



การพิสูจน์ยืนยันแสดมปีสูรนำเข้าโดยใช้การแปลงฮัพ
และคุณสมบัติเฉพาะฮิสโตแกรม

นายภาณุวัฒน์ เพชรชนมภูมิ

โครงการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2560

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

ii

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการศึกษาวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการศึกษาวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการศึกษาวิจัย	2
1.4 ประโยชน์จากโครงการศึกษาวิจัย	3
1.5 ระเบียบวิธีการดำเนินวิจัย	3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การแทนภาพดิจิทัลและการแปลงภาพ	4
2.1.1 การบอกข้อมูลแสงของภาพสีด้วยระบบสีอาร์จีบี	4
2.1.2 ภาพระดับสีเทา	4
2.1.3 ภาพขาวดำ (Binary Image) และการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ	5
2.2 การหาขอบของวัตถุ (Edge Detection)	6
2.3 การแปลงฮัฟฟิงกลม (Circle Hough Transform)	8
2.4 ฮิสโตแกรมของภาพ (Image Histogram)	10
3. วิธีการตรวจสอบตราของแสดมปีที่น่าสนใจ	11
3.1 โครงสร้างระบบเพื่อใช้ในการถ่ายภาพของแสดมปี	11
3.2 แนวคิดของวิธีการตรวจสอบที่น่าสนใจ	11
3.3 วิธีการตัดเอาเฉพาะภาพตรานกยูงยักษ์	15
3.4 วิธีการแยกแยะตรานกยูงยักษ์	17
3.5 การเรียนรู้เพื่อหาเส้นแบ่งการคัดแยก	21
4. การทดสอบและการวิจารณ์	23
4.1 การเตรียมการในการทดสอบ	23
4.1.1 ระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ	23
4.1.2 ข้อมูลสำหรับการทดลอง	23
4.1.3 การเรียนรู้เพื่อหาเส้นตรงที่ใช้เป็นเกณฑ์การตรวจสอบ	24
4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์	25
4.2.1 ผลการตัดรูปนกยูงยักษ์	25
4.2.2 ผลการแยกแยะชนิดของแสดมปี	27
5. บทสรุป	29

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการศึกษาวิจัย

ภาษีสุราเป็นการจัดเก็บรายได้ภาษีสรรพสามิตที่มีการจัดเก็บเป็นเงินงบประมาณเป็นส่วนหนึ่ง ที่นำมาใช้ในการบริหารประเทศ แต่ในปัจจุบันได้มีการลักลอบปลอมแปลงสุราชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะสุราต่างประเทศเข้ามาขายในราคาที่ถูกลงเพราะไม่เสียภาษี ส่งผลกระทบให้สูญเสียรายได้ของรัฐบาลจากการจัดเก็บรายได้ไป ผู้กระทำผิดได้มีรูปแบบในการปลอมแปลงแบบต่าง ๆ โดยหนึ่งในนั้นคือการปลอมแปลงแสตมป์ที่ใช้ปิดผนึกขวดสุรา ในปัจจุบันการตรวจว่าแสตมป์เป็นของจริงหรือของปลอมจะใช้บุคลากรของทางภาครัฐเป็นผู้ตรวจสอบ ทำให้ประสบกับปัญหาว่า บุคลากรทางภาครัฐที่มีความชำนาญในการตรวจสอบแสตมป์มีจำนวนน้อย และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบได้มาจากความชำนาญของบุคลากร ผู้ซึ่งมีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ทำให้การจับกุมเป็นไปด้วยความยากลำบาก ด้วยเหตุดังกล่าวนี้โครงการศึกษาวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำหลักการทางทฤษฎีการประมวลผลภาพมาช่วยสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจสอบแสตมป์สุรา

โครงการศึกษาวิจัยนี้ ต้องการหาวิธีการตรวจสอบแสตมป์ภาษีสุรานำเข้าจากต่างประเทศว่าเป็นแสตมป์จริงหรือปลอม โดยใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลแบบพกพา ซึ่งได้มีงานวิจัยในอดีตที่มีแนวคิดของการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการงานการตรวจจับหาวัตถุ หรือตรวจสอบความถูกต้องอยู่จำนวนมาก ยกตัวอย่างงานของ Takeda และคณะ [?] ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 (พ.ศ. 2535) ได้นำเสนอแนวคิดระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) มาใช้ในการตรวจสอบธนบัตร ในปีเดียวกัน Fukumi และคณะ [?] ได้นำเสนอการรู้จำเหรียญในสถานะมุมต่าง ๆ ด้วยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมของคุณลักษณะเด่นของภาพ ในปี พ.ศ. 2541 อิศร ลีลาสันติธรรม [?] ได้มีการนำการประมวลผลภาพมาใช้ในการรู้จำและตรวจสอบธนบัตร ซึ่งโดยปกติแล้ว นอกจากการสังเกตข้อมูลจากรูปร่าง, ลายภาพ, สี, จำนวนเงิน ฯลฯ ซึ่งเป็นคุณสมบัติภายนอกของแต่ละประเภทของธนบัตรแล้ว ธนบัตรหลายประเภทมีการซ่อนภาพลายน้ำ ซึ่งสามารถเห็นเป็นภาพเงา เมื่อใช้แสงสว่างส่องที่ด้านหลังของธนบัตร ในวิทยานิพนธ์ดังกล่าว ได้นำเสนอระบบการรู้จำธนบัตรอัตโนมัติ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับและใช้ภาพภายนอกบนธนบัตรซึ่งเกิดจากการสะท้อนของแสงที่กระทบบนธนบัตรรวมกันกับภาพเงาของลายน้ำที่ซ่อนอยู่ซึ่งเกิดจากการส่องแสงสว่างด้านหลังธนบัตร ในระบบนี้ขั้นแรกทำการหาขอบภาพสองระดับของธนบัตรที่เกิดจากการสะท้อนของแสงที่กระทบบนธนบัตร ขั้นที่สองทำการหาขอบภาพสองระดับของภาพเงาลายน้ำที่ซ่อนอยู่ ซึ่งเกิดจากการส่องแสงสว่างด้านหลังธนบัตร แล้วทำการรวมภาพกันในขั้นแรกและขั้นที่สอง ให้ได้ภาพเงาของลายน้ำบนธนบัตรพร้อมกับภาพธนบัตร จากนั้นทำการนอร์มอลไลซ์ภาพที่ได้ดังกล่าว ให้มีมาตรฐานเดียวกัน และป้อนภาพดังกล่าวเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ 3 ชั้นเพื่อทำการเรียนรู้และการทดสอบจากการทดสอบระบบที่นำเสนอข้างต้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้ตัวอย่างธนบัตรไทย 5 ชนิด (20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1000 บาท) ชนิดละ 80 ใบในการเรียนรู้ และทุกชนิด ๆ ละ 50 ใบเพื่อใช้ในการทดสอบ ผลการทดสอบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับในการพิสูจน์ธนบัตรจริงและจำแนกชนิดของธนบัตร มีอัตราในการรู้จำได้ทั้งหมด ในงานวิจัยของ Zhu และคณะ [?] และงานของ Micenkov และคณะ [?] ได้นำเสนอการตรวจจับการประดับตราในเอกสาร ซึ่งในงานทั้งสองชิ้นนี้มีลักษณะปัญหาการดึงเอาเฉพาะส่วนที่สนใจออกจากส่วนอื่น ๆ ในภาพ ซึ่งในปัญหาของการตรวจสอบแสตมป์ในโครงการศึกษาวิจัยนี้มีลักษณะที่คล้ายกัน กล่าวคือส่วนสำคัญของแสตมป์สุราคือตรานกวาญักษ์ จึงควรต้องมีการตัดเอาตราออกมาก่อน

แนวคิดสำคัญของการตัดเอาส่วนของภาพที่สนใจออกมาจากส่วนอื่นคือ การใช้รูปร่างของวัตถุที่ต้องการตัด เช่น วงกลม สี่เหลี่ยม เป็นต้น ในที่นี้เราจะสนใจเฉพาะการดึงส่วนที่เป็นวงกลมเนื่องจากทรานควายักษ์ในแสดมปีสุรามีวงกลมล้อมรอบอยู่ วิธีการในการตรวจจับวงกลมที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการใช้การแปลงฮัฟ ซึ่งในงานของ Ioannou และคณะ [?] ได้นำเสนอแนวคิดของการใช้การแปลงฮัฟแบบ 2 มิติในการตรวจหาวงกลม การแปลงฮัฟทั่วไป (generalized hough transform) เป็นการแปลงภาพให้ไปอยู่ในโดเมนฮัฟ ซึ่งสามารถใช้การโหวตในการตรวจหาเส้นหรือส่วนโค้ง การแปลงฮัฟเพื่อการตรวจจับวงกลมเป็นกรณีพิเศษของการแปลงฮัฟทั่วไป แนวคิดอื่น ๆ ในการตรวจจับหาวงกลมได้แก่ งานของ Basalamah [?] ซึ่งนำเสนอการใช้ฮิสโตแกรมในการตรวจจับวงกลม

แม้ว่าจะมีงานวิจัยในอดีตจำนวนมากที่ได้นำเอาเทคนิคการประมวลผลภาพไปใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ก็ตาม ปัญหาการตรวจสอบความเป็นจริงของแสดมปีมีลักษณะเฉพาะ และในความต้องการการใช้งานในลักษณะของการพกพา ในโครงงานศึกษาวิจัยนี้จึงต้องการค้นหาวิธีการที่มีความซับซ้อนน้อย แต่สามารถตรวจสอบแยกแยะแสดมปีจริงกับแสดมปีปลอมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานศึกษาวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพเชิงดิจิทัลในการคัดแยกแสดมปีจริงและปลอม
2. ทดสอบและหาวิธีการที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าเพื่อคัดแยก

1.3 ขอบเขตของโครงงานศึกษาวิจัย

1. คัดกรองแสดมปีรายได้ภายในวงกลม Hough แปลงการคัดแยกแสดมปีด้วยการหาฮิสโตแกรม
2. การถ่ายภาพจะใช้กล้องตัวเดียวกันภายใต้สภาวะแวดล้อมคล้ายกัน
3. ใช้คอมพิวเตอร์ Window 7 64 bit core i7 CPU 2.30GHz ในการทดสอบ

1.4 ประโยชน์จากโครงการศึกษาวิจัย

1. มีความรู้และความเข้าใจถึงหลักการของการประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล
2. ทำให้ได้วิธี ในการ คัดแยกแสดมภ์จริงและแสดมภ์ปลอมที่ช่วยให้การ ประมวลผลทำได้สะดวก รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง

1.5 ระเบียบวิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยในโครงการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงวิศวกรรมเพื่อค้นหาวิธีการทางการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับการตรวจสอบว่าแสดมภ์เป็นของจริงหรือปลอม ขั้นตอนของวิธีการวิจัยที่นำมาใช้มีดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแสดมภ์สุราและวิธีการตรวจสอบโดยการสอบถามและสนทนากับผู้เชี่ยวชาญ การตรวจสอบ
2. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับปัญหาวิจัย
3. ถ่ายภาพแสดมภ์ตัวอย่างทั้งแสดมภ์จริงและแสดมภ์ปลอม
4. ค้นหาวิธีการประมวลผลภาพที่เหมาะสมบนฐานของการทดลอง
5. ทดสอบวิธีการที่ได้กับภาพแสดมภ์ตัวอย่าง
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงการศึกษาวิจัยนี้ เป็นการ การ ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อตรวจสอบว่าภาพของ แสตมป์สุราเป็นของแสตมป์จริงหรือปลอม ในบทนี้จะพิจารณาหลักทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในวิธีการประมวลผลภาพ [?] ในส่วนของการประมวลผลที่นำมาใช้ในโครงการศึกษาวิจัยนี้

2.1 การแทนภาพดิจิทัลและการแปลงภาพ

ภาพดิจิทัล (digital image) จะถูกแทนด้วยเมตริกของข้อมูลบ่งบอกสี โดยการใช้นั่งตำแหน่งของเมตริก เพื่อแทนข้อมูลจุดหนึ่งของภาพเรียกว่า พิกเซล (pixel) จำนวนของพิกเซลต่อภาพบ่งบอกถึงความละเอียดของภาพ เช่น ภาพที่ใช้แสดงผลในระบบโทรทัศน์ที่เรียกว่า HD เป็นภาพที่มีขนาดพิกเซลเป็น 1208×720 โดยตัวเลขแรกเป็นจำนวนคอลัมน์ ซึ่งแปรตรงกับความยาวในแนวนอน

การ บอกข้อมูลแสงของแต่ละพิกเซลมีหลายวิธี แต่เราสามารถแบ่งภาพได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของข้อมูลแสงคือ ภาพสี (color image) ภาพระดับสีเทา (grayscale image) และภาพขาวดำ (binary image) โดยภาพสีสามารถแปลงไปเป็นภาพระดับสีเทา และภาพระดับสีเทาสามารถแปลงไปเป็นภาพขาวดำได้

