

การตรวจเอกสาร

ส้มโอจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย โดยมีความนิยมบริโภคทั้งในและต่างประเทศ โดยส้มโอมีชื่อสามัญว่า pummelo ซึ่งแผลงมาจากภาษาดัตช์ คือ pummelose และชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus maxima* Burm. Merrill. หรือ *Citrus grandis* L. Osbeck. ซึ่งเป็นพืชวงศ์ Rutaceae (มงคล, 2536; วิเศษ, 2540; บรรณ, 2541)

จากอดีตจนถึงปัจจุบันวิธีการตรวจวัดความแก่ของผลส้มโอ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. การนับอายุของผล โดยเริ่มนับตั้งแต่หลังวันดอกบานจนกระทั่งผลแก่ ซึ่งการนับอายุผลในกรณีที่มีจำนวนมากจะกระทำไม่ได้สะดวก และอาจสับสนได้ (มงคล, 2536; วิเศษ, 2540)

2. การวัดปริมาณกรดด้วยการไทเตรต (titratable acidity, TA) โดยการนำน้ำส้มมาไทเตรตกับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยวิธีนี้จัดเป็นการวัดความแก่แบบทำลายผลไม้ ซึ่งนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการยืนยันความแก่ของผลจากการวัดด้วยวิธีอื่น (มงคล, 2536)

3. การวัดหาอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (TSS/TA หรือ B/A ratio) โดยปริมาณน้ำตาลจะทำการวัดด้วยเครื่อง hand refractometer มีหน่วยเป็น บริกซ์ (brix) เพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) จากน้ำคั้นส้มโอ ซึ่งรวมทั้งกรดอินทรีย์และปริมาณสารประกอบต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ แต่ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล เทคนิคนี้เป็นการวัดความแก่แบบทำลายเช่นกัน และนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการยืนยันผลการตรวจสอบความแก่ของผลจากการวัดด้วยวิธีอื่นเช่นเดียวกับข้อ 2 จากการศึกษาลูกไม้หลายชนิดพบว่าอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดจะมีความสัมพันธ์กับวัยของผลไม้มากกว่าการใช้ปริมาณกรด หรือปริมาณน้ำตาลเพียงอย่างเดียว (มงคล, 2536; จริงแท้, 2542)

4. สีผิวเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้ตรวจวัดความแก่ของผล โดยเมื่อส้มโอแก่ สีผิวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวย่อหรือเขียวอมเหลือง เมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนสีผิว ซึ่งมีค่ามาตรฐานสำหรับส้มโอแต่ละพันธุ์ แต่วิธีนี้อาจให้ผลการตรวจวัดที่คลาดเคลื่อนได้ ในกรณีที่ผลส้มโอเติบโตในตำแหน่งใต้ร่มใบ ซึ่งทำให้ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง ดังนั้นเมื่อผลแก่สีผิวอาจเปลี่ยน

แปลงน้อยมาก ด้วยเหตุนี้การตรวจสอบสีผิวจึงไม่ให้ผลที่ถูกต้องทั้งหมด (สุรนนต์ และคณะ, 2531; มงคล, 2536)

แต่ทั้ง 4 วิธีการข้างต้นมีความไม่เหมาะสมในการบ่งบอกความแก่ของผลส้มโอดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ต้องมีการศึกษาหาวิธีบ่งบอกความแก่ของผลส้มโอแบบใหม่ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน และไม่ทำลายผลไม้

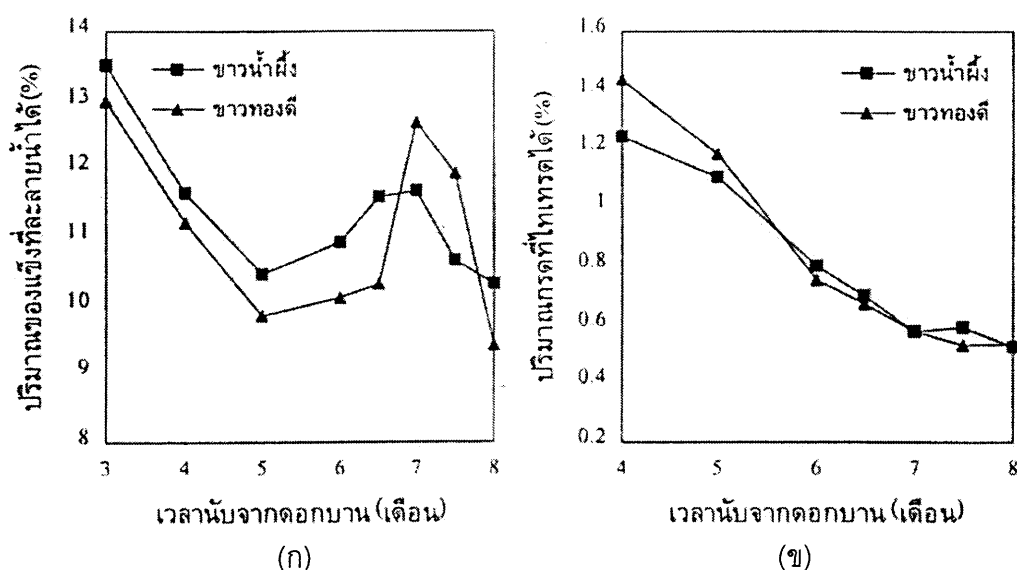
สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาลักษณะของผลส้มโอพันธุ์ต่าง ๆ และการควบคุมคุณภาพของผลส้มโอสามารถสรุปผลได้ดังนี้

