

ระบบเก็บข้อมูลจากแปลงเกษตรกรรม

A Data Collection System from Agricultural Fields

นฤตม์ สุนทรานนท์ พันธุ์ดี ตั้งพัฒนากุล ภาณุ เศรษฐเสถียร และ ปรีสาร รักวาทิน

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

120 ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติฯ (อาคาร B) ม.3 ถ.แจ้งวัฒนะ หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

Email: nurut@gistda.or.th; panwadee@gistda.or.th; panu@gistda.or.th; preesan@gistda.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจากแปลงเกษตรกรรม โดยการเก็บข้อมูลจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Field server ซึ่งปัจจุบันมีติดตั้งแล้ว จำนวน 24 สถานี ครอบคลุมทั่วประเทศ อุปกรณ์แต่ละสถานี ถูกเชื่อมต่อเข้ามายังเครื่องแม่ข่ายส่วนกลางผ่านเครือข่ายสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลที่บันทึกได้จะถูกส่งมายังเครื่องแม่ข่ายทุกๆ 30 นาที ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยผ่านบริการแบบเว็บ ข้อมูลที่บันทึก แบ่งเป็นสองประเภท คือ รูปภาพรายวันและข้อมูลสภาพอากาศตรวจวัดทุกห้านาที ข้อมูลตัวอย่างจากแปลงข้าวถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาระบบในอนาคต โดยใช้การประมวลผลภาพ ทำให้สามารถติดตามสถานะของแปลงข้าว ทราบถึงวันเริ่มต้นและสิ้นสุดของรอบการเพาะปลูกได้ การหาค่าผลทางสถิติของอุณหภูมิและค่าความชื้นในดินสำหรับแต่ละช่วงเพาะปลูกถูกนำมาอภิปราย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้สร้างแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ผลผลิตรายแปลงต่อไป

คำสำคัญ: ระบบติดตามแปลงเกษตรกรรม การประมวลผลภาพ นาข้าว field server

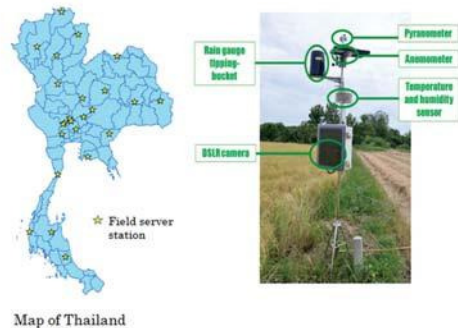
Abstract

The paper proposes an analysis of data obtained from agricultural fields. The equipment used to collect the data is called field server. Recently, 24 stations of the field servers have been installed in every part of Thailand. Relying on mobile communication system, the equipments were connected to the central server. The collected data will be uploaded every 30 minutes. Users are able to access via web service. The data consists of two types: daily images and weather information measured every five minutes. The sample data obtained from a paddy is used in our preliminary study for our future exploration. Given the daily images, based on image processing techniques, each growth stage is determined for the beginning and ending of crop cycle. The weather information (temperature, soil moisture) is computed for each stage. In the future, the data will be able to use for developing a model of yield estimation.

Keywords: agricultural monitoring system, image processing, paddy, field server

1. บทนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตทางเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ได้แก่ ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมีการแข่งขันการส่งออกสูง ในอุตสาหกรรมการเกษตร จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องสร้างความเชื่อมั่นแก่คู่ค้าและผู้บริโภค การนำเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตในอุตสาหกรรมเกษตรของไทย จะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการจัดการที่มีความสามารถสูง ซึ่งสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลจากแปลงเพาะปลูก การนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทราบถึงผลผลิต ณ เวลานั้นๆ รวมทั้งการคาดการณ์ผลผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีกด้วย

