สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการหารอยปะซ่อมจากภาพดิจิทัล

ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนวิธีการตรวจหารอยปะซ่อมบนภาพพื้นผิวแอสฟัลต์ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนได้แก่

1. การเก็บข้อมูลภาพ (Image Acquisition)
2. การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-Processing)
3. การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว (Segmentation by Texture)
4. การระบุรอยปะซ่อม (Patching Identification)

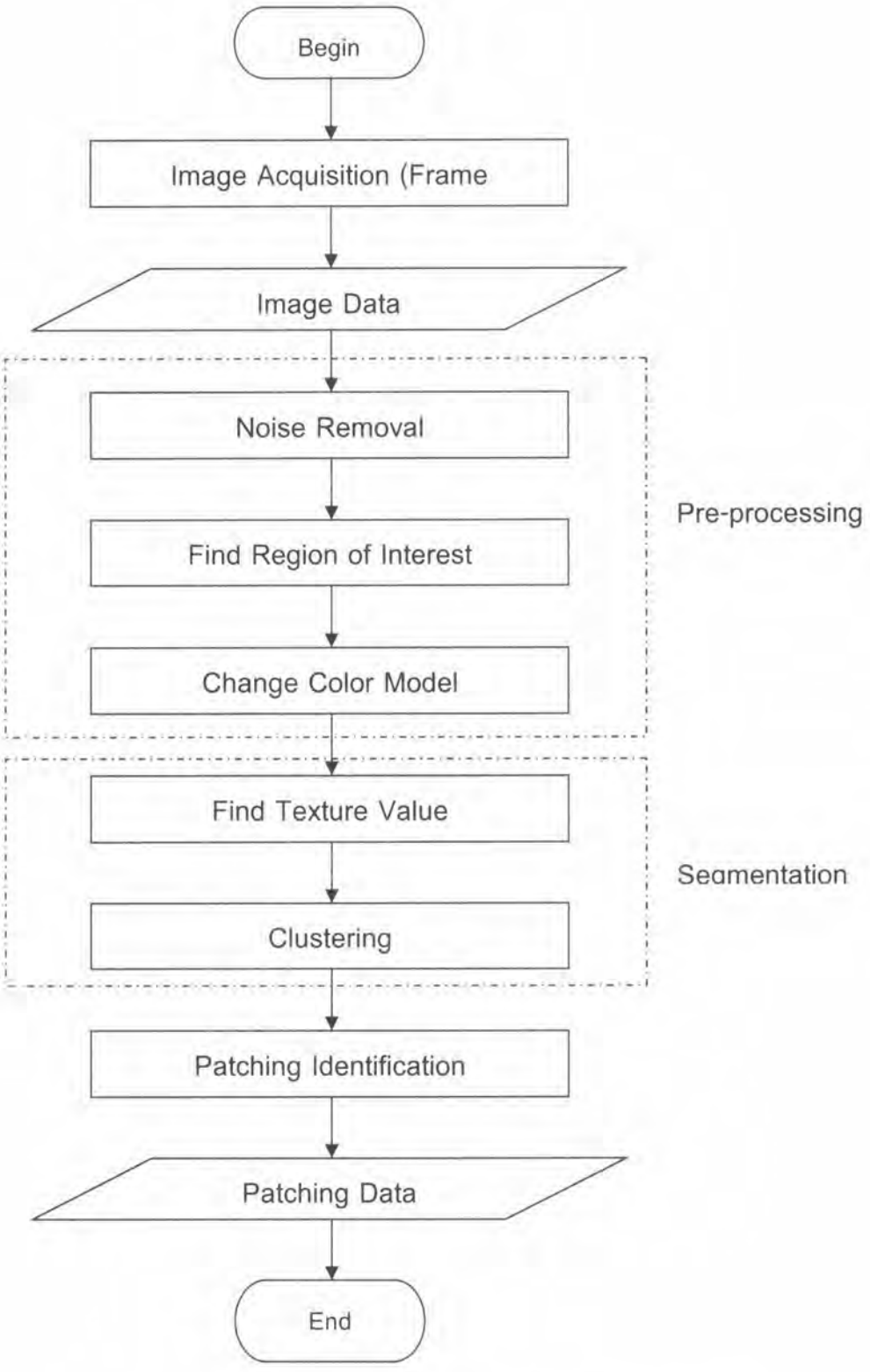
โดยเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพ (Image Acquisition)

