

การจำแนกภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารี ด้วยเนื้อหาของภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

Classification Paphiopedilum Images with Visual Contents Using ANN

บุญวิภา ราชสีสุทธิ์* และ เสาวลักษณ์ วรรณภา*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการจำแนกประเภทดอกกล้วยไม้รองเท้านารี โดยทำการวิเคราะห์ภาพจากการสังเกตคุณสมบัติที่แสดงอยู่ภายในภาพ ที่สามารถช่วยให้การสืบค้นภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยลดช่องว่างทางความหมายที่มักเกิดขึ้นในการใช้คำในการค้นหาภาพ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกภาพดอกไม้โดยส่วนใหญ่แล้ว มักใช้วิธีจำแนกจากดอกไม้หลายชนิดที่อยู่คนละวงศ์ ซึ่งยังไม่ค่อยมีการเจาะจงจำแนกพืชดอกในวงศ์หรือสกุลเดียวกัน ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการจำแนกประเภทดอกกล้วยไม้รองเท้านารี โดยใช้การพิจารณาจากชุดคุณลักษณะสำคัญที่สามารถมองเห็นได้จากภาพ ซึ่งภาพที่ใช้เป็นภาพหน้าตรงที่สามารถเห็นดอกชัดเจนและพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานภายในภาพที่มองเห็น (Visual Features) ทั้งจากคุณลักษณะเกี่ยวกับสี (Color) และคุณลักษณะเกี่ยวกับรูปร่าง (Shape) โดยทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกกับภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารีจำนวนห้าชนิดที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ผลการทดลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถจำแนกได้ถูกต้องถึง 90.5 %

คำสำคัญ: การจำแนกภาพ การจำแนกจากคุณลักษณะภายในภาพ กล้วยไม้รองเท้านารี

Abstract

This paper presents a content-based classification method for Paphiopedilum orchid flower images by using image

contents, which helps reduce semantic gap that usually occurs in text search, and hence improves image retrieval. There are many research works trying to classify flowers in various families which have obviously different visual characteristics. So, we focus on orchid species only one family-Paphiopedilum. The experiments are conducted using pictures of 5 species of Paphiopedilum most Thai popular using the visual features of the pictures to classification, color-based and shape-based. The classification accuracy by ANN is 90.5 percent.

Keyword: Image Classification, Classification using visual contents, Paphiopedilum.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความนิยมในการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกล้วยไม้มีลักษณะดอกสวยงาม รวมทั้งมีสีสันและรูปทรงที่หลากหลาย และยังมีรายงานการค้นพบกล้วยไม้สายพันธุ์ใหม่อย่างต่อเนื่อง จนกล่าวได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรกล้วยไม้มากที่สุดในโลก [1] ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้ต้องการแหล่งข้อมูลในการศึกษาเพิ่มเติม หรืออาศัยการเรียนรู้จากคำบอกเล่าจากประสบการณ์และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญในการให้คำแนะนำ ผู้ที่สนใจสามารถเรียนรู้ได้ แต่อาจต้องใช้เวลาในการศึกษาจึงจะสามารถจำแนกประเภทกล้วยไม้ได้

