



การประยุกต์ใช้เบย์เซียนและการประมวลผลภาพสำหรับการคัดแยกมะม่วง BAYESIAN APPROACH AND IMAGE PROCESSING TECHNIQUE FOR MANGO CLASSIFICATION

พีรพล คำพันธ์^{1*}, อรณิชา ปีแท้¹ และ จิรารัตน์ เอี่ยมสะอาด¹

Peerapon Kumpun^{1*}, Aranith Peehae¹ and Jirarat leamsaard¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: Kritsada_on@hotmail.com

วันที่เข้าระบบ 14 พฤษภาคม 2562

วันที่แก้ไขบทความ 10 มิถุนายน 2562

วันที่ตอบรับบทความ 7 สิงหาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เบย์เซียนและการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อแยกประเภทมะม่วงตามลักษณะความสุก/ดิบ ด้วยวิธีการคัดแยกเชิงคุณลักษณะ (Feature-Based) โดยที่คุณลักษณะที่ใช้สำหรับการแยกประเภทได้มาจากคุณลักษณะของภาพสี RGB และความเข้มข้นของค่าสีในเฟสสีแดงร่วมกับการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ในขั้นตอนการแยกประเภทผลมะม่วงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการแยกประเภทด้วยเบย์เซียนและการแยกประเภทด้วยอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) จากผลการทดลองพบว่าการแยกประเภทด้วยเบย์เซียนให้ผลลัพธ์ความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 88 มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการแยกประเภทด้วยอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนซึ่งให้ผลลัพธ์ความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 83

คำสำคัญ: การแยกประเภทมะม่วง, ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน, เบย์เซียน



Abstract

This paper presents Bayesian approach for mango classification based on digital image processing. We design algorithm to classify mango into two groups: green mango and ripe mango. Color features are extracted from RGB mango image and red intensity of the mango image using statistic calculation. The Bayesian is applied to classify the color-based feature of the mango image. We evaluate the performance of the Bayesian approach against another technique; the support vector machine (SVM). Both methods were implemented and tested with 100 mango images. The experimental results show the superiority of the proposed method, with an accuracy of 88%, as compared to SVM-based method, with an accuracy of 83%.

Keywords: Mango Classification, Support Vector Machine, Bayesian

1. บทนำ

มะม่วงถือเป็นผลไม้ที่ตลาดต้องการเป็นอย่างมากทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ นอกจากนั้นมะม่วงยังทำรายได้ให้เกษตรกรอย่างต่อเนื่อง และเนื่องด้วยมะม่วงมีการผลิตเป็นจำนวนมากต่อปีการใช้คนคัดแยกคุณภาพอาจทำให้การคัดแยกนั้นทำได้ล่าช้าและคุณภาพอาจจะไม่ได้ตรงตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นการคัดแยกคุณภาพและคุณลักษณะของมะม่วงถือเป็นเรื่องสำคัญ เช่นการคัดแยกความสุกและดิบของมะม่วง การคัดแยกจุดตำหนิ เราจึงมีแนวคิดที่จะใช้ทฤษฎีในเรื่องของการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) เข้ามาช่วยในเรื่องการวัดคุณภาพมะม่วง การคัดคุณภาพจะใช้วิธีหลักคือวิธีเชิงคุณลักษณะ (Feature-based) มีงานวิจัยที่ใช้วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) เข้ามาช่วยในการคัดคุณภาพในการเกษตร เช่น การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ปิ่นในถั่วเขียว (นิธิภัทร์, 2557) การพัฒนาระบบตรวจสอบผลไม้แบบอัตโนมัติที่มีความสามารถในการวัดขนาดและประมาณน้ำหนักของผลไม้โดยใช้คุณลักษณะรูปร่างของผลไม้ (Sergio *et al.*, 2014) การตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงโดยการแบ่งช่วงของค่าสีในระบบ LAB color space (Ankur *et al.*, 2014)

ทฤษฎีแบบเบย์เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ใช้หลักการของความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการจัดและแยกข้อมูล ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของเบย์ (Bayes theorem) การศึกษาวิจัยที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีของเบย์ เช่น งานวิจัยของ Ghanad *et al.* (2015) เสนอวิธีการวินิจฉัยอาการของโรคพาร์คินสันโดยใช้การแบ่งประเภทด้วยเบย์เขียนร่วมกับอัลกอริทึม PSO เบย์เขียนใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเพื่อประมาณค่าความสัมพันธ์ของขนาด-ความยาวของลำตัวปลา (Froese, *et al.*, 2014) การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์ (สุรเดช, 2554) การพยากรณ์ความ