พรชัย (2530) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน และลันหนา (2530) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ชาทองดีเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ซึ่งกระทำที่อุณหภูมิระหว่าง 5 – 30 °ซ. เป็นเวลา 10 สัปดาห์ จากผลการทดลองทั้งสองพบว่า การเก็บรักษาผลส้มโอ ณ ช่วงอุณหภูมิ 5 – 10 °ซ. ทำให้ส้มโอมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ (น้ำหนักผล สีผิว ความแน่นเนื้อ และความละเอียดของเนื้อ) และทางเคมี (ปริมาณกรด และปริมาณน้ำตาล) น้อย

กัลปพฤกษ์ (2534) ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของส้มโอ 7 พันธุ์ อันได้แก่ พันธุ์ชาวน้ำผึ้ง พันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าซ้อย พันธุ์ชาหอม พันธุ์ชาแป้น พันธุ์ชาพวง และพันธุ์ชาแดงกวา โดยลักษณะทางกายภาพที่ศึกษา คือ ขนาด น้ำหนัก ความหนาของเปลือก ความถ่วงจำเพาะ ความฉ่ำ จำนวนกลีบ จำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ เป็นต้น และลักษณะทางเคมีที่ศึกษา คือ ปริมาณกรดซิตริกในน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากน้ำคั้นส้มโอ เป็นต้น จากผลการทดลองในงานดังกล่าวพบว่าส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ คือ การวัดเปรียบเทียบจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ของส้มโอแต่ละพันธุ์ ซึ่งในการทดลองได้ใช้ส้มโอที่เก็บเกี่ยวที่อายุการค้า และส้มโอแต่ละพันธุ์ใช้จำนวน 30 ผล โดยจากการทดลองพบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดีมีจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่มากที่สุด (237.07 ต่อมต่อตารางนิ้ว) แต่ในการทดลองมิได้ระบุว่าสามารถวัดจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ได้อย่างไร นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้เป็นเพียงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของต่อมน้ำมันระหว่างส้มโอพันธุ์ต่าง ๆ แต่มิได้เป็นการวัดความหนาแน่นของต่อมน้ำมันเพื่อบ่งบอกอายุผล ซึ่งเป็นการศึกษาที่ต่างจากงานวิจัยนี้ที่ศึกษาการวัดขนาดและ/หรือความหนาแน่นของ

ต่อมน้ำมันที่เปลี่ยนตามอายุผล เพื่อหาฐานข้อมูลที่ใช้ตรวจวัดความแก่ของผลส้มโอแบบไม่ทำลายและกระทำได้สะดวก

จริงแท้ (2542) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดและของแข็งที่ละลายน้ำได้กับอายุผลของส้มโอพันธุ์ขาวทองดีและขาวน้ำผึ้ง จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีลักษณะลดลงในช่วง 3 – 5 เดือนแรกนับจากดอกบาน แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอายุ 7 เดือนนับจากดอกบาน หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงสำหรับส้มโอทั้งสองพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 1 งานวิจัยนี้เข้าข่ายการวัดความแก่ของผลส้มโอตามวิธีมาตรฐาน (ข้อ 1 – 3) ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของ (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ (ข) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้กับอายุของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและขาวทองดี

วิธีการตรวจวัดความแก่ของผลส้มโอที่จะกระทำในงานวิจัยนี้ คือ การวัดขนาดและ/หรือความหนาแน่นของต่อมน้ำมันจากภาพถ่ายผิวของผลส้มโอโดยอาศัยเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดความแก่แบบไม่ทำลายผลไม้ ไม่ยุ่งยาก และไม่ซับซ้อน แล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับอายุผล นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดความแก่แบบมาตรฐานในข้อ 1 - 3 ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พร้อมทั้งทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเปรียบเทียบความแก่กับเทคนิคการวัดขนาดและ/หรือความหนาแน่นของต่อมน้ำมันที่จะกระทำในงานวิจัยนี้

หลักการประมวลผลภาพ (Image processing)