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม

* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ที่สะดวกและรวดเร็วมีหลายรูปแบบ เช่น จากในหนังสือหรือจากอินเทอร์เน็ต โดยการค้นคว้าผ่านทางอินเทอร์เน็ตมักเป็นที่นิยมมากที่สุดเพราะมีความสะดวก รวดเร็วในการค้นหาข้อมูล โดยใช้การใส่คำหลัก (Key Word) ที่ต้องการค้นหาไป ซึ่งต้องเป็นข้อความที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการค้นหาเพื่อให้ได้ข้อมูลตามความต้องการ แต่ในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่ตรงตามความต้องการ ในกรณีนี้ผู้ค้นคว้าต้องการข้อมูลในลักษณะที่เป็นภาพ เนื่องจากปัญหาทางด้านช่องว่างระหว่างความหมาย (Semantic Gap) ของการใช้คำในการค้นหาภาพ แต่ถ้าวัดความสามารถใช้ภาพต้นฉบับเป็นต้นแบบในการค้นหา (Query) ภาพ ที่มีลักษณะเหมือนกับภาพต้นฉบับมากที่สุดได้ โดยใช้การพิจารณาที่ค่าคุณลักษณะภายในเนื้อหาของภาพ (Contents) เช่น ด้านสี (Color) และด้านรูปร่าง (Shape) เป็นส่วนสำคัญในการค้นหา อาจช่วยให้ผู้ค้นคว้าได้ผลลัพธ์ของภาพตามที่ต้องการมากขึ้น บทความนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่สามารถนำมาใช้ในการแบ่งประเภทของกล้วยไม้รองเท้านารี โดยพิจารณาค่าคุณลักษณะจากภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารีห้าชนิดหลัก โดยอาศัยข้อมูลที่แสดงอยู่ภายในภาพ (Content-based image classification)

ส่วนต่อไปของบทความนี้ประกอบด้วยส่วนที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 อธิบายถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 แสดงผลการดำเนินงาน และส่วนที่ 5 บทสรุปของการทดลอง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกภาพดอกไม้โดยใช้ลักษณะที่หาได้จากภายในภาพ (Content) นั้น ส่วนใหญ่มักทำการจำแนกภาพดอกไม้หลายชนิดที่อยู่คนละสกุลกัน และทำการพิจารณาลักษณะที่หาได้จากภายในภาพดอกไม้ มักทำการพิจารณาที่สีเป็นหลัก [2], [3] แล้วใช้เทคนิคในการจำแนกที่หลากหลาย เช่น การวัดระยะห่างต่ำสุด (Minimum Distance) [3] หรือ การใช้ข้อมูลข้างเคียงใกล้ที่สุด k ตัว (k-Nearest Neighbor) [2] แต่ยังไม่พบงานใดที่ทำการจำแนกภาพดอกไม้ในสกุลเดียวกันด้วยลักษณะที่หาได้จากภายในภาพ อาจเนื่องมาจากพืชดอกในสกุลเดียวกันมักมีลักษณะที่คล้ายกัน ทำให้ยากต่อการหาชุดคุณลักษณะสำคัญที่จะนำมาใช้ในการจำแนก

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกประเภทพืช

ดอกในสกุลเดียวกันนั้นมักมีการใช้ข้อมูลที่เป็นข้อความ (Text) ค้นหาจากฐานข้อมูลที่เก็บไว้ มีใช้ข้อมูลที่เป็นค่าคุณลักษณะที่หาได้จากภาพ เช่น งานวิจัย [4] นำเสนอระบบผู้เชี่ยวชาญในการการจำแนกประเภทกล้วยไม้หาย โดยผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลของกล้วยไม้ที่ต้องการรู้จักลงไปในระบบ เพื่อให้ระบบทำการตรวจสอบกับข้อมูลในฐานข้อมูล และแสดงผลผลออกมาว่ากล้วยไม้นั้นเป็นชนิดใด ตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบได้แก่ ลักษณะใบ ราก ลำต้น ดอก และจังหวัดที่พบ เป็นต้น ผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูลลงไปจำนวนมากเพื่อให้ระบบมีข้อมูลที่จะใช้ในการพิจารณา โดยให้ความสำคัญที่ลักษณะของดอกเป็นหลักเพราะเห็นชัดเจนและใช้เป็นส่วนสำคัญที่นำมาใช้ในการจำแนกได้

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ทดสอบการจำแนกกับภาพของดอกกล้วยไม้รองเท้านารี ได้แก่ รองเท้านารีเหลืองตรัง รองเท้านารีขาวสตูล รองเท้านารีเหลืองกระบี่ รองเท้านารีเหลืองปราจีน และรองเท้านารีฟ้ามอญที่เลือกรองเท้านารีห้าชนิดนี้เพราะได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงกล้วยไม้ โดยแต่ละชนิดมีลักษณะ ดังนี้ [1], [5]

