การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box

THE DEVELOPMENT OF PRODUCT LABEL INSPECTION USING BOUNDING BOX TECHNIQUE

ศิริขวัญ กองสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box

ศิริขวัญ กองสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box The Development of Product Label Inspection Using Bounding Box Technique
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวศิริขวัญ กองสิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วิเชียร อูปแก้ว, Ph.D.
ปีการศึกษา	2565

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมชาติ โชคชัยธรรม, D.Eng.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนวย เรืองวารี, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(อาจารย์วิเชียร อูปแก้ว, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภวสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 27 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box
ชื่อ – นามสกุล นางสาวศิริขวัญ กองสิน
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วิเชียร อูปแก้ว, Ph.D.
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตให้ความสำคัญในเรื่องการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ก่อนนำวางจำหน่ายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาวางจำหน่ายจะต้องมีจำนวนสินค้าที่ครบถ้วนตรงตามข้อมูลที่ระบุไว้ข้างกล่อง รวมไปถึงฉลากผลิตภัณฑ์ที่ระบุรายละเอียดต่างๆของสินค้าอย่างชัดเจน ซึ่งในการตรวจสอบรายละเอียดของฉลากบางส่วนยังคงต้องใช้สายตามนุษย์ในการตรวจสอบความถูกต้อง ทำให้เวลาในการทำงานเพิ่มมากขึ้นและเกิดความเมื่อยล้าอาจส่งผลให้การตรวจสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

ในการทดลองใช้ภาพถ่ายฉลากผลิตภัณฑ์จากกล้องโทรศัพท์มือถือ และกล้องอุตสาหกรรม ทั้งหมด 4 แบบ ประกอบด้วย 1) CU label 2) SI label 3) MP label และ 4) PL label ทั้งหมดจำนวน 480 ภาพ ในขั้นตอนการประมวลผลภาพมีลำดับดังนี้ ขั้นตอนแรกนำภาพฉลากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตรวจสอบมาแปลงเป็นภาพไบนารี จากนั้นใช้เทคนิค Bounding box ในการหาค่าความต่างของขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน มาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้าน ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับกับภาพจริง

ผลการทดลองพบว่าโดยเฉลี่ยระบบสามารถให้ความถูกต้องในการตรวจสอบขอบฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ด้วยภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือร้อยละ 95.83 และสามารถตรวจสอบขอบฉลากด้วยภาพจากกล้องอุตสาหกรรมที่มีการวัดระยะห่างของฉลากถึงเลนส์กล้องร้อยละ 96.25 ทั้งนี้การใช้เทคนิคข้างต้นสามารถเปรียบเทียบและตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ได้ ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการตรวจสอบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: ฉลากผลิตภัณฑ์ เทคนิค Bounding Box การหาขอบภาพ

Thesis Title	The Development of Product Label Inspection Using Bounding Box Technique
Name-Surname	Miss Sirikwan Kongsin
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Wichian Ooppakaew, Ph.D.
Academic Year	2022

ABSTRACT

At present, the manufacturing factories emphasis more on product inspection before being sold since the products being sold must have the complete product numbers that meet the information as stated on the box sides including the product label that clearly states the details of the product. Checking the details of some labels still partly requires the human eyes to verify the correctness that increase working time and human fatigue. These can result in errors in the inspection system. The study presents the development of product label inspection using Bounding Box technique to reduce errors and increase product label inspection efficiency.

In the experiment with product label, a total of 480 images taken from a cell phone camera and a total of 4 types of industrial cameras, which consisted of: 1) CU label, 2) SI label, 3) MP label and 4) PL label were employed. The process of image processing were conducted as follows: Firstly, the original images of the label of the product were converted into the binary images to be inspected. The Bounding Box technique was then used to find the distinction value between the inner and outer edges of the four sides of the product labels and subtracted them to find the pixel area of each edge. Finally, the pixel values of the original images with the actual images were compared.

The results showed that the system with the mobile phone camera images of the four types of the product labels was able to provide the edge inspection accuracy of 95.83 percent on average. The label edge can be also inspected with an industrial camera image with distance measurements between the label to the camera lens at the percentage of 96.25. To sum up, using these techniques can compare and inspect product labels. As a result, the inspection period can be reduced and increased the efficiency of product label inspection.

Keywords: product label, Bounding Box technique, edge detection

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.วิเชียร อูปแก้ว ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ามาให้คำปรึกษาตลอดจนคำชี้แนะแนวทาง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ โชคชัยธรรม ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนวย เรืองวารี ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ รวมถึงนายเอกรัตน์ โคตะบุตร เพื่อนของข้าพเจ้าที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาเสมอมา รวมทั้งสถานที่ในการศึกษาค้นคว้าวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ศิริขวัญ กองสิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (4)

กิตติกรรมประกาศ (5)

สารบัญ (6)

สารบัญตาราง (8)

สารบัญรูป (9)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (11)

บทที่ 1 บทนำ 12

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 13

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย 13

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 13

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 13

1.5 ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์ 14

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

2.1 ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์ 15

2.2 การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing) 19

2.3 ภาพสีจริง (RGB Image) 20

2.4 ภาพระดับความเข้มเทา (Intensity Image or Scale Image) 20

2.5 ภาพไบนารี (Binary Image) 21

2.6 คอมพลิเม้นต์ 22

2.7 การหาขอบภาพ (Edge detection) 23

2.8 Bounding Box 25

2.9 กล้องอุตสาหกรรม 26

2.10 ภาพดิจิทัล (Digital Images) 26

2.11 ความละเอียดของกล้อง (Resolution camera) 27

2.12 ระยะโฟกัสของกล้อง 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 33

3.1 การเตรียมชุดข้อมูลภาพ 34

3.2 การหาขอบภาพโดย Bounding box 44

บทที่ 4 ผลการทดลอง 48

4.1 ผลการทดสอบด้วยกล้องโทรศัพท์ 48

4.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องอุตสาหกรรม 51

4.3 สรุป 55

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 56

5.1 สรุปผลการวิจัย 56

5.2 ข้อเสนอแนะ 56

บรรณานุกรม 57

ภาคผนวก 59

ก. โปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ 60

ข. โปรแกรมที่ใช้ในการถ่ายภาพ 63

ค. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 68

ประวัติผู้เขียน 93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ระยะมาตรฐานการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ 36
ตารางที่ 3.2 ระยะห่างการถ่ายภาพของฉลากผลิตภัณฑ์ถึงเลนส์กล้องโทรศัพท์ 38
ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์ 39
ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ) 40
ตารางที่ 4.1 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องโทรศัพท์ 48
ตารางที่ 4.2 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องโทรศัพท์หน่วยมิลลิเมตร 49
ตารางที่ 4.3 ชุดข้อมูลภาพกล้องโทรศัพท์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ 49
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องโทรศัพท์ 49
ตารางที่ 4.5 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรม 51
ตารางที่ 4.6 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรมหน่วยมิลลิเมตร 51
ตารางที่ 4.6 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรมหน่วยมิลลิเมตร (ต่อ) 52
ตารางที่ 4.7 ชุดข้อมูลภาพกล้องอุตสาหกรรมนำมาใช้ในการทดสอบ 52
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์กล้องอุตสาหกรรม 52

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 สติ๊กเกอร์ชนิดกึ่งมันกึ่งด้าน 15
รูปที่ 2.2 สติ๊กเกอร์ชนิดทรานเฟอร์ 16
รูปที่ 2.3 สติ๊กเกอร์ พีพี ซินเทติก 17
รูปที่ 2.4 สติ๊กเกอร์ขาวมัน 17
รูปที่ 2.5 สติ๊กเกอร์โพลีเอสเตอร์ 18
รูปที่ 2.6 สติ๊กเกอร์ Direct Thermal 18
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งพิกเซล 19
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของภาพสี 20
รูปที่ 2.9 ระดับความเข้มเทา 21
รูปที่ 2.10 ภาพระดับความเข้มเทา 21
รูปที่ 2.11 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซล 22
รูปที่ 2.12 การคอมพลิเม้นต์ภาพ 23
รูปที่ 2.13 การหาขอบภาพ 24
รูปที่ 2.14 วิธีการหาขอบของภาพ 24
รูปที่ 2.15 การสร้างสี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ 25
รูปที่ 2.16 กล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 26
รูปที่ 2.17 ระยะโฟกัสของวัตถุ 27
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการประมวลผลฉลากผลิตภัณฑ์ 33
รูปที่ 3.2 ขนาดฉลาก CU label 35
รูปที่ 3.3 ขนาดฉลาก SI label 35
รูปที่ 3.4 ขนาดฉลาก MP label 35
รูปที่ 3.5 ขนาดฉลาก PL label 36
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ 37
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบที่ระยะห่างระหว่างตัวอักษรชิดขอบฉลากผลิตภัณฑ์ 37
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบที่ระยะห่างระหว่างตัวอักษรชิดขอบ
ฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ) 38
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบถ่ายกล้องอุตสาหกรรม 39

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 ผลจากการแปลงภาพไบนารี 45
รูปที่ 3.10 ผลจากการหาขอบภาพ Bounding box 45
รูปที่ 3.11 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง Bounding box 46
รูปที่ 3.12 ผลการเปรียบเทียบของภาพต้นฉบับกับภาพจริง 46
รูปที่ 3.12 ผลการเปรียบเทียบของภาพต้นฉบับกับภาพจริง (ต่อ) 47
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องโทรศัพท์ 50
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องอุตสาหกรรม 53
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องอุตสาหกรรม (ต่อ) 54

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
N	จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน Y
M	จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน X
Y	ค่าระดับสีเทา
R	ค่าสีแดง
G	ค่าสีเขียว
B	ค่าสีน้ำเงิน
W	ความกว้าง
H	ความสูง
R	ค่าที่เก็บไว้สร้างกรอบสี่เหลี่ยมที่อยู่บนสุด
f	ความยาวโฟกัส
s	ระยะเลนส์ถึงวัตถุ
s'	ระยะตัวเลนส์ถึงตัวรับภาพของกล้อง
m	กำลังขยายของเลนส์
I	ขนาดหรือความสูงของภาพ
O	ขนาดหรือความสูงของวัตถุ
$maxX$	จุดสูงสุดบนแกน X (แนวนอน)
$minY$	จุดต่ำสุดบนแกน Y (แนวตั้ง)
$maxY$	จุดสูงสุดบนแกน Y
$minX$	จุดต่ำสุดบนแกน X

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันธุรกิจอุตสาหกรรมทุกแขนงมีการแข่งขันทางการค้าขายที่สูงขึ้น จึงทำให้ผู้ผลิตต้องออกแบบผลิตภัณฑ์ ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าและผลิตสินค้าออกมาอย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มยอดขายให้กับบริษัทได้มีกำไรในการผลิตสินค้าต่างๆเพิ่มมากขึ้น และในการเพิ่มอัตราการผลิตนั้นก็เป็นหัวใจสำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายอื่นๆได้ อีกทั้งผู้ผลิตจึงมีความจำเป็นต้องตระหนักถึงคุณภาพของสินค้า ต้นทุน การลดเวลาในการผลิต เพื่อให้สินค้ามีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว

ในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มีการผลิตสินค้าออกมาหลากหลายรูปแบบ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมานั้นจะต้องมีคุณภาพ และตรงตามความต้องการของผู้บริโภค กระบวนการที่สำคัญในการผลิตคือด้านการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการส่งสินค้าออกไปวางจำหน่าย ในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าจะต้องตรวจสอบ รูปร่างของผลิตภัณฑ์ ฉลากผลิตภัณฑ์ ความครบถ้วนของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงไปในกล่อง เป็นต้น ซึ่งการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์จะต้องตรวจสอบรายละเอียดบนฉลาก เช่น ตัวอักษร บาร์โค้ด ตัวเลข การชิดขอบของตัวอักษรบนฉลากผลิตภัณฑ์ ความสมบูรณ์ครบถ้วนของฉลาก ถ้าในการตรวจสอบมีส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดความผิดพลาดจะต้องดำเนินการแก้ไข ปรับการตั้งค่าเครื่องพิมพ์ฉลากผลิตภัณฑ์ทันที พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของฉลากก่อนนำไปติดบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการตรวจสอบรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์ยังคงจำเป็นต้องใช้สายตาพนักงานในการตรวจสอบความถูกต้อง อาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น เนื่องจากบนฉลากมีตัวอักษร ตัวเลขเป็นจำนวนมาก และรูปแบบของฉลากมีความหลากหลายแตกต่างกัน ส่งผลให้เวลาในการทำงานเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการเกิดความเมื่อยล้าขณะทำงานทำให้พนักงานตรวจสอบชิ้นงานผิดพลาดได้ ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลทางด้านการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จำนวนมากในงานอุตสาหกรรมอาทิเช่น [1] การตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ต้องการ โดยการทดสอบหาขอบในภาพด้วยเทคนิค Sobel edge detector ในการค้นหาตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมของแผ่นป้ายทะเบียน และแบ่งส่วนตัวอักษรในภาพด้วยเทคนิค bounding boxes สุดท้ายประมวลผลภาพการรู้จำของตัวอักษรแต่ละตัวโดยใช้เทคนิคจับคู่แม่แบบ [2] การตรวจสอบป้ายสัญญาณจราจร โดยใช้เทคนิค bounding boxes ในการระบุขอบเขตภาพวัตถุ และใช้เทคนิค DBSCAN ในการหาค่า MinPts ของ

ภาพ เพื่อหาคู่จุดสำคัญบนภาพสำหรับการระบุป้ายสัญญาณจราจร [3] การแก้ไขปัญหาด้านอุตสาหกรรมในส่วนของการตรวจสอบชิ้นงาน โดยการพัฒนาระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ โดยใช้กล้องดิจิทัลขนาด 10 Mpixels และใช้โปรแกรมในการตรวจสอบ [4] การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้กล้อง Web camera จะลำเลียงฉลากเข้าตรวจสอบด้วยสายพานโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ซึ่งการตรวจสอบความบกพร่องของฉลากจะใช้วิธีแปลงภาพเป็นภาพไบนารีและใช้เทคนิค Global และ The adaptive threshold method ในการตรวจสอบ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานของพนักงานที่ใช้ในการตรวจสอบ และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผลิตภัณฑ์ให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามความต้องการของลูกค้าและผลิตสินค้าออกมาได้อย่างรวดเร็ว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

1.2.2 ศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจสอบขอบฉลากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบ

1.2.3 ศึกษาการวัดระยะการถ่ายภาพด้วยกล้องอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Bounding box

1.3.2 สามารถตรวจสอบระยะห่างระหว่างตัวอักษรที่พิมพ์บนฉลากกับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม โดยมีรูปแบบฉลากผลิตภัณฑ์จำนวน 4 แบบ และมีค่าความถูกต้องในการตรวจสอบโดยใช้กล้องโทรศัพท์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 กล้องอุตสาหกรรมไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเทคนิคการประมวลผลภาพ Bounding box ตรวจสอบความถูกต้องของฉลากผลิตภัณฑ์

1.4.1 ศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบ

1.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

1.4.3 ศึกษารายละเอียดของวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการกำหนดขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.4.4 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเทคนิค Bounding box

1.4.5 ออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

1.4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง ตามผลขั้นตอนการทดลอง

1.4.7 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

1.4.8 จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์

1.5.1 ภาพถ่ายที่นำมาใช้ในการฝึกอบรมและทดสอบระบบตรวจจับเป็นภาพที่ได้มาจากกล้องโทรศัพท์ และกล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415

1.5.2 ระยะห่างในภาพถ่ายมีผลต่อการตรวจจับฉลากผลิตภัณฑ์

1.5.3 ระยะห่างการถ่ายภาพจากกล้องถึงฉลากผลิตภัณฑ์ 7 – 26 เซนติเมตร

1.5.4 ฉลากผลิตภัณฑ์มีทั้งหมด 4 รูปแบบ

1.5.5 ข้อมูลในฉลากเป็นข้อมูลที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบประมวลผลภาพ

1.6.2 เพื่อเป็นแนวทางการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนฉลากผลิตภัณฑ์

1.6.3 เพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์โดยใช้สายตามนุษย์

1.6.4 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีไปสู่การใช้งานในกระบวนการตรวจสอบในอุตสาหกรรม

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการประมวลผลภาพที่ใช้ในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ รวมถึงรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ และข้อมูลเกี่ยวกับฉลากผลิตภัณฑ์ ดังนี้

2.1 ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์

ฉลากผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม เนื่องจากฉลากใช้ในการแสดงรายละเอียดข้อมูลของสินค้าแก่ผู้บริโภค ดังนั้นผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ฉลากให้เหมาะสำหรับสินค้ารวมถึงพื้นผิววัสดุ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและคงทนที่สุด ซึ่งประเภทของฉลากสินค้าที่ใช้ในงานพิมพ์สำหรับธุรกิจและอตุสาหกรรมมีดังต่อไปนี้

2.1.1 สติ๊กเกอร์ชนิดกึ่งมันกึ่งด้าน (Semi-gloss)

เป็นฉลากที่มีราคาย่อมเยา งานพิมพ์สวยงาม เหมาะสำหรับฉลากที่ใช้ในงานส่งเสริมการตลาดและฉลากในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น เครื่องสำอางค์เกี่ยวกับเภสัชกรรม การขนส่งและผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น [5]

รูปที่ 2.1 สติ๊กเกอร์ชนิดกึ่งมันกึ่งด้าน

2.1.2 สติ๊กเกอร์ชนิดทรานเฟอร์ (Transfer Sticker)

เป็นฉลากบาร์โค้ดที่พิมพ์ได้คมชัดและสวยงาม ผลิตมาสำหรับเครื่องพิมพ์บาร์โค้ดโดยเฉพาะ มีผิวหน้าที่เรียบเป็นพิเศษเพื่อรองรับการใช้งานดังต่อไปนี้ [5]