2.1.1 การบอกข้อมูลแสงของภาพสีด้วยระบบสีอาร์จีบี

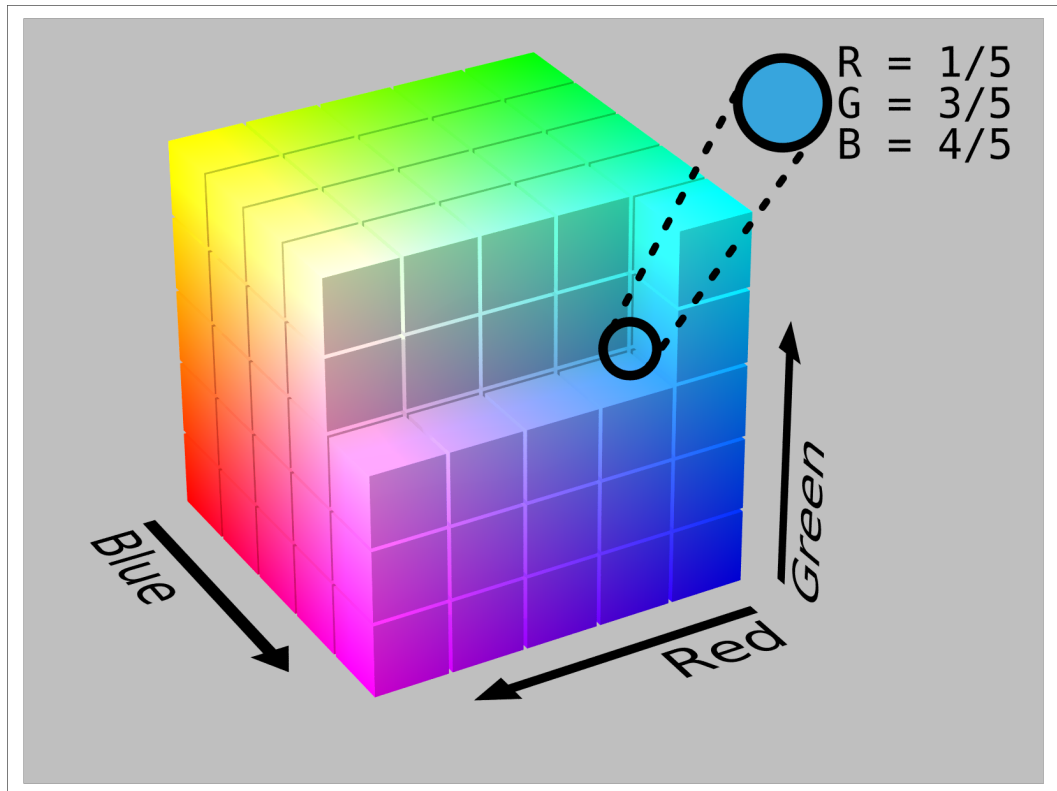
ในกรณีของภาพสี แม้ว่าจะมีหลายวิธีที่สามารถบอกข้อมูลสี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุดในกล้องถ่ายภาพดิจิทัลคือ ระบบสีอาร์จีบี (RGB color system) ทั้งนี้เนื่องจาก โดยตามธรรมชาตินั้น สีแต่ละสีเกิดจากการผสมกันของเซตของแม่สี และแม่สีที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) จึงเรียกระบบการบอกสีด้วยแม่สี 3 ตัวนี้ว่าระบบสี RGB

ภายใต้ระบบสีอาร์จีบี โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูล 8 บิต หรือ 256 ระดับเพื่อบอกระดับแสงของแต่ละแสง ดังนั้นแต่ละพิกเซลจะต้องใช้ข้อมูลขนาด 24 บิต เพื่อบ่งบอกว่าเป็นสีอะไร กล่าวได้ว่าในระบบสีอาร์จีบี 24 บิต เช่นนี้จะมีสีที่แตกต่างกันได้ทั้งหมด เท่ากับ 16,777,216 สี คำนวณจากแต่ละสีมี 256 ระดับ (2^8) จำนวนระดับที่แตกต่างกันทั้งหมดจึงเป็น $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$ เราเรียกจำนวนสีทั้งหมดของระบบสีว่าเป็น ปริภูมิสี (Color Space) ซึ่งในกรณีของระบบสีอาร์จีบี ปริภูมิสี (Color Space) จะมีลักษณะเป็นแบบลูกบาศก์ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.1.2 ภาพระดับสีเทา

ข้อมูลแสงในแต่ละพิกเซลของภาพระดับสีเทาเป็นค่าความเข้มแสง (light intensity) ระดับความเข้มแสงแต่ละระดับแสดงผลออกมาเป็นสีเทาหนึ่งสี โดยระดับความเข้มสูงสุดจะเป็นสีขาว และระดับความเข้ม 0 จะเป็นสีดำ จำนวนระดับสีเทา (grayscale) ขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของการบอกระดับ เช่นภาพระดับสีเทาขนาด 8 บิต บอกระดับสีเทาได้ 256 ระดับจาก 0 ถึง 255

เราสามารถคำนวณระดับสีเทาของสีอาร์จีบีได้โดยการหาค่าเฉลี่ยแบบมีน้ำหนัก (weighted average) ของระดับแสงของแม่สี RGB เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วการมองเห็นแสงแต่ละสีไม่เท่ากัน ค่าน้ำหนักที่เป็นที่นิยมในการคำนวณเพื่อแปลงสีอาร์จีบีเป็นระดับสีเทาเป็นไปตามสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริภูมิสี (Color Space) ในแบบลูกบาศก์ของพิกัดสีอาร์จีบี [?]

$$Grey = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.1)$$

เมื่อ R , G และ B เป็นระดับแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ รูปที่ 2.2 แสดงภาพสีเทาที่ได้จากการแปลงภาพสีอาร์จีบี

2.1.3 ภาพขาวดำ (Binary Image) และการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

ข้อมูลแสงในแต่ละพิกเซลของภาพขาวดำ (Binary image) มีเพียง 2 สถานะ ซึ่งสามารถแทนด้วยข้อมูล 1 บิต โดย 0 แทนสีขาว และ 1 แทนสีดำ เราอาจพูดได้ว่าภาพขาวดำก็คือภาพระดับสีเทาที่บอกระดับแสงด้วยข้อมูล 1 บิต

กระบวนการในการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ เป็นการกระทำพื้นฐาน (basic operation) ของการประมวลผลภาพ โดยมีหลายวิธีการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ เช่น วิธีการหาขอบ (edge detection) แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีการแปลงใดก็ตาม หลักการของการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำคือการเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ตามสมการที่ (2.2)

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าเงื่อนไขของการแปลงเป็นจริง เช่น } I(x, y) \geq I_{th} \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ 0 แทนส่วนสีดำ, 1 แทนส่วนสีขาว, $B(x, y)$ และ $I(x, y)$ เป็นค่าข้อมูลสีของพิกเซล (x, y) ในภาพขาวดำและภาพระดับสีเทาตามลำดับ และในกรณีตัวอย่างนี้ I_{th} เป็นค่าระดับเทรชโฮลด์ที่ใช้



รูปที่ 2.2 ภาพระดับสีเทาที่ได้จากการแปลงจากภาพสีอาร์จีบี

เงื่อนไขในการแปลงจุดพิกเซลของภาพให้เป็นสีขาว (1) หรือสีดำ (0) นั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการแปลงภาพ ยกตัวอย่างวิธีการแปลงเป็นภาพขาวดำง่ายที่สุดคือ การใช้ระดับความเข้มแสงเป็นเทรชโฮลด์ ในการแยกเพื่อแยกภาพออกเป็น 2 ลักษณะพื้นที่ ในบางกรณี เงื่อนไขการแบ่งจะขึ้นอยู่กับข้อมูลสีของพื้นที่รอบจุดพิกเซลที่สนใจ

จะเห็นว่าวิธีการเทรชโฮลด์เป็นวิธีการแบ่งพื้นที่ในภาพตามช่วงของระดับความเข้มแสง ซึ่งหลักการนี้สามารถใช้ได้กับข้อมูลระดับความเข้มแสงได้ทุกชนิด เช่น เราสามารถแบ่งภาพเป็น 2 ส่วนตามระดับสีเขียว หรือสีแดง หรือสีน้ำเงิน สีใดสีหนึ่งเพียงสีเดียวก็ได้ ด้วยหลักการเดียวกัน เราสามารถการแบ่งพื้นที่ของภาพออกเป็นมากกว่า 2 ส่วนก็ได้ เช่น เราอาจต้องการแบ่งพื้นที่ในภาพเป็น 4 ส่วน ซึ่งแทนด้วยข้อมูล 2 บิต ซึ่งในกรณีนี้จะต้องมีค่าเทรชโฮลด์ 2 ตัวเพื่อการแบ่งระดับความเข้มแสงเป็น 4 ส่วน เรียกวิธีการแบ่งระดับที่ผลลัพธ์มีมากกว่า 2 ส่วนว่า การแบ่งหลายส่วน (multiband threshold)

2.2 การหาขอบของวัตถุ (Edge Detection)

การหาขอบ (Edge Detection) ภายในภาพ เป็นการกระทำพื้นฐาน (basic operation) ของการประมวลผลภาพ ที่มีการนำไปใช้จำนวนมาก เนื่องจากขอบภาพเป็นสารสนเทศพื้นฐานที่สำคัญ กล่าวคือขอบภายใน

ภาพเป็นสารสนเทศพื้นฐานในการแบ่งส่วน การบอกรูปร่าง ซึ่งจะนำไปสู่การตรวจจับหาส่วนของภาพที่สนใจ (interested region) ทำให้เกิดตัดข้อมูลภาพส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป เช่น ในโครงงานศึกษาวิจัยนี้ ต้องการตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นตราของแสดมปีเท่านั้น

การหาขอบเป็นการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำอย่างหนึ่ง โดยต้องการให้ส่วนที่เป็นสีขาวแทนขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ เทคนิคของการหาขอบมีหลายวิธี แต่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม หลักคือ วิธีการเกรย์เดียน (Gradient method) และ วิธีการลาปลาซ (Laplacian method) สำหรับการหาขอบด้วยวิธีการเกรย์เดียน จะใช้การหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ วิธีการหาขอบในกลุ่มนี้ได้แก่ Sobel, Roberts, Prewitt และ Canny เป็นต้น ส่วนวิธีการลาปลาซ จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่าจุดศูนย์ (Zero-crossing) ของอนุพันธ์อันดับ 2 ในภาพ ตัวอย่างวิธีการหาขอบในกลุ่มนี้ได้แก่ Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth สำหรับโครงงานศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Canny ในการหาขอบภาพ เพราะจากเอกลักษณ์ของภาพ คือ มีรูปร่างที่เด่นชัด ทำให้ไม่จำเป็นที่การหาขอบภาพจะต้องละเอียดมาก แต่จะต้องสามารถหาขอบภาพได้ผลลัพธ์ในระดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธี Canny

การหาขอบด้วยวิธี Canny ใช้วิธีการเกรย์เดียน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. กรองภาพด้วยการกรอง Gaussian
2. หาเวกเตอร์เกรย์เดียนของพิกเซล (x, y) ตามสมการที่ (2.3)

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x(x, y) \\ G_y(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ $\nabla f(x, y)$ เป็นเวกเตอร์เกรย์เดียนที่พิกเซล (x, y) ของอนุพันธ์ย่อยของความเข้มแสง $f(x, y)$ ในแกน x และแกน y โดย G_x และ G_y เป็นอนุพันธ์ย่อยของ $f(x, y)$ ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

3. เปรียบเทียบขนาดของเกรย์เดียน $\nabla f(x, y)$ ตามสมการที่ (2.4) กับค่าเทรชโฮลด์ T เพื่อตัดสินใจว่าพิกเซล (x, y) เป็นส่วนหนึ่งของขอบหรือไม่ตามสมการที่ (2.6) และหาว่าขอบที่จุดพิกเซล (x, y) อยู่ในทิศทาง 0, 45, 90, หรือ 135 องศา จากการหามุม $\theta(x, y)$ ตามสมการ 2.5

