การศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อประเมินสภาพทางกายภาพของพื้นผิวจราจร

A STUDY OF IMAGE PROCESSING TECHNIQUE BY USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR WEARING SURFACE ASSESSMENT

กิตติคุณ จิตไพโรจน์[1] และ พชร เครือวิทย์[2,*]

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัด เชียงใหม่*

[2] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ*

**Corresponding author; E-mail address: Pochara.K@eng.kmutnb.ac.th[2]*

บทคัดย่อ

ความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพานเป็นสิ่งสำคัญที่ควรมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความจำเป็นในโครงข่ายคมนาคม การตรวจสอบความเสียหายด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เป็นการตรวจสอบเพื่อบ่งชี้ถึงสภาพการใช้งานที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันและความเสื่อมสภาพ ตลอดจนความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง โดยการสำรวจสะพานต้องจำเป็นต้องปิดช่องทางจราจรบางส่วน เพื่อทำการประเมิน และบันทึกข้อมูลของโครงสร้างเชิงกายภาพ (Physical Condition) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาปฏิบัติงานนาน อาจส่งผลต่อสภาพการติดขัดของการจราจร รวมถึงความปลอดภัยต่อผู้ตรวจสอบ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและนำเสนอเทคนิคการตรวจสอบความเสียหายพื้นผิวจราจรของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับหรือโดรน (Unmanned Aerial Vehicle: UAV, Drone) ในการเก็บข้อมูลภาพที่บันทึกภาพความเสียหาย เพื่อหาพื้นที่ขนาด และรูปร่างที่สนใจ และนำเสนอเทคนิควิธีการประมวลผลภาพ เพื่อวัดปริมาณพื้นที่ความเสียหาย

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, การประมวลผลภาพ, การตรวจสอบด้วยสายตา, พื้นผิวจราจร, การตรวจสอบโครงสร้างสะพาน

Abstract

Bridges are one of significant infrastructures in transportation network. Its structural integrity must be regularly inspected and monitored. Visual inspection plays an important role in providing safe bridges as they continue to age and deteriorate. An accurate and thorough assessment of bridge's condition is crucial. To assess the inspection field and gather information information of the bridge structural physical condition, some of traffic lanes must be temporary closed for safety of inspectors during inspection which require a length of time that may affect traffic congestion conditions. This study presents a technique for inspecting the wearing surface damage of reinforced concrete bridges by using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV, Drone) to capture damaged photos. Image processing techniques are introduced to analyze the damaged areas. The damaged area detection and quantifying area of the damage techniques are presented.

Keywords: Unmanned aerial vehicles (UAV), image processing, visual inspection, wearing surface, bridge inspection

1. บทนำ

สะพานคือโครงสร้างพื้นฐานที่สร้างขึ้นเพื่อข้ามสิ่งกีดขวางทางกายภาพ เช่น แม่น้ำลำคลองหรือถนน ปัจจุบันมีสะพานหลายแห่งในประเทศไทย ซึ่งต้องการการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเพื่อป้องกันการพังทลาย การตรวจสอบเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลสำหรับการวางแผนการตรวจสอบและประเมินความเสียหาย เพื่อบ่งชี้ถึงสภาพการใช้งานที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน และความเสื่อมสภาพ ตลอดจนความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงและอายุการใช้งาน ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะของรอยแตกร้าว การเกิดสนิม การผุกร่อนของโครงสร้าง แต่ความเสียหายที่มักส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ทางโดยตรงคือพื้นผิวจราจร (Wearing surfaces) เนื่องจากความล้าของชั้นผิวทาง ซึ่งเกิดจากสภาพอากาศที่แปรปรวนส่งผลให้เกิดการยืด-หดตัวของวัสดุและอาจเป็นปัญหาด้านกำลังหรือคุณภาพของการก่อสร้างหรือ [1]

National Bridge Inspection Standards, NBIS [2] แนะนำให้มีการตรวจสอบสะพานในรอบปกติ (Routine Inspection) ทุกๆ 24 เดือน โดยเป็นการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) โดยผู้ทำการตรวจสอบต้องบันทึกประเภทและปริมาณความเสียหายสำหรับการตรวจสอบรายชิ้นส่วน (Element inspection) เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินสุขภาพของสะพาน โดยการตรวจสอบความเสียหายด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เป็นการตรวจสอบ ประเมิน และบันทึกข้อมูลของโครงสร้างเชิงกายภาพ (Physical Condition) ในระยะที่ผู้ตรวจสอบมองเห็น หรือเอื้อมถึง ดังนั้นอาจต้องใช้อุปกรณ์ในการเข้าถึงพื้นที่ เช่น นั่งร้าน หรือ รถกระเช้า เพื่อเข้าถึงพื้นที่ที่อยู่สูง และอาจต้องทำการปิดช่องทางจราจรในบางส่วนเพื่อตรวจสอบและวัดปริมาณความเสียหายของพื้นถนน [3] รวมถึงอาจมีประเด็นเกี่ยวกับประสบการณ์การประเมินผลด้วยภาพตามดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ [4] เนื่องด้วยปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการตรวจสอบในพื้นที่ขนาดเล็ก [5] และด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของ UAV จึงมีการใช้ในการถ่ายภาพสำหรับงานสำรวจทางวิศวกรรมและการทำแผนที่ [6] การวัดความอุดมสมบูรณ์ของพืชผล [7] การตรวจสอบกังหันลม [8] การตรวจสอบโบราณสถาน [9] การตรวจจับรอยแตกของสะพาน [10] ดังนั้นการถ่ายภาพทางอากาศยานไร้คนขับด้วย UAV จึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีข้อดีด้านต้นทุนที่ต่ำ ง่ายต่อการควบคุม และมีความยืดหยุ่นในการเข้าถึง

