ ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นรูปแบบ BMP นำมาพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์ Laser Canon LBP-800 ที่ความละเอียด 600 จุดต่อตารางนิ้ว ยี่ห้อกระดาษ Double A 120 แกรม เมื่อทำการพิมพ์ภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการนำภาพที่ได้พิมพ์นั้นไปทำการสแกนภาพด้วยความละเอียดที่ 300 จุดต่อตารางนิ้ว ภาพที่อ่านได้นั้นจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ Bitmap จากนั้น จากนั้นนำภาพที่ได้จากการสแกนมาทำการวิเคราะห์และบันทึกผลการทดลองเป็นจำนวน 30 รูปภาพตัวอย่าง

ในการวัดประสิทธิภาพจากการทดลองข้อมูลภาพเอกสารนั้น จากระบบการประมวลผลด้วยภาพในรูปแบบของดาต้ากลิฟส์แบบเดิมนั้น ใช้เพียงแค่สัญลักษณ์เพียง 2 ค่าเท่านั้น ทำให้ความจุข้อมูลมีค่าไม่สูงมากนัก งานวิจัยนี้ได้นำเอาความสามารถของการเพิ่มประสิทธิภาพความจุข้อมูลจากเดิม 2 สัญลักษณ์ เพิ่มเป็น 10 สัญลักษณ์ และได้ทำการทดลองในขนาดต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดไว้ 4 ขนาด คือ 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7 และ 10 x 10

4.3 ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาการซ่อนข้อมูลและความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์โดยใช้เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์เข้ามาเพิ่มความสามารถในงานวิจัย โดยทำการเพิ่มสัญลักษณ์เพื่อเพิ่มความจุของข้อมูลลงบนบัตร ซึ่งจากเดิมเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ที่ทางบริษัทซีร็อกซ์พัฒนามีความสามารถในการบันทึกข้อมูลในรูปแบบที่จำกัดมีเพียงสัญลักษณ์ 2 รูปแบบ

ตารางที่ 4.3 – 4.6 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพด้วยขนาดขนาดต่าง ๆ คือ 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7 และ 10 x 10 ตามลำดับ ด้วยข้อมูลที่ได้จำลองจากข้อมูลบนบัตรประชาชนตัวอย่างข้อมูลที่แสดงนี้คือ

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อความก่อนแปลงเป็น ASCII Code

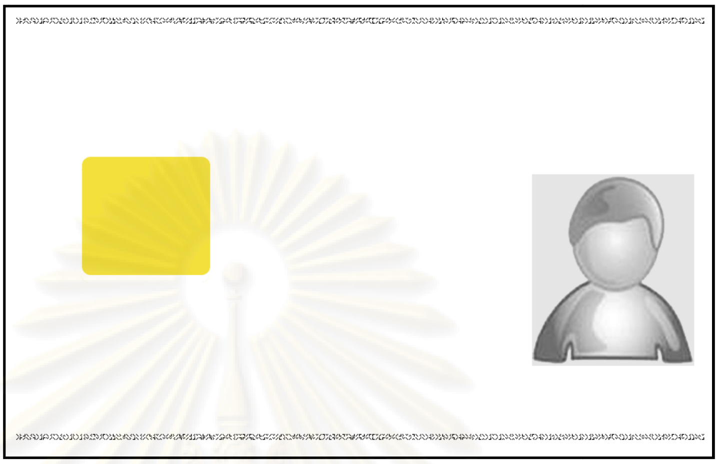
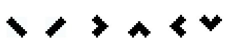
1271284732431^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^25042524^25042551^25042557^65/1 ซ.นวมินทร์ แขวงบึงกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพ^นายวินัย ไกรยล

จากข้อมูลตารางที่ 4.1 มีความยาวข้อมูล 132 Character เมื่อเข้ารหัสเป็น ASCII code แล้วจะได้ความยาวข้อมูลเป็น 396 Character ดังตารางที่ 4.2

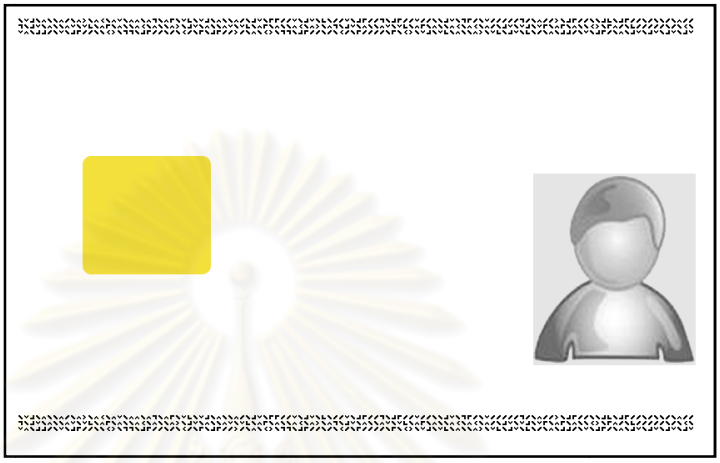
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างข้อความที่ถูกแปลงเป็น ASCII Code

049050055049050056052055051050052051049094185210194094187195208183210185094226170181212190209185184216236186209179177212181194236094050053048052050053005304805205005305304909405005304805205005305305509405405304704903217104618519919321218518319523603222516219916718621416716121623219303222416218118621416716121623219303216119521616722418319009418521019419921218520919403222816119519419 7

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพขนาด 3 x 3

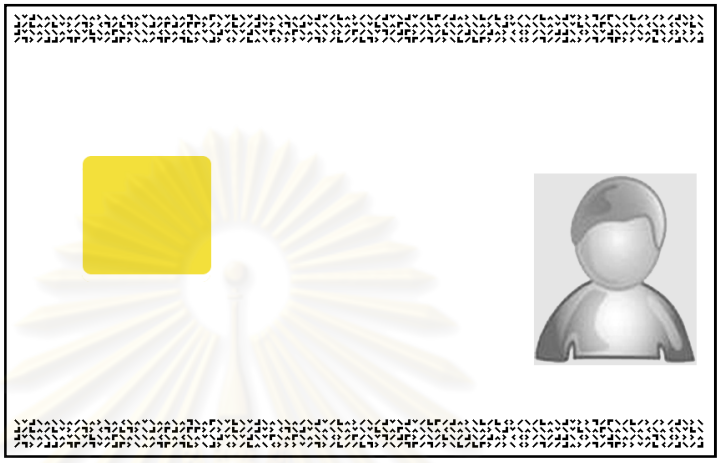
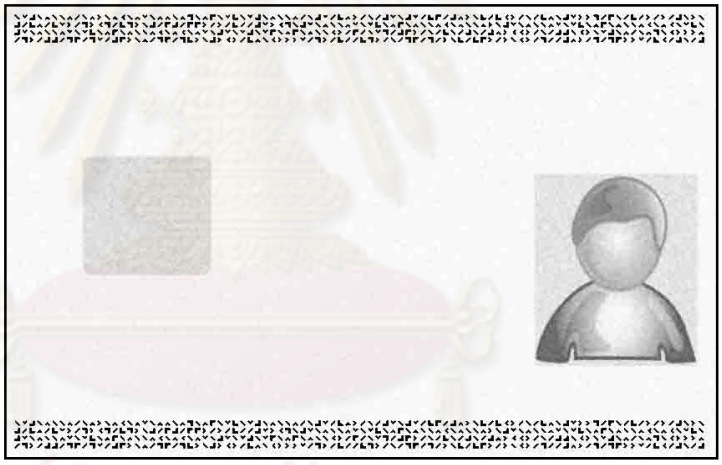
ข้อความต้นฉบับ	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^ นายวิชัย ศรีขวัญ
รูปภาพที่พิมพ์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์	
รูปภาพที่ได้จากการสแกน	
ข้อความที่ถอดได้	xxxxxx7xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx2x0x2xxxx2xxxxxxxxx2xxx xxxxx1xxxxxxxxxxxxxx1xxxxxxxxxxxxxxxxxปxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx
สัญลักษณ์ที่ผิดพลาด	

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพขนาด 5 x 5

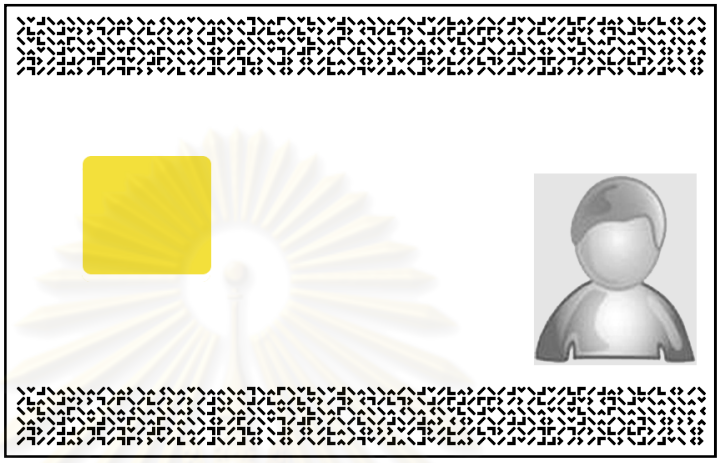
ข้อความต้นฉบับ	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^นายวิชัย ศรีขวัญ
รูปภาพที่พิมพ์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์	
รูปภาพที่ได้จากการสแกน	
ข้อความที่ถอดได้	1234x6x8x01xx^นxx^xxะทxx^โxxxxxนxxxxxxฑิxxx^2xx9x52xx2xx92x5xx 2x0x255xx1xx2xxxลาxพxxาxxx3xxแxxงxxxงxxxนxเxตxxxxxxกxxxxxxxxาน xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
สัญลักษณ์ที่ผิดพลาด	> ^ < v

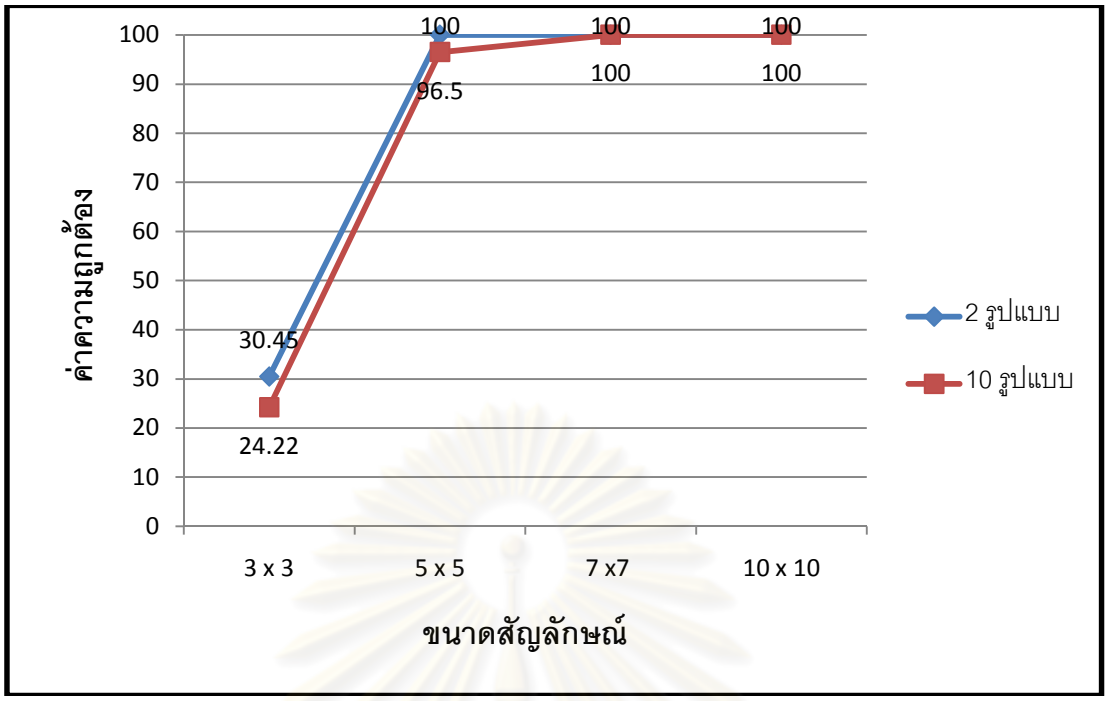
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพขนาด 7 x 7

ข้อความต้นฉบับ	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^ นายวิชัย ศรีขวัญ
รูปภาพที่พิมพ์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์	
รูปภาพที่ได้จากการสแกน	
ข้อความที่ถอดได้	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^ นายวิชัย ศรีขวัญ
สัญลักษณ์ที่ผิดพลาด	ไม่มี

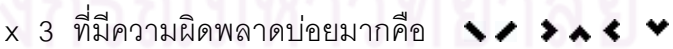
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการเข้ารหัสและถอดรหัสรูปภาพขนาด 10 x 10

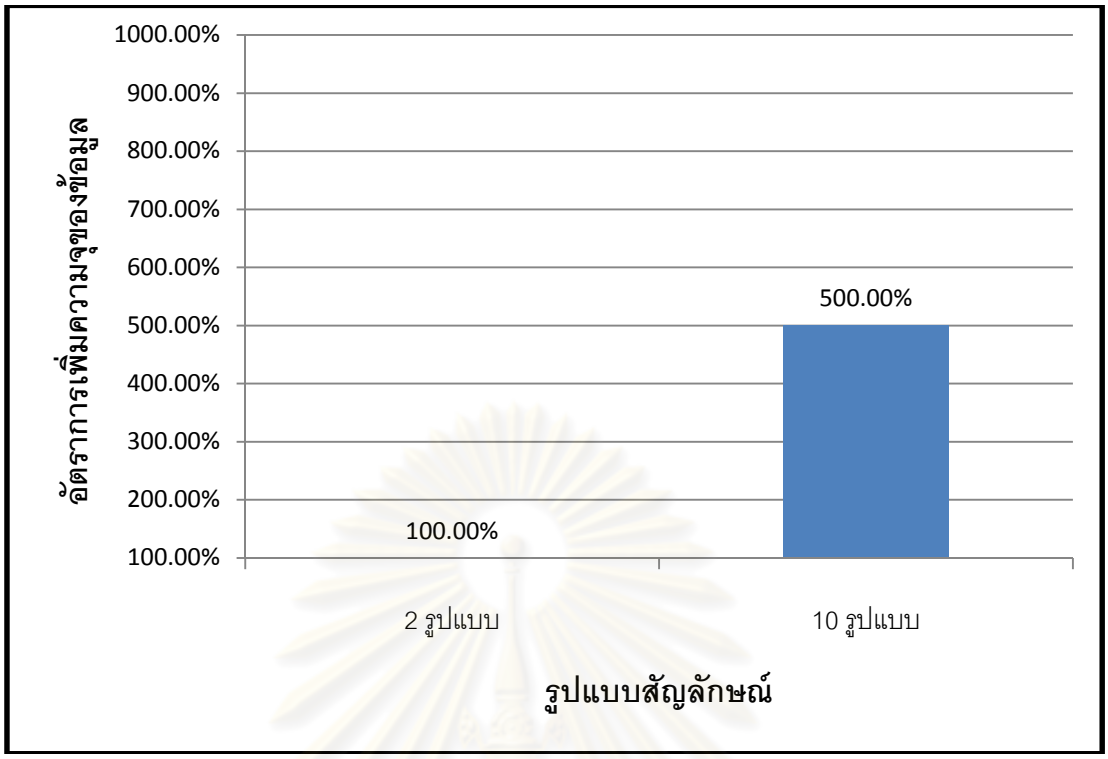
ข้อความต้นฉบับ	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^ นายวิชัย ศรีขวัญ
รูปภาพที่พิมพ์ลงบนสื่อสิ่งพิมพ์	
รูปภาพที่ได้จากการสแกน	
ข้อความที่ถอดได้	1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^ 26092550^ 26092556^1/92 ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^ นายวิชัย ศรีขวัญ
สัญลักษณ์ที่ผิดพลาด	ไม่มี