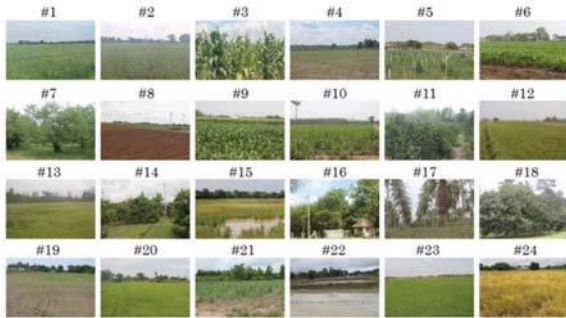


รูปที่ 1 สถานี Field server ถูกติดตั้งครอบคลุมทั่วประเทศ

ระบบเก็บข้อมูลแปลงเกษตรกรรม เริ่มดำเนินการโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (สทอภ.) ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ในช่วงเริ่มต้น มีการติดตั้งอุปกรณ์ Field server จำนวน 4 สถานี ประกอบไปด้วย แปลงข้าว 3 สถานี และ ไร่มันสำปะหลัง 1 สถานี ณ ปัจจุบันมี Field server 24 สถานี ถูกติดตั้งครอบคลุมทั่วประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1 มีความหลากหลายของแปลงเพาะปลูก ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด มะขาม มะพร้าว หน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น รูปภาพที่ได้จาก Field server แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับการพัฒนากระบวนการ Field server หากกล่าวถึงการจัดเก็บข้อมูลจากแปลง

DS006

เกษตรกรรมแล้ว ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญของการหาอ้างอิงของข้อมูล ความละเอียดสูงในระดับแปลงเพาะปลูก ซึ่งในบทความฉบับนี้แสดง ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลจากแปลงข้าว สถานะของแปลงข้าวถูก แบ่งแยกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ค่าทางสถิติของสภาพอากาศ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิและความชื้นในดิน ถูกคำนวณสำหรับแต่ละช่วง สถานะ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของการสร้างแบบจำลอง คาดการณ์ผลผลิตความถูกต้องสูงต่อไป



รูปที่ 2 รูปภาพรายวันที่ได้จากอุปกรณ์ Field server 24 สถานี ที่ติดตั้งอยู่ทั่วประเทศ

บทความฉบับนี้ถูกเรียบเรียงดังนี้ หัวข้อที่ 2 กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จาก Field server ปัญหาที่เกิดขึ้นกับภาพถ่ายและการตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ หัวข้อที่ 4 แสดงถึงการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากแปลงข้าว วิธีการทราบถึงวันเพาะปลูกแบบอัตโนมัติ บนพื้นฐานการวิเคราะห์รูปภาพรายวัน หัวข้อที่ 5 อภิปรายสรุปผล รวมถึงแนวทางการทำงานในอนาคต

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทความฉบับนี้ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก การทำงานของ Field server และส่วนที่สอง ระบบบันทึกข้อมูลรูปภาพและสภาพอากาศที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1 การทำงานของ Field server

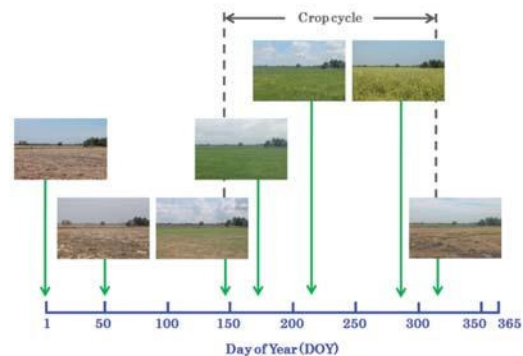
อุปกรณ์ Field server เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เพียงเฉพาะการเก็บข้อมูลจากแปลงเกษตรกรรม แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบอื่นๆ ได้ เช่น ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (climate changes) หรือฤดูกาล (seasonal changes) โดยทั่วไป อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูลจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ กล้องดิจิทัลและตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศประเภทต่างๆ คำสั่งการบันทึกภาพและค่าของสภาพอากาศที่วัดได้ในเวลาที่กำหนด จะถูกส่งผ่านหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยปกติแล้วในระบบหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วย Field server จำนวนหลายๆ ชุด ติดตั้งกระจายอยู่ทั่วบริเวณที่ต้องการบันทึกข้อมูล Field server เหล่านี้ จะมีการเชื่อมต่อกันมายังเครือข่ายส่วนกลาง โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร

โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบที่ออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่เครือข่ายส่วนกลาง ผ่านการบริการแบบเว็บ [1, 2]

2.2 ระบบบันทึกข้อมูล

ระบบบันทึกข้อมูลรูปภาพและสภาพอากาศถูกพัฒนาขึ้นและใช้ในหลายประเทศ ตัวอย่างของระบบที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น Phenological Eyes Network (PEN) [5] เป็นระบบที่มีการติดตั้งกล้องบันทึกภาพและตัวตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ อยู่ตามตำแหน่งสำคัญ ทั่วโลก หรือระบบภาคพื้นดินที่กล่าวถึงใน [9, 10] ถูกนำมาใช้ในการติดตามสถานะเพาะปลูก บนพื้นฐานของการวิเคราะห์จากรูปภาพซึ่งบันทึกในเชิงอนุกรมเวลา (time-series images) ร่วมกับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์บริเวณกว้างต่อไป ส่วนระบบ PhenoCam [6] เป็นการติดตั้งกล้องดิจิทัลแบบเว็บ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลบริเวณอเมริกาเหนือ โดยส่วนใหญ่ [8]

สำหรับระบบติดตามแปลงเกษตรกรรม รูปภาพจาก Field server บนแปลงข้าวแห่งหนึ่งในปี พ.ศ. 2556 แสดงในรูปที่ 3 ปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์รูปภาพมีความก้าวหน้าอย่างมาก จึงนำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพืช เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตโดยวัดค่าดัชนีพืชพรรณแบบ ExG [3, 4, 9] จากรูปภาพแบบสีแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) [11, 12, 13] เพื่อติดตามสถานะแปลงข้าว ได้แก่ ต้นกล้า เจริญเติบโต ออกรวง และเก็บเกี่ยวงานวิจัยใน [9] เป็นอีกหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งติดตามรอบการปลูกข้าวโดยการวัดความสูงของข้าว แต่วิธีนี้จำเป็นต้องมีมาตราส่วนอ้างอิง (เช่น ไม้มตร) บันทึกรวมอยู่ในภาพที่ถูกบันทึกมาด้วย [10]



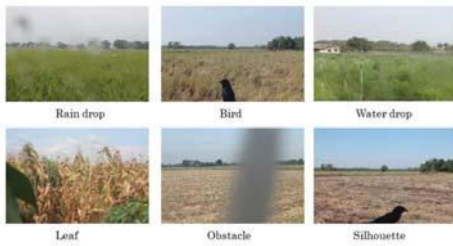
รูปที่ 3 รูปภาพจากแปลงข้าว (ประเภท นาปี สถานีที่ 4 จ. ร้อยเอ็ด) ตลอดปี พ.ศ. 2556

3. การบันทึกและเก็บข้อมูล

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ข้อมูลที่ถูกบันทึกจากแปลงเกษตรกรรม จะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ รูปภาพรายวันและข้อมูลสภาพอากาศ

3.1 รูปภาพรายวัน

กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Field server จะถูกใช้สำหรับบันทึกรูปภาพรายวัน ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของแปลงเกษตรกรรมได้ โดยกล้องจะรับคำสั่งจากหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้บันทึกภาพ ณ เวลา 10.00 น. และ 14.00 น. ของแต่ละวัน รูปภาพทั้งสอง จะถูกใช้เป็นรูปภาพสำรองของแต่ละวัน ในกรณีที่ภาพอันหนึ่งมีความผิดพลาด เนื่องจากสิ่งต่างๆ ดังนี้ ฝน เมฆมาก ความสว่างของแสงไม่พอ วัสดุที่สนุกบดบังขณะบันทึกภาพ แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 จำนวนภาพที่ถูกบันทึกจาก 4 สถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ซึ่งประกอบไปด้วย จำนวนรูปที่มีความผิดพลาดและที่สามารถนำไปใช้งานได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในกรณีของ สถานี สุพรรณบุรี 1 จะเห็นว่ามีรูปที่ผิดพลาดจำนวนมาก จากการตรวจสอบ พบว่าเนื่องจากปัญหาของระบบไฟฟ้าขัดข้องเป็นเวลาหลายวัน สำหรับสถานีอื่นๆ ซึ่งระบบไฟฟ้าสนับสนุนปกติ จะเห็นได้ว่าจำนวนภาพที่สามารถใช้งานได้มีมากกว่า 96% ถือว่าประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี

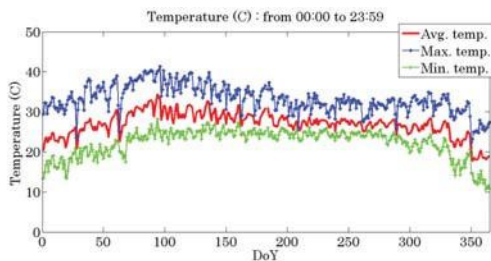


รูปที่ 4 ตัวอย่างรูปภาพที่มีความผิดพลาดที่ได้จาก Field server

ตารางที่ 1 จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดจาก Field server 4 สถานี ในช่วงปี พ.ศ. 2556

สถานี	ประเภท	จำนวนภาพที่ผิดพลาด	จำนวนภาพที่ใช้ได้ (%)	จำนวนวันที่ไม่มีภาพ
สุพรรณบุรี 1	ข้าว	115	84.25	29
สุพรรณบุรี 2	ข้าว	11	98.49	2
นครราชสีมา 3	มันสำปะหลัง	8	98.90	3
ร้อยเอ็ด 4	ข้าว	22	96.99	3

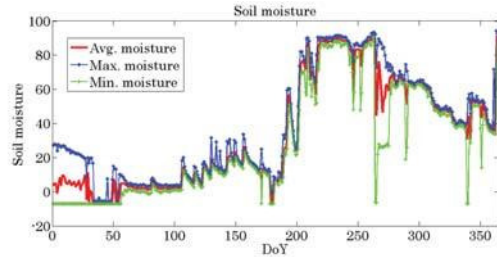
3.2 ข้อมูลสภาพอากาศ



รูปที่ 5 อุณหภูมิที่แปลงข้าวแห่งหนึ่งถูกบันทึกด้วย Field server

ในการศึกษาเบื้องต้น รูปที่ 5 และ 6 แสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของดินในรูปแบบข้อมูลทางสถิติพื้นฐาน ซึ่งเป็น 2 ตัวแปร

สำคัญ ในการประมาณการผลผลิต สำหรับข้อสังเกตข้อมูลตัวอย่างการวัดความชื้น คือ มีความผิดพลาดบางส่วน เนื่องจากคุณภาพของตัวตรวจวัดและการติดตั้งที่ไม่เสถียร ซึ่งจะได้มีการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

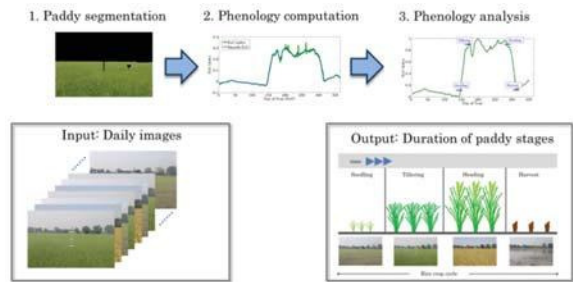


รูปที่ 6 ความชื้นของดินที่แปลงข้าวเดียวกันถูกบันทึกด้วย Field server

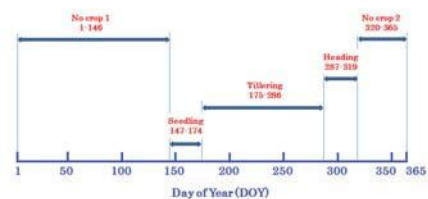
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกบันทึกในปี พ.ศ. 2556 จากสถานีแปลงข้าวที่ 4 จ. ร้อยเอ็ด การวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างแบ่งเป็น 4.1 การวิเคราะห์รูปภาพแบบอัตโนมัติ เพื่อกำหนดกรอบระยะเวลาของแปลงข้าวในแต่ละสถานะ และ 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศในเบื้องต้น สอดคล้องกับสถานะต่างๆ บนแปลงข้าว