1) ใช้ได้กับ Ribbon บาร์โค้ดชนิด Wax และ Wax-Resin
2) เหมาะสำหรับงานพิมพ์บาร์โค้ดที่มีความละเอียดสูง
3) ใช้ได้กับเครื่องพิมพ์บาร์โค้ดที่มีความเร็วต่ำและความเร็วสูง
4) พิมพ์งานสี pre-print ได้เป็นอย่างดี
5) ไม่เลอะง่าย

รูปที่ 2.2 สติ๊กเกอร์ชนิดทรานเฟอร์

2.1.3 สติ๊กเกอร์ พีพี ซินเทติก (PP Synthetic)

ผลิตจาก Polypropylene film ชนิดทึบแสงและมีผิวหน้าที่เรียบด้าน เหมาะสำหรับงานพิมพ์ฉลากบาร์โค้ดที่ต้องการความทนทานสูง กันความชื้นได้ดีและทนทานต่อสารเคมี ฉลาก Synthetic ให้คุณภาพงานพิมพ์บาร์โค้ดที่คมชัด สวยงามด้วยวิธีการพิมพ์แบบธรรมดา อาทิเช่น ฉลากเครื่องสำอางค์ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานห้องน้ำ ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำมันเครื่องยนต์และผลิตภัณฑ์เคมีในครัวเรือน [5]

รูปที่ 2.3 สติ๊กเกอร์ พีพี ซินเทติก

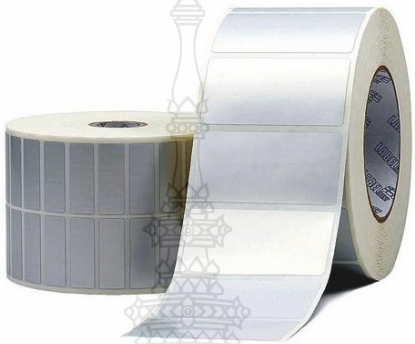
2.1.4 สติ๊กเกอร์ขาวมัน (High Gloss)

ฉลากชนิดนี้จะมีพื้นผิวสีขาวมันเงา ทำให้งานพิมพ์ที่ได้ออกมาสวยงามมากขึ้นเหมาะกับงานประเภท ฉลากผลิตภัณฑ์และฉลากในโรงงานอุตสาหกรรมและฉลากประเภทนี้ยังให้งานพิมพ์สี PerPrinted ที่สวยงามและมีคุณภาพ เช่น ฉลากยา ฉลากเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร เคมีภัณฑ์ และฉลากสินค้าอื่นๆ [5]

รูปที่ 2.4 สติ๊กเกอร์ขาวมัน

2.1.5 สติ๊กเกอร์โพลีเอสเตอร์ (Polyester)

ฉลากชนิดนี้มีสีเงินและสีขาว ผิวหน้าเรียบ ด้านหรือเรียบมัน ผลิตจาก Polyester Film คุณสมบัติคือฉีกไม่ขาด ทนอุณหภูมิสูง ทนทาน ทึบแสงและทนต่อสารเคมี เหมาะกับงานพิมพ์ประเภทฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ [5]



รูปที่ 2.5 สติ๊กเกอร์โพลีเอสเตอร์

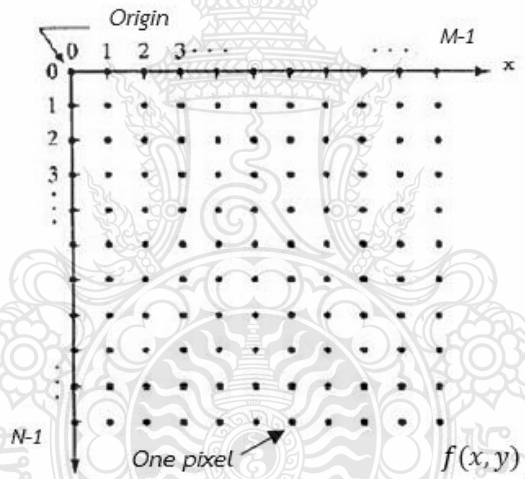
2.1.6 สติ๊กเกอร์ Direct Thermal

สติ๊กเกอร์แบบความร้อนที่ไม่ต้องใช้หมึกพิมพ์ ในตัวกระดาษจะมีเคมีที่จะเกิดสีเมื่อโดนความร้อนในปริมาณที่พอเหมาะ โดยหัวพิมพ์มีตัวกำเนิดความร้อนจะทำหน้าที่ส่งความร้อนมาที่กระดาษทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้สีของกระดาษเปลี่ยนแปลง นิยมใช้ในงานที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น สินค้าบริโภคต่างๆ [5]

รูปที่ 2.6 สติ๊กเกอร์ Direct Thermal

2.2 การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิตอล เป็นการนำข้อมูลภาพมาแปลงให้อยู่ในข้อมูลแบบดิจิตอล โดยจะนำข้อมูลนี้มาผ่านกระบวนการต่างๆด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในภาพดิจิตอลจะประกอบด้วยจุดของภาพเล็กๆเป็นจำนวนมากที่เรียกว่า พิกเซล ซึ่งพิกเซลจะเป็นการรวมกันของความเข้มแสงและความเข้มของสีที่ทำให้เกิดภาพ ซึ่งในแต่ล่ะภาพจะมีความหนาแน่นของค่าพิกเซลที่แตกต่างกัน โดยความหนาแน่นจะเป็นตัวบอกถึงรายละเอียดของภาพซึ่งมีหน่วยเป็น ppi (Pixel Per Inch) คือจำนวนพิกเซลต่อนิ้ว ถ้าภาพมีความละเอียด 300 x 300 ppi ขึ้นไปแสดงว่าภาพนั้นมีความละเอียดสูงและคุณภาพดี ยิ่งภาพที่มีค่า ppi สูงขึ้นจะมีความละเอียดและคมชัดมากขึ้น ซึ่งค่าพิกเซลในภาพดิจิตอลนี้สามารถปรับแต่งเพื่อแสดงภาพที่ต้องการได้ และสามารถนำมาประมวลผลปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้ [6]



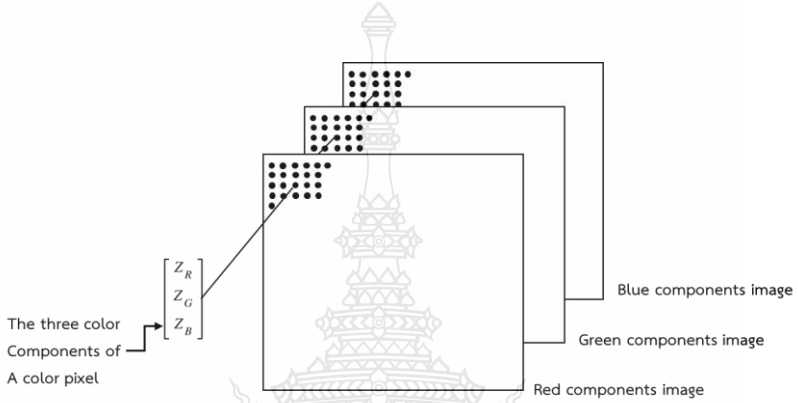
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งพิกเซล

เมื่อ N = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน Y

M = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน X

2.3 ภาพสีจริง (RGB Image)

ระดับภาพสีจริง (True Color Image) หรือ RGB เป็นภาพที่มีระดับความเข้มหรือระดับพิกเซลของภาพ 3 มิติ ซ้อนกันอยู่ ซึ่งประกอบด้วยสี 3 มิติ ได้แก่มิติสีแดง (RED) มิติสีเขียว (GREEN) และมิติสีน้ำเงิน (BLUE) ดังรูปที่ 2.8 ในแต่ล่ะมิติจะมีค่าของระดับพิกเซลที่แตกต่างกันหรือมีระดับความเข้มของสีที่แตกต่างกันรวมเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นระดับของสีอื่นๆที่ใกล้เคียงกันตามลักษณะของการผสมระดับสี [7]

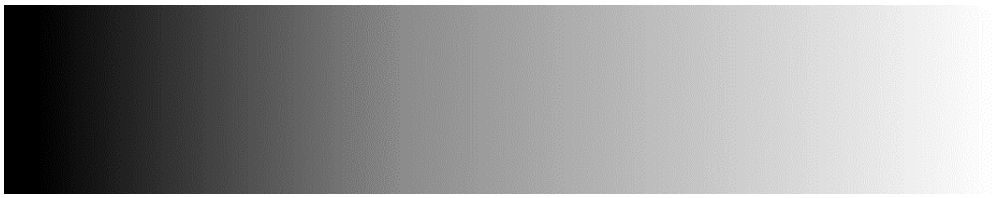


รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของภาพสี

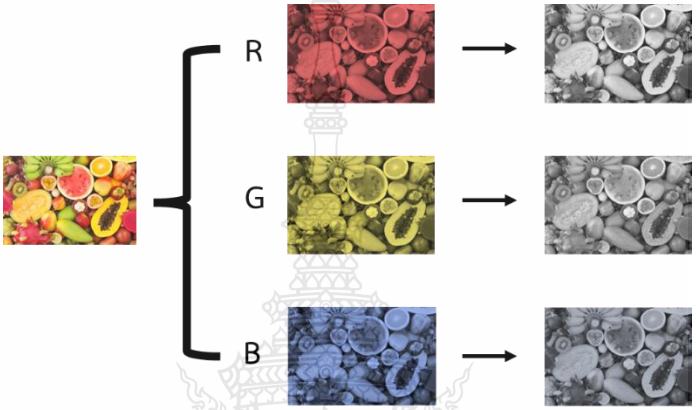
จากรูปที่ 2.8 เป็นองค์ประกอบของภาพระดับสี แสดงขนาด M x N x 3 ของพิกเซลระดับสีแดงสีเขียว สีน้ำเงิน

2.4 ภาพระดับความเข้มเทา (Intensity Image or Scale Image)

ภาพระดับสีเทาเป็นภาพที่แต่ละจุดภาพแสดงถึงความเข้มของสี มีความเข้มของสีในแต่ละระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ระดับสีดำไปยังระดับสีขาวดังที่แสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่าระดับความเข้มของสีโดยใช้ค่าระดับความเข้มเทา (Gray Scale) จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างภาพระดับความเข้มเทา โดยที่ค่าระดับความเข้มเทาในแต่ละจุดภาพสามารถคำนวณได้จากค่าแต่ละจุดของภาพโมเดลสี RGB ดังสมการที่ 2.1 [8]



รูปที่ 2.9 ระดับความเข้มเทา



รูปที่ 2.10 ภาพระดับความเข้มเทา

$$Y(i,j) = 0.3R + 0.59G + 0.11B \tag{2.1}$$

เมื่อ Y แทน ค่าระดับสีเทา

R แทน ค่าสีแดง

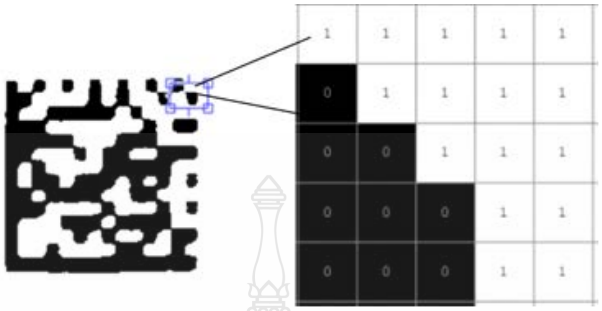
G แทน ค่าสีเขียว

B แทน ค่าสีน้ำเงิน

2.5 ภาพไบนารี (Binary Image)

ภาพไบนารีเป็นการแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับในภาพให้เป็นภาพที่มีความเข้มในแต่ละพิกเซลเพียง 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 ซึ่งพิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 0 จะแสดงจุดภาพสีดำและพิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 1 จะแสดงจุดภาพสีขาว ด้วยความเข้มเพียงสองระดับทำให้การแปลงภาพไบนารีมีความสำคัญในการแสดงผลภาพที่มีความเข้มหลายระดับบนอุปกรณ์ที่สามารถแสดงผลได้เพียง 2 ระดับและยังลดพื้นที่เก็บข้อมูลภาพให้เหลือเพียง 2 บิตทำให้ในการประมวลผลภาพนั้นทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

และในส่วนของการพิจารณาภาพไบนารีในแต่ละพิกเซลจะพิจารณาพิกเซลที่อยู่ติดกันเป็นกลุ่ม ดังรูปที่ 2.11



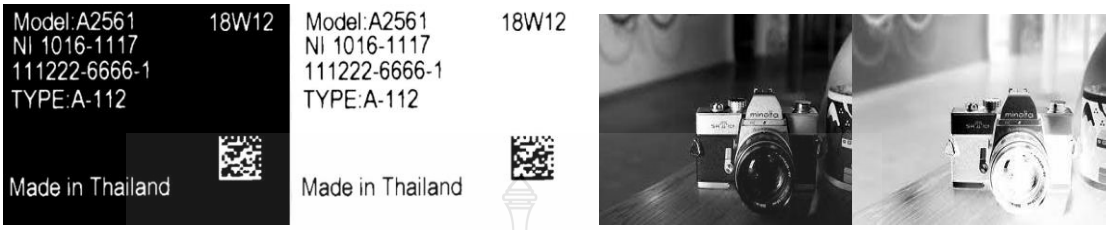
รูปที่ 2.11 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซล

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Technique) ซึ่งเป็นการพิจารณาจุดพิกเซลในภาพว่าจุดใดในภาพเป็นจุดสีขาวหรือสีดำ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ที่เรียกว่า ค่าเทรชโฮล (Threshold Value) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-255 เทคนิคนี้จะใช้ในกรณีที่ข้อมูลภาพมีลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุและพื้นหลัง ซึ่งค่าพิกเซลในภาพที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (จุดดำ) ซึ่งในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮลให้ได้ภาพที่ดีและคมชัดนั้น จะต้องเลือกค่า Threshold ที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าในกรณีที่เลือกค่า Threshold ที่ไม่เหมาะสม เช่น ค่า Threshold มีค่ามากหรือน้อยจนเกินไป ภาพที่ได้นั้นอาจจะมืดเกินไปหรือสว่างเกินไป จนทำให้ภาพขาดความคมชัดและอาจจะทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนขาดหาย จนส่งผลทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจน

2.6 คอมพลิเม้นต์

การคอมพลิเม้นต์เป็นการนำภาพเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพที่ต้องการใช้งานให้ได้ผลลัพธ์ของภาพที่ตรงกันข้ามเช่น การนำภาพไบนารีมาทำการคอมพลิเมนต์ ซึ่งค่าพิกเซลของภาพไบนารีที่มีค่าเท่ากับศูนย์จะมีค่าเปลี่ยนเป็นหนึ่ง และพิกเซลที่มีค่าเท่ากับหนึ่งจะมีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ หรือทำให้ภาพที่เป็นสีดำกลายเป็นสีขาวและภาพที่เป็นสีขาวกลายเป็นสีดำสลับกันดังรูปที่ 2.12 (ก) และในส่วนของการคอมพลิเม้นต์ภาพระดับสีเทาสีของภาพในแต่ละพิกเซลจะหักออกจากค่าพิกเซลที่มีค่าสูงสุด และค่าความแตกต่างของพิกเซลนั้นจะเป็นผลลัพธ์ของภาพที่ออกมา คือบริเวณภาพที่มีความเข้มมากสีจะอ่อนลงและบริเวณภาพที่มีความเข้มน้อยสีของภาพจะเข้มขึ้นดังรูปที่ 2.12 (ข) และในการคอมพลิเม้นต์ภาพ RGB หรือภาพสีที่บริเวณภาพเป็นสีแดงจะกลายเป็นสีฟ้า สีเขียวกลายเป็นสีม่วง

สีเหลืองกลายเป็นสีน้ำเงิน กล่าวคือสีจากค่าของภาพเริ่มต้นที่ได้จะตรงกันข้ามกับภาพผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.12 (ค)



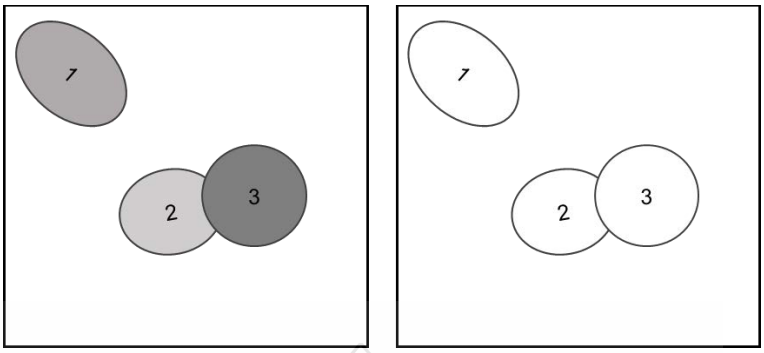
(ก) การคอมพลิเมนต์ภาพไบนารี (ข) การคอมพลิเมนต์ภาพระดับสีเทา

(ค) การคอมพลิเมนต์ภาพสี

รูปที่ 2.12 การคอมพลิเม้นต์ภาพ

2.7 การหาขอบภาพ (Edge detection)

การหาขอบภาพเป็นขั้นตอนวิธีของการวิเคราะห์ภาพโดยอาศัยรูปแบบหรือโครงร่างของวัตถุเพื่อกำหนดขอบเขตระหว่างวัตถุและภาพพื้นหลังอีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดเขตระหว่างวัตถุที่มีการทับซ้อนกันดังในรูปที่ 2.13 ดังนั้นภาพที่ระบุขอบเขตของวัตถุได้ชัดเจนก็สามารถที่จะบ่งบอกถึงขนาดของพื้นที่รูปร่าง และการจัดหมวดหมู่ของวัตถุที่แยกจากวัตถุอื่น เส้นขอบที่ถูกสร้างขึ้นโดยรอบของทั้งสามวัตถุซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการแบ่งส่วนของภาพซึ่งการประมวลผลต่อไปสามารถกำหนดชนิดของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในพื้นที่ของภาพ [8]



รูปที่ 2.13 การหาขอบภาพ

2.7.1 วิธีการการหาขอบภาพ (Edge Detection Methods)