พื้นที่ต่างๆ [11] รวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจการระบุรอยแตกร้าวโดย โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลและเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางการใช้อากาศไร้คนขับในการสำรวจและตรวจสอบโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยศึกษาเทคนิคการตรวจสอบความเสียหายด้วยเทคนิควิธีการประมวลผลภาพ เพื่อวัดปริมาณพื้นที่ความเสียหายและประเมินระดับความเสียหาย เพื่อใช้เป็นเพื่อเป็นแนวทางพัฒนาระเบียบวิธีการวางแผนการตรวจสอบและประเมินงบประมาณการซ่อมบำรุงต่อไป

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานการตรวจสอบความเสียหายของผิวจราจร

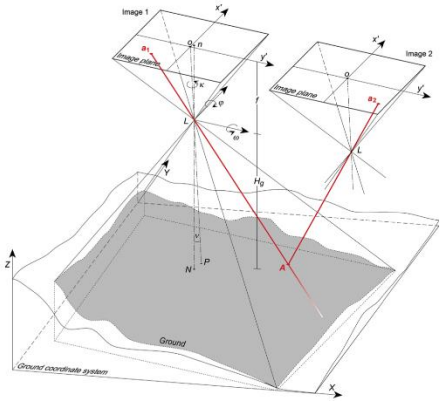
AASHTO Manual for Bridge Element Inspection (MBEI) [2] ได้แนะนำการตรวจสอบสะพานรายชิ้นส่วน (Bridge Element Inspection) โดยแยกตามความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนสะพานและมีเกณฑ์การประเมินสภาพอย่างชัดเจน สำหรับความเสียหายประเภท พื้นที่ปะ (Patched Area) และหลุมบ่อ (Pothole) เกณฑ์ที่ใช้วัดความเสียหายคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 6 นิ้ว ถือว่าอยู่ในสภาพแย่ (Poor)

ASTM [12] ได้แนะนำแนวทางการประเมินสภาพผิวจราจรด้วยค่า Pavement Condition Index (PCI) ค่าดัชนีนี้บ่งบอกสถาพความสมบูรณ์ของผิวทางโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดย ค่าเท่ากับ 0 บ่งบอกถึงสภาพแย่ที่สุด และ ค่า 100 บ่งบอกถึงสภาพที่ดีที่สุด ค่า PCI นั้นขึ้นอยู่กับประเภทความเสียหาย, ปริมาณความเสียหาย และระดับความเสียหาย หนึ่งในความเสียหายที่ต้องทำการประเมินคือ หลุมบ่อ โดยระดับความเสียหายจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเช่นกัน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-8 นิ้ว อยู่เกณฑ์ระดับความเสียหายต่ำ (LOW)

2.2 การสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับในปัจจุบันมีขนาดเล็กและสามารถติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลและประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [13] ซึ่งการติดตั้งกล้องความละเอียดสูงเพื่อบันทึกข้อมูลภาพระยะใกล้ช่วยให้สามารถตรวจสอบโครงสร้างสะดวกและสามารถวัดระยะจากภาพดังสมการที่ 1 ซึ่งได้จากข้อมูล intrinsic orientation ของกล้อง จาก เลนส์, ความยาวโฟกัส, ความละเอียดของภาพและขนาดเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 1 อีกทั้งข้อมูล extrinsic orientation สามารถทราบได้จาก Inertial Measurement Unit (IMU) ที่ติดตั้งในกล่องควบคุมการบินของอากาศยาน โดยการบินสำรวจที่มีระบบจะทำให้ได้ภาพถ่ายจำนวนมาก ที่มีส่วนทับซ้อนของภาพเพียงพอต่อการหาจุดเชื่อมโยงจากภาพหนึ่งไปยังจุดที่สอดคล้องกันในอีกภาพหนึ่ง (Photo registration) โดยใช้จุดเด่น (Key feature) ของภาพจากการด้วยเทคนิค Scale-invariant feature transform (SIFT) ซึ่งจะสามารถจับคู่ภาพเพื่อการต่อภาพตามคุณลักษณะหรือการทำโมเสคและการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ [14]

$$GSD = \frac{H}{f} x \frac{sensor\ \ dimension}{sensor\ \ resolution} \qquad (1)$$



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ทางด้านการวัดจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจากอากาศยานไร้คนขับ (Mack, 2007) [15]

2.3 ภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลเกิดจากการเปลี่ยนภาพที่ได้จากการสะท้อนแสง (Light Reflection) ลงบนเซ็นเซอร์รับภาพ (Image Sensor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ไวต่อการรับแสง (Photo Sensitive Devices) เพื่อให้เป็นข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งภาพที่เรามองเห็นบนจอภาพ เกิดจากการผสมสีเข้าด้วยกันจากโมเดลสี RGB ซึ่งเป็นการผสมสี แดง เขียว และน้ำเงิน เข้าด้วยกัน ข้อมูลภาพดิจิทัลเป็นตัวเลขที่แสดงในรูปของเมทริกซ์ดังสมการที่ (2) ซึ่งภาพที่ถูกนำมาคำนวณด้วยการประมวลผลภาพมีหลายรูปแบบ ซึ่งโดยทั่วไปที่พบมีได้สาม แบบ คือ ภาพสี (Color Image) ภาพระดับเทา (Gray Level Image) และภาพสองระดับ (Binary Image) ดังแสดงในรูปที่ 2