ภาพ ในความหมายทางคณิตศาสตร์ คือ ฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y เป็นระบบพิกัดใน 2 มิติ ค่าฟังก์ชัน $f(x,y)$ เรียกว่า ค่าระดับสีเทา (gray level) (Gonzalez และ Wood, 1992)

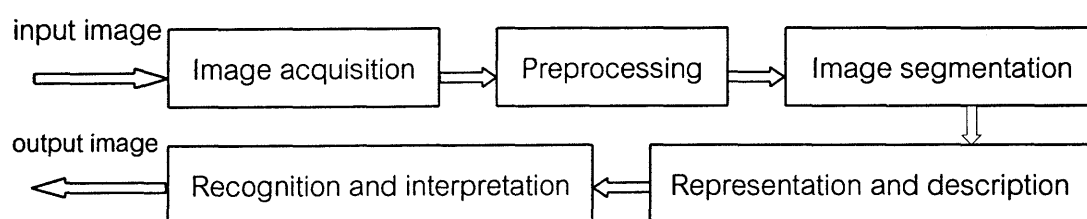
$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y) \quad (1)$$

โดย

$i(x,y)$ คือ องค์ประกอบการส่องสว่าง (illuminant component) มีค่าอยู่ในช่วง $(0,\infty)$

$r(x,y)$ คือ องค์ประกอบการสะท้อน (reflectance component) มีค่าอยู่ในช่วง $(0,1)$

ขั้นตอนการประมวลผลภาพสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2 โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนใหญ่ ๆ (Gonzalez และ Wood, 1992) คือ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

1. การรับภาพ (image acquisition) คือ การรับสัญญาณภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกแล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล

2. การปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผล (preprocessing) คือ ขั้นตอนการปรับปรุงภาพให้มีความคมชัดมากขึ้นเพื่อง่ายต่อการประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อไป

3. การจำแนกภาพ (image segmentation) คือ ขั้นตอนการจำแนกภาพวัตถุออกจากฉากหลัง

4. การแทนและอธิบายภาพ (representation and description) คือ ขั้นตอนการแทนบริเวณที่ทำการจำแนกภาพวัตถุแล้ว ซึ่งอาจแทนจากลักษณะภายนอกหรือภายในของภาพวัตถุ ผลที่ได้จะช่วยในการอธิบายภาพ

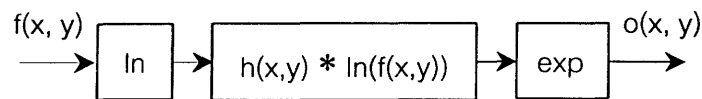
5. การรู้จำและแปลความหมายภาพ (recognition and interpretation) คือ การนำผลการแทนและอธิบายภาพเพื่อรู้จำภาพวัตถุ แล้วนำภาพวัตถุที่รู้จำได้มาแปลความหมายหรือประมวลผลต่อไป

การปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผล

การปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผลนั้นมีผลต่อความสำเร็จของโปรแกรมอย่างมาก ในที่นี้ การปรับปรุงภาพจะใช้วิธีการเพิ่มรายละเอียด (image enhancement) ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวกรองแบบโฮโมมอร์ฟิก (homomorphic filter) และตัวกรองมัธยฐาน (median filter) ซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ รายละเอียดตัวกรองแบบอื่น ๆ สามารถศึกษาเพิ่มเติมจาก (Gonzalez และ Wood, 1992)

ตัวกรองแบบโฮโมมอร์ฟิก

ค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพ ($f(x,y)$) จะประกอบด้วยองค์ประกอบการส่องสว่าง ($i(x,y)$) ที่มาจากภายนอก และองค์ประกอบการสะท้อน ($r(x,y)$) ของตัววัตถุเอง ซึ่งโดยทั่วไป องค์ประกอบการส่องสว่างของภาพจะมีเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิอย่างช้า ๆ ในขณะที่องค์ประกอบการสะท้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิอย่างเฉียบพลัน คุณลักษณะเหล่านี้ถ้านำมาแปลงฟูริเยร์จะได้ว่าองค์ประกอบการส่องสว่างจะอยู่ในย่านความถี่ต่ำ ในขณะที่องค์ประกอบการสะท้อนจะอยู่ในย่านความถี่สูง ถ้าต้องการลดผลขององค์ประกอบการส่องสว่างลงเพื่อให้ภาพมีความคมชัดขึ้น สามารถกระทำได้โดยใช้ตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก ซึ่งกระบวนการกรองแบบโฮโมมอร์ฟิกสามารถอธิบายอย่างคร่าว ๆ ดังบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3 นั่นคือ การนำข้อมูลภาพ ($f(x,y)$) มาใส่ลอการิทึมฐานธรรมชาติ (\ln) เพื่อแยกองค์ประกอบการส่องสว่างและองค์ประกอบการสะท้อนออกจากกัน แล้วทำการประสาน (convolution) กับฟังก์ชันการถ่ายโอนของตัวกรองผ่านสูง (highpass filter) ที่อยู่ในโดเมนปริภูมิ ($h(x,y)$) ในที่นี้ใช้ตัวกรองผ่านสูงซึ่งแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการกรองแบบไฮโมมอร์ฟิก