การหาขอบภาพ เป็นการตรวจสอบขอบภาพให้มีความเด่นชัดมากยิ่งขึ้นจากความแตกต่างของความเข้มแสงในตำแหน่งที่ติดกันจากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่ง โดยความเด่นชัดนั้นขึ้นอยู่กับแสงและความสูง-ต่ำของรอยต่อและลักษณะสีของภาพ ซึ่งสามารถหาขอบภาพโดยวิธีการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Differrential Method) เป็นการหาขอบภาพโดยหาจุดต่ำสุดและสูงสุด โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่าที่เป็นเงาจึงทำให้เส้นที่ได้มีลักษณะชัดเจนจะอยู่ในกลุ่มการแปลงภาพของ Robert ,Prewitt และ Sobel จากนั้นทำการแปลงภาพเป็นภาพสีเทา (Gray Scale) 0-255 ระดับ และนำค่าที่ได้เทียบค่าเทสโฮ จึงได้ขอบภาพของภาพ (Edge) ดังรูปที่ 2.14

(ก) Sobel (ข) Prewitt (ค) Robert

รูปที่ 2.14 วิธีการหาขอบของภาพ [9]

2.8 Bounding Box

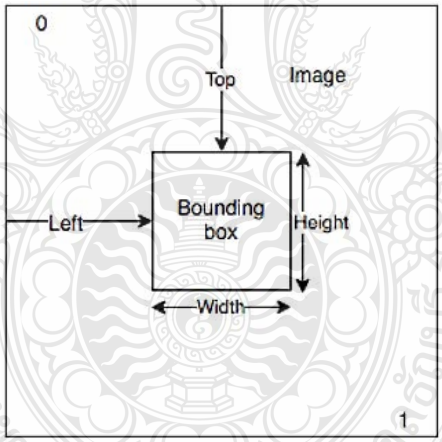
Bounding Box เป็นการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อใช้สำหรับล้อมรอบวัตถุในบริเวณที่ต้องการ ซึ่งการสร้างกรอบสี่เหลี่ยมจะช่วยในการคำนวณจุดศูนย์กลาง พื้นที่ ความยาวแกนเอก-แกนโท จุดพิกัดของบริเวณหรือวัตถุในภาพที่สนใจดังรูปที่ 2.15 ซึ่งในการสร้างกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบวัตถุทั้ง 4 ด้านนั้นจะต้องคำนวณหาจุดพิกัดที่ครอบวัตถุ 4 จุด แล้วนำค่าต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละแกนมาหาความกว้างและความสูง เพื่อที่จะได้กรอบสี่เหลี่ยมที่ครอบวัตถุที่อยู่ขอบบนสุดของภาพ ดังสมการที่ 2.2

$$W = (\ maxX - minX)$$
$$H = (\ maxY - minY)$$
$$R = [minX\ minY\ width\ height] \qquad (2.2)$$

เมื่อ W คือความกว้าง

H คือความสูง

R คือค่าที่เก็บไว้สร้างกรอบสี่เหลี่ยมที่อยู่บนสุด



รูปที่ 2.15 การสร้างสี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ

2.9 กล้องอุตสาหกรรม

กล้องอุตสาหกรรมเป็นกล้องที่ใช้สำหรับถ่ายภาพวัตถุและตำแหน่งของวัตถุสำหรับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ การตรวจสอบคุณภาพของสินค้า เป็นต้น กล้องที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นกล้องอตุสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 ประกอบด้วย เซนเซอร์ CMOS Sony IMX415 ความไว 1000mV/Lux-sec ขนาดพิกเซล 1.45μmx1.45μm และเลนส์ 5-50 mm. Varie-Focal ที่สามารถปรับแสง ปรับระยะโฟกัส และระยะการซูมในการใช้งาน พร้อมมีอุปกรณ์เพิ่มเติมในการใช้งาน เช่น สายเชื่อมต่อ อุปกรณ์ยึด อุปกรณ์ต่อเชื่อม เป็นต้น

รูปที่ 2.16 กล้องอตุสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415

2.10 ภาพดิจิทัล (Digital Images)

ภาพดิจิทัลประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของภาพ ชนิดของภาพ ขนาดของภาพ เป็นต้น ซึ่งภาพดิจิทัลเป็นฟังก์ชันของค่าความเข้มแสงที่แสดงผลเป็นเมตริก 2D ซึ่งสามารถแสดงในรูปฟังก์ชัน $f(x,y)$ โดยที่ f เป็นค่าความเข้มแสงที่จุด x,y และ x,y เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่แทนด้วย pixcel การประมวลด้วยภาพเชิงดิจิทัล ความเข้มแสงของแต่ละตำแหน่งของ pixcel จะแสดงผลเป็นระดับความเข้มของ Gray Scale หรือ Color Scale โดยภาพดิจิทัลจะมีคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความละเอียด (Resolution), Pixel Dimension, Bit Depth และการแสดงสี [3]

2.10.1 ความละเอียด (Resolution) เป็นการปรับระยะการแสดงความละเอียดของภาพดิจิทัล ซึ่งนิยมกำหนดเป็น dot per inch (dpi) หรือ pixels per inch (ppi)

2.10.2 ขนาด pixel (Pixel Dimension) ของภาพดิจิทัลจะแสดงถึงจำนวน pixels ในแกนตั้งและแกนนอน เช่น ภาพดิจิทัลภาพหนึ่งมีค่าความละเอียดเท่ากับ m x n pixels เป็นต้น

2.10.3 การแสดงระดับสีของแต่ละ pixel เป็นการนำระดับความเข้มแสงของแต่ละ pixel ที่สามารถคำนวณได้จากค่า Bit Depth (n) ที่มีค่าความสัมพันธ์ในรูป 2^n เช่น ถ้า Bit Depth, n เท่ากับ 8 หมายความว่า ความเข้มแสงของแต่ละ pixel จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เป็นต้น

2.11 ความละเอียดของกล้อง (Resolution camera)

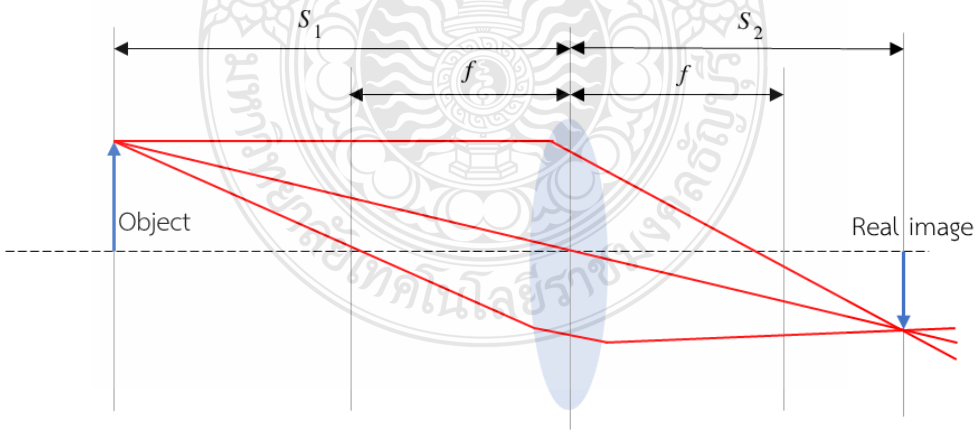
ความละเอียด หมายถึงจำนวนพิกเซล (pixel, Picture Element) ทั้งหมดบนตัวรับภาพ (image detector, Imager) ซึ่งอาจเป็นซีซีดี (CCD-Charge Coupled Device) หรือซีมอส (CMOS-Complementary Metal Oxide Semiconductor) ตัวอย่างเช่น 3.36 ล้านพิกเซล หรือ 2.1 ล้านพิกเซล เป็นต้น ซึ่งจำนวนพิกเซลของตัวรับภาพมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของภาพที่ได้ในด้านรายละเอียดและความคมชัด เนื่องจากกล้องที่มีจำนวนพิกเซลบนตัวรับแสงมากกว่าย่อมจะสามารถบันทึกรายละเอียดของภาพได้มากกว่า ซึ่งการหาค่าละเอียดของกล้องเพื่อต้องการทราบจำนวนพิกเซลที่เพียงพอต่อขนาดของชิ้นงาน ดังสมการที่ 2.3 [3]

$$Resolution = \frac{Image\ FOV}{number\ of\ \ Pixles} \tag{2.3}$$

เมื่อ Resolution คือ ขนาดของภาพ (Field of View, FOV) หารด้วยจำนวน pixel ของประเภทกล้อง

2.12 ระยะโฟกัสของกล้อง

ระยะโฟกัส คือ ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางเลนส์ถึงจุดโฟกัส ซึ่งจุดโฟกัสอยู่ระหว่างกึ่งกลางเลนส์กับตัวรับกล้อง (เซนเซอร์ของกล้อง) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ระยะโฟกัสของวัตถุ

ซึ่งสามารถหาชนิดและตำแหน่งของภาพได้จากสมการที่ 2.4

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \tag{2.4}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัส

s คือ ระยะเลนส์ถึงวัตถุ

s' คือ ระยะตัวเลนส์ถึงตัวรับภาพของกล้อง

และหาขนาดของภาพได้จากกำลังขยาย ดังสมการที่ 2.5

$$m = \frac{I}{O} = \frac{s'}{s} \quad \text{หรือ} \quad I = \frac{O\ x\ s'}{s} \tag{2.5}$$

เมื่อ m คือ กำลังขยายของเลนส์

I คือ ขนาดหรือความสูงของภาพ

O คือ ขนาดหรือความสูงของวัตถุ

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมานี้งานวิจัยนำไปประยุกต์กับการพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยการประมวลผลภาพ นอกจากนี้ยังมีการนำทฤษฎีดังกล่าวไปพัฒนาอย่างหลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในงานวิจัยนั้นๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สรุปและคัดเลือกบทความที่เกี่ยวข้องที่นำเทคนิคดังกล่าวไปพัฒนาตัวอย่างต่อไปนี้

2.13.1 ในงานวิจัยของ [1] นำเสนอ “Vehicle Number Plate Detection and Recognition using Bounding Box Method” 2016 บทความนี้เป็นบทความที่ตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์โดยมี 4 กระบวนการ คือ ประมวลผลภาพที่ตรวจจับได้,การจำแนกป้ายทะเบียนรถ,การแบ่งส่วน และการจดจำตัวอักษร โดยจะประมวลผลภาพยานพาหนะที่ต้องการล่วงหน้า ที่ถูกถ่ายผ่านกล้องดิจิตอล ซึ่งความสว่างของภาพจะต้องมีการปรับแสง กำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ฟิลเตอร์ ภาพที่ใช้จะแปลงเป็นระดับสีเทา ในการทดสอบจะทำการหาขอบในภาพ จะใช้วิธี Sobel edge detector ในการค้นหาตำแหน่งของแผ่นป้ายทะเบียนกรอบสี่เหลี่ยม การแบ่งส่วนมีบทบาทสำคัญในการจดจำป้ายทะเบียนรถยนต์ ในการรู้จำตัวอักษรที่สมบูรณ์ขึ้นอยู่กับการแบ่งส่วนโดยจะแบ่งกลุ่มตัวอักษรทั้งหมดในภาพโดย

ใช้วิธี bounding boxes สุดท้ายการรู้จำของตัวอักษรแต่ละตัวจะทำโดยวิธีจับคู่แม่แบบ (Template matching) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องการรู้จำป้ายทะเบียนมีค่าความถูกต้อง 93.33%

2.13.2 ในงานวิจัยของ [2] นำเสนอ “Detecting Keypoints for Automated Annotation of Bounding Boxes using Keypoint Extraction” 2020 บทความนี้เป็นบทความการตรวจสอบป้ายสัญญาณจราจรโดยใช้เทคนิค bounding boxes ในการระบุขอบเขตภาพวัตถุในรูปภาพแบบอัตโนมัติ และใช้เทคนิค DBSCAN ประเมินระดับความหนาแน่นของพื้นที่บนป้าย เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทป้ายโดยอัลกอริทึมการจับคู่จุดสำคัญบนภาพ และหาค่า MinPts ของภาพ เพื่อหาจำนวนจุดสำคัญภายในวงกลม เพื่อกำหนดจุดของภาพในการตรวจสอบ

2.12.3 ในงานวิจัยของ [3] นำเสนอ “เครื่องตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ” 2019 บทความนี้เป็นบทความออกแบบ พัฒนาและสร้างชุดตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ โดยใช้กล้องดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 Mpixels และเลนส์ 12,25 mm รวมถึงเลนส์ขยาย 30X-160X ซึ่งขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบมีขนาดไม่เกิน 540 mm x 400 mm โดยโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบจะตรวจวัดความผิดปกติของชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งสามารถวัดพร้อมกันได้ไม่เกิน 5 ตำแหน่ง มีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังนี้ การเตรียมภาพต้นแบบ การกำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบ การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบ และการตรวจสอบชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาสามารถประยุกต์ใช้ในสายการผลิตได้จริง ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้

2.13.4 ในงานวิจัยของ [4] นำเสนอ “Development of a Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using a Web Camera” 2008 บทความนี้เป็นบทความการพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์แบบพกพา ในการตรวจสอบจะตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนฉลาก เช่น ตัวอักษร,ตำแหน่งของการพิมพ์,คราบบนฉลากที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1x0.1 mm และความกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 mm โดยใช้วิธีแปลงภาพเป็นภาพไบนารีและใช้เทคนิค Global และ The adaptive threshold method ในการตรวจสอบ ซึ่งระบบการตรวจสอบฉลากจะถูกลำเลียงด้วยสายพาน โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม และบันทึกภาพด้วยกล้อง Web camera

2.13.5 ในงานวิจัยของ [10] นำเสนอ “An Image Processing Application to Detect Faulty Bottle Packaging” 2017 บทความนี้เป็นบทความ การตรวจสอบความผิดปกติของบรรจุภัณฑ์ขวดน้ำแร่แพ็คหกและแพ็คยี่สิบขวดที่ถูกลำเลียงบนสายพาน โดยใช้กล้องในการตรวจจับบรรจุภัณฑ์ที่ถูกลำเลียงบนสายพาน และประมวลผลภาพโดยใช้วิธีแปลงภาพเป็นภาพไบนารี ใช้เทคนิคการตรวจจับขอบแพ็คน้ำด้วยวิธี Sobel filter และตรวจจับลักษณะวงกลมของฝาขวดเพื่อคำนวณจำนวน

ขวดในบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธี Hough transform เพื่อช่วยลดความผิดพลาดในกระบวนการห่อบรรจุผลิตภัณฑ์

2.13.6 ในงานวิจัยของ [11] นำเสนอ “ระบบตรวจสอบสภาพความบกพร่องของรหัสแท่งของสินค้าแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ” 2011 บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบที่ใช้ตรวจสอบฮาร์ดดิสก์ ในการทดสอบจะตรวจสอบตำแหน่งผลิตภัณฑ์ (ID Label) และฉลากแสดงหมายเลขประจำชิ้นงาน (Serial Number) ในการประมวลผลภาพจะประมวลผลภาพดิจิตอล ตรวจจับบาร์โค้ดบนตัวชิ้นงานซึ่งจะใช้วิธีการ Digitization เป็นการเปลี่ยนแปลงภาพต่อเนื่องให้เป็นภาพเชิงตัวเลข ในการทดสอบจะตรวจสอบขนาดชิ้นงานโดยปรับตำแหน่งอ้างอิงให้ได้ตามมาตรฐาน ระบุระยะขนาดขอบชิ้นงาน ระยะห่างแต่ละจุดที่จะตรวจสอบ ซึ่งจะใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องเพื่อตรวจสอบระยะขอบ การหาขอบภาพจะใช้วิธีการโซเบล จากนั้นจะเปรียบเทียบตำแหน่งจุดของแต่ละแกน ซึ่งในการการหาตำแหน่งของภาพใช้วิธีการ Homogeneous Coordinte เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากโปรแกรม วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานจะเป็นการเปรียบเทียบภาพโดยวิธีการจับคู่กับแม่แบบ ผลการทดลองพบว่าการตรวจสอบด้วยสายตาไม่มีค่ามาตรฐานที่แน่ชัด แต่โปรแกรมสามารถช่วยในการตัดสินใจค่าความผิดพลาดที่น่าจะเกินขอบเขตของมาตรฐานอย่างชัดเจน

2.13.7 ในงานวิจัยของ [12] นำเสนอ “An Efficient Algorithm for Automatic Car Plate Detection & Recognition” 2016 บทความนี้ได้เสนอวิธีการการตรวจหาขอบและการแบ่งส่วนในการดำเนินงาน ขั้นตอนในการทดสอบมีอยู่ 3 ขั้นตอน 1) การตรวจสอบแผ่นป้ายทะเบียนจะหาพื้นที่ของสี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีการตรวจจับขอบของภาพโดยใช้เทคนิค Canny edge detection 2) การแบ่งส่วนของตัวอักษร จะใช้วิธีการ bounding boxes 3) การรู้จำตัวอักษร จะใช้เทคนิคที่ใช้ในการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของภาพมาต่อกันเป็นการจับคู่แม่แบบ (Template matching) ภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพถ่ายป้ายทะเบียนรถยนต์หลายๆภาพในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของอัลกอลิทึมที่ใช้งานจริง ซึ่งผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำถึง 97 %

2.13.8 ในงานวิจัยของ [13] นำเสนอ “การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์” 2010 บทความนี้ได้เสนอการสร้างเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้กล้อง Dino-Lite Digital Microscope รุ่น AM-311 ในการตรวจสอบและสร้างอุปกรณ์จับยึดอุปกรณ์หมุนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับตรวจสอบจำนวน 6 ด้าน เพื่อให้เคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการถ่ายรูป และใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ โมดูล NI Vision ในการประมวลผลภาพที่มีความสามารถในการตรวจจับขอบ การจับคู่รูปแบบ การเปรียบเทียบต้นแบบและหาขนาดของวัตถุจากภาพ