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพเป็นการแปลงข้อมูลจากข้อมูลไฟล์วีดิทัศน์ที่ได้มาจากกล้องด้านหน้าของรถสำรวจเป็นข้อมูลภาพนิ่งเพื่อนำไปประมวลผลเพื่อตรวจหารอยปะซ่อม โดยภาพที่ได้จากขั้นตอนนี้เป็นภาพสีในรูปแบบสี RGB ดังรูปที่ 3.2

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นขั้นตอนการปรับปรุงภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก ขั้นตอนนี้จะช่วยในการลดสัญญาณรบกวนได้บ้างบางส่วนและนอกจากนั้นยังภาพที่ได้จากกล้องด้านหน้าของรถสำรวจจะเป็นภาพที่มีบริเวณนอกเหนือจากพื้นผิวถนนอยู่ดังนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดบริเวณที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ซึ่งจะสนใจเฉพาะบริเวณพื้นผิวถนนเท่านั้น และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการแปลงรูปแบบสีภาพจากรูปแบบสี RGB เป็นรูปแบบสี HSI เพื่อแยกองค์ประกอบสีออกจากแสงโดยสิ้นเชิง เหมาะกับวิธีการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนวิธีในการตรวจหารอยปะซ่อมที่เสนอ

3.2.1 ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน

เนื่องจากบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์มักจะมีริ้วรอยหรือวัตถุเล็ก ๆ มีสัญญาณรบกวนกระจายอยู่ทั่วทั้งภาพซึ่งสัญญาณรบกวนแบบหนึ่งคือสัญญาณรบกวนในลักษณะจุดดำกับจุดขาว (Salt and Pepper Noise) เป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนประเภทนี้ได้ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

รูปที่ 3.2 รอยปะซ่อมบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์ที่มีแสงสว่างไม่สม่ำเสมอ