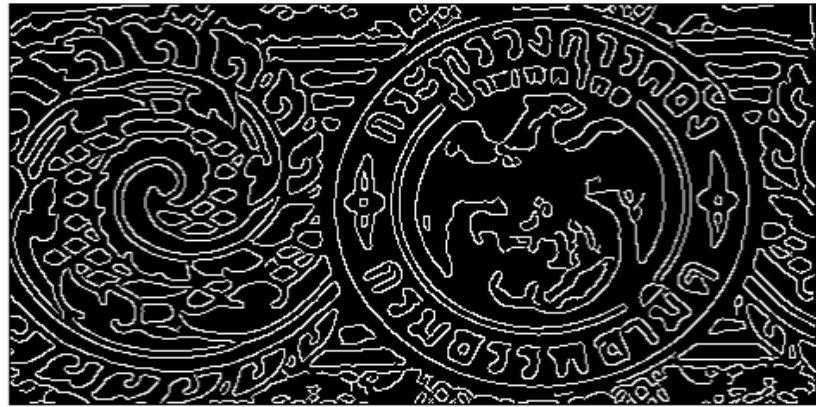
$$G(x, y) = |\nabla f(x, y)| \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2} \quad (2.4)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \quad (2.5)$$

$$E(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } G(x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

4. ขจัดขอบปลอมโดยวิธี non-maximum suppression
5. ใช้เทคนิคของ 2 เทรชโฮลด์ (Double threshold) ในการกำจัดขอบปลอม
6. ต่อขอบ (edge tracking) ด้วยเทคนิคฮิสเทอรีซิส (hysteresis)

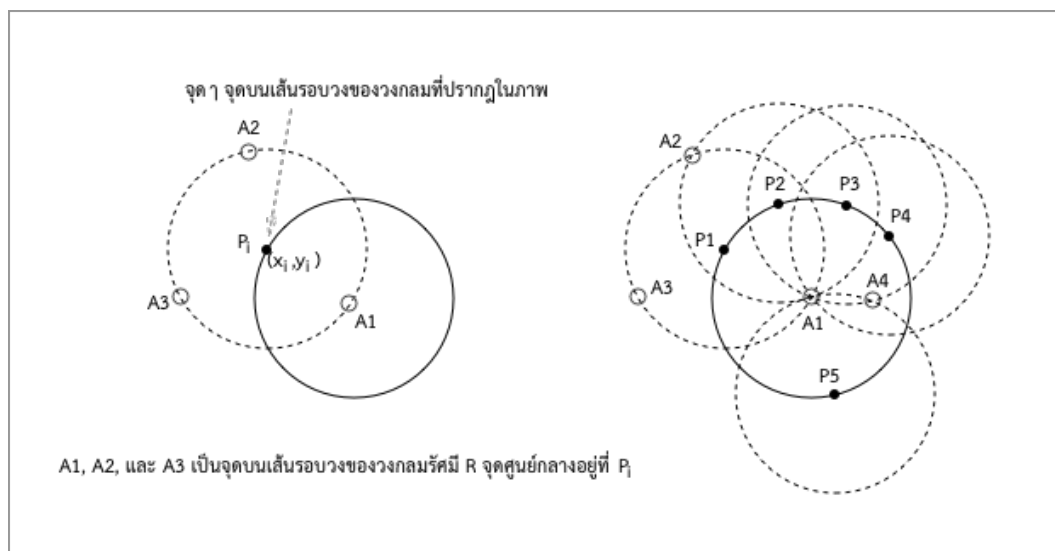
รูปที่ 2.3 แสดงภาพผลลัพธ์ของการหาขอบด้วยวิธี Canny ของภาพแสดมปีในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของผลการหาขอบด้วยวิธี Canny ของภาพพระดัตติเทนาในรูปที่ 2.2

2.3 การแปลงฮัฟวงกลม (Circle Hough Transform)

การแปลงฮัฟ (Hough transform) เป็นเทคนิคสำหรับการตรวจจับส่วนของเส้นตรง (line) หรือเส้นโค้ง (curve) ภายในภาพ แม้ว่าโดยหลักการแล้ววิธีการแปลงฮัฟจะสามารถใช้กับภาพอินพุตที่เป็นภาพพระดัตติเทนาก็ได้ แต่เราจะใช้การแปลงฮัฟกับภาพขาวดำ หรือภาพที่เป็นผลจากการหาขอบ เพราะวิธีการแปลงฮัฟต้องใช้ในการคำนวณและหน่วยความจำสูง



รูปที่ 2.4 แนวคิดของการแปลงฮัฟวงกลม (Circle Hough Transform)

การแปลงฮัฟวงกลม เป็นกรณีพิเศษของการแปลงฮัฟ โดยมีหลักการว่า ถ้าเราสร้างวงกลมรอบจุดที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม วงกลมเหล่านี้จะไปตัดกันที่จุดศูนย์กลางของวงกลม ตามที่แสดงในรูปที่ 2.4 ด้านขวาจะเห็นว่า วงกลมรัศมี R 5 วงที่มีจุดศูนย์กลางที่จุด P_1, P_2, P_3, P_4 , และ P_5 ซึ่งต่างเป็นเป็นจุดบนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี R ในภาพขาวดำ จะตัดกันที่จุด A_1 ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมในภาพขาวดำ

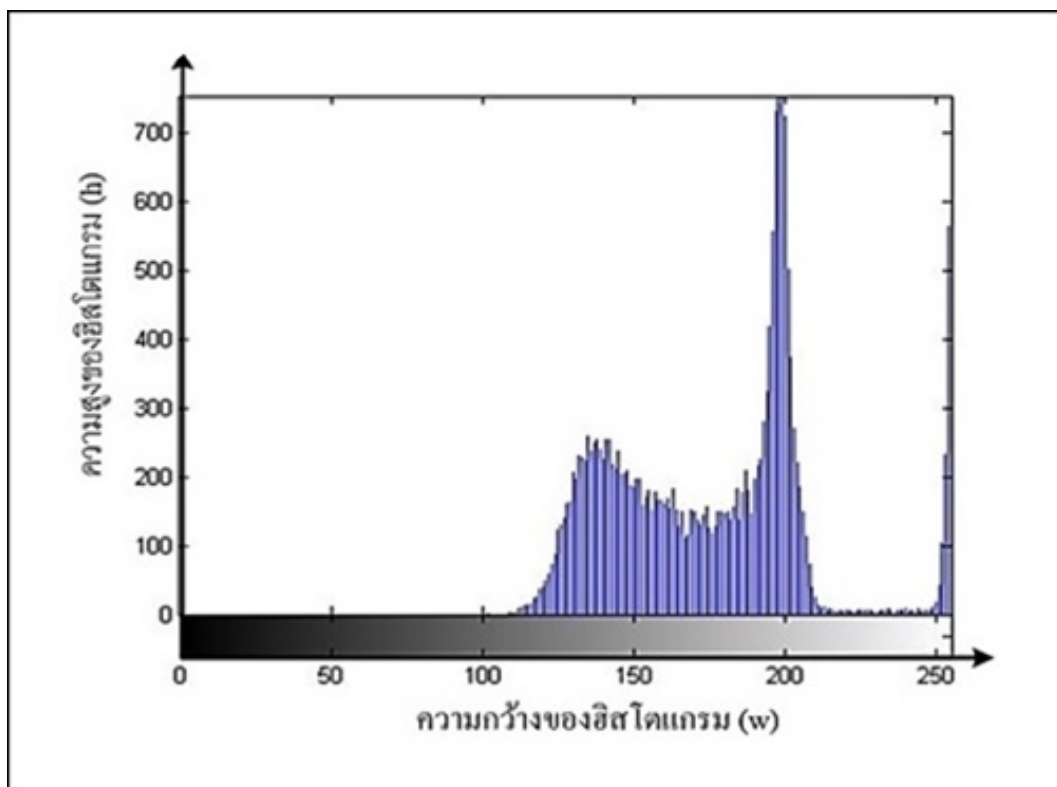
การแปลงฮัฟวกลมใช้หลักการดังกล่าว ในการค้นหาจุดศูนย์กลางของวงกลมรัศมี R ดังนี้ สำหรับจุด $P_i = (x_i, y_i)$ ใด ๆ ที่เป็นจุดที่อยู่บนขอบภายในภาพ ในขั้นตอนแรกของการแปลงฮัฟวกลมจะเป็นการสร้างวงกลมรอบจุด P_i ทุกจุดตามสมการที่ (2.7)

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = R^2 \quad (2.7)$$

โดยที่ (x_i, y_i) เป็นจุดที่อยู่บนขอบ (ค่าความเข้มแสงของจุดเท่ากับ 1) ในภาพขาวดำที่ได้จากการหาขอบ และ (x, y) เป็นจุดบนวงกลมรัศมี R ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (x_i, y_i) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.4 ด้านซ้ายมือ

ในกระบวนการสร้างวงกลมตามสมการ (2.7) นั้น จะมีการนับความถี่ของการที่จุด (x, y) ใด ๆ ไปอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมที่สร้างตามสมการที่ (2.7) ยกตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.4 ด้านขวามือมีการสร้างวงกลม 5 วง จุด A_3 เป็นจุดที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมเหล่านี้ 1 ครั้ง ในขณะที่จุด A_2 และ A_4 เป็นจุดที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม 2 ครั้ง และจุด A_1 อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม 5 วง ผลลัพธ์ของการกระทำดังกล่าวนี้จะเป็นเมตริกความถี่ของการเกิด โดยที่เมตริกนี้มีค่าที่ตำแหน่ง (x, y) เป็นจำนวนครั้งที่วงกลมตามสมการที่ (2.7) ไปตัดกันที่จุด (x, y)

ขั้นตอนต่อมาของการแปลงฮัฟวกลม เป็นการเลือกจากเมตริกซ์ของจำนวนครั้งที่วงกลมไปตัดกันที่จุด (x, y) ว่าจะจุดใดบ้างที่เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมรัศมี R โดยเกณฑ์ในการเลือกจะมาจาก 2 วิธี คือ (1) การเรียงลำดับ และ (2) การใช้เทรซโฮลด์ หรือทั้ง 2 อย่างรวมกัน วิธีการเรียงลำดับจะใช้ได้กับภาพที่รู้ว่ามีจำนวนของวงกลมรัศมี R อยู่เท่าไร ถ้าทราบจำนวนดังกล่าว สมมุติว่าเป็น n ตัวแล้ว เราสามารถเลือกจุดที่เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม จากการเรียงลำดับแล้วเลือก n ตัวแรก แต่ในกรณีที่ ไม่ทราบว่ามีวงกลมอยู่ที่วง การใช้เทรซโฮลด์จะเหมาะสมกว่า กล่าวคือ ถ้าจำนวนความถี่น้อยกว่าค่าเทรซโฮลด์แสดงว่าไม่มีวงกลม แต่ถ้ามากกว่าแสดงว่ามีวงกลม หรือส่วนของวงกลมรัศมี R อยู่



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของระดับสีเทาของภาพในรูปที่ 2.2

2.4 ฮิสโตแกรมของภาพ (Image Histogram)

ฮิสโตแกรมเป็นการนับจำนวนความถี่ของการเกิดขึ้นของค่าของตัวแปรสุ่มจากกลุ่มข้อมูลจำนวนหนึ่ง ในกรณีของฮิสโตแกรมของภาพขนาด $c \times r$ พิกเซล ตัวแปรสุ่มคือระดับสี หรือระดับความเข้มแสง ซึ่งอาจจะเป็นระดับสีเทา หรือระดับสีใดสีหนึ่งของอาร์จีบี หรือระดับ H ในระบบสี HSV เป็นต้น ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการนับคือระดับสีจากทุกพิกเซลของภาพ

ในกระบวนการนับจะต้องมีการสร้างกล่อง (Bin) ที่จะนับข้อมูลลงไป หนึ่งกล่องจะเป็นหนึ่งช่วงของตัวแปรสุ่ม โดยทั่วไปแล้วช่วงทั้งหมดของตัวแปรสุ่มจะแบ่งถูกแบ่งเป็น n กล่องเท่ากัน ในกรณีของภาพ ตัวแปรสุ่มคือระดับความเข้มแสงซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มในช่วง 0 ถึง 255 (ในกรณีของระดับสีขนาด 8 บิต) ดังนั้นการแบ่งที่มีขนาดกล่องเล็กที่สุดคือ การใช้หนึ่งระดับสีเป็นหนึ่งกล่องรวมทั้งหมด 256 กล่อง