2.13.9 ในงานวิจัยของ [7] นำเสนอ “การรู้จำตัวอักษรแผ่นป้ายทะเบียนด้วยเทคนิคการรู้จำตัวอักษรด้วยแสงร่วมกับเทคนิคการหาค่าที่ใกล้เคียงโดยแสดงผลเป็นเสียงพูด” 2018 บทความนี้ได้เสนอระบบสามารถรู้จำตัวอักษรบนแผ่นป้ายทะเบียนด้วยเทคนิคการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง (OCR) กรณีที่แผ่นป้ายรถยนต์ทำมุมกล้องถ่ายภาพมุมเอียง โดยมีการทดลอง 3 ส่วน ส่วนที่ 1 การค้นหาตำแหน่งแผ่นป้าย (Location License Plate: IIP) ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงสัมพรรค (Affine Transformation:AT) แก้ไขภาพถ่ายเอียง และ ใช้เทคนิคการค้นหาขอบภาพโซเบล (Sobel Edge) เพิ่มความเข้มของเส้นขอบภาพ จากนั้นแปลงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟ โลยีแบบเปิด (Opening) เพื่อลดสัญญาณรบกวน ส่วนที่ 2 การ รู้จำตัวอักษรพัฒนาโดยเทคนิคการรู้จำด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) และส่วนที่ 3 การแสดงผลของการเปรียบเทียบตัวอักษรที่ได้จากการรู้จำกับฐานข้อมูลเสียงแสดงผลเป็นเสียงข้อมูลของผู้ใช้รถและสัญญาณเสียง

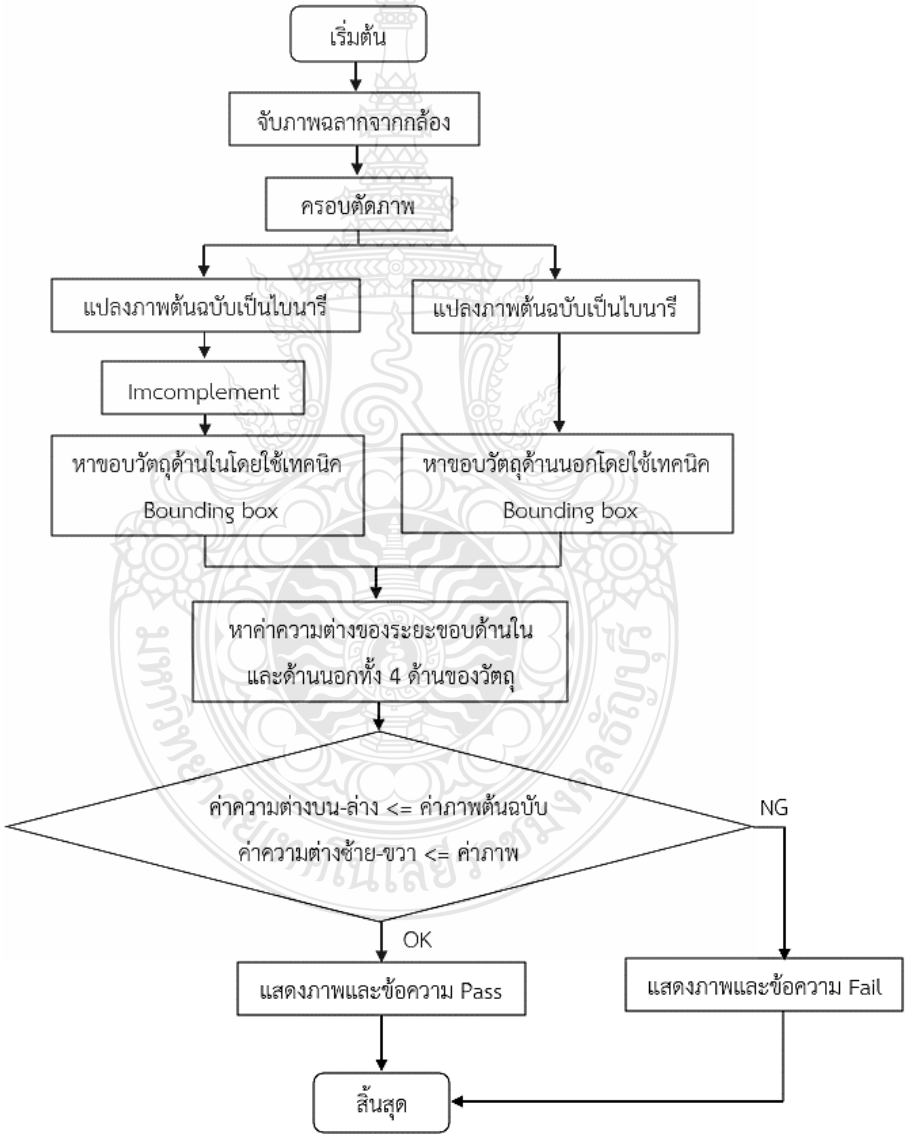
2.13.10 ในงานวิจัยของ [14] นำเสนอ “การพัฒนาระบบตรวจสอบป้ายทะเบียนรถด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพวิดีโอ” 2014 ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบอักษรและตัวเลขแถวบนของป้ายทะเบียนรถที่ผ่านเข้าออกบริเวณที่กำหนด ในการพัฒนาระบบจากลำดับภาพวิดีโอจะทำการตรวจหาพื้นที่สี่เหลี่ยมในเฟรมภาพโดยใช้ตัวกรองภาพแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบขนาดเล็ก (Mask) แล้วแปลงภาพเป็นระดับขาวเทา (Gray scale) ส่วนที่เป็นป้ายทะเบียนรถตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี (Canny Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ โดยพิจารณาเส้นขอบที่เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมที่คาดว่าจะเป็นแผ่นป้ายทะเบียนจากพื้นที่สี่เหลี่ยม แล้วทำการตัดภาพบริเวณที่เป็นกรอบป้ายทะเบียนรถ เพื่อตรวจหาตัวอักษรและตัวเลขในกรอบป้ายทะเบียนด้วยการหาเส้นขอบของกลุ่มตัวอักษรและตัวเลข จากนั้นทำการแยกบริเวณตัวอักษรและตัวเลขแต่ละตัวมาวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชัน cvSetImageROI ( ) จากนั้นนำตัวอักษรและตัวเลขแต่ละตัวเปรียบเทียบกับแม่แบบ (Template Matching) แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบไปจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องการรู้จำป้ายทะเบียนมีค่าความถูกต้องมากกว่า 80%

2.13.11 ในงานวิจัยของ [15] นำเสนอ “การตรวจจับวัตถุต้องสงสัยด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล” 2012 บทความนี้นำเสนอการตรวจจับวัตถุต้องสงสัยด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล เป็นการพัฒนาระบบการทำงานพื้นฐานของการบันทึกภาพ ตั้งค่าพื้นฐาน (เวลา ในการบันทึก ชื่อไฟล์ที่ใช้จัดเก็บข้อมูล) นำมาทำการประมวลผลภาพดิจิตอล และทำการส่งเสียงเตือนว่าพบวัตถุต้องสงสัย โดยการทดลองจะนำวัตถุสงสัยแต่ละแบบมาเปรียบเทียบวิธีในการหาขอบภาพว่าวิธีใดสามารถตรวจสอบหาขอบได้อย่างชัดเจน ซึ่งการทดลองเลือกใช้แบบ Sobel method เพราะว่าเป็นแบบที่มีความชัดเจนของเส้นขอบไม่หนาและละเอียดเกินไปเพื่อที่จะนำมาหาวัตถุต้องสงสัย จากนั้นหาตำแหน่งของภาพ

เป้าหมายโดยการทำ Correlation โดยการนำภาพต้นฉบับมาทำการ Correlation กับภาพเป้าหมาย เพื่อหาตำแหน่งของภาพเป้าหมายและทำการ mask จุดในภาพต้นฉบับตรงส่วนที่เป็นเป้าหมาย แล้วทำการหาตำแหน่ง ระบบสามารถวิเคราะห์วัตถุและแจ้งเตือนได้ถูกต้องเมื่อพบวัตถุเพียงชิ้นเดียว

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ศึกษาการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบซึ่งในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) ถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ 2) ถ่ายภาพด้วยกล้องอุตสาหกรรม และมีขั้นตอนในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเตรียมชุดข้อมูลภาพ 2) การเปรียบเทียบภาพฉลากผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการประมวลผลฉลากผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการประมวลผลอับดับแรกคือการถ่ายภาพด้วยกล้อง และนำภาพฉลากผลิตภัณฑ์ที่ถ่ายทั้งหมด 4 แบบ ประกอบด้วย 1) CU label 2) SI label 3) MP label และ 4) PL label มาครอบตัดภาพเพื่อเข้าขั้นตอนการประมวลผลภาพ โดยการนำภาพต้นฉบับมาแปลงเป็นภาพไบนารี ซึ่งค่า Threshold ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.4 จากนั้นใช้เทคนิค Bounding box ในการหาขอบวัตถุ ซึ่งการหาขอบภาพด้านในของฉลากผลิตภัณฑ์จะต้องทำการอิมคอมพลิเม้นต์ เนื่องจากเทคนิค Bounding box จะตรวจจับวัตถุที่มีค่าเป็นสีขาว ซึ่งตัวฉลากผลิตภัณฑ์มีตัวอักษรเป็นสีดำ และพื้นเป็นสีขาว ถ้าไม่ทำการอิมคอมพลิเม้นต์ก็จะสามารถตรวจจับได้แค่ขอบด้านนอกเพียงอย่างเดียว การอิมคอมพลิเม้นต์จึงเป็นการเปลี่ยนค่าพิกเซลของภาพให้ตรงข้ามกับภาพที่ป้อนเข้าไป จากนั้นหาค่าความต่างของพิกเซลขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน แล้วนำมาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้าน โดยนำค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง ถ้าค่าความต่างบนลบล่าง และซ้ายลบขวา มีค่าน้อยหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นสามารถนำมาใช้งานได้ แต่ถ้าค่าความต่างบนลบล่าง และซ้ายลบขวา มีค่ามากหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นไม่ผ่าน (NG) คือฉลากผลิตภัณฑ์นั้นไม่ได้มาตรฐานและไม่สามารถนำไปใช้งานได้

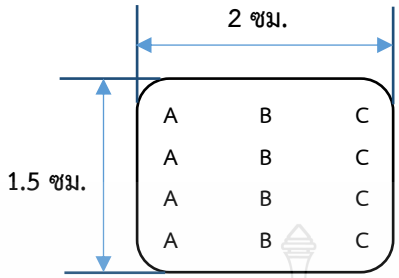
3.1 การเตรียมชุดข้อมูลภาพ

ขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลเป็นส่วนแรกของการดำเนินการวิจัย เพื่อรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และตรวจสอบก่อนนำมาใช้ในการทดสอบตรวจฉลากผลิตภัณฑ์และประมวลผลภาพเพื่อเปรียบเทียบฉลากผลิตภัณฑ์ โดยผู้วิจัยได้ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ และกล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 ด้วยโปรแกรม MATLAB สำหรับตรวจสอบฉลาก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ค่ามาตรฐานในการตรวจสอบ

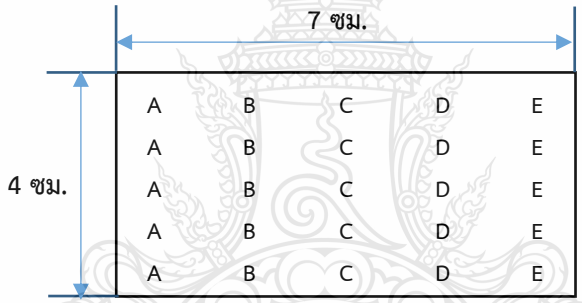
ฉลากผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 4 แบบ ประกอบด้วย 1) CU label 2) SI label 3) MP label และ 4) PL label ซึ่งมีขนาดของชิ้นงาน และระยะมาตรฐานการตรวจสอบฉลากตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

1) CU label มีขนาดความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2



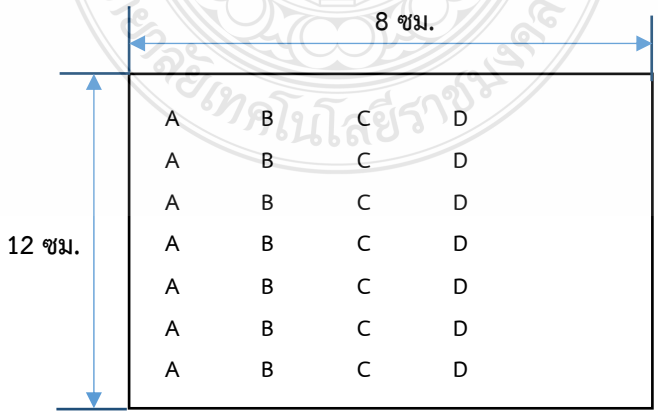
รูปที่ 3.2 ขนาดฉลาก CU label

2) SI label มีขนาดความกว้าง 4 เซนติเมตร ความยาว 7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3



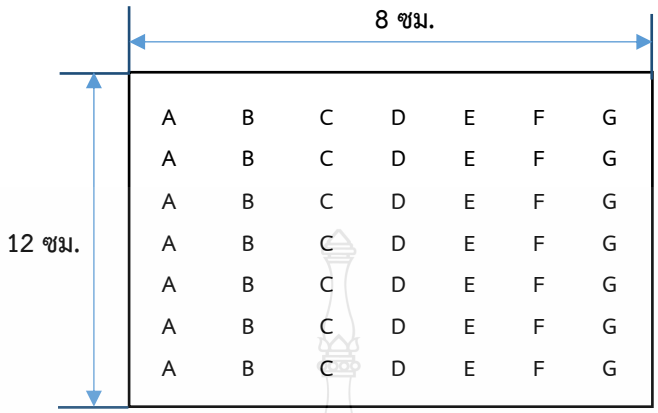
รูปที่ 3.3 ขนาดฉลาก SI label

3) MP label มีขนาดความกว้าง 8 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขนาดฉลาก MP label

4) PL label มีขนาดความกว้าง 8 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขนาดฉลาก PL label

ซึ่งฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ มีระยะมาตรฐานการตรวจสอบระหว่างขอบฉลากถึงตัวอักษร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระยะมาตรฐานการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ระยะระหว่างขอบฉลากถึงตัวอักษร (มิลลิเมตร)			
	ล่าง	บน	ซ้าย	ขวา
CU label	1	1	1	1
SI label	1	1	2	1
MP label	4	5	5	35
PL label	5	4	3	3

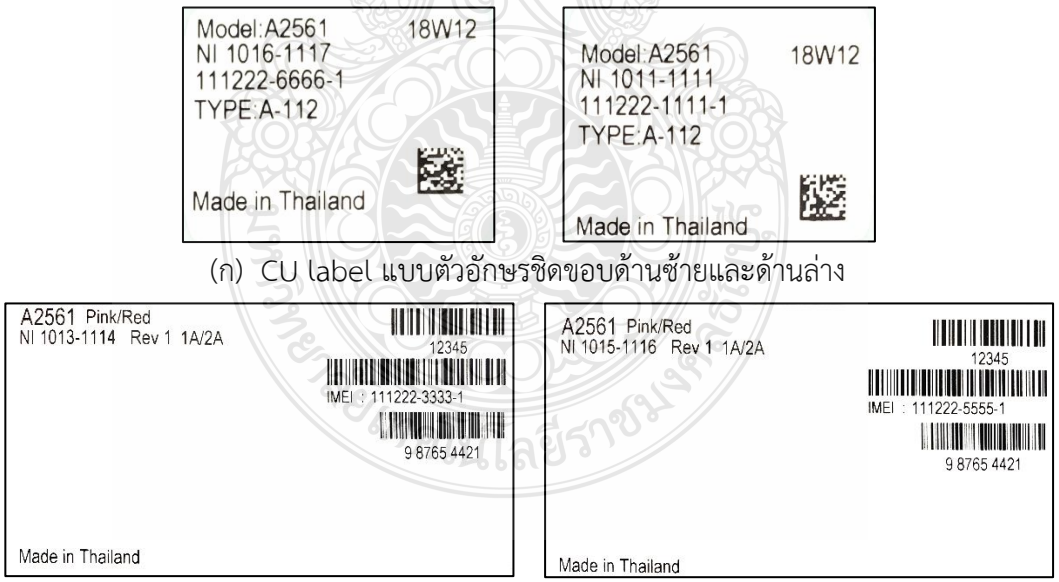
3.1.2 ชุดข้อมูลภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือ

ชุดข้อมูลภาพจะประกอบด้วยภาพถ่ายของฉลากผลิตภัณฑ์ ทั้งหมด 4 แบบ แบบละ 60 ภาพ ซึ่งประกอบด้วย 1) CU label ขนาด 1402x1054 พิกเซล 2) SI label ขนาด 1754x934 พิกเซล 3) MP label ขนาด 1570x1042 พิกเซล และ 4) PL label ขนาด 1570x1042 พิกเซล ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งฉลากผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานจะต้องมีระยะตามตารางที่ 3.1 และในแต่ละภาพที่นำมาทดสอบจะมีความแตกต่างกันของระยะห่างระหว่างตัวอักษรกับขอบฉลากผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีระยะการถ่ายภาพของฉลากผลิตภัณฑ์ในแต่ละแบบตามตารางที่ 3.1

(ก) CU label (ข) SI label

(ค) MP Label (ง) PL Label

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ



(ก) CU label แบบตัวอักษรชิดขอบด้านซ้ายและด้านล่าง

(ข) SI label แบบตัวอักษรชิดขอบด้านบนและด้านขวา

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบที่ระยะห่างระหว่างตัวอักษรชิดขอบฉลากผลิตภัณฑ์

(ค) MP label แบบตัวอักษรชิดขอบด้านล่างและด้านซ้าย

(ง) PL label แบบตัวอักษรชิดขอบด้านซ้ายและด้านบน

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบที่ระยะห่างระหว่างตัวอักษรชิดขอบฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ซึ่งมีระยะการถ่ายภาพของฉลากผลิตภัณฑ์ในแต่ละแบบตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระยะห่างการถ่ายภาพของฉลากผลิตภัณฑ์ถึงเลนส์กล้องโทรศัพท์

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	CU label	SI label	MP label	PL label
ระยะห่างกล้อง (เซนติเมตร)	7	8	12	12

