

การตรวจหาฟอสเฟตในภาพวาดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล

นายสุวิชัย ศุภลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

# Manhole Cover Detection on Road Surface Image Using Image Processing Technique

Mr. Sutiwat Supaluk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจหาฟอสเฟตในภาพผิวหนังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล
โดย	นายสุวิชัย ศุภลักษณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นางลักษณ โควาวินสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.เดชา นุชิต กัตัญญทวิทิพย์)

สุริวัชร ศุภลักษณ์ : การตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล. (MANHOLE COVER DETECTION ON ROAD SURFACE IMAGE USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. สืบสกุล พิภพมงคล, 67 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลโดยทดสอบกับภาพที่ได้จากรถสำรวจผิวทางและกล้องถ่ายภาพ DSLR ขั้นตอนที่น่าเสนอแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมภาพ การแยกลักษณะและการตรวจหา การเตรียมภาพเริ่มจากการนำภาพต้นฉบับเข้ามาซึ่งภาพระดับเทาที่กำลังจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน แล้วปรับค่าความเปรียบต่างของสีด้วยวิธีการปรับรู้งสีโทแกรมให้เสมอภาคกันและใช้การจับคู่สีโทแกรมเพื่อลดปัญหาเงาในภาพ ต่อไปเป็นการแยกลักษณะ โดยนำภาพที่ได้มาหาค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการตัดแยกบริเวณที่สนใจออกจากพื้นหลังด้วยวิธีการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ แล้วหาขอบด้วยวิธีการหาขอบแบบไซเบล หลังจากนั้นกำจัดจุดเชื่อมต่อของเส้นขอบด้วยวิธีการแปลงฮิตออร์มิส และกรองพิกเซลที่คาดว่าเป็นขอบของฝาแมนโฮลแยกจากวัตถุที่ไม่สนใจ แล้วขยายขนาดของขอบเพื่อทำให้มีความหนาขึ้นและเพื่อให้ขอบเชื่อมต่อกัน ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการตรวจหาวัตถุที่เป็นวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลมเพื่อให้ได้ตำแหน่งฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ

ผลการทดลองกับภาพ 3523 ภาพ พบว่าการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 94.9 จำแนกออกเป็นความถูกต้องในการตรวจหาฝาแมนโฮลจากภาพพื้นผิวถนนคอนกรีตและถนนลาดยางเฉลี่ยร้อยละ 95.45 และ 94.42 ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจหาตำแหน่งฝาแมนโฮลจากภาพที่ได้รถสำรวจผิวทาง และนำข้อมูลตำแหน่งฝาแมนโฮลในภาพไปใช้ในระบบสารสนเทศต่อไป

ภาควิชา ..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....

ปีการศึกษา ..... 2554

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

## 5170719621 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : MANHOLE COVER / IMAGE PROCESSING / CIRCLE DETECTION / ROAD SURFACE IMAGE / SURVEY

SUTIWAT SUPALUK : MANHOLE COVER DETECTION ON ROAD SURFACE IMAGE USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE. ADVISOR : ASST.PROF.SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL, Ph.D., 67 pp.

This paper presents an algorithm for manhole cover detection on road surface images using image processing techniques. The input images were from cameras installed on a road survey vehicle and from a DSLR camera. The proposed algorithm can be divided into three steps: pre-processing, feature extraction, and detection. In the pre-processing step, an input grayscale image is processed to remove the noise using Gaussian filter. Then the image contrast is improved by using histogram equalization and histogram matching to reduce the effect from the shadow in the image. In the feature extraction step, the improved image is then converted into binary form to distinguish between the foreground and the background of the image by using an adaptive threshold algorithm. Then, edge pixels are found using Sobel edge detection algorithm. Later, the connection pixels of edge pixels are removed using hit or miss transformation. Potential manhole edge pixels are then extracted and dilated later. Finally, the Circle Hough transform algorithm is used to detect manhole covers.

The proposed algorithm was applied on 3,523 images. The results showed 94.9% accuracy of the manhole cover detection. The accuracy on concrete pavement and asphalt pavement were 95.45% and 94.42%, respectively. The proposed method can be applied in an automatic system for the detection of manhole covers in images taken from a survey vehicle. The manhole cover locations in the images can be used as important data for geographical information system (GIS).

Department : Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011 .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ปรึกษาและเสนอแนะ ข้อคิดเห็นในแนวทางวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.นงลักษณ์ ไควาวิสารัช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์และ ดร.เดชาลิขิต กตัญญูทวีทิพย์ ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนจนถึงการตรวจสอบและการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเพิ่มข้อมูลวิดิทัศน์จากการสำรวจผิวทางโดยรถสำรวจผิวทาง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการพัฒนางานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่คอยสนับสนุนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจในทุก ๆ ด้านรวมทั้งส่งเสริมให้ศึกษาอย่างต่อเนื่องกับผู้วิจัยเสมอมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผ้าบนท้องถนน.....	5
2.1.1 ประเภทของผ้าที่มีอยู่บนท้องถนน.....	5
2.1.2 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผ้าแมนโฮล.....	5
2.1.3 การติดตั้งผ้าแมนโฮลบนท้องถนน.....	6
2.1.4 ตัวอย่างของผ้าแมนโฮลที่ใช้โดยองค์กรต่างๆ.....	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2.1 การแปลงภาพสีRGB เป็นภาพระดับเทา(Gray Scale).....	8
2.2.2 การทำสังวัตนาการ(Convolution) .....	9
2.2.3 การลดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยตัวกรองเกาส์เซียน(Gaussian Filter) .....	10
2.2.4 การปรับปรุงฮิสโตแกรมให้เสมอภาคกัน (Histogram Equalization) .....	12
2.2.5 การจับคู่อิสโตแกรม(Histogram Matching) .....	15
2.2.6 การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้(Adaptive Threshold) .....	15
2.2.7 การหาขอบแบบโซเบล(Sobel Edge Detection).....	18
2.2.8 การหาลักษณะจุดเชื่อมต่อของพิกเซลด้วยนำวิธีรหัสลูกโซ่(Chain Code) มาประยุกต์ใช้.....	20

บทที่	หน้า
2.2.9 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน(Morphological Image Processing) .....	21
2.9.1.1 การขยายขนาด(Dilation) .....	21
2.9.1.2 การแปลงแบบฮิตออร์มิส(Hit-or-Miss Transformation).....	22
2.2.10 การตรวจหาวงกลมภายในรูปด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลม (Circle Hough Transform) .....	23
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3. ขั้นตอนวิธีการตรวจหาฝาแมนโฮล.....	28
3.1 การเตรียมภาพ(Pre-processing Step).....	30
3.2 การแยกลักษณะ(Feature Extraction Step) .....	31
3.3 การตรวจหาฝาแมนโฮล(Manhole Cover Detection Step) .....	39
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	42
4.1 การเก็บข้อมูลจากรถสำรวจผิวทาง.....	42
4.2 โปรแกรมPOP(Post Processing Tool) .....	43
4.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาขั้นตอนการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนด้วยเทคนิค การประมวลผลภาพดิจิทัล.....	44
4.4 การทดลองกับภาพถ่ายจริงจำนวน 1800 ภาพเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	44
4.5 ผลการทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับภาพพื้นผิวถนนอีกจำนวน 3523 ภาพ.	50
4.6 สถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝาแมนโฮลกับจำนวนฝาแมนโฮลที่พบในภาพ.....	58
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	65
ภาคผนวก ค.....	66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67



## สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	การคำนวณหาค่าการปรับฮีสโทแกรมให้เสมอภาคกัน.....	14
4.1	ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝามาเนนไฮล.....	50
4.2	ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝามาเนนไฮลจำแนกตามชนิดของผิวถนน.....	50
4.3	ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝามาเนนไฮลจำแนกตามความสมบูรณ์ของฝามาเนนไฮลในภาพ.....	50
4.4	ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝามาเนนไฮลที่มีลักษณะฝาดำมืดในภาพจำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	51
4.5	ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝามาเนนไฮลที่มีเพียงขอบฝาดำบางส่วนจำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	51
4.6	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝามาเนนไฮลจากภาพผิวถนนคอนกรีต 462 ภาพ.....	51
4.7	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝามาเนนไฮลจากภาพผิวถนนลาดยาง 502 ภาพ.....	51
4.8	ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝามาเนนไฮล.....	52
4.9	ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝามาเนนไฮลจำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	52
4.10	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝามาเนนไฮลจากภาพผิวถนนคอนกรีต 1773 ภาพ.....	52
4.11	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝามาเนนไฮลจากภาพผิวถนนลาดยาง 1750 ภาพ.....	53
4.12	สรุปผลจากการทดลองการตรวจหาฝามาเนนไฮลในภาพผิวถนน.....	53
4.13	ผลจากการทดลองการตรวจหาฝามาเนนไฮลในภาพผิวถนนจำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	53
ก-1	จำแนกประเภทของของฝามาเนนไฮลตามความสมบูรณ์ของฝามาเนนไฮลที่ปรากฏในภาพ.....	64

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	2
1.2	3
1.3	3
2.1	5
2.2	6
2.3	6
2.4	7
2.5	7
2.6	7
2.7	8
2.8	8
2.9	8
2.10	10
2.11	10
2.12	11
2.13	11
2.14	12
2.15	13
2.16	14

ภาพที่	หน้า
2.17 การจับคู่อิสโทแกรม.....	16
2.18 การแบ่งบริเวณของอิสโทแกรมด้วยค่า T.....	17
2.19 การแบ่งบริเวณในภาพและการหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้.....	17
2.20 การเปรียบเทียบการใช้ค่าขีดแบ่งธรรมดา กับแบบปรับตัวได้ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบธรรมดา (ค) การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้.....	18
2.21 พิกเซลขนาด 3 x 3 พิกเซล .....	19
2.22 ตัวดำเนินการโซเบลในแกนตั้ง(Gy) และแกนนอน(Gx) (ก) แกนตั้ง(Gy) (ข) แกน นอน(Gx) .....	19
2.23 ผลลัพธ์ของการตรวจหาขอบแบบโซเบล (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์.....	20
2.24 ตัวดำเนินการการหาขอบแบบโซเบลในแนวทแยง (ก) แกนทแยงซ้าย(Gd1) (ข) แกน ทแยงขวา(Gd2).....	20
2.25 ค่าของทิศทางการหาเส้นทางของพิกเซลในภาพ.....	20
2.26 การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ (ก) สมาชิกโครงสร้าง 3x3 พิกเซล (ข) ตัวอย่างภาพ วัตถุ.....	21
2.27 วิธีการขยายขนาด (ก) ภาพก่อนการทำงาน (ข) ภาพหลังการทำงาน.....	22
2.28 การแปลงแบบฮิตออร์มิส.....	22
2.29 การแทนค่าในปริภูมิตัวสะสม.....	24
2.30 ผลลัพธ์จากการแทนตำแหน่งพิกเซลในปริภูมิสะสมโดยเพิ่มค่า r จนถึงค่าสูงสุด.....	24
2.31 ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดเฉพาะที่.....	24
2.32 การสร้างวงกลมจากสมการการแปลงฮัฟวงกลม.....	25
3.1 แผนภาพกิจกรรมการทำงานของตรวจหาเส้นในภาพผิวนอนด้วยเทคนิค การประมวลผลภาพดิจิทัล(Activity diagram).....	28
3.2 ฝั่งงานของขั้นตอนวิธีที่เสนอ.....	29
3.3 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (ก) ภาพที่ถ่ายโดยผู้วิจัย (ข) ภาพระดับเทา.....	30
3.4 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านตัวกรอง.....	30
3.5 การปรับความเปรียบต่างของสีในภาพด้วยวิธีการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน (ก) ภาพและฮิสโทแกรมที่มีค่าความเปรียบต่างของสีต่ำ (ข) ภาพและฮิสโทแกรมที่ ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน.....	31

ภาพที่		หน้า
3.6	การปรับฮิสโทแกรม (ก) ภาพและฮิสโทแกรมของภาพที่รับเข้ามา (ข) ภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน (ค) ภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกันและการจับคู่ฮิสโทแกรม.....	32
3.7	การแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ (ก) ภาพก่อนเข้าอัลกอริทึม (ข) ภาพผลลัพธ์.....	32
3.8	ตัวดำเนินการโซเบล (ก) แกนนอน Gx (ข) แกนตั้ง Gy (ค) แกนทแยงซ้าย Gd1 (ง) แกนทแยงขวา Gd2.....	33
3.9	การหาค่าสัมบูรณ์จากผลบวกของผลคูณของแต่ละพิกเซลในภาพไบนารี.....	33
3.10	ตัวอย่างรูปแบบของพิกเซลกับค่าขนาดของเกรเดียนต์ในภาพ.....	34
3.11	ลักษณะของพิกเซลในภาพ (ก) เป็นระเบียบ (ข) ไม่เป็นระเบียบ.....	35
3.12	ลักษณะสมาชิกโครงสร้าง.....	35
3.13	การกำจัดจุดเชื่อมต่อที่มีลักษณะต่างจากจุดของขอบวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮิตออร์มิส (ก) ภาพก่อนเข้า (ข) การเทียบสมาชิกโครงสร้างกับภาพนำเข้า (ค) ภาพผลลัพธ์	35
3.14	ผังการทำงานภาพรวมของการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ.....	36
3.15	ผังการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพอย่างละเอียด.....	37
3.16	ค่าของทิศทาง.....	38
3.17	วิธีการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ (ก) ตำแหน่งของพิกเซลในภาพ (ข) วิธีการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง.....	38
3.18	ข้อมูลตำแหน่งของพิกเซลในภาพ.....	38
3.19	ผลลัพธ์จากการหาลักษณะจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ (ก) ภาพที่ผ่านการกำจัดจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ (ข) ภาพผลลัพธ์.....	38
3.20	การขยายขนาดของกลุ่มพิกเซลในภาพ (ก) ภาพที่ผ่านกระบวนการที่แล้ว (ข) ภาพผลลัพธ์.....	39
3.21	ลักษณะตำแหน่งจุดศูนย์กลางของฝ่าแมนโฮลที่อยู่ในภาพ.....	39
3.22	การตรวจหาวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลม (ก) ภาพก่อนเข้า (ข) ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาฝ่าแมนโฮล.....	40
3.23	การตรวจสอบจำนวนพิกเซลที่ขอบของภาพ.....	40
3.24	การเพิ่มพื้นที่ของรูปภาพเพื่อแก้ปัญหาจุดศูนย์กลางอยู่นอกภาพ.....	41

ภาพที่	หน้า	
3.25	การแปลงฮัฟวงกลมในภาพขนาดใหญ่ (ก) ภาพก่อนการแปลงฮัฟวงกลม (ข) ผลลัพธ์จากการแปลงฮัฟวงกลม.....	41
3.26	ตำแหน่งอ้างอิงเมื่อตรวจพบจุดศูนย์กลางวงกลมนอกภาพ.....	41
4.1	รถสำรวจผิวทาง.....	42
4.2	ลักษณะการถ่ายภาพพื้นถนนของรถสำรวจผิวทาง(มองจากด้านบน) .....	42
4.3	การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์ภาพ.....	43
4.4	หน้าต่างติดต่อผู้ใช้งานของโปรแกรม POP.....	43
4.5	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจผิวทางโดยรถสำรวจผิวทาง.....	44
4.6	เปรียบเทียบค่าขีดแบ่งในภาพ (ก) T=12 (ข) T=10 (ค) T=8 (ง) T=6 (จ) T=4.....	45
4.7	ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งแยกกว่าส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุ.....	45
4.8	จำนวนนับของพิกเซลที่เหมาะสมในการกรองกลุ่มของพิกเซลที่สนใจ.....	46
4.9	การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ของการแปลงฮัฟวงกลมภายในภาพ.....	47
4.10	การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ของการแปลงฮัฟวงกลมภายนอกภาพ.....	48
4.11	ผลลัพธ์จากการตรวจหาฝาแมนโฮล.....	48
4.12	หน้าต่างของโปรแกรมแสดงผลการค้นหาตำแหน่งของฝาแมนโฮลที่อยู่ในภาพ.....	49
4.13	การเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงลบกับความถูกต้องในการตรวจหาฝาแมนโฮล จำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	54
4.14	การเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงบวกกับความถูกต้องในการตรวจหาฝาแมนโฮล จำแนกตามประเภทของผิวถนน.....	54
4.15	กรณีขอบของฝาแมนโฮลในภาพไม่ชัดเจน.....	54
4.16	กรณีที่โทนสีของฝาแมนโฮลในภาพเปลี่ยนไปกับสีผิวถนน.....	55
4.17	กรณีที่ส่วนของฝาส่วนใหญ่ปรากฏอยู่นอกกรอบภาพ.....	55
4.18	กรณีที่มีส่วนของยานพาหนะปรากฏในภาพ.....	55
4.19	กรณีที่รอยเชื่อมต่อหรือรอยแตกของผิวถนนปรากฏในภาพ.....	56
4.20	กรณีที่เงาของต้นไม้หรือเงาวัตถุอื่นปรากฏในภาพ.....	56
4.21	กรณีที่วัตถุอื่นๆปรากฏในภาพ.....	56
4.22	เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ขอบภาพ.....	57
4.23	กรณีที่เส้นขาวที่ขอบของฝาแมนโฮลในภาพ.....	57
4.24	กรณีฝาตะแกรงในภาพ.....	57

ภาพที่		หน้า
4.25	สถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝาแมนโฮล.....	58
ก-1	ตำแหน่งฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ.....	64
ข-1	ภาพถ่ายฝาแมนโฮลบนพื้นผิวถนนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย.....	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในเมืองใหญ่ทั่วโลก ต่างก็มีระบบสาธารณูปโภคและการบริการสาธารณะด้านต่างๆอันเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของผู้คน เช่นระบบไฟฟ้า ระบบประปา ระบบโทรศัพท์ การระบายน้ำ เป็นต้น การจัดการด้านการติดตั้งและให้บริการเกี่ยวกับระบบสาธารณูปโภคเหล่านี้นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญ ข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์และทรัพย์สินในระบบเหล่านี้ มีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งในการปฏิบัติงาน การบำรุงรักษา ตัวอย่างเช่น เมื่อมีความต้องการก่อสร้าง ขุดถนนหรือเดินระบบสาธารณูปโภคผ่านในที่ต่างๆ หากทราบตำแหน่งพิกัดของแนวท่อและช่องบริการ(Service hole) ก็สามารถทราบถึงปัญหาได้ล่วงหน้าและรวดเร็ว โดยไม่ต้องเสียเวลาไปมาระหว่างสถานที่จริงกับสำนักงานหลายๆรอบ โดยสามารถดูจากระบบคอมพิวเตอร์ได้ นอกจากนี้ในการลงบัญชีทรัพย์สินของหน่วยงาน การทราบตำแหน่งของทรัพย์สินก็จะทำให้สามารถยืนยันการมีอยู่ของทรัพย์สินได้ทั้งสถานที่อยู่และจำนวน เพื่อใช้ประกอบการคำนวณมูลค่าทรัพย์สินของหน่วยงานต่อไปได้

ในหน่วยงานสาธารณูปโภคซึ่งก่อตั้งมานาน ข้อมูลที่มีอยู่มักจะเป็นภาพในกระดาษหรือแบบแปลนและไม่มีข้อมูลตำแหน่งพิกัด ทำให้นำมาใช้ในการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ไม่ได้ ระบบงานคอมพิวเตอร์ที่แพร่หลายและใช้ตำแหน่งพิกัดในการประมวลผล ตัวอย่างเช่นระบบงานสารสนเทศภูมิศาสตร์(GIS : Geographical Information Systems) ซึ่งเป็นระบบเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ในฐานะข้อมูล อาทิ สภาพพื้นผิวถนน ตำแหน่งของอุปกรณ์บนท้องถนน เป็นต้น โดยเป็นระบบที่มีการใช้ข้อมูลตำแหน่งเป็นหลักโดยใช้ควบคู่ไปกับข้อมูลอื่นๆ หากไม่มีข้อมูลตำแหน่ง การใช้งานจะเกิดประโยชน์น้อยลงมาก ดังนั้นการหาข้อมูลตำแหน่งของทรัพย์สินในระบบสาธารณูปโภคที่ก่อสร้างมานานจึงมีความสำคัญ การได้มาซึ่งข้อมูลต้องมาจากการสำรวจขึ้นมาใหม่ เพื่อให้มีข้อมูลตำแหน่งในการใช้งานต่อไป

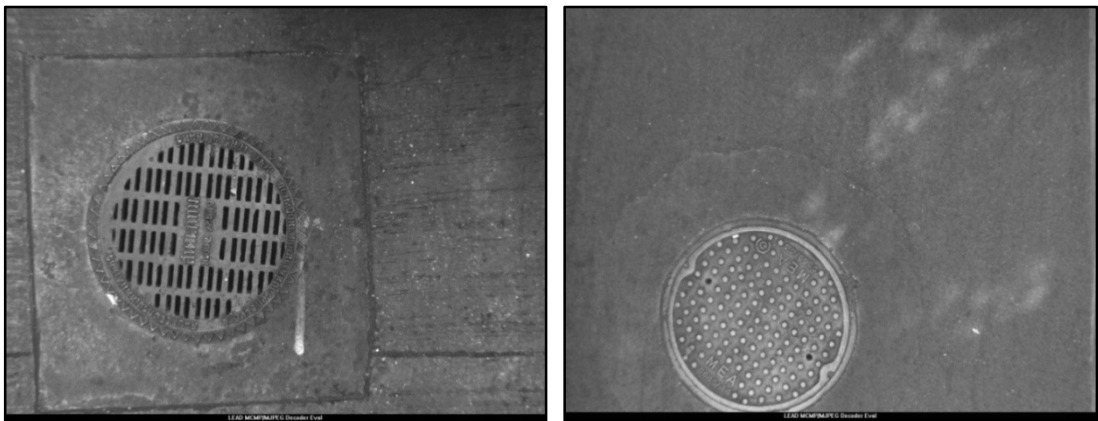
ในปัจจุบันผู้ให้บริการสาธารณูปโภคมักมีทรัพย์สินอยู่ในที่สาธารณะเป็นส่วนใหญ่ และมักจะอยู่ตามท้องถนน เช่น ฝาแมนโฮล(Manhole Cover) เสาไฟฟ้า ตู้โทรศัพท์ ตู้สาขาโทรศัพท์ หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น การสำรวจมักใช้การวัดพิกัดด้วยจีพีเอส(GPS) ที่ตำแหน่งจริงของทรัพย์สินโดยการใช้คน

ถือเครื่องมือวัดไปยังตำแหน่งวัตถุ หากเป็นทรัพย์สินที่อยู่บนผิวถนน การสำรวจก็จะลำบากและอันตรายมาก เช่น ฝาแมนโฮลซึ่งเป็นฝาของช่องคนเข้าเพื่อการทำความสะดวก ตรวจสอบและซ่อมแซม ปัจจุบันฝาแมนโฮลมีใช้ทั้ง การไฟฟ้านครหลวง การประปานครหลวง หน่วยงานด้านโทรศัพท์ และหน่วยงานอื่นๆ ในทำนองเดียวกันนี้ทั่วโลกและมีปริมาณมาก ดังจะพบได้ทั่วไปตามท้องถนน ดังรูปที่ 1.1

ในปัจจุบันการเก็บข้อมูลฝาแมนโฮล ซึ่งส่วนใหญ่อยู่บนถนนยังไม่มีการนำเข้าข้อมูลโดยอัตโนมัติ แต่จะใช้มนุษย์ในการเก็บข้อมูลโดยตรงด้วยการถ่ายภาพดังรูปที่ 1.2 และวัดตำแหน่งด้วยเครื่องรับจีพีเอส

ควบคู่กันไป มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองเวลาในการสำรวจมาก อาจเกิดขวางทางจราจรบนถนน และเสี่ยงต่ออันตราย ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพกว่าก็คือการเก็บข้อมูลฝาแมนโฮลโดยนำภาพจากรถสำรวจผิวทางซึ่งเก็บข้อมูลภาพผิวทางด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องบนรถไปพร้อมๆกับการบันทึกค่าพิกัดจีพีเอส ของรถแบบอัตโนมัติ แล้วนำภาพผิวทางที่ได้มาหาพิกัดตำแหน่งของฝาแมนโฮลในภาพก่อนแล้วจึงแปลงเป็นพิกัดจีพีเอสอีกชั้นหนึ่งโดยเทียบสัมพันธ์กับตำแหน่งจีพีเอสของรถสำรวจ