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & \cdots & a_{0,N-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M-1,0} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

ภาพสี มีพิกเซลที่ประกอบด้วยแม่สี แดง เขียว และน้ำเงิน แต่ละสีจะใช้พื้นที่ในการ จัดเก็บ 8 บิต ดังนั้นแต่ละพิกเซลของภาพสีจึงใช้พื้นที่ในการจัดเก็บ 24 บิต (3 ไบต์) และสามารถแสดงสีได้ 2^{24} สี (16.7 ล้านสี)

ภาพระดับเทา คือภาพที่ไม่มีสีแต่แสดงถึงระดับความเข้มแสง ซึ่งแต่ละพิกเซลจะประกอบด้วยตัวเลขเพียงหนึ่งตัวมีขนาด 8 บิต (1 ไบต์) สามารถแสดงระดับความเข้มได้ 256 ระดับ จากมืด (สีดำ) ซึ่งมีค่าเป็น 0 ไปจนถึงสว่าง (สีขาว) ซึ่งมีค่าเป็น 255 ภาพระดับเทาเป็นรูปแบบภาพที่ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลภาพมากที่สุด เนื่องจากมีรายละเอียดของพื้นผิว (Texture) ของวัตถุในภาพได้เป็นอย่างดีสำหรับการวิเคราะห์ภาพ

ภาพสองระดับ คือภาพขาวดำ ซึ่งแต่ละพิกเซลจะมีเพียง 2 รหัส คือ ขาว และ ดำ โดยแทนเป็นรหัส 0 หรือ 1 ตามลำดับ ภาพสองมีเพียงแต่ภาพโครงร่างของวัตถุเท่านั้น ซึ่งมักนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพ เช่น การหาขอบภาพ และการแยก วัตถุออกจากพื้นหลัง เป็นต้น

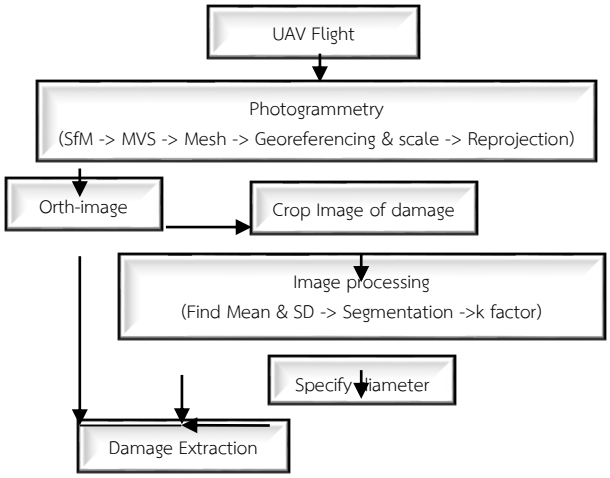


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 การเปลี่ยนจากภาพสี (ก) เป็นภาพระดับเทา (ข) โดยการแปลงค่าสี และการเปลี่ยนจากภาพระดับเทาไปเป็น ภาพสองระดับ (ค) โดยการค้นหาขอบภาพ

3. วิธีดำเนินการ

การเก็บข้อมูลภาพถ่ายความเสียหายของพื้นผิวจราจร เพื่อประเมินผลโดยการวัดขนาดความเสียหาย จำเป็นต้องมีขั้นตอนการในการเก็บข้อมูลและประมวลผลโดยใช้ความสัมพันธ์ทางด้านการวัดจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อคำนวณหาระยะบนภาพ โดยภาพถ่ายที่มีคุณภาพดีจะต้องมีการตั้งค่าอุณหภูมิสี, ค่าความไวแสง, ค่าความเร็วชัตเตอร์, และ ค่ารูรับแสง ให้คงที่ตลอดการเก็บข้อมูลภาพถ่าย เพื่อให้มีค่าระดับแสง (Brightness) และความเปรียบต่าง (Contrast) คงที่ จากนั้นการประมวลผลภาพจะตัดให้เหลือเฉพาะส่วนของผิวถนนแล้วทำการแปลงภาพถ่ายสีให้เป็นภาพถ่ายระดับเทาและทำการวิเคราะห์หาค่าเกณฑ์ระดับเทา และทำการแบ่งส่วนภาพ โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดและสรุปพื้นที่ความเสียหาย



รูปที่ 3 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 การบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับและการประมวลผล

สะพานที่บินสำรวจเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีช่วงความยาวระหว่างเสาตอม่อบริเวณเชิงลาดที่ 10 เมตร และช่วงที่ข้ามแม่น้ำมีช่วงความยาวระหว่างกำแพงตอม่อที่ 30 เมตร มีพื้นผิวจราจรแบบพื้นคอนกรีต โดยการออกแบบแผนการบินต้องคำนึงถึงความละเอียด (Ground Sample Distance: GSD) ของภาพถ่ายที่ต้องการ, ขนาดพื้นที่สำรวจ, ระยะเวลาที่อากาศยานไร้คนขับสามารถทำการได้ และสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลเรื่องแสงและเงา ทั้งนี้คุณสมบัติของกล้องที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการประเภทงานตรวจสอบสะพานเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากความยาวโฟกัส, ความละเอียดของภาพและขนาดเซ็นเซอร์ มีผลต่อคุณภาพและระยะเวลาในการทำงาน โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้อากาศยานไร้คนขับและกล้องที่มีรายละเอียดดังตารางที่ **1** และมีการออกแบบแผนการบินให้มีส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Side lap) ที่ 80% โดยบินที่ความสูง 100 เมตร เหนือโครงสร้างสะพาน ซึ่งคำนวณค่าความละเอียดตามสมการที่ (1) ได้ค่าความละเอียดที่ 3.7 มิลลิเมตร/พิกเซล