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

ภาพที่ 4 ตัวกรองผ่านสูงในโดเมนปริภูมิ

หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาใส่เอกซ์โพเนนเชียลจะได้เป็นภาพที่ผ่านการกรองแบบไฮโมมอร์ฟิก ($o(x, y)$) (Gonzalez และ Wood, 1992; Sid-Ahmed, 1994; Castleman, 1996)

ตัวกรองมัธยฐาน

ตัวกรองมัธยฐานทำหน้าที่ลดผลของสัญญาณรบกวนในภาพ โดยการนำค่าระดับสีเทาภายใต้หน้าต่างที่กำหนดมาเรียงลำดับ ($z_1 - z_9$ ในภาพที่ 5) แล้วจึงเลือกค่ากลางหรือค่ามัธยฐานแทนกลับ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าต่าง (ตำแหน่ง z_5 ดังในภาพที่ 5) (Gonzalez และ Wood, 1992)

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

ภาพที่ 5 ค่าระดับสีเทายภายใต้หน้าต่างขนาด 3×3

การจำแนกภาพ

การจำแนกภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อการแยกภาพวัตถุที่ต้องการออกจากฉากหลัง ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการตรวจวัดขอบ (edge detection) และการตรวจวัดวงกลม (circle detection) เพื่อสร้างต่อมน้ำมันเสมือนสำหรับกรณีต่อมน้ำมันที่มีปัญหา (ต่อมน้ำมันที่ติดกันและ/หรือต่อมน้ำมันที่ถูกแมลงทำลาย) (Gonzalez และ Wood, 1992)

การตรวจวัดขอบอาศัยหลักการของความแตกต่างบริเวณขอบภาพวัตถุ ตัวดำเนินการเกรเดียนต์ (gradient operator) ที่สามารถตรวจวัดขอบได้ทั้งภาพระดับสีเทา (gray scale image) และภาพแบบทวิภาค (binary image) แต่สำหรับภาพแบบทวิภาค ผลการตรวจวัดขอบที่ได้อาจมีขนาดใหญ่กว่าภาพต้นฉบับ ดังนั้นกรณีภาพแบบทวิภาคอาจใช้คุณสมบัติของความแตกต่างกันบริเวณขอบภาพวัตถุ เนื่องจากภาพวัตถุกับฉากหลังมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด (Gonzalez และ Wood, 1992; Crane, 1997)

ส่วนการตรวจวัดวงกลมจะใช้คุณสมบัติการแปลงฮัฟ (hough transform) และการวิเคราะห์กลุ่มข้อมูล (cluster analysis) ในการหาจุดสูงสุดเฉพาะกลุ่ม (local maximum) ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม (Davies, 1997; Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

ตัวดำเนินการเกรเดียนต์

ตัวดำเนินการเกรเดียนต์จะใช้เพื่อหาทิศทางของขอบ โดยทั่วไปเกรเดียนต์ของภาพสามารถเขียนได้เป็น

$$\nabla f = G_x \vec{i} + G_y \vec{j} = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \vec{j} \quad (2)$$

โดย

\vec{i} และ \vec{j} คือ เวกเตอร์หน่วยตามแกน x และ y ในโดเมนปริภูมิ ตามลำดับ

และขนาดของเกรเดียนต์สามารถเขียนดังสมการ (3) ทิศทางของเกรเดียนต์เมื่อเทียบกับแกน x สามารถเขียนดังสมการ (4)

$$\nabla f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{G_y}{G_x} \right] \quad (4)$$

ตัวดำเนินการเกรเดียนต์อาจนำไปใช้ในรูปแบบเชิงเลขได้หลายวิธี (Gonzalez และ Wood, 1992) ในที่นี้ขอยกตัวอย่างตัวดำเนินการโซเบล (sobel operator) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าตัวดำเนินการเกรเดียนต์ตัวอื่น ๆ คือ มีการลดสิ่งรบกวนในภาพขณะทำการตรวจวัด และสามารถบ่งบอกทิศทางของขอบได้ โดยจะเลือกใช้หน้ากากขนาด 3×3 เนื่องจากถ้าใช้หน้ากากขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น แต่ถ้าใช้หน้ากากขนาดเล็กเกินไปจะให้ข้อมูลที่ละเอียดเพียงพอ ซึ่งสมการของตัวดำเนินการโซเบลสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} G_x &= (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \\ G_y &= (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \end{aligned} \quad (5)$$