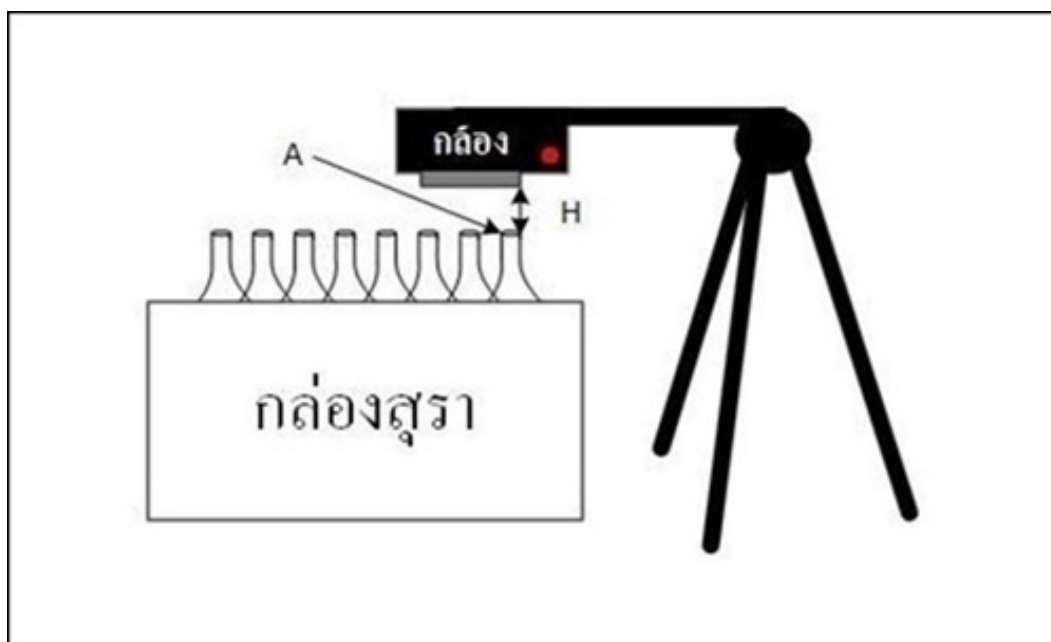
ในการสร้างฮิสโตแกรมของภาพ พิกเซลจะถูกตรวจสอบทีละพิกเซลว่ามีค่าระดับสีอยู่ในกล่องใด ผลลัพธ์การพล็อตฮิสโตแกรมจะเป็นการกระจายของโอกาสการเกิด รูปที่ 2.5 แสดงผลของฮิสโตแกรมของภาพระดับสีเทาในรูปที่ 2.2

บทที่ 3 วิธีการตรวจสอบตราของแสตมป์ที่นำเสนอ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายวิธีการตรวจสอบตราของแสตมป์สุราโดยอัตโนมัติที่นำเสนอใน โครงการงานวิจัยนี้ โดยวิธีการที่นำเสนอใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพ ในหัวข้อ 3.1 จะเป็นการอธิบายโครงสร้างของระบบเพื่อใช้ในการถ่ายภาพ หัวข้อ 3.2 อธิบายแนวคิดและภาพรวมของวิธีที่นำเสนอ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือการตัดภาพรูปนกยูงกักข์ และการนำภาพรูปนกยูงกักข์ ไปตรวจสอบว่าเป็นแสตมป์แท้หรือปลอม ซึ่งจะอธิบายแต่ละส่วนนี้ในหัวข้อ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

3.1 โครงสร้างระบบเพื่อใช้ในการถ่ายภาพของแสตมป์

ระบบตรวจสอบแสตมป์อัตโนมัติที่นำเสนอ ใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพ ดังนั้นการถ่ายภาพจึงมีความสำคัญกับวิธีที่จะนำเสนอ โดยสำหรับในโครงการงานวิจัยนี้ ได้กำหนดระบบการถ่ายภาพไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบการคัดแยกตราของแสตมป์

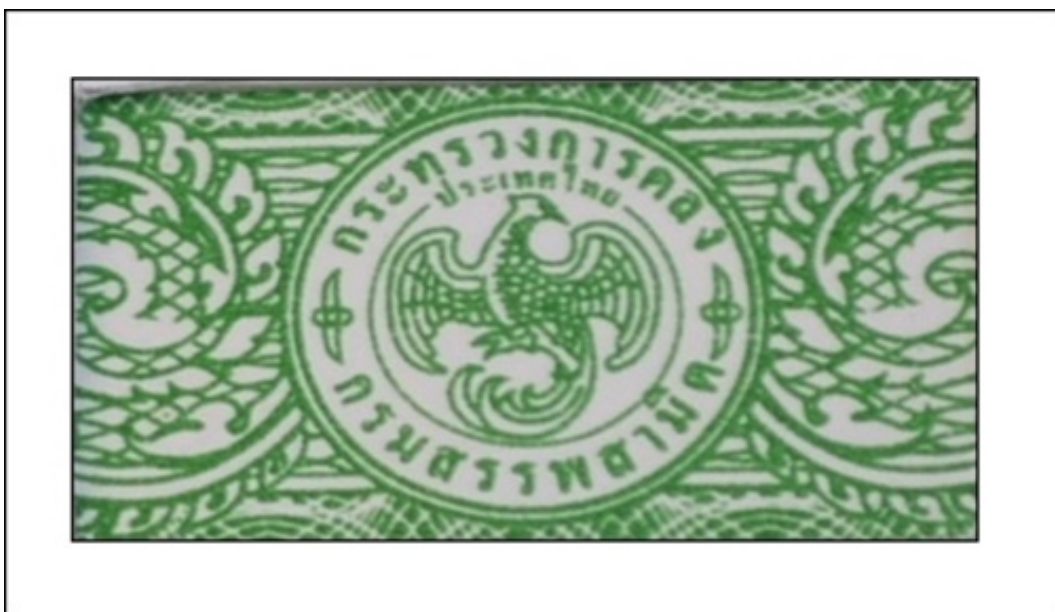
เนื่องจากแสตมป์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์จะถูกกำหนดไว้ให้ติดไว้ที่บริเวณฝาปิดของขวด จึงได้กำหนดวิธีการถ่ายภาพไว้ให้เป็นการถ่ายจากด้านบน ด้วยกล้องถ่ายภาพสี ในพื้นที่ที่มีแสงเพียงพอ ด้วยความสูงจากบริเวณแสตมป์ที่เหมาะสม การถ่ายภาพจะต้องให้ได้ภาพของตรานกยูงกักข์ ที่อยู่ในแสตมป์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.2 และ 3.3 สำหรับกรณีแสตมป์จริงและแสตมป์ปลอมตามลำดับ

3.2 แนวคิดของวิธีการตรวจสอบที่นำเสนอ

จากการพิจารณารูปแสตมป์ตัวอย่างที่ถ่ายมาจำนวนหนึ่ง พบว่าลักษณะเด่นที่แตกต่างกันระหว่างแสตมป์จริงและแสตมป์ปลอมจะเกิดขึ้นบริเวณตรานกยูงกักข์ โดยลักษณะที่เด่นที่สุดของความแตกต่างคือความเข้มของสีบริเวณตรานกยูงกักข์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างรูปของแสตมป์จริง และ รูปที่ 3.3 ซึ่ง



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างรูปของแสตมป์จริงบริเวณตรานกยูงยักษ์ ที่ได้จากการถ่ายภาพ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างรูปของแสตมป์ปลอมบริเวณตรานกยูงยักษ์ ที่ได้จากการถ่ายภาพ

เป็นตัวอย่างรูปของแสตมป์ปลอม จากข้อสังเกตดังกล่าวโครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดในการตรวจสอบแสตมป์ดังนี้

ในขั้นแรกของวิธีการคือ การตัดเอาเฉพาะส่วนของบริเวณตรานกยูงยักษ์ ออกมา ซึ่งเนื่องจากบริเวณตรา นกยูงยักษ์ จะถูกล้อมรอบไว้ด้วยวงกลม โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเอาวิธีการทาง การแปลงแบบวงกลมฮัฟ (Circle Hough Transform) มาใช้ในการตัดเอาบริเวณตรา นกยูงยักษ์ออกมา โดยจากการ

ทดลองหลายครั้ง ทำให้ขนาดรัศมีวงกลมของตรานกยูงยักษ์ที่อยู่ในแสดมปีสุรว่าอยู่ในช่วงใด เราจึงสามารถใช้วิธีการแปลงฮัฟวงกลมในการค้นหาวงกลมที่มีรัศมีอยู่ในช่วงดังกล่าวได้ โดยการเลือกเพียงวงกลมเดียวมา เพราะในภาพแสดมปีที่ถ่ายมาจะมีตรานกยูงยักษ์เพียงตราเดียว รูปที่ 3.4 แสดงรูปตัวอย่างของผลของการใช้การแปลงฮัฟวงกลมในการค้นหาตรานกยูงยักษ์ และรูปที่ ?? แสดงภาพที่ตัดเฉพาะส่วนที่เป็นนกยูงยักษ์ออกมาโดยการเลือกเอาเฉพาะภาพที่อยู่ภายในวงของวงกลมที่ได้จากการแปลงฮัฟวงกลม

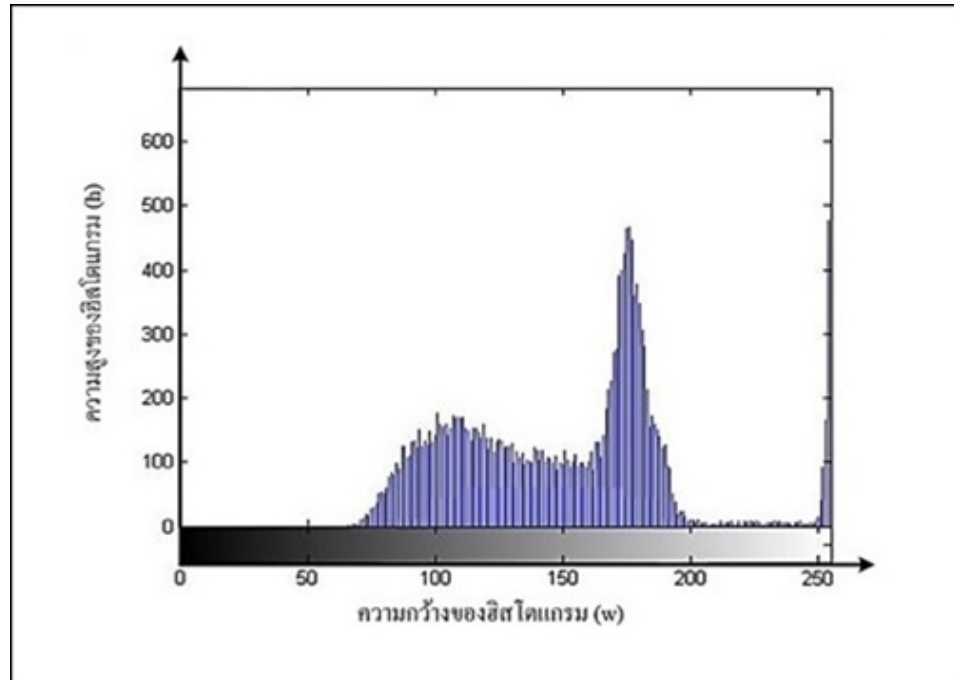


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างผลของการใช้การแปลงฮัฟวงกลมแสดงด้วยเส้นสีแดงเพื่อค้นหาตรานกยูงยักษ์

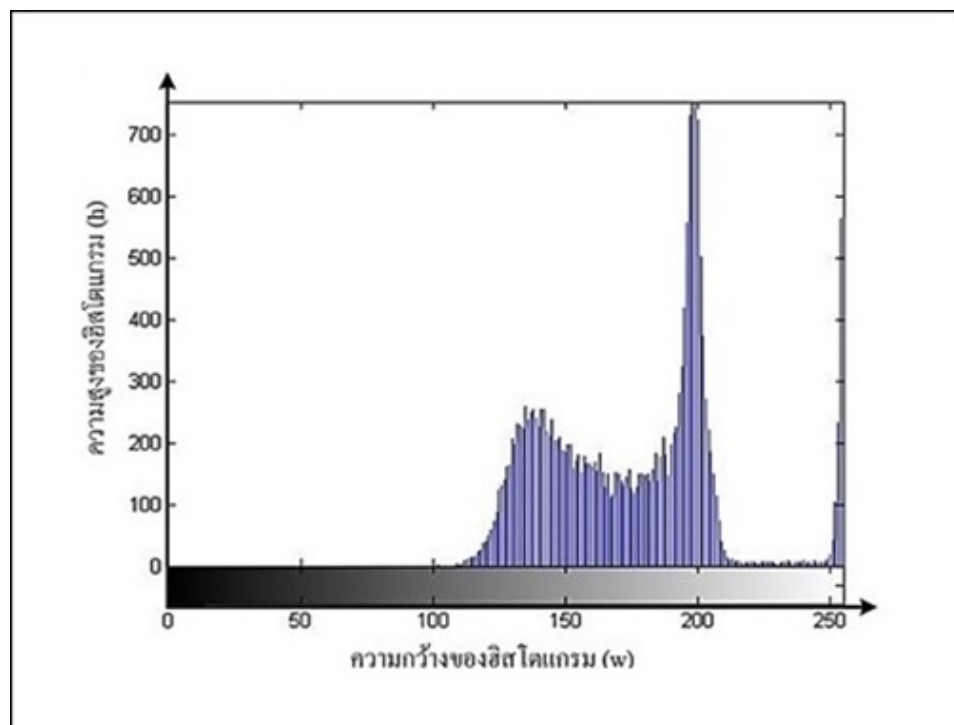


รูปที่ 3.5 รูปตัวอย่างของตรานกยูงยักษ์ที่ตัดจากภาพของแสดมปีโดยการตัดเอาเฉพาะส่วนที่อยู่ในวงกลมที่ได้จากการแปลงฮัฟวงกลม