รูปที่ 4 แนวการบินและตัวอย่างส่วนทับซ้อนของภาพ



รูปที่ 5 DJI Matrice 300 with Phase One iXM-100

ตารางที่ 1 ขอมูลทางเทคนิคของเซ็นเซอร์รับภาพและเลนส์

Spec parameter	Detail
Camera Sensor	Medium Format
Sensor size	44mm x 33mm
Image size	100MP (11,664x8,750)
Lens	80mm

3.2 เทคนิควิธีการประมวลผลภาพ

3.2.1 ภาพระดับเทา

ภาพสีจากอากาศยานไร้คนขับจะถูกตัดให้เหลือเฉพาะส่วนของผิวถนนที่ต้องการศึกษาและแปลงเป็นภาพถ่ายระดับเทาโดยสมการที่ (3) [16]

$$G = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B \quad (3)$$

โดยที่ G, R, G และ B คือ ค่าระดับเทา, ค่าระดับสีแดง,ค่าระดับสีเขียว และค่าระดับสีฟ้า ตามลำดับ

3.2.2 การแบ่งส่วนภาพ

การแบ่งส่วนภาพ หรือ Image Segmentation คือ วิธีการแบ่งภาพดิจิทัลออกเป็นกลุ่มย่อยโดยมีจุดประสงค์เพื่อแยกวัตถุหรือพื้นที่ที่ต้องการออกจากภาพพื้นหลัง หนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยม คือ เทคนิคการแบ่งภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (Thresholding) เช่น การแบ่งส่วนภาพโดยการใช้ค่าความเข้มระดับเทา (Gray Intensity, *I*) เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง โดยค่า

ระดับเทานี้อาจเป็นค่าระดับความเข้มใดก็ได้ที่สามารถแบ่งกลุ่มของภาพออกจากกันได้ดีที่สุด ดังนั้นการกำหนดค่าเกณฑ์ระดับเทาถือเป็นหัวใจสำคัญของวิธีการนี้ ภาพที่ได้จากเทคนิคการแบ่งภาพนี้จะเป็นภาพสองระดับโดยสามารถเขียนเป็นเมตริก b (binary) ขนาด x,y ได้ดังสมการที่ (4)

$$b(x,y) = \begin{cases} 1, & I(x,y) > T \\ 0, & I(x,y) \le T \end{cases} \quad (4)$$

Otsu, 1979 [17] ได้นำเสนอการหาค่าเกณฑ์การแบ่งส่วนภาพจากการวิเคราะห์ histogram ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมกับกราฟ histogram ที่มีลักษณะ bimodal อย่างไรก็ตาม ลักษณะกราฟ histogram ของผิวจราจร ไม่ได้มีลักษณะเช่นนั้น กล่าวคือ ผิวจราจรโดยทั่วไปมีค่าระดับสีเทาที่ไม่ต่างกันมากนัก, ความเสียหายที่สนใจนั้นมีระดับสีเทาที่ไม่ต่างจากผิวจราจรมากนัก และความเสียหายนั้นยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดภาพทั้งหมด นอกจากนั้นความไม่สม่ำเสมอของระดับความสว่างของผิวจราจรยังทำให้เกิด noise กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว Zhou, 2010 [16] ได้นำเสนอการหาค่าเกณฑ์ระดับเทาเพื่อแก้ปัญหาความไม่ สม่ำเสมอของระดับความสว่างของพื้นหลังโดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนปกติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกรอยร้าวออกจากพื้นหลังได้ดี

ในการศึกษานี้ได้ปรับใช้วิธีของ Zhou, 2010 [16] ด้วยโปรแกรม Matlab โดยหาค่าเกณฑ์ระดับเทา (T) จากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนปกติของค่าระดับเทาของจุดที่เสียหาย ค่าเกณฑ์ระดับเทาสามารถคำนวณได้จาก

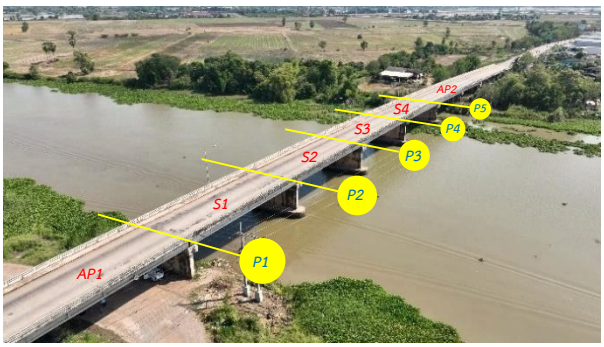
$$T = M + k \times SD \quad (5)$$

โดยที่ M และ SD คือค่าเฉลี่ยระดับเทาและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ย่อยตามลำดับ และ k คือสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลสำรวจความเสียหายด้วยอากาศยานไร้คนขับ