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความถูกต้องของการถอดรหัสจากการสแกน

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องที่ได้จากการถอดรหัสสแกน โดยในการทดลองได้ใช้ขนาดจำนวน 4 ขนาดในการทดสอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์เดิมที่ใช้สัญลักษณ์ 2 รูปแบบ มีขนาดความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ คือขนาด 5 x5, 7 x 7 และ 10 x 10 แต่ในงานวิจัยนี้มีขนาด 7 x 7 และ 10 x 10 ที่มีค่าความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.1 สามารถวิเคราะห์สาเหตุของสัญลักษณ์ที่พบว่า ขนาดของสัญลักษณ์ 3 x 3 และ 5 x 5 จะมีผลที่ถอดรหัสจากสัญลักษณ์ต่าง ๆ ได้ไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยในขนาดของสัญลักษณ์ที่ 3 x 3 จะมีความเข้มแสงของจุดภาพที่ค่อนข้างน้อย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมื่อเจอสัญญาณรบกวนมากจะทำให้สัญลักษณ์นั้น สูญเสียหรือเกิดการเพี้ยนความเข้มแสงของจุดภาพ ทำให้ไม่สามารถที่จะทำการถอดรหัสจากสัญลักษณ์นี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสัญลักษณ์ของขนาด 3 x 3 ที่มีความผิดพลาดบ่อยมากคือ  และขนาดสัญลักษณ์ขนาด 5 x 5 มีสัญลักษณ์ที่ผิดพลาดบ่อยมากคือ



รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการเพิ่มความจุของข้อมูลแบบเดิม

จากรูปที่ 4.2 แสดงอัตราการเพิ่มความจุของข้อมูลแบบเดิม และแบบใหม่ที่ทางงานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมา ซึ่งมีอัตราการเพิ่มความจุของข้อมูลมากกว่าเดิมถึง 5 เท่าตัว

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการซ่อนข้อมูลและความมั่นคงสำหรับเอกสารสิ่งพิมพ์ โดยใช้เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ในการเพิ่มความสามารถในการรู้จำภาพ จากเดิมที่มีความสามารถในการบันทึกที่จำกัดเพียง 2 รูปแบบ มาเพิ่มเป็น 10 รูปแบบ ทำให้มีประสิทธิภาพในการบันทึกที่เพิ่มสูงถึง 5 เท่าเมื่อเทียบกับของเทคโนโลยีเดิม ซึ่งเพียงพอกับข้อมูลที่ทำการซ่อนและจากการตรวจสอบความถูกต้อง แต่เทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์เดิมที่มีเพียง 2 สัญลักษณ์ในขนาด 5 x 5 จะมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะเนื่องจากการเทียบสัญลักษณ์ มีอยู่ 2 รูปแบบ ทำให้โอกาสการเปรียบเทียบมีเปอร์เซ็นต์ที่ถูกต้องกว่า 10 รูปแบบ แต่การใช้สัญลักษณ์ในการแทนข้อมูลนั้นทำให้ต้องเพิ่มขนาดความยาวของสัญลักษณ์มากขึ้นด้วยเช่นกัน เพราะใช้เป็นเลขฐาน 2 และยังพบว่าถ้าสัญลักษณ์ยิ่งมีขนาดที่เล็กลง จะมีข้อผิดพลาดที่สูง แต่ในทางกลับกันสัญลักษณ์ที่มีขนาดใหญ่จะมีความถูกต้องสูง

ในด้านการวิเคราะห์ของสาเหตุการนำสัญลักษณ์มาใช้ในงานวิจัย ทางผู้วิจัยได้คำนึงถึงสัญลักษณ์ที่มีค่าความเข้มแสงของแต่ละจุดภาพที่มีปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้การสแกนกลับมีความถูกต้องและลดข้อผิดพลาดจากการสแกน เช่น สัญลักษณ์

ส่วนสัญลักษณ์ที่ทางผู้วิจัยไม่นำมาใช้ในงานวิจัย เพราะเนื่องจากมีค่าความเข้มแสงของแต่ละจุดภาพน้อยและมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับสัญลักษณ์ข้างต้น ซึ่งส่งผลให้เกิดความกล้ำกึ่งกับสัญลักษณ์อื่นได้ในการถอดรหัสได้ จึงไม่ได้นำเสนอมาใช้ในงานวิจัย เช่นสัญลักษณ์

วิธีการปรับปรุงคุณภาพเอกสารสิ่งพิมพ์ที่นำเสนอ ทำให้การฝังข้อมูลแบบเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มีความสามารถด้านการเพิ่มปริมาณข้อมูลและมีความถูกต้องเพียงพอที่นำไปใช้งานวิจัยที่ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยให้ทำพัฒนาเอกสารสิ่งพิมพ์ที่อยู่ในรูปแบบกระดาษให้มีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยที่งานวิจัยชิ้นนี้สามารถเพิ่มความสามารถของการบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์แบบใหม่ในกระดาษได้ถึง 5 เท่าของความจุเดิม

จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณข้อมูลในภาพเอกสารนั้นจะสวนทางกับอัตราความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพเอกสาร สาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรผันดังกล่าว มีสาเหตุมาจากความสามารถในการพิมพ์และความสามารถในการรับค่าข้อมูลกลับในรูปแบบภาพที่มีปัญหา หลายประการ ทำให้การนำภาพมาทำการวิเคราะห์ทำได้ยากและมีความผิดพลาดสูง

จากการทดลองยังพบอีกว่า การทำงานกับภาพเอกสารจะช้าลง เมื่อภาพเอกสารถูกอ่านเข้ามาในความละเอียดที่สูง แต่ถึงแม้ว่าการทำงานและการวิเคราะห์ภาพจะช้าลง แต่อัตราความถูกต้องกลับสูงขึ้นและจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สัญลักษณ์ มีความผิดพลาดสูงเมื่อมีขนาดสัญลักษณ์ที่น้อยลง โดยในการทดลองงานวิจัยนี้ในขนาดสัญลักษณ์ที่ 3 x 3 และ 5 x 5 จะมีความผิดพลาดสูงมาก

งานวิจัยนี้ได้นำไปเปรียบเทียบกับงานของคุณสุวรฐ โดยในงานวิจัยของคุณสุวรฐได้ใช้การจำแนกเฉดสีในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้งานคุณสุวรฐมี การใช้ขนาดของสัญลักษณ์คงที่คือ 11 x 11 ประสิทธิภาพความจุของข้อมูลมีมากกว่าคือ 8 เท่าของเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์เดิม แต่ความถูกต้องกลับน้อยลง เพราะความเพี้ยนของสีที่ได้จากการสแกนมีสูง ทำให้ความถูกต้องน้อยลง ซึ่งในงานวิจัยที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความถูกต้องได้มากกว่า และมีขนาดที่เล็กกว่าขนาดของงานวิจัยที่ทางผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น คือ 7 x 7 และ 10 x 10 ซึ่งมีค่าความถูกต้อง น่าเชื่อถือที่ 100 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของงานวิจัย การนำเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์มาประยุกต์ใช้งานกับบัตรประชาชน โดยที่จะกล่าวถึงปัญหาของการทำงานวิจัยและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้ทำการพัฒนางานวิจัยเดิมของบริษัทซีร็อกซ์ที่ทำการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์ ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และได้นำส่วนงานวิจัยของคุณสุวรรฐในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพความจุของข้อมูลมาใช้ในงานวิจัย

การพัฒนางานวิจัยเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์นี้ ทำเพื่อเพิ่มความสามารถของการเก็บบันทึกข้อมูลในรูปแบบสื่อแบบผสมโดยได้นำเอาหลักการของการประมวลผลภาพเข้ามาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน เพื่อให้การทำงานของระบบมีความสามารถในการวิเคราะห์รู้จำสัญลักษณ์ภาพ จากเทคโนโลยีดาต้ากลิฟส์เดิมที่มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลด้วยการใช้สัญลักษณ์เพียง 2 สัญลักษณ์ ให้มีความสามารถรู้จำรูปแบบได้มากขึ้น โดยการเพิ่มรูปแบบสัญลักษณ์แทนข้อมูลที่ต้องการปกปิดและในงานวิจัยนี้นำข้อมูลมาซ่อนเพื่อจุดประสงค์ที่ไม่ต้องการให้สามารถอ่านหรือรับรู้ได้ด้วยสายตา เป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลได้อีกรูปแบบหนึ่ง ที่มีความสะดวก รวดเร็ว และความถูกต้องสูง

5.2 ปัญหาที่พบจากงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีผลการวิจัยดังที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีข้อด้อยหรือข้อจำกัดของงานวิจัยด้วยดังต่อไปนี้

1) ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของเครื่องพิมพ์และเครื่องสแกนภาพที่มีความหลากหลายและแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยใช้เครื่องพิมพ์แบบ Laser และเครื่องสแกนภาพ Epson T101X ซึ่งหากใช้เครื่องพิมพ์และเครื่องสแกนภาพจากผลิตภัณฑ์อื่น อาจจะให้ผลที่แตกต่างกัน

2) ปัญหาการหารหัสแท่ง โดยถ้ามีสัญลักษณ์มาก ก็มีโอกาสที่ทำให้การถอดข้อมูลออกมานั้นผิดพลาดได้มากกว่าใช้สัญลักษณ์น้อย

3) กรณีที่ภาพที่ถูกสแกนเข้ามามีการบิดเบี้ยว อาจจะทำให้การถอดรหัสข้อมูลออกมา เกิดความผิดพลาดได้

5.3 แนวทางการวิจัยต่อ

1) ในกรณีที่ภาพมีความบิดเบี้ยว อาจจะใช้กระบวนการ Image processing ในการ Restore รูปภาพกลับมาเหมือนภาพต้นฉบับเพื่อให้กระบวนการถอดรหัสแท่งมีประสิทธิภาพ

2) ในด้านการรู้จำสัญลักษณ์ อาจจะใช้ Neuron Network หรือ Data mining เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สัญลักษณ์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3) พัฒนาในส่วนของการใช้อุปกรณ์อย่างอื่นมาใช้ในการสแกน อย่างเช่น กล้องถ่ายรูป, กล้องวีดีโอ เป็นต้น

4) พัฒนาในส่วนของภาพที่เกิดจากการถ่ายสำเนาหลาย ๆ ครั้ง

5) พัฒนาด้านการจัดการกับสัญลักษณ์ที่เกิดจากการถอดรหัสแล้วมีความผิดพลาดมาก โดยใช้ ECC (Error Correction Code) กับสัญลักษณ์ที่ผิดพลาดมากเพียงอย่างเดียว

6) หาสัญลักษณ์อื่นที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดพลาดจากการสแกน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Palo Alto Research Center. Data Glyphs®: Embedding Digital Data [Online]. Available from: http://www.dataglyphs.com. [2007, May 15]

[2] สุวรฐ สตันยสุวรรณ. การปรับปรุงความหนาแน่นของเทคโนโลยีการฝังข้อมูลลงบนกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] Bender, W., Gruhl, D. and Morimoto, N. Techniques for data hiding. IBM Systems Journal 35, 3&4 (1996): 313-336

[4] Jiri Fridrich. Methods for data hiding. In Center for intelligent systems & department of systems science and industrial engineering SUNY Binghamton, pp.13902-6000, Binghamton, NY 1997.

[5] เฉลิมศักดิ์ เลิศวงศ์เสถียร, ดร. Steganography ศาสตร์แห่งการซ่อนข้อมูล. eLeaders 182. (เมษายน 2547).

[6] R. C. Gonzalez, and R.E. Woods. Digital Image Processing, U.S.A.: Prentice-Hall, 2002.

[7] Scott E Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. CRC Press, Computer vision, 2005.

[8] Umbaugh Scott E. Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIP Tools. Prentice-Hall International Inc, 1998.

[9] Russ Adams: 1995. 2-Dimensional Bar Code [Online]. Adams Communications. Available from: http://www.adams1.com/pub/russadam/stack.html [2002, November 20]

[10] Schyndel, R. G. V., Tirkel, A. Z. and Osborne, C. F. A digital watermark. International Conference On Image Processing, pp. 86-90. USA, 1994.

[11] R. Villan, S. Voloshynovskiy, O.Koval, F.Deguillaume, And T. Pun. Tamper-proofing of Electronic and Printed Text Documents via Robust Hashing and Data-Hiding. In Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging 2007, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX, San Jose, USA, 2007.

[12] Q. Mei, E. K. Wong, and N. Memon. Data hiding in binary text documents. In SPIE Proc Security and Watermarking of Multimedia Contents III, San Jose, CA., 2001.

[13] Vijaya, P.a. and Padma, M.C. Text Line Identification from a Multilingual Document. Internation Conference on Digital Image Processing, pp.302-305, Bangkok, 2009.

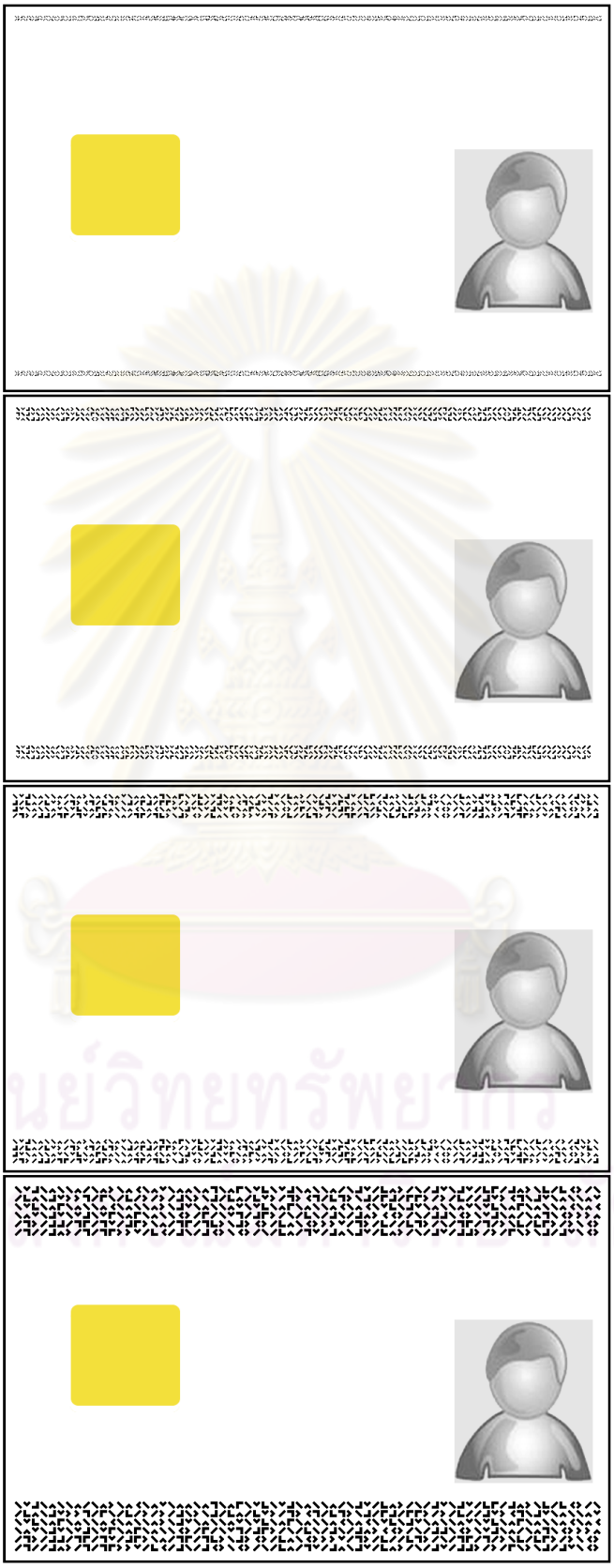
[14] Zebra Technologies Corporation: 2000. Bar codes, bar code printers, software, and Thermal printer [Online]. Zebra Technologies Corporation. Available from: http://www.zebra.com [2001, June 21]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก
ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย

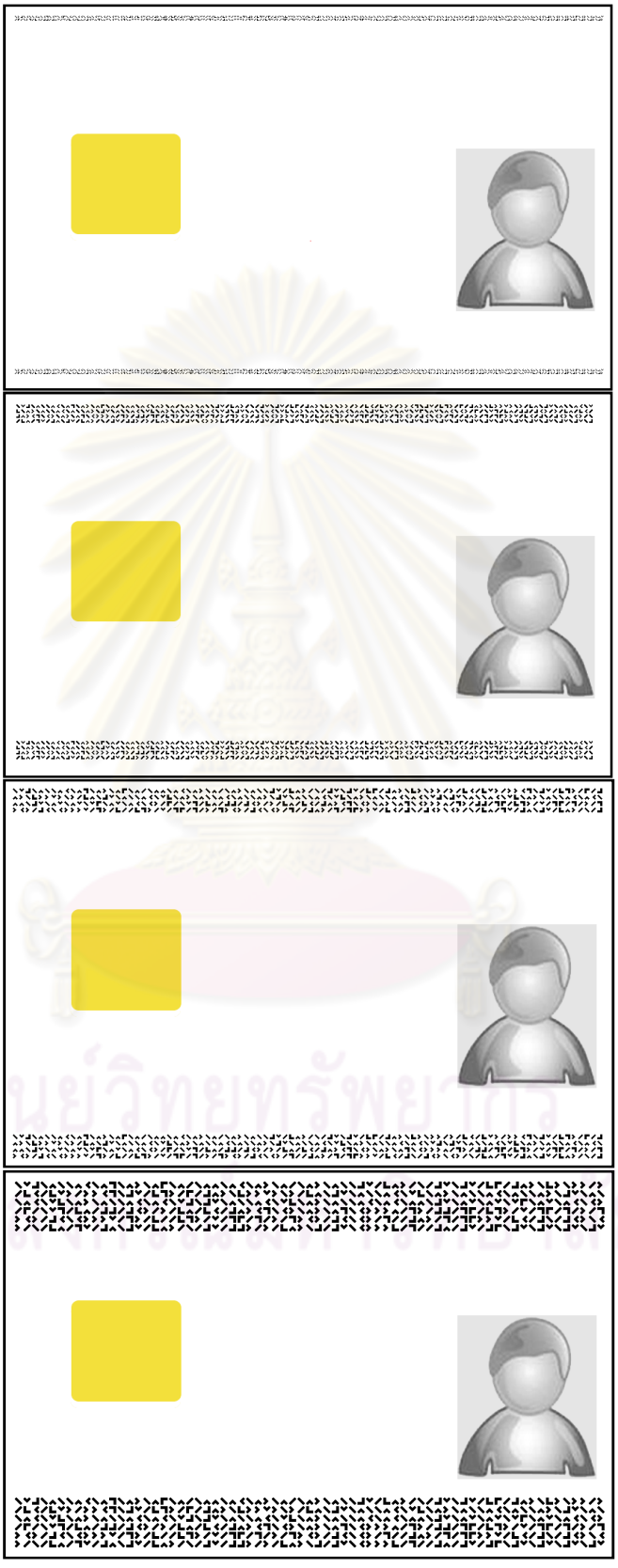
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1234567890123^นาย^ประทาน^โชติพันธุ์บัณฑิตย์^26092524^26092550^26092556^1/92
ซ.ลาดพร้าว 138 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^นายวิชัย ศรีขวัญ

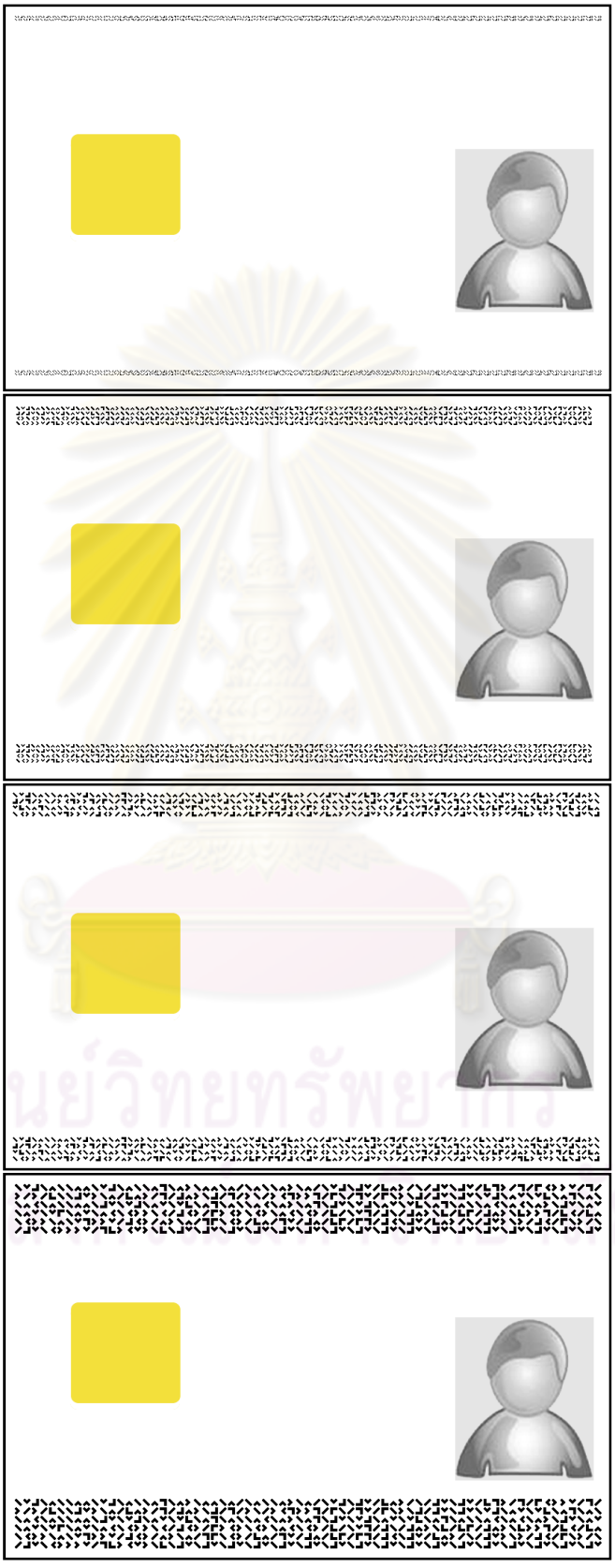


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1271284732431^นาย^ประสิทธิ์^บูรณะเสน^25042524^25042551^25042557^65/41 ซ.นวมินทร์ แขวงบึงกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร^นายวินัย ไกรยล

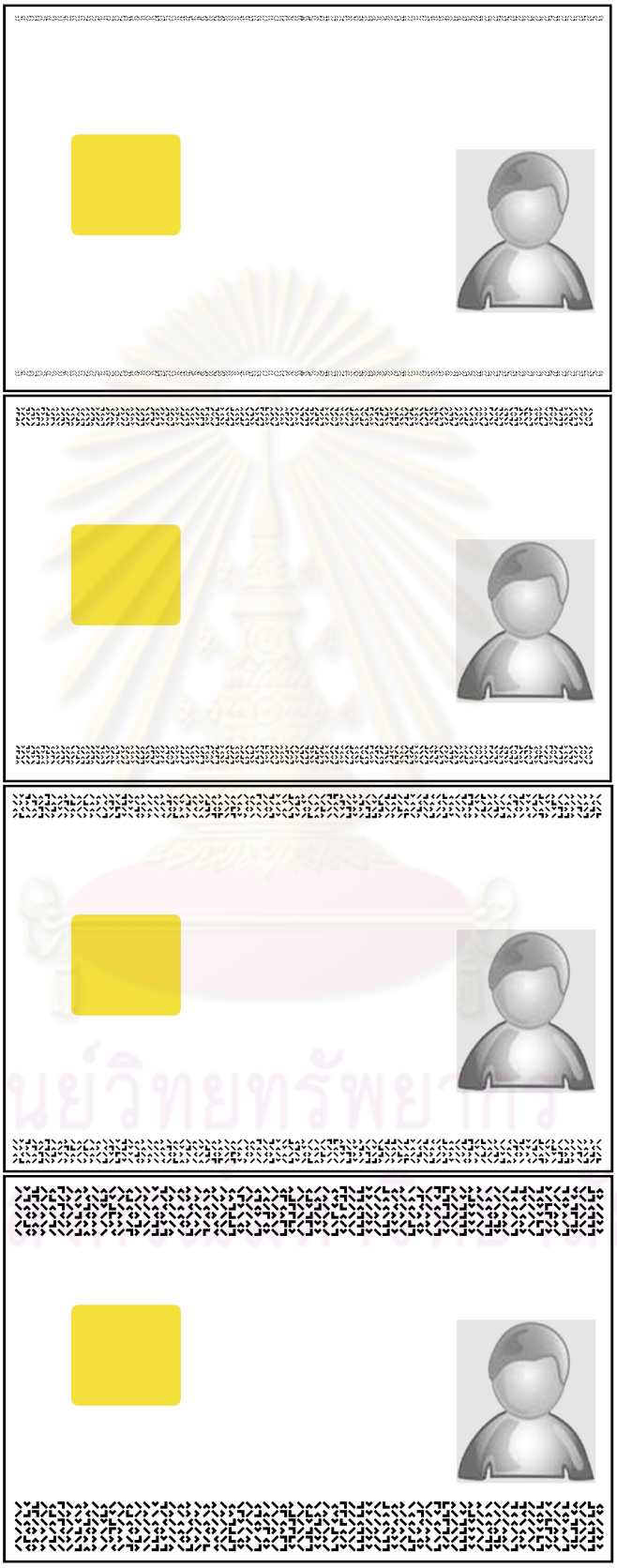


1271284732431^นาย^บุญเกิด^อนุรักษ์โชคชัย^16082527^16082548^16082554^66/65 หมู่ 5 ต.พระประโทน อ.เมือง นครปฐม^นายสมชาย เจ๊ะ

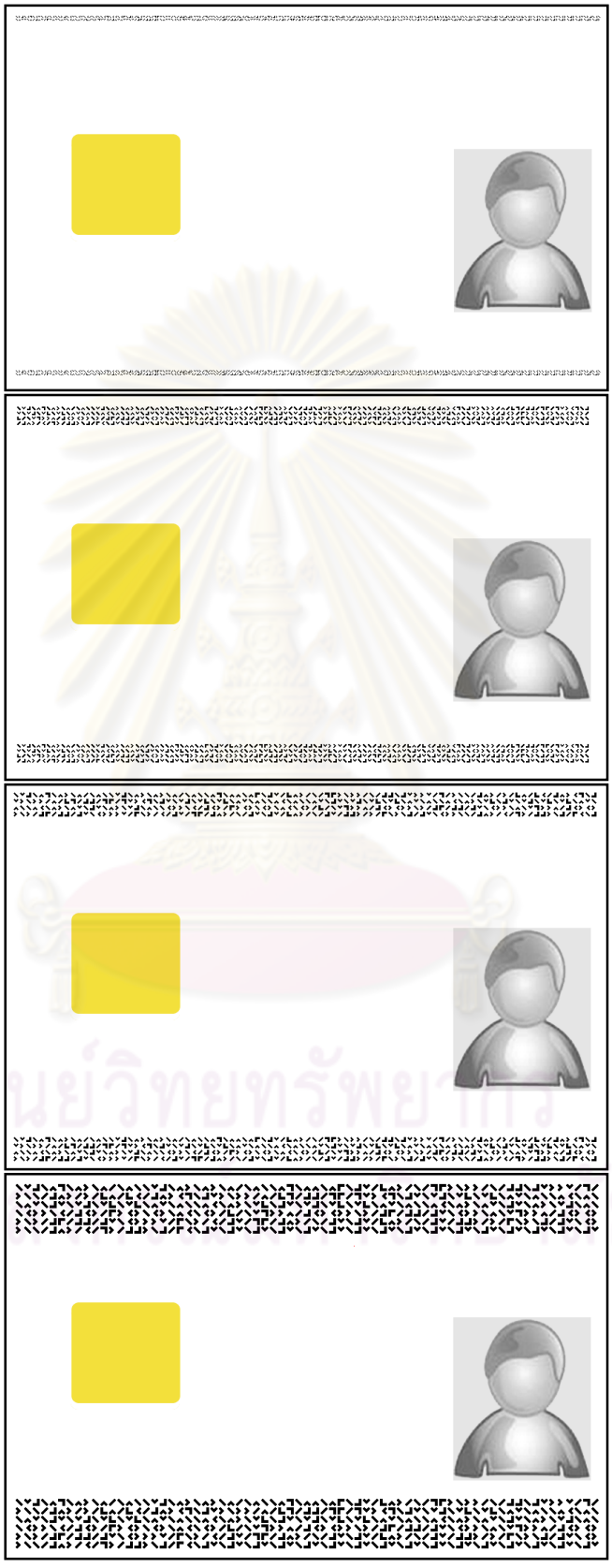


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

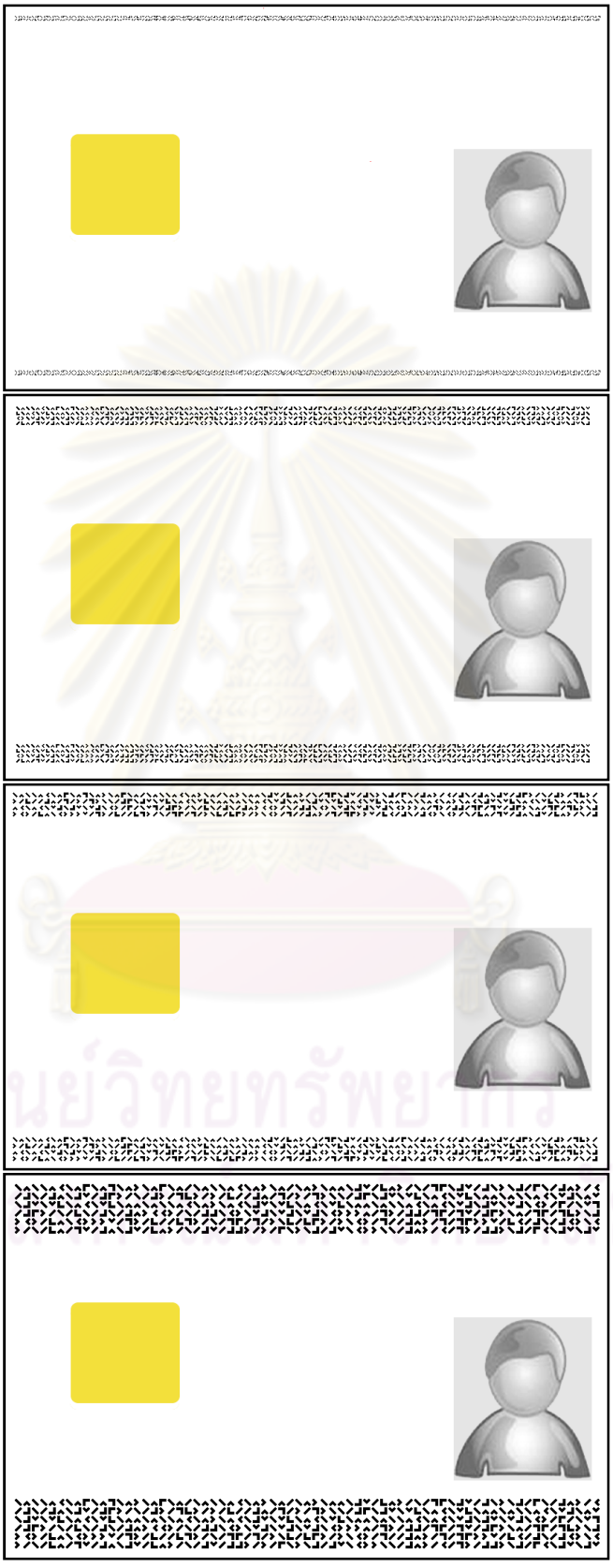
1843214432438^นางสาว^มนฤดี^ตาสาโรจน์^28102526^28102552^28102558^33/12 หมู่ 3 ต.โพนพิสัย อ.โพนพิสัย หนองคาย^นายวิชัย ศรีขวัญ