ในสภาพแวดล้อมจริงของการสำรวจฝาแมนโฮล จะพบกับปัญหาทั่วไปเช่น ปัญหาของเงา เส้นถนนที่มาบดบังฝาแมนโฮล ภาพที่ไม่ครอบคลุมฝาแมนโฮลทั้งฝา โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.3 ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลต่อการตรวจหาฝาแมนโฮลเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องหากระบวนการเพื่อให้สามารถหาฝาแมนโฮลได้ ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการการหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล



รูปที่ 1.1 ฝาแมนโฮลบนพื้นถนนบนถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง





รูปที่ 1.2 การสำรวจฝาแมนโฮลในปัจจุบัน



(ก) ภาพที่ไม่ครอบคลุมฝาแมนโฮลทั้งฝา



(ข) เส้นถนนที่บดบังฝาแมนโฮล



(ค) เรื่องเงา

รูปที่ 1.3 กรณีที่พบในสภาพแวดล้อมจริง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพและโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพดาวเทียม

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การพัฒนาวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพและโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพดาวเทียม มีขอบเขตดังนี้

- 1) ใช้ภาพถ่ายจากผิวทางจริงบนถนนในประเทศไทยที่ได้จากรถสำรวจ โดยกล้องถ่ายผิวทางถ่ายภาพในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวถนนโดยที่ระยะห่างระหว่างกล้องกับผิวถนนสม่ำเสมอ และอัตราส่วนระยะห่างระหว่างพิกเซลคงที่
- 2) ฝาแมนโฮลมีลักษณะกลมเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 60 ถึง 120 เซนติเมตรโดยประมาณ
- 3) ใช้ภาพถ่ายที่ถ่ายในตอนกลางวัน และถนนที่สำรวจต้องเป็นถนนแห้ง
- 4) ผลลัพธ์จะเป็นการระบุว่าฝาแมนโฮลอยู่ในภาพและระบุตำแหน่งเทียบกับมุมภาพ
- 5) บุคคลเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

#### 1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาค้นคว้าเพื่อหากระบวนการการหาฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพผิวถนนด้วยอัลกอริทึมทางการประมวลผลภาพดิจิทัล วิธีการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

- 1) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล
- 2) ศึกษาลักษณะของการเก็บข้อมูลของกล้องบนรถที่ใช้สำรวจถ่ายภาพ
- 3) พัฒนาระบบการทางภาพหรือวิธีการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทำงานวิจัย
- 4) พัฒนาโปรแกรมต้นแบบ
- 5) ทดสอบโปรแกรมกับภาพตัวอย่างและปรับปรุงแก้ไข
- 6) ทดสอบการทำงานกับภาพถ่ายจริงจากรถสำรวจหรือเทียบเท่า
- 7) ประเมินผล และสรุปงานวิจัย

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้กระบวนการทางการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อหาฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพผิวถนน
- 2) ได้โปรแกรมเพื่อหาฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพผิวถนน
- 3) สามารถนำโปรแกรมต้นแบบนี้มาต่อยอดเพื่อใช้งานจริงต่อไป เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสำรวจฝาแมนโฮล

## บทที่ 2

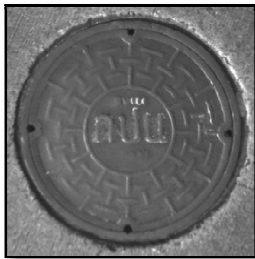
### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับฝาดที่มีอยู่บนท้องถนน

##### 2.1.1 ประเภทของฝาดที่มีอยู่บนท้องถนน

1) ฝาดที่มีลักษณะกลม เช่น ฝาดแมนโฮล ดังรูปที่ 2.1(ก) ซึ่งฝาดแมนโฮลเป็นฝาดของช่องคนเข้าเพื่อ การทำความสะอาด ตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์สาธารณประโยชน์ เช่น การเดินเส้นทางของ สายโทรศัพท์ วาล์วควบคุมระบบประปา เป็นต้น

2) ฝาดที่มีลักษณะสี่เหลี่ยม เช่น ฝาดตะแกรงเหล็ก ฝาดปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 2.1(ข) และ 2.1(ค) ซึ่ง ส่วนใหญ่เป็นฝาดที่ใช้ปกคลุมช่องทางเข้าเพื่อทำความสะอาดบ่อพักตะกอนของท่อระบายน้ำ



(ก) ฝาดแมนโฮล



(ข) ฝาดตะแกรง



(ค) ฝาดปูนซีเมนต์

รูปที่ 2.1 ประเภทของฝาดที่มีอยู่บนท้องถนน

##### 2.1.2 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับฝาดแมนโฮล

1) ฝาดแมนโฮลที่ใช้งานทั่วไปในประเทศไทย[1] แบ่งออกเป็น 4 ประเภทขึ้นอยู่กับการรองรับ น้ำหนักและตำแหน่งที่ติดตั้งดังนี้

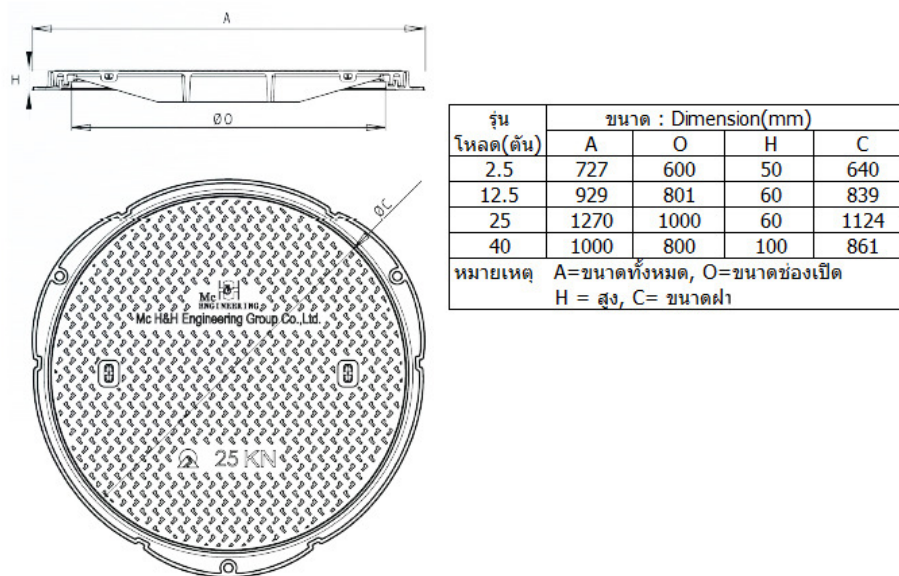
1.1) ฝาดแมนโฮลรองรับน้ำหนัก 2.5 ตัน เป็นฝาดที่มีสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ ระหว่าง 60 ถึง 120 เซนติเมตร เหมาะสำหรับติดตั้งบริเวณทางเท้า สถานที่ที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก

1.2) ฝาดแมนโฮลรับน้ำหนัก 12.5 ตัน เป็นฝาดที่มีสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 60 ถึง 100 เซนติเมตร เหมาะสำหรับทางเท้าหรือพื้นที่เรียบเคียง บริเวณลานจอดรถหรืออาคารจอดรถ

1.3) ฝาดแมนโฮลรับน้ำหนัก 25 ตัน เป็นฝาดที่มีสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 80 ถึง 120 เซนติเมตร เหมาะสำหรับติดตั้งบนพื้นถนนห่างจากทางเดินเท้าไม่เกิน 0.5 เมตร

1.4) ฝาแมนโฮลรับน้ำหนัก 40 ตัน ซึ่งเป็นฝาที่มีสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 80 ถึง 120 เซนติเมตร เหมาะสำหรับพื้นถนนที่มีการจราจรของรถ รวมถึงถนนคนเดิน ไหล่ทางหรือพื้นที่จอดรถ สำหรับรถยนต์ทุกชนิดบนท้องถนน

2) ขนาดของฝาแมนโฮลที่ใช้บนท้องถนนในประเทศไทย แสดงในรูปที่ 2.2 โดย A คือขนาดทั้งหมดของฝาแมนโฮล O คือขนาดช่องเปิดฝา H คือความสูง และ C คือขนาดฝา



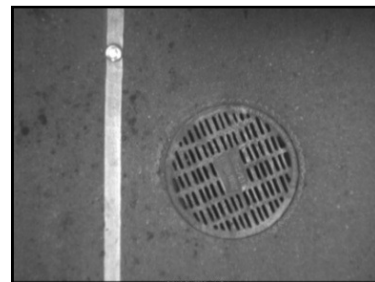
รูปที่ 2.2 ขนาดของฝาที่ใช้บนท้องถนนในประเทศไทย[1]

### 2.1.3 การติดตั้งฝาแมนโฮลบนท้องถนน

ปกติการติดตั้งฝาแมนโฮลที่ใช้ในประเทศไทย[1] สามารถติดตั้งได้ทั้งบนพื้นผิวถนนและบนทางเดินเท้าตามแนวของถนน ขอบฝาแมนโฮลสูงหรือต่ำจากพื้นประมาณไม่เกิน 1 เซนติเมตร โดยแบ่งการติดตั้งบนท้องถนนออกเป็น 2 รูปแบบดังรูปที่ 2.3 คือ ฝาแมนโฮลบนถนนคอนกรีต และฝาแมนโฮลบนถนนลาดยาง



(ก) ฝาแมนโฮลบนถนนคอนกรีต

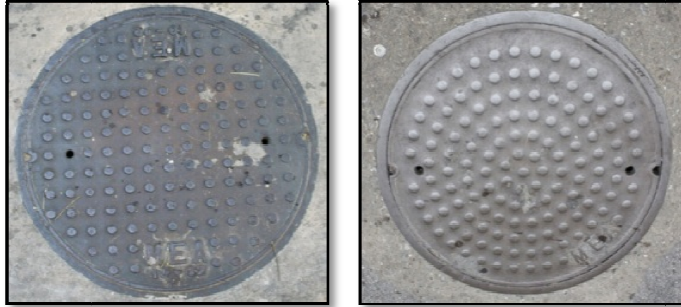


(ข) ฝาแมนโฮลบนถนนลาดยาง

รูปที่ 2.3 การติดตั้งฝาแมนโฮลบนท้องถนนในประเทศไทย

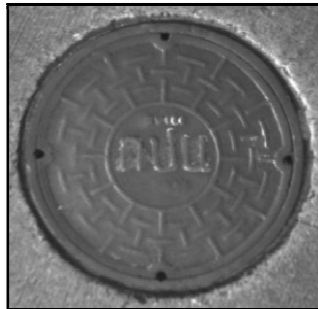
#### 2.1.4 ตัวอย่างของฝาแมนโฮลที่ใช้โดยองค์กรต่างๆ

1) การไฟฟ้านครหลวง(MEA : Metropolitan Electricity Authority) ใช้ฝาที่มีตัวอักษรย่อภาษาอังกฤษคำว่า MEA ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ฝาแมนโฮลที่ใช้โดยการไฟฟ้านครหลวง

2) การประปานครหลวง(MWA : Metropolitan Waterworks Authority) ใช้ฝาที่มีตัวอักษรย่อภาษาไทยคำว่า กปน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ฝาแมนโฮลที่ใช้โดยการประปานครหลวง

3) บริษัท ทศท.คอร์ปอเรชั่น จำกัด(มหาชน) (ชื่อเดิม องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย)ใช้ฝาที่มีตัวอักษรย่อภาษาไทยคำว่า ทศท ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ฝาแมนโฮลที่ใช้โดยบริษัท ทศท.คอร์ปอเรชั่น จำกัด(มหาชน)

4) หน่วยงานระดับท้องถิ่น ใช้ฝาที่มีตัวอักษรย่อตามชื่อจังหวัดหรือชื่อเต็มของหน่วยงาน ดังรูป  
ที่ 2.7 และ 2.8

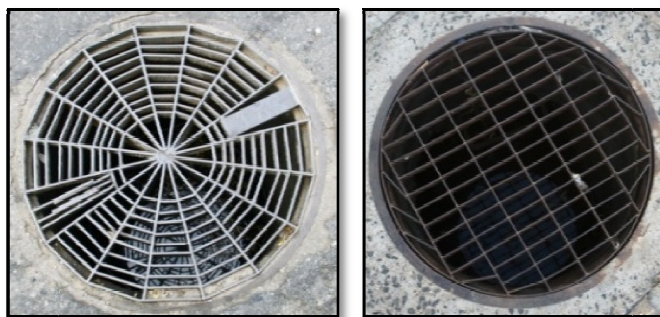


รูปที่ 2.7 ฝาแมนโฮลที่ใช้โดยกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.8 ฝาแมนโฮลที่ใช้โดยจังหวัดอุบลราชธานี

5) ฝาแมนโฮลไม่ปรากฏองค์กรหรือสิ่งทำขึ้นพิเศษ เป็นฝาที่ทำขึ้นมาเพื่อทดแทนฝาที่ชำรุด ดัง  
รูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ฝาแมนโฮลไม่ปรากฏองค์กรหรือสิ่งทำขึ้นพิเศษ

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประมวลผลภาพดิจิทัล คือการใช้ความรู้ทางอัลกอริทึมต่างๆทางคอมพิวเตอร์ เพื่อ  
ประมวลผลภาพดิจิทัลโดยใช้พื้นฐานของการคำนวณ เกี่ยวกับสีในระดับพิกเซล(Pixel) บนภาพดิจิทัล

เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น หุ่นยนต์ กล้องดิจิทัล เครื่องอำนวยความสะดวกของมนุษย์ในด้านต่างๆ

### 2.2.1 การแปลงภาพจากภาพสี(RGB) เป็นภาพระดับเทา(Grayscale)

ภาพถ่ายสีที่ได้อาจตรวจสอบในงานวิจัยนี้เป็นภาพขาวดำ แต่มีบางกรณีมีการใช้ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพสีโดยผู้วิจัยเป็นผู้ถ่ายในบางสถานที่และเวลาซึ่งหากใช้รถสำรวจผิวทางจะไม่สะดวกภาพที่ได้รับเข้ามาเป็นภาพสี แต่ละจุดภาพประกอบด้วย 3 ช่องสีคือ สีแดง(Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน(Blue) โดยแต่ละจุดภาพสีเกิดจากการผสมกันระหว่าง 3 ช่องสีที่ความเข้มต่างกัน จะส่งผลให้เกิดสีต่างๆได้มากมาย ภาพสีเหล่านี้ต้องแปลงเป็นภาพระดับเทาที่ค่าระดับเทาระหว่าง 0 – 255 โดยค่าระดับเทาแต่ละพิกเซลเกิดจากการหาค่าความสว่างใน 1 ช่องสี วิธีการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทานั้นจะหาได้จากค่าความสว่าง(Luminance) ซึ่งเกิดจากผลรวมของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก[2] ของสีแดง(R) เขียว(G)และน้ำเงิน(B) ตัวเลขค่าถ่วงน้ำหนักเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้สีแดง 30 % สีเขียว 59 % และสีน้ำเงิน 11% การคำนวณหาค่าความสว่างในภาพระดับเทาแสดงดังสมการที่ 2.1

$$\text{ค่าความสว่างในภาพระดับเทา} = (R \times 0.3) + (G \times 0.59) + (B \times 0.11) \quad (2.1)$$

ตัวอย่างการคำนวณ เช่นหา 1 พิกเซลสีน้ำตาลมีค่าสีแดงเท่ากับ 160 ค่าสีเขียวเท่ากับ 120 และค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 85 จะคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความสว่างในภาพระดับเทา} &= (160 \times 0.3) + (120 \times 0.59) + (85 \times 0.11) \\ &= 48 + 70.8 + 9.35 \\ &= 128.15 \end{aligned}$$

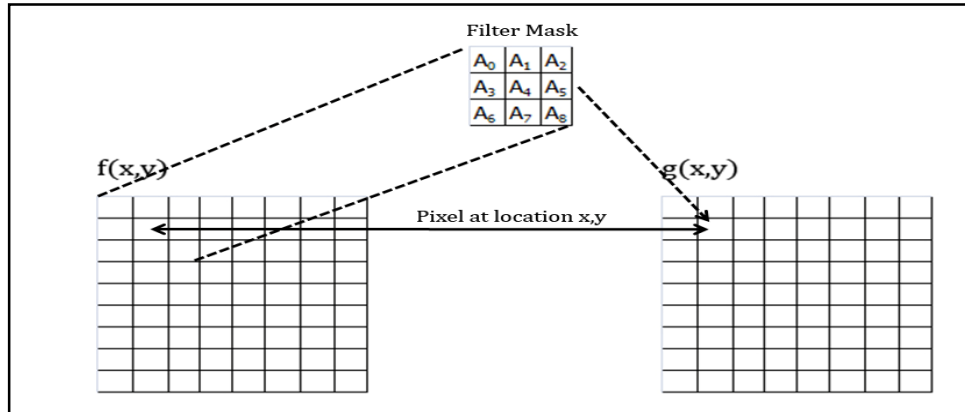
โดยคำนวณกับแต่ละพิกเซลไปจนครบทุกพิกเซลในภาพ จึงได้เป็นภาพระดับเทาตามที่ต้องการ

### 2.2.2 การทำสังวัตนาการ (Convolution)

หลักการทำสังวัตนาการ[3] เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยใช้หลักการของการหาผลบวกของผลคูณ(Sum of product) วิธีนี้เป็นการกระทำระหว่างแผ่นแบบ(Template) กับอาเรย์ใดๆของภาพที่ต้องการประมวลผล โดยใช้วิธีการเลื่อนแผ่นแบบไปบนภาพแล้วหาผลบวกของผลคูณกับทุกพิกเซลในภาพดังสมการที่ 2.2 และกระบวนการเป็นดังรูปที่ 2.10

$$g(x,y) = \sum_{i=0}^a * \sum_{j=0}^b f(x-1+j,y-1+i) A_{(j+3i)} \tag{2.2}$$

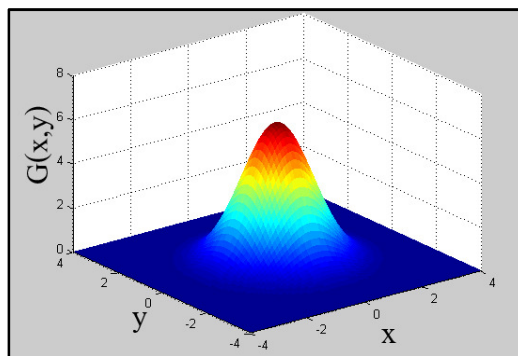
โดย  $f(x,y)$  คือค่าความสว่างในภาพระดับเทาของพิกเซลที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  ในภาพต้นฉบับ  
 $A_{(j+3i)}$  คือแผ่นแบบ(A) ขนาด 3x3 พิกเซลที่ตำแหน่ง  $j+3i$   
 $g(x,y)$  คือผลของการทำสังวัตนาการของ  $f(x,y)$  กับแผ่นแบบ  $A_{(j+3i)}$  ในภาพผลลัพธ์



รูปที่ 2.10 การทำสังวัตนาการ

### 2.2.4 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน(Gaussian filter)

ตัวกรองเกาส์เซียน[3] เป็นตัวกรองที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านกราฟิกเพื่อลดสัญญาณรบกวน(Noise) ส่วนใหญ่นำมาใช้ในขั้นตอนการเตรียมภาพของอัลกอริทึมการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อการปรับปรุงภาพก่อนการทำงานซึ่งตัวกรองนี้มีลักษณะคล้ายกับระฆังคว่ำดังรูปที่ 2.11 และค่าของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่ใช้เป็นตัวกรองที่มีขนาด 5x5 พิกเซลและใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 ตัวกรองแบบเกาส์เซียน



สมการที่ 2.3 คือสมการในการสร้างตัวกรองแบบเกาส์เซียน  $G(x,y)$

$$G(x,y) = \left( \frac{1}{2\pi\sigma^2} \right) e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

โดย  $\sigma$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$x,y$  คือ พิกัดตำแหน่งจุดในภาพ

	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
$\frac{1}{273}$	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

รูปที่ 2.12 ตัวกรองเกาส์เซียนที่มีขนาด  $5 \times 5$  พิกเซล และค่า  $\sigma = 1.0$

คุณลักษณะของตัวกรองเกาส์เซียนคือ

- 1) กำจัดสัญญาณรบกวน
- 2) เป็นตัวกรองแบบสมมาตร สามารถทำได้รอบทิศทาง
- 3) เป็นตัวกรองที่ค่าถ่วงน้ำหนักจะลดลงเรื่อยๆ จากจุดกลางของตัวกรอง

นำตัวกรองแบบเกาส์เซียน ไปทำสังวัตนาการกับภาพที่ต้องการประมวลผลตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.13(ก) และเมื่อผ่านการกรองแบบเกาส์เซียนแล้ว จะมีลักษณะเป็นภาพเบลอ(Blur) ดังรูปที่ 2.13(ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ

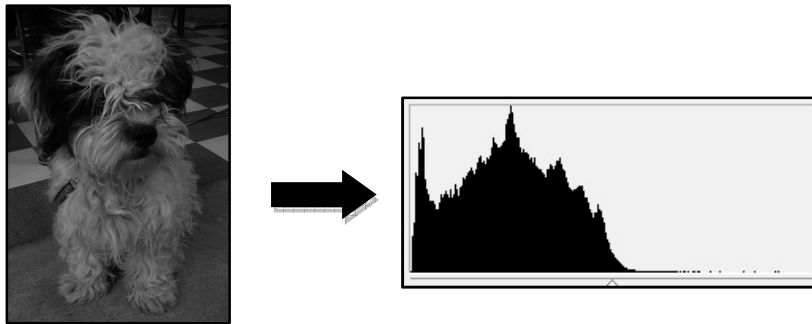


(ข) ภาพที่ผ่านการใช้ตัวกรอง

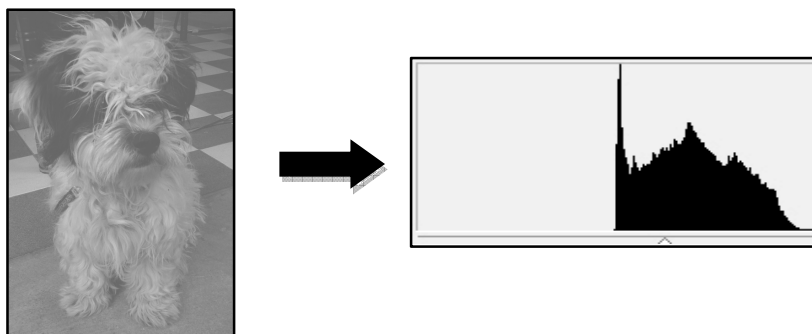
รูปที่ 2.13 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยตัวกรองเกาส์เซียน[24]

### การปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน(Histogram Equalization)

ฮิสโทแกรมเป็นกราฟที่ใช้แสดงความถี่ของจำนวนพิกเซลต่อค่าระดับเทา ตัวอย่างเช่น ภาพที่มีลักษณะมืด ฮิสโทแกรมจะเบ้ไปอยู่ด้านซ้ายดังรูปที่ 2.14(ก) และภาพที่มีลักษณะสว่าง ฮิสโทแกรมจะเบ้ไปอยู่ทางด้านขวามือดังรูปที่ 2.14(ข)



(ก) ภาพที่มีลักษณะมืด ฮิสโทแกรมเบ้อยู่ทางซ้าย

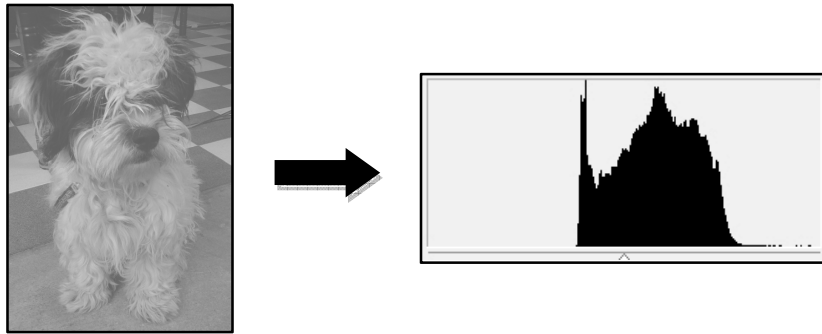


(ข) ภาพที่มีลักษณะสว่าง ฮิสโทแกรมเบ้อยู่ทางขวา

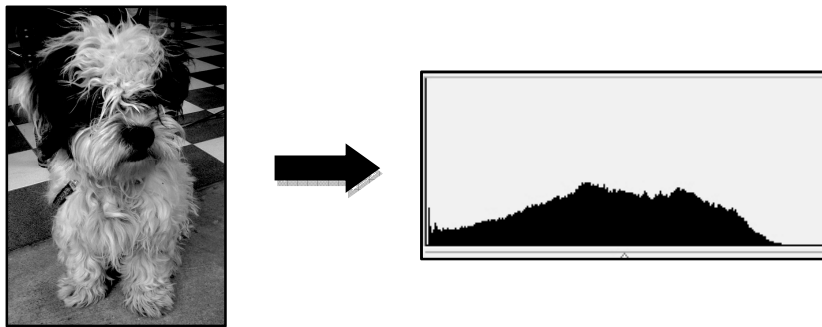
รูปที่ 2.14 ฮิสโทแกรมตามลักษณะมืดหรือสว่างของภาพ