รองเท้านารีเหลืองตรัง ดอกมีสามสี คือ สีครีม สีเหลือง และสีขาว มีลายสีม่วงแดงถึงม่วงน้ำตาลเรียงกันเป็นแถว โดยกระจายอยู่ทั่วดอก หรือบางดอกอาจเป็นลายต่อเนื่องกัน ซึ่งกลีบดอกจะมีลักษณะค่อนข้างกลม

รองเท้านารีขาวสตูล ดอกมีสีขาว กลีบมีลักษณะแผ่อกและปลายหักและเมื่อบานเต็มที่จะมีลักษณะเป็นทรงกลม กลีบหนาแน่นมาด้านหน้า โคนกลีบมีจุดประสีม่วงเข้มเล็กน้อย

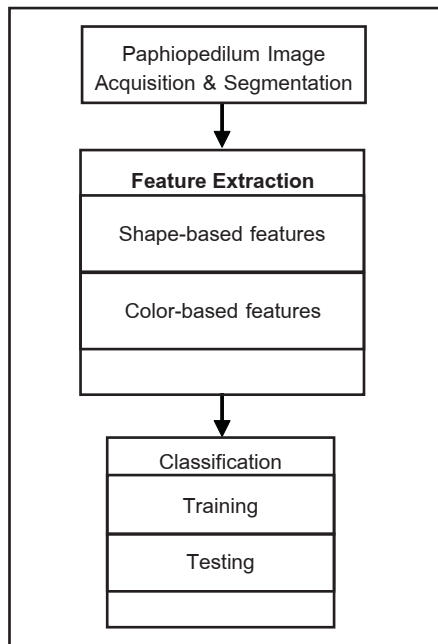
รองเท้านารีเหลืองกระบี่ กลีบมีจุดประสีม่วงเข้มเล็กน้อย กลีบบนจะมีริมสีขาว ส่วนกึ่งกลางมีสีเหลือง อมเขียวและมีจุดแต้มสีน้ำตาลเข้ม กลีบนอกบนและล่างมีขนาดใกล้เคียงกัน และมักมีสีเขียว กลีบดอกเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล ที่กลางกลีบมีเส้นสีน้ำตาล ที่โคนกลีบมีจุดแต้มสีน้ำตาล กระจ่างจะมีสีเหลืองอมน้ำตาล

รองเท้านารีเหลืองปราจีน ดอกและกระเปาะเป็นสีเหลือง มีลักษณะทรงรี และเมื่อบานเต็มทีดอกจะมีลักษณะเป็นกลม กลีบดอกจะมีลักษณะหนาแน่นมาด้านหน้า มีจุดประสีม่วงแดงกระจายอยู่ทั่วดอก

รองเท้านารีฟ้ามอญ เมื่อดอกบานเต็มทีจะมีลักษณะเป็นทรงกลม และหนาแน่นมาด้านหน้า กลีบดอกและกระเปาะมีสีขาว

จะมีลายจุดสีม่วงแดงแต้มกระจายอยู่ทั่วดอก รูปทรงโดยรวมคล้ายรูปหัวใจกลับ ที่ปลายกลีบดอกด้านล่างทั้งสองข้างมักมีรอยหยักเข้าไปเล็กน้อย รูปทรงดอกใกล้เคียงกับรองเท้านารีเหลืองตรัง

การจำแนกภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารีโดยใช้เนื้อหาภายในภาพสามารถแบ่งวิธีในการดำเนินงานได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพรวมของการดำเนินงาน



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพ

3.1 การรับภาพและการแบ่งส่วนภาพอย่างมีความหมาย (Image Acquisition & Segmentation)