โดย

$z_1 - z_9$ คือ ค่าระดับสีเทาภายใต้หน้ากากขนาด 3×3 ในภาพที่ 5

โดยค่าเกรเดียนต์ที่ได้จากการคำนวณจะนำมาแทน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้ากากขนาด 3×3 (ตำแหน่ง z_5 ในภาพที่ 5) แล้วทำการขยับหน้ากากไปทางขวาทีละจุดภาพ และคำนวณค่าเกรเดียนต์ตามขั้นตอนข้างต้นจนสุดแถว แล้วค่อยขยับหน้ากากไปยังคอลัมน์แรกของแถวถัดไปและทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบทั้งภาพ

การตรวจวัดวงกลม

จากคุณสมบัติการแปลงฮัฟสามารถใช้ตรวจวัดเส้นตรง วงกลม และวงรี ขึ้นอยู่กับสมการที่ใช้ในการแปลง ส่วนเส้นโค้งแบบอื่น ๆ สามารถใช้การแปลงฮัฟแบบทั่วไป (generalized hough transform) แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้หน่วยความจำจำนวนมากในการเก็บข้อมูล (Gonzalez และ Wood, 1992; Haralick และ Shapiro, 1992; Davies, 1997) จากสมการวงกลม

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \quad (6)$$

ทำการแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinates) จะได้

$$x = x_c + r \cos \theta \quad (7)$$

$$y = y_c + r \sin \theta \quad (8)$$

โดย

θ คือ มุมที่กระทำกับแกน x ซึ่งสามารถหาจากสมการ (4)

r คือ รัศมีของวงกลม

(x_c, y_c) คือ พิกัดจุดศูนย์กลางของวงกลม

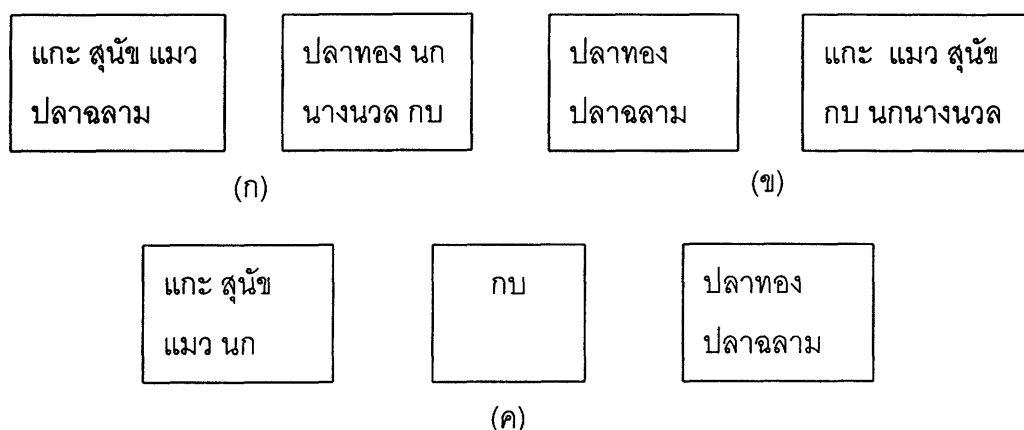
หลังจากนั้นนำสมการ (7) และ (8) มาเขียนเป็นสมการการแปลงฮัพสำหรับวงกลม ดังสมการ (9) และ (10) ในทางปฏิบัติไม่สามารถบ่งบอกค่ารัศมีของวัตถุที่แน่นอนได้ จึงทำให้มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด 3 ตัว คือ x_c , y_c และ r ทำให้ต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก โดยรัศมี (r) จะถูกจำกัดด้วยขนาดของภาพที่นำมาประมวลผล

$$x_c = x - r \cos \theta \quad (9)$$

$$y_c = y - r \sin \theta \quad (10)$$

การวิเคราะห์กลุ่มข้อมูล

การจัดกลุ่มข้อมูล (clustering) เป็นการรู้จำรูปแบบในลักษณะที่ไม่มีการเรียนรู้มาก่อน (unsupervised pattern recognition) ซึ่งมีจุดประสงค์ในการแบ่งประเภทของกลุ่มข้อมูล โดยสามารถบ่งบอกถึงความคล้ายหรือต่างกันของข้อมูลได้ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการจัดกลุ่ม การจัดกลุ่มอาจพบได้ในหลายสาขาวิชา เช่น การจัดอนุกรมวิธานของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เป็นต้น ในที่นี้ขอยกตัวอย่าง แกะ สุนัข แมว ปลาฉลาม นกนางนวล ปลาทอง และกบ ถ้าใช้เกณฑ์การจัดกลุ่มเป็นการออกลูกเป็นตัวสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังภาพที่ 6 (ก) คือ ออกลูกเป็นตัวกับออกลูกเป็นไข่ แต่ถ้าใช้เกณฑ์การแบ่งสัตว์ที่มีปอดสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังภาพที่ 6 (ข) คือ มีปอดและไม่มีปอด และถ้าใช้เกณฑ์การแบ่งสภาพแวดล้อมที่อยู่สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 6 (ค) คือ สัตว์ที่อยู่บนบก สัตว์ที่อยู่ในน้ำ และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ จากผลการจัดกลุ่มพบว่าข้อมูลชุด