3.1.2 ชุดข้อมูลภาพจากกล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415

ชุดข้อมูลภาพนี้เป็นการบันทึกภาพด้วยกล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะประกอบด้วยภาพถ่ายของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบ แบบละ 60 ภาพ ซึ่งประกอบด้วย 1) CU label ขนาด 368x275 พิกเซล 2) SI label ขนาด 1145x608 พิกเซล 3) MP label ขนาด 592x895 พิกเซล และ 4) PL label ขนาด 592x895 พิกเซล ดังรูปที่ 3.8 และมีการวัดระยะห่างจากฉลากถึงเลนส์กล้องเพื่อหาโฟกัสของภาพที่ชัดเจน

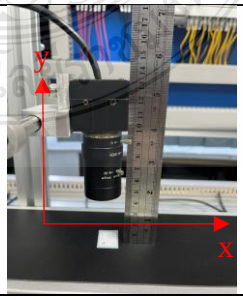
(ก) CU label (ข) SI label

(ค) MP Label (ง) PL Label

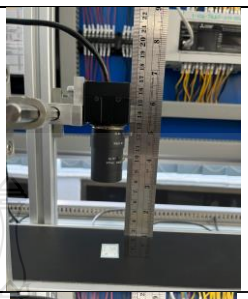
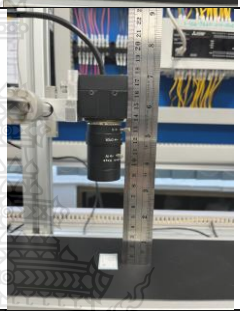
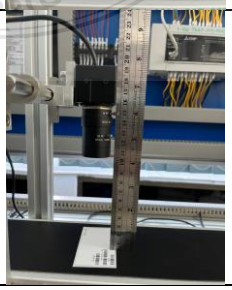
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบถ่ายกล้องอุตสาหกรรม

ซึ่งการถ่ายภาพด้วยกล้องอุตสาหกรรมเป็นการตั้งกล้องทำมุมกับแกน y ที่ 0 องศา และปรับเลื่อนกล้องให้มีระยะห่างการถ่ายภาพจากฉลากถึงเลนส์กล้องให้ได้ภาพที่ชัดเจนตามตารางที่ 3.3

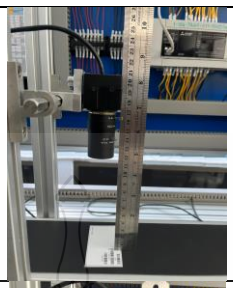
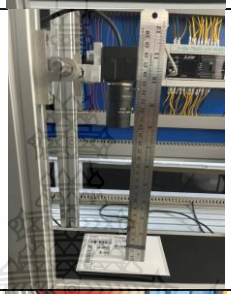
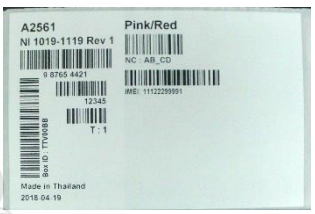
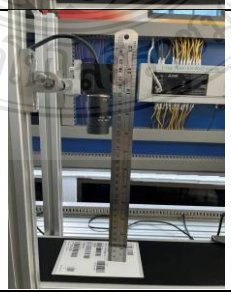
ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	**ระยะห่างกล้อง (เซนติเมตร)**	**ภาพถ่ายการตั้งกล้อง**	**ภาพถ่ายฉลาก**
CU label	4.5		

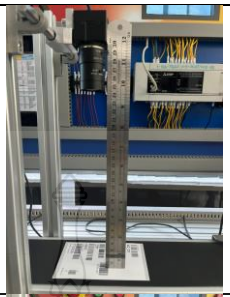
ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ระยะห่างกล้อง (เซนติเมตร)	ภาพถ่ายการตั้งกล้อง	ภาพถ่ายฉลาก
CU label	8		
	8.5		
	10		
SI label	10		
	10.5		

ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ระยะห่างกล้อง (เซนติเมตร)	ภาพถ่ายการตั้งกล้อง	ภาพถ่ายฉลาก
SI label	12		
MP Label	20		
	24.5		
	25.5		
PL Label	20		

ตารางที่ 3.3 ระยะห่างในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ระยะห่างกล้อง (เซนติเมตร)	ภาพถ่ายการตั้งกล้อง	ภาพถ่ายฉลาก
PL Label	24.5		
	25.5		

จากตารางที่ 3.3 พบว่าระยะในการถ่ายภาพฉลากผลิตภัณฑ์มีผลต่อความคมชัดและความละเอียดของภาพ ซึ่งระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ CU label คือ 8.5 เซนติเมตร , SI label คือ 10.5 เซนติเมตร , MP Label และ PL Label คือ 24.5 เซนติเมตร

เนื่องจากการหาระยะโฟกัสของกล้องที่ผู้วิจัยนำมาทดสอบไม่สามารถทราบค่าความยาวโฟกัสที่แน่นอนได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ทฤษฎีเลนส์หาจุดโฟกัสของกล้องจากสมการที่ 2.4

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}$$

เมื่อกำหนดให้ s' คือ ระยะโฟกัสของกล้องต่ำสุด 5 มิลลิเมตร หรือ 0.5 เซนติเมตร

s คือ ระยะห่างจากกล้องถึงฉลากที่ทำให้ภาพชัดเจนมากที่สุด 26.5 เซนติเมตร

แทนค่าสมการ $$\frac{1}{f}=\frac{1}{26.5}+\frac{1}{0.5}$$

$$\frac{1}{f}=2.038$$

$$f = 0.49\ cm$$

เมื่อทราบจุดโฟกัสสามารถหาระยะโฟกัสของกล้องได้ เพื่อตรวจสอบระยะโฟกัสที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ได้แก่ 0.5 เซนติเมตร โดยผู้วิจัยได้ทดสอบอีกครั้งโดยการนำระยะห่างของ CU Label 8.5 เซนติเมตร มาคำนวณตามสมการ

แทนค่าสมการ $\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$

$$\frac{1}{s'} = 2.04 - \frac{1}{8.5}$$

$$\frac{1}{s'} = 1.92$$

$$s' = 0.52\ cm$$

ดังนั้นจะได้ระยะของกล้องเท่ากับ 0.52 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าระยะโฟกัสของกล้องต่ำสุดที่ผู้วิจัยตั้งไว้

และหาความละเอียดของภาพ เพื่อให้ทราบระยะห่างของกล้องที่สามารถถ่ายภาพได้อย่างคมชัดในระยะที่กำหนด จากสมการที่ 2.3

$$Resolution = \frac{number\ of\ \ Pixles}{Image\ FOV}$$

เมื่อ I คือขนาดของภาพ และหา I ได้จากสมการที่ 2.5

$$I = \frac{O\ x\ s'}{s}$$

เมื่อกำหนดให้ O คือ ขนาดความกว้างฉลากผลิตภัณฑ์ CU Label

s คือ ระยะห่างจากกล้องถึงฉลาก CU Label

แทนค่าสมการ $$I = \frac{1.5 \times 0.52}{8.5}$$

$$I = 0.091\ cm$$

ดังนั้น ขนาดของภาพเท่ากับ 0.091 เซนติเมตร

จากนั้นหาความละเอียดของภาพได้ดังนี้

$$Resolution = \frac{number\ of\ \ Pixles}{Image\ FOV}$$

$$R = \frac{274}{0.091}$$

$$R = 3,010.98$$

ดังนั้น ความละเอียดของภาพ CU Label ที่ระยะห่าง 8.5 เซนติเมตร เท่ากับ 3,010.98 พิกเซล

ซึ่งภาพที่มีจำนวนพิกเซลมากแสดงว่าภาพนั้นมีความละเอียดสูง หากภาพที่มีจำนวนพิกเซลน้อยแสดงว่าภาพมีความละเอียดต่ำ

3.2 การหาขอบภาพโดย Bounding box

ในการตรวจสอบหาขอบฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 นำภาพฉลากผลิตภัณฑ์มาแปลงเป็นภาพไบนารี ซึ่งค่า Threshold ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.4 ถ้าค่าของเทรซโฮลมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดการตรวจจับหาขอบจะเกิดความผิดพลาด มีผลของการแปลงภาพไบนารีดังรูปที่ 3.9

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการแปลงเป็นภาพไบนารี

รูปที่ 3.9 ผลจากการแปลงภาพไบนารี

3.2.2 หาขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิค Bounding box ซึ่งการหาขอบด้านในจะต้องทำการอิมคอมพลิเม้นต์เนื่องจากตัวอักษรเป็นสีดำและพื้นหลังของฉลากเป็นสีขาว ดังรูปที่ 3.10

(ก) ภาพที่ผ่านการหาขอบด้านใน (ข) ภาพที่ผ่านการหาขอบด้านนอก

รูปที่ 3.10 ผลจากการหาขอบภาพ Bounding box

3.3.3 หาค่าความต่างของพิกเซลขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน แล้วนำมาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้านตามสมการที่ 2.2 และแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

$$W = (\ maxX - minX)$$

$$H = (\ maxY - minY)$$

$$R = [minX\ minY\ width\ height]$$

เมื่อ W คือ ความกว้าง

$maxX$ คือ จุดสูงสุดบนแกน X (แนวนอน)

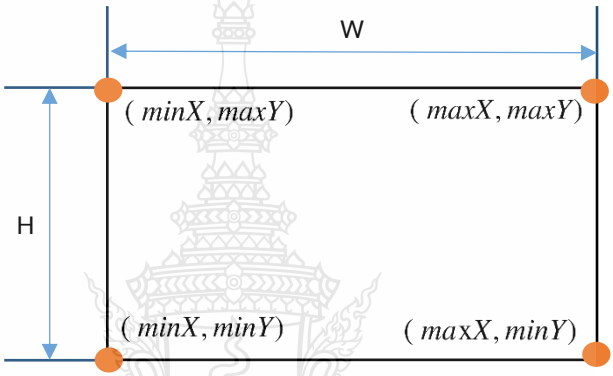
$minY$ คือ จุดต่ำสุดบนแกน Y (แนวตั้ง)

$maxY$ คือ จุดสูงสุดบนแกน Y

$minX$ คือ จุดต่ำสุดบนแกน X

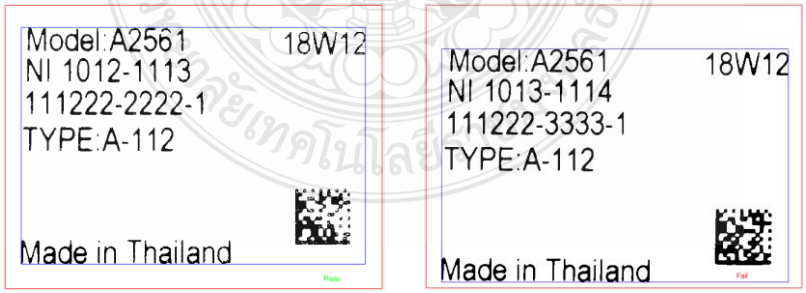
H คือ ความสูง

R คือ ค่าที่เก็บไว้สร้างกรอบสี่เหลี่ยมที่อยู่บนสุด



รูปที่ 3.11 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง Bounding box

ซึ่งในการทดสอบจะได้ค่าความต่างของภาพต้นฉบับ และได้ผลการเปรียบเทียบของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ 3.12



(ก) CU Label ผ่านมาตรฐาน (ข) CU Label ไม่ผ่านมาตรฐาน

รูปที่ 3.12 ผลการเปรียบเทียบของภาพต้นฉบับกับภาพจริง

(ค) SI Label ผ่านมาตรฐาน

(ง) SI Label ไม่ผ่านมาตรฐาน

(จ) MP Label ผ่านมาตรฐาน

(ฉ) MP Label ไม่ผ่านมาตรฐาน

(ช) PL Label ผ่านมาตรฐาน

(ซ) PL Label ไม่ผ่านมาตรฐาน

รูปที่ 3.12 ผลการเปรียบเทียบของภาพต้นฉบับกับภาพจริง (ต่อ)

จากรูปที่ 3.12 พบว่าเกณฑ์การตรวจสอบมาตรฐานฉลาก เป็นการนำค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง ถ้าค่าความต่างบนลบล่าง และซ้ายลบขวา มีค่าน้อยหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นสามารถนำมาใช้งานได้ แต่ถ้าค่าความต่างบนลบล่างและซ้ายลบขวา มีค่ามากหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นไม่ผ่าน (NG) คือฉลากผลิตภัณฑ์ที่มีตัวอักษรชิดขอบด้านบน-ล่าง และชิดด้านซ้าย-ขวา เกินขอบเขตที่กำหนดดังตารางที่ 3.1 และไม่สามารถนำไปใช้งานได้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องสำหรับการประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิค Bounding Box ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบด้วยกล้องโทรศัพท์

ในส่วนของการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการเปรียบเทียบฉลากผลิตภัณฑ์โดยนำภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์เข้ากระบวนการประมวลผลภาพด้วยวิธีการหาขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิค Bounding box แล้วนำเอาค่าความต่างของพิกเซลขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน มาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยการทดลองนี้ได้นำชุดภาพจากกล้องโทรศัพท์จำนวน 240 ภาพ ที่มีลักษณะการชิดขอบแตกต่างกันมาทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดของชุดข้อมูลภาพแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องโทรศัพท์

ชนิดฉลาก	**ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (พิกเซล)**					
ผลิตภัณฑ์	**ล่าง**	**บน**	**ซ้าย**	**ขวา**	**ด้านซ้าย-ขวา**	**ด้านบน-ล่าง**
CU label	84	76	55	58	3	8
SI label	28	25	38	17	21	3
MP label	43	57	60	452	392	14
PL label	60	55	32	46	14	5

จากตารางที่ 4.1 สามารถเทียบค่าผลความต่างของขอบจากพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตรดังตารางที่ 4.2 ซึ่ง 1 พิกเซลเท่ากับ 0.26 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องโทรศัพท์หน่วยมิลลิเมตร

ชนิดฉลาก	ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (มิลลิเมตร)					
ผลิตภัณฑ์	ล่าง	บน	ซ้าย	ขวา	ด้านซ้าย-ขวา	ด้านบน-ล่าง
CU label	22.2	20.1	14.6	15.3	0.8	2.1
SI label	7.4	6.6	10.1	4.5	5.6	0.8
MP label	11.4	15.1	15.9	119.6	103.7	3.7
PL label	15.9	14.6	8.5	12.2	3.7	1.3

ตารางที่ 4.3 ชุดข้อมูลภาพกล้องโทรศัพท์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	CU label	SI label	MP label	PL label
จำนวนชุดข้อมูล (ภาพ)	60	60	60	60

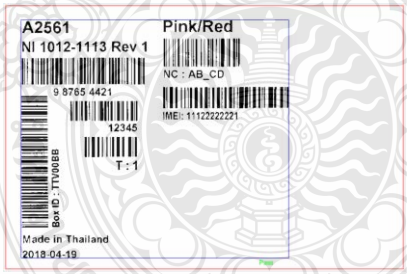
ซึ่งผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์จากการนำค่าของภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง พบว่าอัตราความถูกต้องในการตรวจสอบความถูกต้องของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องโทรศัพท์

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	จำนวน (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
CU label	60	60	100%
SI label	60	59	98.33%
MP label	60	54	90%
PL label	60	57	95%

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3 พบว่าการนำภาพฉลากที่ถ่ายโดยใช้กล้องโทรศัพท์มาตรวจสอบโดยการใช้เทคนิค Bounding box สามารถตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบได้ ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 95.83% จากการทดสอบเปรียบเทียบฉลากผลิตภัณฑ์แสดงภาพผลการทดสอบดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเกณฑ์การตรวจสอบมาตรฐานฉลาก หากค่าพิกเซลการเทียบขอบภาพมีค่าน้อยหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นสามารถนำมาใช้งานได้ (ผ่านมาตรฐาน) แต่ถ้าค่าพิกเซลการเทียบ

ขอบภาพมีค่ามากหรือเท่ากับภาพต้นฉบับแสดงว่าฉลากผลิตภัณฑ์นั้นไม่ผ่านมาตรฐาน คือฉลากผลิตภัณฑ์ที่ชิดขอบด้านบน-ล่าง และชิดด้านซ้าย-ขวา เกินขอบเขตที่กำหนดและไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ภาพต้นฉบับ	ผลการตรวจสอบ
CU Label		
SI Label		
MP Label		
PL Label		

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องโทรศัพท์

4.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องอุตสาหกรรม

ในส่วนของการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการเปรียบเทียบฉลากผลิตภัณฑ์โดยนำภาพถ่ายจากกล้องอุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 เข้ากระบวนการประมวลผลภาพด้วยวิธีการหาขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิค Bounding box แล้วนำเอาค่าความต่างของพิกเซลขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน มาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยการทดลองนี้ได้นำชุดภาพจากกล้องอุตสาหกรรมจำนวน 240 ภาพ ที่มีลักษณะการชิดขอบแตกต่างกันมาทดสอบ ซึ่งในการถ่ายภาพมีการวัดระยะห่างของฉลากถึงกล้องซึ่งในแต่ระยะจะมีค่าความละเอียดของภาพที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดของชุดข้อมูลภาพแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรม

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	**ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (พิกเซล)**					
	ล่าง	**บน**	**ซ้าย**	**ขวา**	**ด้านซ้าย-ขวา**	**ด้านบน-ล่าง**
CU label	22	27	19	15	4	5
SI label	20	18	28	19	9	2
MP label	21	23	25	244	219	2
PL label	16	31	24	21	3	15

จากตารางที่ 4.5 สามารถเทียบค่าผลความต่างของขอบจากพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตรดังตารางที่ 4.6 ซึ่ง 1 พิกเซลเท่ากับ 0.26 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรมหน่วยมิลลิเมตร

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	**ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (มิลลิเมตร)**					
	ล่าง	**บน**	**ซ้าย**	**ขวา**	**ด้านซ้าย-ขวา**	**ด้านบน-ล่าง**
CU label	5.8	7.1	5	4	1.1	1.3
SI label	5.3	4.8	7.4	5	2.4	0.5
MP label	5.6	6.1	6.6	64.6	57.9	0.5