ต้องการหลีกเลี่ยงได้ความไม่แน่นอนโดยวิธีแบบเบย์ (อนล, 2554) การวิเคราะห์เบสจากโปรแกรม วันปิกสุโปรแกรมอาร์ (อชฉา, 2555)

วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นอีกหนึ่งอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มข้อมูล งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เช่น การทำนายการอยู่รอดของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม (ไกรสร, 2557) การนับและแยกจำนวนของแบคทีเรีย (ณัฐวุฒิ, 2558) การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ป็นในถั่วเขียว (นิธิภัทร์, 2557) การสืบค้นข้อมูลของผู้หลอกลวงขายสินค้าออนไลน์ (วัชรินทร์, 2557) การจำแนกข้อมูลโดยใช้เคมีนและเอสวีเอ็มแบบหลายกลุ่ม (วัชรินทร์, 2556)

จากปัญหาการคัดแยกคุณภาพมะม่วงที่กล่าวมาผู้จัดทำจึงพัฒนาโปรแกรมที่สามารถตรวจคัดแยกระดับคุณภาพของมะม่วงบทความนี้ได้เสนอการใช้วิธีเชิงคุณลักษณะ (Feature-based) เพื่อแยกความสุก/ดิบ จุดดำหนิและขนาด เพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกคุณภาพของมะม่วง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่จะช่วยให้การคัดคุณภาพของมะม่วงมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อนำเสนอวิธีเชิงคุณลักษณะ (Feature-based) เพื่อแยกความสุก/ดิบ จุดดำหนิและขนาด เพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกคุณภาพของมะม่วง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่จะช่วยให้การคัดคุณภาพของมะม่วงมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาดังกล่าวนี้นี้พัฒนาวิธีการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกมะม่วง ตามประเภทมะม่วงดิบและมะม่วงสุก ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพมะม่วงเกณฑ์จากฐานข้อมูลของ COFILAB ข้อมูลตัวอย่างภาพมะม่วงได้มาจากระบบการถ่ายภาพที่มีการควบคุมแสงให้คงและระบุซึ่งประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพ (EOS 550D, Canon Inc., Japan) บันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง ขนาดของภาพคือ 5,184 x 3,456 พิกเซล ความละเอียดของภาพคือ 0.03 มม. / พิกเซล ระยะห่างระหว่างกล้องและผลมะม่วงถูกกำหนดไว้คงที่ที่ระยะ 20 ซม. ในการควบคุมแสงใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Biolux L18W/965, 6500 K, Osram AG, Germany) จำนวน 2 หลอด ระบบการบันทึกภาพนี้ประกอบด้วยฟิลเตอร์สำหรับจำกัดแสงสะท้อน (Sergio *et al.*, 2014 และ Ankur *et al.*, 2014) ตัวอย่างภาพผลมะม่วง แสดงในภาพที่ 1 (ก) ตัวอย่างภาพมะม่วงดิบ (ข) ตัวอย่างภาพมะม่วงสุก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดสอบ

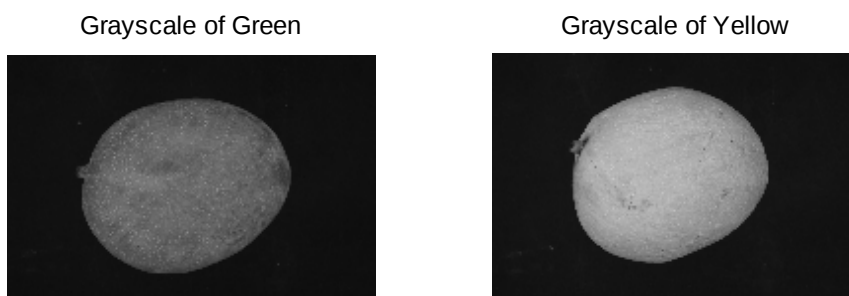
(ก) มะม่วงดิบ (ข) มะม่วงสุก

3.1 ขั้นตอนการแยกประเภทมะม่วง

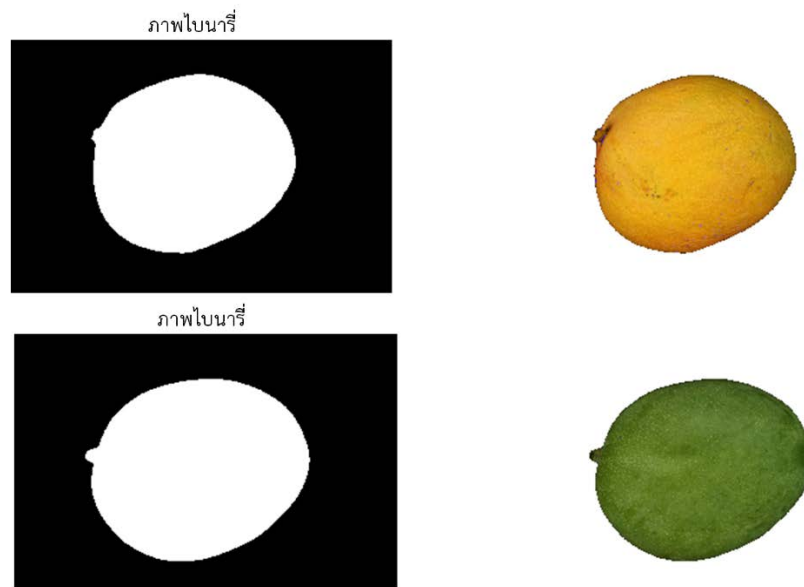
ขั้นตอนการแยกประเภทมะม่วง โดยใช้ลักษณะของสีในการคัดแยกมะม่วงดิบและมะม่วงสุกมีขั้นตอนดังนี้

การตัดส่วนภาพเพื่อแยกผลมะม่วงออกจากภาพพื้นหลัง

ในการวิเคราะห์ลักษณะของสีจำเป็นต้องแยกภาพผลมะม่วงออกจากภาพพื้นหลัง เพื่อวิเคราะห์ค่าสีเฉพาะพื้นที่ผลมะม่วง ในการตัดส่วนภาพนี้ เริ่มต้นด้วยการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา ตัวอย่างภาพระดับเทาดัง แสดงในรูปที่ 2 จากนั้น ปรับปรุงภาพโดยใช้ median filter (Thomas *et al.*, 1982) และใช้วิธีการของ Otsu (1975) ในการแปลงภาพเป็นภาพไบนารีหรือภาพขาวดำ ตำแหน่งของกลุ่มพิกเซลที่เป็นสีขาวในภาพไบนารี คือตำแหน่งของกลุ่มพิกเซลของผลมะม่วง ในภาพสีของภาพผลมะม่วง และตำแหน่งของกลุ่มพิกเซลสีดำในภาพไบนารีคือกลุ่มพิกเซลที่เป็นภาพพื้นหลังของภาพผลมะม่วงในภาพสี ตัวอย่างภาพไบนารีและภาพผลมะม่วงที่แยกออกจากภาพพื้นหลัง ดังแสดงใน ภาพที่ 3



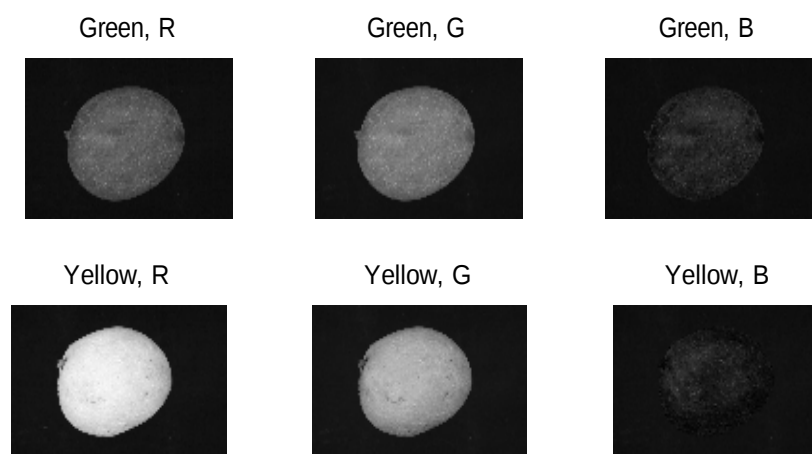
ภาพที่ 2 ภาพระดับเทา



ภาพที่ 3 ภาพผลไม้ที่แยกออกจากภาพพื้นหลัง

การดึงคุณลักษณะเด่น

ในการวิเคราะห์ลักษณะของสีของผลไม้ ภาพ RGB ของภาพผลไม้ที่แยกส่วนภาพพื้นหลังแล้วถูกนำมาแยกวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีแยกตามเพลนสีคือ เพลนสีแดง เพลนสีน้ำเงิน และเพลนสีเขียว ตัวอย่างภาพความเข้มข้นของสีแต่ละเพลนสี ดังแสดงในภาพที่ 4