ค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาสามารถอธิบายได้โดยสังเกตจากฮิสโทแกรม ถ้าภาพที่มีค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาดำ ลักษณะฮิสโทแกรมจะกระจุกกันอยู่ในช่วงแคบๆดังรูปที่ 2.15(ก) และถ้าภาพที่มีค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาสูง ลักษณะฮิสโทแกรมจะกระจายกันอยู่ ดังรูปที่ 2.15(ข)

การปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน[3] มีประโยชน์เพื่อทำการกระจายระดับความสว่างของค่าระดับเทาในภาพ ทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดขึ้น โดยลักษณะของฮิสโทแกรมที่ต้องการคือ ทำให้ค่าระดับเทาของพิกเซลเกิดการกระจายตัวตลอดทั้งฮิสโทแกรม โดยวิธีการนี้ทำโดยหาค่าจากสมการที่ 2.4 และแสดงตัวอย่างการคำนวณได้จากตารางที่ 2.1



(ก) ภาพที่มีค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาต่ำ ลักษณะฮิสโทแกรมจะกระจุกกันอยู่ในช่วงแคบๆ



(ข) ภาพที่มีค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาสูง ลักษณะฮิสโทแกรมจะกระจายกันอยู่

รูปที่ 2.15 ลักษณะความเปรียบต่างของค่าระดับเทาในภาพ

สมการที่ 2.6 การปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad (2.4)$$

$$= \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{N} \quad ; k = [0, 1, 2, \dots, L-1]$$

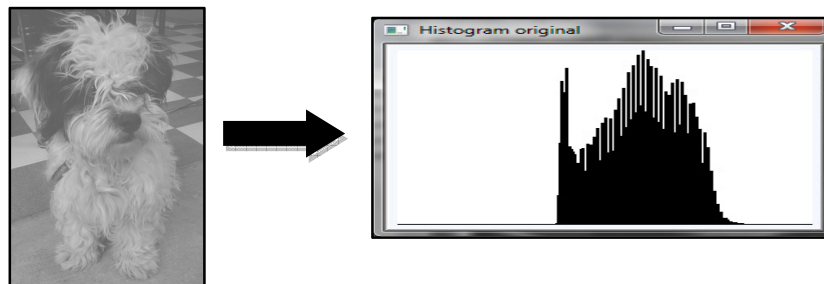
- โดย
- $r_j$  คือค่าระดับเทาในภาพต้นฉบับซึ่งมีค่าเท่ากับ  $j$
  - $P_r(r_j)$  คือค่าความเป็นไปได้ที่จะมีระดับเทาเท่ากับ  $r_j$  ในภาพ
  - $s_k$  คือค่าระดับเทาในภาพผลลัพธ์
  - $T(r_k)$  คือฟังก์ชันการแปลงจาก  $r_k$  ไป  $s_k$
  - $n_j$  คือจำนวนพิกเซลที่มีค่าระดับเทา  $j$
  - $N$  คือจำนวนพิกเซลที่มีอยู่ในภาพทั้งหมด
  - $L$  คือจำนวนค่าระดับเทาทั้งหมดที่เป็นไปได้ในรูปภาพ

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน

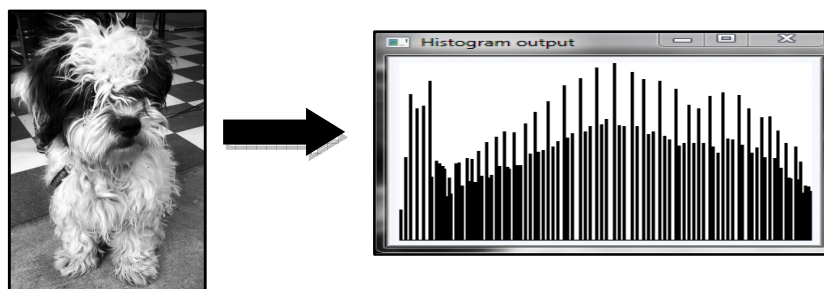
Intensity (r)	No. of pixels ( $n_r$ )	$P_r(r)$	Accumulated Sum. of Pr	Output value	Quantized Output (s)
0	25	0.25	0.25	$0.25 \times 7 = 1.75$	2
1	10	0.10	0.35	$0.35 \times 7 = 2.45$	2
2	5	0.05	0.40	$0.40 \times 7 = 2.80$	3
3	10	0.10	0.50	$0.50 \times 7 = 3.50$	4
4	20	0.20	0.70	$0.70 \times 7 = 4.90$	5
5	15	0.15	0.85	$0.85 \times 7 = 5.95$	6
6	5	0.05	0.95	$0.90 \times 7 = 6.30$	6
7	10	0.10	1.0	$1.00 \times 7 = 7$	7
Total(N)	100	1	-	-	-

หมายเหตุ: Quantized output(s) จะปัดเศษ

ภาพก่อนการเข้ากระบวนการและลักษณะของฮิสโทแกรมที่มีค่าเปรียบเทียบของค่าระดับเทาต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.16(ก) และภาพผลลัพธ์จะแสดงดังรูปที่ 2.16(ข)



(ก) ภาพและฮิสโทแกรมของภาพที่ค่าความเปรียบเทียบของค่าระดับเทาต่ำ



(ข) ภาพและฮิสโทแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการนี้

รูปที่ 2.16 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน

### 2.2.5 การจับคู่ฮิสโทแกรม(Histogram matching)

การจับคู่ฮิสโทแกรม[3] คือวิธีการในการทำให้เกิดภาพขึ้นมาใหม่จากภาพต้นฉบับเพื่อให้มีค่าฮิสโทแกรมที่ต้องการ โดยนำฮิสโทแกรมต้นฉบับมาจับคู่กับฮิสโทแกรมรูปทรงเฉพาะเช่น ลอการิทึมเป็นต้น เพื่อให้ได้ฮิสโทแกรมและภาพผลลัพธ์ตามที่ต้องการ โดยกระบวนการทำงานมีดังนี้

- 1) นำค่า  $s_k$  ที่ได้จากการปรับฮิสโทแกรมแบบเสมอภาคกัน
- 2) กำหนดฮิสโทแกรมลอการิทึมในการจับคู่ฮิสโทแกรม ดังสมการที่ 2.5

$$v_q = G(z_q) = \sum_{i=0}^k p_z(z_i) ; k = 0,1,2,\dots,L-1 \quad (2.5)$$

โดย  $v_q$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันฮิสโทแกรมที่ตำแหน่ง  $k$

$G(z_q)$  คือฟังก์ชันฮิสโทแกรมลอการิทึม

$P_z(z_i)$  คือค่าความเป็นไปได้ที่จะมีระดับเทาเท่ากับ  $z_i$  ในภาพ

$Z_q$  คือค่าระดับเทาในภาพผลลัพธ์ที่ตำแหน่ง  $q$

- 3) แทนค่าย้อนกลับของค่า  $s_k$  ที่ได้จากการปรับฮิสโทแกรมแบบเสมอภาคกันกับฮิสโทแกรมลอการิทึม ดังสมการที่ 2.6

$$z_k = G^{-1}[T(r_k)] \quad (2.6)$$

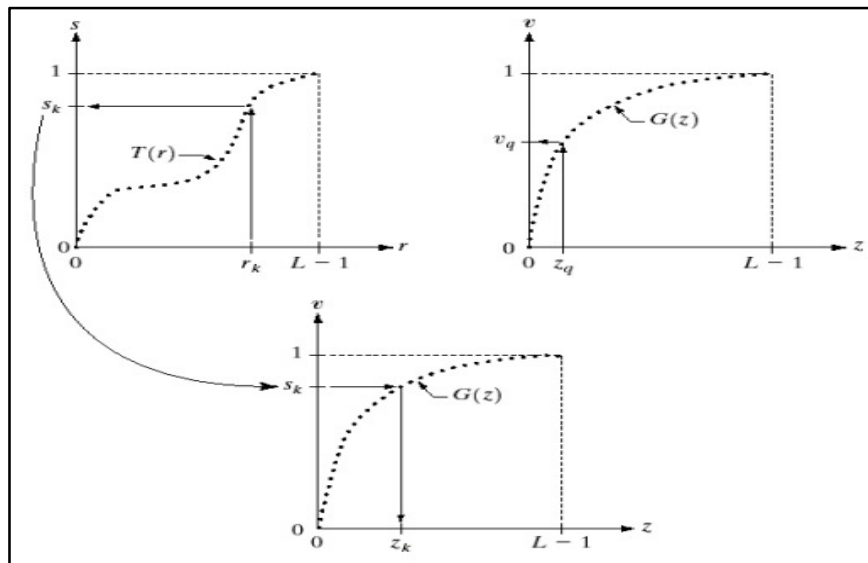
$$z_k = G^{-1}[s_k] ; k = 0,1,2,\dots,L-1$$

โดย  $z_k$  คือค่าระดับเทาในภาพผลลัพธ์ที่ตำแหน่ง  $k$

$T(r_k)$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันการปรับฮิสโทแกรมแบบเสมอภาคกันที่ตำแหน่ง  $r_k$

### 2.2.6 การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ (Adaptive Threshold)

การหาค่าขีดแบ่ง(Threshold)[3] เป็นวิธีการที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายในการตัดแยก (Segment) บริเวณที่สนใจออกจากพื้นหลัง การหาค่าขีดแบ่งทำได้โดยเลือกค่าขีดแบ่ง  $T$  ที่สามารถแบ่งบริเวณที่สนใจออกจากพื้นหลัง จากนั้นให้จุดภาพ  $(x, y)$  ที่มีค่าระดับความเข้มแสง(Intensity)  $f(x, y) > T$  เป็นจุดภาพของพื้นหน้า(Foreground) ส่วนจุดภาพอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง(Background) ดังสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.17 การจับคู่ฮิสโทแกรม[3]

สมการที่ 2.7 การหาค่าขีดแบ่ง

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) > T \\ 0, & f(x,y) < T \end{cases} \quad (2.7)$$

โดย  $g(x,y)$  คือค่าไบนารีในภาพผลลัพธ์ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$

$T$  คือค่าขีดแบ่ง

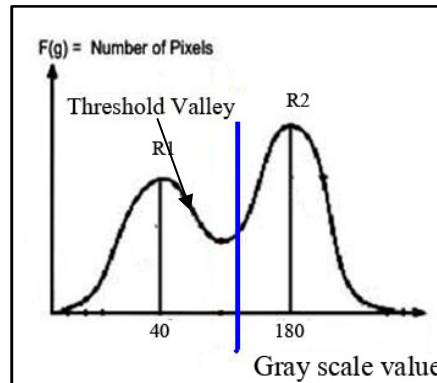
การเลือกค่า  $T$  ให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละบุคคล ปัญหาของการทำงานนี้คือ แต่ละภาพอาจใช้ค่า  $T$  ที่แตกต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อม โดยผู้ใช้ต้องเลือกค่า  $T$  เอง ทำให้สิ้นเปลืองเวลาการทำงาน จึงได้นำวิธีการที่เรียกว่า การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ (Adaptive threshold) เข้ามาช่วย โดยหลักการของวิธีนี้คือ จะแบ่งบริเวณของภาพออกเป็น 6 ส่วน นำแต่ละบริเวณที่แบ่งมาหาค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยการหาค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างของพิกเซลในบริเวณนั้น โดยในแต่ละบริเวณของภาพที่แบ่งส่วนจะมีค่าขีดแบ่งที่เป็นอิสระต่อกัน โดยลำดับการทำงานการหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้[4] มีดังนี้

1) คำนวณหาค่า  $T$  ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างของพิกเซลในบริเวณของภาพที่แบ่งส่วน มีสูตรการหาค่า  $T$  ดังนี้

$$T = \frac{\text{ผลรวมค่าความสว่างของพิกเซลทั้งหมดในบริเวณของภาพที่แบ่งส่วน}}{\text{จำนวนพิกเซลทั้งหมดในบริเวณของภาพที่แบ่งส่วน}} \quad (2.8)$$

จำนวนพิกเซลทั้งหมดในบริเวณของภาพที่แบ่งส่วน

- 2) ใช้  $T$  แบ่งบริเวณของฮิสโทแกรมออกเป็น 2 ส่วนคือ  $R_1$  และ  $R_2$  ดังรูปที่ 2.18

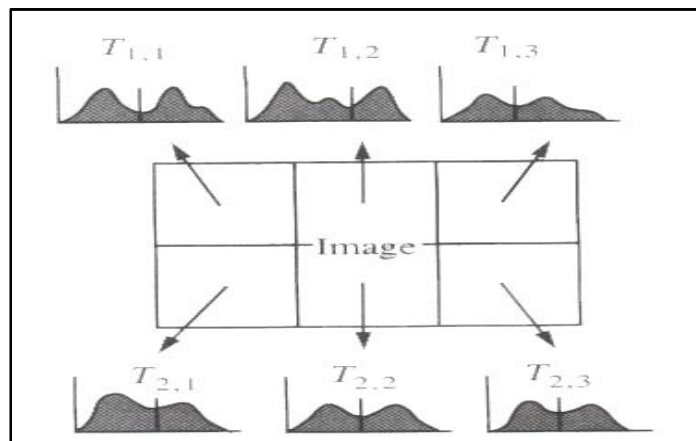


รูปที่ 2.18 การแบ่งบริเวณของฮิสโทแกรมด้วยค่า  $T$

- 3) คำนวณหาค่าความสว่างเฉลี่ยของบริเวณ  $R_1$  และบริเวณ  $R_2$

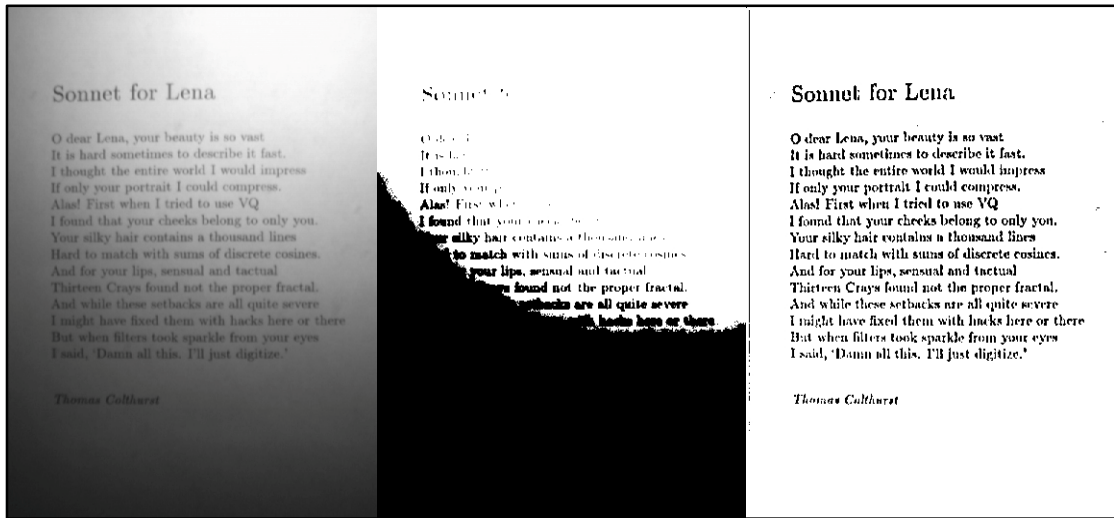
$$\text{ค่าความสว่างเฉลี่ยของบริเวณค่า } R_i = \frac{\text{ผลรวมของค่าความสว่างของแต่ละพิกเซลทั้งหมดในบริเวณ } R_i}{\text{จำนวนพิกเซลในย่าน } R_i} \quad (2.9)$$

- 4) ค่า  $T$  ใหม่ =  $0.5 \times (\text{ค่าเฉลี่ยของบริเวณ } R_1 + \text{ค่าเฉลี่ยของบริเวณ } R_2)$  (2.10)
- 5) กลับไปทำข้อ 2 ถึง 4 จนกระทั่ง  $|\text{ค่าเฉลี่ย } R \text{ ใหม่} - \text{ค่าเฉลี่ย } R \text{ เดิม}| < 1$
- 6) ทำกับบริเวณที่เหลือจนครบทุกบริเวณของภาพ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การแบ่งบริเวณในภาพและการหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้[3]

รูปที่ 2.20 เป็นการนำตัวอย่างภาพต้นฉบับดังรูปที่ 2.20(ก) มาทดสอบกับการหาค่าขีดแบ่งแบบธรรมดา ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.20(ข) และทดสอบการหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.20(ค)



(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบธรรมดา (ค) การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้

รูปที่ 2.20 การเปรียบเทียบการใช้ค่าขีดแบ่งธรรมดากับแบบปรับตัวได้[4]

## 2.2.7 การตรวจหาเส้นขอบ (Edge detection)

การตรวจหาเส้นขอบ[3] เป็นกระบวนการพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อตรวจหาสิ่ง ที่บ่งบอกว่าเป็นขอบเขตพื้นที่ โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาของพิกเซลในภาพ วิธีการนี้ จะคำนวณจากค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างแต่ละพิกเซลที่ใกล้เคียงกันในแนวตั้งและแนวนอน ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12 วิธีการที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในการตรวจหาขอบของวัตถุ[4] เช่น โซเบล แคนนี่ จอห์นสัน และวอลลิสต์ เป็นต้น

$$Y_{diff}(x,y) = I(x,y) - I(x,y+1) \quad (2.11)$$

โดยที่  $Y_{diff}$  คือค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาในแนวแกนตั้งในภาพ และ  $I(x,y)$  คือค่าความเข้ม แสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x,y)$

$$X_{diff}(x,y) = I(x,y) - I(x+1,y) \quad (2.12)$$

โดยที่  $X_{diff}$  คือค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาในแนวแกนนอนในภาพ และ  $I(x,y)$  คือค่าความเข้ม แสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x,y)$

ตัวอย่างของพิกเซลขนาด 3x3 พิกเซล มีค่าเท่ากับ Z1 – Z9 ถ้าให้จุด Z5 เป็นจุดศูนย์กลางดัง

รูปที่ 2.21



Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

รูปที่ 2.21 พิกเซลขนาด 3 x 3 พิกเซล

การหาขอบด้วยวิธีโซเบล(Sobel Edge Detection)[3] เป็นการหาขอบโดยใช้แผ่นแบบขนาด 3x3 พิกเซล โดยแผ่นแบบแรกจะใช้ความแตกต่างของค่าความสว่างของพิกเซลในแนวตั้ง(Gy) เป็นดังรูปที่ 2.22(ก) โดยแผ่นแบบตัวที่สองจะใช้ความแตกต่างของค่าความสว่างของพิกเซลในแนวนอน(Gx) เป็นดังรูปที่ 2.22(ข)

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

(ก) แกนตั้ง(Gy)

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

(ข) แกนแนวนอน(Gx)

รูปที่ 2.22 ตัวดำเนินการโซเบลในแกนตั้ง(Gy) และแกนแนวนอน(Gx)

การทำงานของตัวดำเนินการโซเบล ในแกนแนวนอน(Gx) และแกนตั้ง(Gy) แสดงดังสมการที่ 2.13 และ 2.14

$$G_x = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (2.13)$$

$$G_y = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (2.14)$$

สมการที่ 2.15 การหาขนาดเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล

$$\nabla f = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (2.15)$$

หรือ 
$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (2.16)$$

โดย  $\nabla f$  คือขนาดเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล

ผลของการหาขอบด้วยวิธีโซเบลเมื่อทดสอบกับภาพตัวอย่างดังรูปที่ 2.23(ก) และผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.23(ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.23 ผลลัพธ์ของการตรวจหาขอบแบบโซเบล[4]

การพัฒนาวิธีการตรวจหาขอบให้ดียิ่งขึ้น โดยเพิ่มการหาขอบแบบโซเบลในแนวทแยงมุม ส่งผลทำให้ความสามารถในการหาขอบดีขึ้น โดยแผ่นแบบแรกจะใช้ความแตกต่างของค่าความสว่างของพิกเซลในแนวทแยงซ้าย(Gd1) เป็นดังรูปที่ 2.24(ก) โดยแผ่นแบบตัวที่สองจะใช้ความแตกต่างของค่าความสว่างของพิกเซลในแนวทแยงขวา(Gd2) เป็นดังรูปที่ 2.24(ข)

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

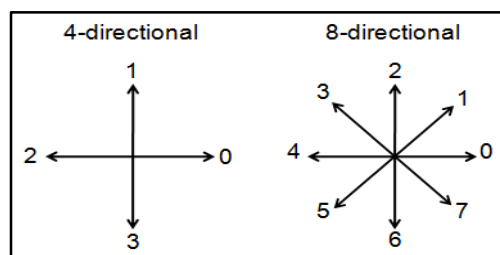
-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

(ก) แกนทแยงซ้าย(Gd1) (ข) แกนทแยงขวา(Gd2)

รูปที่ 2.24 ตัวดำเนินการการหาขอบแบบโซเบลในแนวทแยง

### 2.2.8 การหาลักษณะจุดเชื่อมต่อของพิกเซลด้วยนำวิธีรหัสลูกโซ่(Chain code) มาประยุกต์ใช้

วิธีรหัสลูกโซ่[3] เป็นวิธีที่ใช้หาลักษณะจุดเชื่อมต่อหรือทิศทางของพิกเซลหรือใช้หาขอบเขตรูปร่างของวัตถุที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการการเดินทางตามทิศทาง ค่าของทิศทางการเดินทางของพิกเซลในภาพ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ค่าของทิศทางการเดินทางของพิกเซลในภาพ

ลำดับการทำงานเป็นดังนี้

- 1) กำหนดจุดเริ่มต้น(Starting point) และบันทึกข้อมูลตำแหน่ง
- 2) สํารวจตำแหน่งพิกเซลถัดไป หากมีมากกว่า 1 ทิศทางให้เลือกค่าสูงสุด โดยบันทึกค่าของทิศทางของพิกเซลในตำแหน่งนั้น
- 3) หาพิกเซลที่เชื่อมต่อกันจนถึงจุดสิ้นสุด(End point)
- 4) หาจุดเริ่มต้นใหม่และทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จนครบทุกจุดภาพ
- 5) นำข้อมูลจุดภาพทั้งภาพมาหาลักษณะของพิกเซลในภาพ

โดยเมื่อพิจารณาแล้วจะนำมาใช้เฉพาะตำแหน่งจุดเริ่มต้นและค่าที่บันทึก

### 2.2.9 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน(Morphological Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน(Morphological Image Processing)[3] เป็นกระบวนการที่นำทฤษฎีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในการประมวลผล วิธีนี้เป็นการกระทำระหว่างวัตถุ(Object) กับสมาชิกโครงสร้าง(Structure element) รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างสมาชิกโครงสร้างขนาด 3x3 พิกเซล และตัวอย่างภาพวัตถุ

1	1	1
1	1	1
1	1	1

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ก) ตัวอย่างสมาชิกโครงสร้างขนาด 3x3 พิกเซล

(ข) ตัวอย่างภาพวัตถุ

รูปที่ 2.26 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน

### การขยายขนาด(Dilation)

การขยายขนาด[3] เป็นตัวดำเนินการของการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน ใช้ในการทำให้ขอบเชื่อมต่อกันและหนาขึ้น รูปแบบการขยายขนาดขึ้นอยู่กับลักษณะของสมาชิกโครงสร้าง ในการขยายขนาดจะทำโดยการเลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปบนภาพโดยใช้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นจุดหลักแล้วดำเนินการขยายขนาดตามสมการที่ 2.17 ตัวอย่างการทำงานเมื่อให้ตัวอย่างสมาชิกโครงสร้างดังรูปที่ 2.27(ก) ทำกับภาพต้นฉบับดังรูปที่ 2.27(ข) และผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 2.27(ค)

$$A \oplus B = \{x \mid \hat{B}_x \cap A \neq \emptyset\} \tag{2.17}$$

โดย

A คือภาพต้นฉบับ

B คือสมาชิกโครงสร้าง

$\hat{B}$  คือสมาชิกโครงสร้างที่มีค่าตรงกันข้ามกับ B

x คือตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(ก) ตัวอย่างสมาชิกโครงสร้างขนาด 3x3 พิกเซล