3.2.2 ขั้นตอนการหาบริเวณที่สนใจ

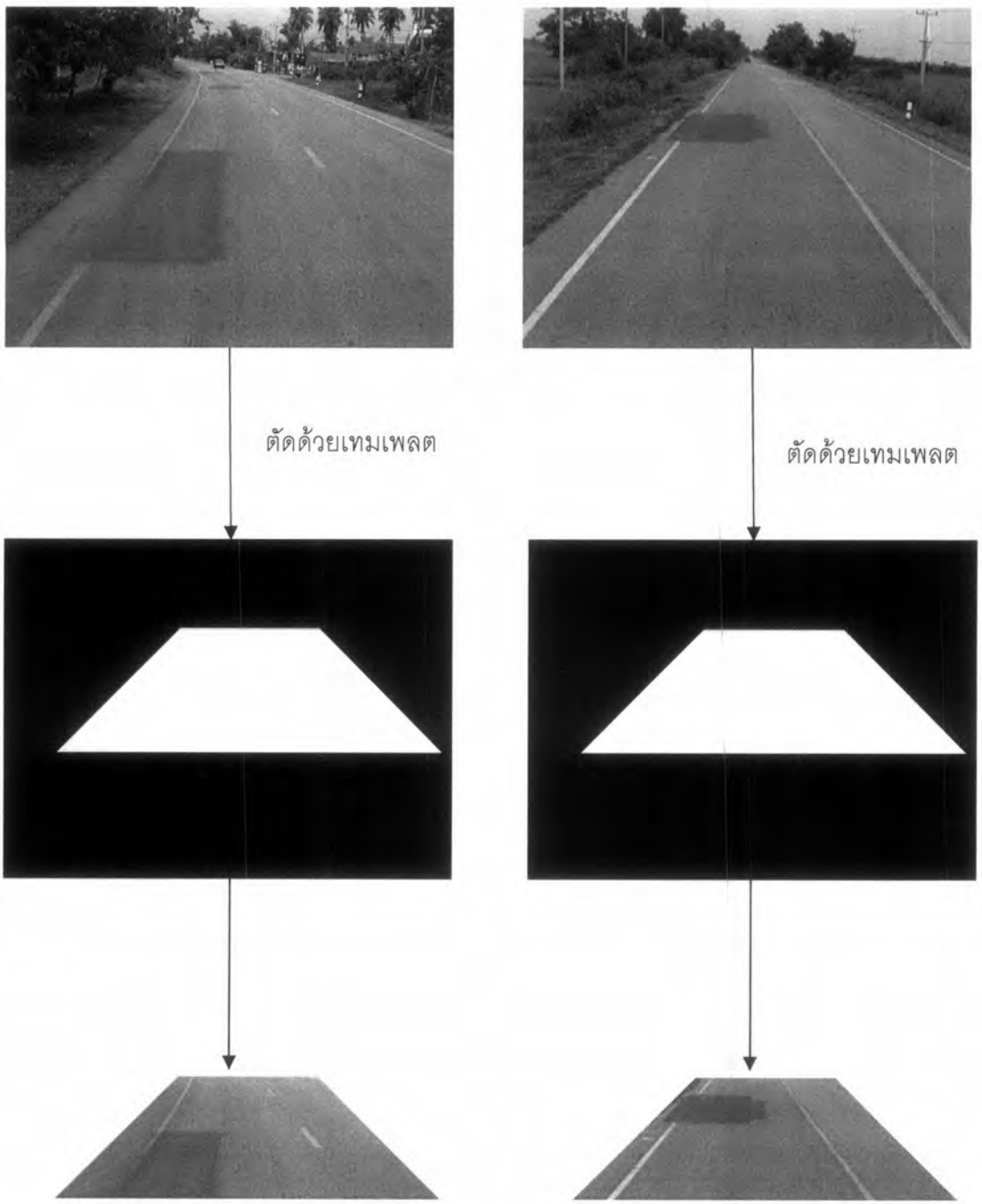
เนื่องจากภาพที่ได้เป็นภาพที่ครอบคลุมพื้นที่ในทิศทางด้านหน้ารถสำรวจ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการสนใจในช่องทางจราจรที่รถสำรวจวิ่งอยู่เป็นหลักเพื่อลดปัญหาจากการที่รถคันอื่นวิ่งอยู่บนท้องถนนในช่องทางข้างเคียงและตัดปัญหาเงาของรถสำรวจออกจึงสนใจเฉพาะบริเวณกลางภาพ โดยใช้เทมเพลต (Template) ที่กำหนดขึ้นไปทำกระบวนการทางตรรกะกับข้อมูลภาพที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลจากรถสำรวจที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนแล้ว ทำให้ได้บริเวณที่สนใจดังรูปที่ 3.3

นอกจากนั้นการหาบริเวณที่สนใจยังเป็นการตัดภาพเพื่อให้เป็นภาพที่มีการเหลื่อมกันของภาพเป็นระยะทางตามที่ต้องการ เนื่องจากการเก็บภาพจากรถสำรวจเป็นการเก็บภาพทุก ๆ ระยะทางที่คงที่ ดังจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 4.1

3.2.3 ขั้นตอนการแปลงรูปแบบสีจากรูปแบบสี RGB เป็นรูปแบบสี HSI

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่แปลงรูปแบบสี เพื่อให้เหมาะสมกับการแยกส่วนโดยใช้ลักษณะพื้นผิว เพราะรอยปะซ่อมเป็นบริเวณที่มีความเข้มของแสงแตกต่างไปจากพื้นผิวทางแอสฟัลต์ปกติ