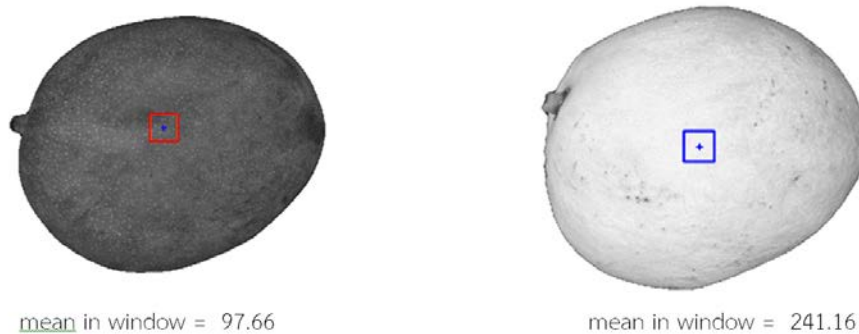


ภาพที่ 4 ผลไม้ดิบและผลไม้สุกแสดงในเพลนสีแดงเพลนสีเขียว และเพลนสีน้ำเงิน

จากภาพที่ 4 พบว่าความแตกต่างของสีของมะม่วงดิบและมะม่วงสุกแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงเลือกเพลนสีแดงในการดึงคุณลักษณะของภาพเพื่อใช้ในการแยกประเภทมะม่วง

3.2 ค่าเฉลี่ยค่าความเข้มข้นสีในกรอบพื้นที่ที่สนใจ

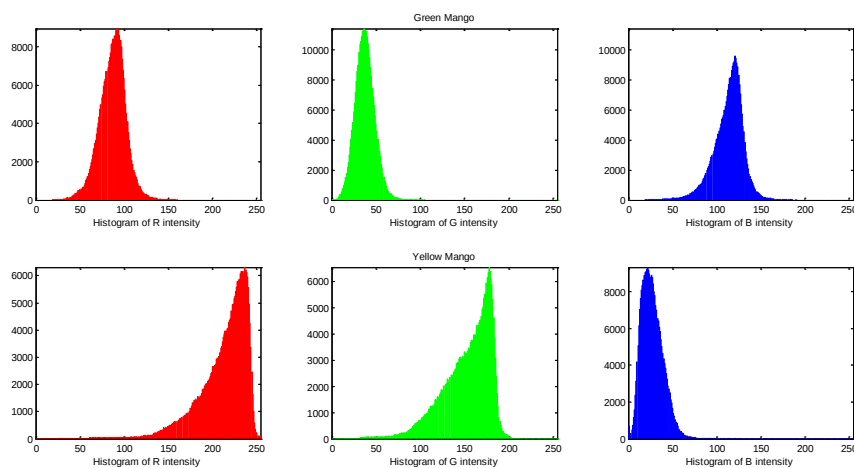
ลักษณะเด่นที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะแรกคือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสีในพื้นที่ที่สนใจ โดยพื้นที่ที่สนใจนี้เลือกจากการสร้างกรอบพื้นที่ที่อยู่บริเวณรอบจุด Centroid หากพื้นที่รอบจุด Centroid มีจุดดำหนา กรอบพื้นที่จะถูกเลื่อนไปจากจุด Centroid จนกระทั่งเจอพื้นที่ที่ไม่มีจุดดำหนา ตัวอย่างภาพกรอบพื้นที่ ที่สนใจ และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของค่าสี ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กรอบพื้นที่ที่สนใจและค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของค่าสี