เมื่อสังเกตตรานกยูงยักษ์ ที่ตัดออกมาจากแสดมปีจริงและแสดมปีปลอม จะพบว่าตรานกยูงยักษ์ ของแสดมปีจริงจะมีความเข้มมากกว่า และมีรายละเอียดมากกว่า เช่น บริลเลียนของนกในตราของจริงจะมีความ



รูปที่ 3.6 อินฟราเรดของรูปนกยูงที่ตัดมาจากสนามจริง



รูปที่ 3.7 อินฟราเรดของรูปนกยูงที่ตัดมาจากสนามปลอม

ชัดเจนมากกว่า คำถามของเราคือจะใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพอะไรสำหรับการตรวจสอบความแตกต่างดังกล่าว แนวคิดที่นำมาใช้ใน โครงการงานวิจัยนี้คือ ลองพิจารณาจากใช้วิธีที่ง่ายก่อน ถ้าไม่ได้จึงพิจารณาใช้วิธีที่ยากซับซ้อนขึ้น

เนื่องจากความแตกต่างที่ชัดเจนคือความเข้มสี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ฮิสโตแกรม (histogram) ของภาพตรานกยูงยักษ์จริงและภาพตรานกยูงยักษ์ปลอม จะบอกความแตกต่างได้ เนื่องจากสีที่ใช้พิมพ์แสดมปีเป็นสีเขียว จึงตัดเอาเฉพาะส่วนของสีเขียวไปสร้างฮิสโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 สำหรับตรานกยูงยักษ์จริงและปลอมตามลำดับ จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะเด่นของฮิสโตแกรมของภาพส่วนสีเขียวของตรานกยูงยักษ์ของแสดมปีจริงและของแสดมปีปลอม พบว่าลักษณะของการกระจายของฮิสโตแกรมคล้ายคลึงกัน กล่าวคือจะมีพื้นที่ของการกระจายของความเข้มสีเขียวอย่างต่อเนื่องกัน แต่มีลักษณะเด่นของฮิสโตแกรม 2 ประการที่แตกต่างกันคือ

1. ความกว้างของฮิสโตแกรมในส่วนที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งพบว่าความกว้างของฮิสโตแกรมของตรานกยูงยักษ์ของแสดมปีจริงจะมากกว่า ของตรานกยูงยักษ์ของแสดมปีปลอม สำหรับในโครงการงานวิจัยนี้เราจะใช้สัญลักษณ์ w แทนความกว้างของฮิสโตแกรมดังกล่าวนี้
2. ความสูงที่สูงที่สุดของฮิสโตแกรมในส่วนที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งพบว่าความสูงของฮิสโตแกรมของตรานกยูงยักษ์ จากแสดมปีจริงจะมากกว่า ของตรานกยูงยักษ์ จากแสดมปีปลอม สำหรับในโครงการงานวิจัยนี้เราจะใช้สัญลักษณ์ h แทนความสูงของฮิสโตแกรมดังกล่าวนี้

ด้วยคุณลักษณะของฮิสโตแกรมที่แตกต่างกัน 2 ข้อดังกล่าว เราสามารถนำไปใช้เป็นลักษณะเด่นในการคัดแยกแสดมปีเป็นของจริงหรือปลอมได้ วิธีการคัดแยกที่นำมาใช้ในโครงการงานศึกษาวิจัยนี้ เป็นวิธีการนำเอาลักษณะเด่นทั้งสองคือ ความกว้างของฮิสโตแกรม (w) และ ความสูงของฮิสโตแกรม (h) ไปพล็อตเป็นคู่พิกัด (w, h) บนระนาบโดย w เป็นแกน x และ h เป็นแกน y แล้วใช้เส้นตรงบนระนาบดังกล่าวเป็นเส้นแบ่งกลุ่มของจริงกับของปลอม

จากแนวคิดของการแก้ปัญหาวิจัยดังกล่าว เราจะได้ภาพรวมของขั้นตอนการตรวจสอบแสดมปีที่นำเสนอในโครงการงานศึกษาวิจัยนี้ตามบล็อกไดอะแกรม (block diagram) ดังรูปที่ 3.8 โดยรายละเอียดของขั้นตอนการตัดเอาเฉพาะตรานกยูงยักษ์และการคัดแยกจะอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

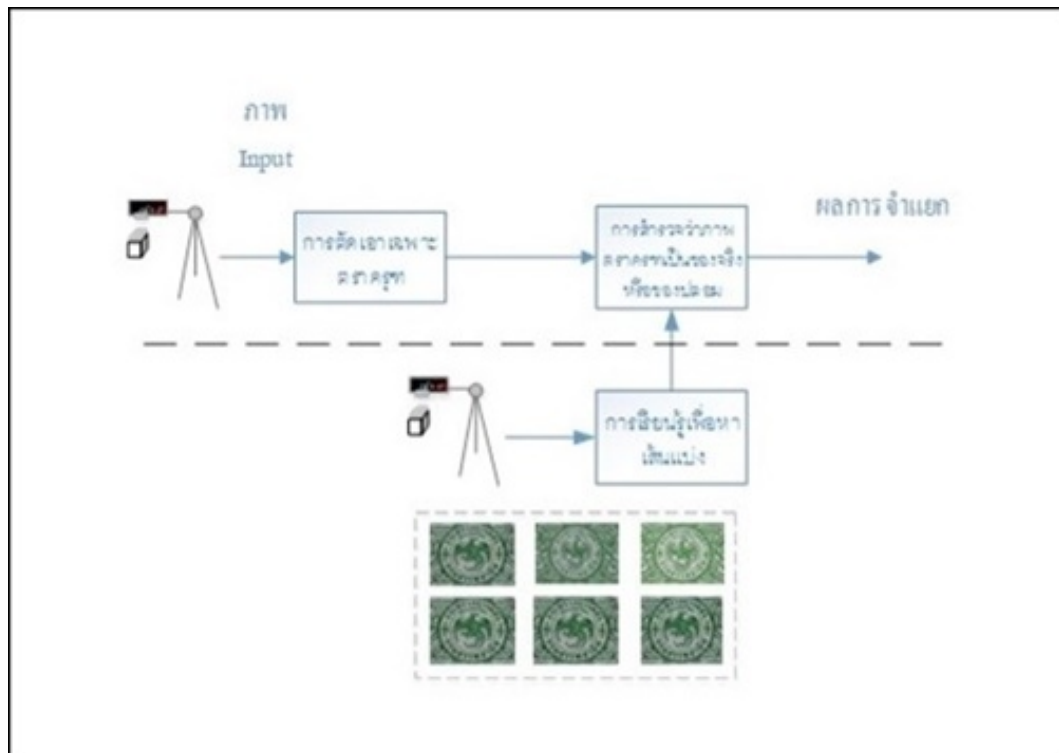
3.3 วิธีการตัดเอาเฉพาะภาพตรานกยูงยักษ์

ตามที่ได้กล่าวไว้ในแนวคิดของการแก้ปัญหาแล้วว่าโครงการงานวิจัยนี้ได้้นำวิธีการแปลงแบบฮัฟ มาใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาวงกลมที่ล้อมรอบตรานกยูงยักษ์ที่อยู่ในแสดมปี หัวข้อนี้อธิบายขั้นตอนการตัดเอาภาพตรานกยูงยักษ์ ดังกล่าวดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: นำเข้าภาพแสดมปี รูปที่ 3.9 แสดงภาพตัวอย่างของภาพแสดมปีที่นำเข้าสู่กระบวนการ สังเกตว่าภาพอินพุตนี้มีการตัดเอาเฉพาะส่วนที่มีตราแสดมปีเท่านั้น ในโครงการงานศึกษาวิจัยนี้เราจะสมมุติว่ามีระบบตัดภาพนี้ให้แล้ว

ขั้นตอนที่ 2: แปลงภาพจากขั้นตอนที่ 1 เป็นภาพระดับเทา รูปที่ 3.10 แสดงผลของขั้นตอนนี้เมื่อใช้กับภาพตัวอย่างในรูปที่ 3.9

ขั้นตอนที่ 3: แปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ รูปที่ 3.11 แสดงผลของขั้นตอนนี้เมื่อใช้กับภาพระดับสีเทา รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวิธีการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.9 ภาพของแบตมปีที่ต้องการตรวจสอบ นำเข้าในโปรแกรมเพื่อการตัดเอาส่วนของตรานกยูงกัษย์



รูปที่ 3.10 ภาพระดับสีเทาของภาพแสดมภ์ในรูปที่ 3.9

ขั้นตอนที่ 4: ใช้วิธีการหาเส้นขอบด้วยวิธี canny เพื่อการหาขอบ โดยอินพุตเป็นภาพขาวดำจากขั้นตอนที่ 3 เพราะต้องการลดจำนวนจุดขาวของภาพลงไป รูปที่ 3.12 เป็นผลของการหาขอบของภาพในรูปที่ 3.11

ขั้นตอนที่ 5: ใช้การแปลงแบบฮัฟวงกลม (Circle Hough Transform) เพื่อสร้าง Hough Space ของวงกลมที่มีรัศมีในช่วงที่ครอบคลุม โดยใช้ขนาดของรัศมีวงนอกสุดของกรอบวงกลมที่ล้อมรอบตรานกวยักษ์เป็นขอบเขตสูงสุด

ขั้นตอนที่ 6: เลือกวงกลมจาก Hough Space ในขั้นตอนที่ 5 ที่มีความถี่ของการเกิดมากที่สุด ผลที่ได้ในขั้นตอนนี้จะอยู่ในรูปของตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมี รูปที่ 3.13 แสดงผลของวงกลมที่ได้จากภาพของแสดมภ์ตัวอย่างดังรูปที่ 3.9

ขั้นตอนที่ 7: ตัดเอาเฉพาะส่วนของภาพอินพุตที่อยู่ภายในวงกลมที่ได้ในขั้นตอนที่ 6 รูปที่ 3.14 แสดงภาพของการตัดสำหรับกรณีภาพตัวอย่างตามรูปที่ 3.9

3.4 วิธีการแยกแยะตรานกวยักษ์

ตามที่ได้กล่าวไว้ในแนวคิดของการแก้ปัญหา ในโครงงานศึกษาวิจัยนี้ จะใช้คุณสมบัติเด่นของฮิสโตแกรมของภาพตรานกวยักษ์ ที่ได้จากการตัดด้วยวิธีที่นำเสนอตามหัวข้อที่ 3.3 เพื่อการตรวจสอบว่าแสดมภ์นั้นเป็นของจริงหรือปลอม จากแนวคิดที่นำเสนอพบว่าคุณลักษณะ 2 ตัวของฮิสโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.15 ที่สามารถใช้ในการแยกแยะตรานกวยักษ์ของแสดมภ์จริงกับของแสดมภ์ปลอมออกจากกันคือ

1. ความสูงของฮิสโตแกรมของภาพตรานกวยักษ์ แทนด้วย h เป็นค่าความถี่ที่ปรับให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ที่มีค่าสูงสุด



รูปที่ 3.11 ภาพขาวดำที่ได้จากการแปลงภาพระดับสีเทาของแสดมภ์จากรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.12 ภาพที่ได้จากการหาเส้นขอบด้วยวิธี canny ของภาพตัวอย่างดังรูปที่ 3.11