จึงจำเป็นต้องใช้รูปแบบสีที่แยกองค์ประกอบของสีและองค์ประกอบของแสงออกจากกันโดยอิสระ เพื่อนำค่าความเข้มแสง (Intensity) ไปเข้าสู่ขั้นตอนการแยกส่วนโดยใช้ลักษณะพื้นผิวต่อไป



รูปที่ 3.3กระบวนการทางตรรกะกับข้อมูลภาพพื้นผิวทางแอสฟัลต์เพื่อหาบริเวณที่สนใจ

3.3 การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว (Segmentation by Texture)

เนื่องจากลักษณะของรอยปะซ่อมเป็นบริเวณที่มีความเข้มแตกต่างไปจากพื้นผิวถนนปกติ และเป็นความเสียหายเชิงพื้นที่ ทำให้สามารถใช้การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ๆ คือการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวในส่วนย่อย ๆ ของภาพและการจัดกลุ่มส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวที่คล้ายคลึงกัน โดยทั่วไปวิธีการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิวมักใช้ค่าระดับเทาในการบ่งบอกลักษณะพื้นผิวและคุณสมบัติที่ใช้ได้แก่ ค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ความคล้ายคลึง (Homogeneity) ความไม่เป็นระเบียบ (Entropy) พลังงาน (Energy) เป็นต้น โดยขั้นตอนเริ่มจากการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อยๆขนาด n x n จุดภาพ มาคำนวณหาค่าลักษณะพื้นผิว ซึ่งจากการทดลองในเบื้องต้นพบว่าคุณสมบัติดังกล่าวไม่สามารถนำมาแยกรอยปะซ่อมออกจากพื้นผิวถนนได้ จึงได้กำหนดคุณสมบัติขึ้นมาใหม่คือใช้ความเข้มของพื้นผิวแทนตามสมการที่ 3.1 เนื่องจากคุณสมบัติของรอยปะซ่อมโดยทั่วไปมีความเข้มแตกต่างจากพื้นผิวถนนปกตินั่นเอง

$$Intensity = \sum_{i=0}^{255}\left(\frac{w_i G_i}{n^2}\right) \quad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ *Intensity* คือ ค่าความเข้มของภาพส่วนย่อย ๆ สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด n x n

w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 255 – i

G_i คือ จำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับเทาเท่ากับค่า i ในส่วนย่อยๆของภาพ

i คือ ค่าระดับเทามีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255

n คือ ขนาดความกว้างของภาพส่วนย่อย ๆ

ส่วนที่ต้องพิจารณาอีกประการคือ การที่แสงอาทิตย์ในภาพหนึ่ง ๆ ไม่สม่ำเสมอทำให้หากพิจารณาในภาพหนึ่ง ๆ ความเข้มแสงของบริเวณที่เป็นรอยปะซ่อมกับบริเวณที่แสงอาทิตย์ส่องไม่ถึงจะมีความเข้มใกล้เคียงกันทำให้เป็นการยากที่จะแยกออกว่าบริเวณใดเป็นรอยปะซ่อมและบริเวณใดเป็นบริเวณที่แสงส่องไม่ถึง แต่หากพิจารณาในบริเวณเดียวกันของภาพทุกภาพจะได้ว่าในบริเวณเดียวกันแสงอาทิตย์ที่ส่องไปถึงจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากเปรียบเทียบภาพเป็นชุดของภาพแทนที่จะพิจารณาเป็นภาพใดภาพหนึ่ง ก็จะสามารถตัดปัญหาของแสงสว่างที่ไม่สม่ำเสมอออกไปได้ โดยขั้นตอนวิธีการทำคือเริ่มจากพิจารณาลักษณะพื้นผิวในแต่ละภาพ โดยทำการพิจารณาครั้งละ 2x+1 ภาพ โดยเอาภาพล่วงหน้าและย้อยหลังอย่างละ x ภาพมาคิดร่วมกับภาพปัจจุบันที่สนใจอยู่ดังรูปที่ 3.4

...	i-4	i-3	i-2	i-1	i	i+1	i+2	i+3	i+4	...