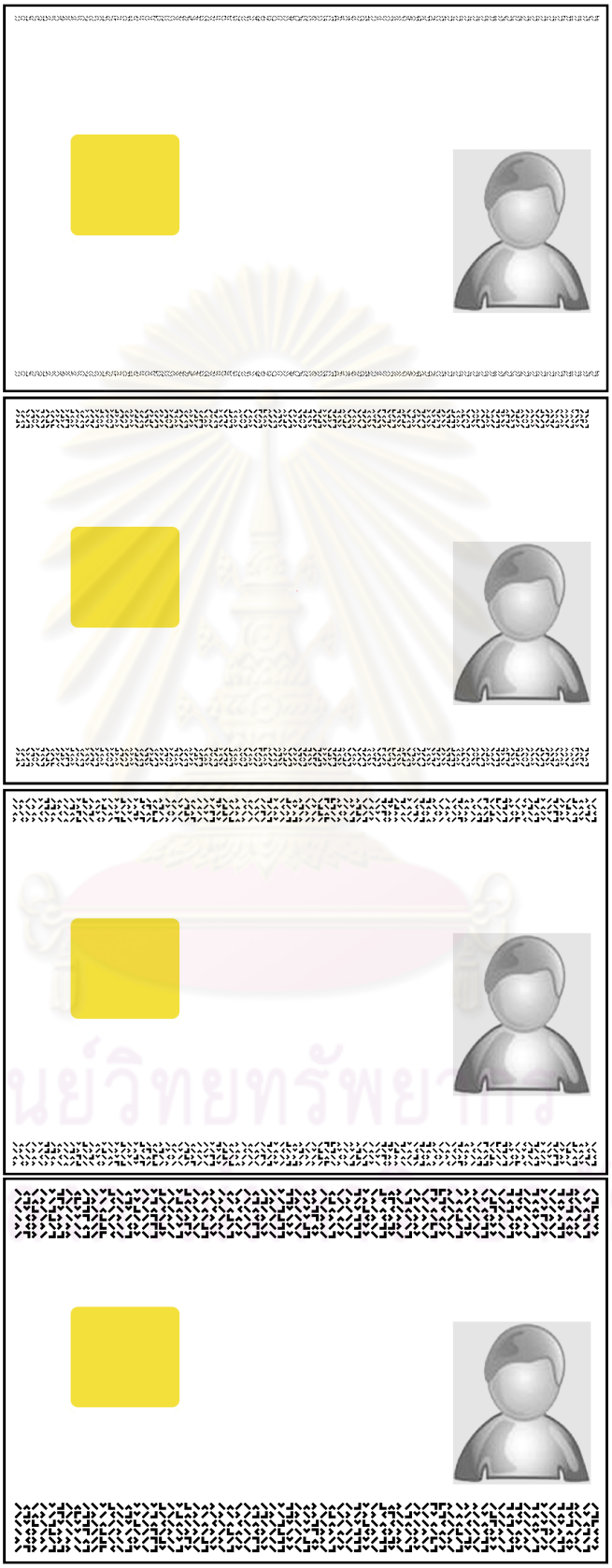
1843214432879^นางสาว^เกศรินทร์^สืบวงค์^10062526^10062540^10062546^412 หมู่ 5 ต.แม่สลวย อ.แม่สลวย เชียงราย^นายวิชัย ศรีขวัญ



2598493254347^นาง^พัชรีพร^ลาภจิตรกุศล^05072516^05072545^05072551^1 ซ. ลาดพร้าว 111 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร^นายวิชัย ศรีขวัญ

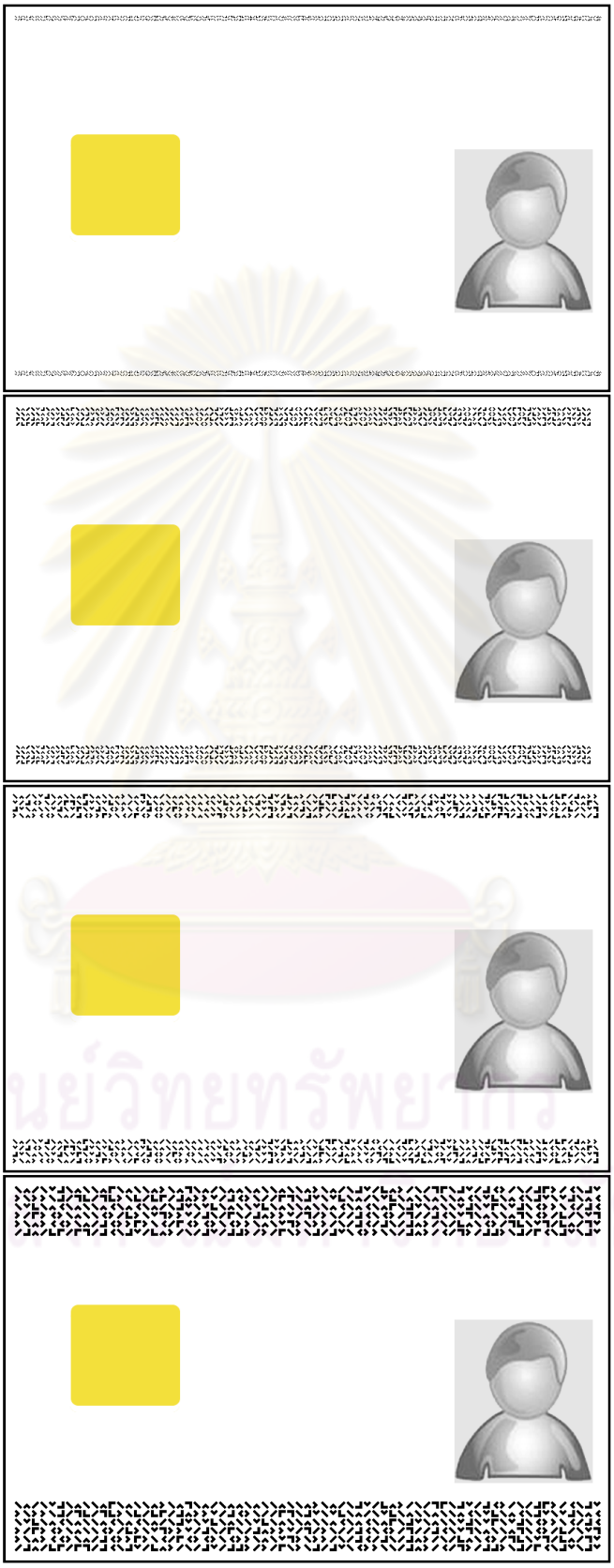


3120600432143^นางสาว^วารุณี^พนาสวัสดิ์^13052510^13052552^13052558^619 ถ. ตากสิน ต.แม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก^นายวิชัย ศรีขวัญ



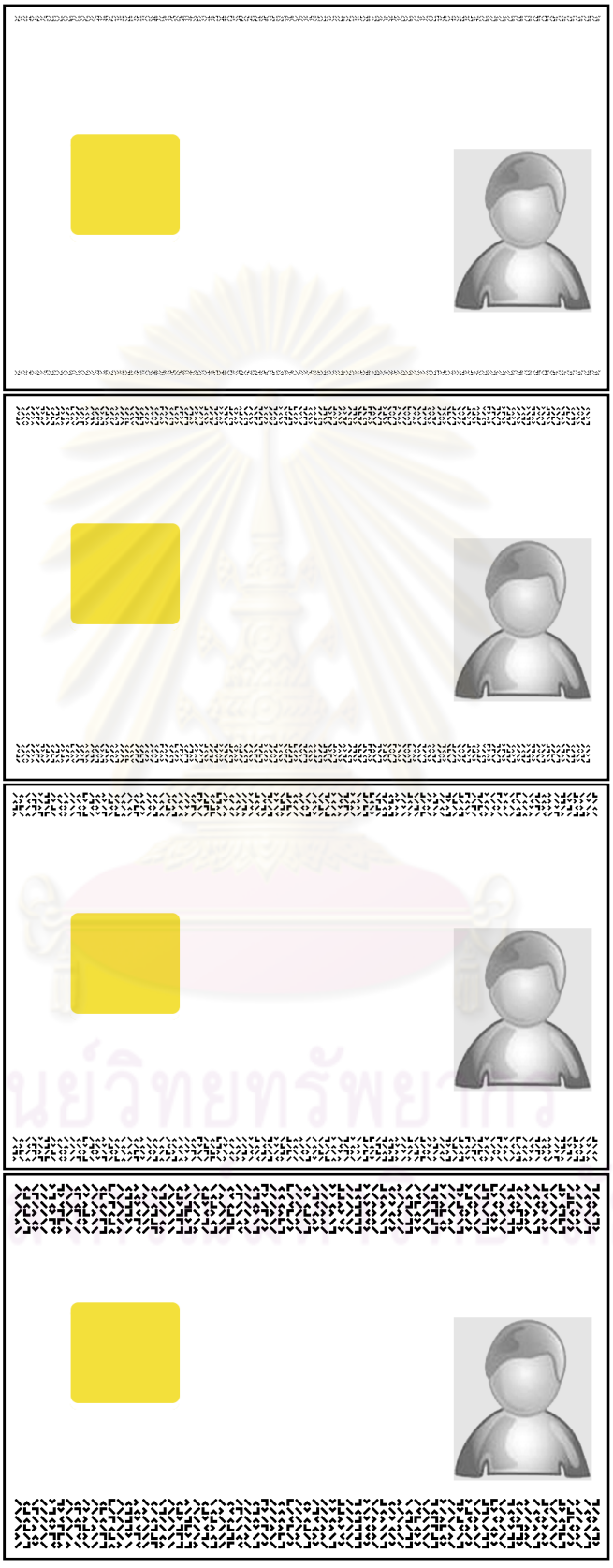
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3129248372243^นาง^มาลี^สัจจะปรเมษฐ^03022505^15052553^02022559^21/1 หมู่2 ถ.เพชรเกษม กม.28 ต.อ้อมใหญ่ อ.สามพราน จ.นครปฐม^นายวิชัย ศรีขวัญ

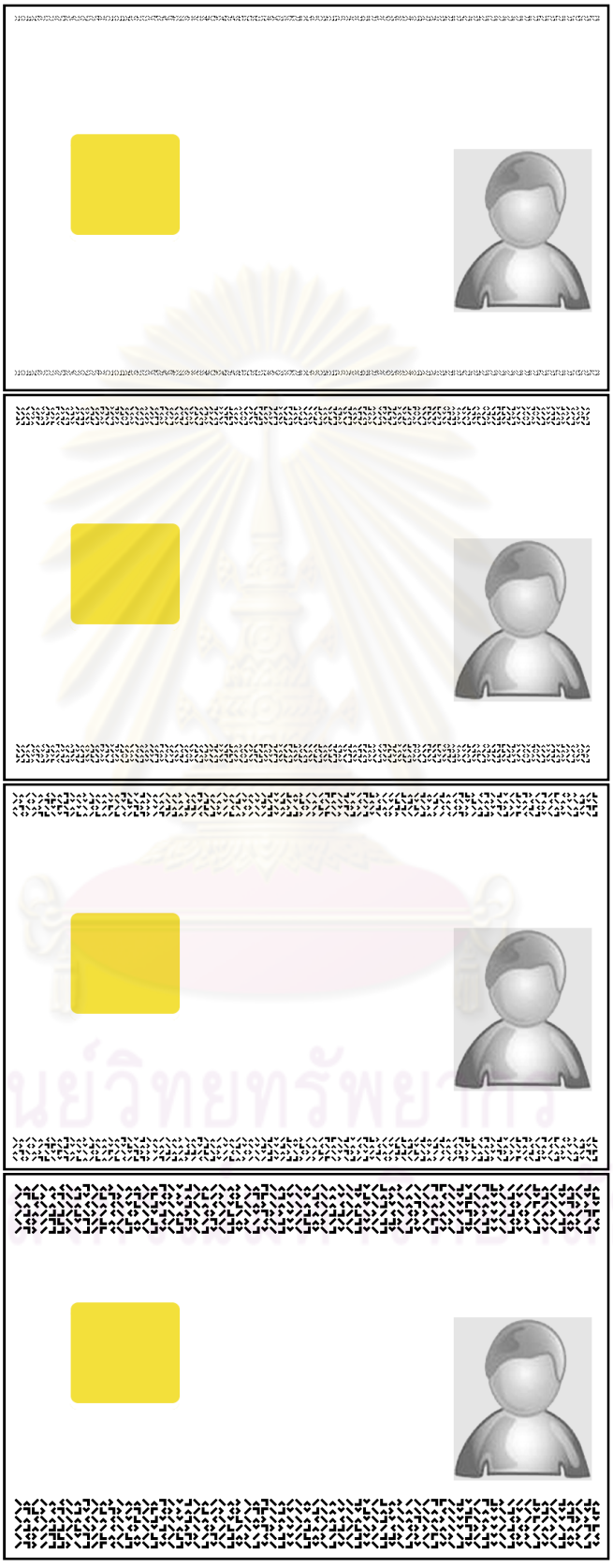


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3129434328920^นาย^ประดับ^คชรัตน์^21032520^25022548^21032554^เลขที่ 9 ถ.จอมพล ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา^นายวิชัย ศรีขวัญ

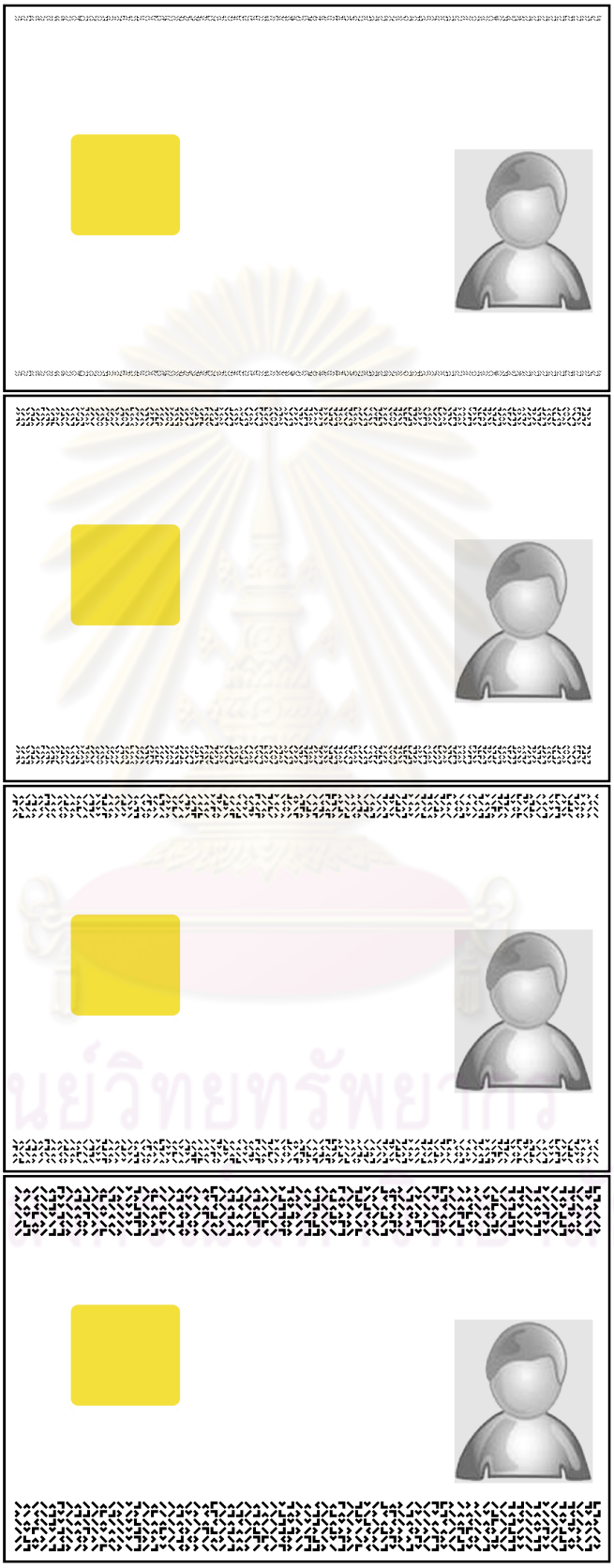


3584781348332^นาง^จำนรรจ์^บุญแต่ง^16042516^11052550^15042556^84/6 ซ.เรวดี 14 ต.เรวดี อ.เมือง จ.นนทบุรี^นายวิชัย ศรีขวัญ

