

การทำแผนที่เสาไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคนิคเอสเอฟเอ็ม

Semi-automatic Mapping of Electric Poles using SFM Technique

สิทธิพร เฉลิมพงศ์พิพัฒน์^{1*} คัมภีร์ วีระเวช² และ วีระศักดิ์ ปรีक्षा³

¹นักศึกษา ^{2,3}อาจารย์ สาขาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะเสนอการจัดทำแผนที่เสาไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคสตรัคเจอร์ฟรอมโมชัน หรือ เอสเอฟเอ็ม โดยจะวิเคราะห์เรขาคณิตเอพิโพลาร์ระหว่างคูภาพ หลังจากนั้นจึงคำนวณโครงสร้างสามมิติของภาพทั้งหมดโดยใช้เทคนิคเอสเอฟเอ็มส่วนเพิ่ม เพื่อให้ได้ตำแหน่ง การเอียงตัว และจุดสามมิติของพื้นที่ศึกษา หลังจากประมาณข้อมูลเบื้องต้นแล้ว จะสกัดเส้นตรงที่มีโอกาสจะเป็นเสาไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับข้อมูลสามมิติ ที่ได้จากขั้นตอนเอสเอฟเอ็มก่อนหน้านี้ เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่เหมาะสม แต่เนื่องจากผลลัพธ์จากเอสเอฟเอ็มไม่ได้มีตำแหน่ง การเอียงตัว และสเกลที่ถูกต้อง จึงจะใช้ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส เพื่อคำนวณการแปลงเพื่อย้ายโครงสร้างที่คำนวณได้ให้มาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องต่อไป

Abstract

The objective of this research is to proposed a semi-automatic method for mapping electric poles using the structure from motion technique or SFM. First, an epipolar geometry for each image pair is estimated. Then, the 3D structures are obtained using incremental SFM technique which will give us both 3D point cloud of the study area and camera parameters. Also, vertical 2D lines are extracted from the input images. These 2D lines and the 3D structures are then integrated for estimating the positions of electric pole in 3D space. Finally, these 3D electric poles are then geo-registered by estimating 3D rigid transformation from embedded coordinates in the input images.

คำสำคัญ : การทำแผนที่แบบกึ่งอัตโนมัติ เอสเอฟเอ็ม การประมวลผลภาพดิจิทัล

Keywords : Semi-automatic mapping, Structure from motion, Digital Image Processing

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ kawaii304@gmail.com โทร. 08 4561 4286

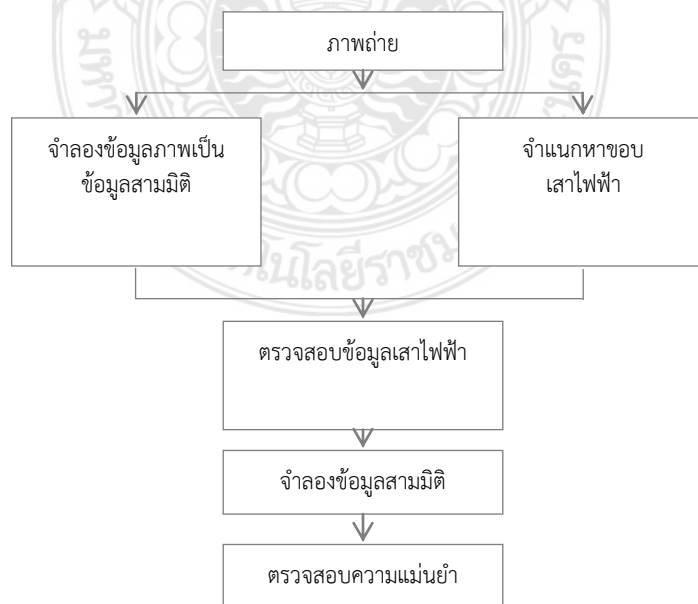
1. บทนำ

เสาไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่พบได้ทั่วไปและมีความสำคัญกับชีวิตประจำวัน เราใช้เสาไฟฟ้าเป็นหลักในการเชื่อมต่อระหว่างสายไฟและสายสัญญาณจากหน่วยงานต่าง ๆ ไปยังพื้นที่ที่ห่างไกลออกไป และในบางกรณีอาจจะมีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ารวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นการทราบตำแหน่งเสาไฟที่ถูกต้องจึงทำให้การจัดการงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในปัจจุบันยังคงมีการจัดเก็บตำแหน่งเสาไฟฟ้าด้วยวิธีการเดินสำรวจและใช้การจดข้อมูลด้วยมือ ซึ่งวิธีที่กล่าวมานี้จะใช้เวลาและงบประมาณที่สิ้นเปลือง รวมถึงข้อมูลที่ได้อาจจะไม่เป็นปัจจุบันเสมอไป