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

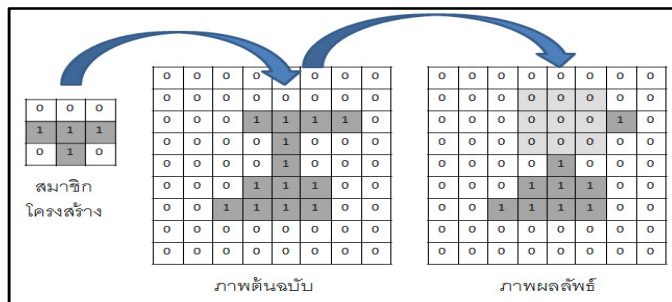
(ข) ภาพต้นฉบับ

(ค) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.27 วิธีการขยายขนาด

**การแปลงแบบฮิตออร์มิส(Hit-or-Miss Transformation)**

การแปลงแบบฮิตออร์มิส(Hit-or-Miss transformation)[3] เป็นกระบวนการทางการประมวลผลเชิงสัญญาณที่ใช้สำหรับการเทียบเคียงระหว่างสมาชิกโครงสร้างที่มีลักษณะเฉพาะกับตำแหน่งของพิกเซลภายในภาพ เพื่อได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การแปลงแบบฮิตออร์มิส

## 2.2.10 การตรวจหาวงกลมภายในรูปด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลม(Circle Hough Transform)

การตรวจหาวงกลมภายในรูปด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลม เป็นวิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งของวัตถุที่เป็นวงกลมภายในภาพ โดยพิจารณาจากรูปแบบสมการของพาราเมตริกซ์ ขั้นตอนของการตรวจจับวงกลม มีดังนี้

1) พิจารณาจากทีละจุด(x, y) ในภาพ โดยให้ทุกจุดมีความสำคัญว่าเป็นพิกเซลหนึ่งของเส้นรอบวงกลม

2) นำจุดทีละตำแหน่งมาแทนค่าในสมการวงกลมที่ 2.18

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (2.18)$$

โดย x,y คือตำแหน่งพิกเซลใดๆในภาพ

a,b คือจุดศูนย์กลางของวงกลม

r คือรัศมีของวงกลม

3) สร้างกราฟ 3 มิติในปริภูมิตัวสะสม(Accumulator space) โดยเปลี่ยนระนาบจากแกน x, y ในภาพเป็นแกน a, b ในปริภูมิสะสม

4) เริ่มจากให้ r เป็นค่าคงที่ นำตำแหน่งพิกเซล x,y ใดๆในภาพ มาแทนในสมการที่ 2.19 ซึ่ง เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมในระนาบ a,b ต่อไปแทนค่า a ทีละตำแหน่งลงในสมการที่ 2.19 เพื่อหาค่า b ดังรูปที่ 2.29

$$(a-x)^2 + (b-y)^2 = r^2 \quad (2.19)$$

โดย a,b คือตำแหน่งพิกเซลใดๆในปริภูมิสะสม

x,y คือจุดศูนย์กลางของวงกลมในปริภูมิสะสม

r คือรัศมีของวงกลม

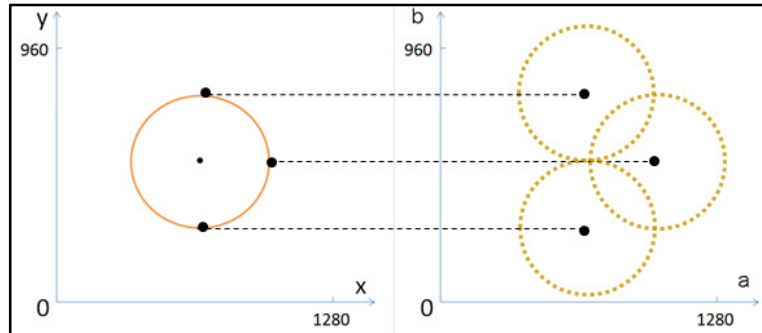
5) เมื่อแทนค่า a จนครบทุกพิกเซลแล้ว เปลี่ยนตำแหน่ง x, y เป็นตำแหน่งใหม่ และทำตามขั้นตอนข้อ 2 ถึง 5 จนครบทุกพิกเซลในภาพ

6) โดยเปลี่ยนค่า r เป็นค่าใหม่ แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 จนครบทุกค่า r ที่ใช้ ดังรูปที่ 2.30

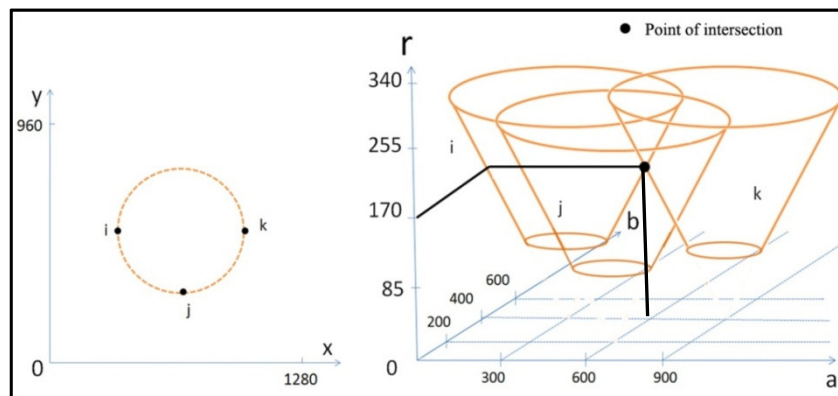
7) สังเกตจุดตัดของวงกลมในปริภูมิสะสม แล้วเก็บจำนวนและจุดตัดของวงกลมของแต่ละตำแหน่งในปริภูมิสะสม

8) นำทุกพิกเซลในปริภูมิตัวสะสมมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสูงสุดเฉพาะที่\* ดังรูปที่ 2.31

9) เมื่อได้ตำแหน่งที่มีจุดตัดมากกว่าค่าสูงสุดเฉพาะที่แล้ว นำตำแหน่งของจุดตัดนั้นมาทำการผกผัน(Inverse) จะได้ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง(a,b) ในภาพ ดังรูปที่ 2.32

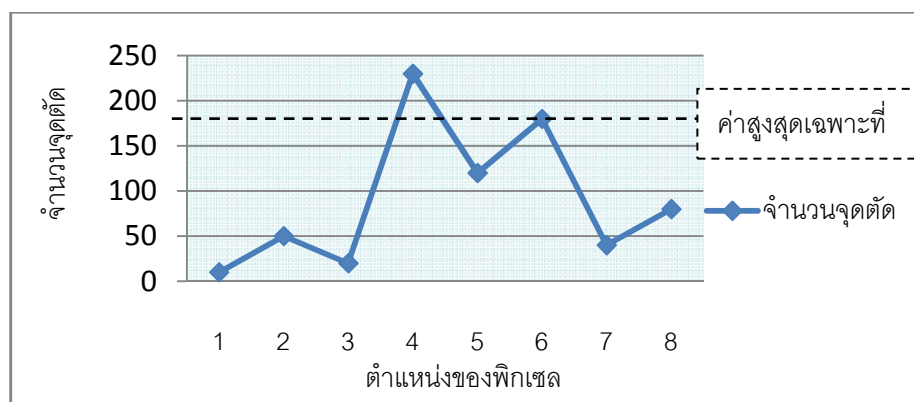


รูปที่ 2.29 การแทนค่าในปริภูมิตัวสะสม

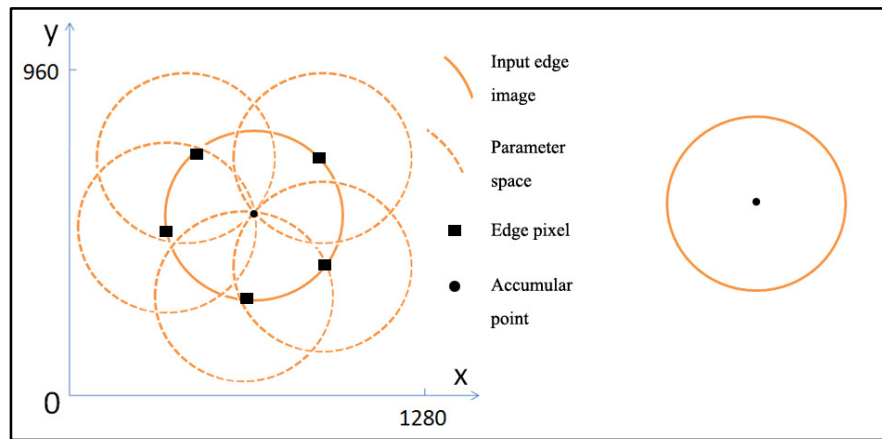


รูปที่ 2.30 ผลลัพธ์จากการแทนตำแหน่งพิกเซลในปริภูมิสะสมโดยเพิ่มค่า r จนถึงค่าสูงสุด

\*ค่าสูงสุดเฉพาะที่คือ ค่าสูงสุดของจำนวนจุดตัดที่ยอมรับได้ถ้าจำนวนจุดตัดนั้นมีค่ามากกว่าจำนวนจุดตัดที่อยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดเฉพาะที่



รูปที่ 2.32 การสร้างวงกลมจากสมการการแปลงฮัฟวงกลม

ในกรณีที่ตรวจหาวงกลมได้มากกว่าหนึ่งวงและต้องการให้วงกลมที่ตรวจหาได้นั้นมีลักษณะที่ไม่ทับซ้อนกัน การแก้ปัญหานี้คือการหาค่าขั้นต่ำของระยะห่างระหว่างวงกลม ด้วยวิธีการนำจุดศูนย์กลางระหว่างวงกลมมาหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) [4] ดังสมการที่ 2.20

$$\text{ระยะทางแบบยูคลิด} = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (2.20)$$

โดย  $x_0, y_0$  คือตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมแรก  
 $x_1, y_1$  คือตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมสอง

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นอาจแบ่งได้สองกลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลกับภาพพื้นผิวถนน กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอัลกอริทึมทางการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อช่วยให้อัลกอริทึมทางการตรวจหาวัตถุวงกลมมีประสิทธิภาพขึ้น

#### 2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลกับภาพพื้นผิวถนนมีดังนี้

ในปี 2000 Tanaka, N., และ Mouri, M. [6] ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับรอยแตกชนิดต่างๆที่มีอยู่บนผิวถนน เช่น เส้นขาว เส้นเชื่อมต่อและขอบฝาแมนโฮลบนผิวถนน ด้วยการใช้เทคนิคของการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Processing) [3] เข้ามาช่วย โดยรอยแตกยากที่จะตรวจจับได้เพราะมีสัญญาณรบกวนอยู่ในภาพด้วยตัวดำเนินการของการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน จะช่วยแยกลักษณะเฉพาะของรูปทรงได้ ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะใช้การตั้งค่าของพารามิเตอร์เป็นสำคัญ แต่ก็มีความ

นำเชื้อถือในการตรวจจับรอยแตกที่ไม่ชัดเจนและวัตถุที่มีลักษณะเป็นโครงในภาพผิวหนังที่มีสัญญาณรบกวนได้ โดยผลการทำงานเมื่อทดสอบกับภาพพื้นผิวหนังน 319 รูป มีความถูกต้องเฉลี่ยประมาณร้อยละ 90

ในปี 2006 Huang, Y., และ Xu, B.[7] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกบนพื้นผิวหนังนลาดยางด้วยการทำงานแบบทันกาล(Real time) ในอัลกอริทึมนี้ได้แบ่งบริเวณที่ใช้พิจารณาออกเป็นบริเวณย่อยซึ่งมีขนาด 8x8 พิกเซล โดยแต่ละบริเวณย่อยแบ่งออกเป็นส่วนของรอยแตกและไม่ใช้รอยแตกด้วยหลักการการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาของขอบพิกเซล รอยแตกจะขึ้นอยู่กับค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาของพิกเซลรอบข้าง แต่ละพิกเซลในบริเวณย่อยจะถูกเรียกว่า คลัสเตอร์(Cluster) โดยคลัสเตอร์อาจจะเป็นรอยแตกหรือไม่เป็นรอยแตกจริงก็ได้ เงื่อนไขของการตรวจสอบว่าเป็นรอยแตกหรือไม่ โดยการวิเคราะห์จากค่าความเบี่ยงต่างของค่าระดับเทา ความกว้าง และความยาวของรอย ถ้าคลัสเตอร์รอยแตกเคลื่อนตัวไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าอาจเป็นรอยแตกเดียวกันได้ ผลการทดสอบกับภาพรอยแตกประมาณ 100 ภาพ ตรวจหารอยแตกตามทางยาว มีความถูกต้องเฉลี่ยประมาณร้อยละ 90.0 และรอยแตกตามทางขวาง มีความถูกต้องเฉลี่ยประมาณร้อยละ 96.0

ในปี 2008 ศิวพร ศรเจริญ และสืบสกุล พิภพมงคล[8] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลโดยการแบ่งบริเวณที่พิจารณาออกเป็นบริเวณย่อยขนาด 5x5 พิกเซล เพื่อตรวจหารอยแตกบนถนนลาดยางในสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ และในลักษณะที่ผิวรอยแตกก่อกลิ้นไปกับผิวหนัง แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกการวิเคราะห์บริเวณย่อยที่แบ่งออกมาช่วยในการแยกรอยแตกกับขอบของเงา ขั้นตอนที่สอง การตรวจสอบรอยแตก เพื่อแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนหรือรอยแตกที่ก่อกลิ้นไปกับผิวหนัง การทดลองนี้ได้ผลถูกต้องแม่นยำเมื่อต้องการหาเส้นรอยแตกบนถนนลาดยางในสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ และลักษณะของรอยแตกที่ก่อกลิ้นไปกับผิวหนัง โดยมีความผิดพลาดเชิงลบและความผิดพลาดเชิงบวกอยู่ที่ค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 21 และ 13 ตามลำดับ

2.3.2 กลุ่มที่สามเป็นกลุ่มที่เกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึมทางการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อช่วยให้อัลกอริทึมทางการตรวจหาวัตถุวงกลมมีประสิทธิภาพขั้นมีดังนี้

ในปี 2001 Lin, X., และ Otobe, K.[9] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการใช้อัลกอริทึมการแปลงฮัฟ หลังจากได้รับภาพจากกล้อง Artificial Retina Camera(ARC) ซึ่งกล้องชนิดนี้เป็นกล้องที่ทำกรับ



ภาพมา ทำภาพให้เป็นภาพไบนารีและหาขอบมาให้อัตโนมัติ เมื่อได้ภาพผลลัพธ์จากกล้องมา อัลกอริทึมของการแปลงฮัฟจะทำการหาวัตถุที่เป็นวงกลมในระนาบสองมิติ เหมาะสำหรับการทำงานแบบคู่ขนานพร้อมกันระหว่างรูปแบบอินพุตหลายตัวและรูปแบบอินพุตที่ละส่วน สามารถตรวจจับได้หลายรูปทรงที่มีอยู่ในภาพ

ในปี 2008 Wu, J., Li, J., Xiao, C., Tan, F., และ Gu, C.[10] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการหาเส้นโค้งของส่วนที่เป็นวงกลมวงเดียวกัน โดยแยกออกมาจากเส้นโค้งอื่นที่ไม่สามารถประกอบเป็นวงกลมได้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก จะทำการแยกวัตถุด้วยอัลกอริทึมการหาขอบของแคนนี่ ขั้นตอนที่สองใช้อัลกอริทึมระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด(Least square fitting) ในการคำนวณหารัศมีและจุดศูนย์กลางของวงกลม โดยใช้เพียงส่วนเดียวของวงกลม(Arc circle) ขั้นตอนที่สามใช้อัลกอริทึมในการจำแนกความแตกต่างระหว่าง ส่วนของวงกลม และส่วนที่ไม่ใช่ส่วนของวงกลม ขั้นตอนที่สี่ นำส่วนของวงกลมแต่ละส่วนที่ผ่านการตรวจสอบ มารวมกันและใช้อัลกอริทึม Fitting ในการตรวจสอบกับข้อมูลจริงอีกครั้ง โดยผลของการทดลองของงานวิจัยนี้ สามารถตรวจจับวงกลมด้วยความเร็วเฉลี่ย 7 รูปต่อวินาทีด้วยภาพขนาด 640x480 พิกเซล และความถูกต้องอยู่ที่ค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 92 จากรูปภาพวงกลมทั้งหมด 174 วง

ในปี 2009 Shang, F., Liu, J., Zhang, X., Tian, D.[11] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการตรวจจับวงกลมที่มีชื่อว่า Semi-Random Detection(SRD) โดยใช้หลักการสามเหลี่ยมมุมฉากที่อยู่ในวงกลม โดยทั้งหมดเป็นการคำนวณในระนาบออร์โธสองมิติ และหาตำแหน่งของจุดทั้งสี่จุดเพื่อหาสามเหลี่ยมมุมฉากร่วม หลังจากนั้นหารัศมีและเส้นผ่านศูนย์กลาง ประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนภายในภาพ กระบวนการทำงานมีความเร็วสูง

ในปี 2008 Panetta, K.A., และ Wharton, E.J.[12] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการตรวจหาขอบวัตถุในภาพ ด้วยวิธีที่เรียกว่า Parameterized Logarithmic Image Processing(PLIP) และตัวดำเนินการโซเบลแบบสี่ทิศทาง ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบและเปรียบเทียบผลการตรวจหาขอบของแต่ละตัวดำเนินการที่ใช้ทั่วไปเช่น โซเบล แคนนี่ โดยประมาณค่าขอบของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละตัวดำเนินการ

### บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีการตรวจหาฝาแมนโฮล

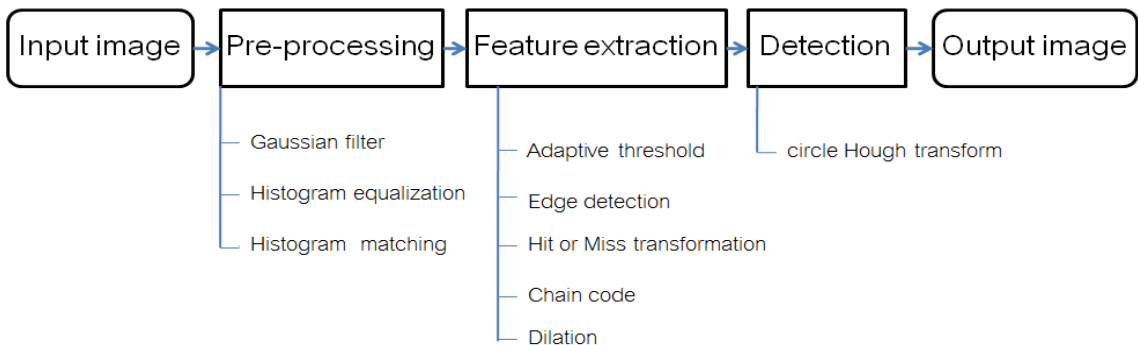
ในบทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนวิธีการในการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวหนัง โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเตรียมภาพ ในการเตรียมภาพจะเริ่มจากการรับภาพต้นฉบับเข้ามา แล้วแปลงภาพต้นฉบับจากภาพสีเป็นภาพระดับเทา(ในกรณีที่ผู้วิจัยถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพสี) จากนั้นจะกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน ปรับค่าความเบี่ยงต่างของค่าระดับเทาในภาพด้วยวิธีการปรับรู้งิสโทแกรมให้เสมอภาคกันและใช้การจับคู่ฮิสโทแกรมเพื่อทำให้ภาพมีความสว่างตามฮิสโทแกรมลอการิทึม ผลที่ได้คือเปิดเผยรายละเอียดส่วนที่อยู่ในเงาและถ้ามีเงาจางในภาพก็สามารถกำจัดเงานั้นไปได้

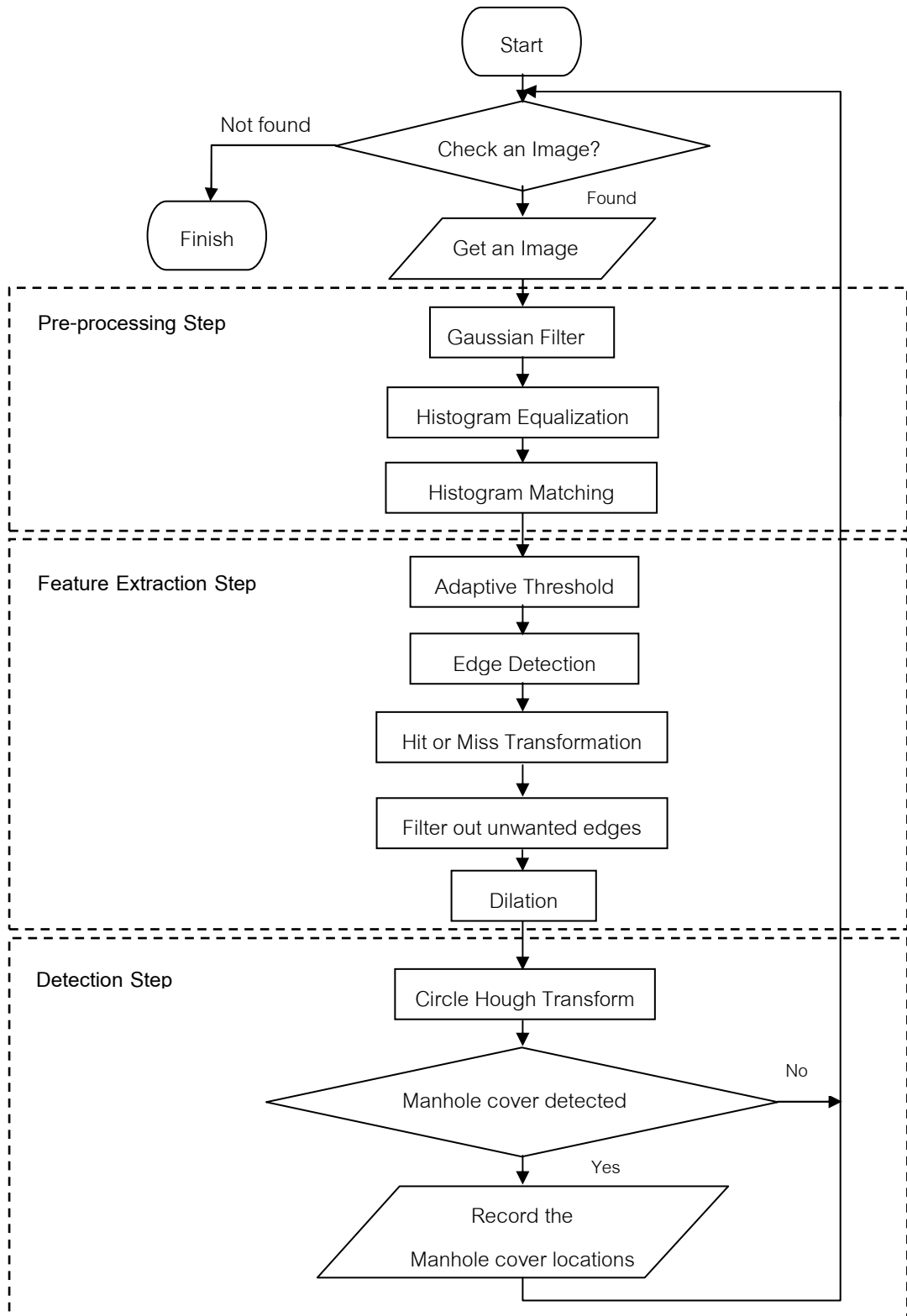
2) การแยกลักษณะ เมื่อได้รับภาพจากขั้นตอนการเตรียมภาพแล้ว จะนำภาพมาแยกส่วนขององค์ประกอบของภาพด้วยวิธีการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ การหาขอบด้วยวิธีการหาขอบแบบโซเบลชนิดPLIP การกำจัดจุดเชื่อมต่อของวัตถุด้วยวิธีการแปลงฮิสโทรมิสต์ด้วยสมาชิกโครงสร้าง16 รูปแบบที่เตรียมไว้ และกรองพิกเซลที่คาดว่าเป็นขอบของฝาแมนโฮลจากวัตถุที่ไม่สนใจ ขยายขนาดของขอบเพื่อทำให้มีความหนาขึ้นหรือทำให้ขอบเชื่อมต่อกัน