รูปที่ 3.4 ลำดับภาพที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะพื้นผิวในแต่ละชุดภาพ

โดยจากสมมุติฐานที่ว่าบริเวณใดที่เป็นรอยปะซ่อมจะต้องมีความเข้มแตกต่างไปจากบริเวณพื้นผิวถนนปกตินั่นคือควรมีค่าความเข้มมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มในบริเวณเดียวกันในภาพชุดหนึ่ง ๆ ในที่นี้จึงกำหนดเป็นค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) เป็นจำนวนเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นจึงทำสัญลักษณ์ไว้ ได้ผลดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5

(ก) รอยปะซ่อมในบริเวณใกล้กับรถสำรวจ (ข) รอยปะซ่อมในบริเวณที่ไกลจากรถสำรวจ

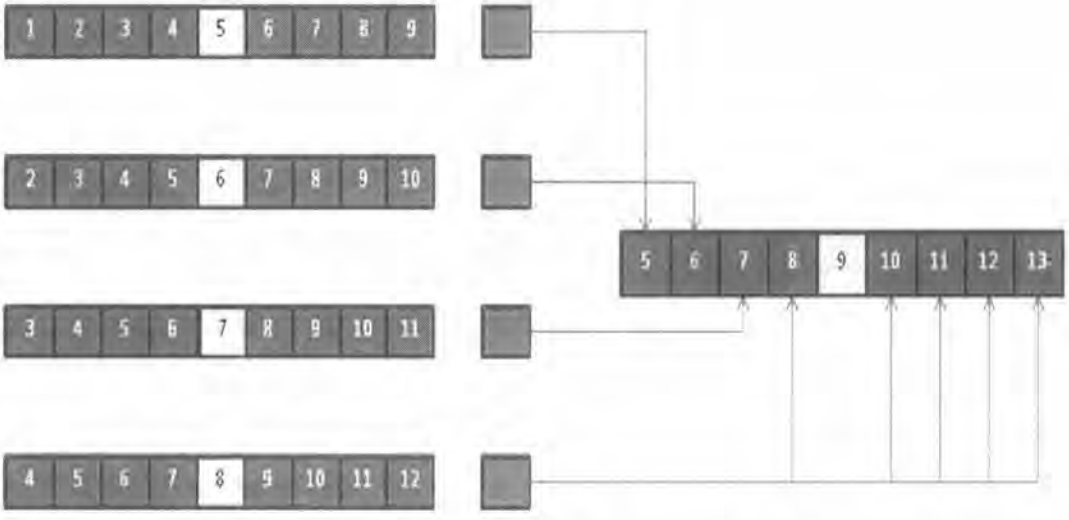
รูปที่ 3.5 ผลลัพธ์ของการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว

จากค่าขีดแบ่งที่ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีปัญหาเกิดขึ้น 2 แบบหลัก ๆ คือ

- ค่าเฉลี่ยมีค่ามากขึ้นแบบผิดปกติเนื่องจากสิ่งแปลกปลอมเช่น รอยปะซ่อมหรือเงาในภาพก่อนหน้าที่พิจารณาผ่านไปแล้วและภาพล่วงหน้าที่ยังไม่ได้พิจารณา เป็นสิ่งที่ดึงค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงในภาพชุดหนึ่ง ๆให้สูงขึ้น
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยมาก

วิธีการแก้ปัญหา 2 แบบที่กล่าวถึง ในส่วนของปัญหาค่าเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นแบบผิดปกติแก้โดยการกำจัดสิ่งที่เป็นเงาหรือรอยปะซ่อมออกไปโดยเปลี่ยนเป็นพื้นผิวถนนปกตินั่นคือในกรณี