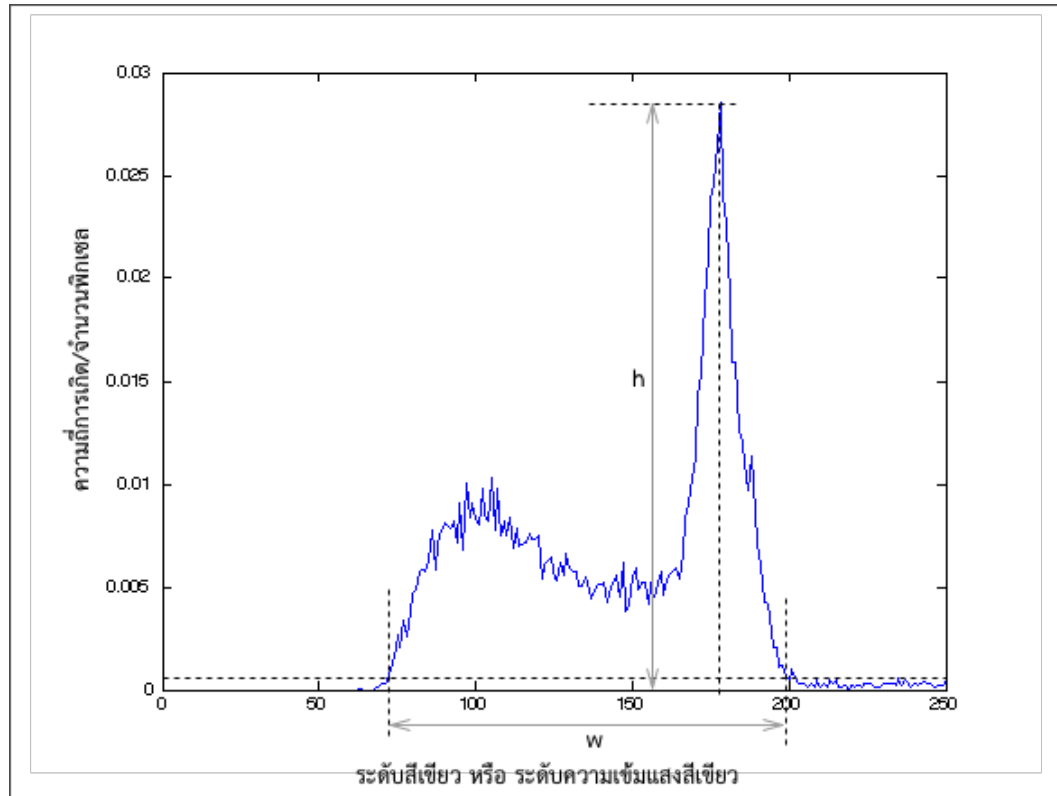


รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการค้นหาวงกลมของภาพตัวอย่างในรูปที่ 3.9 ด้วยการใช้การแปลงฮัฟวงกลม



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างผลของการตัดภาพอินพุตเพื่อเอาเฉพาะส่วนของภายในวงกลมที่ได้จากขั้นตอนที่ 6

2. ความกว้างของฮิสโตแกรมของภาพตราหน้าควายกั๊กซ์ แทนด้วย w เป็นค่าความกว้างของฮิสโตแกรมที่มีความถี่มากกว่า 20/



รูปที่ 3.15 นิยามของค่า w และ h ที่ใช้เป็นลักษณะเด่นในการแยกแยะตราหน้าควายกั๊กซ์

วิธีการแยกแยะที่นำมาใช้เป็นวิธีการใช้เส้นแบ่งแบบเส้นตรง (linear classification line) ของจุดพิกัด (w, h) โดยจุดพิกัดที่ได้จากตราหน้าควายกั๊กซ์ของแสดมภ์จริงจะอยู่ข้างล่างของเส้นแบ่ง เพราะฮิสโตแกรมของมันจะมีค่า h (แกน y) ที่ต่ำของปลอม ในขณะที่ w (แกน x) ของตราหน้าควายกั๊กซ์ของจริงจะมีค่ามากกว่าของตราหน้าควายกั๊กซ์ปลอม เส้นแบ่งดังกล่าวจะใช้วิธีการเรียนรู้ซึ่งอธิบายในหัวข้อ 3.5

วิธีการแยกแยะตราหน้าควายกั๊กซ์ที่นำมาใช้ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: นำเข้าภาพตราหน้าควายกั๊กซ์ ที่ได้จากขั้นตอนการตัดภาพตราหน้าควายกั๊กซ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.14 ไปหาฮิสโตแกรมของระดับสีเขีย ได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.16

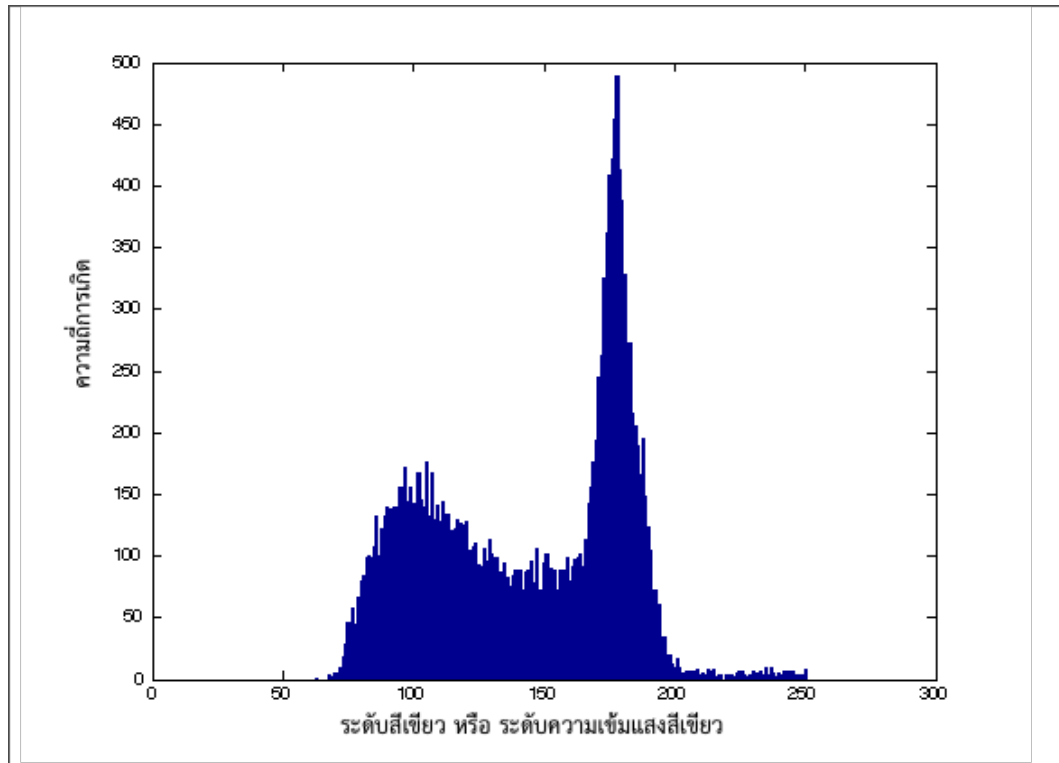
ขั้นตอนที่ 2: ปรับความถี่ของฮิสโตแกรมให้เป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยการหารด้วยจำนวนจุดของภาพ

ขั้นตอนที่ 3: ตัดฮิสโตแกรมให้เหลือเฉพาะส่วนของ Bin จาก 21 ถึง 250 เพื่อให้ได้เฉพาะส่วนของฮิสโตแกรมที่ต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 4: หาค่าความสูง h ได้โดยการหาค่าที่มากที่สุดของกราฟฮิสโตแกรมจากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 5: หาค่าความกว้าง w ตามนิยามตามรูปที่ 3.15

ขั้นตอนที่ 6: ถ้า (w, h) อยู่ใต้เส้นแบ่งแสดงว่าเป็นภาพตรานกวายุภักษ์อินพุตเป็นของแสดมปีจริง ถ้าไม่เช่นนั้นแสดงว่าเป็นของแสดมปีปลอม



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของภาพระดับสีเทาจากรูปที่ 3.14

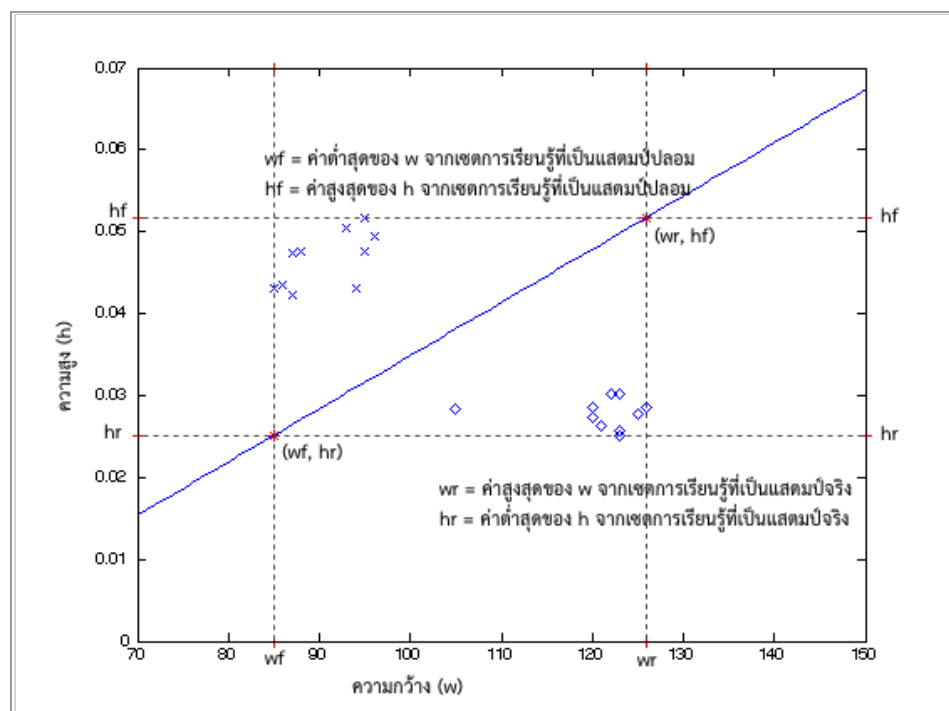
3.5 การเรียนรู้เพื่อหาเส้นแบ่งการคัดแยก

เส้นตรงที่ใช้ในการตัดสินใจว่าภาพตรานกวายุภักษ์เป็นของแสดมปีจริงหรือปลอมหาได้จากการเรียนรู้โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกเซตของภาพที่ใช้ในการเรียนรู้ โดยใช้ภาพจากแสดมปีจริงและแสดมปีปลอมจำนวน n ภาพเท่ากัน ให้ r_1, r_2, \dots, r_n เป็นภาพตรานกวายุภักษ์ที่ตัดจากแสดมปีจริงจำนวน n ภาพ และให้ f_1, f_2, \dots, f_n เป็นภาพตรานกวายุภักษ์ที่ตัดจากแสดมปีปลอมจำนวน n ภาพ
2. ใช้วิธีการคัดตรวจาวยุภักษ์ที่เสนอในหัวข้อ 3.3 ในการตัดภาพวายุภักษ์ของภาพที่ใช้ในการเรียนรู้ทั้งหมด
3. ใช้วิธีการหาค่า w และ h ของตราวายุภักษ์ที่ตัดมาทุกอัน โดยให้ $w_r(i)$ และ $h_r(i)$ เป็นค่า w และ h ของภาพในการเรียนรู้ที่เป็นแสดมปีจริงลำดับที่ i และให้ $w_f(i)$ และ $h_f(i)$ เป็นค่า w และ h ของภาพในการเรียนรู้ที่เป็นแสดมปีปลอมลำดับที่ $i, i = 1, 2, \dots, n$
4. หาเส้นตรงที่เป็นเส้นแบ่งกลุ่มของ $(w_r(i), h_r(i))$ ออกจากกลุ่มของ $(w_f(i), h_f(i))$

- เลือกมุมซ้ายล่างของกลุ่ม (w_{min}, h_{min}) และจุดมุมขวาของกลุ่ม (w_{max}, h_{max}) โดยที่
 - w_{min} เป็นค่าน้อยที่สุดของ w_f
 - h_{min} เป็นค่าน้อยที่สุดของ h_r
 - w_{max} เป็นค่าน้อยที่สุดของ w_r
 - h_{max} เป็นค่าน้อยที่สุดของ h_f
- เลือกเส้นแบ่งเป็นเส้นตรงจากจุด (w_{min}, h_{min}) ซึ่งเป็นจุดด้านมุมซ้ายล่างกับจุด (w_{max}, h_{max}) ซึ่งเป็นจุดมุมขวบน

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของผลการเรียนรู้ด้วย $n = 10$



รูปที่ 3.17 เส้นตรงสำหรับการแยกแยะที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยภาพแสดมปีจริงและแสดมปีปลอมอย่างละ 5 ภาพ ($n = 5$)

บทที่ 4 การทดสอบและการวิจารณ์

วิธีการตรวจสอบแสดมปีตามที่นำเสนอในบทที่ 3 ได้รับการทวนสอบ (verification) ด้วยการทดลองกับภาพแสดมปีจริงและแสดมปีปลอมอย่างละ 20 ภาพ ในหัวข้อ 4.1 จะบอกถึงข้อมูลของกล้องและระบบคอมพิวเตอร์รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ หัวข้อ 4.2 จะบอกถึงผลที่ได้จากการทดสอบ และหัวข้อ 4.3 เป็นการวิจารณ์ผลการทดสอบที่ได้

4.1 การเตรียมการในการทดสอบ

4.1.1 ระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองเพื่อทดสอบวิธีการที่นำเสนอ ระบบการถ่ายภาพแสดมปีแบบง่าย ตามที่นำเสนอในบทที่ 3 ได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อการถ่ายภาพแสดมปีที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเป็นกล้องดิจิทัลซึ่งมีข้อมูลของกล้องตามที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพสแสดมปี

รุ่นของกล้อง	NIKON D5200
จำนวนจุดพิกเซล	24.1 megapixels
เลนส์	18 -55 VR
ระยะโฟกัส	Contrast Detect (sensor
ความเร็วชัตเตอร์	30 sec-1/4000 sec
การซูม	35-55 mm

วิธีการที่นำเสนอได้ถูกนำสร้างบนแพลตฟอร์ม Matlab โดยการเขียนเป็น โปรแกรมรันบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4.1.2 ข้อมูลสำหรับการทดลอง

ภาพของแสดมปีสำหรับการทดสอบได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพตามหัวข้อ 4.1.1 ในการทดสอบระบบจำเป็นต้องมีภาพแสดมปีทั้งที่เป็นแสดมปีจริง และแสดมปีปลอมจำนวน 2 เซต โดยทั้งหมดเป็นสแสดมปีที่ได้จากสรรพากรเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีรายละเอียดของแสดมปีตัวอย่างตามตารางที่ 4.2

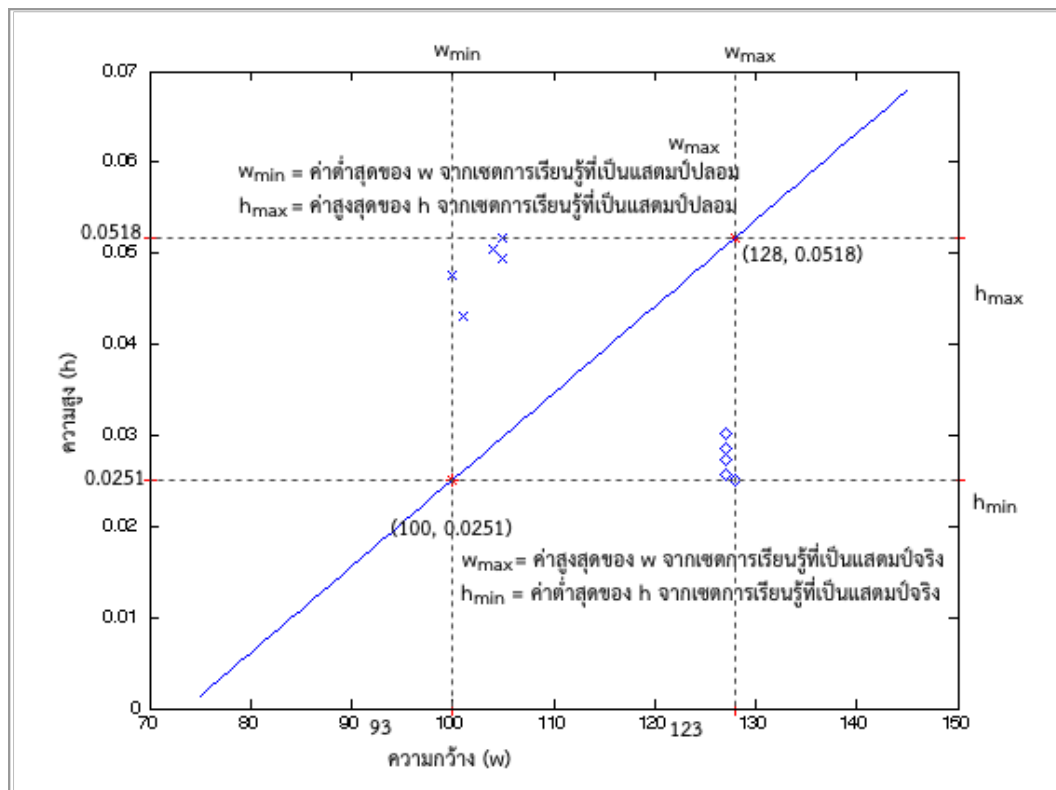
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแสดมปีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของแสดมปี	เป็นแสดมปีสุราของสรรพากรเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี
จำนวนแสดมปีทั้งหมด	50 แสดมปี
จำนวนแสดมปีจริง	25 แสดมปี
จำนวนแสดมปีปลอม	25 แสดมปี

4.1.3 การเรียนรู้เพื่อหาเส้นตรงที่ใช้เป็นเกณฑ์การตรวจสอบ

ตามวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3 การตรวจสอบว่าแสดมภ์เป็นของจริงหรือของปลอม จะต้องมีการเรียนรู้เพื่อสร้างเกณฑ์สำหรับการตรวจสอบ ซึ่งเป็นเส้นตรงบนระนาบ $w - h$ โดย w เป็นความกว้างของอิสโตแกรมของภาพระดับสีเขียวของทรานกวยักษ์ในแสดมภ์ และ h เป็นความสูงที่สุดของอิสโตแกรมของภาพระดับสีเขียวของทรานกวยักษ์ในแสดมภ์ กระบวนการในการเรียนรู้เป็นไปตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5

สำหรับในการทดสอบนี้ ได้เลือกภาพแสดมภ์จำนวน 10 ภาพเป็นสแสดมภ์จริงและแสดมภ์ปลอมอย่างไร 5 ภาพ เพื่อใช้เป็นเซตของภาพสำหรับการเรียนรู้ (training set) ผลการเรียนรู้เป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงตามสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟจากการพล็อตจุดพิกัด (w, h) ที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยเซตของภาพสำหรับการเรียนรู้

$$\begin{aligned}
 h &= m * (w - w_0) + h_0 \\
 m &= \frac{h_{\max} - h_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} = 8.881 \times 10^{-4} \\
 w_0 &= w_{\min} = 100 \\
 h_0 &= h_{\min} = 0.0251
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

โดยที่

- w_{min} เป็นค่าต่ำสุดของ w ที่ได้จากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ กลุ่มแสดมปีปลอม
จากการทดลองได้ $w_{min} = 100$
- w_{max} เป็นค่าสูงสุดของ w ที่ได้จากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ กลุ่มแสดมปีจริง
จากการทดลองได้ $w_{max} = 128$
- h_{min} เป็นค่าต่ำสุดของ h ที่ได้จากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ กลุ่มแสดมปีจริง
จากการทดลองได้ $h_{min} = 0.0251$
- h_{max} เป็นค่าสูงสุดของ h ที่ได้จากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ กลุ่มแสดมปีปลอม
จากการทดลองได้ $h_{max} = 0.0518$
- m เป็นความชันของเส้นแบ่ง จากการทดลองได้
- (w_0, h_0) เป็นจุด ๆ หนึ่งบนเส้นแบ่งในที่นี้เลือกใช้จุด (w_{min}, h_{min})

4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์

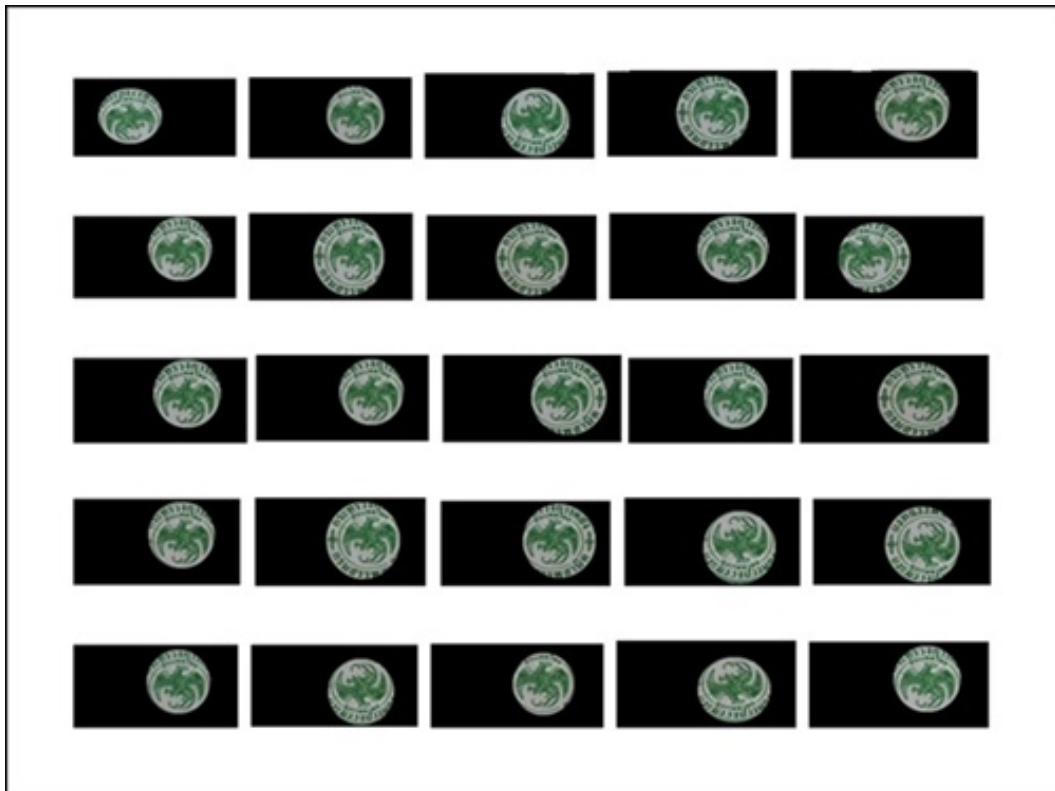
วิธีการที่นำเสนอมี 2 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การตัดเอาเฉพาะทรานควายูกักย์ และ (2) การตรวจสอบว่าทรานควายูกักย์ที่ตัดมาเป็นของจริงหรือของปลอม ดังนั้นในการทดสอบจึงแบ่ง 2 ขั้นตอน โดยภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพที่ไม่อยู่ในเซตของการเรียนรู้ โดยเป็นภาพแสดมปีจริง 20 ภาพ และภาพแสดมปีปลอม 20 ภาพ

4.2.1 ผลการตัดรูปนควายูกักย์

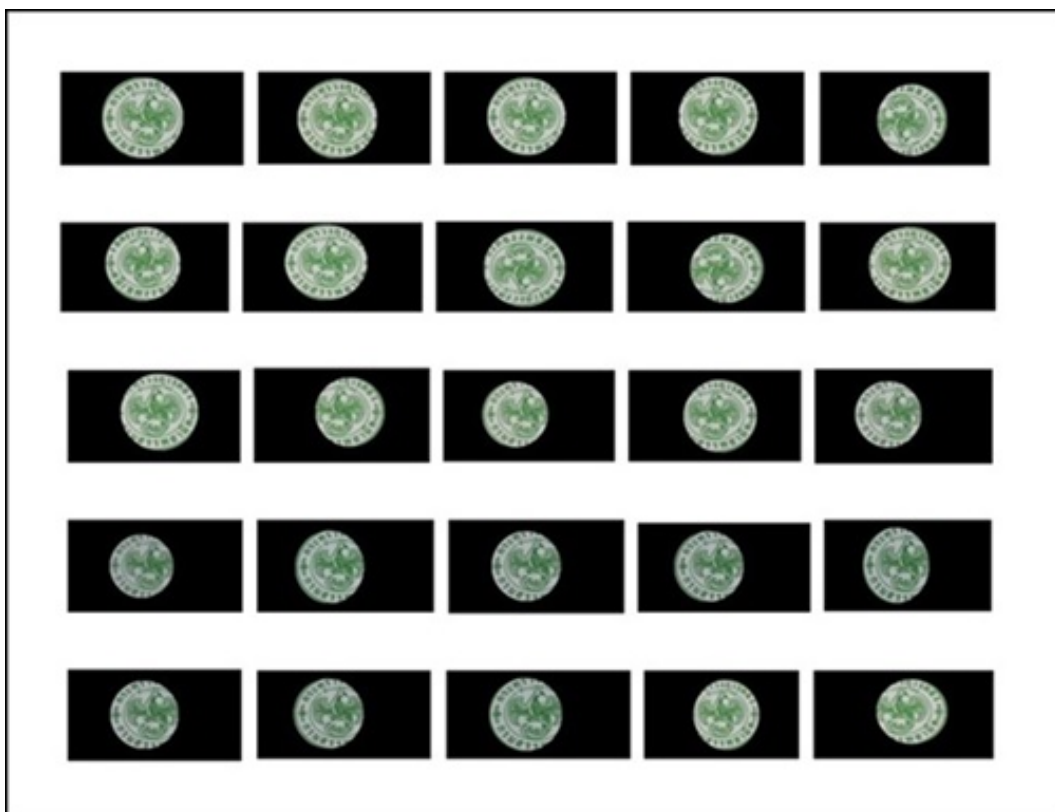
ในขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาผลการตัดเอาเฉพาะทรานควายูกักย์ รูปที่ 4.2 และ ?? แสดงผลการตัดสำหรับแสดมปีที่เป็นแสดมปีจริง และแสดมปีปลอมตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 การตัดเอาภาพของนควายูกักย์เพื่อไปใช้ในการตรวจสอบนั้น ไม่ได้ถูกต้องทั้งหมด ภาพการตัดที่ไม่ถูกต้องจะมีลักษณะที่มีบางส่วนภายในกรอบของรูปครุฑที่หายไป และอาจจะมีบางภาพที่มีส่วนอื่นเพิ่มขึ้นมา ทั้งนี้เพราะทรานควายูกักย์ซึ่งอยู่ในกรอบวงกลม ภายในภาพแสดมปีที่ใช้ทดสอบนั้น ตัววงกลมล้อมรอบรูปครุฑจะไม่สมดุล กล่าวคือจะมีลักษณะเป็นวงรี ทำให้การตัดซึ่งเป็นการตัดด้วยวงกลมมีความคลาดเคลื่อนในบางส่วน เหตุผลที่ภาพเป็นวงรีนั้นมาจากการถ่ายภาพ ซึ่งควบคุมให้ภาพเป็นวงกลมทั้งหมดได้ยาก