4.1 การวิเคราะห์รูปภาพ



รูปที่ 7 แผนภาพการทำงานของกรวิเคราะห์ภาพ เพื่อกำหนดสถานะของแปลงข้าว



รูปที่ 8 ช่วงเวลาของสถานะต่างๆ ถูกกำหนดอัตโนมัติจากโปรแกรมการวิเคราะห์ภาพ ประกอบด้วย ต้นกล้า เจริญเติบโต ออกรวง และ เก็บเกี่ยว [9]

โดยการพิจารณารูปภาพรายวันจากนาข้าว สถานะต่างๆ แบ่งเป็น ต้นกล้า เจริญเติบโต ออกรวง และเก็บเกี่ยว สามารถถูกกำหนดได้แบบอัตโนมัติ โดยอ้างอิงถึงการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ ExG [9] แผนภาพการทำงานของกรประมวลผลภาพ ในรูปที่ 7 ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้ แยกส่วนบริเวณแปลงข้าว คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณเฉลี่ยบริเวณแปลงข้าว วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณในปี พ.ศ. 2556 สำหรับรูปที่ 8 แสดงระยะเวลาของแต่ละสถานะของนาข้าวซึ่งเป็น

ประเภท นาปี สอดคล้องกับวันที่ของปี (365 วัน) มีช่วงเวลาเพาะปลูกประมาณ 172 วัน เริ่มต้นปลูก 27 พ.ค. และเก็บเกี่ยว เมื่อ 6 พ.ย.

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศ

ในตารางที่ 2 แปลงข้าวมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.9°C ณ ช่วงเวลาที่ “ไม่มีการปลูก 1” ค่าเฉลี่ยความชื้นดิน 6.29% ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุด การปลูกข้าวเริ่มต้นที่ เดือน พ.ค. (ฤดูฝน) และสิ้นสุดที่ เดือน พ.ย. (ฤดูหนาว) อุณหภูมิที่ช่วงเพาะปลูกมีค่าสูงสุดไม่เกิน 37.5°C อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต และค่าเฉลี่ยของความชื้นที่มากที่สุด อยู่ในช่วง “เจริญเติบโต” ที่ 64.8% จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นของดินสูง แสดงถึงปริมาณน้ำที่เพียงพอตลอดช่วงการเพาะปลูก

ตารางที่ 2 อุณหภูมิและความชื้นของดินสอดคล้องกับสถานะต่างๆ ของแปลงข้าว

สถานะ	อุณหภูมิ			ความชื้นในดิน		
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ไม่มีการปลูก 1	13.3	41.3	27.9	0.03	31.66	6.29
ต้นกล้า	22.5	37.5	28.7	10.3	33.57	16.45
เจริญเติบโต	21.7	37.3	27.3	3.88	93.32	64.84
ออกรวง	19.8	34.9	26.3	19.06	74.56	58.05
ไม่มีการปลูก 2	10.6	34.4	22.3	14.03	94.21	48.85