เอสเอฟเอ็ม (structure from motion : SFM) เป็นเทคนิคที่ประยุกต์รวมเอาความรู้ด้านคอมพิวเตอร์วิชัน (computer vision), ดิจิทัลโฟโตแกรมเมตรี (digital photogrammetry) และการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) เข้าด้วยกันเพื่อประมาณค่าพิกัดสามมิติ ทั้งของกล้องและวัตถุต่าง ๆ ในภาพโดยอาศัยเพียงข้อมูลภาพถ่ายสองมิติเท่านั้น ซึ่งเราสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคเอสเอฟเอ็มกับงานด้านต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น การคำนวณแบบจำลองสามมิติของสถานที่ต่าง ๆ (Snavely et al, 2008; Teeravech, 2009) การทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น ในขณะที่ความก้าวหน้าด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลก็ทำให้สามารถสกัดรูปทรงพื้นฐานเช่น จุด, เส้นตรง และวงกลม ออกมาจากภาพได้อย่างง่ายดาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าหากเราสามารถนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น เอสเอฟเอ็มและการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยกันในการคำนวณตำแหน่งเสาไฟฟ้าก็อาจจะทำให้การปรับปรุงข้อมูลเสาไฟฟ้านั้นทำได้สะดวกมากขึ้น เนื้อหาต่อจากนี้จะเป็นการอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลองในส่วนที่ 2 สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปจะนำเสนอในส่วนที่ 3 และ 4 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้จะคำนวณเสาไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับเอสเอฟเอ็มในการทำงานโดยใช้เทคนิคเอสเอฟเอ็มมาช่วยในการคำนวณตำแหน่งกล้องและจุดภาพสามมิติ และใช้เทคนิคทางด้านประมวลผลภาพดิจิทัลเข้ามาช่วยในการสกัดเส้นตรงที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงรวมผลลัพธ์จากนั้นสองขั้นตอนเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ต้องการ ดังแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 อัลกอริทึมที่ใช้ในการสกัดเสาไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.1 ขั้นตอนการหาขอบเสาไฟฟ้า

ขั้นตอนแรกจะเป็นการสกัดเส้น (line) ที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้าจากภาพถ่าย ซึ่งทำโดยการแปลงภาพถ่ายดิจิทัลให้เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทา (gray scale) หลังจากนั้นจึงสกัดขอบภาพ (edge) ด้วยตัวตรวจหาขอบแคนนี (Canny edge detector) โดยกำหนดค่าขีดจำกัด (threshold) สำหรับการกรองหาพิกเซลที่จะเป็นขอบภาพให้อยู่ในช่วง [0.004, 0.1] แล้วบันทึกผลลัพธ์ที่จะเป็นภาพไบนารี หลังจากนั้นจึงนำขอบภาพที่ได้มาแปลงปริภูมิด้วยวิธีการแปลงฮัฟ (Hough transformation) เพื่อให้ข้อมูลภาพนั้นอยู่ในปริภูมิของมุมและระยะทางจากจุดกำเนิด โดยการทดลองนี้ได้กำหนดค่าความละเอียดของมุมสำหรับการกวาดหาเส้นและความละเอียดของระยะทางจากจุดกำเนิดเป็น 1.0 เท่ากันทั้งสองค่า ต่อมาจึงค้นหาค่าสูงสุดเฉพาะที่ (local maxima) ในปริภูมินี้ โดยกำหนดให้ค้นหาเฉพาะค่าที่มากกว่า 0.32 ของค่าของสุดในปริภูมิเท่านั้น หลังจากนั้นจึงสกัดเส้นตรงที่ต้องการโดยการแปลงค่าสูงสุดเฉพาะที่ที่หาได้นี้กลับไปยังปริภูมิภาพปกติโดยได้กำหนดให้เชื่อมเส้นตรงจุดปลายของเส้นที่อยู่ห่างกันไม่เกิน 30 พิกเซลเข้าด้วยกัน ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นเซตของเส้นตรงที่ต้องการ อย่างไรก็ตามก็ยังมีบางเส้นที่เอียงจากแนวที่ควรจะเป็นมากเกินไปหรือสั้นเกินไป ผู้วิจัยจึงทำการกรองเส้นที่ไม่ต้องการออกไป โดยกำหนดว่าเส้นตรงที่สนใจนั้นจะต้องทำมุมเอียงจากแนวระดับมากกว่า 85 องศาแต่ไม่เกิน 95 องศา และกำหนดความยาวขั้นต่ำของเส้นที่สกัดได้ไว้ที่ 20% ของความสูงภาพ สุดท้ายแล้วจะได้ข้อมูลเส้นสองมิติที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้า

2.2 การคำนวณโครงสร้างสามมิติด้วยเอสเอฟเอ็ม

อีกขั้นตอนหนึ่งที่จะต้องทำคือ การนำข้อมูลภาพถ่ายมาวิเคราะห์เพื่อแปลงข้อมูลภาพสองมิติให้เป็นข้อมูลสามมิติ ด้วยเทคนิคเอสเอฟเอ็ม โดยจะเริ่มจากการสกัดฟีเจอร์ (feature) และจับคู่จุดสมนัย (correspondences) ในแต่ละคู่ภาพด้วยวิธีซิฟท์ (scale-invariant feature transform : SIFT) (Lowe, 2004) เมื่อจับคู่จุดสมนัยของทุกคู่ภาพแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณโครงสร้าง (structure) แบบสามมิติ โดยโครงสร้างนี้จะประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับกล้อง เช่น ความยาวโฟกัส, สัมประสิทธิ์ของความบิดเบี้ยวของเลนส์, ตำแหน่ง และการเอียงตัวของกล้อง นอกจากนี้โครงสร้างที่ได้นี้จะรวมถึงจุดสามมิติที่ได้จากการแปลงจุดสมนัยที่จับคู่ได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์จากการคำนวณหาโครงสร้างที่ได้นั้นจะเป็นค่าโดยประมาณ และมีความคลาดเคลื่อนปรากฏให้เห็นอยู่เสมอ ดังนั้นในระหว่างการคำนวณจะมีการปรับแก้แบบกลุ่ม (bundle adjustment) เพื่อปรับแก้โครงสร้างที่คำนวณได้ให้มีความคลาดเคลื่อนการฉายกลับรวมมีค่าน้อยที่สุด (Triggs et al., 2000) โดยงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการปรับแก้แบบกลุ่มห่าง (sparse bundle adjustment : SBA) (Lourakis and Argyros, 2009) หรือเอสพีเอ ซึ่งประยุกต์อัลกอริทึมการปรับละเอียดไม่เชิงเส้นเอสเอ็ม (Levenberg–Marquardt algorithm : LM) เข้ากับการปรับแก้แบบกลุ่มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการกับเมทริกซ์มากเลขศูนย์ โดยได้เรียกใช้เอสพีเอจากคลังคำสั่งพีบีเอ (parallele bundle adjustment : PBA) (Wu et al., 2011) ซึ่งได้เพิ่มประสิทธิภาพการหาผลเฉลยโดยปรับการประมวลผลจากซีพียูไปทำงานบนจีพียู ซึ่งสามารถแก้ระบบสมการขนาดใหญ่เช่นนี้โดยใช้การประมวลผลแบบขนานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถทำให้ความแม่นยำของตัวเลขแบบความเที่ยงหนึ่งเท่า (single-precision) นั้นเทียบเคียงกับการใช้ตัวเลขแบบความเที่ยงสองเท่า (double-precision) ได้หากใช้การนอร์มัลไลซ์ที่เหมาะสม ซึ่งการคำนวณนี้จะช่วยลดได้ทั้งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและพื้นที่ในหน่วยความจำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคเอสเอฟเอ็มนั้นจะเป็นโครงสร้างสามมิติซึ่งอยู่ในกรอบอ้างอิงสัมพัทธ์ (relative frame) เทียบกับกล้องแรกที่ใช้ในการคำนวณโครงสร้าง ขั้นตอนต่อไปคือการปรับยึดกับโลก (geo-registration) เพื่อแปลงโครงสร้างนี้ให้มีพิกัดอยู่ในระบบยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator : UTM) ซึ่งเป็นระบบพิกัดที่ใช้ในการทำแผนที่โดยทั่วไป การปรับยึดทำโดยสร้างระบบสมการของการแปลงระหว่างศูนย์กลางกล้องจากเอสเอฟเอ็มกับศูนย์กลางกล้องจากไอเอ็นเอ็นเอส ร่วมกับการใช้เทคนิคเอสวีดีเพื่อหาการแปลงที่เหมาะสม แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณเมทริกซ์การแปลงภาวะคล้าย (similarity transformation) อย่างไรก็ตามค่าของ R ที่ได้นี้อาจจะไม่ใช่อารมณ์จริงที่

ต้องการ แต่เป็นภาพสะท้อน (reflection) ของการหมุนนั้น ดังนั้นจะหาการสะท้อนนี้โดยการคำนวณค่าดิเทอร์มิแนนต์ของ R เพื่อดูว่าเป็น -1 หรือไม่ หากพบว่าเป็น -1 เราจะปรับแก้ R ให้ถูกต้องได้โดยการคูณคอลัมน์ที่สามของ R ด้วย -1 ท้ายที่สุดจึงนำเมทริกซ์การแปลงที่ได้นี้ไปแปลงตำแหน่งโครงสร้างให้อยู่ในระบบยูทิลิตี้ต่อไป

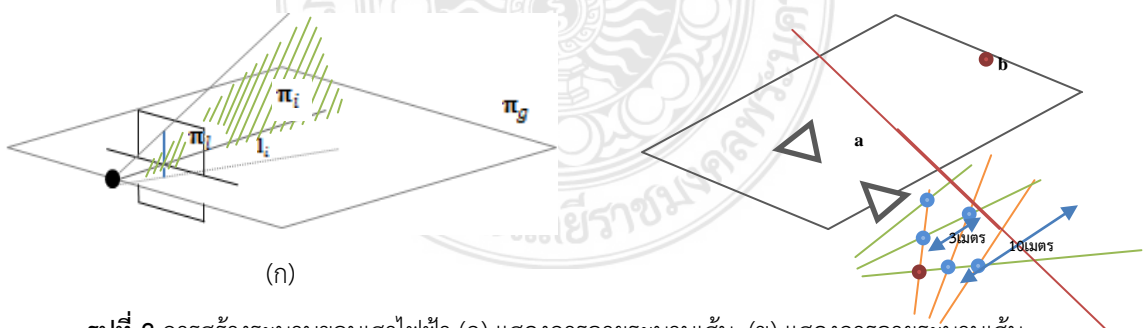
2.3 การสร้างแผนที่ความหนาแน่นของจุด

หลังจากได้ข้อมูลจุดสามมิติจากเทคนิคเอสเอฟเอ็มแล้ว จึงทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้า โดยอาศัยแนวคิดที่ได้จากการสังเกตว่าจุดสามมิติที่ซึ่งเป็นภาพของเสาไฟฟ้านั้นมักจะอยู่รวมกันหนาแน่นในบริเวณเดียวกันมากกว่าจุดสามมิติจากส่วนอื่น ๆ ของภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคำนวณหาความหนาแน่นของจุดสามมิติเหล่านี้ด้วยการสร้างตารางกริดให้คลุมขอบเขตของจุดสามมิติบนระนาบพื้น และกำหนดขนาดเซลล์เป็น 1.0 เมตร หลังจากนั้นจึงนับจำนวนจุดสามมิติที่อยู่ในแต่ละเซลล์แล้วบันทึกใส่ในแผนที่ความหนาแน่น $dmap$ ที่จะบอกถึงความหนาแน่นของจุดสามมิติที่น่าจะเป็นมีโอกาสเป็นเสาไฟฟ้า ขั้นตอนต่อมาจึงนำข้อมูลความหนาแน่น $dmap$ มาวิเคราะห์หาเซลล์ที่มีความหนาแน่นมาก ๆ โดยกำหนดให้สกัดเอาเซลล์ที่มีจำนวนจุดสามมิติมากกว่า 40 จุดมาสร้างเป็นแผนที่เสาไฟฟ้า map_p ซึ่งก็คือพิกัดที่เราคาดว่าจะจะเป็นตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ได้จากจุดสามมิตินั้นเอง

2.4 การสร้างแผนที่ความหนาแน่นของจุดจากข้อมูลสองมิติ

ในการทำงานเดียวกับหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเราได้ข้อมูลเส้นขอบที่มีโอกาสที่จะเป็นเสาไฟฟ้าแล้วในแต่ละภาพจากการแปลงฮัฟแล้ว เราจะทำการวิเคราะห์และจับคู่เส้นขอบเหล่านี้ในทุก ๆ คู่ภาพ เพื่อกรองเส้นที่ไม่ใช่ทิ้งไปและเพื่อเป็นการแปลงข้อมูลเส้นขอบสองมิติให้เป็นเส้นตรงสามมิติ ซึ่งจะทำด้วยวิธีที่แสดงในรูปที่ 2 (ก) โดยเราจะฉายเส้นตรง l_i แต่ละเส้นในแต่ละภาพให้กลายเป็นระนาบสามมิติ π_i หลังจากนั้นจึงคำนวณการตัดกันระหว่างระนาบ π_i นี้กับระนาบพื้น π_a เราจะได้ผลลัพธ์เป็นเส้นตรงสองมิติบนระนาบพื้น l_i และเมื่อได้เซตของเส้นตรงสองมิติบนระนาบพื้นของทุก ๆ เส้นในทุก ๆ ภาพแล้วจึงวิเคราะห์หาพิกัดที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้าจากการตัดกันของเส้นตรงสองมิติเหล่านี้ โดยการหาว่าเส้นเหล่านี้ตัดกันที่จุดใดบ้าง อย่างไรก็ตามจุดตัดที่ได้อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่ถูกต้องทั้งหมด บางจุดอาจจะอยู่ใกล้หรือไกลจากกล้องมากเกินไป เช่น จุด a และจุด b ในรูปที่ 2 (ข) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้สนใจเฉพาะจุดตัดที่อยู่ห่างจากกล้องตั้งแต่ 3 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตรเท่านั้น หลังจากได้จุดตัดทั้งหมดแล้วจึงสร้างเป็นแผนที่เสาไฟฟ้า

map_k



รูปที่ 2 การสร้างระนาบขอบเสาไฟฟ้า (ก) แสดงการฉายระนาบเส้น, (ข) แสดงการฉายระนาบเส้น

2.5 ตรวจสอบข้อมูลเสาไฟฟ้า

ขั้นตอนสุดท้ายจึงเป็นการนำข้อมูล map_k (รูปที่ 3 (ก)) ที่ได้จากการวิเคราะห์เส้นที่สกัดได้จากการแปลงฮัฟและข้อมูล map_p (รูปที่ 3 (ข)) ที่ได้จากการเทคนิคเอสเอฟเอ็มมาวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เป็นเสาไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งทำได้โดยการกรองเอาเฉพาะเซลล์ที่มีค่าเหมือนกันทั้งสองชุดเพื่อสร้างเป็นข้อมูลแผนที่เสาไฟฟ้า map (รูปที่ 3 (ค))



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3 ตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่สกัดได้ในแต่ละขั้นตอน (ก) map_k , (ข) map_p , (ค) map

จากรูปที่ 3 (ค) นำข้อมูลจุดที่ได้จากทั้งสองส่วนนั้นมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยจะแบ่งจุดออกเป็นสี่ คือ สีเขียว จะเป็นข้อมูลที่ได้จาก map_k และสีชมพูแรกจะเป็นข้อมูลที่ได้จาก map_p เพื่อหาจุดที่ซ้อนทับกัน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ภาพถ่ายที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากกล้อง SONY รุ่น MHS-FS3K ถ่ายเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2556 บริเวณ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี (รูปที่ 4 (ก)) ซึ่งได้ภาพทั้งหมดจำนวน 248 ภาพ รวมเป็นระยะทางประมาณ 550 เมตร (รูปที่ 4 (ข))



(ก)

(ข)

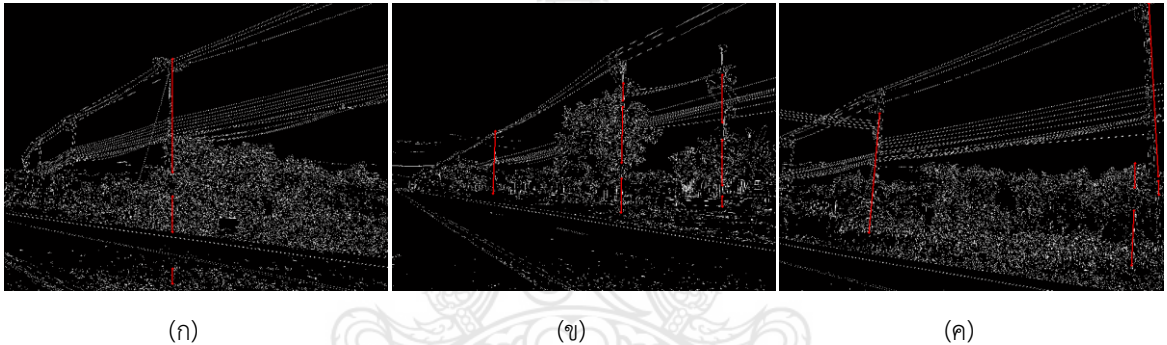
รูปที่ 4 พื้นที่ศึกษา

3.1 ผลการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลภาพเหล่านี้มาสกัดหาเส้นตรงด้วยการแปลงฮัฟ โดยการเขียนโปรแกรมบน MATLAB จะได้ผลลัพธ์ตามที่แสดงในรูปที่ 5 และ 6



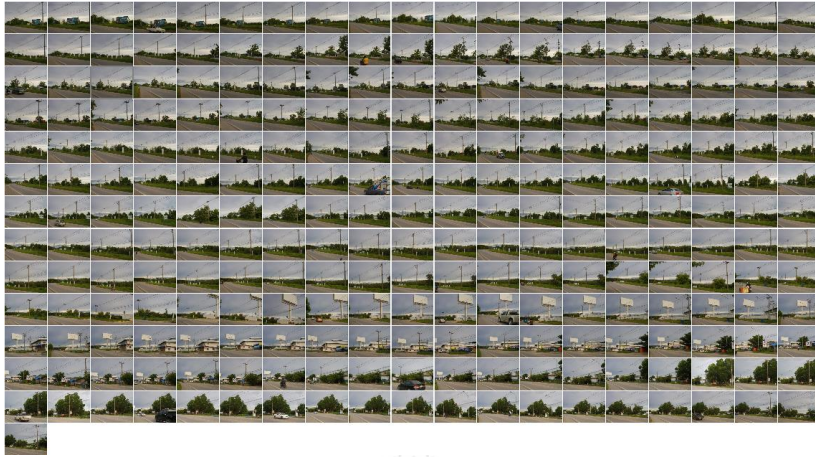
รูปที่ 5 ข้อมูลภาพถ่าย (ก) ภาพนำเข้า, (ข) ภาพระดับสีเทา, (ค) ภาพหาขอบด้วยแคนนี่, (ง) ภาพการแปลงฮัฟ
จากรูปที่ 5 เมื่อนำเข้าข้อมูลภาพสี (ก) แล้วแปลงภาพให้เป็นภาพระดับสีเทา (ข) จากนั้นทำการคำนวณหา
ภาพขอบภาพ (ค) ด้วยวิธีของแคนนี่ จะเห็นว่าข้อมูลขอบที่ได้นั้นจะไม่ใช่เพียงเสาไฟฟ้าอย่างเดียว จึงจะต้งนำวิธีการ
แปลงฮัฟ มาช่วยในการตรวจสอบเสาไฟฟ้า (ง) โดยเฉลี่ยแล้วพบว่าเราสามารถสกัดเส้นตรงที่คาดว่าจะเป็เสาไฟฟ้า
ในแต่ละภาพได้ประมาณ 3 เส้น



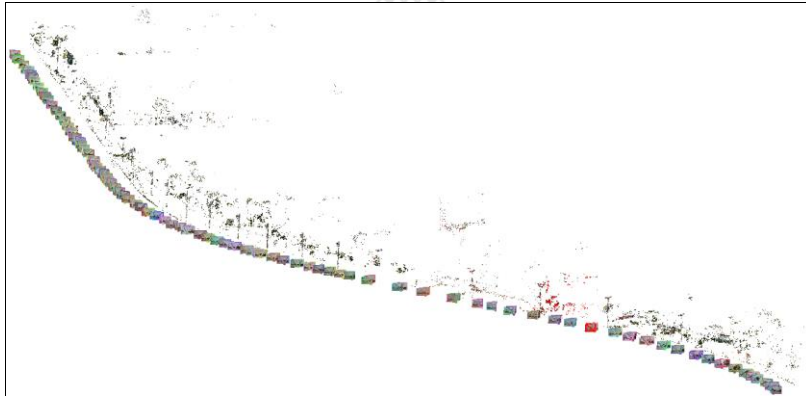
รูปที่ 6 การหาเส้นตรงด้วยการแปลงฮัฟ

รูปที่ 6 แสดงการสกัดเส้นตรงด้วยการแปลงฮัฟ จะเห็นว่าผลที่ได้ของรูป (ก) จะสกัดได้เพียงเสาเดียว แต่บาง
รูปอาจจะพบได้เสาไฟฟ้าที่มากกว่า 1 ต้น เช่นรูป (ข) และในบางกรณี เช่นรูป (ค) เราอาจจะสกัดได้ทั้งที่เป็นเสาไฟฟ้า
และไม่เป็นเสาไฟฟ้า

สำหรับการขั้นตอนถัดมาเป็นการนำข้อมูลภาพมาจับคู่เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นจุดสามมิติ ซึ่งทำโดยใช้
โปรแกรมประยุกต์วีซวลเอสเอฟเอ็ม (VisualSFM) (Wu, 2012) เพื่อแปลงภาพอินพุตจำนวน 248 ภาพให้เป็น
โครงสร้างสามมิติตามที่แสดงในรูปที่ 8



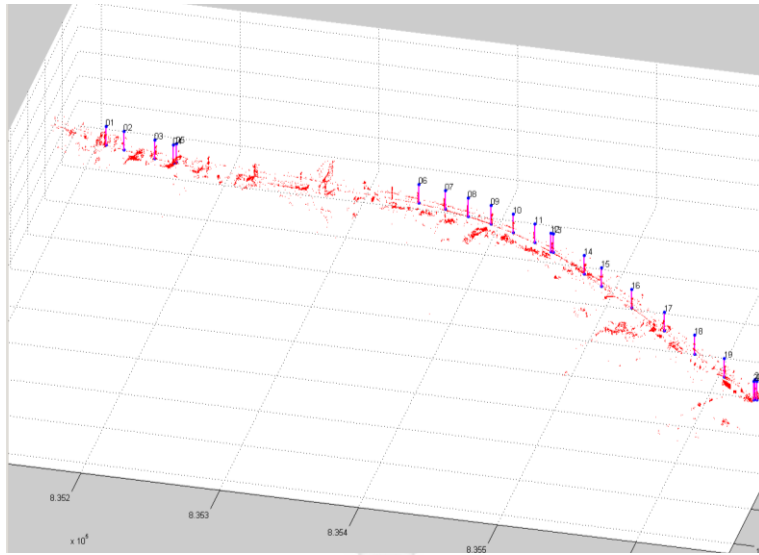
รูปที่ 7 ข้อมูลภาพถ่ายทั้งหมด



รูปที่ 8 โครงสร้างสามมิติของกล้องที่นำมาเรียงต่อกันเพื่อสร้างข้อมูลจุดสามมิติ

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้แสดงในรูปที่ 8 โดยแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งกล้อง และข้อมูลจุดสามมิติที่คำนวณจากเทคนิคเอสเอฟเอ็ม

จากนั้นจะนำข้อมูลจุดของ map_k และข้อมูลจุด map_p ที่หาได้จากความหนาแน่นของจุดจากขั้นตอนต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาหาจุดที่มีเหมือนกัน เพื่อกรองนำจุดที่มีเหมือนกันสร้างเป็นข้อมูล map ใหม่เป็นข้อมูลเสาไฟฟ้าตามรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงข้อมูลจำลองเสาไฟฟ้า

รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งของเสาไฟฟ้าที่สกัดได้ จากการวิเคราะห์แผนที่ map_p และ map_k โดยในภาพจะแสดงเสาไฟฟ้าที่สกัดได้เป็นจำนวน 23 ต้น ซึ่งบางต้นอาจจะมีตำแหน่งที่ใกล้กันจนเกินไป ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาเสาไฟฟ้าที่อยู่ใกล้มาก ๆ หลังจากนั้นจึงคำนวณตำแหน่งเฉลี่ยของเสาไฟฟ้านั้นขึ้นมาใหม่

3.2 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

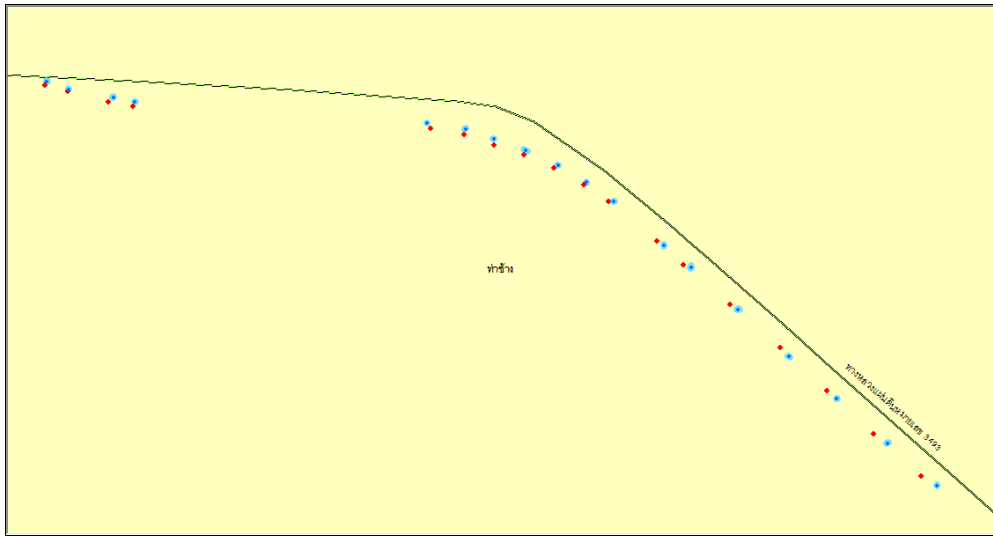
การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่คำนวณได้ ทำโดยการคำนวณระยะทางคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ได้จากวิธีที่เสนอ เทียบกับตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งและความคลาดเคลื่อน

ผลการคำนวณ (เมตร)		จุดควบคุมภาคพื้นดิน (เมตร)		ความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
E	N	E	N	D_E	D_N	ค่าความคลาดเคลื่อน
835125.44	1395807.40	835126.84	1395809.48	-1.40	-2.08	2.51
835139.44	1395803.40	835139.89	1395804.83	-0.45	-1.43	1.50
835163.44	1395797.40	835166.61	1395799.96	-3.17	-2.56	4.07
835178.44	1395794.40	835179.78	1395797.04	-1.34	-2.64	2.96
835357.44	1395781.40	835355.18	1395784.33	2.26	-2.93	3.70
835377.44	1395777.40	835378.32	1395780.95	-0.88	-3.55	3.66
835395.44	1395771.40	835395.25	1395775.15	0.19	-3.75	3.75
835413.44	1395765.40	835414.48	1395768.06	-1.04	-2.66	2.86
835431.44	1395757.40	835433.83	1395758.99	-2.39	-1.59	2.87
835449.44	1395747.40	835450.90	1395748.82	-1.46	-1.42	2.04
835464.44	1395737.40	835467.48	1395737.19	-3.04	0.21	3.05
835493.44	1395713.40	835497.59	1395711.03	-4.15	2.37	4.78
835509.44	1395699.40	835513.81	1395697.67	-4.37	1.73	4.70
835537.44	1395675.40	835542.16	1395672.44	-4.72	2.96	5.57
835567.44	1395649.40	835572.67	1395644.16	-5.23	5.24	7.40
835595.44	1395623.40	835601.40	1395618.72	-5.96	4.68	7.58
835623.44	1395597.40	835631.86	1395592.06	-8.42	5.34	9.97
835652.11	1395572.07	835661.77	1395566.54	-9.66	5.53	11.13
ความคลาดเคลื่อนรวม				-3.07	0.19	4.67

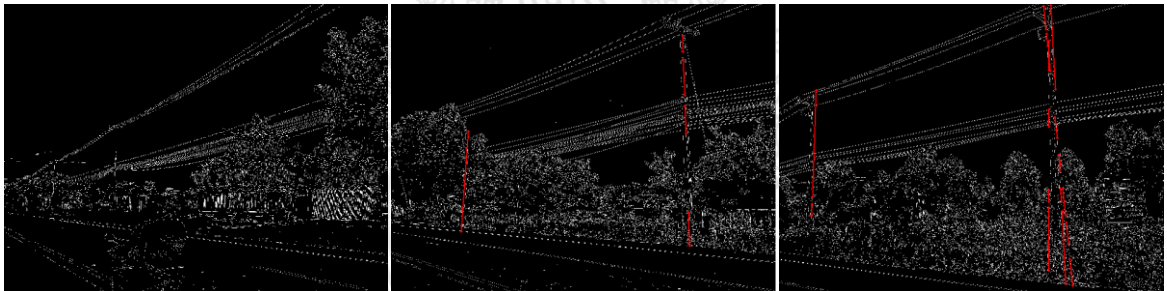
จากตารางนี้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 11.13 เมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 1.50 เมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาเฉลี่ยที่ 4.67 เมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 เมตร เมื่อพิจารณาร่วมกับรูปที่ 11 แล้วจะเห็นว่าตำแหน่งเสาไฟฟ้านั้นเคลื่อนออกไปมากในช่วงการถ่ายทำฯ ซึ่งอาจจะเกิดจากวิธีการถ่ายภาพ และมุมมองของภาพทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมาก

อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนบางส่วนนั้นอาจจะมีผลมาจากการวิธีการบันทึกตำแหน่งของเสาไฟฟ้าของผู้ทำวิจัย เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถเข้าไปใกล้กับเสาไฟฟ้าแต่ละต้นได้ จึงอาจจะทำให้ตำแหน่งที่บันทึกนั้นคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งเสาไฟฟ้า

ข้อมูลเสาไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนเพิ่มออกไปมากขึ้นในช่วงท้ายของการถ่ายภาพ เช่น บริเวณด้านขวาของรูปที่ 10 ซึ่งอาจเกิดจากวิธีการถ่ายภาพ และมุมมองของภาพตามที่กล่าวมาแล้ว ส่วนข้อมูลเสาไฟฟ้า (จุดสีฟ้า ในรูปที่ 10) เป็นข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากการบันทึกเสาละ 5 จุด แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย จะเห็นว่าตำแหน่งนั้นจะไม่อยู่ตรงกันเสมอไปเพราะเครื่องมือมีความคลาดเคลื่อนดังกล่าว



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 11 ปัญหาการสกัดขอบด้วยการแปลงฮัฟ (ก) สกัดขอบไม่ได้, (ข) สกัดได้เส้นสั้นเกินไป, (ค) สกัดได้เส้นสั้นที่ไม่ต่อเนื่อง

ปัญหาอีกประการหนึ่ง อาจเกิดจากการสกัดหาขอบด้วยการแปลงฮัฟ ดังรูปที่ 11 บางภาพอาจจะสกัดขอบไม่ได้เลย (ก), บางภาพสกัดขอบได้แต่จะได้เส้นตรงที่สั้นเกิน (ข) และบางภาพสกัดขอบได้เส้นสั้นๆ ที่ไม่ต่อเนื่อง (ค) ทำให้ข้อมูลส่วนนี้จะไม่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ เพราะข้อมูลที่ได้ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

4. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดการจัดทำแผนที่เสาไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยเราจะนำข้อมูลภาพมาแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการหาขอบเสาไฟฟ้าด้วยการแปลงฮัฟ แต่ด้วยเนื่องจากบางภาพไม่สามารถสกัดขอบเสาไฟฟ้าได้ ทำให้ต้องมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนจะนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในระนาบพื้นและหาจุดตัดของแต่ละกล้อง ส่วนที่สองเป็นการนำจุดสามมิติมาหาความหนาแน่น เพื่อหาตำแหน่งที่น่าจะเป็นเสาไฟฟ้าจาก

ข้อมูลสามมิตินี้ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกันทั้งสองส่วนเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้นั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งประมาณ 4.67 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

5. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำการทำแผนที่เสาไฟแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคนิคเอสเอฟเอ็มในครั้งนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการสนับสนุนจาก อาจารย์คัมภีร์ ชีระเวช อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำปรึกษา คำชี้แนะต่างๆ รวมถึงทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหา และขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้การช่วยเหลือทางด้านต่างๆ จึงทำให้งานวิจัยครั้งนี้ผ่านได้อย่างราบรื่น

6. เอกสารอ้างอิง

- Lourakis, M. and Argyros, A. 2009. SBA: A Software Package for Generic Sparse Bundle Adjustment. **ACM Transactions on Mathematical Software**. 36 (1): 1-30.
- Lowe, D.G.2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. **International Journal of Computer Vision**. 60 (2): 91-110.
- Snavely, N., Seitz, S.M. and Szeliski, R. 2008. Modeling the World from Internet Photo Collections **International Journal of Computer Vision**. 80 (2): 189-210.
- Teeravech, K.2009. **Reconstruction of a 3D Building Model from Uncalibrated Images**. Master theses, Asian Institute of Technology.
- Triggs, B., MacLauchlan, P.F., Hartlet, R.I. and Fitzgibbon, A.W. 2000. Bundle Adjustment - A Modern Synthesis. In **Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms: Theory and Practice**. Triggs, B., Zisserman, A. and Szeliski, R., Eds. Springer-Verlag. Pp. 298-372.
- Wu, C., Agarwal, S., Curless, B. and Seitz, S.M. 2011. Multicore bundle adjustment. **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'11)**. Pp.3057-3064
- Wu, C. **VisualSFM : A Visual Structure from Motion System**. [Online]. Available: <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>. 2012.