อย่างไรก็ตามผลการตัดที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้มีผลกระทบกับการแยกแยะไม่มาก เพราะลักษณะเด่นที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นคุณสมบัติของการกระจายของสีเขียวของส่วนที่เป็นทรานควายูกักย์ ซึ่งผลของการคลาดเคลื่อนจะเป็นผลต่อจุดพิกัดของ (w, h) อยู่บ้างแต่มีไม่มากพอที่จะให้เกิดการย้ายกลุ่ม



รูปที่ 4.2 ภาพนกวายุภักษ์ที่ได้จากผลการตัดจากภาพแสดมป้จริงที่ใช้ในการทดสอบ



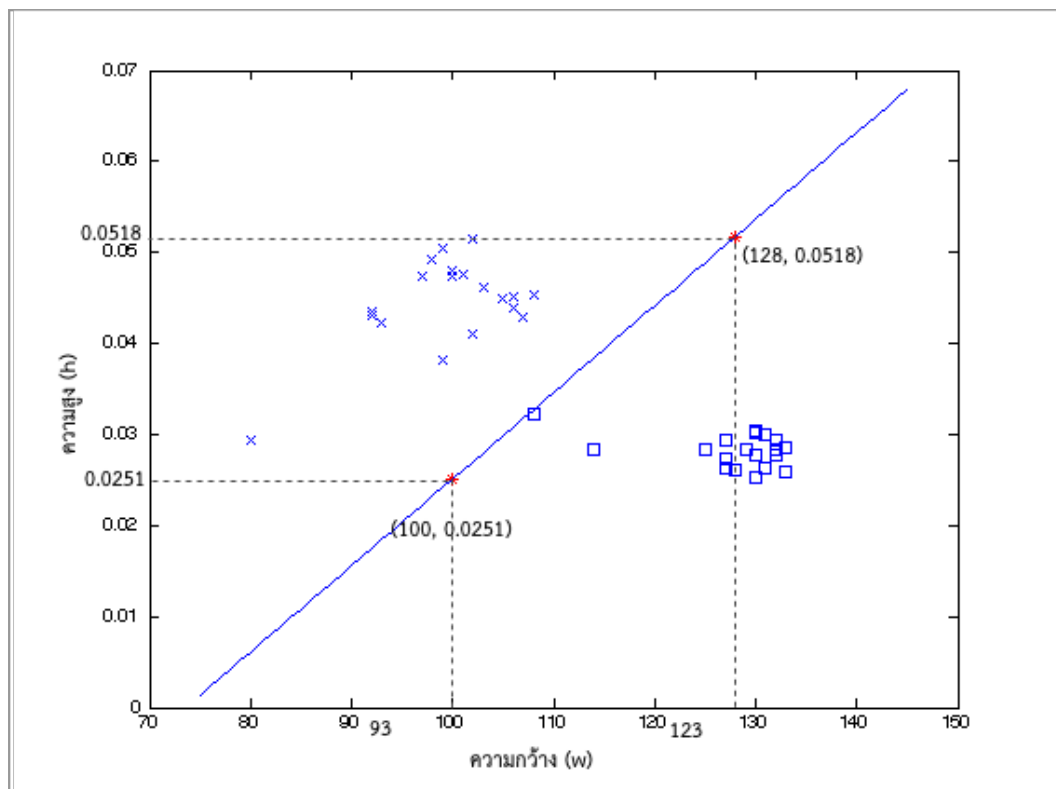
รูปที่ 4.3 ภาพนกวายุภักษ์ที่ได้จากผลการตัดจากภาพแสดมป้ปลอมที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.2 ผลการแยกแยะชนิดของแสมปี

ภาพที่ได้จากการตัดรูปนกวายุภักษ์จะถูกนำไปตรวจสอบว่าเป็นภาพของแสมปีจริงหรือของแสมปีปลอม โดยการนำข้อมูลสีเขียวของภาพที่ตัดได้ไปหาฮิสโตแกรม แล้วปรับให้ฮิสโตแกรมไปทำให้อยู่ในช่วงเดียวกันคือมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เหมือนกัน ทั้งนี้เพราะภาพที่ตัดมาอาจมีขนาดภาพไม่เท่ากัน จากนั้นจึงหาค่า w และ h ของแต่ละภาพ นำค่า w และ h ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเส้นแบ่งที่ได้จากการเรียนรู้ ถ้าจุด (w, h) อยู่เหนือเส้นแบ่งแสดงว่าเป็นภาพทรานควายุภักษ์นั้นเป็นของแสมปีปลอม รูปที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ต่อจุด (w, h) ของภาพทดสอบทั้งหมด โดยกากบาทเป็นจุดของภาพทดสอบที่เป็นแสมปีปลอม ส่วนเครื่องหมายรูปเพชรเป็นจุดของภาพทดสอบที่เป็นแสมปีจริง

ถ้าจุดเครื่องหมายกากบาทอยู่ใต้เส้นแบ่ง แสดงว่าเป็นการตัดสินใจผิดพลาดจากของปลอมเป็นของจริง ซึ่งไม่พบกรณีนี้เกิดขึ้นจากภาพตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ถ้าจุดรูปเพชร อยู่เหนือเส้นแบ่ง แสดงว่าเป็นการตัดสินใจของจริงเป็นของปลอม ซึ่งไม่พบกรณีนี้เกิดจากภาพตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ สรุปได้ว่าวิธีที่นำเสนอสามารถตรวจสอบแสมปีตัวอย่างจำนวน 40 แสมปีได้ทั้งหมด

จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถตรวจสอบแสมปีตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 40 แสมปีได้ทั้งหมด ซึ่งแสดงว่าวิธีที่นำเสนอมีโอกาสที่จะถูกนำไปใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามแม้ยังมีประเด็นที่ต้องให้ความสนใจดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 กราฟจากการพล็อตจุดพิกัด (w, h) ที่ทำได้จากภาพทรานควายุภักษ์ที่ตัดมาจากภาพแสมปีที่ใช้ทดสอบ

1. ตามวิธีที่นำเสนอ นั้น การตัดรูปครุฑมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะเกณฑ์ในการตัดขึ้นอยู่กับฮิสโตแกรมของรูปครุฑเท่านั้น ถ้าตัดรูปครุฑผิดฮิสโตแกรมอาจจะมีคุณสมบัติที่แตกต่าง ทำให้ตัดสินผิด หรือในบางกรณีตัดสินใจไม่ได้เลย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าภาพที่ถ่ายมาวางกลมจะปรากฏเป็นวงรี ผลการตัดก็ยังถูกต้องในแง่ที่สามารถตัดเอาส่วนใหญ่ของรูปครุฑออกมาได้ทุกกรณีของภาพตัวอย่าง
2. ปัญหาที่อาจจะเกิดได้กับการตัดตรานกยูงก็คือ กรณีที่แสดมปีที่ตั้งอยู่ที่ขอบมีความไม่สมบูรณ์ เช่น มีบางส่วนหายไป หรือแสดมปีมีการขาด ซึ่งจะเป็นปัญหาวิจัยในอนาคตเพื่อให้สามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้งานได้จริง
3. สำหรับขั้นตอนการหาจุดพิกัด (w, h) จากฮิสโตแกรมของรูปครุฑ มีความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดปัญหาขึ้นเมื่อในการนำวิธีที่นำเสนอไปใช้งานจริง ในกรณีที่มีความไม่เท่ากันของแสงที่ใช้ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อเส้นแบ่งที่ได้จากการเรียนรู้มาก่อน จึงเป็นอีกกรณีหนึ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อเพิ่มเติม
4. ประเด็นสุดท้ายคือวิธีการที่นำเสนอตั้งอยู่บนฐานของแสดมปีปลอมเพียงกลุ่มเดียว ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะบอกว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถตรวจสอบแสดมปีได้ทุกชนิด

บทที่ 5 บทสรุป

โครงการศึกษาวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบแสดมป์สุราว่าเป็นแสดมป์ของจริงหรือของปลอม โดยแสดมป์สุราที่สนใจเป็นแสดมป์สุราที่นำเข้า หรือเรียกอีกอย่างว่าแสดมป์สุราต่างประเทศซึ่งเป็นสุราที่มีราคาสูง ทำให้มีการลักลอบนำเข้า แล้วนำมาติดตราแสดมป์ปลอมเพื่อหลีกเลี่ยงการเสียภาษีสรรพากร วิธีการที่กรมสรรพสามิตในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ใช้ในการตรวจสอบแสดมป์สุรานั้นนำเข้าคือ การใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ซึ่งมีจำนวนคนน้อย จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการลักลอบได้อย่างทั่วถึง ปริมาณการลักลอบก็สูงขึ้นเนื่องจากผู้ลักลอบทราบว่าเจ้าหน้าที่มีน้อยจึงกล้าเสี่ยง

โครงการศึกษาวิจัยนี้ได้เสนอให้ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจสอบความเป็นของแท้ของแสดมป์สุรา โดยภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพของแสดมป์ที่ถ่ายจากด้านบนของขวดด้วยกล้องดิจิทัล วิธีที่นำเสนอเป็นวิธีที่ง่ายโดยใช้ฮัฟวอแกรมในการตัดเอาเฉพาะตรานกยูงออกมาก่อน แล้วนำไปหาคุณลักษณะเด่น ก่อนที่จะนำไปตัดสินใจว่าเป็นแสดมป์จริงหรือปลอม คุณลักษณะเด่นที่ใช้ในการแยกเป็นคุณลักษณะของฮิสโตแกรมของสีเขียวของภาพนกยูงที่ตัดมา โดยมี 2 ตัวคือ ความสูงที่มากที่สุดของฮิสโตแกรมเรียกว่า h และความกว้างของฮิสโตแกรมเรียกว่า w วิธีการแยกแยะใช้เส้นตรงในระนาบของ (w, h) ที่ได้จากการเรียนรู้แบบง่ายจากเซตของภาพแสดมป์ทั้งของจริงและของปลอม

ผลการทดสอบกับแสดมป์ที่ได้มาจากกรมสรรพสามิตเขตพื้นที่ จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 40 แสดมป์เป็นแสดมป์จริงและปลอมอย่างละ 20 แสดมป์พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถตรวจสอบได้อย่างถูกต้องทั้งหมด แต่มีแสดมป์จริงบางตัวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นแบ่งที่ได้จากการเรียนรู้

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลการทดสอบจะมีอัตราการตรวจสอบถูกต้องที่สูงเป็นที่น่าพอใจ แต่การที่จะนำวิธีการเช่นนี้ไปใช้จริงอาจจะต้องพิจารณาประเด็นต่าง ๆ อีกหลายประเด็น ได้แก่ (1) การถ่ายภาพที่จะต้องอยู่ในระยะที่กำหนด และอาจจะต้องควบคุมแสงให้เพียงพอ (2) ปรับปรุงวิธีการแยกแยะเช่นการใช้ SVM (support vector machine) แทนเพราะวิธีที่นำเสนอใช้หลักการเดียวกัน (3) มีการเรียนรู้ด้วยภาพที่มากกว่า 5 ภาพที่ใช้อยู่ และ (4) วิธีที่นำเสนออาจใช้ได้ดีกับการปลอมแปลงที่สีของตรานกยูงมีความแตกต่างกัน แต่ถ้ามีการปลอมแปลงแบบอื่นวิธีนี้อาจจะใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตามหลักการของการตัดเอาเฉพาะตรานกยูงซึ่งเป็นส่วนที่มีรายละเอียดมาก จึงยากที่สุดที่จะปลอมแปลง เพื่อมาวิเคราะห์ว่าเป็นของแท้หรือของปลอมเป็นแนวคิดที่มีโอกาสที่จะใช้ได้สูง