5. สรุป

บทความนี้ นำเสนอระบบเก็บข้อมูลจากแปลงเกษตรกรรม อุปกรณ์ที่ใช้คือ Field server ปัจจุบันมี 24 สถานี ครอบคลุมทั่วประเทศ มีความหลากหลายของพืชเพาะปลูก เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ข้อมูลที่บันทึกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ รูปภาพรายวันและสภาพอากาศ ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านบริการแบบเว็บ ในการวิเคราะห์เบื้องต้น แสดงตัวอย่างข้อมูลจากแปลงข้าว โดยที่สถานะต่างๆ ของแปลงข้าว สามารถบ่งชี้ได้จากรูปภาพรายวันบนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ ครอบคลุมในแต่ละสถานะ จะถูกนำมาหาค่าพื้นฐานทางสถิติของสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในดิน จากผลลัพธ์ที่ได้ อุณหภูมิสูงสุด ณ ช่วงเวลาเพาะปลูก มีค่าไม่เกิน 37.5°C และมีความชื้นของดินที่เพียงพอ (64.8%) ในช่วงเจริญเติบโต

ในอนาคต ข้อมูลเหล่านี้ สามารถใช้คาดการณ์ผลผลิตได้ในแต่ละแปลงเพาะปลูก อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์กับภาพถ่ายบริเวณกว้าง [7] เช่น ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) หรือดาวเทียม เพื่อใช้ประมาณการผลผลิตระดับจังหวัดหรือประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Fukatsu, T., Saito, Y., Suzuki, T., Kobayashi, K., Hirafuji, H. A Long-Term Field Monitoring System with Field Servers at a Grape Farm, In Proceedings of International Symposium on Application of

Precision Agriculture for Fruits and Vegetables, Orlando, FL, USA, 6-9 January 2008, pp. 183–190.
 [2] Fukatsu, T., Watanabe, T., Hu, H., Yoichi, H., Hirafuji, M. Field monitoring support system for the occurrence of *Leptocorisa chinensis* Dallas (Hemiptera: Alydidae) using synthetic attractants, Field Servers, and image analysis, *J. Comput. Electron. Agric.* 2012, 80, 8–16.
 [3] Jeon, H. Y., Tian, L. F., Zhu, H., Robust Crop and Weed Segmentation under Uncontrolled Outdoor Illumination, *Sensors* 2011, 11, 6270–6283.
 [4] Mao, W., Wang, Y., Wang, Y., Real-time detection of between-row weeds using machine vision, ASAE paper number 031004. The Society for Agricultural, Food, and Biological Systems, St. Joseph, MI, 2003.
 [5] Nishida, K., Phenological Eyes Network (PEN) – A validation network for remote sensing of the terrestrial ecosystems, *AsiaFlux Newsletter Issue 21*, p.p. 9–13, 2007, (<http://www.asiaflux.net/>): Accessed 1 July 2014
 [6] PhenoCam: An ecosystem phenology web camera network, (<http://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) : Accessed 1 July 2014
 [7] Sakamoto, T., A. A. Gitelson, A. L. Nguy-Robertson, T. J. Arkebauer, B. D. Wardlow, A. E. Suyker et al., An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status, *Agric. For. Meteorol.* 154–155:113–126, 2012.
 [8] Sonnentag, O., K. Hufkens, C. Teshera-Sterne, A. M. Young, M. Friedl, B. H. Braswell, T. Milliman, J. O’Keefe, and A. D. Richardson. 2012. Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems, *Agricultural and Forest Meteorology*, 152: 159–177.
 [9] Soontranon, N., Srestasathien, P., Rakwatin, P. Rice Growing Stage Monitoring in Small-scale Region Using ExG Vegetation Index, *ECTI-CON*, 2014.
 [10] Sritarapipat, T., Rakwatin, P., Kasetkasem, T., Automatic Rice Crop Height Measurement Using a Field Server and Digital Image Processing, *Sensors* 2014, 14, 900–926.
 [11] A. D. Richardson, J. P. Jenkins, B. H. Braswell, D. Y. Hollinger, S. V. Ollinger, and M. Smith (2007), Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest, *Oecologia*, 152, 323–334.
 [12] A. D. Richardson, B. H. Braswell, D. Y. Hollinger, J. P. Jenkins, S. V. Ollinger, Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology, *Ecological Applications*, Vol. 19, No.6. (September 2009), pp. 1417–1428.
 [13] Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargen, K., Mortensen, D. A., Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions, *Trans. ASABE* 1995, 38, 259–269.