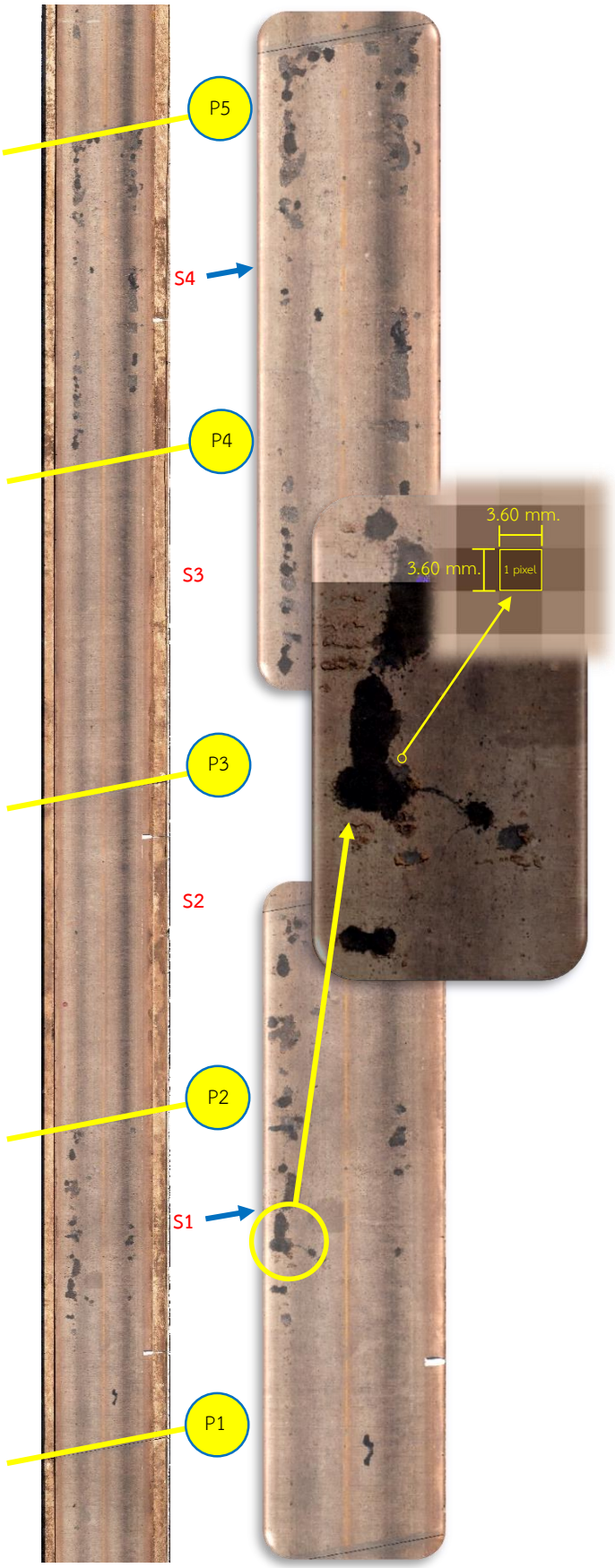
จากการบินสำรวจความเสียหายของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าพื้นผิวจราจรแบบพื้นคอนกรีต มีความเสียหายส่วนใหญ่ในช่วงสะพานที่มีช่วงความยาว 30 เมตร ซึ่งเป็นส่วนที่ข้ามแม่น้ำ โดยมีความเสียหายแบบการสึกหรอของผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่สำรวจสามารถนำมาสร้างข้อมูลกลุ่มพิกัดจุดสามมิติ (Point cloud) ดังรูปที่ 7 และแผนภาพความละเอียดสูง (Ortho-image) เพื่อใช้ในการตรวจสอบและระบุตำแหน่งความเสียหายดังรูปที่ 8 ซึ่งข้อมูลการสำรวจที่ได้มีผลสอดคล้องการทั้งรูปทรงและขนาดเสมือนจริง โดยผลวิเคราะห์พบว่าข้อมูลแผนภาพมีความละเอียดที่ 3.6 มิลลิเมตร/พิกเซล ซึ่งเป็นขนาดที่จะใช้ในการประเมินความเสียหายในขั้นตอนประมวลผลภาพถ่ายต่อไป



รูปที่ 6 การกำหนดรหัสส่วนประกอบของสะพาน



รูปที่ 7 ข้อมูลกลุ่มพิกัดจุดสามมิติ (Point cloud)

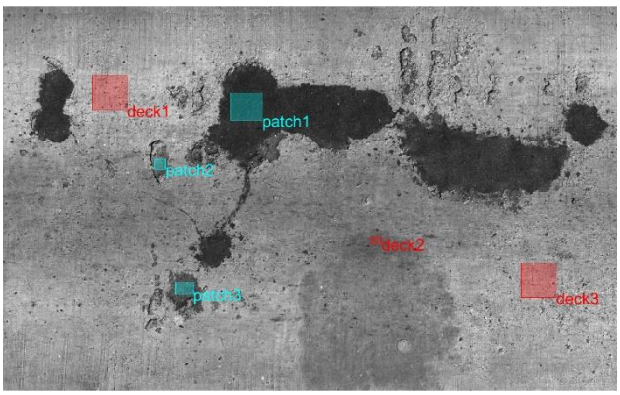


รูปที่ 8 ผลสำรวจความเสียหายจากแผนภาพความละเอียดสูง (Ortho-image)

4.2 ผลการประมวลผลภาพความเสียหาย

4.2.1 ค่าเกณฑ์ระดับเทา (T)