3.3 ค่าสูงสุดของค่าความเข้มสีในเพลนสีแดง

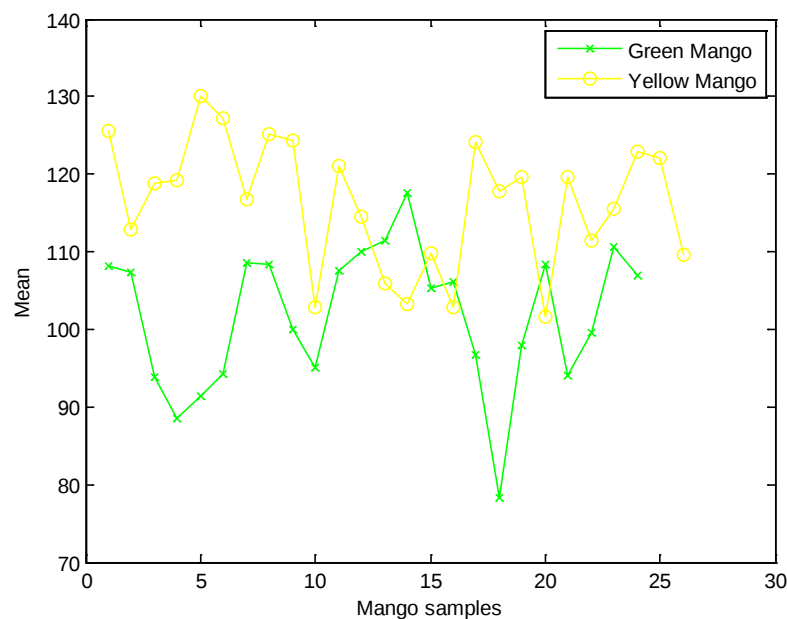
ลักษณะเด่นอย่างที่สองที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าสูงสุดของค่าความเข้มสีในเพลนสีแดงของพื้นที่ผลมะม่วง ดังแสดงในภาพที่ 6 ฮิสโตแกรมจากการรวบรวมค่าความเข้มสีของสีจากภาพผลมะม่วงสุก 24 ภาพ และภาพผลมะม่วงดิบ 26 ภาพ ค่าสูงสุดค่าความเข้มสีในทั้งสามเพลนของมะม่วงสุกและมะม่วงดิบนั้นแตกต่างกัน แต่เพลนสีแดงถูกนำมาใช้ในการดึงลักษณะเด่นค่าสูงสุดของค่าความเข้มสีเนื่องจากค่าลักษณะของฮิสโตแกรมของเพลนสีแดงมีการกระจายดีกว่าเพลนสีเขียวและเพลนสีน้ำเงิน



ภาพที่ 6 กราฟฮิสโตแกรมในเพลนสีแดงมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด

3.4 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นของสี

ภาพที่ 7 แสดงกราฟของค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นสีในภาพสี RGB จากภาพผลมะม่วงสุก 26 ภาพ และภาพผลมะม่วงดิบ 24 ภาพ จากภาพที่ 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นสีของภาพผลมะม่วงสุกจะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสีในภาพผลมะม่วง จากกลุ่มตัวอย่างค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นสีของมะม่วงดิบและมะม่วงสุกเพียงจำนวนเล็กน้อยที่ทับซ้อนกัน ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นสีรวมจึงสามารถใช้ประกอบการวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทมะม่วงดิบและมะม่วงสุกได้



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นสีในพื้นที่ผลมะม่วง

3.5 การแยกประเภท

อัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกประเภทมะม่วงในการทดลองนี้คือเบย์เซียนและ และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

เบย์เซียน

การแยกประเภทด้วยเบย์เซียนใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นตามกฎของเบย์ (Bayes' theorem) (นัศพีชาณณ, 2556) เพื่อหาว่าสมมติฐานใดน่าจะถูกต้องที่สุด โดยใช้ความรู้ก่อนหน้า (Prior knowledge) ได้แก่ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าสำหรับสมมติฐานหนึ่งๆร่วมกับข้อมูล เช่น ความน่าจะเป็นที่สังเกตได้สำหรับสมมติฐานหนึ่งๆ เพื่อหาสมมติฐานที่ดีที่สุดการเรียนรู้แบบเบย์อาศัยหลักการของการคำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละสมมติฐาน (ในที่นี้คือคลาสเป้าหมายหรือผลลัพธ์การทำนาย) โดยทฤษฎีแบบเบย์เป็นการเรียนรู้เพิ่มเติม เนื่องจากตัวอย่างใหม่ที่ได้มาถูกนำมา

ปรับเปลี่ยนการแจกแจงซึ่งมีผลต่อการเพิ่ม หรือ ลดความน่าจะเป็น วิธีการนี้ตัวแบบจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามตัวอย่างใหม่ที่ได้โดยผนวกกับความรู้เดิมที่มีซึ่งการทำนายค่าคลาสเป้าหมายของตัวอย่างใช้ความน่าจะเป็นมากที่สุดของทุกสมมติฐาน