ตารางที่ 4.6 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับกล้องอุตสาหกรรมหน่วยมิลลิเมตร (ต่อ)

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (มิลลิเมตร)					
	ล่าง	บน	ซ้าย	ขวา	ด้านซ้าย-ขวา	ด้านบน-ล่าง
PL label	4.2	8.2	6.4	5.6	0.8	4

ตารางที่ 4.7 ชุดข้อมูลภาพกล้องอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในการทดสอบ

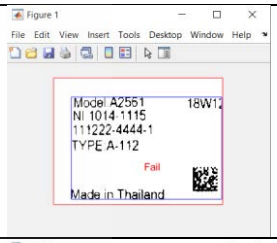
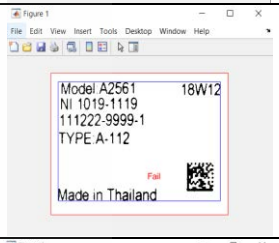
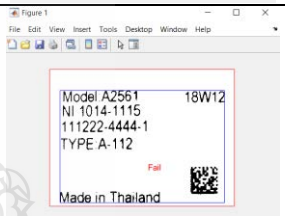
ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	จำนวนชุดข้อมูล (ภาพ)	ระยะห่างการถ่าย (เซนติเมตร)	ความละเอียดภาพ (พิกเซล)
CU label	60	8.5	3,010.98
SI label	60	10.5	3,040
MP label	60	24.5	3,580
PL label	60	24.5	3,580

ซึ่งผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์จากการนำค่าของภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง พบว่าอัตราความถูกต้องในการตรวจสอบความถูกต้องของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.8 และผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2

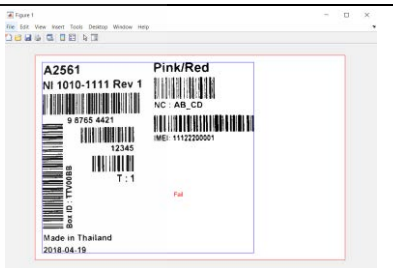
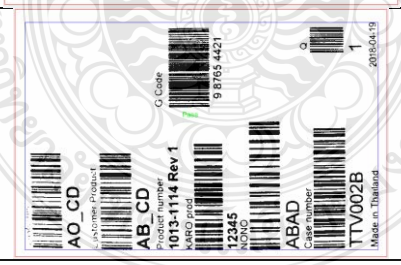
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบฉลากผลิตภัณฑ์กล้องอุตสาหกรรม

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	จำนวน (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
CU label	60	60	100 %
SI label	60	58	96.67%
MP label	60	56	93.33%
PL label	60	57	95%

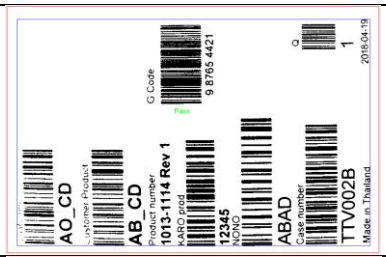
จากผลการทดลองตารางที่ 4.8 พบว่าการนำภาพฉลากที่ถ่ายโดยใช้อุตสาหกรรม Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 มาตรวจสอบโดยการใช้เทคนิค Bounding box สามารถตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบได้ ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 96.25% ซึ่งเหตุเกิดจากค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านมีค่าใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	ภาพต้นฉบับ	ผลการตรวจสอบ
CU label		
		
		
SI label		

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องอุตสาหกรรม

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	ภาพต้นฉบับ	ผลการตรวจสอบ
SI label		
MP label		
		
PL label		

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องอุตสาหกรรม (ต่อ)

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	ภาพต้นฉบับ	ผลการตรวจสอบ
PL label		

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพจริงด้วยกล้องอุตสาหกรรม (ต่อ)

4.3 สรุป

จากผลการทดสอบการตรวจสอบภาพฉลากผลิตภัณฑ์จำนวน 480ภาพ โดยใช้เทคนิค Bounding box ร่วมกับกล้องโทรศัพท์ และกล้องอุตสาหกรรม โดยนำภาพตัวอย่างฉลากผลิตภัณฑ์ที่ถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์ และกล้องอุตสาหกรรมจำนวน 240 ภาพ เข้ากระบวนการตรวจสอบแล้วพบว่าสามารถตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ในแต่ละแบบได้อย่างแม่นยำ โดยการเปรียบเทียบภาพจากกล้อง 2 แบบ ดังนี้ ภาพที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มีค่าความถูกต้องในการตรวจสอบร้อยละ 95.83 ส่วนภาพที่ถ่ายจากกล้องอุตสาหกรรมมีค่าความถูกต้องในการตรวจสอบร้อยละ 96.25 จากการเปรียบเทียบดังกล่าวสรุปได้ว่า การตรวจสอบด้วยเทคนิค Bounding box ด้วยภาพจากกล้องทั้ง 2 แบบให้ค่าความถูกต้องในการตรวจสอบที่ใกล้เคียงกัน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box ซึ่งมีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1) ถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือเป็นการถ่ายภาพในระยะห่างของกล้องที่จับภาพฉลากได้ชัดเจน 2) ถ่ายภาพด้วยกล้องอุตสาหกรรมจะดำเนินการวัดระยะห่างของเลนส์กล้องถึงตัวฉลาก เพื่อหาระยะภาพที่ละเอียดที่สุด ซึ่งในการทดสอบจะใช้ฉลากจำนวน 4 แบบ ประกอบด้วย 1) CU label 2) SI label 3) MP label และ 4) PL label นำมาครอบตัดภาพเพื่อเข้าขั้นตอนการประมวลผลภาพ โดยนำภาพต้นฉบับมาแปลงเป็นภาพไบนารี จากนั้นใช้เทคนิค Bounding box ในการหาขอบวัตถุ ซึ่งการหาขอบภาพด้านในของฉลากผลิตภัณฑ์จะต้องทำการอิมคอมพลิเม้นต์ เนื่องจากเทคนิค Bounding box จะตรวจจับวัตถุที่มีค่าเป็นสีขาว ซึ่งตัวฉลากผลิตภัณฑ์มีตัวอักษรเป็นสีดำ และมีพื้นฉลากเป็นสีขาว หากไม่ทำการอิมคอมพลิเม้นต์จะสามารถตรวจจับได้เฉพาะขอบด้านนอกเพียงอย่างเดียว จากนั้นนำค่าความต่างของพิกเซลขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน นำมาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้าน โดยนำค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง เพื่อตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

จากผลการทดลองการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box ด้วยกล้องกล้องโทรศัพท์มือถือ และกล้องอุตสาหกรรม ทั้งหมดจำนวน 480 ภาพ ให้อัตราค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจสอบฉลากด้วยภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือร้อยละ 95.83 และสามารถตรวจสอบขอบฉลากด้วยภาพจากกล้องอุตสาหกรรมที่มีการวัดระยะห่างของฉลากถึงเลนส์กล้องร้อยละ 96.25

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

5.2.1 เพิ่มจำนวนฉลากผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความหลากหลายของฉลากผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

5.2.2 เลือกกล้องในการถ่ายภาพให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

5.2.3 จำกัดพื้นที่และควบคุมแสงในกระบวนการถ่ายภาพ

5.2.4 เพิ่มเทคนิคในการตรวจสอบเพื่อนำเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการตรวจจับชิ้นงาน

บรรณานุกรม

[1] M. Babu K and M.V. Raghunadh. **Vehicle Number Plate Detection and Recognition using Bounding Box Method**. ICACCCT, 2016, pp. 106-110.

[2] K. Ishizaki, K. Saruta and H. Uehara. **Detecting Keypoints for Automated Annotation of Bounding Boxes using Keypoint Extraction**. CSCI, 2020, pp. 1691-1694.

[3] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, วราคม เนิดน้อย, และคณะ. **เครื่องตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ**, โครงการวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

[4] Y. Shiraishi and F. Takeda. **Development of a Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using a Web Camera**. ISDA, 2008, pp. 382-385.

[5] บริษัท คอมพิวเตอร์ เพอริเฟอรัล แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด. (2560). **ชนิดสติ๊กเกอร์**. สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2562. จาก https://www.labeldd.com/sticker

[6] สุพรรณี ศิริมาก. (2557). **การประมวลผลภาพชิพรีซิสเตอร์ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[7] อนุรักษ์ พรหมโคตร. (2561). **การรู้จำตัวอักษรแผ่นป้ายทะเบียนด้วยเทคนิคการรู้จำตัวอักษรด้วยแสงร่วมกับเทคนิคการหาค่าที่ใกล้เคียงโดยแสดงผลเป็นเสียงพูด**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[8] สารัช ตันติกิตติ. (2559). **การประมวลผลภาพเพื่อบ่งชี้โรคไข้ลือดออกเดงกีจากเม็ดเลือดขาว**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสยาม.

[9] วรวิทย์ เผือกจีน. (2556). **การพัฒนาวิธีการตรวจจับช่องทางเดินรถที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบบน FPGA.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[10] U. Sanver, E. Yavuz, and C. Eyupoglu. **An Image Processing Application to Detect Faulty Bottle Packaging**. IEEE, 2017.

[11] นิตยา สายสวาท,เบญจพร เกียรติไกรวัลศิริ, และเอกสิทธิ์ นวลสุวรรณ. (2551). **ระบบตรวจสอบสภาพความบกพร่องของรหัสแท่งของสินค้าแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] A. Agarwal and S. Goswami. **An Efficient Algorithm for Automatic Car Plate Detection & Recognition**. CICT, 2016, pp. 644-648.

[13] จิตติมา วระกุล. (2553). **การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[14] อัฟฟาน บินอูมา,นูร์รีตา เปาะแมรีซอ,มัสยา บ่อสู และคณะ. (2014). **การพัฒนาระบบตรวจสอบป้ายทะเบียนรถด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพวิดีโอ.** วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 17, 212-220.

[15] สุนิสา เรืองศรี และสุวารี ศรีอำพรรณ. (2552). **การตรวจจับวัตถุต้องสงสัยด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

```
clear

x=imread('G:\PL\3.jpg') ;

y=im2bw(x,0.3);

Y=imcomplement(y) ;

y1=Y(1:end-5,:);

y2=y;

s1=regionprops (y1, 'BoundingBox');

s2=regionprops (y2, 'BoundingBox');

bboxCoords1 = reshape([s1.BoundingBox], 4, []).' ;

bboxCoords2 = reshape([s2.BoundingBox], 4, []).' ;

topLeftCoords1 = bboxCoords1(:,1:2);

topLeftCoords2 = bboxCoords2(:,1:2);

topRightCoords1 = [bboxCoords1(:,1) + bboxCoords1(:,3)
bboxCoords1(:,2)];

topRightCoords2 =[bboxCoords2(:,1)+ bboxCoords2(:,3)
bboxCoords2(:,2)];

bottomLeftCoords1 = [bboxCoords1(:,1) bboxCoords1(:,2) +
bboxCoords1(:,4)];

bottomLeftCoords2=[bboxCoords2(:,1) bboxCoords2(:,2)+
bboxCoords2(:,4)];

bottomRightCoords1=[bboxCoords1(:,1)+ bboxCoords1(:,3)
bboxCoords1(:,2) + bboxCoords1(:,4)];

bottomRightCoords2=[bboxCoords2(:,1)+ bboxCoords2(:,3)
bboxCoords2(:,2) + bboxCoords2(:,4)];

finalCoords1 =[topLeftCoords1; topRightCoords1; bottomLeftCoords1;
bottomRightCoords1];

finalCoords2 =[topLeftCoords2; topRightCoords2; bottomLeftCoords2;
bottomRightCoords2];

minX1=min (finalCoords1(: ,1));

minX2=min (finalCoords2(: ,1));

maxX1=max (finalCoords1(: ,1));

maxX2=max (finalCoords2(: ,1));
```

```
minY1=min (finalCoords1(: ,2));
minY2=min (finalCoords2(: ,2));
maxY1=max (finalCoords1(: ,2));
maxY2=max (finalCoords2(: ,2));
width1 = maxX1 - minX1 ;
width2 = maxX2 - minX2 ;
height1 = maxY1 - minY1 ;
height2 = maxY2 - minY2 ;
dLeft = minX1 - minX2 ;
dRight = maxX2 - maxX1;
dTop = minY1 - minY2;
dButtom = maxY2 - maxY1;
rect1 = [minX1 minY1 width1 height1];
rect2 = [minX2 minY2 width2 height2];
DiffTopButtom = abs(dTop - dButtom);
DiffLeaftRight = abs (dLeft -dRight);
imshow(y) ;
hold on;
rectangle('Position', rect1, 'EdgeColor', 'blue');
%%text(20,30,strcat('\color{yellow}','Height(Inside)=',num2str(
height1)))
%%text(200,30,strcat('\color{yellow}','width(Inside)=',num2str(
width1)))
hold on;
rectangle('Position', rect2, 'EdgeColor', 'red');
%%text(20,30,strcat('\color{blue}','Height(Inside)=',num2str(he
ight2)))
%%text(200,30,strcat('\color{blue}','width(Inside)=',num2str(wi
dth2)))
hold on;
%%text(700,300,strcat('\color{red}','Left
Diff=',num2str(dLeft)))
%%text(700,350,strcat('\color{red}','Right Diff
=',num2str(dRight)))
%%text(700,400, strcat('\color{red}','Top Diff
=',num2str(dTop)))
%%text(700,450, strcat('\color{red}','Buttom Diff =',num2str
(dButtom)))

if(DiffTopButtom <= 16 && DiffLeaftRight <= 4 )
text(200,200,strcat('\color{green}','Pass'))
else
text(200,200,strcat('\color{red}', 'Fail'))
end
```

ภาคผนวก ข.
โปรแกรมที่ใช้ในการถ่ายภาพ

```
function varargout = ImCamCaptureShahid(varargin)
% IMCAMCAPTURESHAHID MATLAB code for ImCamCaptureShahid.fig
%   imaqhwinfo
%   VidObj= videoinput('winvideo',1, 'RGB24_320x240');
%   imaqhwinfo(VidObj)
%  See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help
ImCamCaptureShahid
% Last Modified by GUIDE v2.5 16-May-2013 21:03:08
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn',
@ImCamCaptureShahid_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @ImCamCaptureShahid_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```
% --- Executes just before ImCamCaptureShahid is made visible.
function ImCamCaptureShahid_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ImCamCaptureShahid (see
VARARGIN)
set(handles.PRW,'Visible','off')
% Choose default command line output for ImCamCaptureShahid
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ImCamCaptureShahid wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);


% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = ImCamCaptureShahid_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in Start.
function Start_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Start (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global IA DeviceID Format
IAHI=imaqhwinfo;
IA=(IAHI.InstalledAdaptors);
D=menu('Select Video Input Device:',IA);
if isempty(IA)||D==0
   msgbox({'You dont have any VideoInput Installed
Adaptors!',...
           'OR',...
           'Please! try again and select Adaptor properly.'})
     return
end
```

```
IA=char(IA);
IA=IA(D,:);
IA(IA==' ')=[];
x=imaqhwinfo(IA);
try
DeviceID=menu('Select Device ID',x.DeviceIDs);
F=x.DeviceInfo(DeviceID).SupportedFormats;
nF=menu('Select FORMAT',F);
Format=F{nF};
catch e
   warndlg({'Try Another Device or ID ';...
            'You Donot Have Installed This
Device(VideoInputDevice)'})
    return
end
% --- Executes on button press in Capture.
function Capture_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S CAM;
if(CAM==1)
    CAM=0;
    S=getsnapshot(handles.VidObj);
    closepreview
%     clear VidObj
%     delete  VidObj
     imshow(S,'parent',handles.PRW);
else
   msgbox('Plz! Start Cam First by PUSHBUTTON')
end


% --- Executes on button press in prwbutton.
function prwbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
global IA DeviceID Format  CAM
try
VidObj= videoinput(IA, DeviceID, Format);
handles.VidObj=VidObj;CAM=1;
vidRes = get(handles.VidObj, 'VideoResolution');
nBands = get(handles.VidObj, 'NumberOfBands');
set(handles.PRW,'Visible','off')
axes(handles.PRW)
hImage = image( zeros(vidRes(1), vidRes(2), nBands) );
preview(handles.VidObj, hImage)
catch E
    msgbox({'Configure The Cam Correctly!',' ',E.message},'CAM
INFO')
end
guidata(hObject, handles);
```

```
% --- Executes on button press in SAVE.
function SAVE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SAVE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global CAM
[F,~,NotGet]=imputfile;
S=getimage(handles.PRW);
if(~NotGet&&~isempty(S)&& ~CAM)
    imwrite(S,F)
    msgbox(strcat('Image is saved at :',F))
else
    msgbox('Image is not saved: First CAPTURE IT')
end

% --- Executes when user attempts to close figure1.
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    clear handles.VidObj
    delete (instrfind)
% Hint: delete(hObject) closes the figure
delete(hObject);
```

ภาคผนวก ค.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

EENET
ELECTRICAL ENGINEERING NETWORK 2019
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11
The 11th Conference of Electrical Engineering Network 2019
วันที่ 15-17 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ อำเภอ พระนครศรีอยุธยา
จังหวัด พระนครศรีอยุธยา
Conference Topics
1.ไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power : PW)
2.อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics : PE)
3.พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (Energy and Energy Saving : ES)
4.ระบบควบคุมและการวัด (Control Systems and Instrumentation : CT)
5.คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (Computer and Information Technology : CP)
6.วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร (Electronics Circuit and Communication : EC)
7.นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (Innovation and Invention : IN)
8.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (General Electrical Engineering : GN)
9.หัวข้อพิเศษด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (Special Session on Electrical Engineering : SS)
Training
AD
Didactic Systems
Teachware
UTILITY PLUS
MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better
MEIDEN
Kumwell
GUNKUL
STC

การตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยการประมวลผลภาพ โดยใช้เทคนิค Bounding Box

Inspection of Product Label by Image Processing using Bounding Box Technique

ศิริขวัญ กองสิน[1] วิเชียร อูปแก้ว[2] และ กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล[2]
[1]ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 0-2549-3420 E-mail: sirikwan_k@mail.rmutt.ac.th
[2]ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 0-2549-3420 E-mail: wichian.o@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในด้านการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์นั้นเป็นสิ่งสำคัญจะต้องมีการตรวจสอบรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์ก่อนนำวางจำหน่าย ซึ่งในการตรวจสอบรายละเอียดบางส่วนต้องใช้สายตามนุษย์ในการตรวจสอบความถูกต้อง ทำให้เวลาในการทำงานเพิ่มมากขึ้นและเกิดความเมื่อยล้าอาจส่งผลให้การตรวจสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้แทนสายตามนุษย์ โดยนำเสนอการตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธี Bounding box ซึ่งฉลากผลิตภัณฑ์มีทั้งหมด 4 แบบ จำนวน 120 ภาพ เมื่อนำมาทดสอบผลการทดลองพบว่าเทคนิคดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการตรวจหาขอบวัตถุ 95 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: bounding box, การประมวลผลภาพ ฉลากผลิตภัณฑ์

Abstract

The product label checking is an important process which must be recognized on the details of label before releasing. The checking of partial detail of label by using human-eye is taking a long time to check and caused eye strain problem on operator that affects an error checking in operation. Therefore, this paper proposed applied image processing instead of using human-eyed checking with Bounding box method on 4 types of label and 120 exampled images. According to the testing finding, Bounding box method can detect edges of label correctly with percentage of performance is 95%.