ภาพที่ 6 ผลการแบ่งกลุ่มโดยขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่ง (ก) แบ่งตามการออกลูกเป็นตัว (ข) แบ่งตามการมีปอด และ (ค) แบ่งตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่

เดียวกัน ถ้าใช้เกณฑ์ในการจัดกลุ่มที่ไม่เหมือนกันก็จะให้ผลที่ต่างกัน (Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

การจัดกลุ่มสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบตามลำดับ (sequential clustering algorithms) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว เหมาะสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (compact data) แต่มีข้อเสีย คือ ผลการจัดกลุ่มข้อมูลที่ได้ขึ้นอยู่กับลำดับของข้อมูล (Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

สำหรับวิธีการจัดกลุ่มแบบตามลำดับสามารถจำแนกได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการแบบ 2 ชิดเริ่มเปลี่ยน (2 threshold sequential scheme, TTSS) ซึ่งผลการจัดกลุ่มข้อมูลที่ได้จะขึ้นอยู่กับลำดับของข้อมูลน้อยกว่าแบบอื่น หลักการทำงานของการจัดกลุ่มตามลำดับแบบ 2 ชิดเริ่มเปลี่ยนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7 คือ กำหนดชิดเริ่มเปลี่ยน Θ_1 และ Θ_2 ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกความเหมือนหรือต่างกันของข้อมูลแต่ละกลุ่ม โดยที่ $\Theta_2 > \Theta_1$ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่มกับกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการจัดกลุ่มแล้ว ดังแสดงในสมการ (11)

$$d_{\min} = d(\vec{x}_i, \vec{C}_k) = \min_{1 \leq j \leq m} d(\vec{x}_i, \vec{C}_j) \quad (11)$$

โดย

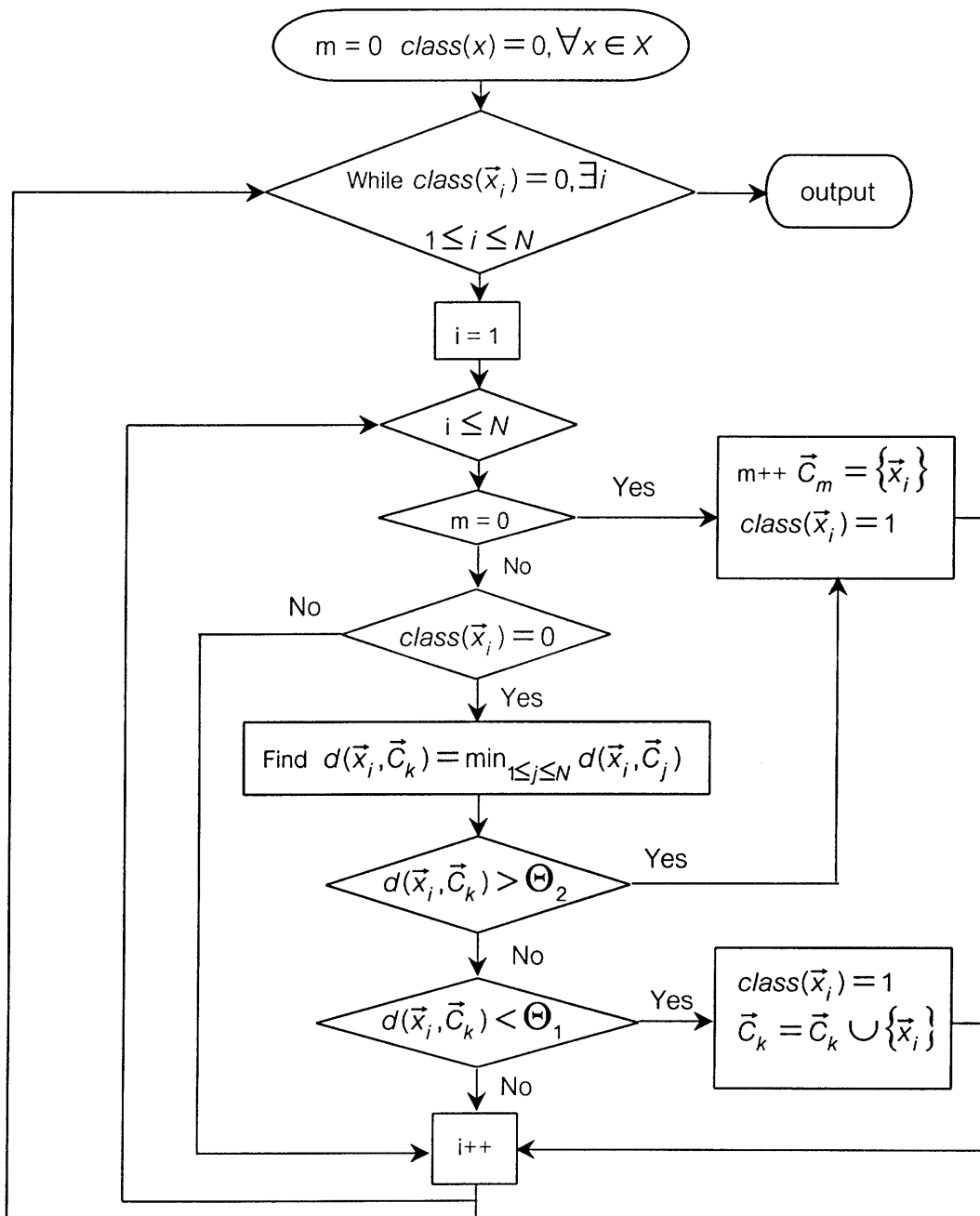
$d(\vec{x}_i, \vec{C}_j)$ สามารถหาจากสมการ (12)