จากทฤษฎีของเบย์ เราสามารถคำนวณความน่าจะเป็นของสมมติฐานต่างๆโดยใช้สมการ

$$P(x|Y) = \frac{P(Y|x) * P(x)}{P(Y)} \quad (1)$$

Y แทนข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณการแจกแจงความน่าจะเป็น posteriori probability ของสมมติฐาน x คือ $P(x|Y)$ ตามทฤษฎี

$P(x)$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของสมมติฐาน

$P(Y)$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของชุดข้อมูลตัวอย่าง Y

$P(x|Y)$ คือ ความน่าจะเป็นของ x เมื่อรู้ Y

$P(Y|x)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Y เมื่อรู้ x

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นอัลกอริทึมที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับและจำแนกวัตถุหรือกลุ่มของข้อมูลได้ โดยอาศัยระยะนำมาใช้ในการแบ่งเขตของข้อมูลออกเป็นสองฝั่ง และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จะมีคุณลักษณะแบบ inner-product ระหว่างตัว support vector และ input vector การสร้างไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสม จะนิยามระยะห่างระหว่างจุดของข้อมูลที่อยู่ใกล้กับไฮเปอร์เพลนมากที่สุดทั้งสองด้าน คือ y_+ และ y_- ระยะมาร์จิ้น γ เกิดจากระยะ $(y_+) + (y_-)$ เพราะฉะนั้นไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสม คือไฮเปอร์เพลนที่มีค่ามาร์จิ้น γ กว้างที่สุดดังแสดงในภาพที่ 3 โดยข้อมูลตัวอย่างที่อยู่บนขอบของมาร์จิ้น γ จะถูกเรียกว่าซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector) (Cristianini N, 2000)

แยกประเภทลักษณะเด่นของผลมะม่วง

ซึ่งการจัดกลุ่มข้อมูลทั้งสองวิธีนี้จะต้องมีขั้นตอนการ train ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพมะม่วงสุกจำนวน 26 ภาพ และ ภาพมะม่วงดิบจำนวน 24 ภาพ เก็บคุณลักษณะเด่นของภาพเพื่อใช้ในการเทรนเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นสำหรับการแยกประเภทด้วยเบย์เซียน และการเทรนเพื่อหาไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมสำหรับวิธีการแยกประเภทด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เมื่อเสร็จสิ้นการเทรนแล้วผลลัพธ์จากการเทรนของทั้งวิธีเบย์เซียนและวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มลักษณะเด่นของภาพผลมะม่วงจากนั้นนำข้อมูลภาพผลมะม่วง

4. ผลการวิจัย

การทดลองคัดแยกมะม่วงตามประเภทมะม่วงดิบและมะม่วงสุก ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองคือภาพมะม่วงเคนท์จากฐานข้อมูลของ COFILAB ข้อมูลตัวอย่างภาพมะม่วงได้มาจากระบบการถ่ายภาพที่มีการกำหนดระยะห่างระหว่างเลนส์และวัตถุที่แน่นอน และมีการควบคุมแสงโดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Sergio *et al.*, 2014 and Ankur *et al.*, 2014) ข้อมูลภาพที่ใช้ทดลองจำนวน 100 ภาพ ประกอบด้วยภาพผลมะม่วงดิบ 46 ภาพ และภาพผลมะม่วงสุก 54 ภาพ ภาพที่ใช้ในการเทรนประกอบด้วยภาพมะม่วงดิบ 24 ภาพ และภาพมะม่วงสุก 26 ภาพ ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะได้รับจากโครงการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะ

วิธีการ	จำนวนภาพที่แยกประเภทได้		ความถูกต้อง (%)
	ถูกต้อง		
	มะม่วงสุก (54ภาพ)	มะม่วงดิบ (46 ภาพ)	
เบย์เซียน	44	44	88%
ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน	46	37	83%