ภาพก่อนหน้าที่พิจารณาผ่านมาแล้วจะแทนด้วยค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงในภาพชุดที่ภาพนั้นเป็นภาพที่กำลังสนใจ แต่ในภาพที่ยังไม่ได้ผ่านการพิจารณาจะแทนด้วยค่าเฉลี่ยของภาพชุดนั้นไปเลย เมื่อแทนเสร็จหมดทุกค่าแล้วจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใหม่ ซึ่งอธิบายได้ด้วยรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การปรับค่าความเข้มแสงเพื่อลดปัญหาของค่าเฉลี่ยที่สูงมากผิดปกติ

ในส่วนของกรณีปัญหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในภาพชุดหนึ่งมีค่าต่ำมาก เช่นกรณีค่าความเข้มแสงในบริเวณหนึ่งของภาพชุดหนึ่งมีค่าดังนี้ [100, 101, 99, 100, 102, 100, 99, 99, 100] ซึ่งจากค่าเหล่านี้มาสามารถหาค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เท่ากับ 100 และ 0.94 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงมีค่าใกล้เคียงกันหรืออาจตีความได้ว่าเป็นพื้นผิวถนนปกติแต่เมื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกลับทำให้ในภาพที่สนใจซึ่งมีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 102 จะถูกตัดสินว่าเป็นบริเวณรอยปะซ่อม (หากกำหนดให้ค่าขีดแบ่งเท่ากับค่าเฉลี่ยบวกด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ซึ่งไม่ถูกต้องดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานควรมีค่ามากกว่าค่า ๆ หนึ่งเสมอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่าเท่ากับ 6.5 เนื่องจากพิจารณารอยปะซ่อมที่มีความกลมกลืนกับผิวทางจะมีค่าความเข้มแสงต่างจากผิวทางปกติเท่ากับ 6.5 เป็นอย่างน้อยเสมอ

ขั้นตอนต่อไปของการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว คือการจัดกลุ่มพื้นผิวที่มีการทำสัญลักษณ์ไว้และอยู่ชิดกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มคุณสมบัติอีกประการคือ การที่รอยปะซ่อมเป็นความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์ที่เป็นพื้นที่ ดังนั้นหากพิจารณาพื้นผิวข้างเคียงควรมีการทำ

สัญลักษณ์ไว้เช่นกัน ดังนั้นหากพิจารณาจากพื้นผิวข้างเคียงกันซึ่งแบ่งเป็น 3 x 3 ส่วนหรือ 9 ส่วน ตามรูปที่ 3.7 ควรมีการทำสัญลักษณ์อย่างน้อยตั้งแต่ 3 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเป็นรอยปะซ่อม จึงจะจัดเป็นกลุ่มเดียวกันได้ โดยจะเห็นได้ว่าส่วนที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจะถูกกรองหายไปซึ่งได้ผลดังรูปที่ 3.8

(i-1,j-1)	(I,j-1)	(i+1,j-1)
(i-1,j)	(i,j)	(i+1,j)
(i-1,j+1)	(i,j+1)	(i+1,j+1)

รูปที่ 3.7 พื้นผิวข้างเคียงของพื้นผิวที่สนใจทั้ง 9 ส่วน

รูปที่ 3.8 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มของพื้นผิวที่มีความเข้มแสงมากกว่าพื้นผิวทางแอสฟัลต์

3.4 การระบุรอยปะซ่อม (Patching Identification)

3.4.1 การระบุตำแหน่งของรอยปะซ่อมบนในภาพพื้นผิวทางแอสฟัลต์

ขั้นตอนการระบุรอยปะซ่อมเป็นขั้นตอนที่หาขนาดโดยประมาณและตำแหน่งของรอยปะซ่อมในภาพที่กำลังพิจารณา การหาขนาดของรอยปะซ่อมจะอาศัยการเทียบกับเส้นถนนซึ่งมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานเส้นแบ่งช่องทางจราจรของกรมทางหลวงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานขนาดของเส้นถนนในรูปแบบต่าง ๆ [17]