3) การตรวจหา นำภาพที่ผ่านกระบวนการทั้ง 2 ขั้นตอนข้างต้นมาตรวจหาวัตถุที่เป็นวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลมเพื่อให้ได้ตำแหน่งฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ

ผังงาน(Flowchart) ของขั้นตอนทั้งหมดมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1และ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพกิจกรรมการทำงานของ การตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวหนังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล(Activity diagram)



รูปที่ 3.2 ผังงานของขั้นตอนวิธีที่เสนอ

### 3.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพ(Pre-processing)

ภาพถ่ายผิวนถนนส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพระดับเทาที่ได้จากรดสำรวจ แต่อาจมีบางกรณีเป็นภาพสีซึ่งได้มาจากกล้องถ่ายภาพชนิด DSLR(Digital single-lens reflex cameras) ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ถ่ายดังรูปที่ 3.3(ก) ภาพสีเหล่านี้ต้องแปลงเป็นภาพระดับเทาก่อนดังรูปที่ 3.3(ข)



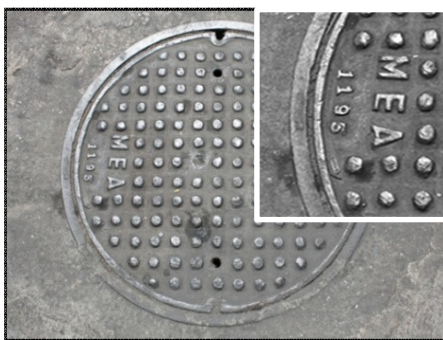
(ก) ภาพที่ถ่ายโดยผู้วิจัย



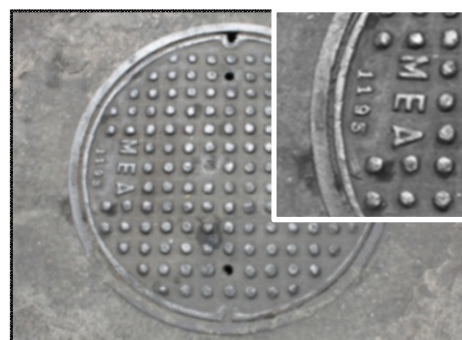
(ข) ภาพระดับเทา

รูปที่ 3.3 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา

ภาพที่รับเข้ามามักมีสัญญาณรบกวนมาก จึงต้องกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน โดยนำตัวกรองขนาด 5x5 พิกเซลและใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 มาทำ สังวัตนาการกับภาพ โดยให้ภาพต้นฉบับที่รับเข้ามาแสดงดังรูปที่ 3.4(ก) และภาพผลลัพธ์ที่ผ่านตัวกรองนี้แสดงดังรูปที่ 3.4(ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ

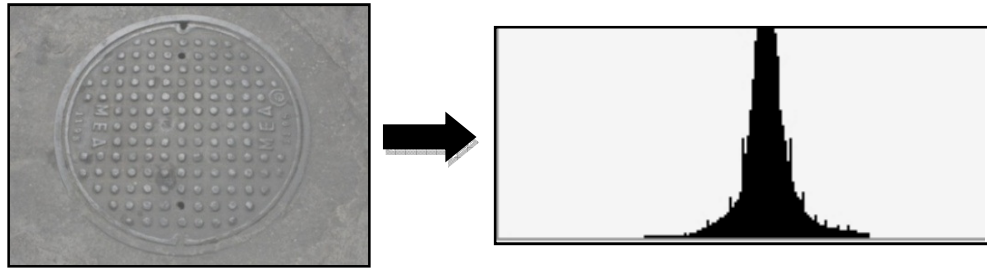


(ข) ภาพที่ผ่านตัวกรอง

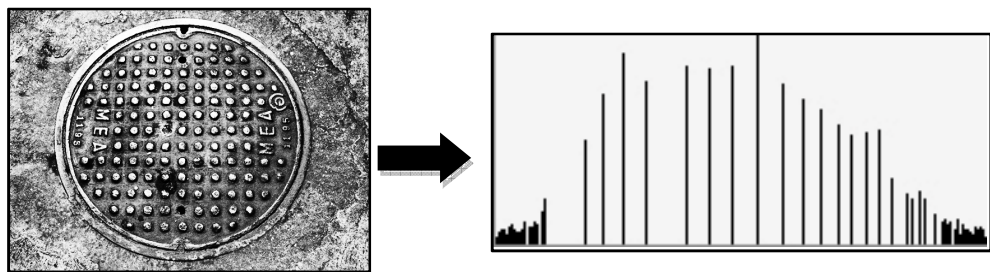
รูปที่ 3.4 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยตัวกรองเกาส์เซียน

หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนเรียบร้อยแล้ว จะนำภาพที่ได้มาปรับค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาในภาพด้วยวิธีการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน เพื่อทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากขึ้นรูป

ที่ 3.5(ก) แสดงภาพและฮิสโทแกรมที่มีค่าความเปรียบต่างของสีต่ำ และรูปที่ 3.5(ข) แสดงภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน



(ก) ภาพและฮิสโทแกรมที่มีค่าความเปรียบต่างของสีต่ำ



(ข) ภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน

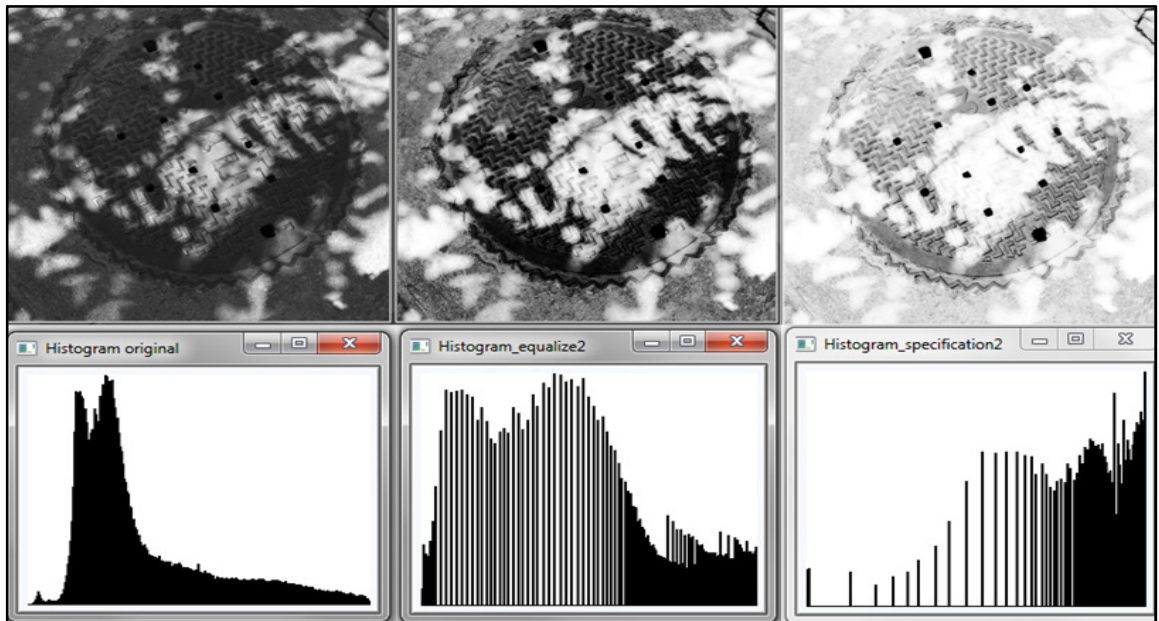
รูปที่ 3.5 การปรับความเปรียบต่างของสีในภาพด้วยวิธีการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน

ในบางสถานการณ์การปรับค่าฮิสโทแกรมแบบเสมอภาคกันอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากเมื่อปรับภาพเสร็จแล้ว ภาพที่ได้อาจจะมืด รายละเอียดส่วนอยู่ในเงายังไม่ได้เปิดเผย และถ้ามีเงาจางมาปรากฏในภาพและอาจส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการตรวจหาฝาแมนโฮล ต้องปรับความสว่างของภาพด้วยการนำผลฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมแบบเสมอภาคกันมาทำการจับคูฮิสโทแกรม เพื่อให้ภาพมีความสว่างตามฮิสโทแกรมลอการิทึม ช่วยทำให้เปิดเผยรายละเอียดในเงามืดและลดความผิดพลาดที่เกิดจากเงาจางได้ แสดงตัวอย่างเมื่อรับภาพเข้ามาดังรูปที่ 3.6(ก) ปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกันดังรูปที่ 3.6(ข) แล้วนำภาพผลลัพธ์ที่ได้มาจับคูฮิสโทแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.6(ค)

### 3.2 การแยกลักษณะ(Feature extraction)

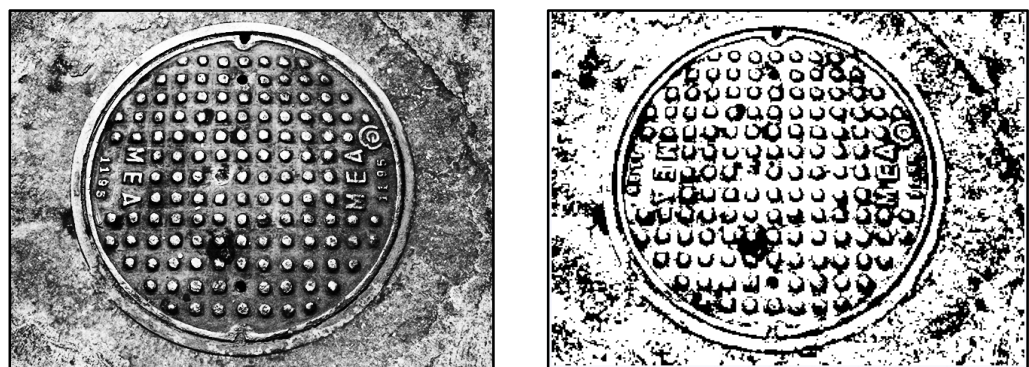
หลังจากเตรียมภาพเรียบร้อยแล้ว นำภาพที่ได้มาหาค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการตัดแยกบริเวณที่สนใจออกจากพื้นหลัง ด้วยวิธีการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ ลักษณะภาพที่ได้เป็นภาพไบนารีขาว(1) กับดำ(0) วิธีการนี้เกิดจากค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างของพิกเซลในภาพ และหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมแบบ

อัตโนมัติ โดยเริ่มจากการแบ่งบริเวณในภาพออกไปเป็น 6 ส่วน หาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ของแต่ละบริเวณที่เป็นอิสระต่อกัน ทำให้ลดปัญหาบริเวณในภาพที่มีค่าความเปรียบต่างของค่าระดับเทาสูงส่งผลกระทบต่อการทำงานค่าขีดแบ่งในภาพนั้น ตัวอย่างภาพที่รับเข้ามาในรูปที่ 3.7(ก) และภาพผลลัพธ์ของการหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 3.7(ข)



(ก) ภาพและฮิสโทแกรมของ ภาพที่รับเข้ามา (ข) ภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน (ค) ภาพและฮิสโทแกรมที่ผ่านการปรับฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกันและการจับคูฮิสโทแกรม

รูปที่ 3.6 การปรับฮิสโทแกรม



(ก) ภาพก่อนเข้าอัลกอริทึม (ข) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 3.7 การหาค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้

ขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจหาขอบของวัตถุ โดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงของพิกเซล วิธีที่นำมาใช้คือตัวดำเนินการโซเบล แต่จะเพิ่มลักษณะการหาขอบแนวทแยงมุมของตัวดำเนินการ เพื่อช่วยทำให้ขอบของวัตถุที่ได้มีลักษณะชัดเจนขึ้น รวมเป็นสี่รูปแบบตัวดำเนินการในแต่ละแกน โดยมี แกนนอน(Gx) แกนตั้ง(Gy) แกนทแยงซ้าย(Gd1) และแกนทแยงขวา(Gd2) ดังรูปที่ 3.8 และหาค่าขอบของตัวดำเนินการโซเบลดังสมการที่ 3.1

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

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

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

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

(ก) แกนนอน Gx      (ข) แกนตั้ง Gy      (ค) แกนทแยงซ้าย Gd1      (ง) แกนทแยงขวา Gd2

รูปที่ 3.8 ตัวดำเนินการโซเบล

สมการที่ 3.1 การหาค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล

$$\text{ค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล} \approx |Gx| + |Gy| + |Gd1| + |Gd2| \quad (3.1)$$

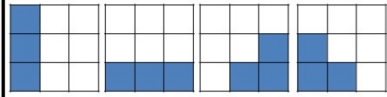
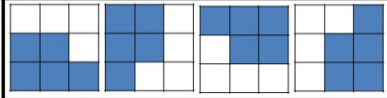
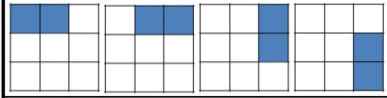
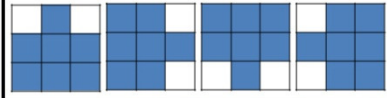
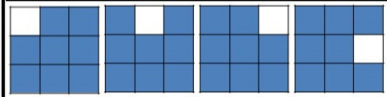
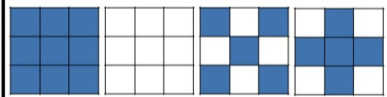
ขั้นตอนการตรวจหาขอบด้วยตัวดำเนินการโซเบลมีลำดับดังนี้

- 1) เริ่มต้นด้วยการรับภาพไบนารีเข้ามา แล้วนำตัวดำเนินการแต่ละแกนมาหาค่าสัมบูรณ์จากผลบวกของผลคูณ(Sum of product) กับแต่ละค่าของพิกเซลในภาพไบนารีดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.9

ตัวดำเนินการโซเบล	ค่าของพิกเซลในภาพ	การหาค่าสัมบูรณ์จากผลบวกของผลคูณ																														
Gx <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> </table>	1	2	1	0	0	0	-1	-2	-1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	1	1	0	1	1	0	1	1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1*0</td><td>2*1</td><td>1*1</td><td>= Gx </td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>= (2+1)+(-2+-1) </td></tr> <tr><td>-1*0</td><td>-2*1</td><td>-1*1</td><td>=0</td></tr> </table>	1*0	2*1	1*1	= Gx	0	0	0	= (2+1)+(-2+-1)	-1*0	-2*1	-1*1	=0
1	2	1																														
0	0	0																														
-1	-2	-1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
1*0	2*1	1*1	= Gx																													
0	0	0	= (2+1)+(-2+-1)																													
-1*0	-2*1	-1*1	=0																													
Gy <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	1	1	0	1	1	0	1	1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1*1</td><td>= Gy </td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>2*1</td><td>= (1+2+1) </td></tr> <tr><td>*0</td><td>0</td><td>1*1</td><td>=4</td></tr> </table>	0	0	1*1	= Gy	0	0	2*1	= (1+2+1)	*0	0	1*1	=4
-1	0	1																														
-2	0	2																														
-1	0	1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	0	1*1	= Gy																													
0	0	2*1	= (1+2+1)																													
*0	0	1*1	=4																													
Gd1 <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </table>	0	1	2	-1	0	1	-2	-1	0	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	1	1	0	1	1	0	1	1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1*1</td><td>2*1</td><td>= Gd1 </td></tr> <tr><td>-1*0</td><td>0</td><td>1*1</td><td>= (1+2+1)+(-1) </td></tr> <tr><td>-2*0</td><td>-1*1</td><td>0*1</td><td>=3</td></tr> </table>	0	1*1	2*1	= Gd1	-1*0	0	1*1	= (1+2+1)+(-1)	-2*0	-1*1	0*1	=3
0	1	2																														
-1	0	1																														
-2	-1	0																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	1*1	2*1	= Gd1																													
-1*0	0	1*1	= (1+2+1)+(-1)																													
-2*0	-1*1	0*1	=3																													
Gd2 <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>	-2	-1	0	-1	0	1	0	1	2	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	1	1	0	1	1	0	1	1	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>-2*0</td><td>-1*1</td><td>0*1</td><td>= Gd2 </td></tr> <tr><td>-1*0</td><td>0</td><td>1*1</td><td>= (-1)+(1+2+1) </td></tr> <tr><td>0</td><td>1*1</td><td>2*1</td><td>=3</td></tr> </table>	-2*0	-1*1	0*1	= Gd2	-1*0	0	1*1	= (-1)+(1+2+1)	0	1*1	2*1	=3
-2	-1	0																														
-1	0	1																														
0	1	2																														
0	1	1																														
0	1	1																														
0	1	1																														
-2*0	-1*1	0*1	= Gd2																													
-1*0	0	1*1	= (-1)+(1+2+1)																													
0	1*1	2*1	=3																													

รูปที่ 3.9 การหาค่าสัมบูรณ์จากผลบวกของผลคูณของแต่ละพิกเซลในภาพไบนารี

- 2) นำค่าสัมบูรณ์ของแต่ละแกนมารวมกันเพื่อหาค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล  
 ค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล  $\approx |Gx| + |Gy| + |Gd1| + |Gd2| = 0+4+3+3 = 10$
- 3) ทำกับพิกเซลทั้งหมดที่ปรากฏในภาพไบนารีจนครบทั้งภาพ
- 4) จากการสังเกตลักษณะของพิกเซล สามารถวิเคราะห์รูปแบบของพิกเซลกับค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบล ได้แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.10

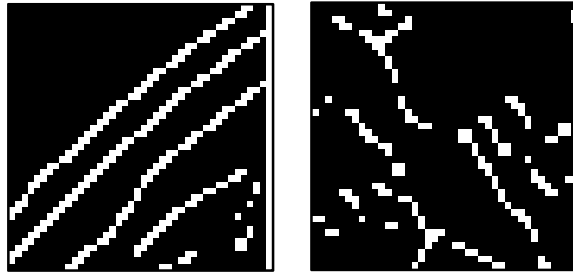
White = 1, Black = 0	Magnitude of gradient
	10
	12
	8
	6
	4
	0

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างรูปแบบของพิกเซลกับค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบลในภาพ

- 5) นำค่าขนาดของเกรเดียนท์ของตัวดำเนินการโซเบลของพิกเซลทั้งหมดมาหาค่าขีดแบ่ง เพื่อแยกว่าส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุหรือไม่

ภาพที่ได้หลังจากการหาขอบของวัตถุ จะปรากฏลักษณะการเรียงตัวของพิกเซลทั้งการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบดังรูปที่ 3.11 โดยมีทั้งพิกเซลของขอบวัตถุที่สนใจและไม่สนใจจำนวนมาก วิธีที่นำมาแก้ปัญหานี้คือ การกำจัดจุดเชื่อมต่อที่มีลักษณะต่างจากจุดของขอบวงกลม ด้วยวิธีการแปลงฮิตออร์มิส โดยนำสมาชิกโครงสร้างขนาด 3x3 พิกเซลจำนวน 16 รูปแบบดังรูปที่ 3.12 มาจับคู่กับตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ แสดงตัวอย่างการทำงานโดยให้รูปที่ 3.13(ก) เป็นตัวอย่างจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ นำสมาชิกโครงสร้างมาจับคู่ดังรูปที่ 3.13(ข) เมื่อจับคู่กับตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อได้ตรงกันแล้วกำจัดจุดเชื่อมต่อที่อยู่นอกไปจากภาพดังรูปที่ 3.13(ค)

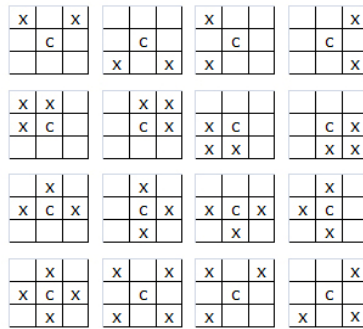




(ก) เป็นระเบียบ

(ข) ไม่เป็นระเบียบ

รูปที่ 3.11 ลักษณะของฟิกเชลในภาพ



รูปที่ 3.12 ลักษณะสมาชิกโครงสร้าง

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0					1										
1						1									
2							1								
3								1							
4									1						
5										1					1
6											1				1
7												1			
8													1		
9														1	
10															1
11															
12															
13															
14															

(ก) ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อของฟิกเชลในภาพ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0					1										
1						1									
2							1								
3								1							
4									1						
5										1					1
6											1				1
7												1			
8													1		
9														1	
10															1
11															
12															
13															
14															

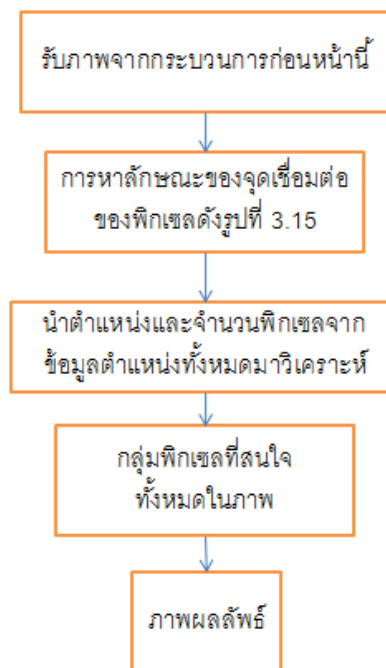
(ข) การจับคู่สมาชิกโครงสร้างกับจุดเชื่อมต่อฟิกเชล

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0					1										
1						1									
2							1								
3								1							
4									1						
5										1					1
6											1				1
7												1			
8													1		
9														1	
10															1
11															
12															
13															
14															

(ค) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 3.13 การกำจัดจุดเชื่อมต่อที่มีลักษณะต่างจากจุดของขอบวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮิตออร์มิด

เมื่อกำจัดจุดเชื่อมต่อที่ลักษณะต่างจากจุดของขอบวงกลมแล้ว ต่อไปจะหาจำนวนจุดที่เชื่อมต่อกันโดยนำวิธีรหัสลูกโซ่มาประยุกต์ใช้ ผลลัพธ์จะได้จำนวนพิกเซลในกลุ่มที่เชื่อมต่อกัน หลังจากนั้นหาค่าจำนวนขั้นต่ำของจำนวนพิกเซลที่เชื่อมต่อกันเพื่อกรองเอากลุ่มของพิกเซลที่คาดว่าจะป็นขอบของวัตถุที่สนใจ ซึ่งอาจเป็นขอบของฝาแมนโฮลได้ โดยแสดงผังงานการทำงานของกราฟรวมของการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพได้ดังรูปที่ 3.14 และแสดงผังการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพอย่างละเอียดดังรูปที่ 3.15



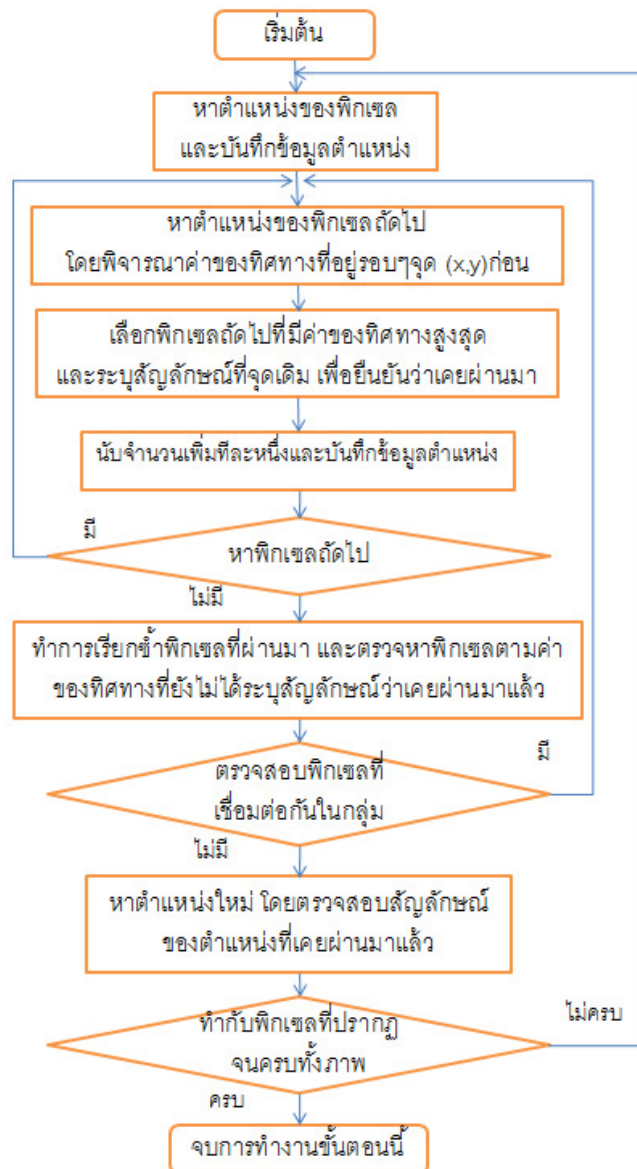
รูปที่ 3.14 ผังการทำงานของกราฟรวมของการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ  
ขั้นตอนการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลด้วยการประยุกต์ใช้วิธีรหัสลูกโซ่ มีลำดับดังนี้