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เบย์เซียนและการประมวลผลภาพสำหรับการคัดแยกมะม่วงซึ่งมุ่งเน้นไปทางด้วยการคัดแยกประเภทตามความสุก/ดิบของมะม่วง โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะของสีจากพื้นผิวของผลมะม่วง การแยกประเภทผลมะม่วงโดยใช้เบย์เซียนร่วมกับคุณลักษณะของสี ให้ค่าความถูกต้องในการแยกประเภทมะม่วง 88% การแยกประเภทผลมะม่วงโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนร่วมกับคุณลักษณะของสี ให้ค่าความถูกต้องในการแยกประเภทมะม่วง 83% การแยกประเภทผลมะม่วงโดยใช้เบย์เซียนร่วมกับคุณลักษณะของสีให้ค่าความถูกต้องมากกว่า การแยกประเภทผลมะม่วงโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนร่วมกับคุณลักษณะของสี ถึง 5%

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อโดยการวิเคราะห์จุดดำหนิที่พื้นผิวผลมะม่วง และการคัดเกรดผลมะม่วงตามเกณฑ์ขนาดของผลมะม่วงด้วยการประมวลผลภาพ และออกแบบระบบการตรวจสอบมะม่วงด้วยการมองเห็นซึ่งประกอบด้วยส่วนซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ เพื่อส่งเสริมและพัฒนาด้านงานอุตสาหกรรมมะม่วงต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณขอขอบคุณ COFILAB (Computers and optics in food inspection laboratory) สำหรับข้อมูลภาพผลมะม่วงที่ใช้ในงานวิจัย และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

7. เอกสารอ้างอิง

- ไกรสร ตั้งโอภากุล, สาวิตร์วิทย์ไพศาล, สมชาติ รุ่งเรืองสรการ, และสรร รัตนสัญญา. (2557). การประมวลผลภาพและประยุกต์วิธี SVM ในการนับจำนวนและวัดขนาด Staphylococci จากกล้องจุลทรรศน์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 24(2), 385-397
- ณัฐวุฒิ ปั้นรูป, Guangqian Chen, และอัฐพร กิ่งบุ. (2558). การจำแนกข้อมูลโดยใช้เคมีนและเอสวีเอ็มแบบหลายกลุ่มสำหรับระบบตรวจจัดการบุกรุก. การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology : NCIT) ครั้งที่ 7. คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก, ตาก.
- นศพร ชานัน ชินปัญญชนะ. (2556). การแปลความหมายภาพด้วยแนวคิดพื้นฐานความสัมพันธ์ของกราฟแบบลำดับชั้น, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ.
- นิธิภัทร์ เพชรมงคลจรัส และธนสนี เพียรตระกูล. (2557). การให้คำนำหน้บทบนคุณลักษณะที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลของผ้าหลอดลงขายสินค้าออนไลน์. The Tenth National Conference on Computing and Information Technology, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- วัชรินทร์ แสงมา, พิษณุ ทองขาว, และอรศิริ จันทรเมือง. (2556). การพยากรณ์ความต้องการเหล็กภายใต้ความไม่แน่นอนโดยวิธีแบบเบย์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.
- สุรเดช บุญลือ, ชฎาพร สุขแจ่ม, และศศิธร สนิทผล. (2554). การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์แมชชีนในการทำนายการอยู่รอดของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม. การประชุมเชิงวิชาการ “ศรีนครินทร์วิโรฒวิชาการ” ครั้งที่ 5 สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- อนล ไพศาล, และธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม. (2554). การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ป่นในถั่วเขียว โดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย. เกษตร, 39(3), 240-247.
- อชฌา อระวีพร. (2555). การวิเคราะห์เบสจากโปรแกรมวันบิกสู่โปรแกรมอาร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

- Anker M., Bijal T., & Sapan, N. (2014). Quality inspection and classification of mangoes using color and size features. **International Journal of Computer Applications**, 98(1).
- Cristianini N, & Taylor J. S. (2000). **An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Froese, R., Thorson, J. T., & Reyes, R. B. (2014). A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. **Journal of Applied Ichthyology**, 30(1), 78-85.
- Ghanad, N. K., & Ahmadi, S. (2015). Combination of PSO algorithm and Naive Bayesian classification for Parkinson disease diagnosis. **Advances in Computer Science**, 4(4), 119-125.
- Sergio, C., Maria, P. D., Jose, B., Tardáguila, J. T., Borja, M., & Nuria, A. (2014). A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis. **Biosystems Engineering**, 117, 62-72.
- Thomas, N., & Neal, G. Jr. (1982). Median filters some modifications and their properties. **IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing**, 30(5), 739-746.
- Otsu, N. (1975) A threshold selection method from gray-level histograms. **Automatica**, 11(285-296): 23-27.