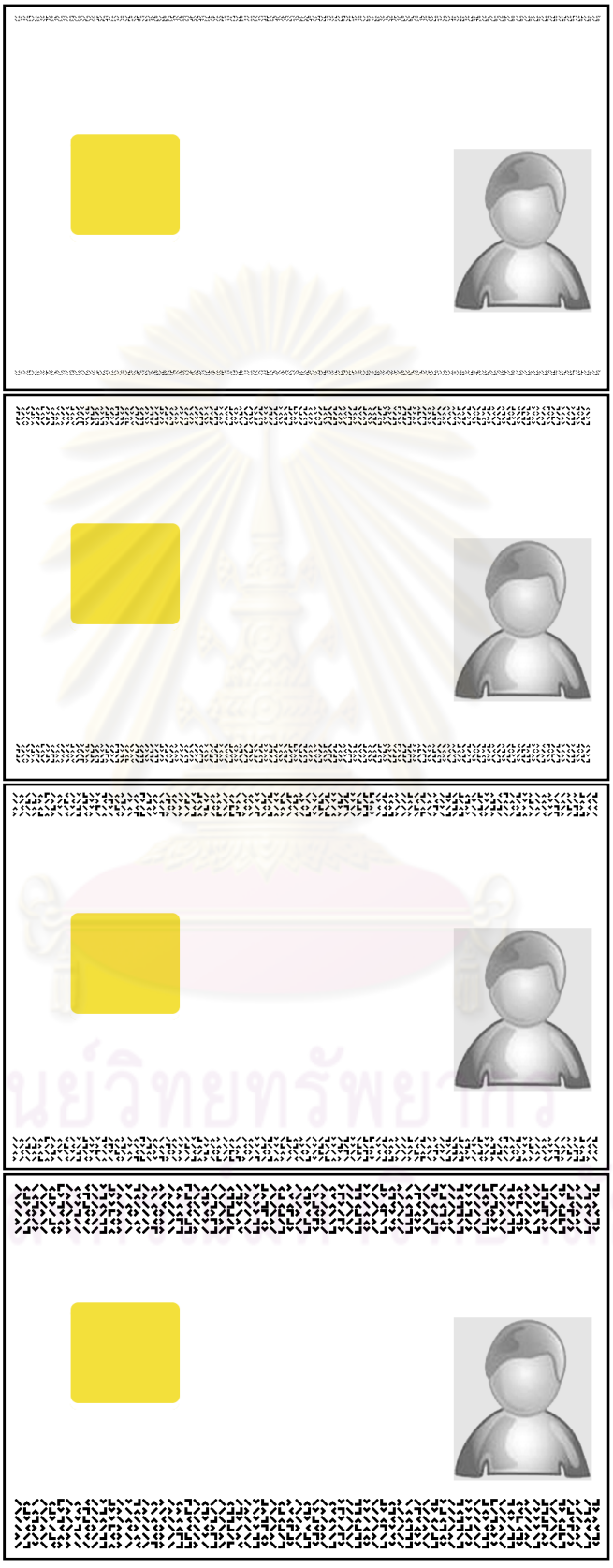


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3823123932158^นางสาว^วลี^วณิชย์วรนันต์^17052515^22072553^16052559^214/18-19 จรดวิถีถ่อง ต.ธานี อ.เมือง จ.สุโขทัย^นายวิชัย ศรีขวัญ

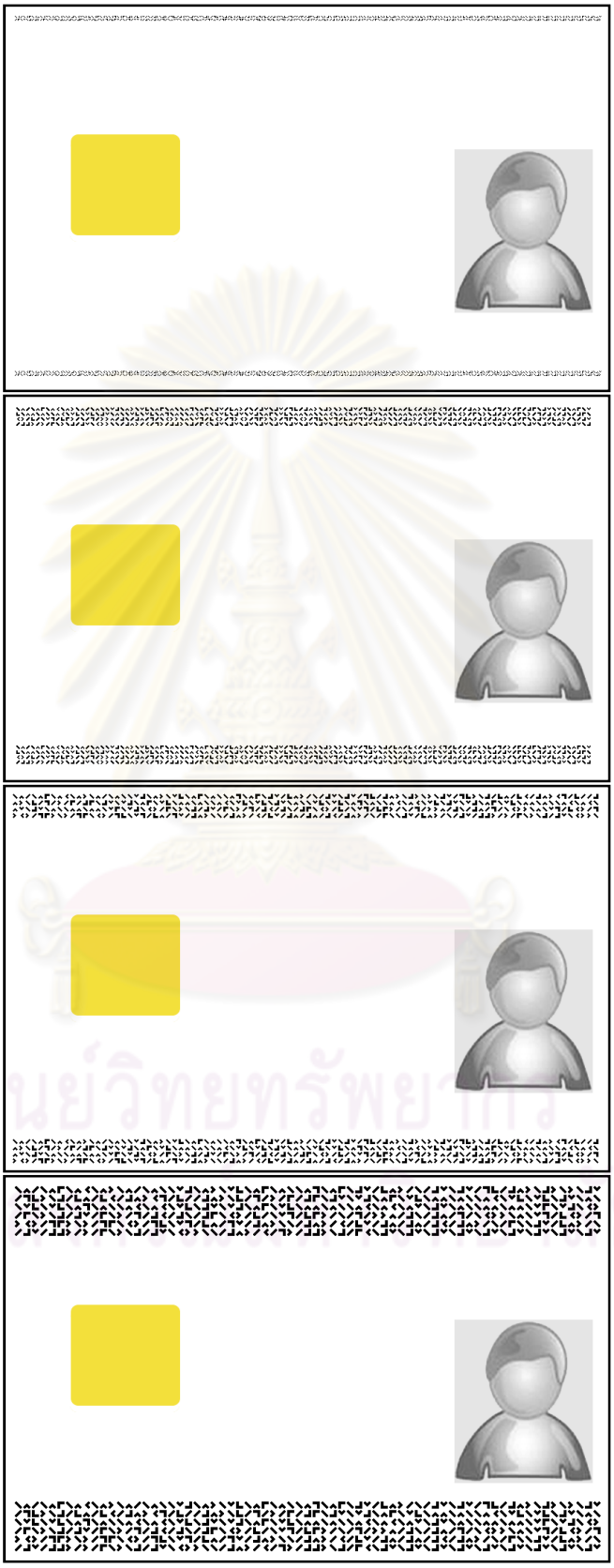


3950148320436^นาย^ประพันธ์^อำไพวิทย์^18062510^11062551^17062557^1/054 หมู่ 5 ต.บ้านครัว อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี^นายวิชัย ศรีขวัญ



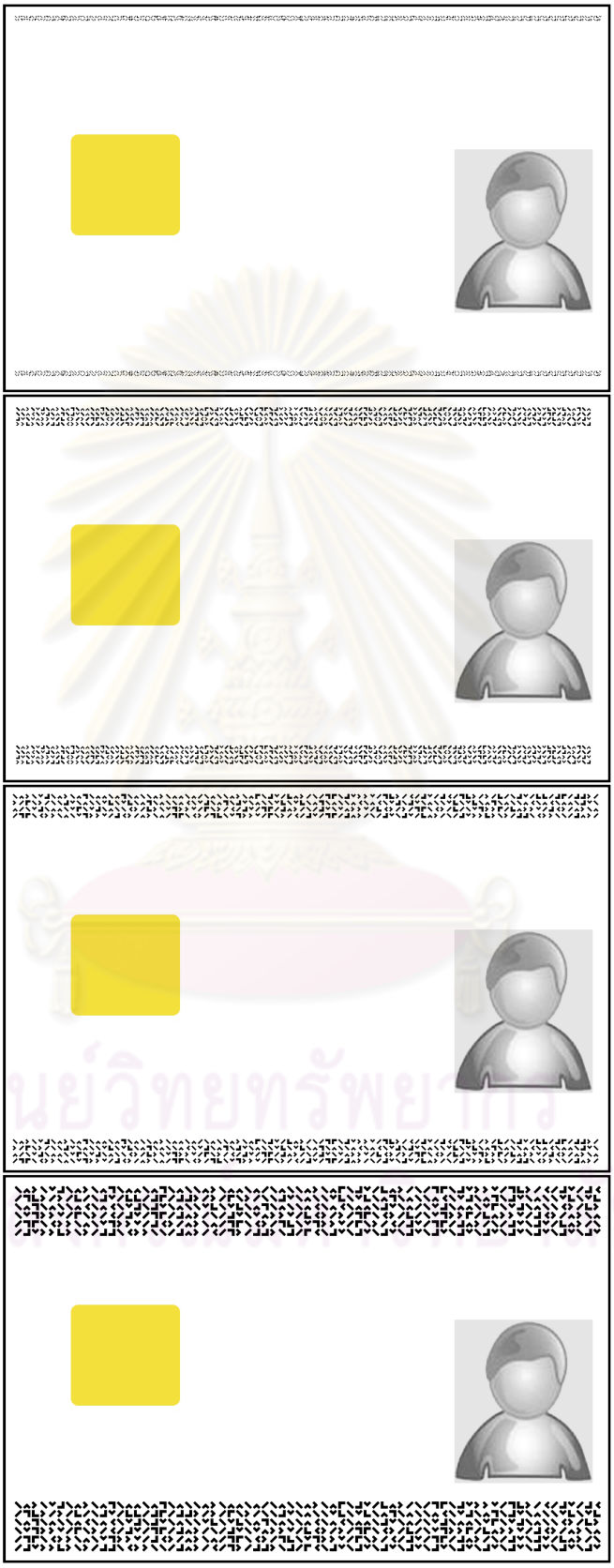
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3954321409289^นาย^จรัส^จันทร์ตระกูล^19072500^20082550^19072556^277/1 ชัยชุมพล ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช^นายวิชัย ศรีขวัญ

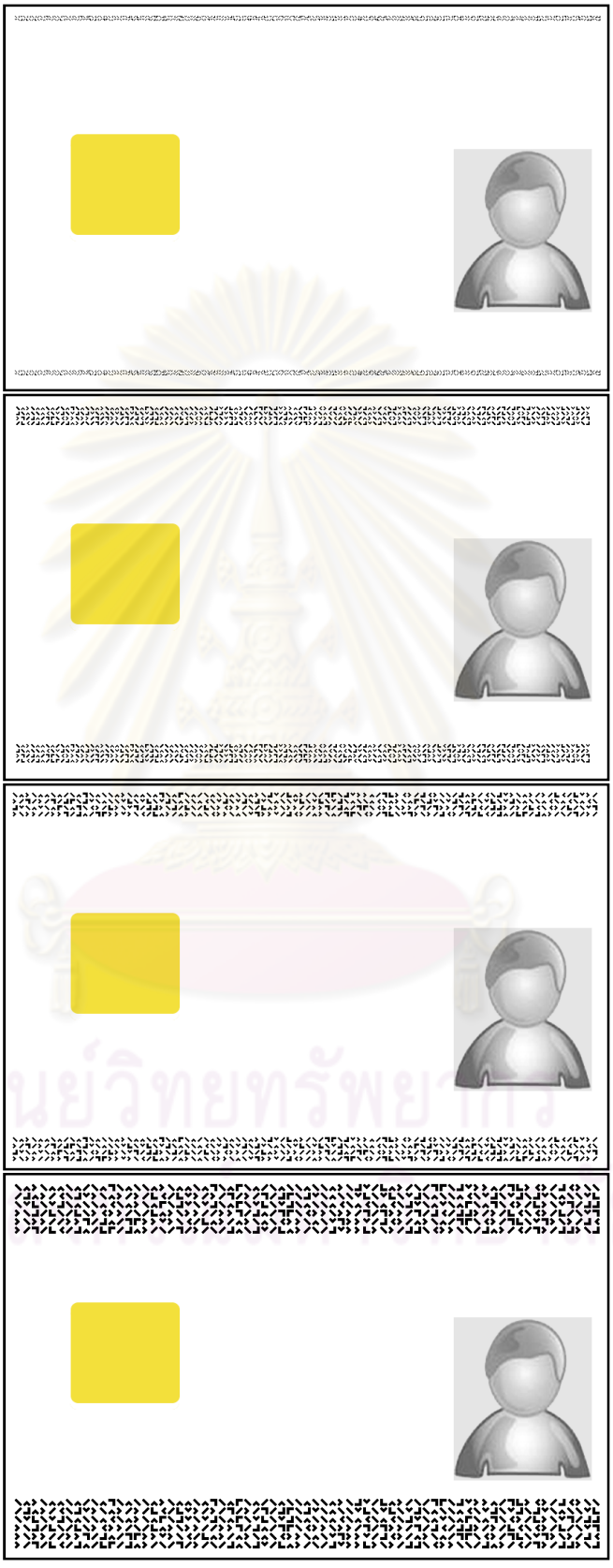


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

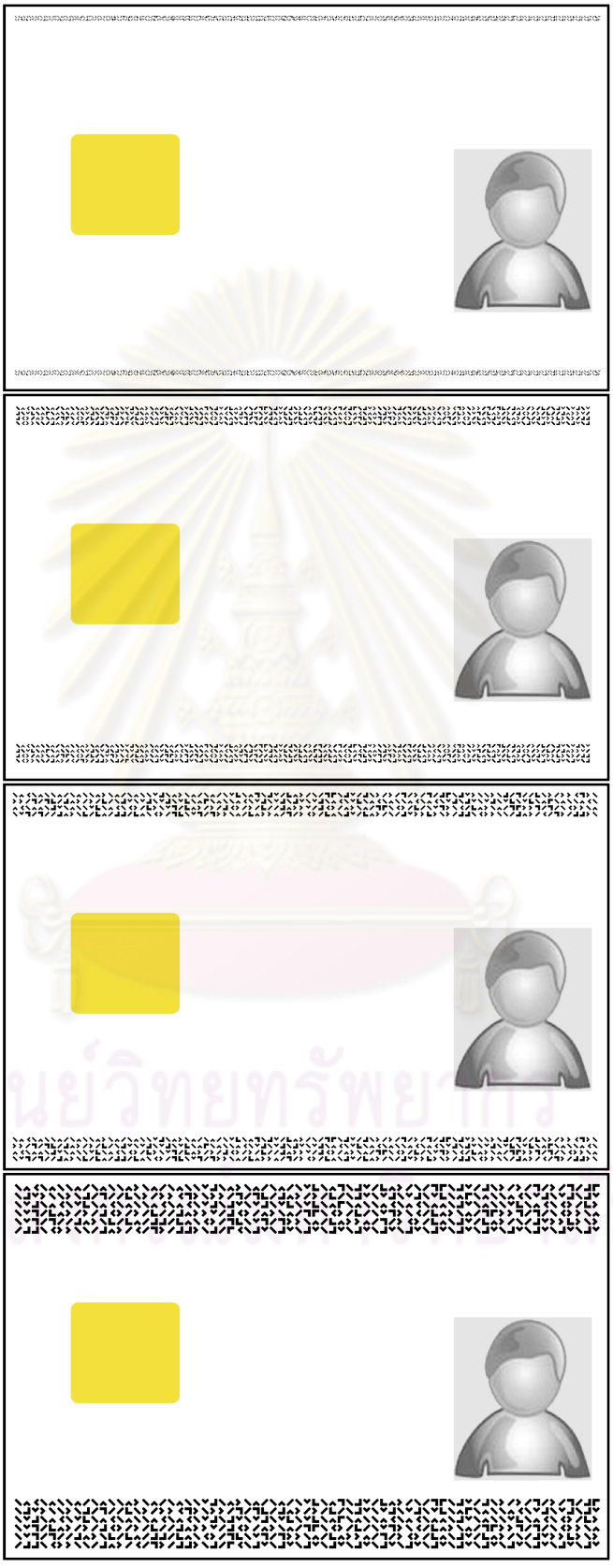
4148782473249^นาง^เจียมจิต^ผลวิชา^20082518^20082551^20082557^317/12 ถ. เชียงราย-เทิง ต.ในเมือง จ.เชียงราย^นายไสว ศรีขวัญ