- 1) เริ่มต้นด้วยการหาจุดเริ่มต้นของแต่ละพิกเซล(x,y) ที่มีอยู่ในภาพ และบันทึกข้อมูลตำแหน่ง
- 2) หาตำแหน่งของพิกเซลถัดไป โดยพิจารณาค่าของทิศทางที่อยู่รอบๆจุด(x,y) ก่อน ค่าของทิศทางแสดงในรูปที่ 3.16 ให้ c เป็นจุดภาพที่ตำแหน่ง(x,y)
- 3) เลือกพิกเซลถัดไปที่มีค่าของทิศทางสูงสุด โดยพิจารณาจากตำแหน่งของพิกเซลต่อไปว่าอยู่ในทิศทางใดเมื่อเทียบกับจุด(x,y) ทำการระบุสัญลักษณ์ที่จุดเดิม เพื่อยืนยันว่าเคยผ่านมาแล้ว
- 4) เดินมาที่ตำแหน่งใหม่ นับจำนวนเพิ่มทีละครั้งดังรูปที่ 3.17(ก) และบันทึกข้อมูลตำแหน่งดังรูปที่ 3.17(ข)
- 5) ทำซ้ำในข้อ 2 ถึงข้อ 4 จนไม่มีพิกเซลถัดไป

6) ทำการเรียกซ้ำ(recursive) ฟังก์ชันที่ผ่านมา และตรวจหาฟังก์ชันตามค่าของทิศทางที่ยังไม่ได้ระบุสัญลักษณ์ว่าเคยผ่านมาแล้ว ถ้ายังไม่ได้ระบุให้ทำซ้ำข้อ 2 ถึงข้อ 5 จนครบทุกฟังก์ชันที่เชื่อมต่อกันในกลุ่ม

7) ทำกับฟังก์ชันที่ปรากฏจนครบทั้งภาพ

ในข้อมูลตำแหน่งมีทั้งจุดเริ่มต้นและจำนวนที่นับของฟังก์ชันที่เชื่อมต่อกันทั้งหมด ดังรูปที่ 3.18 หลังจากนั้นนำข้อมูลตำแหน่งที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกรองกลุ่มของฟังก์ชันที่เชื่อมต่อกันด้วยวิธีหาจำนวนนับขั้นต่ำในการกรองกลุ่มของฟังก์ชันที่สนใจ แสดงตัวอย่างการทำงานเมื่อรับภาพที่ผ่านการกำจัดจุดเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.19(ก) มากองด้วยจำนวนฟังก์ชัน จะได้ผลลัพธ์แสดงการทำงานดังรูปที่ 3.19(ข)



รูปที่ 3.15 ผังการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของฟังก์ชันในภาพอย่างละเอียด

3	2	1
4	c	0
5	6	7

รูปที่ 3.16 ค่าของทิศทาง

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
0					1											
1						1										
2							1									
3								1								
4									1							
5										1						
6											1					
7												1				
8													1			
9														1		
10															1	
11																1

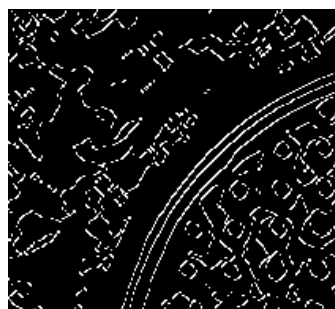
i	Code	Row	Column
0	start	0	4
1	7	1	5
2	7	2	6
3	7	3	7
4	6	4	7
5	6	5	7
6	6	6	7
7	7	7	8
8	6	8	8
9	5	9	7
10	5	10	6
11	5	11	5

(ก) ตำแหน่งของพิกเซลในภาพ                      (ข) วิธีการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง

รูปที่ 3.17 วิธีการหาลักษณะของจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ

จุดเริ่มต้น		จำนวนพิกเซลที่เชื่อมต่อกันในกลุ่ม
Y	X	
0	4	Count
		12
.	.	.

รูปที่ 3.18 ข้อมูลตำแหน่งของพิกเซลในภาพ



(ก) ภาพที่ผ่านการกำจัดจุดเชื่อมต่อของพิกเซลในภาพ                      (ข) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 3.19 ผลลัพธ์จากการกรองกลุ่มของพิกเซลที่สนใจในภาพ

นำภาพที่ได้จากการกรองกลุ่มพิกเซลของวัตถุที่สนใจมาขยายขนาด เพื่อให้ขอบเชื่อมต่อกัน และหนาขึ้น โดยลักษณะสมาชิกโครงสร้างที่ใช้เป็นสีเหลี่ยมขนาด  $3 \times 3$  พิกเซลเพื่อให้ได้ขอบที่ขยายขนาดออกไปในแนวตั้ง แนวนอนและแนวทแยง โดยแสดงตัวอย่างการทำงาน ให้ภาพจริงที่รับเข้ามาดังรูปที่ 3.20(ก) มาขยายขนาดของพิกเซลในภาพจะได้ผลลัพธ์ของภาพดังรูปที่ 3.20(ข)



(ก) ภาพที่ผ่านกระบวนการที่แล้ว



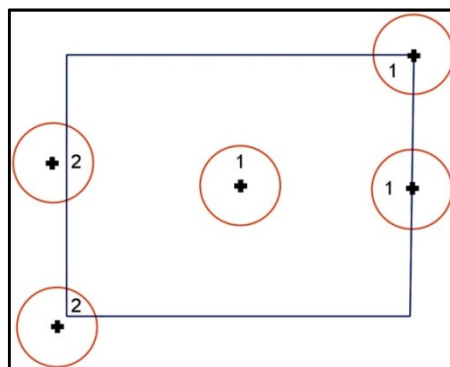
(ข) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 3.20 การขยายขนาดของกลุ่มพิกเซลในภาพ

### 3.3 การตรวจหาฝาแมนโฮล

เมื่อผ่านกระบวนการแยกลักษณะของวัตถุแล้ว ต่อไปจะนำกลุ่มพิกเซลในภาพที่ได้มาหาวัตถุที่เป็นวงกลมด้วยการแปลงฮัฟวงกลม ผลลัพธ์จะได้ตำแหน่งของฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ จากการพิจารณาลักษณะตำแหน่งของฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพดังรูปที่ 3.21 จำแนกเป็น 2 กรณีคือ

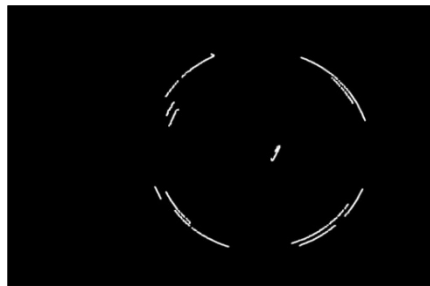
- 1) กรณีที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางอยู่ในภาพ
- 2) กรณีที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางอยู่นอกภาพ



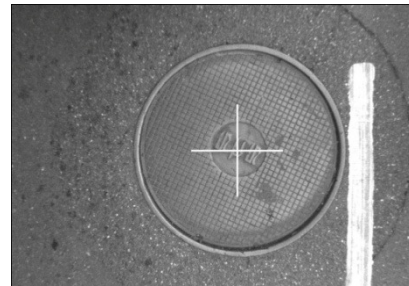
รูปที่ 3.21 ลักษณะตำแหน่งจุดศูนย์กลางของฝาแมนโฮล

ในกรณีที่ 1) สามารถแปลงฮัฟวงกลมได้ปกติ โดยกำหนดขอบเขตของรัศมี ซึ่งในภาพฝาแมนโฮลมีรัศมีได้เท่ากับ 160 ถึง 334 พิกเซล เมื่อเทียบอัตราส่วนระยะจริงต่อพิกเซลในภาพเท่ากับ 1.8

มิลลิเมตรต่อพิกเซล นำค่าตำแหน่งของพิกเซลทั้งหมดมาใส่สมการการแปลงฮัฟวงกลมแล้ว แล้วนำผลมาสร้างปริภูมิตัวสะสมเพื่อหาจุดตัดของวงกลมและหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ จุดที่มีจุดตัดของวงกลมมากกว่าค่าสูงสุดเฉพาะที่คือจุดศูนย์กลางของฝาแมนโฮลในภาพ แสดงตัวอย่างการทำงานเมื่อนำภาพที่ผ่านกระบวนการก่อนหน้านี้ดังรูปที่ 3.22(ก) วัตถุที่เป็นวงกลมด้วยการแปลงฮัฟวงกลมผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.22(ข)



(ก) ภาพก่อนเข้า

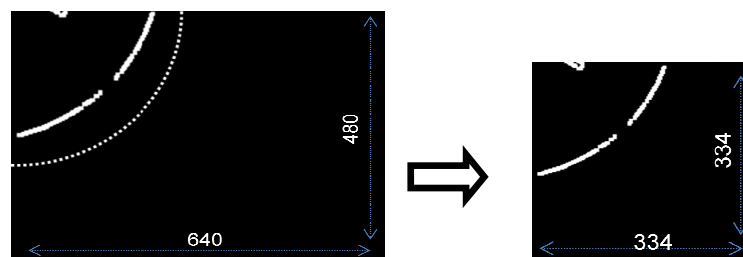


(ข) ภาพผลลัพธ์ของการตรวจหาฝาแมนโฮล

รูปที่ 3.22 การตรวจหาวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลม

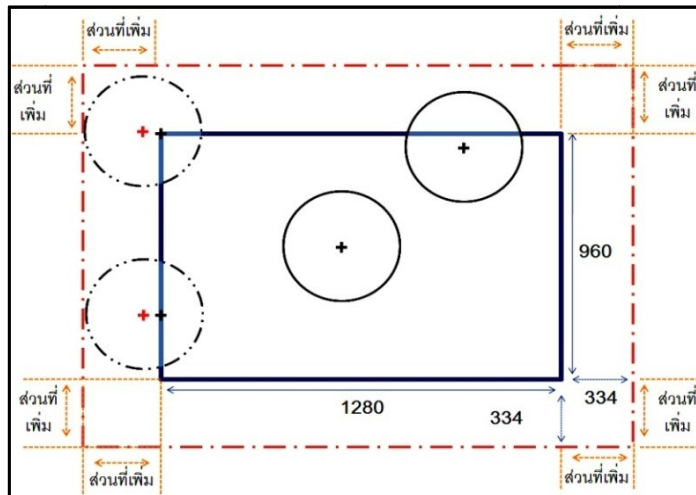
ส่วนในกรณีที่ 2) ไม่สามารถแปลงฮัฟวงกลมได้ตามปกติ เพราะหลักการในการแปลงฮัฟวงกลมเกิดจากการนำพิกเซลไปคำนวณหาจุดศูนย์กลางที่มีอยู่ภายในภาพ แต่ถ้าจุดศูนย์กลางของวัตถุอยู่นอกภาพ ก็จะไม่สามารถหาตำแหน่งของวัตถุในภาพได้ จึงได้ออกแบบวิธีการแก้ไขดังนี้

1) รับภาพจากกระบวนการที่แล้วเข้ามา ตรวจสอบว่ามีกลุ่มของพิกเซลอยู่ใกล้กับบริเวณขอบภาพหรือไม่ดังรูปที่ 3.23



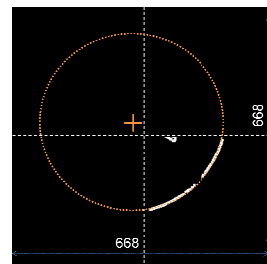
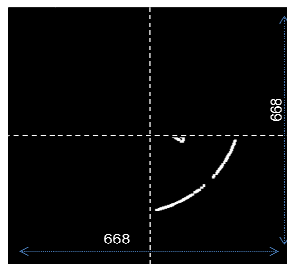
รูปที่ 3.23 การตรวจสอบจำนวนพิกเซลที่ขอบของภาพ

2) ถ้ามีกลุ่มของพิกเซลอยู่ที่ขอบของภาพ จะขยายขนาดของภาพเพิ่มอีกด้านละไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดฝาแมนโฮลที่จะตรวจพบ ซึ่งคือเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 120 เซนติเมตรเทียบกับอัตราส่วนของพิกเซลได้เท่ากับ 334 พิกเซล ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การเพิ่มพื้นที่ของรูปภาพเพื่อแก้ปัญหาจุดศูนย์กลางอยู่นอกภาพ

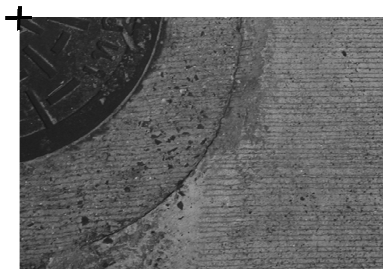
3) นำภาพขนาดใหม่ที่ได้มาแปลงฮัฟวงกลมเหมือนปกติ แต่บริเวณที่เพิ่มออกมานั้นจะใช้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ให้มิต่ำกว่าส่วนที่อยู่ในภาพจริง แสดงตัวอย่างเมื่อขยายขนาดภาพดังรูปที่ 3.25(ก) มาแปลงฮัฟวงกลมจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.25(ข)



(ก) ภาพก่อนการแปลงฮัฟวงกลม (ข) ผลลัพธ์จากการแปลงฮัฟวงกลม

รูปที่ 3.25 การแปลงฮัฟวงกลมในภาพขนาดใหม่

4) ถ้าพบจุดศูนย์กลางของวงกลมที่อยู่ส่วนของภาพที่ขยายออก แสดงว่าส่วนของวงกลมที่ตรวจพบนี้เป็นส่วนของฝาแมนโฮลจริง และระบุตำแหน่งอ้างอิงว่าพบส่วนของฝาแมนโฮลในภาพขนาดจริง แสดงผลลัพธ์การหาตำแหน่งอ้างอิงในภาพจริงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งอ้างอิงเมื่อตรวจพบจุดศูนย์กลางวงกลมภายนอกภาพ

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

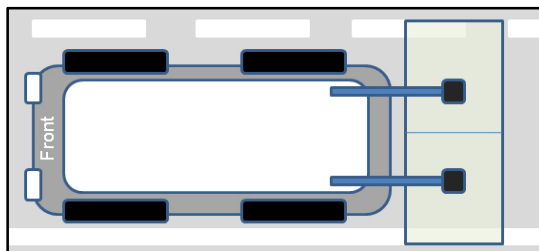
#### 4.1 การเก็บข้อมูลจากรถสำรวจผิวทาง

ภาพทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากฐานข้อมูลภาพของคณะทำงานสำรวจพื้นผิวถนน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระบบสำรวจข้อมูลถนนนี้ถูกติดตั้งในรถสำรวจผิวทางดังรูปที่ 4.1 ซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องวัดโพไฟล์เลเซอร์(Laser profilometer), เครื่องรับจีพีเอส(GPS receiver), ไจโรสโคป(Gyroscope), กล้องมุมมองด้านหน้า (Front view cameras), และกล้องมุมมองพื้นถนน(Pavement view cameras)



รูปที่ 4.1 รถสำรวจผิวทาง

ในการเก็บข้อมูลภาพฟลายแมนโฮลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นภาพที่ถ่ายมาด้วยกล้องสแกนแบบพื้นที่ที่ติดตั้งอยู่หลังรถสำรวจ โดยทำมุมตั้งฉากกับพื้นถนน เมื่อถ่ายภาพในหนึ่งภาพ จะครอบคลุมพื้นที่ประมาณ  $2.40 \times 1.75$  ตารางเมตร โดยภาพพื้นผิวถนนจะเป็นภาพระดับเทา 8 บิต มีความละเอียด  $1280 \times 960$  พิกเซล โดยชนิดของการบีบอัดไฟล์เป็นแบบ JPEG อัตราส่วนระหว่างระยะจริงต่อพิกเซลเฉลี่ยประมาณ 1.8 มิลลิเมตรต่อพิกเซล ลักษณะการถ่ายภาพพื้นผิวถนนของรถสำรวจผิวทาง(มองจากด้านบน) เป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะการถ่ายภาพพื้นถนนของรถสำรวจผิวทาง (มองจากด้านบน)

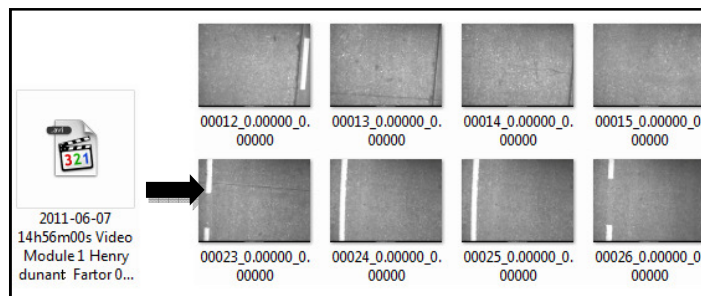


## 4.2 โปรแกรม POP(Post Processing Tool)

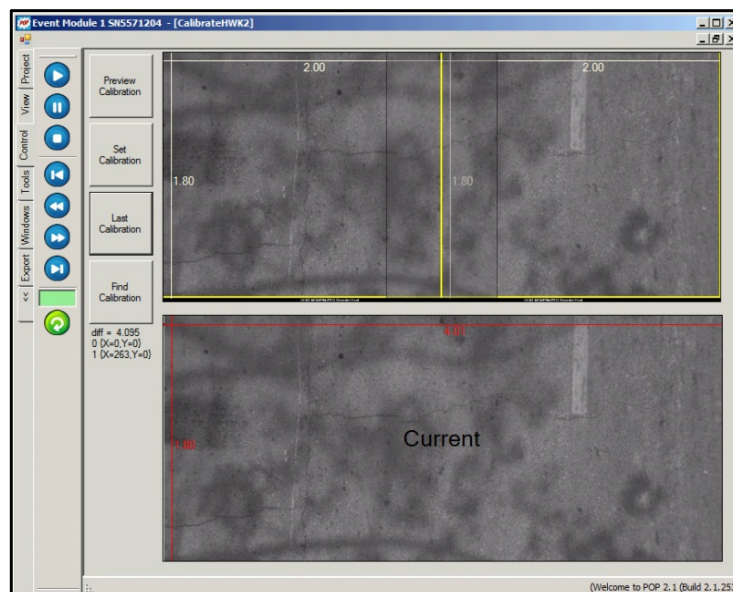
โปรแกรมนี้ใช้สำหรับการเปิดดูข้อมูลสำรวจที่ได้มาจากระบบสำรวจ ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลภาพจากกล้องมุมมองพื้นถนน ข้อมูลภาพจากกล้องมุมมองสำรวจทรัพยากรและข้อมูลพิกัดจีพีเอสเป็นต้น โดยโปรแกรมนี้จะเชื่อมต่อความสัมพันธ์ของทุกข้อมูลด้วยตราเวลา(Timestamp)

โปรแกรมสามารถทำงานได้ 2 แบบคือการวัดค่าด้วยมือมนุษย์และการวัดค่าแบบอัตโนมัติ ทั้งสองแบบพัฒนามาเพื่อจุดประสงค์เดียวกันคือ ใช้ประเมินหาขอบเขตของพื้นที่และหาตำแหน่งของความเสียหายต่างๆ

ส่วนของโปรแกรมที่นำมาใช้คือ การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์ภาพ ดังรูปที่ 4.3 โดยลักษณะไฟล์วิดีโอที่เก็บมาเป็นลักษณะเฟรมต่อเฟรม ทำให้เมื่อแปลงไฟล์วิดีโอเป็นภาพเสร็จ จะได้ภาพพื้นถนนชนิดบีบอัดไฟล์เป็นแบบJPEG ที่มีลักษณะที่ต่อกัน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์ภาพ



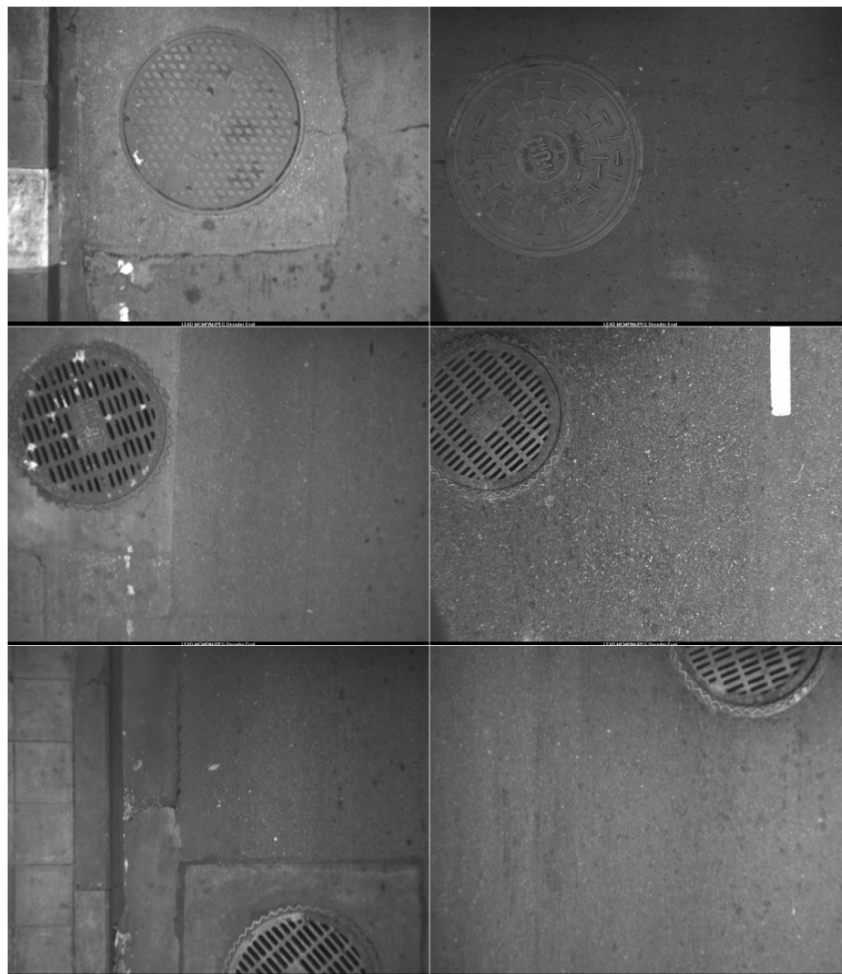
รูปที่ 4.4 หน้าต่างติดต่อผู้ใช้งานของโปรแกรม POP

#### 4.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาขั้นตอนการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวนถนนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาขั้นตอนเป็นเครื่องที่ใช้ซีพียูเอเอ็มดีทูเรียน2คอร์ ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 2.3 กิกะเฮิร์ต แรม 4 กิกะไบต์

#### 4.4 การทดลองกับภาพถ่ายจริงจำนวน 1800 ภาพเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การทดลองนี้ได้ทดลองกับภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจผิวทางในสภาพแวดล้อมเปิด โดยบางกรณีได้ถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพสีชนิดDSLR โดยผู้วิจัย เนื่องจากเป็นกรณีที่เกิดสภาพที่ต้องการ แต่รถสำรวจยังไม่พร้อมที่จะออกสำรวจ เช่นเงาต้นไม้หรือวัตถุที่มีในภาพ โดยทดลองกับภาพทั้งสิ้น 1,800 ภาพแบ่งเป็น ภาพบนถนนคอนกรีต จำนวน 950 ภาพ และภาพบนถนนลาดยาง 850 ภาพ ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจผิวทางโดยรถสำรวจผิวทางแสดงไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจผิวทางโดยรถสำรวจผิวทาง

4.4.1 การหาพารามิเตอร์ในการหาค่าขีดแบ่งเพื่อใช้แบ่งแยกส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุ

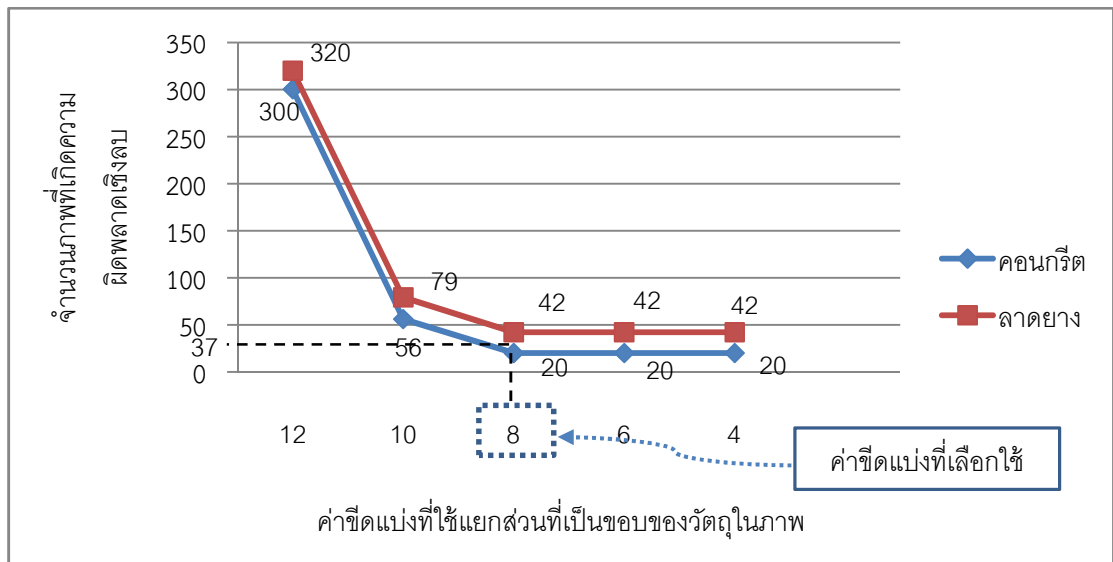
การหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งแยกส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุ เมื่อได้ค่าขีดแบ่งแล้วนำมาทดสอบกับภาพตัวอย่างดังรูปที่ 4.6



(ก) T=12                      (ข) T=10                      (ค) T=8                      (ง) T=6                      (จ) T=4

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าขีดแบ่งในภาพ

การหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งแยกส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุ เมื่อนำมาทดลองกับภาพจำนวน 620 ภาพแบ่งภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มภาพของถนนคอนกรีตจำนวน 300ภาพ และกลุ่มภาพของถนนลาดยางจำนวน 320ภาพ ทดสอบพร้อมหาค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มภาพ โดยเปลี่ยนค่าจำนวนนับ ได้ดังรูปที่ 4.7



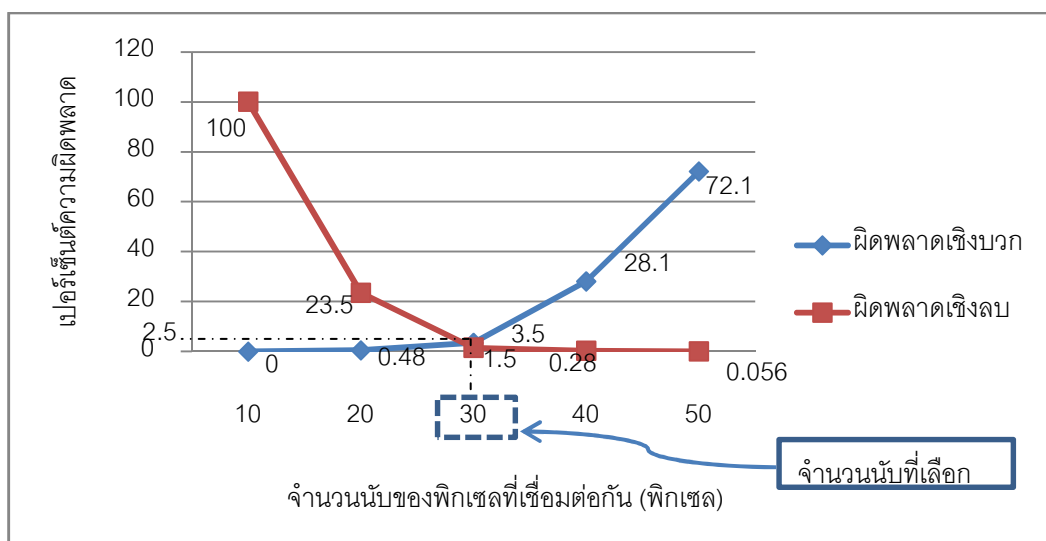
รูปที่ 4.7 ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งแยกส่วนที่ได้เป็นขอบของวัตถุ

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ถ้าเลือกค่าขีดแบ่งที่สูง จะส่งผลให้เกิดขอบของวัตถุที่สนใจขาดหายไปทำให้ความผิดพลาดเชิงลบสูงขึ้น และในทางกลับกันถ้าเลือกค่าขีดแบ่งที่ต่ำตั้งแต่ 8

ลงมาจะไม่ส่งผลต่อความผิดพลาดเชิงลบ ดังนั้นจากการทดลองนี้ค่า 8 คือค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งแยกกว่าส่วนที่ได้เป็นของของวัตถุ

#### 4.4.2 การหาพารามิเตอร์ขอบจำนวนนับเพื่อกรองกลุ่มพิกเซลของวัตถุที่สนใจ

การหาค่าจำนวนนับเพื่อใช้ในการกรองกลุ่มพิกเซลของวัตถุที่สนใจ เมื่อทำมาทดสอบหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพจำนวน 620 ภาพ และทดสอบความผิดพลาดเชิงบวกกับภาพจำนวน 1800 ภาพโดยเปลี่ยนค่าจำนวนนับของพิกเซลที่เชื่อมต่อกัน ได้ดังรูปที่ 4.8

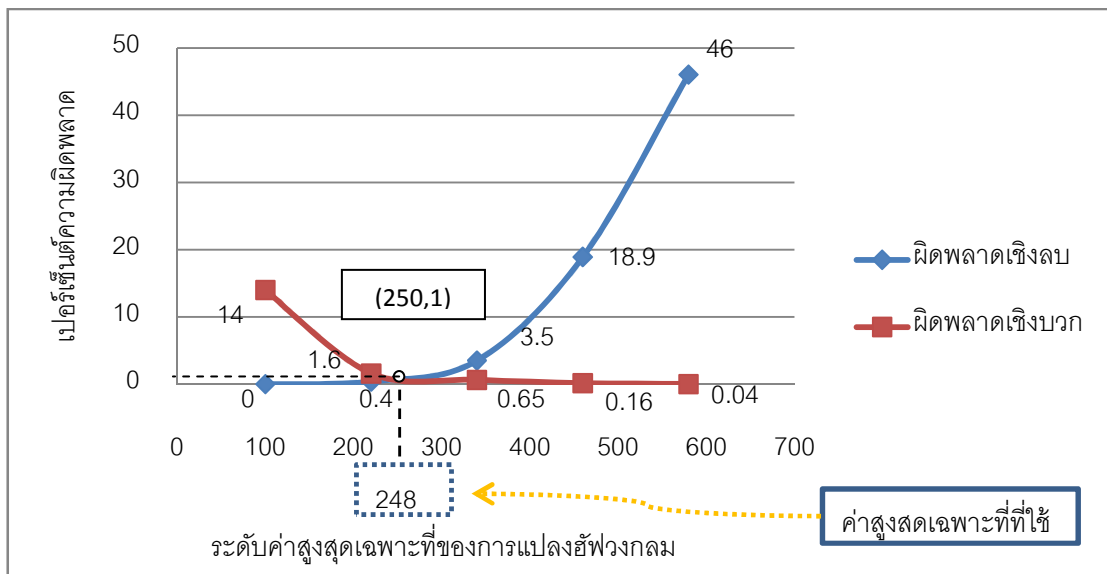


รูปที่ 4.8 จำนวนนับของพิกเซลที่เหมาะสมในการกรองกลุ่มของพิกเซลที่สนใจ

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ถ้าเลือกจำนวนนับของพิกเซลสำหรับการกรองที่ค่าน้อย จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงบวกสูง และในทางกลับกันถ้าเลือกจำนวนนับของพิกเซลสำหรับการกรองที่ค่ามาก จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงลบสูงเช่นกัน โดยในขั้นตอนนี้จะเลือกที่จุดตัดระหว่างความผิดพลาดเชิงบวกและความผิดพลาดเชิงลบซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 พิกเซล

#### 4.4.3 การหาพารามิเตอร์ของค่าสูงสุดเฉพาะที่ของการแปลงฮัฟวงกลม

1) การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ในการแปลงฮัฟวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในภาพ โดยหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเชิงบวกเมื่อทดสอบภาพพื้นผิวถนนจำนวน 1800 ภาพ และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเชิงลบเมื่อทดสอบกับภาพฝ่าแมนโฮลที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในภาพจำนวน 500 ภาพ แสดงดังรูปที่ 4.9

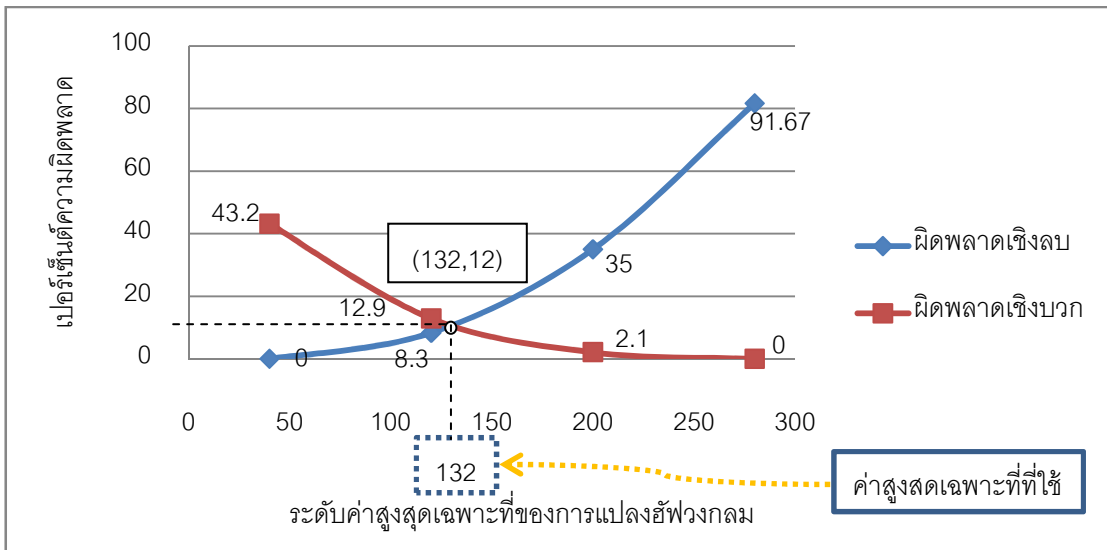


รูปที่ 4.9 การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ของการแปลงฮัฟฟิงกลมภายในภาพ

จากกราฟในรูปที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่าการเลือกค่าสูงสุดเฉพาะที่ของจุดตัดวงกลมในปริภูมิตัวสะสมส่งผลกระทบต่ออัตราตรวจหาฟลาแมนโฮล โดยถ้าใช้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ที่ระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงบวกสูง และในทางกลับกันถ้าใช้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ที่ค่าระดับสูง จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงลบสูงเช่นกัน ในกระบวนการทำงานนี้เลือกจุดตัดกันระหว่างความผิดพลาดเชิงบวกและความผิดพลาดเชิงลบซึ่งมีค่าเท่ากับ 248 พิกเซล

2) การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ในการแปลงฮัฟฟิงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่นอกภาพ โดยหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเชิงบวกเมื่อทดสอบภาพพื้นผิวถนนที่ขั้นตอนทำการขยายขนาดของภาพจำนวน 194 ภาพ และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเชิงลบเมื่อทดสอบกับภาพฟลาแมนโฮลที่มีจุดศูนย์กลางอยู่นอกภาพจำนวน 120 ภาพแสดงดังรูปที่ 4.10

จากกราฟในรูปที่ 4.10 สามารถสรุปได้ว่าการเลือกค่าสูงสุดเฉพาะที่ของจุดตัดวงกลมในปริภูมิตัวสะสมส่งผลกระทบต่ออัตราตรวจหาฟลาแมนโฮล โดยถ้าใช้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ที่ระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงบวกสูง และในทางกลับกันถ้าใช้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ที่ค่าระดับสูง จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเชิงลบสูงเช่นกัน ในกระบวนการทำงานนี้เลือกจุดตัดกันระหว่างความผิดพลาดเชิงบวกและความผิดพลาดเชิงลบซึ่งมีค่าเท่ากับ 132 พิกเซล

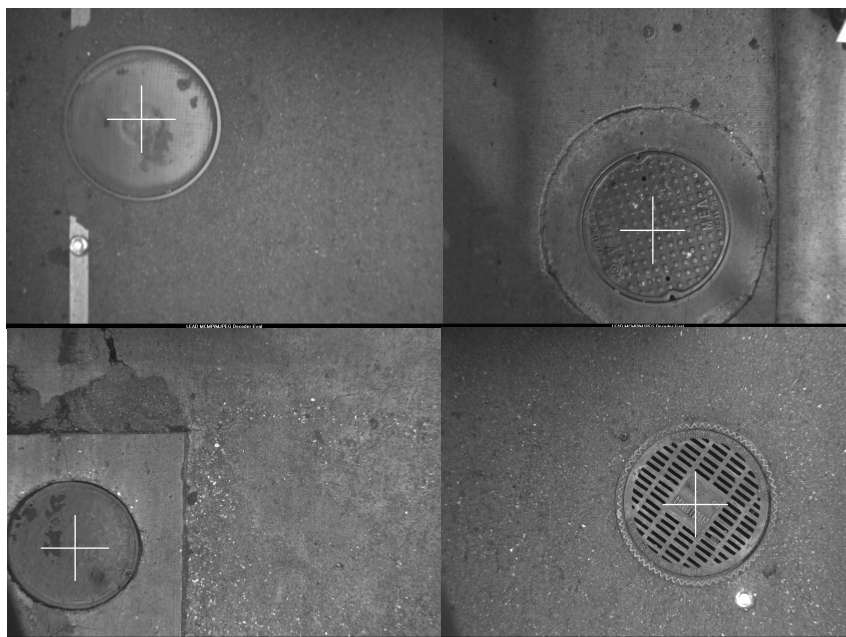


รูปที่ 4.10 การหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ของการแปลงฮัฟวงกลมภายนอกภาพ

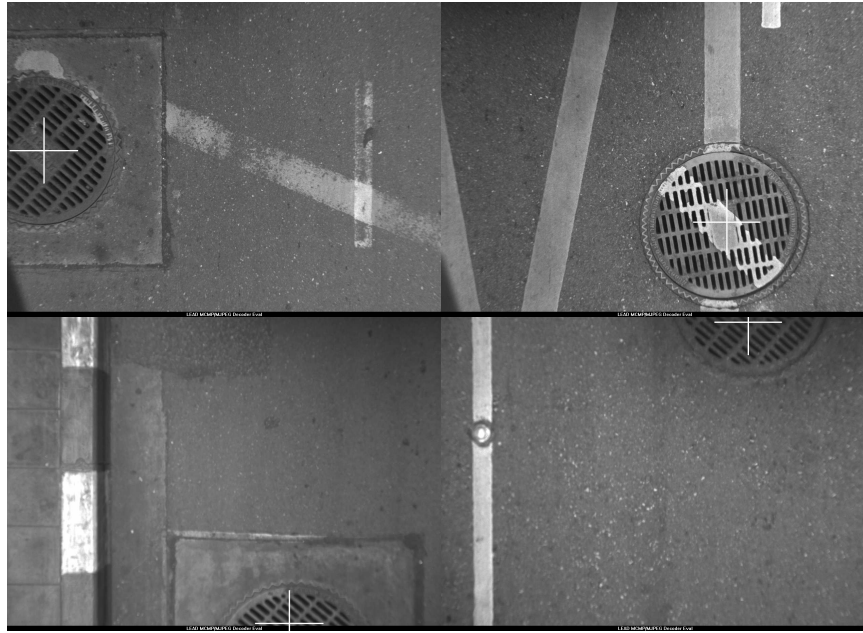
4.4.4 ผลการทดลองกับภาพ 1800 ภาพ เพื่อใช้ในการปรับพารามิเตอร์

ผลลัพธ์จากการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนนจำนวน 1800 ภาพแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 และหน้าต่างของโปรแกรมแสดงผลการค้นหาจำนวนและตำแหน่งของฝาแมนโฮลที่อยู่ในภาพผิวถนนแสดงไว้ในรูปที่ 4.11

ผลลัพธ์จากการทดลองกับภาพถ่ายจริงบนถนนมีความผิวดลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 3.23 และมีความผิวดลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 2.33



รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์จากการตรวจหาฝาแมนโฮล



รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์จากการตรวจหาฝาแมนโฮล(ต่อ)

```

c:\Users\ASUS\Documents\Visual Studio 2008\Projects\region_all\Debug\region_all.exe
-----
Image<2>
Number of manhole cover : 1 in the image
Position of the Manhole cover in the image: <408 , 266>
-----
Image<3>
Number of manhole cover : 1 in the image
Position of the Manhole cover in the image: <76 , 466>
-----
Image<4>
Number of manhole cover : 1 in the image
Position of the Manhole cover in the image: <40 , 476>
-----
Image<5>
Number of manhole cover : 1 in the image
Position of the Manhole cover in the image: <226 , 586>
-----
Image<6>
Number of manhole cover : 1 in the image
Position of the Manhole cover in the image: <48 , 466>
-----
Image<7>
Not found manhole cover in the image
-----
Image<8>

```

รูปที่ 4.12 หน้าต่างของโปรแกรมแสดงผลการค้นหาตำแหน่งของฝาแมนโฮลที่อยู่ในภาพ

#### 4.5 ผลการทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ที่เลือกมากับภาพพื้นผิวถนนอีกจำนวน 3523 ภาพ

เมื่อได้ทดลองหาค่าพารามิเตอร์กับภาพ 1800 ภาพแล้ว นำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมาทดลองกับภาพจริงอีกจำนวน 3523 ภาพ โดยผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝาแมนโฮลแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝาแมนโฮลจำแนกตามชนิดของผิวถนนแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝาแมนโฮลจำแนกตามความสมบูรณ์ของฝาแมนโฮลในภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝาแมนโฮลที่มีลักษณะฝาเต็มวงในภาพจำแนกตามประเภทของผิวถนนแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ความผิดพลาดเชิงลบ

ของการตรวจหาฝ้าแมนไฮลที่มีเพียงขอบฝ้าบางส่วนจำแนกตามประเภทของผิวถนนแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝ้าแมนไฮลจากภาพผิวถนนคอนกรีต 462 ภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝ้าแมนไฮล จากภาพผิวถนนลาดยาง 502 ภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.1 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝ้าแมนไฮล

จำนวนฝ้าในภาพ (ฝ้า)	ผลลัพธ์ถูกต้อง (ฝ้า)	ความผิดพลาด เชิงลบ(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบ เฉลี่ยร้อยละ
964	915	49	5.1

ตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝ้าแมนไฮลจำแนกตามชนิดของผิวถนน

	จำนวนฝ้าในภาพ (ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบ (ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ
ผิวคอนกรีต	462	21	4.55
ผิวลาดยาง	502	28	5.58
รวม	964	49	5.1

ตารางที่ 4.3 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝ้าแมนไฮลจำแนกตามความสมบูรณ์ของฝ้าแมนไฮลในภาพ

	จำนวนฝ้าในภาพ(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบ(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ
เต็มวง	385	6	1.56
บางส่วน	579	43	7.43
รวม	964	49	5.1

ตารางที่ 4.4 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝ้าแมนไฮลที่มีลักษณะฝ้าเต็มวงในภาพจำแนกตามประเภทของผิวถนน

	จำนวนฝ้าในรูป(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบ(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ
คอนกรีต	178	2	1.12
ลาดยาง	207	4	1.93
รวม	385	6	1.56



ตารางที่ 4.5 ความผิดพลาดเชิงลบของการตรวจหาฝ้าแมนโฮลที่มีเพียงขอบฝ้าบางส่วนจำแนกตามประเภทของผิวดน

	จำนวนฝ้าในรูป(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบ(ฝ้า)	ความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ
คอนกรีต	284	17	5.99
ลาดยาง	295	26	8.81
รวม	579	43	7.43

ตารางที่ 4.6 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวดนคอนกรีต 462 ภาพ

สาเหตุ	จำนวนภาพ(ภาพ)	ร้อยละ
ส่วนของฝ้าที่ปรากฏในภาพมีขนาดเล็กเกินไป	14	3.03
ขอบของฝ้าไม่ชัดเจนเนื่องจากยางมะตอยที่ทับขอบ	2	0.44
โทนสีของฝ้าแมนโฮลที่กลืนไปกับผิวดน	5	1.08
รวม	21	4.55

ตารางที่ 4.7 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวดนลาดยาง 502 ภาพ

สาเหตุ	จำนวนภาพ(ภาพ)	ร้อยละ
ส่วนของฝ้าที่ปรากฏในภาพมีขนาดเล็กเกินไป	10	1.99
ขอบของฝ้าไม่ชัดเจนเนื่องจากยางมะตอยที่ทับขอบ	15	2.99
โทนสีของฝ้าแมนโฮลที่กลืนไปกับผิวดน	3	0.6
รวม	28	5.58

ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝ้าแมนโฮลแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจำแนกตามประเภทของผิวดนแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวดนคอนกรีต 1773 ภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวดนลาดยาง 1750 ภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝ้าแมนโฮล

จำนวนภาพ (ภาพ)	ผลลัพธ์ถูกต้อง (ภาพ)	จำนวนภาพที่มีความ ผิดพลาดเชิงบวก(ภาพ)	ความผิดพลาดเชิง บวกเฉลี่ยร้อยละ
3523	3447	76	2.16

ตารางที่ 4.9 ความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจำแนกตามประเภทของผิวหนัง

	จำนวนภาพที่ทดสอบความ ผิดพลาดเชิงบวก(ภาพ)	ความผิดพลาด เชิงบวก(ภาพ)	ความผิดพลาดเชิง บวกเฉลี่ยร้อยละ
ผิวคอนกรีต	1773	42	2.37
ผิวลาดยาง	1750	34	1.94
รวม	3523	76	2.16

ตารางที่ 4.10 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวหนัง

คอนกรีต 1773 ภาพ

สาเหตุ	จำนวนภาพ(ภาพ)	ร้อยละ
ส่วนของยานพาหนะ	18	1.02
เงาที่มบบดบังมีลักษณะคล้ายวงกลม	8	0.45
เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ ขอบภาพ	4	0.23
รอยปะซ่อมและรอยแตกของผิวหนัง	5	0.28
วัตถุอื่นๆเช่นกระถางต้นไม้ รอยอิฐบล็อก ถังขยะ	7	0.39
รวม	42	2.37

ตารางที่ 4.11 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพผิวถนน  
ลาดยาง 1750 ภาพ

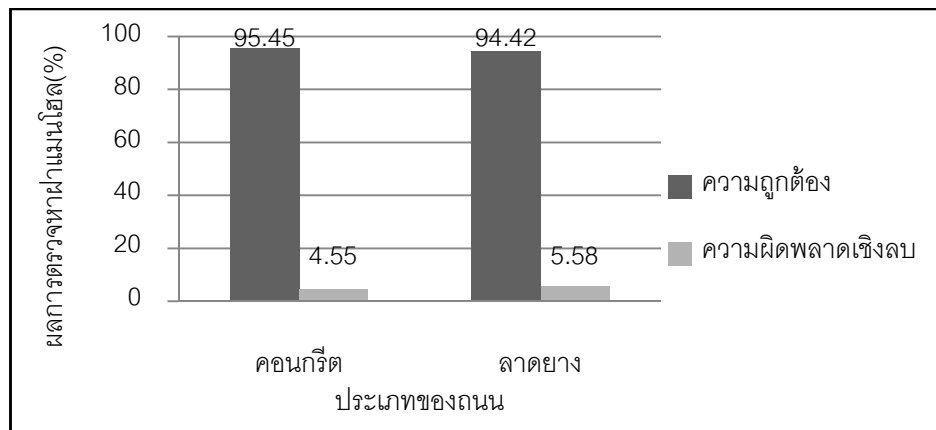
สาเหตุ	จำนวนภาพ(ภาพ)	ร้อยละ
ส่วนของยานพาหนะ	20	1.14
รอยปะซ่อมและรอยแตกของผิวถนน	5	0.29
เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ ขอบภาพ	3	0.17
วัตถุอื่นๆเช่นกระถางต้นไม้ รอยอิฐบล็อก ถังขยะ	6	0.34
รวม	34	1.94