\vec{x}_i คือ ข้อมูลลำดับที่ i ซึ่งต้องการจัดกลุ่ม โดย $1 \leq i \leq N$

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการจัดกลุ่ม

m คือ จำนวนกลุ่มที่ทำการจัดข้อมูลแล้ว

\vec{C}_k คือ กลุ่มข้อมูลที่ k ซึ่งใกล้กับข้อมูล \vec{x}_i ที่สุด โดย $1 \leq k \leq m$



ภาพที่ 7 วิธีการจัดกลุ่มตามลำดับแบบ 2 ชิดเริ่มเปลี่ยน

$$d(\vec{x}_i, \vec{C}_j) = \|\vec{x}_i - \vec{C}_j\| \quad (12)$$

ถ้าระยะทางระหว่างข้อมูลกับกลุ่มที่ใกล้ที่สุด (d_{\min}) มีค่าน้อยกว่า Θ_1 จะทำการจัดข้อมูลนั้นเข้ากลุ่มที่ใกล้ที่สุด (กลุ่ม k) และมีการปรับค่าตัวแทนของกลุ่มใหม่ ตามสมการ (13) แต่ถ้าระยะทางระหว่างข้อมูลกับกลุ่มที่ใกล้ที่สุด (d_{\min}) มากกว่าค่า Θ_2 จะทำการสร้างกลุ่มใหม่ให้กับข้อมูลนั้น และถ้าระยะทางที่สั้นที่สุด (d_{\min}) อยู่ระหว่างค่า Θ_2 และ Θ_1 แสดงว่ายังไม่สามารถจัดกลุ่มได้ในขณะนี้ ดังนั้นโปรแกรมจะทำการจัดกลุ่มข้อมูลถัดไปจนครบทุกข้อมูล แล้วจึงวนกลับมาทำซ้ำ จนกว่าข้อมูลทุกจุดจะถูกจัดกลุ่ม (Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

$$\vec{C}_k^{new} = \frac{\left(n_{\vec{C}_k^{new}} - 1 \right) \vec{C}_k^{old} + \vec{x}_i}{n_{\vec{C}_k^{new}}} \quad (13)$$

โดย

$n_{\vec{C}_k^{new}}$ คือ จำนวนข้อมูลที่อยู่ในกลุ่ม k หลังจากการรวมข้อมูลลำดับที่ i (\vec{x}_i) โดยมีค่าเท่ากับ $n_{\vec{C}_k^{old}} + 1$

ปัญหาของวิธีการจัดกลุ่มแบบตามลำดับเกิดจากลำดับของข้อมูลที่ทำ การจัด เช่น สมมติ \vec{x}_2 ถูกจัดไปอยู่ในกลุ่ม \vec{C}_1 หลังจากการจัดกลุ่มข้อมูลทุกตัวแล้ว \vec{x}_2 กลับอยู่ใกล้กับกลุ่ม \vec{C}_3 มากกว่า อาจทำการแก้ไขโดยการจัดกลุ่มซ้ำอีกรอบ (Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

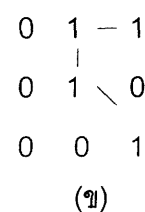
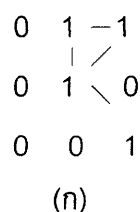
การติดตามขอบ (Edge following)

การติดตามขอบของวัตถุ สามารถกระทำได้โดยการหาลักษณะการต่อถึงกัน (connectivity) ระหว่างจุดภาพ 2 จุด โดยจุดภาพเพื่อนบ้าน (neighbors of a pixel) สามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะดังนี้ (Gonzalez และ Wood, 1992)