ข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบภาพจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้รองเท้านารี และทำการให้คำตอบไว้แล้วว่าภาพเหล่านั้นเป็นกล้วยไม้รองเท้านารีชนิดใด โดยตัวอย่างภาพอยู่ในรูปของ JPEG

มีขนาดตั้งแต่ 243 x 182 ถึง 2048 x 1536 จุดภาพ จากนั้นแบ่งภาพตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของภาพพื้นหลัง (Background) แปลงให้เป็นสีดำ กับส่วนของวัตถุที่สนใจ (Foreground) คือ ดอกกล้วยไม้

3.2 การแยกค่าคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)

ทำการพิจารณาค่าคุณลักษณะสำคัญ (Features) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจำแนก โดยเน้นที่รูปร่าง สี และลักษณะลายของดอกกล้วยไม้เป็นหลัก สำหรับค่าคุณลักษณะเกี่ยวกับรูปร่างของดอกกล้วยไม้ จะอธิบายด้วยค่าที่แสดงถึงสัดส่วนรูปทรง (Shape ratio) และค่าความกระจัดรัด (Compactness) [6] ด้วยสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Shape ratio} = \frac{\text{MinorAxis}}{\text{MajorAxis}} \quad (1)$$

กำหนดให้ MinorAxis แทนค่าความยาวแกนรองและ MajorAxis แทนค่าความยาวแกนหลัก [9] เพื่อคำนวณค่าที่แสดงถึงรูปร่างของวัตถุที่สนใจว่าลักษณะรูปร่างอย่างไร โดยหาวัตถุเป็นทรงกลม ค่าที่คำนวณได้จะเข้าใกล้ 1 แต่ถ้าวัตถุเป็นรูปทรงยาวค่าที่ได้จะมีค่าเข้าใกล้ 0 เป็นต้น

$$\text{Compactness} = \frac{\text{Area}}{\text{Perimeter}^2} \quad (2)$$

กำหนดให้ Area แทนด้วยจำนวนพิกเซลที่อยู่ภายในวัตถุที่สนใจ และ Perimeter แทนด้วยค่าความยาวรอบรูปของวัตถุนั้น เมื่อคำนวณแล้วจะได้ค่าที่แสดงสัดส่วนของวัตถุว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น ถ้าวัตถุมีลักษณะกลมจะมีค่าความกระจัดรัดมากกว่าวัตถุที่มีลักษณะกระจัดกระจาย เป็นต้น

จากนั้นใช้สีในแบบจำลองสี HSV [6], [7] โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มสี ได้แก่ สีขาว (White), สีฟ้าอมเขียว (Cyan), สีแดง (Red), สีฟ้า (Blue), สีเหลือง (Yellow), สีม่วงบานเย็น (Magenta) และ สีเขียว (Green) เพื่อพิจารณาช่วงสีของดอก

3.3 ชุดข้อมูลสำหรับฝึกและทดสอบระบบ (Training & Testing Data Sets)

หลังจากรวบรวมค่าคุณลักษณะสำคัญที่จะใช้ในการจำแนกแล้ว จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกระบบ (Training Set) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบ (Test Set) ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความลำเอียง ในการแบ่งข้อมูลสำหรับฝึกและทดสอบระบบ จึงเลือกใช้วิธีการทดสอบความถูกต้องแบบข้ามห้าทบ (5-Fold Cross Validation) [8] ซึ่งมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ชุด



ข้อมูลย่อย คือ ชุดข้อมูลที่ R1, R2, R3, R4 และ R5 โดยในแต่ละชุดข้อมูลย่อยจะมีการกระจายข้อมูลดังตารางที่ 1