ประเภท	ลักษณะ	ความกว้าง	ความยาว	ระยะห่าง
เส้นแบ่งทิศทางจราจรปกติ	เส้นประสีขาว	15 เซนติเมตร	200 เซนติเมตร	200 เซนติเมตร
เส้นแบ่งทิศทางจราจรเตือน	เส้นประสีขาว	15 เซนติเมตร	300 เซนติเมตร	100 เซนติเมตร
เส้นแบ่งทิศทางจราจรห้ามแซง	เส้นทึบสีขาว	15 เซนติเมตร	-	-
เส้นแบ่งทิศทางจราจรคู่	เส้นประคู่เส้นทึบโดยห่างกัน 15 เซนติเมตร	10 เซนติเมตร	-	-
		10 เซนติเมตร	200 เซนติเมตร	200 เซนติเมตร
เส้นแบ่งทิศทางจราจร ห้ามแซงคู่	เส้นทึบคู่ ห่างกัน 15 เซนติเมตร	10 เซนติเมตร	-	-
เส้นแบ่งช่องเดินรถปกติ	เส้นประสีขาว	10 เซนติเมตร	100 เซนติเมตร	300 เซนติเมตร
เส้นแบ่งช่องเดินรถเตือน	เส้นประสีขาว	10 เซนติเมตร	300 เซนติเมตร	100 เซนติเมตร
เส้นแบ่งช่องเดินรถห้ามแซง	เส้นทึบสีขาว	10 เซนติเมตร	-	-
เส้นขอบทาง	เส้นประสีขาว	10 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร
เส้นแบ่งเดินรถประจำทาง	เส้นทึบสีเหลือง	20 เซนติเมตร	-	-

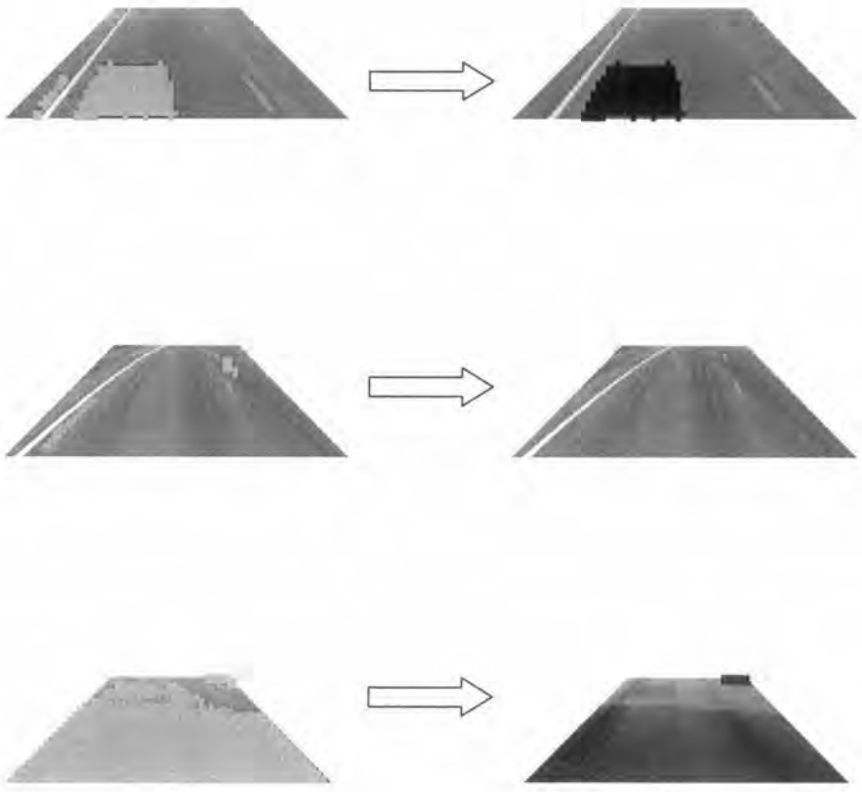
จากตารางที่ 3.1 สามารถสอบเทียบย้อนกลับของระยะจริงกับระยะในภาพในช่วงต่าง ๆ ได้ โดยทำการวัดจากจำนวนจุดภาพของเส้นจราจร ดังรูปที่ 3.9 ที่เมื่อนับจำนวนจุดภาพแล้วนำไปหาระยะความยาวของเส้นจราจรทำให้ทราบได้ว่า 1 จุดภาพแทนระยะโดยประมาณกี่เซนติเมตร และทำการแบ่งภาพออกเป็น 13 ช่วง เพื่อลดปัญหาของสัดส่วนภาพ