1. จุดภาพเพื่อนบ้าน 4 จุด (4 – neighbors) สามารถเขียนแทนด้วย N_4 เช่น $N_4(z_5)$ ในภาพที่ 5 มีจุดภาพเพื่อนบ้าน คือ z_2, z_4, z_6 และ z_8
2. จุดภาพเพื่อนบ้านที่อยู่ในแนวทแยงมุม 4 จุด (4 – diagonal neighbors) สามารถเขียนแทนด้วย N_D เช่น $N_D(z_5)$ ในภาพที่ 5 มีจุดภาพเพื่อนบ้าน คือ z_1, z_3, z_7 และ z_9
3. จุดภาพเพื่อนบ้าน 8 จุด (8 – neighbors) สามารถเขียนแทนด้วย N_8 เช่น $N_8(z_5)$ ในภาพที่ 5 มีจุดภาพเพื่อนบ้าน คือ $z_1, z_2, z_3, z_4, z_6, z_7, z_8$ และ z_9

จากจุดภาพเพื่อนบ้านทั้ง 3 ลักษณะ สามารถแบ่งประเภทของการต่อถึงกันได้ 3 แบบ คือ การต่อถึงกันแบบ 4 จุด (4 – connectivity) การต่อถึงกันแบบ 8 จุด (8 – connectivity) (Gonzalez และ Wood, 1992) และการต่อถึงกันแบบผสม (mixed connectivity) โดยการต่อถึงกันของจุดภาพ 2 จุด จะต้องอาศัยเงื่อนไข 2 ข้อ คือ จุดภาพทั้งสองจะต้องจัดอยู่ในลักษณะการต่อถึงกันลักษณะใดลักษณะหนึ่ง และค่าระดับสีเทาจะต้องมีค่าเป็นไปตามที่กำหนด (ในที่นี้ คือ ค่าระดับสีเทาของจุดขอบ) (Gonzalez และ Wood, 1992)

ในที่นี้จะใช้หลักการต่อถึงกันแบบผสม คือ สำหรับจุด p และ q จะมีการต่อถึงกันแบบผสม ก็ต่อเมื่อ จุดภาพ q เป็นสมาชิกของ $N_4(p)$ หรือจุดภาพ q เป็นสมาชิกของ $N_D(p)$ ในกรณีที่ไม่มีจุดภาพใดเป็นสมาชิกของ $N_4(p)$ ข้อดีของการต่อถึงกันแบบผสม คือ ไม่ทำให้เกิดขอบซ้ำซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 8 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับ การต่อถึงกันแบบ 8 จุด (ภาพที่ 8 (ก)) ซึ่งจะเกิดขอบซ้ำซ้อน ณ ตำแหน่ง z_3 และ z_5 โดยที่ z_3 และ z_5 คือ ตำแหน่งของจุดภาพที่แสดงไว้ในภาพที่ 5



ภาพที่ 8 (ก) ลักษณะการต่อถึงกันแบบ 8 จุดของจุดภาพกลาง และ (ข) ลักษณะการต่อถึงกันแบบผสมของจุดภาพเดียวกัน โดยเส้นที่เชื่อมโยงแสดงเส้นทางการต่อถึงกัน

การรู้จำและแปลความหมายภาพ

การหาพื้นที่ของต่อมน้ำมัน (A) สามารถกระทำได้โดยการนับจำนวนจุดภาพที่อยู่ภายในขอบภาพวัตถุรวมทั้งนับจุดขอบด้วย (Castleman, 1996) การหาเส้นรอบรูปของภาพวัตถุ (P) สามารถคำนวณตามสมการ (14) และอัตราส่วนความกลม (roundness ratio, R) สามารถเขียนได้ดังสมการ (15) ซึ่งใช้ทดสอบในกรณีต่อมน้ำมันแหวกหรือติดกัน โดยถ้าทดสอบแล้วพบว่าค่า $R \gg 1$ หรือ $R \ll 1$ แสดงว่าเป็นต่อมน้ำมันที่แหวกหรือติดกัน กรณีนี้โปรแกรมจะสร้างต่อมน้ำมันเสมือนขึ้น โดยสมมติว่าต่อมน้ำมันดังกล่าวมีลักษณะเป็นวงกลม (Theodoridis และ Koutroumbas, 1998)

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} \|x_{i+1} - x_i\| + \|x_n - x_1\| \quad (14)$$

โดย

x_i คือ จุดภาพที่เป็นขอบของภาพวัตถุ

n คือ จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบของภาพวัตถุ

$$R = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (15)$$

โดย

R คือ อัตราส่วนความกลม

P คือ เส้นรอบรูปของวัตถุ

A คือ พื้นที่ของวัตถุ