4738247893224^นาง^แจ่มศรี^อิทธิกุล^20012511^20012549^19012555^698 ถ.วัดด่านสำโรง สุขุมวิท ต.สำโรงเหนือ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ^นายไสว ศรีขวัญ

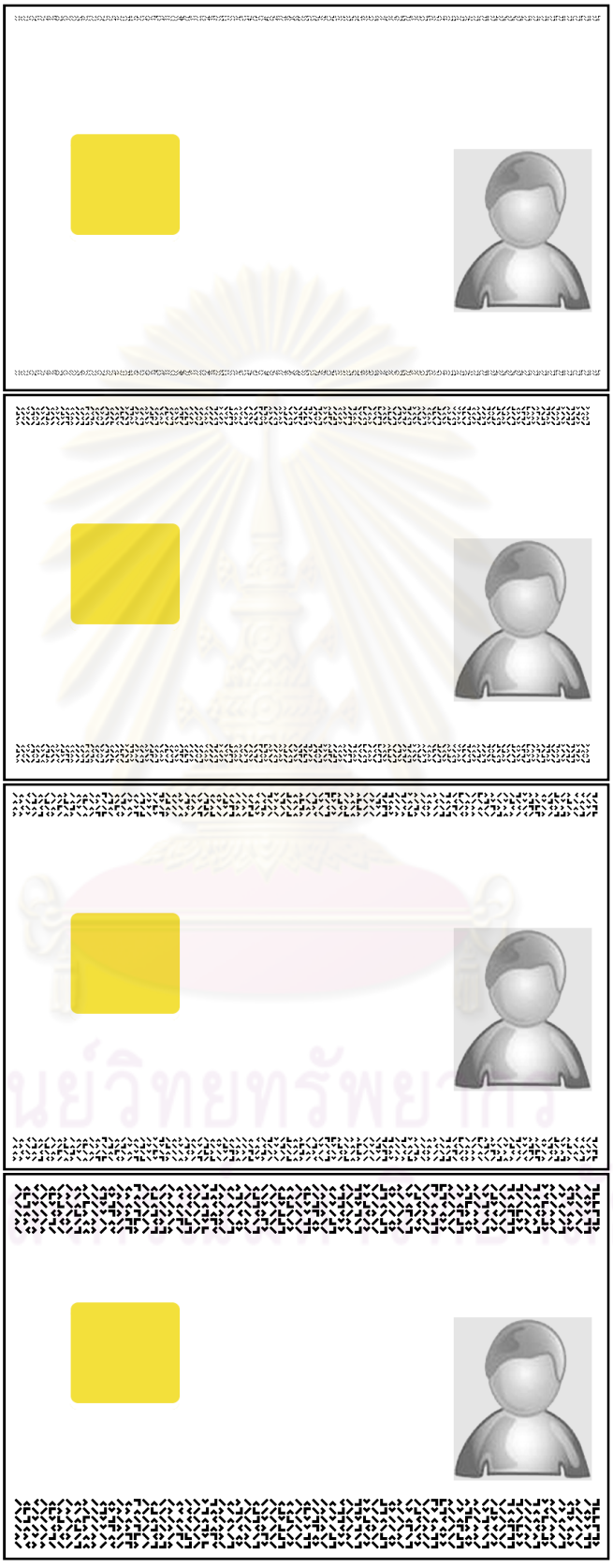


5232432143308^นาง^พิกุล^ศักดิ์สุจริต^11092511^15052551^10092557^205 ถ.นิมิตร เมือง ต.หนองโก อ.กระนวน จ.ขอนแก่น^นายไสว ศรีขวัญ



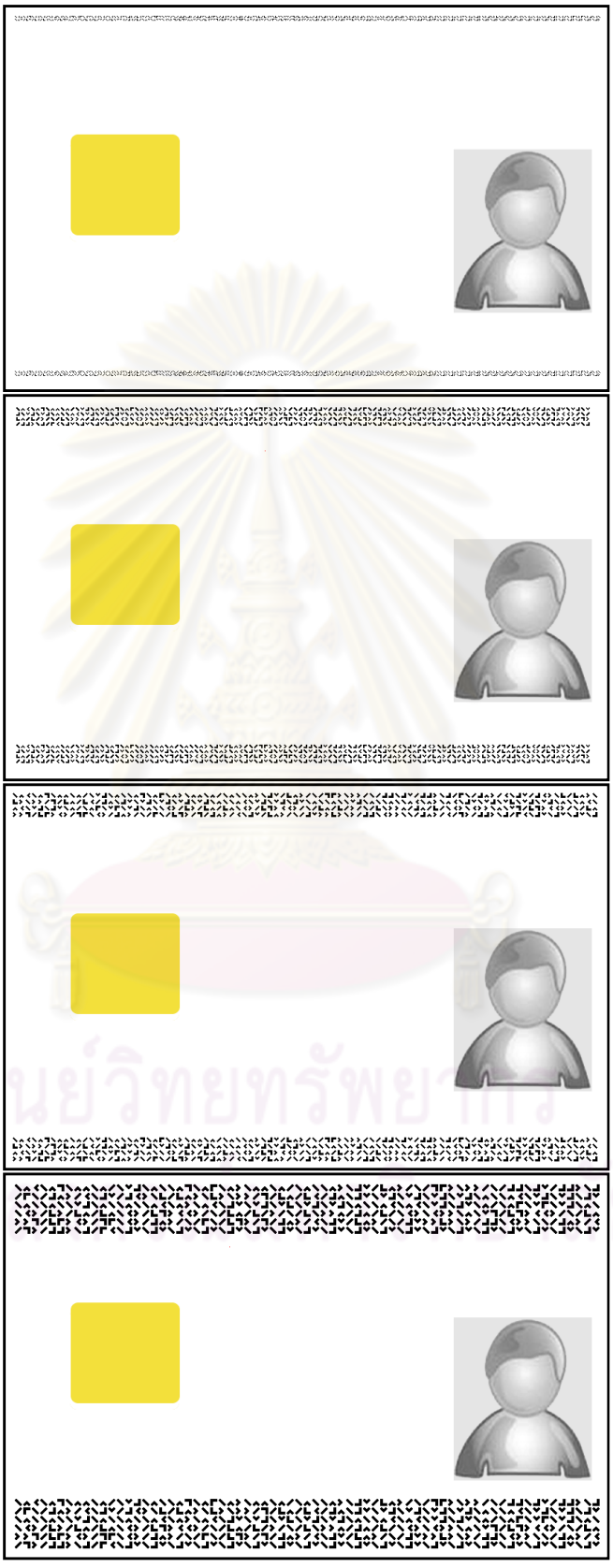
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5347832143725^นางสาว^อัชฌา^แต้รัตนชัย^01102519^09122553^01102559^396/2 ถ. โพศรี ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี^นายไสว ศรีขวัญ



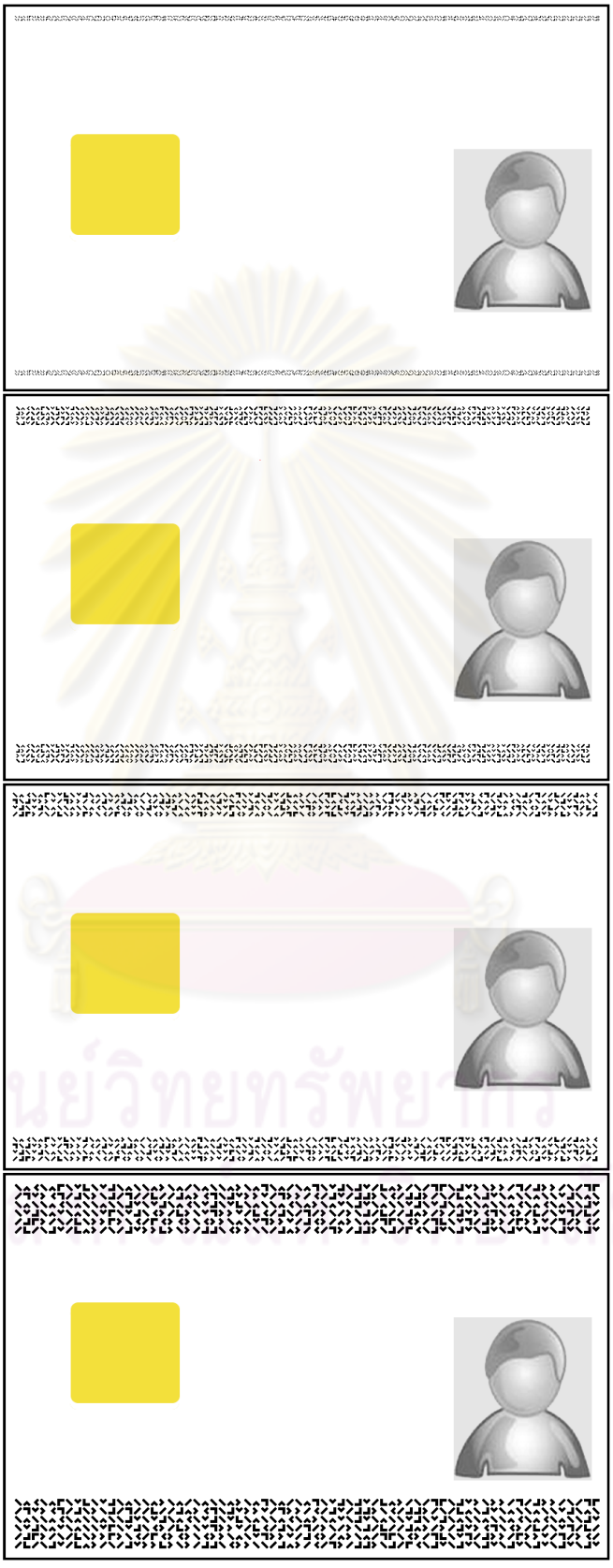
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5873128947324^นางสาว^วัชรี^มะนะสุนทร^11112511^22122545^10112551^39/12 ถนน บ้านตาดแรต อ.บ้านโป่ง ราชบุรี^นายไสว ศรีขวัญ

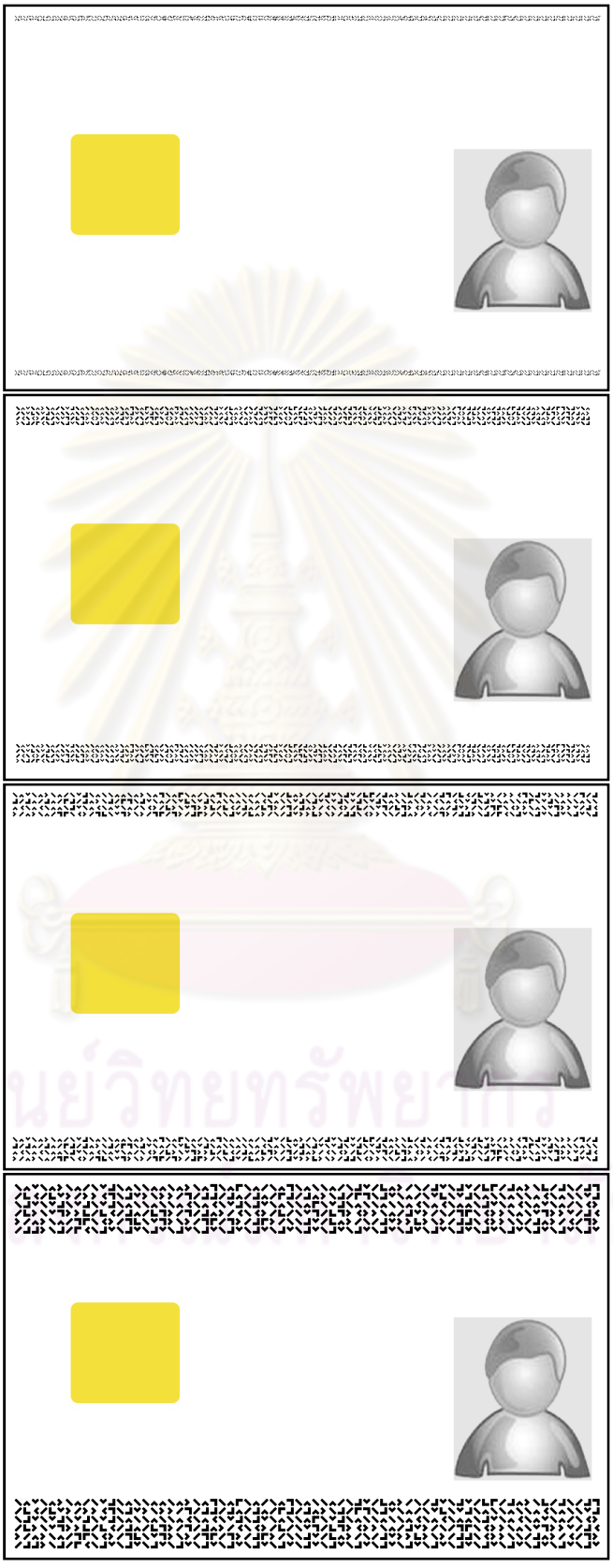


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

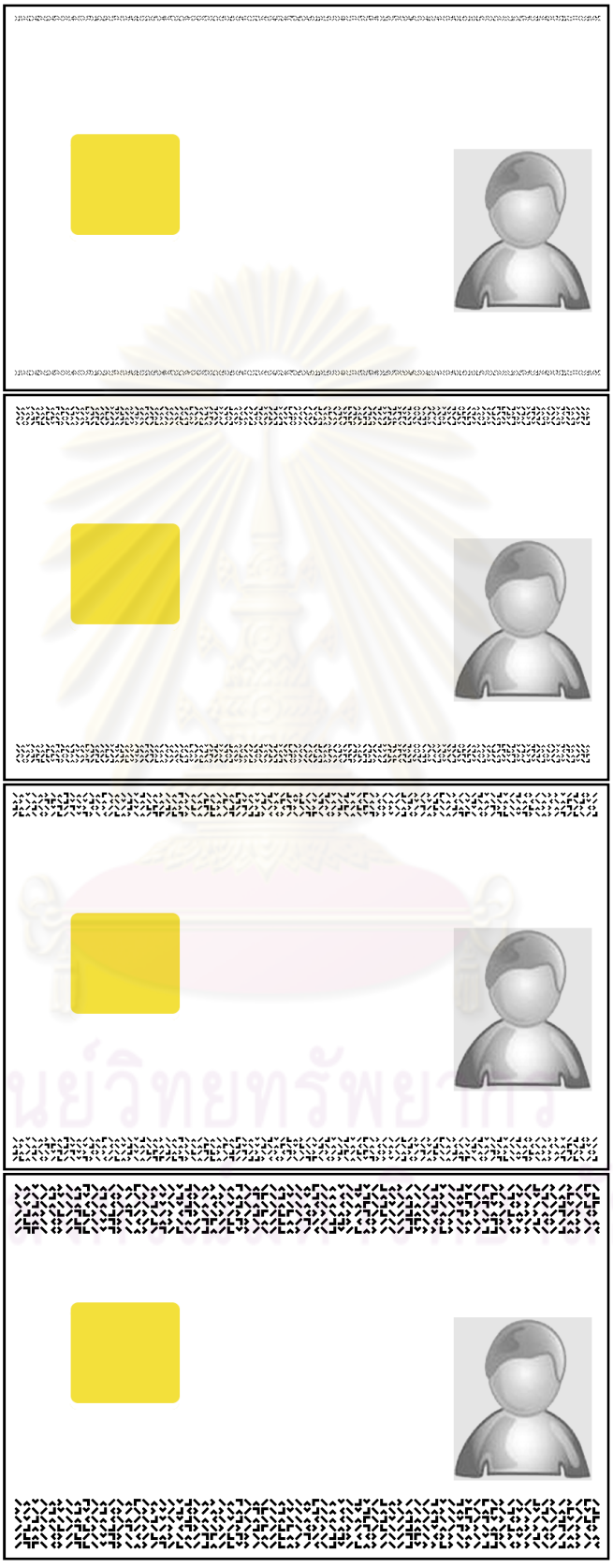
5901243248381^นาง^สุภางค์พักตร์^เขียวหวาน^22122522^15102546^21122552^162/1 ถ.เทพกษัตริย์ ต.ตลาดใหญ่ อ.เมือง จ.ภูเก็ต^นายไสว ศรีขวัญ