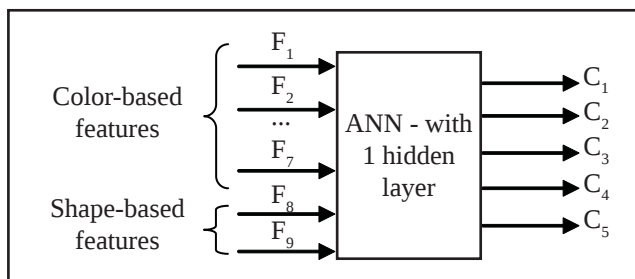
ตารางที่ 1 รายละเอียดของชุดข้อมูลย่อย

ชุดข้อมูล	R1	R2	R3	R4	R5
(C1) เหลืองตรัง	8	8	8	8	8
(C2) ขาวสตูล	8	8	8	8	8
(C3) เหลืองกระบี่	8	8	8	8	8
(C4) เหลืองปราจีน	8	8	8	8	8
(C5) ฝ้ายหอย	8	8	8	8	
รวม	40	40	40	40	40

โดยทำการทดลองกับชุดข้อมูลย่อย 5 ครั้ง ครั้งที่ 1 จะใช้ชุดข้อมูลที่ R1 เป็นชุดข้อมูลทดสอบความถูกต้องและใช้ชุดข้อมูลที่ R2, R3, R4 และ R5 เป็นชุดข้อมูลในการฝึกระบบ จากนั้นใช้ชุดข้อมูลที่ R2 เป็นชุดข้อมูลทดสอบความถูกต้องและข้อมูลที่ R1, R3, R4 และ R5 ใช้เป็นชุดข้อมูลในการฝึกระบบ ทำงานในลักษณะดังกล่าวเรื่อยไปจนครบชุดข้อมูลที่ R5

3.4 การจำแนกประเภท (Classification)

ทำการจำแนกโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อทดสอบการจำแนกภาพอินพุตที่ใช้ในการทดสอบนั้นตรงกับคลาสใด โดยใช้สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron : MLP) ซึ่งมีโครงสร้าง ประกอบด้วย ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) 9 โหนด ชั้นซ่อน (Hidden Layer) 1 ชั้น (7 โหนด) และ ชั้นข้อมูลออก (Output Layer) 5 โหนด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โมเดลที่ใช้ในการจำแนก

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนกดังนี้ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) เท่ากับ 0.4 ค่าโมเมนตัม

(Momentum) เท่ากับ 0.2 และจำนวนรอบในการฝึกระบบ (Training Time) เท่ากับ 500

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองจำแนกภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารีว่าเป็นคลาสใดใน 5 คลาสนั้น มีการใช้ข้อมูลภาพจำนวน 200 ภาพ และทำการแบ่งข้อมูลเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลการฝึกระบบ และทดสอบระบบด้วยวิธีการทดสอบความถูกต้องแบบข้ามดังที่อธิบายไว้ข้างต้นนั้น จะทำให้เสมือนว่ามีข้อมูลภาพตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกระบบจำนวน 800 ภาพ และทดสอบด้วยภาพตัวอย่างจำนวน 200 ภาพ และทำการแบ่งข้อมูลการทดสอบออกเป็นสองระดับ

กำหนดให้ C1 แทนคลาสข้อมูลของเหลืองตรัง C2 แทนคลาสข้อมูลของขาวสตูล C3 แทนคลาสข้อมูลของเหลืองกระบี่ C4 แทนคลาสข้อมูลของเหลืองปราจีน และ C5 แทนคลาสข้อมูลของฝ้ายหอย

ทดสอบกับค่าคุณลักษณะที่เกี่ยวกับสีและรูปร่างกับข้อมูลทั้งห้าคลาสแล้วพบว่าสามารถจำแนกภาพได้ถูกต้องตามชนิดจริง จำนวน 181 ภาพ คิดเป็น 90.5 เปอร์เซ็นต์ และมีภาพที่จำแนกไม่ตรงตามชนิดจริง จำนวน 19 ภาพ คิดเป็น 9.5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำแนกดอกกล้วยไม้รองเท้านารีทั้ง 5 คลาส