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลการทดลองการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวถนนแสดงไว้ใน  
ตารางที่ 4.12 ผลจากการทดลองการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวถนนจำแนกตามประเภทผิวถนน  
แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงลบกับความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมน  
โฮลจำแนกตามประเภทของผิวถนนได้ดังรูปที่ 4.13 และการเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงบวกกับ  
ความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจำแนกตามประเภทของผิวถนนได้ดังรูปที่ 4.14  
ตารางที่ 4.12 สรุปผลจากการทดลองการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวถนน

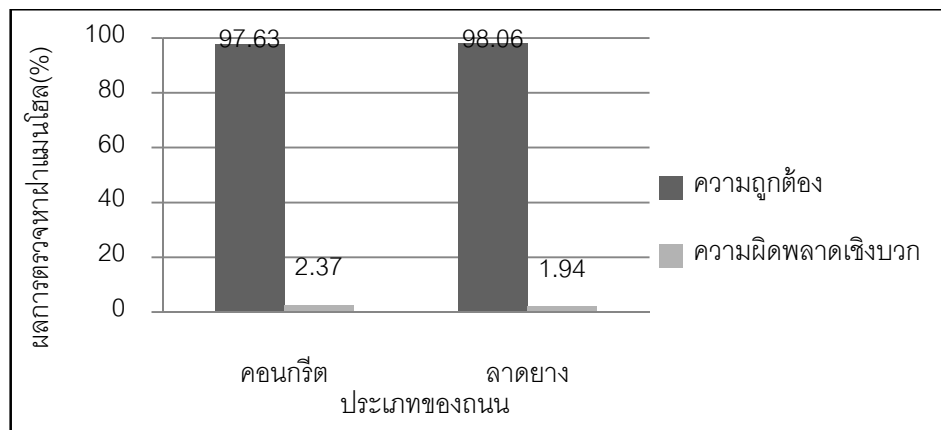
ความถูกต้องในการตรวจหา เฉลี่ยร้อยละ	ความผิดพลาดเชิงลบ เฉลี่ยร้อยละ	ความผิดพลาดเชิงบวก เฉลี่ยร้อยละ
94.9	5.1	2.16

ตารางที่ 4.13 ผลจากการทดลองการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวถนนจำแนกตามประเภทของผิว  
ถนน

	ความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ	ความผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ
บนถนนคอนกรีต	4.55	2.37
บนถนนลาดยาง	5.58	1.94
เฉลี่ย	5.1	2.16



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงลบกับความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมนโฮล  
จำแนกตามประเภทของผิวถนน

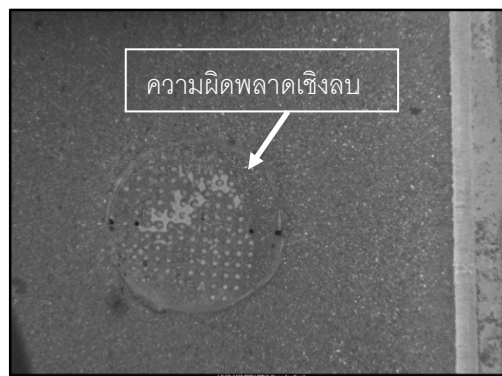


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความผิดพลาดเชิงบวกกับความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมนโฮล  
จำแนกตามประเภทของผิวถนน

กรณีที่เกิดความผิดพลาดเชิงบวกและความผิดพลาดเชิงลบมีดังนี้

กรณีที่ 1) ขอบของฝ้าแมนโฮลในภาพไม่ชัดเจน เนื่องจากยางมะตอยที่ได้ทับรอยต่อของขอบฝ้าแมนโฮล

ดังรูปที่ 4.15



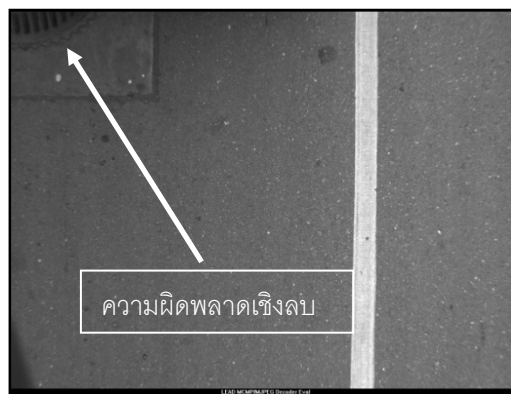
รูปที่ 4.15 กรณีขอบของฝ้าแมนโฮลในภาพไม่ชัดเจน

กรณีที่ 2) โทนสีของฝาแมนโฮลในภาพกลืนไปกับสีผิวถนน ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กรณีที่โทนสีของฝาแมนโฮลในภาพกลืนไปกับสีผิวถนน

กรณีที่ 3) ส่วนของฝาแมนโฮลส่วนใหญ่อยู่นอกกรอบภาพ เกิดเนื่องจากขณะถ่ายภาพพื้นผิวถนนไม่ตรงกับตำแหน่งของฝาแมนโฮล ทำให้ภาพของฝาส่วนหนึ่งอยู่นอกกรอบภาพ ดังรูปที่ 4.17



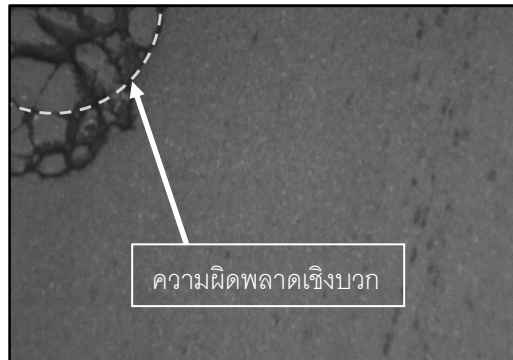
รูปที่ 4.17 กรณีที่ส่วนของฝาส่วนใหญ่ปรากฏอยู่นอกกรอบภาพ

กรณีที่ 4) การจราจรที่ติดขัด เนื่องจากกล้องที่ใช้สำรวจต้องติดตั้งไว้ที่หลังรถ โดยยื่นออกไปจากตัวรถประมาณ 1 เมตร เมื่อทำการสำรวจในการจราจรที่แออัด อาจพบส่วนของยานพาหนะอื่นมาปรากฏในภาพดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กรณีที่มีส่วนของยานพาหนะปรากฏในภาพ

กรณีที่ 5) รอยปะซ่อมหรือรอยแตกบนพื้นผิวถนนมีลักษณะคล้ายกับส่วนของวงกลม ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กรณีที่รอยเชื่อมต่อหรือรอยแตกของผิวถนนปรากฏในภาพ

กรณีที่ 6) ผลกระทบจากเงาของต้นไม้หรือเงาของวัตถุอื่นที่ปรากฏในภาพ เป็นสาเหตุทำให้ลักษณะขอบฝาไม่ชัดเจน หรือทำให้ระบบสับสนในการแยกระหว่างขอบของฝาแมนโฮลกับเงา และลักษณะโทนสีของเงาด้านไม่มีลักษณะคล้ายกับโทนสีของฝาแมนโฮล ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กรณีที่เงาของต้นไม้หรือเงาวัตถุอื่นปรากฏในภาพ

กรณีที่ 7) วัตถุอื่นๆที่ปรากฏอยู่ในภาพ เช่น ต้นไม้ ถังขยะ อีสูบล้อก มาปรากฏอยู่ที่ขอบของภาพ ดังรูปที่ 4.21



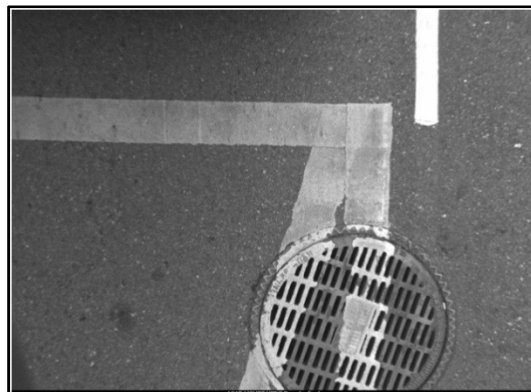
รูปที่ 4.21 กรณีที่วัตถุอื่นๆปรากฏในภาพ

กรณีที่ 8) เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ขอบภาพ ดังรูปที่ 4.22

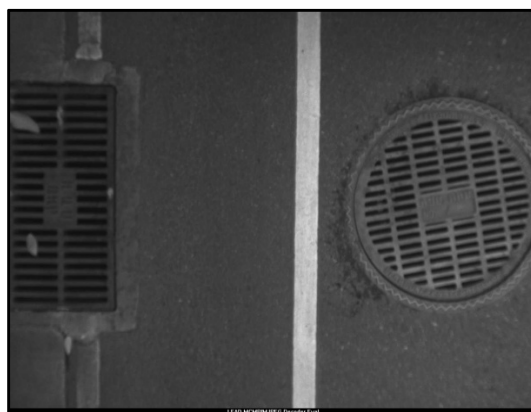


รูปที่ 4.22 เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ขอบภาพ  
กรณีพิเศษที่สามารถตรวจหาได้ถูกต้องมีดังนี้

กรณีที่ 1) เส้นขาวในภาพผิวถนน โดยเส้นขาวอาจไปพาดทับขอบของฝาแมนโฮล ทำให้ขอบฝาไม่ชัดเจน ดังรูปที่ 4.23

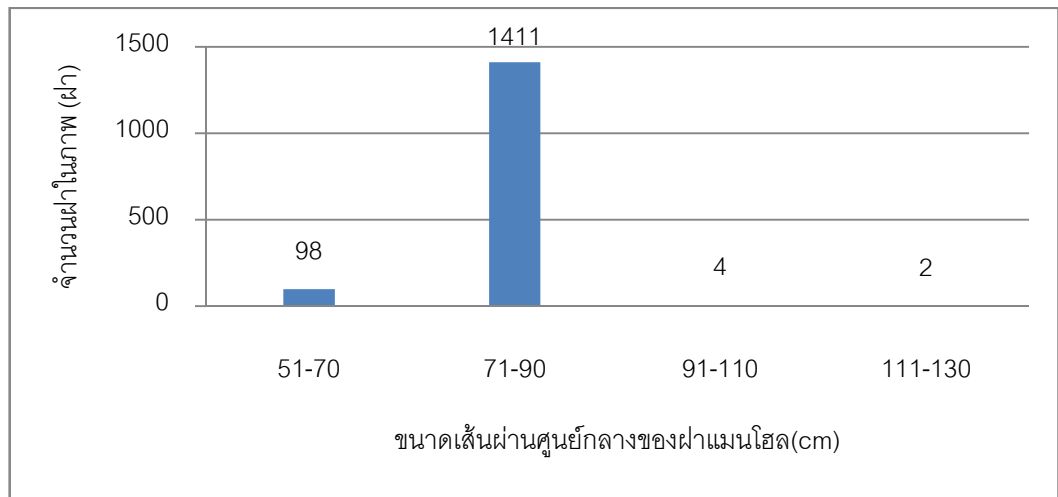


รูปที่ 4.23 กรณีที่เส้นขาวทับขอบของฝาแมนโฮลในภาพ  
กรณีที่ 2) ฝาตะแกรงในภาพผิวถนน ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กรณีฝาตะแกรงในภาพ

4.6 สถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝามาเนโฮลกับจำนวนฝามาเนโฮลที่พบในภาพ  
 สถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝามาเนโฮลจำนวน 1515 ฝามาเนโฮล แสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 สถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝามาเนโฮล



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวหนังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อให้สามารถตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพที่ได้จากรถสำรวจผิวหนัง เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการนำผลข้อมูลตำแหน่งฝ้าแมนโฮลในภาพไปใช้ในระบบสารสนเทศต่อไป โดยทดสอบกับภาพตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจในประเทศไทย ซึ่งฝ้าแมนโฮลมีลักษณะกลมเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 60 ถึง 120 เซนติเมตร ภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองได้จากฐานข้อมูลภาพที่ได้จากรถสำรวจของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยบางกรณีได้ถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพสีชนิด DSLR โดยผู้วิจัย เนื่องจากเป็นกรณีที่รถสำรวจไม่ผ่านบริเวณนั้น โดยภาพที่นำมาทดลองมีความละเอียด 1280 x 960 พิกเซล ชนิดของการบีบอัดไฟล์เป็นแบบ JPEG และอัตราส่วนระหว่างระยะจริงต่อพิกเซลเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตรต่อพิกเซล โดยขั้นตอนการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวหนัง เริ่มจากการรับภาพต้นฉบับเข้ามา แล้วแปลงภาพต้นฉบับจากภาพสีเป็นภาพระดับเทา (ในกรณีที่ผู้วิจัยถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพสี) จากนั้นจะกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพด้วยการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน ปรับค่าความเบี่ยงต่างของสีด้วยวิธีการปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกันและใช้การจับคู่ฮิสโทแกรมเพื่อลดปัญหาเงาที่กระทบต่อฝ้าแมนโฮลในภาพ นำภาพที่ได้มาหาค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการตัดแยกบริเวณที่สนใจออกจากพื้นหลังด้วยวิธีการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ แล้วหาขอบด้วยวิธีการหาขอบแบบไซเบล หลังจากนั้นกำจัดจุดเชื่อมต่อของวัตถุที่ไม่สนใจด้วยวิธีการแปลงฮิสโทรมิสในการเทียบเคียงกับรูปแบบ 16 รูปแบบที่เตรียมไว้ และกรองพิกเซลที่คาดว่าเป็นขอบของฝ้าแมนโฮลแยกจากวัตถุที่ไม่สนใจ ขยายขนาดของขอบเพื่อทำให้มีความหนาขึ้นหรือทำให้ขอบเชื่อมต่อกัน สุดท้ายตรวจหาวัตถุที่เป็นวงกลมด้วยวิธีการแปลงฮัฟวงกลมเพื่อให้ได้ตำแหน่งฝ้าแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ

ผลการทดลองกับภาพ 3523 ภาพ พบว่าการตรวจหาฝ้าแมนโฮลในภาพผิวหนังมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 94.9 จำแนกออกเป็นความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพพื้นผิวหนังนคอนกรีต 95.45 และความถูกต้องในการตรวจหาฝ้าแมนโฮลจากภาพพื้นผิวหนังนลาดยางเฉลี่ยร้อยละ 94.42 กรณีที่เกิดความผิดพลาดเชิงลบในการตรวจหาฝ้าแมนโฮล พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากกรณีที่ส่วนของฝ้าแมนโฮลส่วนใหญ่อยู่นอกกรอบภาพ เนื่องจากขณะถ่ายภาพพื้นผิวหนังนั้นไม่ครอบคลุมฝ้าแมนโฮลทั้งฝ้า

และมีกรณีของความผิดพลาดเชิงลบอื่นๆ เช่น ลักษณะขอบของฝาแมนโฮลไม่ชัดเจนในภาพ เนื่องจากมี ยางมะตอยทับที่ขอบฝาแมนโฮล โทนสีของฝาแมนโฮลในภาพกลับไปกับสีผิวถนน เป็นต้น ส่วนกรณีที่เกิดความผิดพลาดเชิงบวกในการตรวจหาฝาแมนโฮล พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากส่วนของยานพาหนะคันอื่นหรือวัตถุอื่นปรากฏในภาพ เมื่อทำการสำรวจในการจราจรที่แออัด และมีกรณีของความผิดพลาดเชิงบวกอื่นๆ เช่น รอยปะซ่อมหรือรอยแตกบนพื้นผิวถนนในภาพ เส้นขาวบนถนนมีลักษณะคล้ายส่วนของวงกลมที่ขอบภาพและเงาของต้นไม้หรือเงาของวัตถุอื่นที่ปรากฏในภาพ เป็นต้น เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องที่ใช้ซีพียูเอเอ็มดีทูเรียน2คอร์ ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 2.3 กิกะเฮิร์ต แรม 4 กิกะไบต์ ประโยชน์ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจหาตำแหน่งฝาเพื่อให้มีประสิทธิภาพ สามารถใช้ประโยชน์จากรถสำรวจผิวทางในการบันทึกภาพและการหาตำแหน่งได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาไปพัฒนาในอนาคตมีดังต่อไปนี้

- 1) ในการนำไปใช้กับงานจริงซึ่งมีระบบจีพีเอสติดตั้งบนรถสำรวจผิวทาง แม้ว่าวิธีการนี้สามารถระบุตำแหน่งของฝาแมนโฮลในภาพได้ถูกต้อง กล่าวคือจุดตำแหน่งที่ตรวจพบฝาอยู่ในบริเวณฝา แต่เมื่อนำตำแหน่งในภาพเทียบกับพิกัดตำแหน่งจริงของโลกแล้ว ความแม่นยำในการระบุพิกัดของฝาแมนโฮลต้องขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบจีพีเอสด้วย
- 2) ในกรณีที่นำวิธีการนี้ไปใช้ในการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนน หากผู้ใช้ต้องการลดอัตราของความผิดพลาดเชิงลบแต่ยอมให้มีอัตราความผิดพลาดเชิงบวกมากขึ้นได้ ผู้ใช้สามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ตามที่ระบุในหัวข้อที่ 4.4.3

## รายการอ้างอิง

- [1] ลักษณะและการติดตั้งของฟลายแมนโฮล. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา:  
<http://www.mchhgroup.com/index.html> [2554, มกราคม 1]
- [2] Pratt, W.K. Digital Image Processing. John Wiley & Sons, 1991.
- [3] Gonzalez, R.C., and Woods, R.E. Digital Image Processing. Prentice-Hall, 2002.
- [4] Jain, R., Kasturi, R., and Schunck, B.G. Machine Vision. McGraw-Hill, 1995.
- [5] Duda, R.O., and Hart, P.E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Communications of the Association for Computing Machinery 15 (1972): 11-15.
- [6] Tanaka, N., and Mouri, M. A Detection Method of Cracks and Structural Objects of the Road Surface Image. Machine Vision Applications (2000): 387-390.
- [7] Xu, B., and Huang, Y. Automatic Inspection of Pavement Cracking Distress. Journal of Electronic Imaging 15 (2006): 17-23.
- [8] Sorncharean, S., and Phiphobmongkol, S. Crack Detection on Asphalt Surface Image Using Enhanced Grid Cell Analysis. 4th IEEE International Symposium on Electronic Design (2008): 49-54.
- [9] Lin, X., and Otake, K. Hough transform algorithm for real-time pattern recognition using an artificial retina camera. The International Electronic Journal of Optics 8 (2001): 503-508.
- [10] Wu, J., Li, J., Xiao, C., Tan, F., and Gu, C. Real-time Robust Algorithm for Circle Object Detection. IEEE The 9th International Conference for Young Computer Scientists (2008): 1722-1727.
- [11] Shang, F., Liu, J., Zhang, X., TIAN, D. An improved circle detection method based on right triangles inscribed in a circle. World Congress on Computer Science and Information Engineering (2009): 382-387.

- [12] Panetta, K.A., and Wharton, E.J. Logarithmic Edge Detection with Applications.  
Journal of Computes 3 (2008): 13-19.

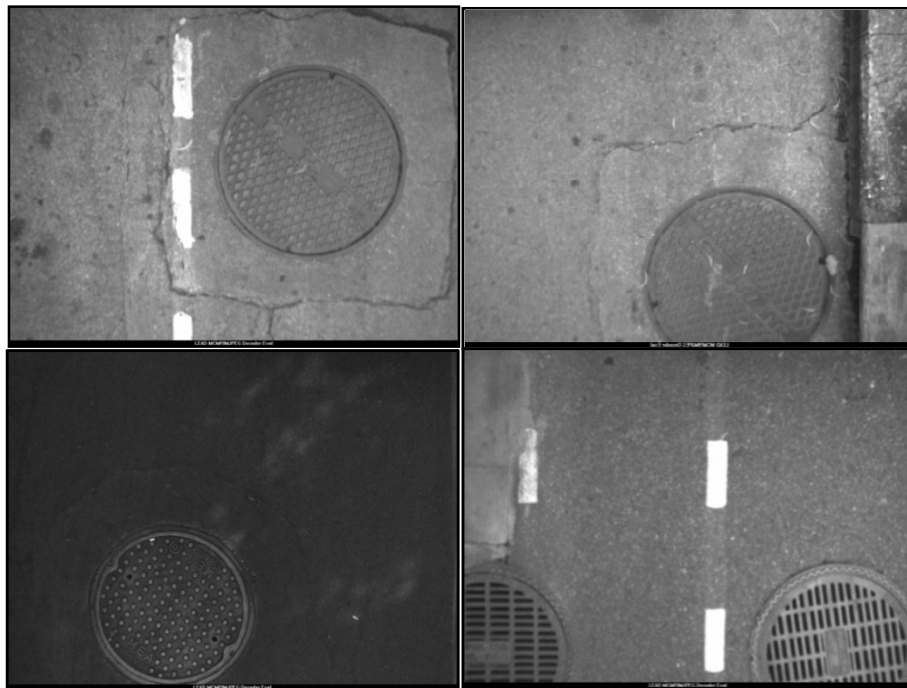
ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์ภาพฝาแมนโฮลบนพื้นผิวถนน

ลักษณะฝาแมนโฮลที่ปรากฏอยู่ในหนึ่งภาพมีหลายรูปแบบ สามารถจำแนกจากการสำรวจได้  
ดังนี้

1. ฝาแมนโฮลเต็มฝา
2. ส่วนของฝาแมนโฮล



รูปที่ ก-1 ตำแหน่งฝาแมนโฮลที่มีอยู่ในภาพ

ตารางที่ ก-1 จำแนกประเภทของของฝาแมนโฮลตามความสมบูรณ์ของฝาแมนโฮลที่ปรากฏในภาพ

	ภาพที่มีฝาแมนโฮล	ฝาเต็มวง	ร้อยละ	ส่วนของฝา	ร้อยละ
บนผิวคอนกรีต	770	282	36.6	488	63.4
บนผิวลาดยาง	814	370	45.5	444	54.5

## ภาคผนวก ข

### การนำภาพถ่ายที่ถ่ายโดยผู้วิจัยมาทดสอบ

บางกรณีได้ถ่ายภาพฝาแมนโฮลด้วยกล้องถ่ายภาพสีชนิดDSLRโดยผู้วิจัย เนื่องจากเป็นกรณีที่รถสำรวจไม่ผ่านบริเวณนั้น โดยภาพที่นำมาทดลองมีความละเอียด 1280 x 960 พิกเซล ชนิดของการบีบอัดไฟล์เป็นแบบ JPEG และอัตราส่วนระหว่างระยะจริงต่อพิกเซลเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตรต่อพิกเซล ภาพถ่ายฝาแมนโฮลบนพื้นผิวถนนที่ถ่ายโดยผู้วิจัยดังรูปที่ ข-1 ขั้นตอนการถ่ายภาพและการแปลงขนาดของภาพ มีดังนี้

- 1) ถ่ายภาพฝาแมนโฮลด้วยกล้องดิจิทัล โดยขณะถ่ายภาพให้ถ่ายทำมุมตั้งฉากกับพื้นถนนในระยะประมาณ 2 เมตร(ระยะภาพถ่ายจากรถสำรวจจริง)
- 2) นำภาพที่ถ่ายได้มาแปลงความละเอียดของภาพให้เท่ากับภาพที่ได้จากรถสำรวจผิวทางคือ 1280x 960 พิกเซล เทียบอัตราส่วนระหว่างระยะจริงต่อพิกเซลเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตรต่อพิกเซล
- 3) หลังจากนั้นนำภาพที่ได้ไปทดสอบกับขั้นตอนการตรวจหาฝาแมนโฮลในภาพผิวถนน
- 4) สังเกตผลการทดลอง



รูปที่ ข-1 ภาพถ่ายฝาแมนโฮลบนพื้นผิวถนนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย

ภาคผนวก ค  
ที่เสนอในงานประชุมวิชาการ

บทความเรื่อง “Manhole Cover Detection on Road Surface Images Using Image Processing Techniques” เสนอในงานประชุมวิชาการ The 15<sup>th</sup> International Annual Symposium on Computational Science and Engineering. จัดระหว่างวันที่ 30 มีนาคม - 2 เมษายน พ.ศ. 2554 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceeding of the 15<sup>th</sup> International Annual Symposium on Computational Science and Engineering. หน้า 528-534.



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุธิวัชร ศุภลักษณ์ เกิดวันที่ 17 กันยายน พ.ศ.2528 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษา  
ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554