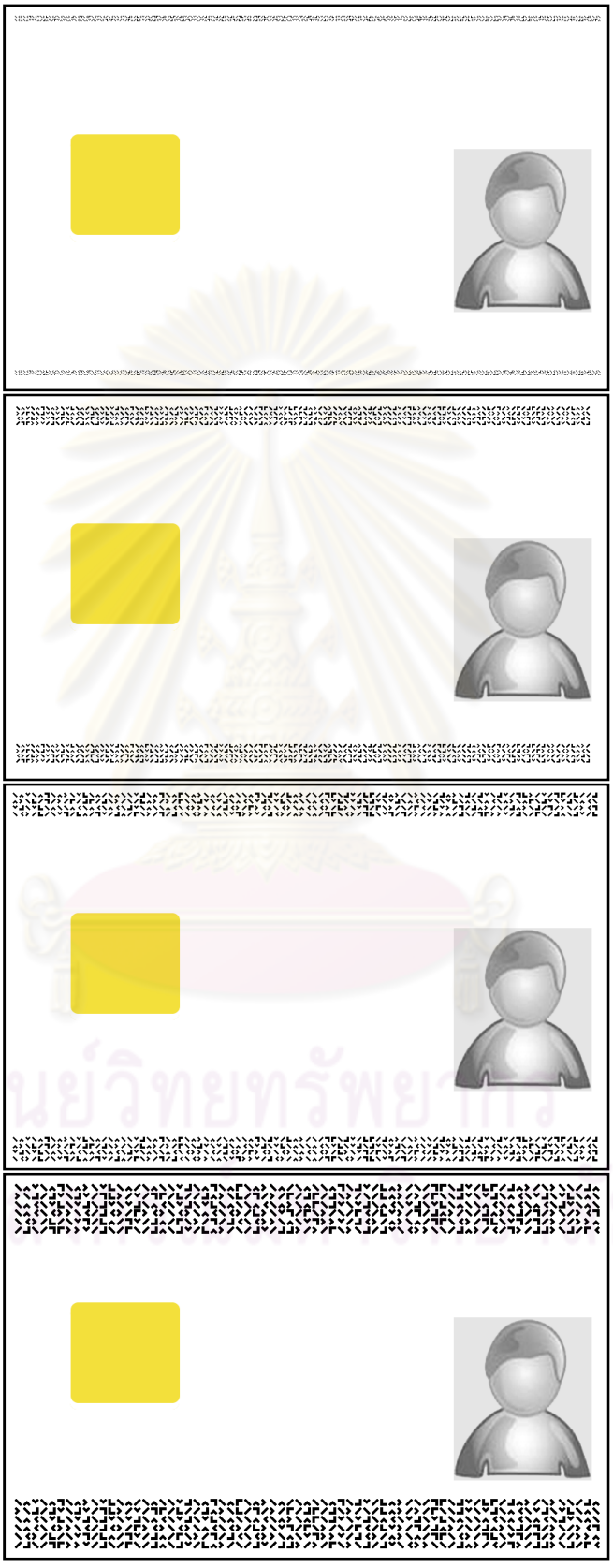
6431274893823^นาย^ประพฤทธิ์^สุวรรณรัฐ^30122521^11122551^29122557^563 ถ.ไทร บุรี ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา^นายไสว ศรีขวัญ



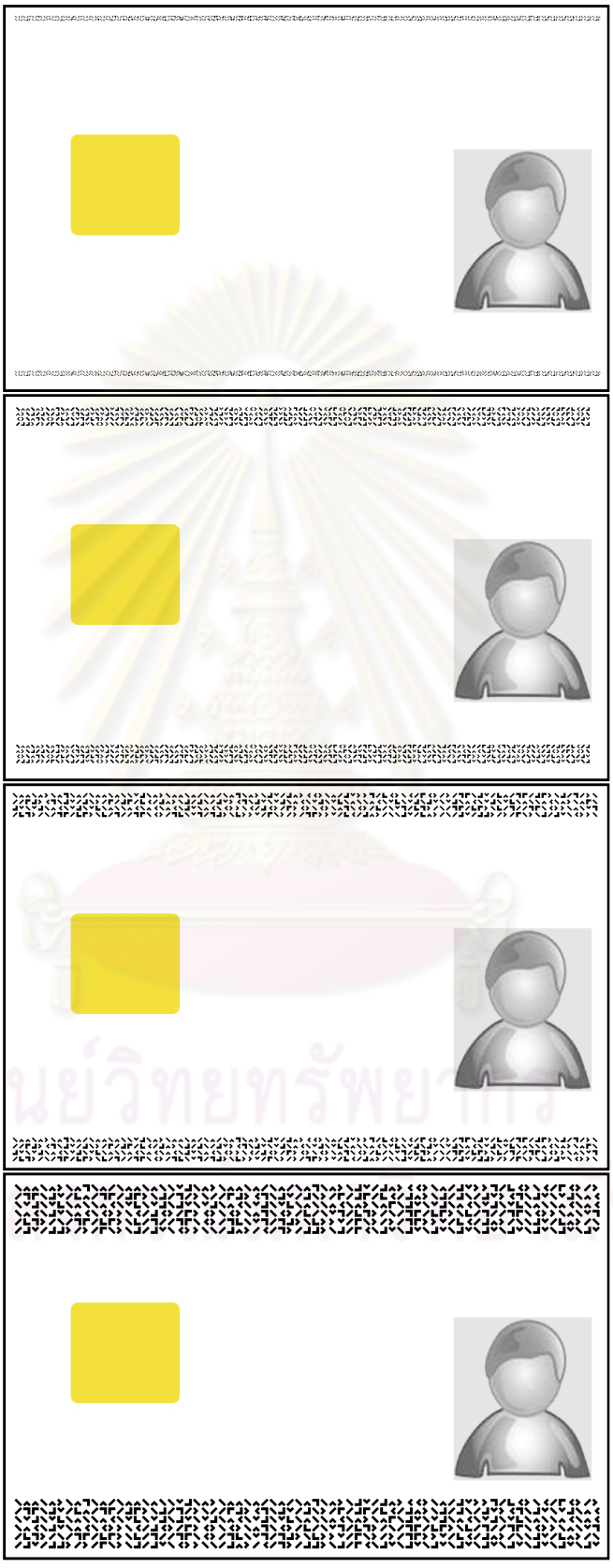
6483921483296^นาย^ชาติชาย^มาเมือง^15122499^19012553^15122559^รพ.ค่ายประจักษ์ศิลป อุดร-ขอนแก่น ต.หนองบอนกว้าง อ.เมือง จ.อุดรธานี^นายไสว ศรีขวัญ



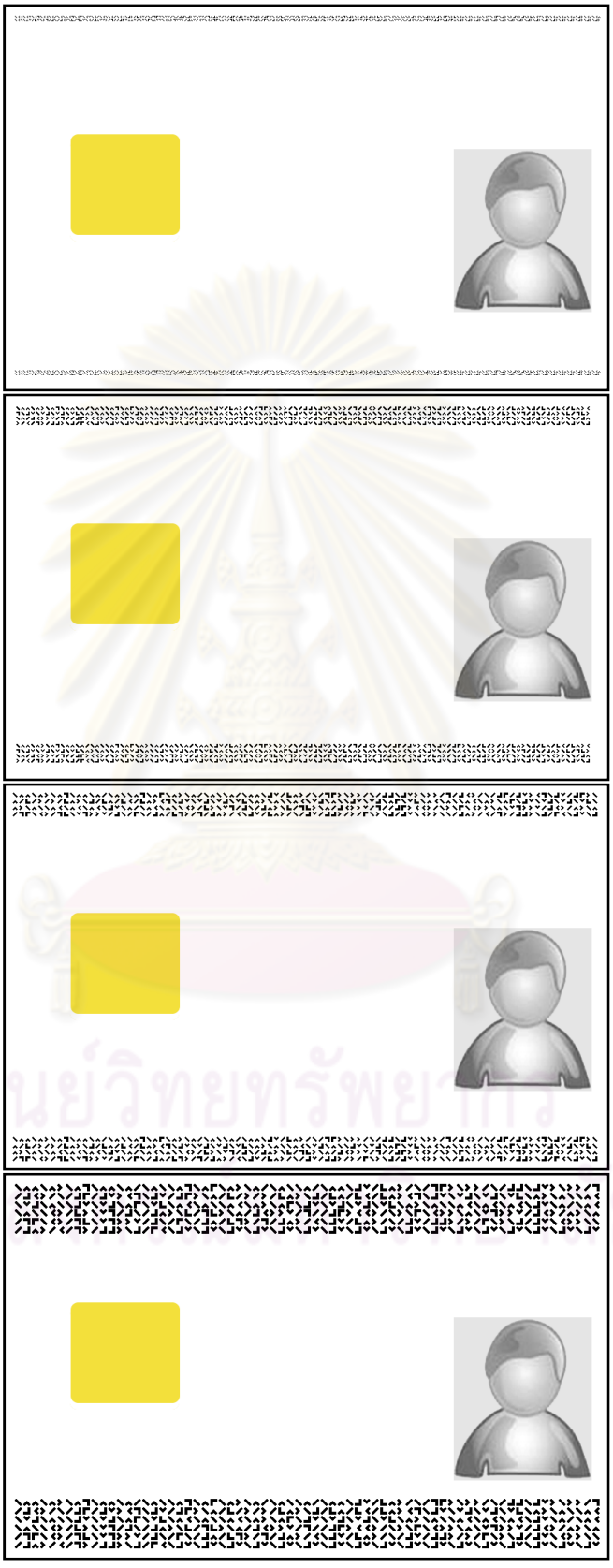
6840321894328^นาง^ปราศรัย^จึงตระกูลพานิช^15102501^15102549^15102555^25 หมู่ 5 ถ.ชาญธุรารักษ์ ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร^นายวิชัย ศรีขวัญ



7483721473384^ร้อยโทหญิง^นงลักษณ์^พูลทรัพย์^15102501^15102549^15102555^5 หมู่ 8 ต.บางปะกง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา^นายวิชัย ศรีขวัญ

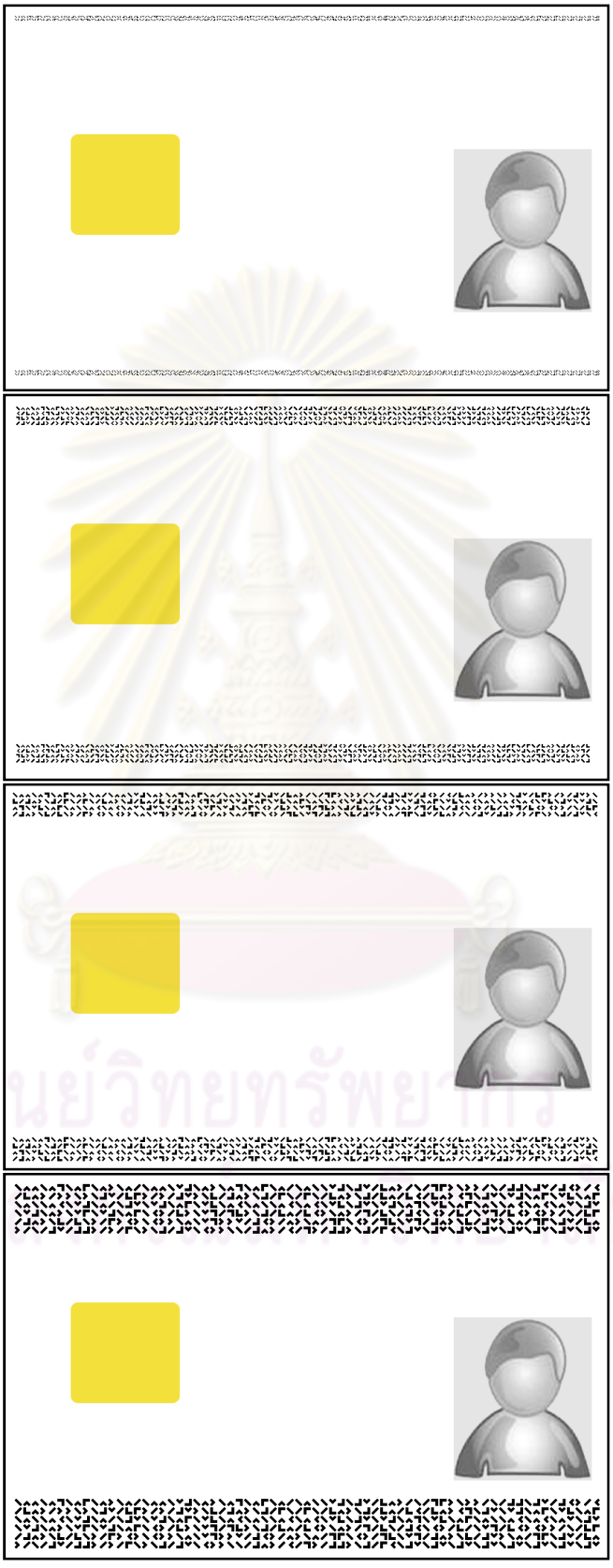


7487328943237^นางสาว^สุมาลย์^ลอตินันทน์^11042512^19052549^11042555^352 ถ. พระจอมเกล้าฯ อ.เมือง จ.เพชรบุรี^นายวิชัย ศรีขวัญ