ค่าเกณฑ์ระดับเทาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนปกติของพื้นที่ความเสียหายและผิวจราจรแต่ละพื้นที่ย่อย ดังแสดงในรูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ย่อยได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า พื้นที่ความเสียหาย patch2 มีค่าเฉลี่ยระดับเทามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 108.93 สำหรับพื้นที่ผิวจราจร deck2 มีค่าเฉลี่ยระดับเทาน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย-ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 117.44 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่าระดับเทาของพื้นที่ดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์ตามทฤษฎีของ Otsu [17] ค่าเกณฑ์ที่คำนวณมีค่าเท่ากับ 110 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ความเสียหาย patch2 ดังนั้นค่าสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (k) ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 1.0

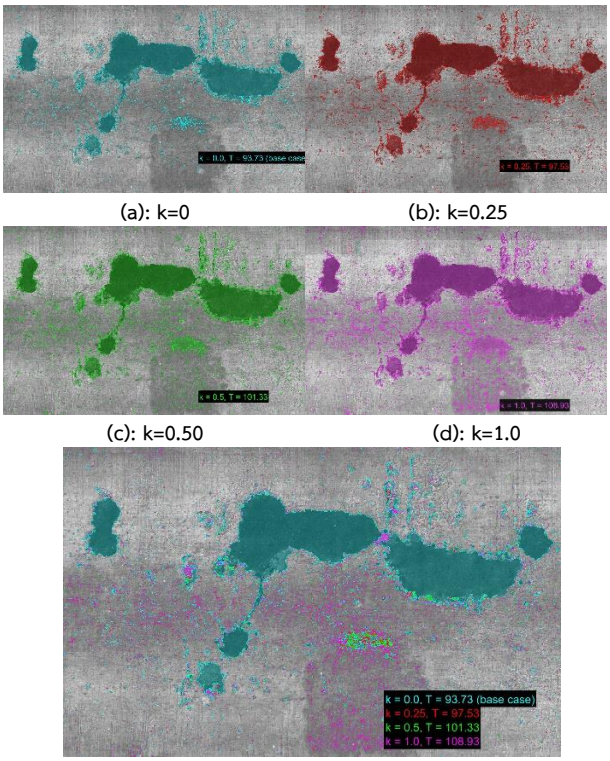


รูปที่ 9 พื้นที่ย่อยของพื้นที่ความเสียหายและพื้นที่ผิวจราจร

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ย่อย

ความเสียหาย	M	SD	M+SD
patch1	45.99	7.13	53.12
patch2	93.73	15.2	108.93
patch3	85.54	14.9	100.44
ผิวจราจร	M	SD	M-SD
deck1	170.54	23.1	147.44
deck2	135.78	18.34	117.44
deck3	164.62	21.53	143.09

เมื่อพิจารณาค่า k มีค่าเท่ากับ 0, 0.25, 0.5 และ 1 จากผลการแบ่งส่วนภาพดังแสดงในรูปที่ 10 พื้นที่ความเสียหายคือพื้นที่ที่ถูกระบายสี พบว่าค่า k ทุกค่าสามารถแบ่งส่วนพื้นที่ความเสียหายออกจากพื้นหลังหรือพื้นผิวจราจรได้ดี แต่ในกรณีที่ค่า k มีค่ามากกว่า 0.25 เริ่มมีพื้นที่ผิวจราจรบริเวณพื้นที่ deck2 ผ่านค่าเกณฑ์ระดับเทาที่กำหนด และมีพื้นบริเวณนี้ที่ผ่านเกณฑ์มากขึ้นเมื่อค่า k เพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อให้การแบ่งส่วนถาพความเสียหายที่พื้นที่ผิวจราจรผ่านเกณฑ์น้อยที่สุด จึงใช่ค่า k เท่ากับ 0.25 ในการศึกษาการคัดเลือกพื้นที่ความเสียหายต่อไป



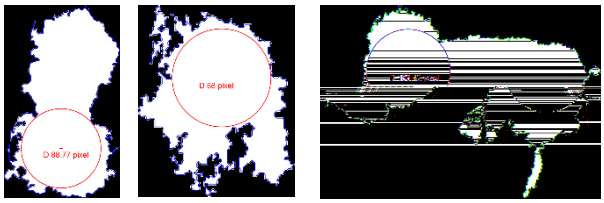
(e) เปรียบเทียบผลการแบ่งส่วนภาพ

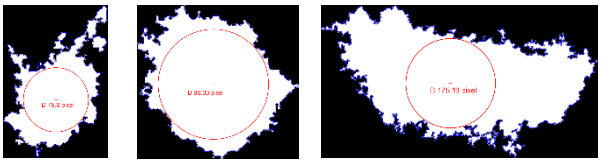
รูปที่ 10 ผลการแบ่งส่วนภาพโดยพิจารณาค่าสัดส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน *(k)*

4.3 ผลการคัดเลือกพื้นที่ความเสียหาย

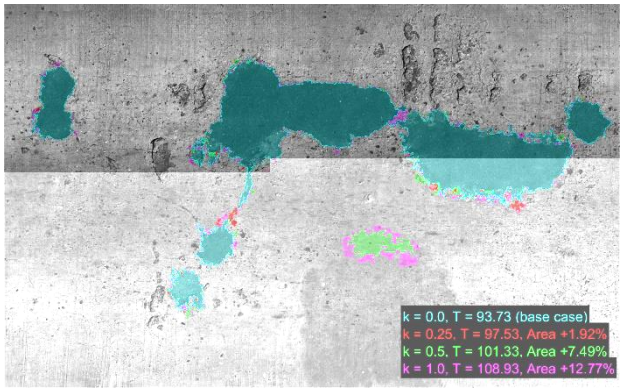
พื้นที่ความเสียหายที่ต้องการจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับ 6 นิ้ว หรือ 150 มม. เป็นเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน AASHTO [2] และ ASTM [12] ดังที่นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้า และเมื่อทำการคำนวณเทียบค่าขนาด 1 พิกเซลกับความยาวจริงจากหัวข้อที่ 4.1 พบว่าขนาด 1 พิกเซลมีค่าเท่ากับ 3.6 มม. ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อเทียบเป็นขนาดพิกเซลมีค่า 41 พิกเซล

ในการตรวจสอบ ไม่สามารถใช้ขนาดความกว้างของกรอบพื้นที่ความเสียหาย (bounding box) ไปเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้โดยตรง เนื่องจากในบางกรณี พื้นที่ความเสียหายมีความกว้างจริงน้อยกว่าความกว้างของกรอบพื้นที่ ในการศึกษานี้จึงประยุกต์ใช้การหาขนาดของวงกลมที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถบรรจุลงในเส้นรอบรูปของความเสียหายได้ โดยขนาดรัศมีของวงกลม คือ ระยะห่างที่มากที่สุดระหว่างแต่ละพิกเซลในพื้นที่ความเสียหายกับพิกเซลของขอบพื้นที่ที่อยู่ใกล้ที่สุด รูปที่ 12 แสดงผลการคัดเลือกพื้นที่ความเสียหาย และรูปที่ 11 แสดงพื้นที่ความเสียหายที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด

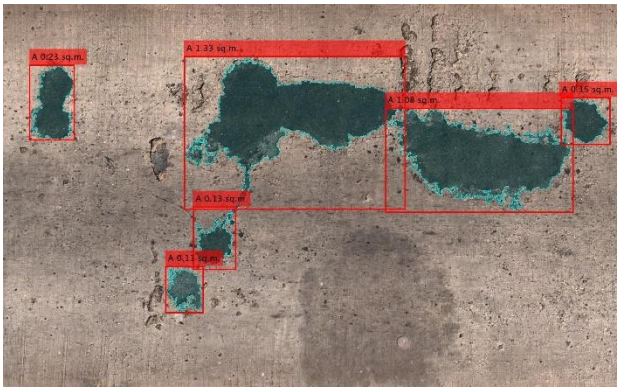




รูปที่ 11 พื้นที่ความเสียหายที่ผ่านการคัดเลือก (k = 0.25)



รูปที่ 12 ผลการคัดเลือกพื้นที่ความเสียหาย (k = 0.25)



รูปที่ 13 ผลการคัดเลือกพื้นที่ความเสียหายและคำนวณพื้นที่

5. สรุปผล

- ผลการสำรวจความเสียหายของพื้นผิวทางของสะพานคอนกรีตเสริมด้วยอากาศยานไร้คนขับพบว่ามีค่าความละเอียดของภาพ Ortho-image ที่ 3.6 มิลลิเมตร ซึ่งมีความละเอียดกว่าที่ออกแบบเล็กน้อย เนื่องจากระดับของพื้นสะพานส่วนกลางมีความสูงมากกว่าส่วนเชิงลาดส่งผลให้ส่วนทับซ้อนของภาพมีค่าลดลงแต่ยังคงพอเพียงในการหาจุดที่สอดคล้องกับภาพข้างเคียงได้
- ผลสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถระบุขนาดความเสียหายจากแผนภาพ Ortho-image ที่แก้ไขความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณซ้ำจนประกอบเป็นภาพได้ แต่ยังขาดความแม่นยำในข้อมูลด้านความลึกเพื่อประเมินระดับความเสียหานของพื้นผิวจราจร
- เกณฑ์ระดับเทาจากสมการ (5) โดยใช้ค่า k=0.25 เมื่อใช้ร่วมกับ การคัดเลือกพื้นที่ในหัวข้อ 4.3 สามารถแยกพื้นที่ความเสียหายออกจากพื้นหลังได้ดี
- การควบคุมคุณภาพการเก็บข้อมูลภาพถ่ายในพื้นที่สำรวจเป็นสิ่งสำคัญ รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างแบ่งส่วนภาพขนาดใหญ่ที่ได้จากการนำภาพขนาดเล็กมาต่อกัน (Stitching) โดยใช้ค่าเกณฑ์ระดับเทาที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดเล็ก ยังสามารถแยกพื้นที่ความเสียหาย

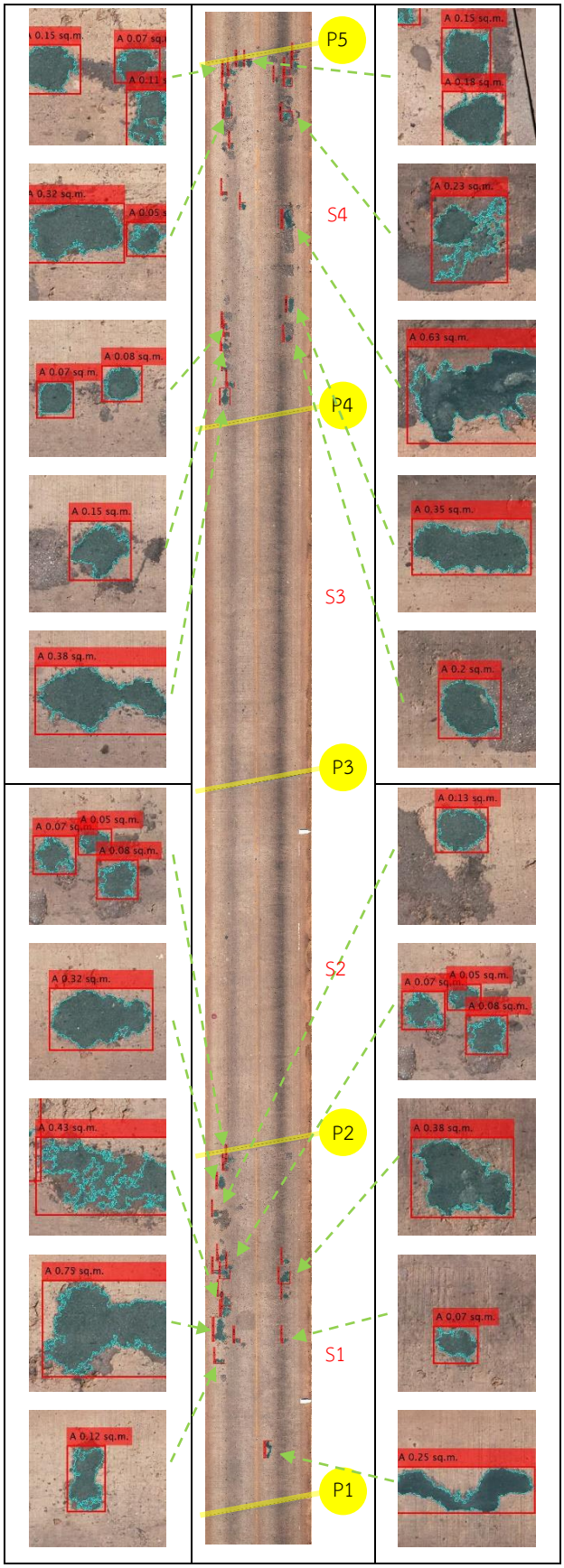
ออกจากพื้นหลังได้ดี หากภาพเล็กที่นำมาต่อกันมีระดับความสว่างที่ต่างกันจะไม่สามารถใช้ค่าเกณฑ์ระดับเทาค่าเดียวได้

- วิธีการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพสามารถช่วยให้ผู้ตรวจสอบประเมินขนาดความเสียหายได้อย่างสะดวก เพียงแต่การจำแนกประเภทความเสียหายของพื้นผิวจราจรยังคงต้องใช้ดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ



รูปที่ 14 การประมวลผลความเสียหายจากแผนภาพความละเอียดสูง (Ortho-image) ของสะพานช่วง Span 1 และ Span 4

ตารางที่ 3 ตัวอย่างแบบฟอร์มการตรวจสอบด้วยวิธีประมวลผลภาพ



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทชิสทรอนิกส์ จำกัด ในการสนับสนุนอุปกรณ์และข้อมูลในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Oliveira, H., & Correia, P. L. (2017). Road surface crack detection: Improved segmentation with pixel-based refinement. Paper presented at the 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO).

[2] Highway, A. A. o. S., & Officials, T. (2019). Manual for bridge element inspection: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

[3] Wójcik, B., & Żarski, M. (2020). Asesment of state-of-the-art methods for bridge inspection: case study. Archives of Civil Engineering, 66(4).

[4] Iacovino, C., Turksezer, Z. I., Giordano, P. F., & Limongelli, M. P. (2022). Comparison of Bridge Inspection Policies in terms of Data Quality. Journal of Bridge Engineering, 27(3), 04021115.

[5] Sieberth, T., Wackrow, R., & Chandler, J. H. (2016). Automatic detection of blurred images in UAV image sets. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 122, 1-16.

[6] Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction, 41, 1-14.

[7] Pérez-Ortiz, M., Peña, J. M., Gutiérrez, P. A., Torres-Sánchez, J., Hervás-Martínez, C., & López-Granados, F. (2016). Selecting patterns and features for between- and within-crop-row weed mapping using UAV-imagery. Expert Systems with Applications, 47, 85-94.

[8] Wang, L., & Zhang, Z. (2017). Automatic Detection of Wind Turbine Blade Surface Cracks Based on UAV-Taken Images. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(9), 7293-7303.

[9] Kaamin, M., Idris, N. A., Bukari, S. M., Ali, Z., Samion, N., & Ahmad, M. A. (2017). Visual inspection of historical buildings using micro UAV. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.

[10] Rau, J. Y., Hsiao, K. W., Jhan, J. P., Wang, S. H., Fang, W. C., & Wang, J. L. (2017). Bridge crack detection using multi-rotary uav and object-base image analysis. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. XLII-2/W6, 311-318.

[11] Ma, L., Li, M., Tong, L., Wang, Y., & Cheng, L. (2013, 20-22 June 2013). Using unmanned aerial vehicle for remote sensing application. Paper presented at the 2013 21st International Conference on Geoinformatics.

[12] ASTM (2011). Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys.

[13] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives. International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 38(1), C22.

[14] Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. Remote sensing, 4(6), 1573-1599.

[15] Aber, J. S., Marzolff, I., Ries, J. B., & Aber, S. E. W. (2019). Small-Format Aerial Photography and UAS Imagery (Second Edition), Academic Press, pp. 1-10.

[16] Zhou, H., Yang, S., & Zhu, J. (2010). Illumination invariant enhancement and threshold segmentation algorithm for asphalt pavement crack image. Paper presented at the 2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM).

[17] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 9(1), 62-66.