รูปที่ 3.9 การนับจำนวนจุดภาพเพื่อนำไปหาระยะทางที่แท้จริงโดยอาศัยเส้นจราจร

ตัวอย่างการสอบเทียบระยะทางจริงกับจำนวนจุดภาพ จากรูปที่ 3.8 เส้นจราจรกว้าง 10 เซนติเมตร และครอบคลุมจุดภาพแนวราบตั้งแต่จุดภาพที่ 966 ถึงจุดภาพที่ 998 ดังนั้น 1 จุดภาพจึงมีความยาวโดยประมาณเท่ากับ 10 / (998-966) = 0.3125 เซนติเมตร เนื่องจากภาพที่ได้มาจากกล้องสำรวจที่ติดตั้งอยู่ที่เดิมตลอดบนรถสำรวจทำให้มุมกล้องคงเดิมของการสำรวจตลอดเวลา จึงสามารถหาตารางการสอบเทียบที่ใช้ได้ตลอด

เมื่อได้ระยะของส่วนต่าง ๆ ในภาพมาแล้วก็จะสามารถหาขนาดความกว้างโดยประมาณของรอยปะซ่อมได้ ทำให้ยังสามารถกำจัดวัตถุที่ไม่ใช่รอยปะซ่อมในภาพออกได้ เพราะจากมาตรฐานการทำรอยปะซ่อมต้องมีความกว้างอย่างน้อย 60 เซนติเมตร ดังนั้นวัตถุใดที่มีความขนาดในส่วนที่แคบที่สุดน้อยกว่า 60 เซนติเมตรก็จะถูกกำจัดออกไป

นอกจากนี้การกำจัดเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่และเงาของเสาไฟฟ้าข้างทางที่มีเงาทอดยาวตลอดทั้งภาพออกได้ โดยใช้ระยะของพื้นผิวทางแอสฟัลต์มากที่สุดของบริเวณที่สนใจในกรอบของเทมเพลต เพราะฉะนั้นหากวัตถุใดหรือรอยใดในภาพมีความกว้างสุดใกล้เคียงกับระยะที่ยาวที่สุดของบริเวณที่สนใจ จะถือว่าน่าจะเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่หรือเสาไฟฟ้าข้างทางซึ่งต้องถูกกำจัดออกไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลลัพธ์การกำจัดวัตถุที่ไม่ใช่รอยปะซ่อมออก

3.4.2 การหาขนาดโดยประมาณของรอยปะซ่อมในภาพพื้นผิวทางแอสฟัลต์

การหาขนาดโดยประมาณของรอยปะซ่อมในภาพพื้นผิวทางแอสฟัลต์ในภาพใด ๆ จำเป็นต้องใช้การสอบเทียบระยะทางจริงกับระยะในภาพและทฤษฎีปีกาทอรัสพื้นฐานตามสมการที่ 3.2 เพราะภาพที่ใช้ในการวิจัยเป็นภาพเชิงลึก

$$a^2 + b^2 = c^2 \qquad \text{.....(3.2)}$$

เมื่อ c = ด้านตรงข้ามมุมฉากของสามเหลี่ยมมุมฉาก

a = ด้านประกอบมุมฉากด้านที่ 1 ของสามเหลี่ยมมุมฉาก

b = ด้านประกอบมุมฉากด้านที่ 2 ของสามเหลี่ยมมุมฉาก