ข้อมูลจริง \ ผลการจำแนก	C1	C2	C3	C4	C5
C1	28	0	0	1	3
C2	0	40	0	0	0
C3	1	0	38	1	0
C4	1	0	2	38	0
C5	10	0	0	0	37
รวม	40	40	40	40	40

จากผลในตารางข้างต้น พบว่าผลการทดลองด้วยกระบวนการจำแนกแบบการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ให้ผลการจำแนกที่ดีขึ้นกว่าการใช้วิธีการวัดค่าระยะทางต่ำสุด (Minimum Distance) [9] แม้ว่าจะระหว่างคลาส C1 กับ คลาส C5 ยังมีการจำแนกไม่ถูกต้องอยู่จำนวนข้อมูลหนึ่ง

เนื่องจากค่าคุณลักษณะของสีและรูปร่างที่นำมาใช้ในการจำแนกของทั้งสองกลุ่มมีค่าคุณลักษณะใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นอาจจะทำการเพิ่มค่าคุณลักษณะทางด้านพื้นผิว โดยใช้ลายของดอกมาช่วยในการจำแนก ซึ่งจะสามารถช่วยให้การจำแนกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณลักษณะสำคัญ (Features) ที่เหมาะสม ในการนำมาใช้จำแนกประเภทภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารี โดยอาศัยค่าคุณลักษณะทางด้านสี และรูปร่าง ผลการทดลองของการจำแนกภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารี โดยการนำค่าของคุณลักษณะข้างต้นมาใช้ในการจำแนก ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และใช้เทคนิคการแบ่งข้อมูลชุดฝึกและชุดทดสอบระบบด้วยวิธีการทดสอบความถูกต้องแบบข้ามห้าทบ (5-Fold Cross Validation) พบว่าผลการทดลองสามารถให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซนต์ โดยผลการจำแนกสามารถให้ค่าความถูกต้องได้ถึง 90.5 เปอร์เซนต์

ในขั้นตอนต่อไป ผู้วิจัยจะทำการหาคุณลักษณะที่ใช้ในการจำแนกเพิ่ม เช่น ลวดลายหรือลักษณะพื้นผิวของดอก เพื่อให้ผลของการจำแนกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สลิล สิทธิจักรธรรม และ นฤมล กฤษณชาญดี, "คู่มือกล้วยไม้", สำนักพิมพ์สารคดี, 2550.
- [2] M.-E. Nilsback and A. Zisserman, "A Visual Vocabulary for Flower Classification", *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*,

pp.1447-1454, 2006.

- [3] C. Pornpanomchai and A. Suppaiboonvong, "Thai Blooming Flower Recognition", *Department of Computer science*, Mahidol University, 2009.
- [4] ชีระวัฒน์ วรคามินทร์, "ระบบผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกกล้วยไม้: กรณีศึกษากล้วยไม้สกุลหวายของไทย", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล, คณะเทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ, สาขาการจัดการระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร, 2545.
- [5] อุไร จิรมงคลการ, "กล้วยไม้รองเท้านารี", สำนักพิมพ์บ้านและสวน, 2551.
- [6] R.C. Gonzalez, and R. E. Woods, "Digital Image Processing". New Jersey: Prentice-Hall, pp.822, 2008.
- [7] M.-E. Nilsback and A. Zisserman, "Automated Flower Classification over a Large Number of Classes", Bhubaneswar, pp. 722-729, 2008.
- [8] พีรวิชญ์ ภาคนนท์กุล, และ เสาวลักษณ์ วรรณภา, "การจำแนกคลิปปภาพยนต์โดยอาศัยปัจจัยทางอารมณ์ กลุ่มอารมณ์กลัวและกลุ่ม อารมณ์อื่น", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, 2552.
- [9] บุญวิภา ราศรีสุทธิ และ เสาวลักษณ์ วรรณภา, "การจำแนกพันธุ์กล้วยไม้รองเท้านารีโดยใช้เนื้อหาภายในภาพ", มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, 2553.