Keywords: Bounding box, Label

1. บทนำ

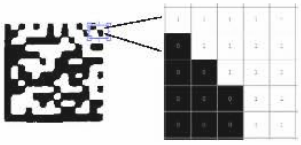
ปัจจุบันการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนการส่งผลิตภัณฑ์ไปวางจำหน่าย การตรวจสอบผลิตภัณฑ์จะต้องตรวจสอบทั้งขนาด รหัสแท่งสินค้า ความถูกต้องในรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพและตรงตามมาตรฐาน จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในด้านการตรวจหาขอบวัตถุ เช่น [1] การตรวจสอบตำแหน่งผลิตภัณฑ์และฉลากแสดงหมายเลขประจำชิ้นงาน ซึ่งจะตรวจจับบาร์โค้ดบนตัวชิ้นงานโดยจะใช้วิธีการ Digitization จากนั้นตรวจสอบขนาดชิ้นงานโดยปรับตำแหน่งอ้างอิงให้ได้ตามมาตรฐาน ระบุระยะขนาดขอบ ระยะห่างแต่ละจุดที่จะตรวจสอบ ในการหาขอบภาพจะใช้วิธีการโซเบลและเปรียบเทียบตำแหน่งจุดของแต่ละแกน [2] วิธีการตรวจสอบอักษรและตัวเลขแถวบนของป้ายทะเบียนรถ การตรวจหาพื้นที่สี่เหลี่ยมในเฟรมภาพจะกรองภาพด้วยวิธีเกาส์เซียนจากนั้นแปลงภาพเป็นระดับขาวเทา ส่วนป้ายทะเบียนรถตรวจหาขอบภาพด้วยวิธี Canny Edge Detection เป็นการหาเส้นรอบวัตถุในภาพ โดยพิจารณาเส้นขอบที่เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมแล้วทำการตัดภาพบริเวณที่เป็นกรอบป้ายทะเบียนรถเพื่อตรวจหาตัวอักษรและตัวเลข [3] วิธีการการตรวจหาขอบและการแบ่งส่วน การทดสอบจะหาพื้นที่ของสี่เหลี่ยมป้ายทะเบียนจะใช้เทคนิค Canny edge detection ในตรวจจับขอบภาพ จากนั้นแบ่งส่วนของตัวอักษรด้วยวิธี bounding boxes และใช้เทคนิคจับคู่แม่แบบในการรู้จำตรวจอักษร [4] การตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ต้องการล่วงหน้าภาพที่ใช้จะแปลงเป็นระดับสีเทา ในการทดสอบจะทำการหาขอบในภาพจะใช้วิธี Sobel edge detector ในการค้นหาตำแหน่งของแผ่นป้ายทะเบียนกรอบสี่เหลี่ยม การแบ่งส่วนตัวอักษรในภาพจะใช้วิธี bounding boxes สุดท้ายการรู้จำของตัวอักษรแต่ละตัวจะทำโดยวิธีจับคู่แม่แบบ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบขอบของฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box ซึ่งมีการออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2. การประมวลผลภาพ

2.1 ภาพไบนารี

ลักษณะของภาพจะถูกตั้งขึ้นในแต่ละพิกเซลจะแสดงค่าไบนารีที่มีขนาด 1 บิต ซึ่งประกอบด้วยค่า 2 ค่าคือ 0 กับ 1 พิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 0 พิกเซลจะแสดงสีดำและพิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 1 พิกเซลจะแสดงสีขาว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพไบนารี

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคเทรสโฮลด์ (Thresholding Technique) ซึ่งเป็นวิธีการแยกส่วนภาพที่สนใจออกจากภาพพื้นหลัง โดยจะเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซลในภาพกับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรสโฮลด์ (Threshold Value) ดังสมการที่ (1)

$$b(x,y) = \begin{cases} 1 & if \quad g(x,y) \geq Th \\ 0 & if \quad g(x,y) < Th \end{cases} \qquad (1)$$

เมื่อ $b(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพผลลัพธ์เป็นภาพแบบไบนารี่. $g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพอินพุทและ Th คือค่าคงที่ Threshold

2.2 คอมพลีเมนต์

เป็นการนำภาพไบนารีมาทำการกลับคอมพลีเมนต์ซึ่งการคอมพลีเมนต์จะแสดงค่าตรงกันข้ามกับภาพ คือค่าพิกเซลที่มีค่าเท่ากับศูนย์จะมีค่าเปลี่ยนเป็นหนึ่ง และพิกเซลที่มีค่าเท่ากับหนึ่งจะมีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ หรือทำให้ภาพที่เป็นสีดำกลายเป็นสีขาวและภาพที่เป็นสีขาวกลายเป็นสีดำสลับกัน ดังรูปที่ 2

(ก) (ข)

รูปที่ 2 ตัวอย่างการแปลงภาพ ก) ภาพไบนารี
ข) ภาพไบนารีที่แปลงเป็นคอมพลีเมนต์

2.3 Bounding box

การสร้างกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบวัตถุทั้ง 4 ด้าน ซึ่งจะต้องคำนวณหาจุดพิกัดที่ครอบวัตถุ 4 จุด แล้วนำค่าต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละแกนมาหาความกว้างและความสูง เพื่อที่จะได้กรอบสี่เหลี่ยมพื้นที่ครอบวัตถุที่อยู่ของกรอบสุดของภาพ ดังสมการที่ (2)

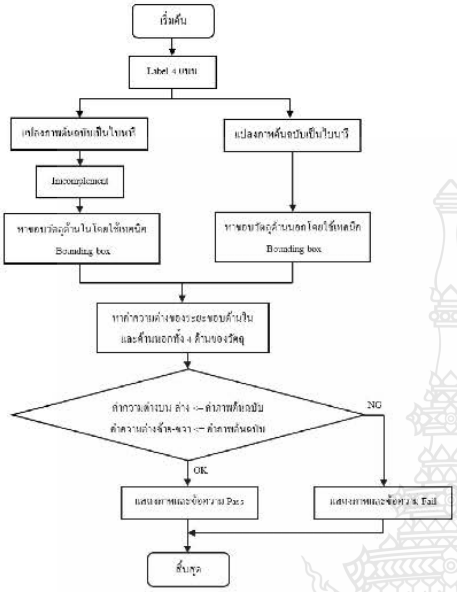
$$\begin{aligned} W &= (maxX - minX) \\ H &= (maxY - minY) \\ R &= [minX\ minY\ width\ height] \end{aligned} \qquad (2)$$

เมื่อ W คือความกว้าง, H คือความสูง และ R คือค่าที่เก็บไว้สร้างกรอบสี่เหลี่ยมที่อยู่บนสุด

รูปที่ 3 การ Bounding box

3. การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้จะใช้ภาพถ่ายจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบ ประกอบด้วย 1) CU label ขนาด 1402x1054 พิกเซล จำนวน 30 ภาพ 2) SI label ขนาด 1754x934 พิกเซล จำนวน 30 ภาพ 3) MP label ขนาด 1570x1042 พิกเซล จำนวน 30 ภาพ และ 4) PL label ขนาด 1570x1042 พิกเซล จำนวน 30 ภาพ ซึ่งถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ มีกระบวนการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองคือการนำภาพต้นฉบับที่ได้จากการตั้งกล้องโทรศัพท์มาถ่ายภาพ จำนวน 120 ภาพ แล้วนำมาแปลงเป็นภาพไบนารี ซึ่งค่า Threshold ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.3 จากนั้นใช้เทคนิค Bounding box ในการหาค่าความต่างของขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน มาเทียบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้าน โดยนำค่าพิกเซลจากภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบค่าต่างของภาพจริง ซึ่งในการทดสอบจะได้ค่าความต่างของภาพต้นฉบับแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับ

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (พิกเซล)					
	ล่าง	บน	ซ้าย	ขวา	ด้านซ้าย-ขวา	ด้านบน-ล่าง
CU label	84	76	55	58	3	8
SI label	28	25	38	17	21	3
MP label	43	57	60	452	392	14
PL label	60	55	32	46	14	5

จากตารางที่ 1 จะพบว่าถ้านำภาพจริงที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของภาพต้นฉบับ ผลที่ได้จากการทดสอบจะไม่ผ่าน (NG) คือฉลากผลิตภัณฑ์นั้นไม่ได้มาตรฐานและไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ก) CU label : OK ข) CU label : NG

ค) SI label : OK ง) SI label : NG

จ) MP label : OK ฉ) MP label : NG

ช) PL label : OK ซ) PL label : NG

รูปที่ 5 ผลการทดลองตรวจสอบขอบฉลากผลิตภัณฑ์

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองนำผลของการตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดแตกต่างกันทั้ง 4 แบบ จำนวน 120 ภาพ ซึ่งมีผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง

ชนิดของฉลากผลิตภัณฑ์	จำนวน (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
CU label	30	30	100%
SI label	30	30	100%
MP label	30	25	83.33%
PL label	30	29	96.67%

จากผลการทดลองตารางที่ 2 พบว่าการใช้เทคนิค Bounding box สามารถตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบได้ ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 95% และมีค่าความผิดพลาด 5% ซึ่งเหตุเกิดจากค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ต้นฉบับ ซึ่งผู้วิจัยจะพิจารณานำปัจจัยนี้มาพัฒนาระบบต่อไป

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้ประโยชน์เทคนิค Bounding box สำหรับการตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในการตรวจสอบจะใช้ฉลากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบ ที่มีขนาดแตกต่างกัน ทั้งความกว้างและความสูง ค่าความต่างของระยะห่างระหว่างขอบด้านในและด้านนอกก็จะแตกต่างกัน ถ้าฉลากผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานจะต้องไม่ชิดขอบใดขอบหนึ่งมากเกินไป ผู้วิจัยจึงทำโปรแกรมที่นำมาตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานมากยิ่งขึ้น โดยเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ 95% ซึ่งข้อผิดพลาดเกิดจากค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านมีค่าใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ดังนั้นในอนาคตจะพัฒนาเรื่องการหาค่าความต่างของขอบวัตถุ และการตรวจสอบเพิ่มเติมในด้านของรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์จะนำมาพิจารณาและประยุกต์ใช้ให้มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพของฉลากผลิตภัณฑ์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] นิตยา สายสวาท,มนัญพร เกียรติไกรวัลลิริ, และเอกสิทธิ์ นวลสุวรรณ. (2551). ระบบตรวจสอบสภาพความบกพร่องของรหัสแท่งของสินค้าแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

[2] อัฟฟาน บินอุมา,นูรีดา เปาะแมรีซอ,มัสยา บ่อสู และคณะ, "การพัฒนาระบบตรวจสอบป้ายทะเบียนรถด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพวิดีโอ", วารสารมหาวิทยาลัยหัวหิน ปีที่ 17, ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ,หน้า 212-220, พฤษภาคม 2257

[3] A. Agarwal and S. Goswami, "An Efficient Algorithm for Automatic Car Plate Detection & Recognition," CICT, 2016,pp. 644-648.

[4] M. Babu K and M.V. Raghunadh, "Vehicle Number Plate Detection and Recognition using Bounding Box Method," ICACCC'1, 2016, pp. 106-110.

สิริขวัญ กองสิน สำเร็จการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี 2559, ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-วิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจคือ การประมวลผลภาพ

วิเชียร ยุปแก้ว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Northumbria University at UK, ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโครงข่ายมาคม, รองหัวหน้าฝ่ายวิชาการและวิจัย และรองหัวหน้าสำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11
The 11th Conference of Electrical Engineering Network 2019 (EENET2019)
ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า
นางสาวศิริขวัญ กองสิน
ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง
การตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยการประมวลผลภาพ โดยใช้เทคนิค Bounding box
ระหว่างวันที่ 15-17 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
ณ โรงแรม กรุงศรี ริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ
ประธานคณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า
จ่าอากาศโท ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ประธานดำเนินงานจัดการประชุมครั้งที่ 11

คณะกรรมการวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

1.	รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	ที่ปรึกษา
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.กาณฑ์ เกิดชื่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	ที่ปรึกษา
3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	ประธานกรรมการ
4.	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
5.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กรรมการ
6.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกวิทย์ หายักวงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กรรมการ
7.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สง่างาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กรรมการ
8.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุดเจือจีน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
9.	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กรรมการ
10.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประหยัด กองสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	กรรมการ
11.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
12.	รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพพานโต สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	กรรมการ
13.	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
14.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิ์ชัย บุญปิยทัศน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
15.	รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ	กรรมการ
16.	รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง — ที่ปรึกษา
   คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร — ที่ปรึกษา
   รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. ผศ.ดร.สุมนมาลย์ เนียมหลาง — ที่ปรึกษา
   รองคณบดีฝ่ายวิจัยพัฒนาและบริการวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4. อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล — ประธานกรรมการ
   หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. อาจารย์วิโรจน์ พิราจเนนชัย — รองประธานกรรมการคนที่ 1
   หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
6. อาจารย์มาโนช ประชา — รองประธานกรรมการคนที่ 2
   หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ — กรรมการ
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ — กรรมการ
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล — กรรมการ
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน — กรรมการ
    สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี ศรีสงคราม — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด สุทธิศักดิ์ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
14. อาจารย์ ดร.วีระ ธันยาภิรักษ์ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
15. อาจารย์ ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
16. อาจารย์ ดร.สุวัฒน์ กิจเจริญวัฒน์ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

17. อาจารย์ ดร.ไพวรรณ เกิดตรวจ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
18. อาจารย์ ดร.กัญจนา ชัยอมฤต — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
19. อาจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ
20. อาจารย์ปฏิวัติ บุญมา — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
21. อาจารย์ณรงค์ นันทกุศล — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
22. อาจารย์มีชัย แจ่มใส — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
23. อาจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
24. อาจารย์ทศพร พรหมสิทธิ์ — กรรมการ
    สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
25. อาจารย์วราภรณ์ ลือใจ — กรรมการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐภัทร พันธ์คง — กรรมการและเลขานุการ
    มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์ ดร.มงคล มีลุน	กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI)
อาจารย์ ดร.อรรถ พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยากร อัศดรวิเศษ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร.ยุทธพงศ์ ทัพผดุง	บริษัท พีอีเอ เอ็นคอม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาตยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุชิต เจริญ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ชัยมูล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์สุรชัย สุขสกุลชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจริต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิบาล พฤกษานุบาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ ดร.ดนุชา ประเสริฐสม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร เลิศวาสนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์สัมพันธ์ พรหมพิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ราชู พันธ์ฉลาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อาจารย์ ดร.พุทธพร เศวตสกุลานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประหยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นชิรัตน์ ราชบุรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐภัทร พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์เกียรติ์ เศวตเมธิกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์องอาจ แสดใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิเชียร อุปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ คชสาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนฑล นาวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ สุดคนึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รองศาสตราจารย์ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัส บุญเทียรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นุกูลเจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ปรัชญา มงคลไวย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ แข็งสาริกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์พิชิต กิตติสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิ์ชัย บุญปิยทัศน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เชยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.นิติกรณ์ ศิบป์ศิริวานิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.คมกฤช บุญยิ่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.บัญชา เหลือแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎาพร สถานทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.อนนท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณพร ทีเก่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิฑูรย์ พรมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ปงลังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิติพงษ์ สมไชยวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.นพดล มณีเทียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมหรรษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล คำปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรายุธ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.พีรพล จันทร์หอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ปรีชา สาคะรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.มาลียา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.เฉลียว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ วสุนธราเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เด่น คอกพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติเดช บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.มงคล ด่านบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกวิทย์ หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธินันท์ ต้นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สง่างาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อิสรีย์ วงศ์ศรีใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ไพวรรณ เกิดตรวจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณะพงศ์ พันธ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.กัญจนา ซัยอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรวัฒน์ บุตรบุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรพิน ชาญนำสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
รองศาสตราจารย์ชาญชัย ทองโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ ร่มพุฒตาล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศักดา สมกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑูร เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาริ์ ธนารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ วงค์ปัญโญ	มหาวิทยาลัยพะเยา

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โษฑศ์รัตต ธรรมบุษดี	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสนี เพียรตระกูล	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐที ถึงสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ รักผกาวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
อาจารย์ ดร.สุธาสินี คุปตะบุตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี พรหมหลวงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยอด สุขะมงคล	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเริง ฮินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อาจารย์ ดร.วฤทธิ์ วิชกูล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราษฎร์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พกิจ สุวัตถิ์	มหาวิทยาลัยสยาม
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเลิศ สื่อเฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง วังศิลาบัตร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางหิน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ศาสตราจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณา

ไฟฟ้ากำลัง (PW)	31	บทความ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)	11	บทความ
พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)	18	บทความ
ระบบควบคุมและการวัด (CT)	11	บทความ
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)	15	บทความ
วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร (EC)	9	บทความ
นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)	28	บทความ
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)	18	บทความ
หัวข้อพิเศษในด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (SS)	4	บทความ
รวมทั้งสิ้น	**145**	**บทความ**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14
The 14th Electrical Engineering Network 2022
EENET
2022
25-27 MAY 2022 Hilton Phuket Arcadia Resort & Spa, Phuket
CONFERENCE TOPICS
1. Electrical Power (PW)
2. Electronics, Circuit and Communication (EC)
3. Power Electronics (PE)
4. Computer and Information Technology (CP)
5. Control Systems and Instrumentation (CT)
6. Digital Signal Processing (DS)
7. Energy and Energy Saving (ES)
8. Innovation and Invention (IN)
9. General Electrical Engineering (GN)
10.Special Session on Electrical Engineering (SS)

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14

16 เมษายน 2565

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ EENET2022
เรียน ศิริขวัญ กองสิน และ วิเชียร อูปแก้ว

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 (The 14th Conference of Electrical Engineering Network : EENET2022) จัดโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในหัวข้อเรื่อง

การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่าบทความดังกล่าวได้ **"ผ่านการพิจารณา"** โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอแบบปากเปล่า (Oral Presentation) ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 (EENET 2022) ระหว่างวันที่ 25 – 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ณ โรงแรมอิลตัน อาร์เคเดีย รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดภูเก็ต แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชระ กัญจนกาญจน์)
ประธานคณะกรรมการดำเนินงาน
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

สำนักงานคณบดี
โทรศัพท์ 086-999-0359

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14
14th Conference of Electrical Engineering Network 2022 (EENET 2022)

การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box

The Development of Product Label Inspection using Bounding Box Technique

ศิริขวัญ กองสิน[1] และ วิเชียร อูปแก้ว[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 0-2549-3420 E-mail: sirikwan_k@mail.rmutt.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 0-2549-3420 E-mail: wichian.o@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ฉลากผลิตภัณฑ์เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสินค้า เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ผู้บริโภค เช่น วันเดือนปีที่ผลิต หมายเลขทางการค้า และเครื่องหมายรับรองของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งทางด้านผู้ผลิตจะต้องตระหนักถึงความสำคัญด้านการตรวจสอบความถูกต้องของรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์ก่อนนำวางจำหน่าย ซึ่งในการตรวจสอบรายละเอียดบางส่วนจำเป็นต้องใช้สายตามนุษย์ในการตรวจสอบความถูกต้อง อาจทำให้เกิดความเมื่อยล้า จนส่งผลให้การตรวจสอบเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวไปแล้ว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประมวลผลภาพดิจิตอลโดยใช้เทคนิค Bounding box มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ โดยสร้างระบบจำลองการตรวจสอบฉลากเคลื่อนที่บนสายพานในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กล้องอุตสาหกรรม รุ่น Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 ในการตรวจจับภาพฉลากผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบจำนวน 4 แบบ ได้แก่ 1) CU label 2) SI label 3) MP label 4) PL label โดยแต่ละแบบมีจำนวนภาพ 30 ภาพ รวมทั้งหมดเป็น 120 ภาพ ผลการทดลองพบว่าระบบการตรวจสอบภาพฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้กล้องกล้องอุตสาหกรรมให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 95.83

คำสำคัญ: การตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ เทคนิคการตรวจสอบภาพแบบ Bounding box, กล้องอุตสาหกรรม

Abstract

The product label is the important thing to inform data of the product for customers such as date, trade number, certification mark, etc. The manufacturer must concern about the infallible details on the label before released. Currently, the process for checking the details on the product label uses an operator to do this process with their own human eye. However, when the operator is taking a long time to check it, it will cause their eyes to strain and fatigue which affected the mistaken inspection. For the reason above, this proposal presents the product label inspection using digital image processing using Bounding box technique. The model of inspection has been built in our laboratory with the conveyer carrying the product label for inspection. The digital industrial camera 4K Lens 5.0 – 50 IMX414 was utilized to capture to product label input images. The product labels consist of 4 types, 1) CU label, 2) SI label, 3) MP lable, 4) PL label. The total 120 pictures of labels were captured from 30 pictures each of 4 label types. Finally, the result of experiment has been shown that the inspecting accuracy was 95.83 percent.

Keywords: Product label inspection, Bounding box technique, Industrial camera.

1. บทนำ

การตรวจสอบความถูกต้องในรายละเอียดต่างๆบนฉลากผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นการยืนยันคุณภาพมาตรฐานของสินค้า ก่อนนำวางจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ และระบบการตรวจสอบ [1] การตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ต้องการ โดยการทดสอบหาขอบในภาพด้วยเทคนิค Sobel edge detector ในการค้นหาตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมของแผ่นป้ายทะเบียน และแบ่งส่วนตัวอักษรในภาพด้วยเทคนิค bounding boxes สุดท้ายประมวลผลภาพการรู้จำของตัวอักษรแต่ละตัวโดยใช้เทคนิคจับคู่แม่แบบ [2] การตรวจสอบป้ายสัญญาณจราจร โดยใช้เทคนิค bounding boxes ในการระบุขอบเขตภาพวัตถุ และใช้เทคนิค DBSCAN ในการหาค่า MinPts ของภาพ เพื่อหาคู่จุดสำคัญบนภาพสำหรับการระบุป้ายสัญญาณจราจร [3] การแก้ไขปัญหาด้านอุตสาหกรรมในส่วนของการตรวจสอบชิ้นงาน โดยการพัฒนาระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ โดยใช้กล้องดิจิทัลขนาด 10 Mpixels และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการตรวจสอบ [4] ระบบตรวจสอบความ

บกพร่องของสกรูที่ฝาปิดด้านบนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ จับภาพชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล รุ่น AM-313T และจับภาพด้วยโปรแกรม DinoCapture [5] การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ โดยใช้กล้อง Web camera จะลำเลียงฉลากเข้าตรวจสอบด้วยสายพานโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ซึ่งการตรวจสอบความบกพร่องของฉลากจะใช้วิธีแปลงภาพเป็นภาพไบนารี และใช้เทคนิค Global และ The adaptive threshold method ในการตรวจสอบ [6] การตรวจสอบความผิดปกติของบรรจุภัณฑ์ขวดน้ำแร่ โดยใช้เทคนิคการตรวจจับขอบ Sobel filter และการตรวจจับลักษณะวงกลมของฝาขวดด้วยวิธี Hough transform โดยใช้กล้องในการตรวจจับบรรจุภัณฑ์ที่ถูกลำเลียงบนสายพานด้วยการประมวลผลภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2. การประมวลผลภาพ

2.1 Bounding box

การสร้างขอบเขตกรอบสี่เหลี่ยมบนภาพ จะใช้พิกัดทั้งหมด 4 จุด ที่ล้อมรอบรูปภาพ โดยนำค่าต่ำสุด สูงสุดในแต่ละแกน (x,y) มาคำนวณหาค่าความกว้างและความสูงของกรอบสี่เหลี่ยม ดังสมการที่ (1)

$$W = (maxX - minY)$$
$$H = (maxY - minY)$$
$$R = [minX\ minY\ wight\ height] \quad (1)$$

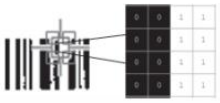
เมื่อ W คือความกว้าง, H คือความสูง และ R คือค่าที่เก็บไว้สำหรับสร้างกรอบสี่เหลี่ยม

การสร้างขอบเขตกรอบสี่เหลี่ยมบนภาพ ด้วยเทคนิค Bounding box ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การ Bounding box

2.2 ภาพไบนารี

ภาพที่มีค่าความเข้มเพียง 2 ค่า คือ 0 และ 1 ซึ่งค่าพิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 0 พิกเซลจะแสดงสีดำ และค่าพิกเซลที่มีค่าเท่ากับ 1 พิกเซลจะแสดงสีขาว ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพไบนารี

ซึ่งการแปลงภาพให้เป็นไบนารี จะต้องแปลงค่าภาพให้มีระดับความเข้มสองระดับเพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพได้ โดยใช้เทคนิคเทรสโฮลด์ (Thresholding Technique) เพื่อแปลงภาพให้ได้ผลลัพธ์ของภาพที่เหมาะสมและคมชัด โดยการปรับค่าเทรสโฮลด์ (Threshold Value)

2.3 ระบบอัตโนมัติ

ระบบที่ใช้สานพานสำหรับลำเลียงสินค้าให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ซึ่งประกอบด้วย แผ่นยางที่มีลักษณะเชื่อมต่อเป็นวงหมุนรอบพูเลย์ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนสายพาน เพื่อนำสินค้าเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ โดยใช้กล้องในการตรวจจับภาพ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ระบบอัตโนมัติ

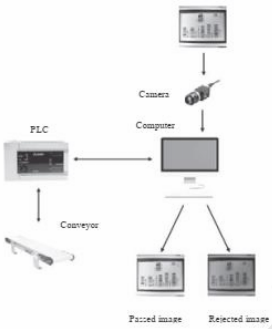
2.4 กล้องอุตสาหกรรม

กล้องที่ใช้ในการบันทึก และตรวจสอบเชิงรูปภาพในกระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยเลนส์ เซนเซอร์ตรวจจับสี และระบบประมวลผลภาพ โดยสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวกับรูปภาพ เพื่อตรวจสอบคุณภาพ และข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 กล้องอุตสาหกรรม

3. การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้จะตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยกล้อง Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 ซึ่งมีฉลากผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบจำนวน 4 แบบ ได้แก่ 1) CU label 2) SI label 3) MP label 4) PL label แบบละ 30 ภาพ มีกระบวนการในการตรวจสอบดังรูปที่ 5



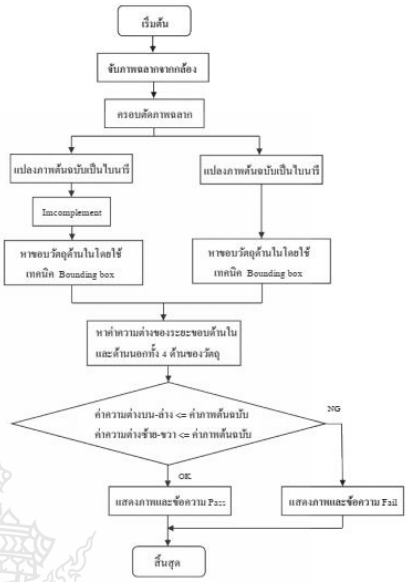
รูปที่ 5 แผนผังระบบการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงบนสายพาน และใช้กล้องในการถ่ายภาพ เพื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ ซึ่งในการทดสอบระยะของกล้องที่ถ่ายภาพฉลากจะมีระยะที่แตกต่างกัน เนื่องจากฉลากแต่ละชนิดมีขนาดที่ไม่เท่ากันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระยะห่างการติดตั้งกล้องกับสายพาน

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ระยะห่างของกล้อง (เซนติเมตร)
CU label	8.4
SI label	19.2
MP label	26.4
PL label	26.4

ซึ่งในกระบวนการทดสอบการตรวจฉลากผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนการทดลอง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเป็นการนำภาพต้นฉบับที่ถ่ายด้วยกล้อง Industrial Camera 4K Lens 5.0-50 IMX415 จำนวน 120 ภาพ มาครอบตัดภาพแล้วนำมาแปลงเป็นภาพไบนารี ซึ่งค่า Threshold ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.4 – 0.5 จากนั้นใช้เทคนิค Bounding box ในการหาค่าความต่างของขอบด้านในและด้านนอกของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ด้าน มาลบกันเพื่อหาพื้นที่พิกเซลของขอบแต่ละด้าน โดยนำค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบกับค่าของภาพจริง ซึ่งในการทดสอบจะได้ค่าความต่างของภาพต้นฉบับแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านของภาพต้นฉบับ

ชนิดฉลากผลิตภัณฑ์	ค่าความต่างขอบวัตถุด้านในและด้านนอก (พิกเซล)					
	ล่าง	บน	ซ้าย	ขวา	ด้านซ้าย-ขวา	ด้านบน-ล่าง
CU label	20	8	15	12	4	12
SI label	18	7	10	7	10	4
MP label	16	14	20	182	162	2
PL label	27	9	19	10	9	18

จากตารางที่ 2 หากนำภาพจริงที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของภาพต้นฉบับมาตรวจสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบจะไม่ผ่านมาตรฐาน (NG) คือฉลากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานและไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ก) CU label : OK ข) CU label : NG
ค) SI label : OK ง) SI label : NG
จ) MP label : OK ฉ) MP label : NG
ช) PL label : OK ซ) PL label : NG

รูปที่ 7 ผลการทดลองตรวจสอบขอบฉลากผลิตภัณฑ์

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองการตรวจจับฉลากผลิตภัณฑ์จำนวน 4 แบบ แบบละ 30 ภาพ มีผลการทดลอง 1) CU label ตรวจสอบความถูกต้องได้ 30 ภาพ คิดเป็น 100 % 2) SI label ตรวจสอบความถูกต้องได้ 29 ภาพ คิดเป็น 96.67% 3) MP label ตรวจสอบความถูกต้องได้ 27 ภาพ คิดเป็น 90% 4) MP label ตรวจสอบความถูกต้องได้ 29 ภาพ คิดเป็น 96.67% ซึ่งพบว่าระบบการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Bounding box สามารถตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์แต่ละแบบได้ ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 95.83%

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Bounding box โดยใช้กล้องในการตรวจสอบ ซึ่งระบบจะตรวจสอบขอบของฉลากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 แบบ ที่มีขนาดความกว้าง ความยาวแตกต่างกัน ฉลากผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานจะไม่ชิดขอบใดขอบหนึ่งของฉลากมากเกินไป ซึ่งระบบนี้มีความถูกต้องในการตรวจจับขอบฉลากผลิตภัณฑ์ 95.83% มีข้อผิดพลาดเกิดจากค่าความต่างของขอบวัตถุทั้ง 4 ด้านมีค่าใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ซึ่งผู้วิจัยจะพิจารณานำปัจจัยนี้มาพัฒนาระบบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Babu K and M.V. Raghunadh, "Vehicle Number Plate Detection and Recognition using Bounding Box Method," ICACCCT, 2016, pp. 106-110.

[2] K. Ishizaki, K. Saruta and H. Uehara, "Detecting Keypoints for Automated Annotation of Bounding Boxes using Keypoint Extraction," CSCI, 2020, pp. 1691-1694.

[3] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, วราคม เนิดน้อย, และคณะ. "เครื่องตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ",โครงการวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

[4] กนิษฐา หงส์พรรคมนุญ, วันทนีย์ จันทร์สมปอง, และรัตติยากร ทองจุนเจือ. (2551). ระบบตรวจสอบความบกพร่องของชิ้นงานแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

[5] Y. Shiraishi and F. Takeda, "Development of a Portable Automatic Inspection System for Printed Labels Using a Web Camera," ISDA, 2008, pp. 382-385.

[6] U. Sanver, E. Yavuz, and C. Eyupoglu, "An Image Processing Application to Detect Faulty Bottle Packaging," IEEE, 2017.

ศิริขวัญ กองสิน สำเร็จการศึกษา คณะครุศาสตร์-อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี 2559, ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-วิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจคือ การประมวลผลภาพ

วิเชียร อูปแก้ว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Northumbria University UK, ในสาขาวิศวกรรม - ไฟฟ้า ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, งานวิจัยที่สนใจการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล, ระบบสมองกลฝังตัว, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14

The 14th Electrical Engineering Network 2022 (EENET2022)

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

ศิริขวัญ กองสิน และ วิเชียร อูปแก้ว

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

การพัฒนาการตรวจสอบฉลากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box

ระหว่างวันที่ 25 - 27 พฤษภาคม 2565

ณ โรงแรมฮิลตัน ภูเก็ต อาร์เคเดีย รีสอร์ท แอนด์ สปา จ.ภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
ประธานคณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชระ กัญจนกาญจน์
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณา

สาขาบทความวิจัย	บทความ
ไฟฟ้ากำลัง (PW)	30
อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร (EC)	12
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)	10
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)	13
ระบบควบคุมและการวัด (CT)	17
ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)	3
พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)	35
นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)	46
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)	31
หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า (SS)	7
รวมทั้งสิ้น	**204**

สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณาแยกตามหน่วยงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3	บทความ
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	2	บทความ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น	1	บทความ
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนครพนม	4	บทความ
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่	1	บทความ
มหาวิทยาลัยนเรศวร	2	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม	3	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด	1	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	3	บทความ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย	2	บทความ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	3	บทความ
มหาวิทยาลัยศิลปากร	7	บทความ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	1	บทความ
มหาวิทยาลัยสยาม	3	บทความ
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	5	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	4	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ	9	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี	6	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	20	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	9	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	5	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก	1	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย	14	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่	11	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	10	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	19	บทความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา	11	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	8	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	7	บทความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	5	บทความ
สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2 วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร	5	บทความ
สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 1 วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี	2	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	5	บทความ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	3	บทความ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)	2	บทความ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)	1	บทความ
ฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	1	บทความ
เทศบาลนครแหลมฉบัง	1	บทความ
รวมจำนวนสถาบันที่ร่วมนำเสนอบทความ	**42**	**สถาบัน**

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นางสาวศิริขวัญ กองสิน
วัน เดือน ปีเกิด	23 มีนาคม 2537
ที่อยู่	158 หมู่ 11 ตำบลหล่มเก่า อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ 67120
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	ครูฝึกในสถานประกอบการบริษัท สมาร์ท (2015) เซอร์วิสเซส จำกัด จังหวัด กรุงเทพมหานคร
เบอร์โทรศัพท์	063-5594519
อีเมล์	sirikwan_k@mail.rmutt.ac.th