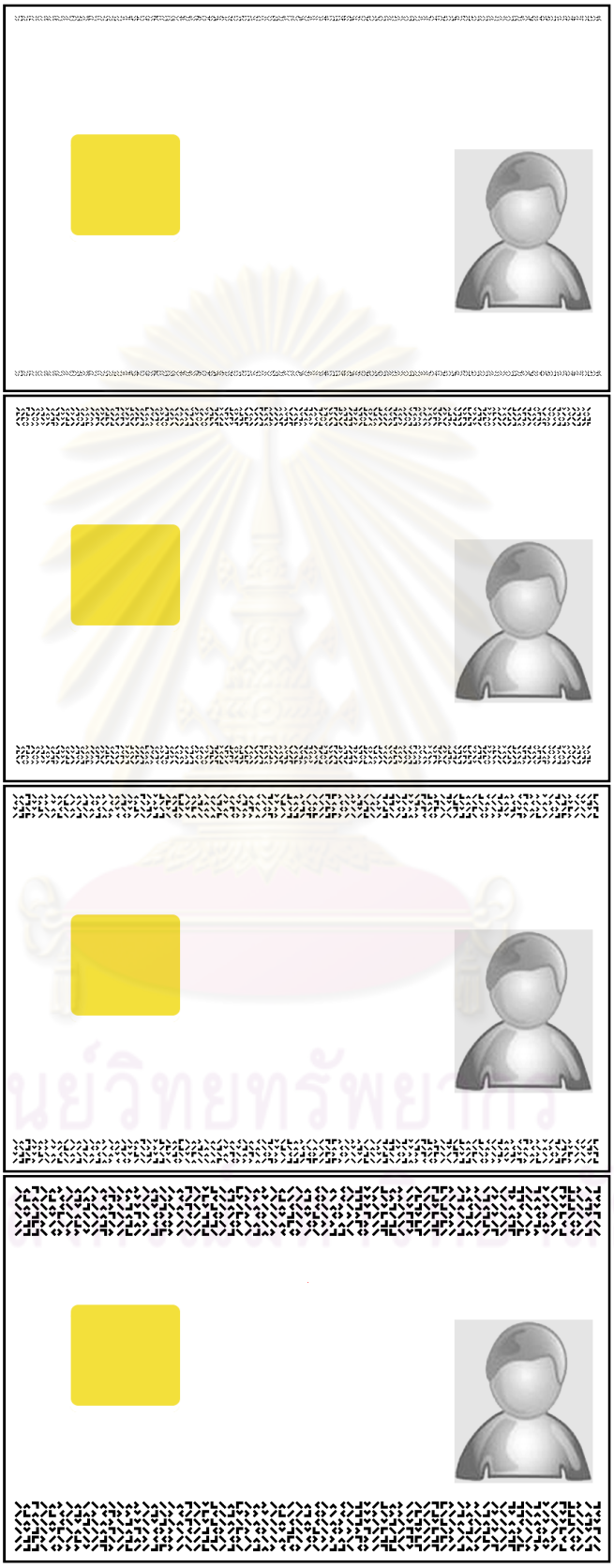


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

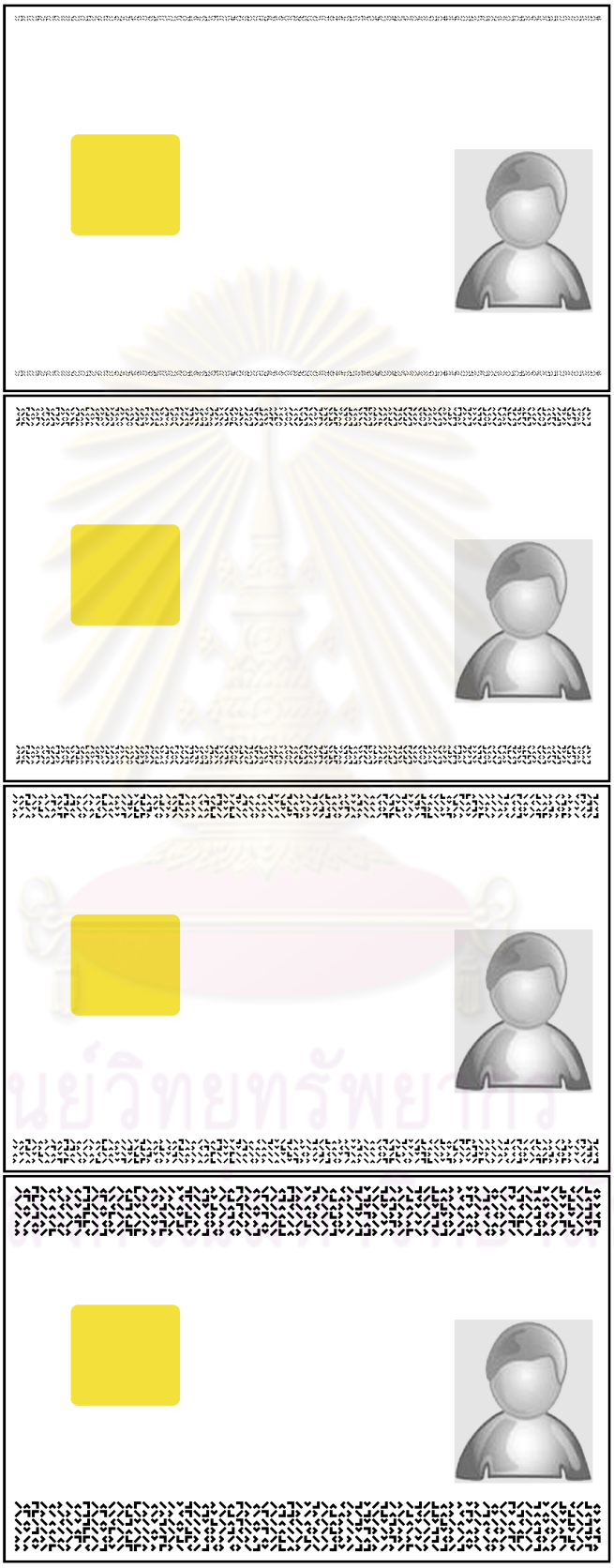
7894371489321^นางสาว^มีนิส^ปิยะรัชชนันทน์^19092513^19052550^18092556^14/19 ถ.จันทอุดม ต.ท่าประดู่ อ.เมือง จ.ระยอง^นายวิชัย ศรีขวัญ



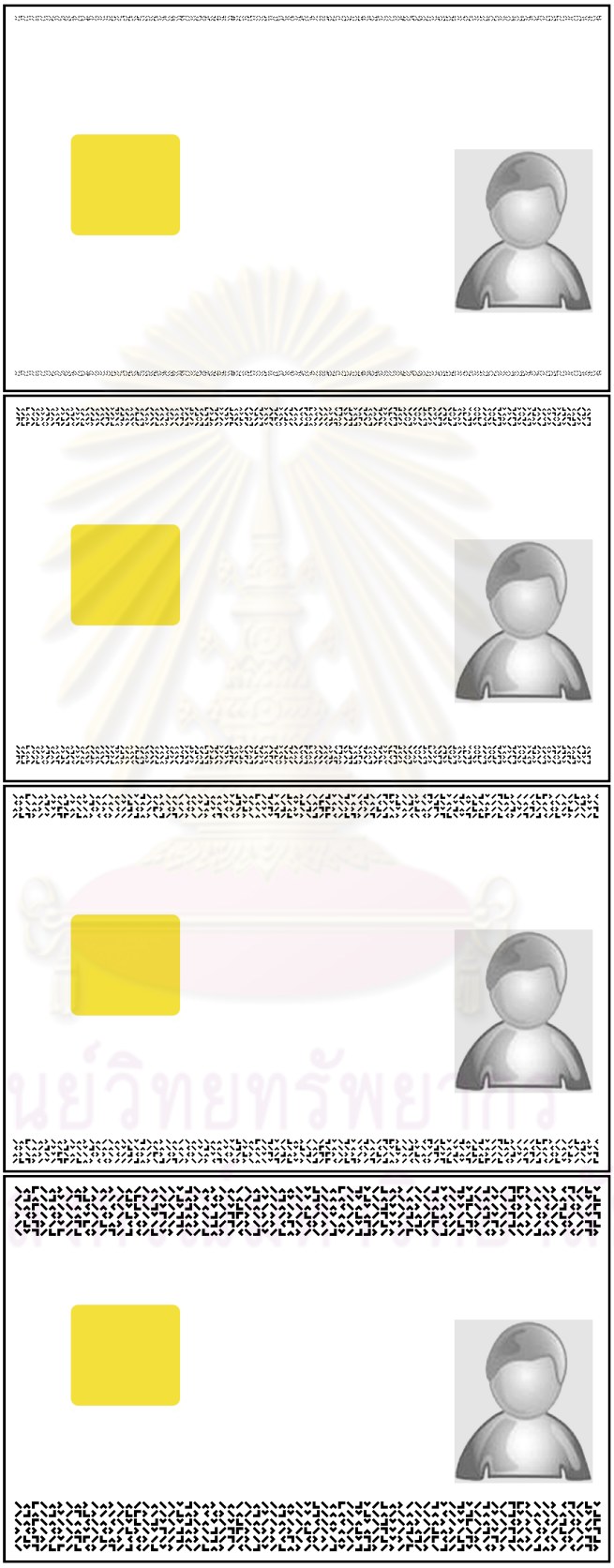
8432428094355^นางสาว^จันทร์เพ็ญ^เตมียสูตร^12052514^18022554^11052560^1/288 หมู่10 โชคชัย4 ซ.ลาดพร้าว 29 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว จ.กรุงเทพ^นายวิชัย ศรีขวัญ



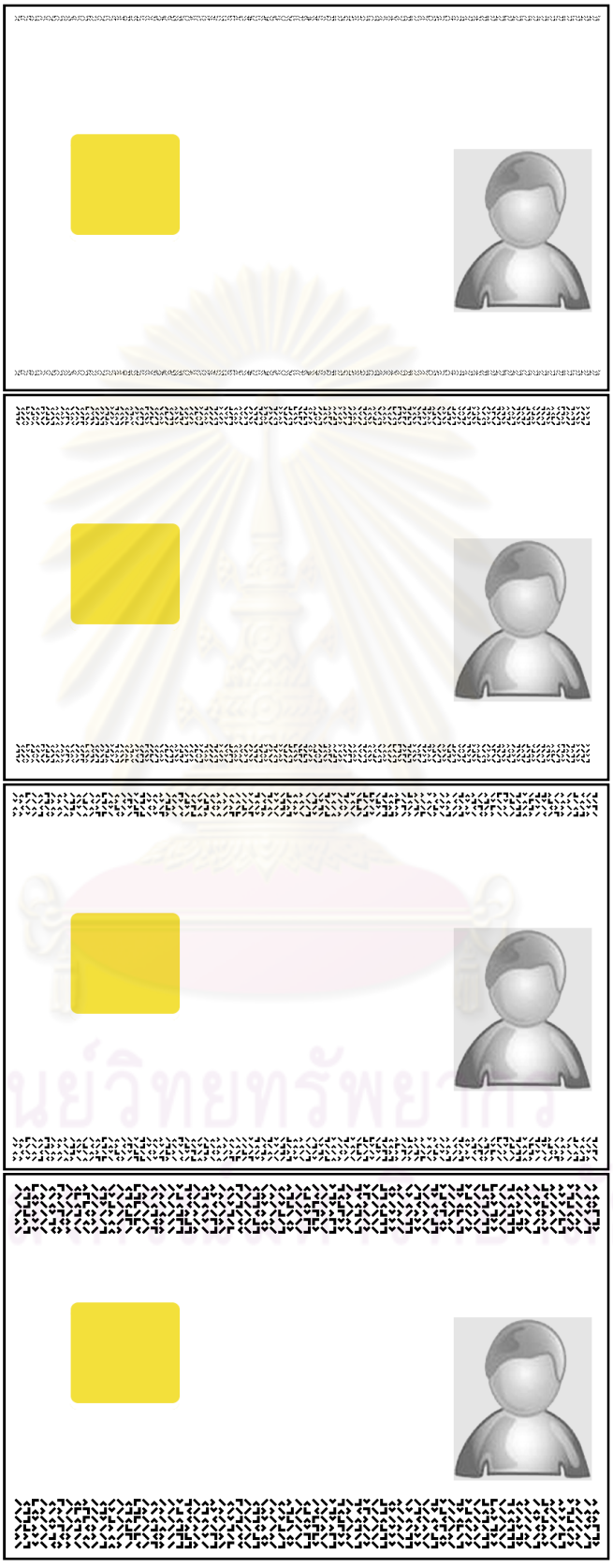
8483921483815^พันเอก^ทนงศักดิ์^ตุวินันทน์^17062515^12082554^16062560^129/220 ม.2 ถ.สายอ้อมเมือง ต.ป่าแดด อ.เมือง จ.เชียงใหม่^นายวิชัย ศรีขวัญ



9444321432709^นาย^พงศ์ธร^จำปาน้อย^17032516^22092550^16032556^44/2 หมู่ 6 ถ. รังสิต-นครนายก ต.บึงน้ำรักษ์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี^นายวิชัย ศรีขวัญ

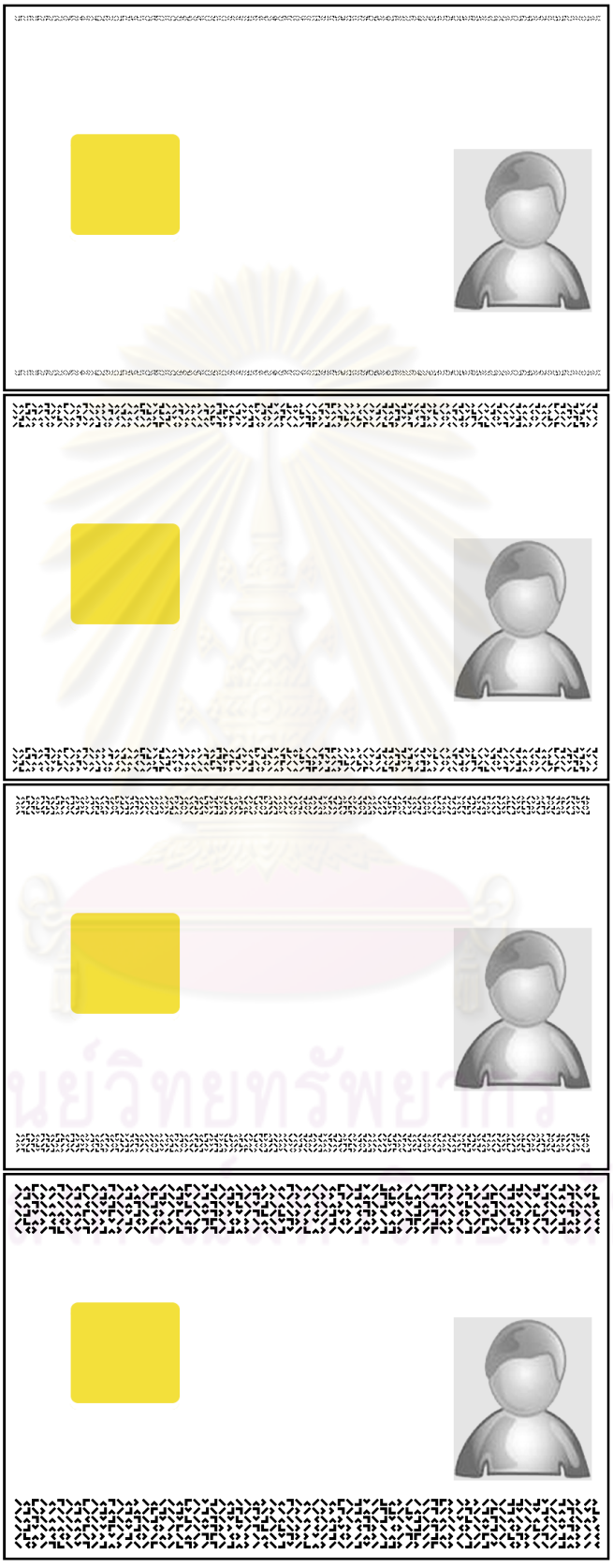


9843921483421^นาย^ประเสริฐ^วิทยาภัทร์^10042517^29092551^09042557^400 ถ. มิตรภาพ ต.โพธิ์ชัย อ.เมือง จ.หนองคาย^นายวิชัย ศรีขวัญ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9898439124839^นางสาว^พิพาพรรณ^พฤกษาโรจนกุล^18082518^08012548^17082554^79/1 ซ.เจดีย์หัก 1 ต.หน้าเมือง อ.เมืองราชบุรี จ.ราชบุรี^นายวิชัย ศรีขวัญ



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประทาน โชติพันธุ์บัณฑิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย