



ระบบเฝ้าสังเกตและวิเคราะห์การเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้โดรนสังเกตการณ์

อริสรา เกษมจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
วรัญญา อรรถเสนา* พิเชษฐ สืบสายพรหม และ จูติพงษ์ สติระเมธิกุล

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 3435 1897 อีเมล: varunya.a@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.001

รับเมื่อ 5 เมษายน 2564 แก้ไขเมื่อ 17 มิถุนายน 2564 ตอรับเมื่อ 14 กรกฎาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 3 ตุลาคม 2565

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

อ้อยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล การสำรวจแปลงอ้อยจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของต้นอ้อยในแปลงอ้อย ดังนั้นจึงมีการใช้โดรนสังเกตการณ์ติดกล้องเพื่อทำการสำรวจแปลงอ้อยในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อถ่ายภาพ และวิเคราะห์ภาพของแปลงอ้อยที่ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ซึ่งการสังเกตด้วยตาเปล่าอาจทำได้ยากและไม่ทั่วถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนหน้าและส่วนหลัง สำหรับส่วนหน้าจะเป็นเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนสำหรับเป็นส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ซึ่งใช้ในการรับภาพถ่ายจากโดรน และแสดงผลการวิเคราะห์การประมวลผลภาพ โดยจะรับส่งข้อมูลและภาพกับส่วนหลังผ่านทาง Firebase Realtime Database และ Firebase Cloud Storage ในส่วนหลังจะประกอบด้วยโปรแกรมคำนวณโดยใช้ MATLAB บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์และที่เก็บข้อมูลบนคลาวด์ของ Firebase โมเดลสี HSV และ YCbCr รวมทั้งอัลกอริทึม Otsu Thresholding ถูกใช้สำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล จากนั้น ใช้สคริปต์ Isgreen สำหรับการแยกสีเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวของภาพแปลงอ้อย ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงเป็นกราฟบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้จะช่วยให้ผู้ใช้ หรือเกษตรกรสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวต้นอ้อยได้ จากการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันพบว่า สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.46 และจากการทดสอบการประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม MATLAB โดยใช้ชุดข้อมูลปกติและไม่ปกติ (โดยการหมุนภาพ) พบว่า โปรแกรมสามารถแยกชนิดของพืชได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.89 และ 93.85 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพดิจิทัล คลาวด์ โดรน แปลงอ้อย เว็บแอปพลิเคชัน

การอ้างอิงบทความ: อริสรา เกษมจิตร, วรัญญา อรรถเสนา, พิเชษฐ สืบสายพรหม และ จูติพงษ์ สติระเมธิกุล, “ระบบเฝ้าสังเกตและวิเคราะห์การเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้โดรนสังเกตการณ์,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 493–505, เม.ย.–มิ.ย. 2566.



Monitoring and Analysis System of Sugarcane Growth Using Observation Drone

Arissara Kasemjit

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand

Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/MHESI), Bangkok, Thailand

Varunya Attasena*, Pichet Suebsaiprom and Thitipong Satiramatekul

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand

Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/MHESI), Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 3435 1897, E-mail: varunya.a@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.001

Received 5 April 2021; Revised 17 June 2021; Accepted 14 July 2021; Published online: 3 October 2022

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Sugarcane is one of the important economic crops of Thailand and generally used as a raw material for sugar industry. The survey of sugarcane field indicates the changes of sugarcane plants in sugarcane field. Therefore, the observation drone with camera is used for survey sugarcane field in hard-to-reach areas. This research is developed to take and analyze images of sugarcane field covering a wide area that cannot be observed thoroughly. The developed system consists of two parts: front-end part and back-end part. The front-end part contains a web application on smartphone for user interface which is used to take the images from drone and show the results of image processing analysis. Data and images are transferred to the back-end part via Firebase Realtime Database and Firebase Cloud Storage. The back-end part includes a computational program using MATLAB on server and data storage on Firebase Cloud. HSV and YCbCr color models and also Otsu Thresholding algorithm are used for digital image processing. Then `Isgreen` script is used for color separation to calculate the percentage of a green color of sugarcane field images. The results are displayed in graph on the web application. These help users or farmers make a decision about the right time for harvesting sugarcane. From the functional test of the web application, it was found that 98.46% of the test was correct. Moreover, based on the image processing test via MATLAB using normal and non-normal data sets (by rotating the images), it was found that the program was able to correctly distinguish 98.89% and 93.85% of the plant species respectively.

Keywords: Digital Image Processing, Cloud, Drone, Sugarcane Field, Web Application

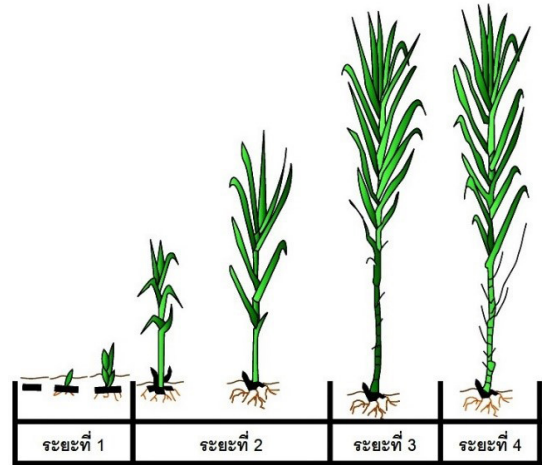
Please cite this article as: A. Kasemjit, V. Attasena, P. Suebsaiprom, and T. Satiramatekul, "Monitoring and analysis system of sugarcane growth using observation drone," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 493–505, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

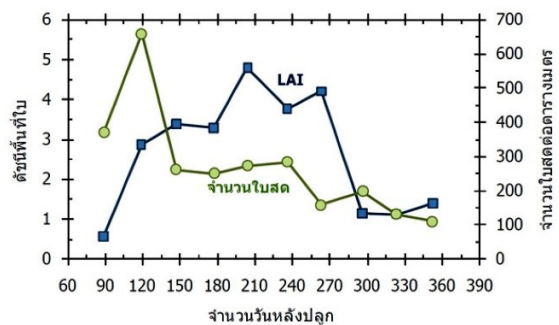
เกษตรกรรมเป็นอาชีพพื้นฐานของคนไทยมาทุกยุคทุกสมัย ประชากรส่วนใหญ่อยู่ในภาคการเกษตร การพัฒนาการเกษตรจึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญของการพัฒนาประเทศมาโดยตลอด ซึ่งอ้อยก็จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมน้ำตาล และเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป นอกจากนี้ อ้อยยังจัดเป็นพืชพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่มีการนำไปสกัดเป็นแอลกอฮอล์แล้วนำมาผสมกับน้ำมันเป็นแก๊สโซฮอล์เพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [1] ดังนั้น การสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการสำรวจแปลงอ้อยนั้น จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงในการเจริญเติบโตของต้นอ้อยได้ ประกอบกับในยุคปัจจุบัน โดรน (Drone) หรืออากาศยานไร้คนขับ (UAV) ได้เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้โดรนบินสำรวจพื้นที่ทางการเกษตรหรือพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ เป็นต้น นอกจากนี้โดรนยังมีความสามารถในการถ่ายภาพหรือเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลภาพ (Image Processing) หรือวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ต่อไปได้ [2], [3]

ระยะการเจริญเติบโตของอ้อยแสดงดังรูปที่ 1 โดยทั่วไปมี 4 ระยะคือ ระยะที่ 1 การงอกของตาอ้อย (Germination & Establishment) หลังจากที่เราเสร็จสิ้นการเพาะปลูกแล้ว จะเริ่มจาก 1 วัน หลังปลูก จนถึง 60 วัน ระยะที่ 2 การแตกกออ้อย (Tillering) จะเริ่มจาก 60 วัน หลังปลูก จนถึง 150 วัน ระยะที่ 3 การเจริญเติบโตของลำต้นอ้อย (Grand Growth) จะเริ่มจาก 150 วัน หลังปลูก จนถึง 240 วัน ระยะที่ 4 อ้อยโตเต็มที่หรืออ้อยสุก (Maturing & Ripening) จะเริ่มจาก 240 วัน หลังปลูก จนถึง 360 วัน โดยการสังเคราะห์น้ำตาล และการสะสมตัวอย่างรวดเร็วของน้ำตาลจะเกิดขึ้นในระยะนี้ [4]

ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index หรือ LAI) คือ ค่าการเจริญเติบโตของใบทั้งหมดเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว การวัดความเจริญเติบโตของใบนิยมวัดโดยวิธีเปรียบเทียบกับพื้นที่ใบกับพื้นที่ดินซึ่งใบเหล่านั้นปกคลุมอยู่ หรืออาจจะวัดเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบต่อพื้นที่ดิน [5] ในระยะแรกของการเจริญเติบโต



รูปที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย [4]



รูปที่ 2 ดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละอายุของอ้อย [5]

ใบอ้อยจะมีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อย ประกอบกับการปลูกแบบเว้นระยะห่าง ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่ออ้อยมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ใบมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีจำนวนมากขึ้น แต่พื้นที่ดินมีขนาดคงที่ ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าถ้าเอาใบอ้อยทั้งหมดในขณะนั้นมาเรียงต่อกันก็จะเท่ากับพื้นที่ดินซึ่งใบเหล่านั้นคลุมอยู่พอดี เมื่อปล่อยให้อ้อยมีการเจริญเติบโตต่อไป พื้นที่ใบอ้อยก็จะเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ดัชนีพื้นที่ใบมีค่ามากกว่า 1 และค่านี้อาจเพิ่มต่อไปจนกระทั่งสูงสุดเมื่ออ้อยมีอายุประมาณ 6-8 เดือน หลังจากนั้นก็จะค่อยๆ ลดลงจนกว่าจะถึงเวลาเก็บเกี่ยวอ้อย ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งดัชนีพื้นที่ใบจะมีค่าสูงสุดประมาณ 3.0-7.8 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อยและสภาพแวดล้อมที่ปลูกอ้อย [6]

โดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) คือ เครื่องบินที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 แนวแกน โดยมี 4 ใบพัดวางพาดกันเป็นกากบาท โดยใบพัดทั้ง 4 นั้นจะเป็นอิสระต่อกัน ประกอบไปด้วย Auto Pilot ที่ใช้ในการสั่งการโดรน รวมไปถึงการขอข้อมูลสถานะต่างๆ ของโดรนจากตัวอ่านค่าพิกัดตำแหน่ง GPS และบาร์โอมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดระดับความสูงและการลงจอด ในปัจจุบันนิยมนำโดรนมาประยุกต์ใช้ในการเก็บภาพถ่ายจากมุมสูงเพื่อใช้ในงานต่างๆ

โมเดลสี HSV หรือ HSB เป็นระบบสีที่นิยมใช้กันในห้องนักแต่งภาพ เนื่องจากเป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับความคิดของคนมากกว่าระบบสี RGB โดย Hue คือ ค่าสีของภาพ Saturation คือ ปริมาณความอิ่มตัวของสี หากมีค่ามากจะทำให้ภาพมีสีสด หากมีค่าน้อยจะทำให้สีของภาพจางลงจนในที่สุดจะกลายเป็นภาพสีเทา (Grayscale) และ Value หรือ Brightness เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความสว่างของภาพ หากมีค่ามากภาพจะยิ่งมีความสว่างมากนั่นเอง [7], [8] โมเดลสี HSV สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ดังสมการที่ (1)-(4)

$$V = \max(R, G, B) \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{if } V = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} 60 \times \left[\frac{G - B}{S \times V} \right] & \text{if } V = R \\ 60 \times \left[\frac{B - R}{S \times V} \right] + 120 & \text{if } V = G \\ 60 \times \left[\frac{R - G}{S \times V} \right] + 240 & \text{if } V = B \\ 0 & \text{if } V = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$H = H + 360 \text{ if } H < 0 \quad (4)$$

ส่วนโมเดลสี YCbCr เป็นหนึ่งในระบบสีที่นำมาใช้ใน

ระบบสัญญาณภาพดิจิทัล ความแตกต่างของ YCbCr กับ RGB คือระบบสี YCbCr จะแบ่งข้อมูลของจุดภาพตามการรับรู้ของประสาทตาของคน โดยจะแยกข้อมูลความสว่างออกจากข้อมูลความต่างของสี นั่นคือใช้องค์ประกอบ Y เป็นค่าความสว่าง Cb คือ ค่าความแตกต่างระหว่างสีน้ำเงินกับค่าความสว่าง หรือสีน้ำเงินที่ตัดความสว่างออกไป (B-Y) และ Cr คือค่าความแตกต่างระหว่างสีแดงกับค่าความสว่าง หรือสีแดงที่ตัดความสว่างออกไป (R-Y) ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างสีเขียวกับค่าความสว่าง Cg หรือสีเขียวที่ตัดความสว่างออกไป (G-Y) นั้น ไม่จำเป็นต้องเก็บค่า เนื่องจากว่าค่าของ Cb + Cr + Cg มีค่าคงที่ ดังนั้นหากทราบค่า Cb และ Cr ก็สามารถหาค่า Cg ได้ [9] หากต้องการแปลงจากระบบสี RGB เป็น YCbCr สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (5)-(7)

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (5)$$

$$Cb = -0.169 \times R - 0.331 \times G + 0.5 \times B + 128 \quad (6)$$

$$Cr = 0.5 \times R - 0.419 \times G - 0.081 \times B + 128 \quad (7)$$

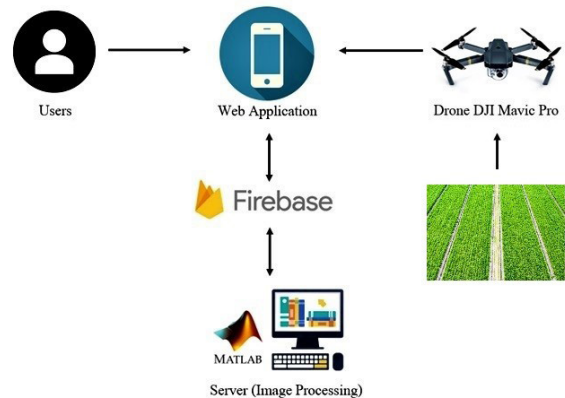
เทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) เป็นการพิจารณาว่าจุดภาพ หรือพิกเซลใดควรเป็นจุดสีขาวหรือจุดสีดำ ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงค่าหนึ่งที่ใช้แยกประเภทของจุดภาพ [10] สำหรับอัลกอริทึม Otsu Thresholding จะเกี่ยวข้องกับค่าขีดแบ่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดและเป็นการคำนวณการกระจายในระดับพิกเซลแต่ละด้านของค่าขีดแบ่ง ตัวอย่างเช่น พิกเซลที่อยู่ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เป้าหมายของ Otsu คือ การหาค่าขีดแบ่งที่การกระจายของผลบวกระหว่างด้านหน้าและด้านหลังอยู่ที่ค่าต่ำสุด [11]

การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering) คือ การนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเพิ่ม (Enhance) หรือการลด (Attenuate)

คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

Firebase คือ Platform ที่รวบรวมเครื่องมือต่างๆ สำหรับการจัดการในส่วนของ Back-End หรือ Server Side ซึ่งทำให้สามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายของการวิเคราะห์ข้อมูลอีกด้วย Firebase Realtime Database เป็น NoSQL Cloud Database ที่เก็บข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Data) [12], [13] ในรูปแบบของ JavaScript Object Notation หรือ JSON และมีการ Sync ข้อมูลแบบ Realtime กับทุกอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อแบบอัตโนมัติในเวลารวดเร็ว รองรับการทำงานเมื่อ Offline (ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ใน Local จนกระทั่งกลับมา Online ก็จะมีการ Sync ข้อมูลให้แบบอัตโนมัติ) และยังสามารถออกแบบเงื่อนไขในการเข้าถึงข้อมูลทั้งการอ่าน (Read) และการเขียน (Write) ได้ทั้งบน Android, iOS และ Web นอกจากนี้ยังมี Firebase Cloud Storage สำหรับใช้ในการเก็บไฟล์รูปภาพที่ถูกอัปโหลดมาจากเว็บแอปพลิเคชันอีกด้วย [14]

งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นโดยใช้โดรนสังเกตการณ์ติดกล้องเพื่อทำการสำรวจแปลงปลูกอ้อยในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนหน้า (Front-End) และส่วนหลัง (Back-End) สำหรับส่วนหน้าจะเป็นเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนสำหรับเป็นส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ซึ่งใช้ในการรับภาพถ่ายจากโดรนและแสดงผลการวิเคราะห์การประมวลผลภาพ ในส่วนหลังจะประกอบด้วยโปรแกรมคำนวณโดยใช้ MATLAB บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์และที่เก็บข้อมูลบนคลาวด์ Firebase สำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัลจะใช้โมเดลสี HSV หรือ YCbCr และใช้อัลกอริทึม Otsu Thresholding สำหรับกระบวนการแยกวัตถุออกมาจากพื้นหลัง (Image Segmentation) จากนั้นใช้สคริปต์ Isgreen สำหรับการแยกสีเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวของภาพแปลงอ้อย ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้ช่วยให้ผู้ใช้หรือเกษตรกรสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมที่จะสามารถเก็บเกี่ยวต้นอ้อยได้ ทำให้ประหยัดเวลา ช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้ยัง



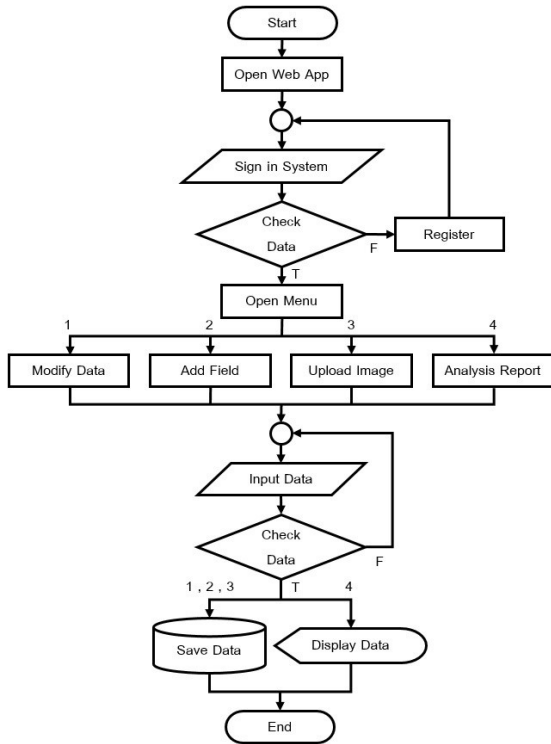
รูปที่ 3 ภาพรวมของระบบ

สามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ไปใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละระยะหรือการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เพื่อเป็นการป้องกันและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

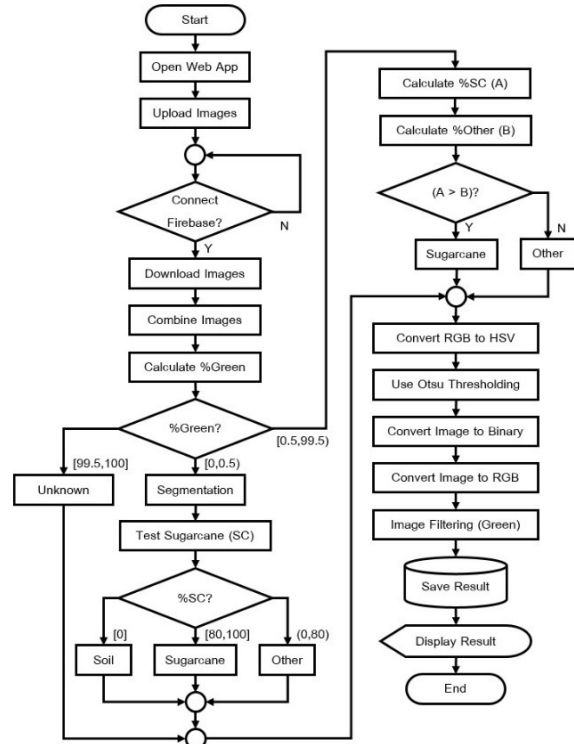
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

จากภาพรวมของระบบดังรูปที่ 3 ผู้ใช้ต้องเข้าระบบผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยต้องกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้และข้อมูลของแปลงอ้อยที่ต้องการจะนำภาพไปวิเคราะห์ ผู้ใช้สามารถอัปโหลดภาพถ่ายแปลงอ้อยจากโดรนสังเกตการณ์ DJI Mavic Pro (ขนาดเส้นทแยงมุมรวมใบพัด 335 มิลลิเมตร น้ำหนักรวมแบตเตอรี่ 743 กรัม ความละเอียดของกล้อง 12.7 ล้านพิกเซล ความเร็วสูงสุด 65 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ไปเก็บไว้ที่คลาวด์ของ Firebase และดาวน์โหลดภาพกลับมาเพื่อทำการประมวลผลภาพบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยใช้ MATLAB เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเก็บไว้ที่คลาวด์ของ Firebase เพื่อส่งไปแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนของผู้ใช้ต่อไป ซึ่งในการทดสอบระบบจะใช้แปลงทดลองปลูกอ้อยของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ขนาด 6 ไร่ และแปลงทดลองปลูกอ้อยของฝ่ายเครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ ขนาด 5 ไร่ ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระบบที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นประกอบด้วยสอง



(ก) ระบบส่วนหน้า



(ข) ระบบส่วนหลัง

รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ส่วนคือส่วนหน้าและส่วนหลัง ขั้นตอนการทำงานของระบบ ส่วนหน้าและส่วนหลังแสดงด้วย Flowchart Diagram ดังรูปที่ 4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

สำหรับระบบส่วนหน้า ผู้ใช้หรือเกษตรกรต้องทำการเปิดเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนแล้วล็อกอินเข้าระบบหรือลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานระบบเสียก่อน เมื่อเข้าสู่ระบบแล้วจะแสดงหน้าเมนูหลักซึ่งประกอบด้วย การแก้ไขข้อมูลส่วนตัว การเพิ่มไร่ย่อย/แปลงย่อย การอัปโหลดภาพเพื่อนำไปประมวลผลภาพ และการรายงานผล

ข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ ข้อมูลของไร่ย่อย/แปลงย่อย ภาพแปลงย่อย จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนคลาวด์ของ Firebase ผู้ใช้สามารถเรียกดู เพิ่ม/ลบ หรือแก้ไขข้อมูลในส่วนของตัวเองได้ทุกที่ทุกเวลา ส่วนการรายงานผลนั้น จะแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟสีทึบในการเข้าใช้งานระบบมีอยู่สองระดับ คือ ผู้ดูแลระบบ

และผู้ใช้ทั่วไป สำหรับผู้ดูแลระบบจะสามารถเรียกดู เพิ่ม/ลบ หรือแก้ไขข้อมูลทั้งในส่วนของตัวเองและในส่วนของผู้ใช้ทุกคนได้

สำหรับระบบส่วนหลัง เมื่อผู้ใช้เปิดเว็บแอปพลิเคชันและทำการอัปโหลดภาพไปยัง Firebase แล้ว โปรแกรมคำนวณ MATLAB บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์จะดาวน์โหลดภาพจากคลาวด์ของ Firebase และทำการต่อภาพตามตำแหน่งที่รับมาให้เป็นภาพเดียว จากนั้นจะนำภาพดังกล่าวไปทำการประมวลผลภาพ

โดยเริ่มจากการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังเพื่อทำการหาชนิดของวัตถุว่าเป็น พื้นดิน ต้นอ้อย หรือพืชชนิดอื่น และทำการตัดขอบหญาออกด้วยการแปลงภาพจากภาพสี RGB ให้เป็นภาพสี HSV หรือ YCbCr จากนั้นใช้อัลกอริทึม Otsu Thresholding และการแปลงภาพสีเทาเป็นภาพขาวดำหรือภาพไบนารี (Binary) [15] หลังจากนั้นแปลงภาพเป็นภาพสี

RGB อีกครั้งเพื่อให้เหลือเฉพาะต้นพืชเท่านั้น แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวในภาพด้วยการกรองภาพโดยใช้สคริปต์ Isgreen ให้แสดงแค่ภาพที่มีสีเขียวเท่านั้น ทำได้โดยการกำหนดตัวกรอง Greenness เพื่อระบุพิกเซลสีเขียว ดังสมการที่ (8)

$$Greenness = G \times (G - R) \times (G - B) \quad (8)$$

สมการนี้จะทำให้สามารถแยกสีเขียวได้ดีขึ้น เนื่องจากตัดสีเขียวออกจากสีแดงและสีน้ำเงิน และเมื่อทำค่าขีดแบ่งอย่างง่ายโดยพิจารณาจากค่าความเป็นสีเขียวโดยไม่สนใจค่าลบ จะได้สมการใหม่ดังสมการที่ (9), (10)

$$Threshold = 0.3 \times mean(Greenness > 0) \quad (9)$$

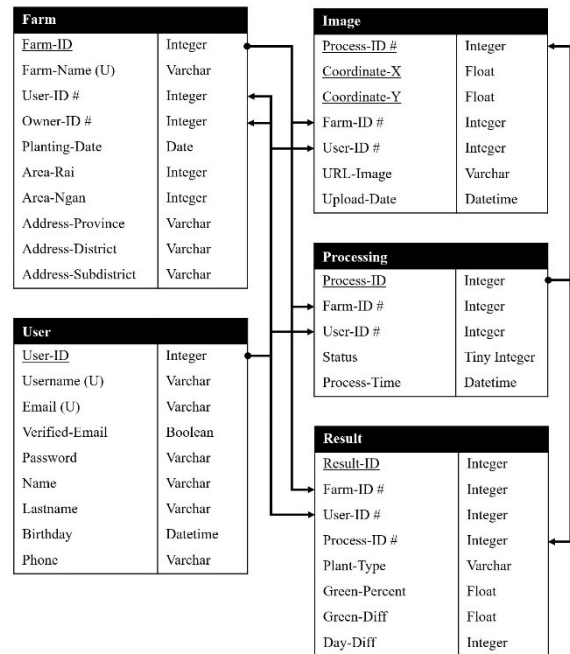
$$Isgreen = Greenness > Threshold \quad (10)$$

ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่ตรวจจับเฉพาะสีเขียว [16] สำหรับการหาช่วงเปอร์เซ็นต์ของอ้อยที่ควรจะเป็น จะใช้การตรวจสอบภาพโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (Domain Expert)

จากนั้นส่งผลการวิเคราะห์ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนคลาวด์ของ Firebase เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเรียกดูผลลัพธ์ไปแสดงบนหน้าเว็บแอปพลิเคชันต่อไป ในส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลของระบบนั้น จะใช้ตารางทั้งหมด 5 ตาราง ได้แก่ ตาราง User ใช้ในการเก็บข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ ตาราง Farm ใช้ในการเก็บข้อมูลของฟาร์มหรือไร่อ้อย ตาราง Image ใช้ในการเก็บข้อมูลของภาพแปลงอ้อย ส่วนตาราง Processing และตาราง Result จะใช้ในการประมวลผลภาพและเก็บผลลัพธ์ที่ได้ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแสดงด้วย ER Diagram ดังรูปที่ 5 ซึ่งสามารถแปลงจาก Relational Database เป็น NoSQL Database [17]

3. ผลการทดลอง

ผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือการบินโดรนเพื่อเก็บภาพแปลงอ้อย การทดสอบการทำงานของเว็บ

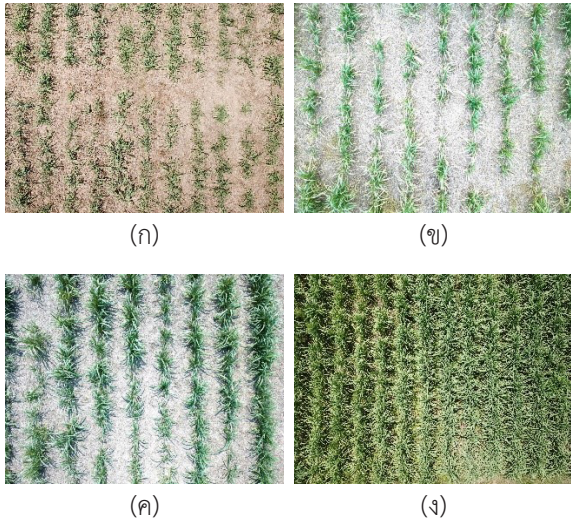


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในฐานข้อมูล

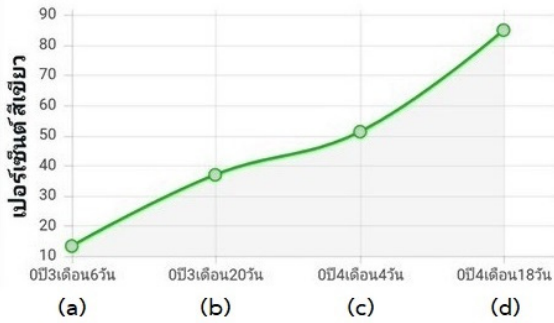


รูปที่ 6 โดรนขณะทำการบินสำรวจแปลงอ้อยจริง

แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน การจัดการฐานข้อมูลบนคลาวด์ของ Firebase และการประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม MATLAB ในการเก็บภาพแปลงอ้อยนั้น ใช้โดรน DJI Mavic Pro บินสำรวจแปลงทดลองปลูกอ้อยที่ระดับความสูงประมาณ 10-15 เมตร ในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงแดด ดังรูปที่ 6 ซึ่งได้ทำการบินโดรนเก็บภาพแปลงอ้อยจำนวน 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์ และเลือกเก็บภาพการเจริญเติบโตของอ้อยในระยะที่ 2 เพื่อใช้ในการทดสอบระบบ เพราะสามารถ



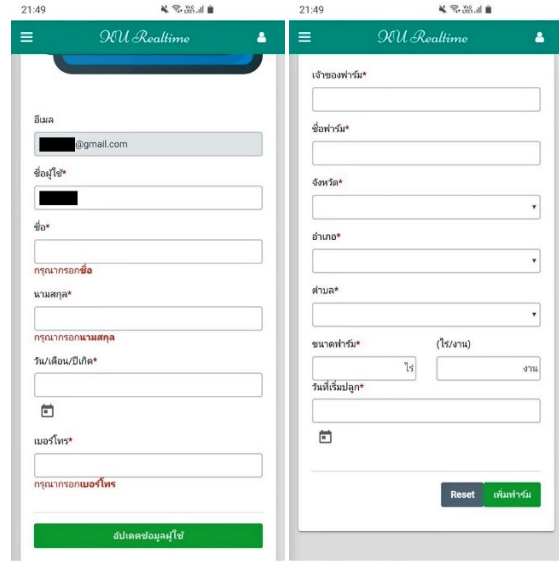
รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพแปลงอ้อยที่ถ่ายจากโดรน



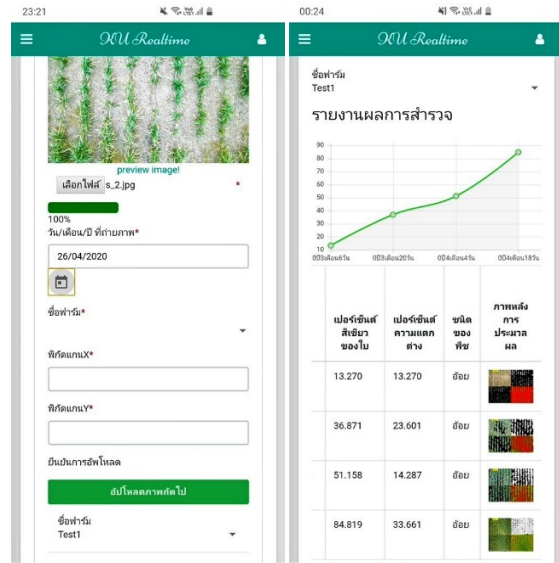
รูปที่ 8 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากผลการวิเคราะห์

มองเห็นการเจริญเติบโตของอ้อยได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างภาพแปลงอ้อยและผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยแกนตั้งของกราฟในรูปที่ 8 คือค่าเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวของใบอ้อยในรูปที่ 7

เมื่อเปิดเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนจะปรากฏหน้า Sign in ซึ่งผู้ใช้จะต้องกรอกข้อมูลอีเมลและรหัสผ่าน หรือทำการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานระบบ เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว จะปรากฏเมนูการทำงาน 4 เมนู คือ เมนูแก้ไขข้อมูลส่วนตัว ดังรูปที่ 9 (ก) ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการอัปเดตข้อมูลของผู้ใช้ได้ เมนูเพิ่มฟาร์ม ดังรูปที่ 9 (ข) ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการเพิ่มข้อมูลของฟาร์มหรือไร่อ้อยได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำการแก้ไขหรือลบข้อมูลของฟาร์มหรือไร่อ้อยได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ เมนู



(ก) (ข)



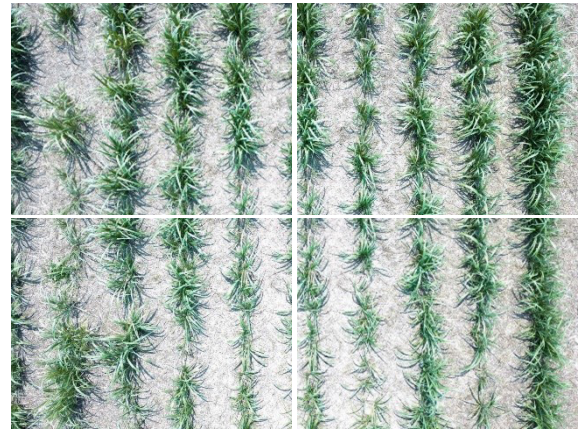
(ค) (ง)

รูปที่ 9 เมนูการทำงานของระบบ

อัปโหลดภาพ ดังรูปที่ 9 (ค) ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการอัปโหลดภาพแปลงอ้อยไปยังคลาวด์ของ Firebase โดยผู้ใช้ต้องระบุพิกัดแกน X และแกน Y ของภาพที่อัปโหลดด้วย เมื่อผู้ใช้กดที่ปุ่มประมวลผลภาพ ระบบจะนำภาพที่อัปโหลดทั้งหมดไปประมวลผลภาพบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์และนำผลลัพธ์ที่ได้มา

เก็บไว้ที่คลาวด์ของ Firebase เมินูรายงานผลการสำรวจ ดังรูปที่ 9 (ง) ซึ่งจะแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวของใบอ้อย ต่อพื้นที่ดิน รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวที่เพิ่มขึ้นจากเดิม (เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสีเขียว) และระยะเวลาในการปลูกเป็นจำนวนวัน เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ใช้หรือเกษตรกรนำไป ใช้ในการตัดสินใจว่าถึงเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการเก็บเกี่ยว ต้นอ้อยแล้วหรือยัง โดยผู้ใช้สามารถเลือกฟาร์มหรือไร่อ้อยที่ต้องการจะดูผลการวิเคราะห์ได้อีกด้วย เมื่อทำการทดสอบ การทำงานของแต่ละฟังก์ชันของแอปพลิเคชันจำนวน 13 ฟังก์ชัน โดยทดสอบฟังก์ชันละ 10 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่า สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.46 (ถูกต้อง 128 ครั้ง จากทั้งหมด 130 ครั้ง) และการทำงานตั้งแต่กดปุ่ม ประมวลผลภาพจนได้กราฟรายงานผลใช้เวลาไม่ถึง 1 วินาที

การใช้งานคลาวด์ของ Firebase จะใช้งานแพ็คเกจ Spark ซึ่งเป็นแพ็คเกจฟรี โดยมีพื้นที่ในการใช้งานสำหรับ เก็บข้อมูล (Storage) 5 กิกะไบต์ ซึ่งสามารถเก็บรูปภาพได้ ประมาณ 2,500 ภาพ มี Bandwidth 1 กิกะไบต์ต่อวัน และมี Authentication ที่สามารถเก็บข้อมูลของผู้ใช้ได้ 10,000 Users ต่อเดือน นอกจากนี้ยังสามารถรองรับการเชื่อมต่อฐานข้อมูล พร้อมๆ กันของผู้ใช้ได้ถึง 100 Connections ผลการทดสอบ การอัปโหลดและการดาวน์โหลดข้อมูลและรูปภาพพบว่า สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก แปลงทดลองปลูกอ้อยทั้งแปลงมีขนาดใหญ่มาก จึงจำเป็นต้อง นำภาพของแปลงย่อยมาเรียงต่อกันแบบเมทริกซ์ การทดสอบ การประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม MATLAB บนเครื่อง เซิร์ฟเวอร์ จะใช้ภาพแปลงอ้อยที่ใบอ้อยมีขนาดและปริมาณที่ แตกต่างกันจำนวน 4 ชุด ได้ผลการทดสอบดังนี้ การต่อภาพ ของแปลงอ้อยแบบ 2×2 (4 ส่วน) และแบบ 3×3 (9 ส่วน) ได้ภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องทั้งสองแบบ ดังรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ การวิเคราะห์ภาพจะนำตัวอย่างภาพมา ทำการวิเคราะห์โดยใช้โมเดลที่ต่างกันในการแปลง ภาพจำนวน 6 วิธี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ถ้าค่า เปอร์เซ็นต์ของสีเขียว (%G) อยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ของอ้อย ที่ควรจะเป็น (%SC) ผลลัพธ์จะเป็น T แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วง



(ง)



(ข)

รูปที่ 10 ตัวอย่างการต่อภาพของแปลงอ้อยแบบ 2×2

ดังกล่าว ผลลัพธ์จะเป็น F ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการแยกสีเขียว (Green) กับวิธีการแยกสีเขียวและสีแดง (Green & Red) ของภาพให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด

การตัดขอบของแปลงออกจากภาพแปลงอ้อย ซึ่งขอบ ของแปลงอาจจะเป็นดินหรือหญ้า ถ้าเป็นหญ้าที่มีสีเขียวก็ อาจส่งผลกระทบต่อเมื่อทำการแยกสีเขียวของภาพ จึงต้อง ทำการตัดขอบของแปลงออกเสียก่อนที่จะไปคำนวณหาค่า เปอร์เซ็นต์ของสีเขียวด้วยการแปลงภาพให้เป็น HSV และใช้ อัลกอริทึม Otsu Thresholding โดยพบว่า โปรแกรมสามารถ ทำการตัดขอบของแปลงที่เป็นดิน และหญ้าที่มีสีเขียวอ่อนกว่า สีเขียวของใบอ้อยได้ ดังรูปที่ 12 โดยรูปที่ 12 (ก) เป็นภาพ ก่อนที่จะตัดขอบ และรูปที่ 12 (ข) เป็นภาพหลังจากที่ตัดขอบ



(ก)

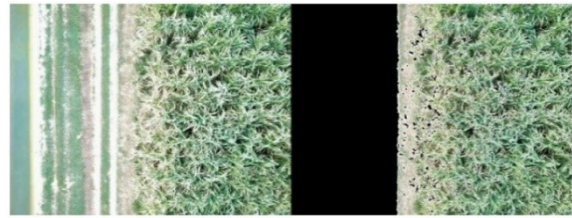


(ข)

รูปที่ 11 ตัวอย่างการต่อภาพของแปลงอ้อยแบบ 3 x 3

ออกแล้ว ซึ่งทำให้การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

เนื่องจากภาพที่ถ่ายจากโดรนอาจเป็นพืชชนิดอื่นที่ไม่ใช่อ้อย จึงต้องทำการแยกชนิดของพืช ในการทดสอบจะใช้ภาพแปลงอ้อยและภาพสวนปาล์มเป็นพืชชนิดอื่น โดยใช้ชุดข้อมูลสำหรับสอน (Training Set) เป็นภาพแปลงอ้อยจำนวน 160 ภาพ และภาพสวนปาล์มจำนวน 128 ภาพ และใช้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Set) เป็นภาพแปลงอ้อยจำนวน 140 ภาพ ภาพสวนปาล์มจำนวน 30 ภาพ และภาพพื้นดินจำนวน 10 ภาพ ผลการทดสอบพบว่า โปรแกรมสามารถแยกชนิดของพืชได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.89



(ก)

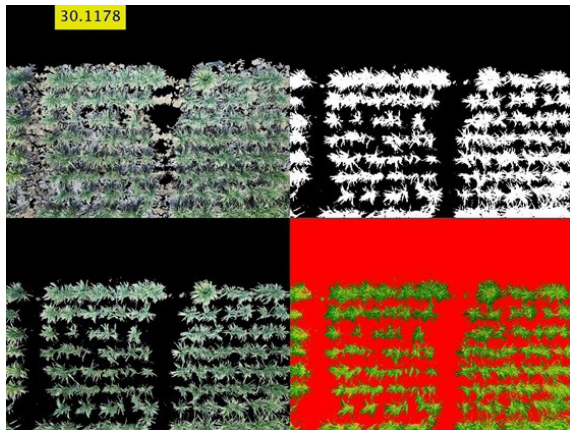
(ข)

รูปที่ 12 ตัวอย่างภาพก่อนตัดและหลังตัดขอบ

(ถูกต้อง 178 ภาพ จากทั้งหมด 180 ภาพ) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของภาพแปลงอ้อยและภาพสวนปาล์ม แสดงดังรูปที่ 13 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยที่ภาพซ้ายบนและล่างเป็นภาพสี RGB ก่อนและหลังการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังตามลำดับ ส่วนภาพขวาบนเป็นภาพไบนารี และภาพขวาล่างเป็นภาพที่ตรวจจับเฉพาะสีเขียว ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวที่คำนวณได้แสดงในแถบสีเหลืองทางด้านซ้ายบน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบโมเดลสีและอัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลภาพ

Method	%SC = 0%		%SC = 5-35%	
	%G	Result	%G	Result
Original & Otsu	57.934	F	69.594	F
Y & Otsu	57.861	F	70.349	F
Cb & Otsu	7.140	F	0.010	F
Cr & Otsu	49.644	F	52.829	F
Green	33.042	F	8.808	T
Green & Red	0.002	T	16.825	T
Method	%SC = 35-65%		%SC = 65-95%	
	%G	Result	%G	Result
Original & Otsu	54.103	T	50.140	F
Y & Otsu	54.117	T	50.138	F
Cb & Otsu	0.364	F	0.007	F
Cr & Otsu	12.961	F	6.011	F
Green	58.176	T	80.806	T
Green & Red	67.366	F	78.711	T



(ก)



(ข)

รูปที่ 13 ตัวอย่างการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม

เนื่องจากภาพที่ถ่ายจากโดรนอาจไม่ตรงหรือเกิดการเอียงขึ้น จึงได้ทำการทดสอบโดยการหมุนภาพทีละ 5 องศาจาก 0 องศา จนถึง 90 องศา แล้วนำไปประมวลผลภาพโดยใช้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบเป็นภาพแปลงอ้อยจำนวน 30 ภาพ และภาพสวนปาล์มจำนวน 17 ภาพ ผลการทดสอบพบว่า โปรแกรมสามารถแยกชนิดของพืชได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 93.85 (ถูกต้อง 794 ภาพจากทั้งหมด 846 ภาพ)

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยในแปลงทดลองของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดย

ใช้โดรนสังเกตการณ์บิน เพื่อถ่ายภาพมุมสูงแล้วอัปโหลดไปเก็บไว้บนคลาวด์ของ Firebase และนำไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์จะนำมาแสดงเป็นกราฟที่บอกถึงค่าเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวของใบอ้อยในภาพ จากผลการวิจัยดังรูปที่ 8 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีพื้นที่ใบสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยในระยะที่ 2 ดังกราฟในรูปที่ 2 นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดสอบโมเดลสีและอัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลภาพดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยการแยกสีเขียวออกจากภาพให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และในกรณีที่ถ่ายภาพติดขอบแปลงจะต้องทำการตัดขอบแปลงออกเสียก่อนแล้วค่อยไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของสีเขียวเพื่อความถูกต้องแม่นยำ ผลการวิเคราะห์นี้จะช่วยให้ผู้ใช้หรือเกษตรกรสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวต้นอ้อยได้ ทำให้ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตให้แก่เกษตรกร ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และจำนวนภาพถ่ายแปลงอ้อยที่น้อยเกินไป ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของอ้อยเฉพาะในระยะที่ 2 เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยในขั้นต่อไปจะทำการทดสอบให้ครบทุกระยะการเจริญเติบโตของอ้อยเพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องได้ รวมทั้งการเพิ่มจำนวนภาพของชุดข้อมูลสำหรับสอนและสำหรับทดสอบเพื่อความถูกต้องแม่นยำอีกด้วย นอกจากนี้จะทำการทดสอบกับพืชชนิดอื่น เช่น ต้นปาล์ม เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นต่อไป ซึ่งในอนาคตหากผู้ต้องการพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลจำนวนมากขึ้นก็อาจจะเปลี่ยนแพ็คเกจในการใช้งานคลาวด์ของ Firebase ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ สามารถต่อยอดงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์การเกิดโรคในอ้อยหรือพืชชนิดอื่นได้ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมได้โดยการใช้ AI หรือ Deep Learning

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง



กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบคุณ ภัทรภร แสงประสิทธิ์, ชัชจิรา จันทระประภา และ สมฤดี ผลเจริญ นิสิตระดับปริญญาตรีของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Usaborisut and T. Niyamapa, "Effects of machine-induced soil compaction on growth and yield of sugarcane," *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 269–273, 2010.
- [2] D. Murugan, A. Garg, and D. Singh, "Development of an adaptive approach for precision agriculture monitoring with drone and satellite data," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 12, pp. 5322–5328, 2017.
- [3] T. Duan, S. C. Chapman, Y. Guo, and B. Zheng, "Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle," *Field Crops Research*, vol. 210, pp. 71–80, 2017.
- [4] B. Wiedenfeld, J. Enciso, G. Fipps, and J. Robinson, "Irrigation of sugarcane in Texas," Texas Cooperative Extension, TX, Rep. B-6156, 2005.
- [5] P. Khunsanit and S. Yingjajaval, "Biomass of sugarcane cv. K95-84," *Agricultural Science Journal*, vol. 42, no. 3, pp. 485–493, 2011 (in Thai).
- [6] H. Lin, J. Chen, Z. Pei, S. Zhang, and X. Hu, "Monitoring sugarcane growth using ENVISAT ASAR data," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, no. 8, pp. 2572–2580, 2009.
- [7] Y. Guan, Q. Zhang, X. Zhang, Y. Jia, and S. Wang, "A study of color image segmentation based on stochastic expectation maximization algorithm in HSV model," in *Proceedings of 2006 International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics (ISSCAA)*, Harbin, China, 2006, pp. 1198–1200.
- [8] G. Saravanan, G. Yamuna, and S. Nandhini, "Real time implementation of RGB to HSV/HSI/ HSL and its reverse color space models," in *Proceedings of 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, 2016, pp. 0462–0466.
- [9] S. Midha, R. Vijay, and S. Kumari, "Analysis of RGB and YCbCr color spaces using wavelet transform," in *Proceedings of 2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, Gurgaon, India, 2014, pp. 1004–1007.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed., Pearson Prentice Hall, NJ, 2008, ch. 10, pp. 738–741.
- [11] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.
- [12] A. Davoudian, L. Chen, and M. Liu, "A survey on NoSQL stores," *ACM Computing Surveys*, vol. 51, no. 2, 2018, Art. no. 40.
- [13] A. Oussous, F.-Z. Benjelloun, A. A. Lahcen, and S. Belfkih, "Big data technologies: A survey," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, no. 4, pp. 431–448, 2018.
- [14] M. Srilatha, C. Abhinav, M. Balaram, and



- A. Sanjana, "Smart monitoring and collection of garbage system using internet of things," in *Proceedings of 2021 International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, Tirunelveli, India, 2021, pp. 335–342.
- [15] Q. Su, *Color Image Watermarking*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin, Germany, 2017, ch. 3, pp. 54–55.
- [16] S. Eddins. It ain't easy seeing green (unless you have MATLAB). *MathWorks*. [Online]. Available: <https://blogs.mathworks.com/steve/2014/08/12>
- [17] M. J. Mior, K. Salem, A. Aboulnaga, and R. Liu, "NoSE: Schema design for NoSQL applications," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, no. 10, pp. 2275–2289, 2017.