บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงรายละเอียดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับภาพเสาไฟฟ้าแรงสูง อันได้แก่ การกรองจุดภาพด้วยตัวกรองเรียกซ้ำ การสกัดเส้นตรงด้วยการแปลงฮัฟ และการกำจัดเส้นแนวนอนเพื่อตรวจจับภาพเสาไฟฟ้าจากเส้นโครงร่าง ในส่วนที่สองเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับวิธีการในการแสดงประสิทธิภาพของระบบด้วยเส้นโค้ง ROC (Receiver Operating Characteristics)

2.1 การตรวจจับภาพเสาไฟฟ้าแรงสูง

เทคโนโลยีระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสสลับแบบ สามเฟส เสาไฟฟ้าที่ใช้ได้รับการออกแบบมาให้สามารถติดตั้งตัวนำไฟฟ้าได้อย่างน้อยสามเส้น โดยปกติเสาจะประกอบด้วยโครงสร้างที่สร้างจากเหล็ก คอนกรีต หรือไม้ และลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ซึ่งทำจากเซรามิค แก้ว หรือวัสดุผสม นำมาร้อยเรียงกันเป็นแนวเพื่อเป็นส่วนรองรับน้ำหนักของสายตัวนำไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วบนเสาไฟฟ้ายังมีการติดตั้งสายดินไว้บริเวณส่วนยอดของเสาไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่าที่อาจทำอันตรายต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้า ไปยังพื้นดินแทน

เสาไฟฟ้าแรงสูงมีรูปแบบที่หลากหลายดังรูป 1-5 แต่ละแบบ มีข้อดีแตกต่างกัน โดยประเด็นสำคัญ คือความสามารถในการปกป้องสายตัวนำจากการถูกฟ้าผ่าซึ่งจะช่วยเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วยังมีความแตกต่างทางด้านความกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม ความสวยงามของโครงสร้าง ข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ติดตั้ง และจำนวนของวงจรที่ต้องติดตั้งอีกด้วย

ในการตรวจจับตำแหน่งของเสาไฟฟ้าภายในภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาของสิ่งกีดขวาง และการรบกวนจากจุดภาพของพื้นหลัง งานวิจัยนี้จึงตรวจจับตำแหน่งของเสาไฟฟ้าจากการจัดเรียงตัวของเส้นภายในภาพ โดยเริ่มต้นจากการสกัดเส้นตรงภายในภาพออกมาก่อน จากนั้นจึงสร้างระบบเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นที่มีความสัมพันธ์กับรูปร่างของเสาไฟฟ้า

เนื่องจากมีความต้องการที่จะแยกเส้นที่เป็นโครงร่างของเสาไฟฟ้าออกมา จึงจำเป็นต้องประมวลผลภาพโดยการกรองภาพ ด้วยตัวกรองที่สามารถแยกแยะจุดภาพที่เป็นจุดสมาชิกของเส้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกจากจุดภาพพื้นหลัง การกรองจุดภาพเพื่อหาเส้นมีหลายวิธี เช่น การกรองด้วยตัวกรองที่ใช้รูปแบบของเส้นเป็นเคอร์เนลสำหรับการคอนโวลูต [13-14] การตรวจจับเส้นจากลักษณะของสันเขา (Ridge) หรือหุบเหว (Ravine) โดยใช้แบบจำลองผิวเรียบ (Facet Model) [15] และการตรวจจับเส้นแบบอื่นๆ ที่ใช้ในงานตรวจจับระยะไกล การประมวลผลเอกสาร และงานกรณีเฉพาะอื่นๆ [6, 16-18]

2.1.1 การกรองจุดภาพด้วยตัวกรองเรียกซ้ำ (Recursive Filter) [16-17]

เมื่อกำหนดให้ สัญญาณที่ต้องการตรวจจับเส้น $I(x)$ เป็นผลรวมระหว่าง โพรไฟล์เส้นตามแนวตัดขวางที่ปราศจากสัญญาณรบกวน $F(x)$ กับ สัญญาณรบกวน $N(x)$ ดังสมการที่ (2.1)

$$I(x) = F(x) + N(x) \tag{2.1}$$

เมื่อกำหนดให้

$$F(x) = (1 + p|x|)e^{-p|x|} \tag{2.2}$$

และ p เป็นค่าคงที่บวก

ตัวกรองสำหรับตรวจจับภาพเส้น $F(x)$ ในงานวิจัยนี้ ได้จากการกำหนดคุณสมบัติตัวกรองตามเงื่อนไขทางด้านประสิทธิภาพของ Canny [17,19] และได้ผลเฉลย (Solution) เป็นฟังก์ชันตัวกรอง $f(x)$ ดังสมการที่ (2.2)

$$f(x) = e^{-s|x|}(\mu|x| - 1) \tag{2.2}$$

เมื่อ s เป็นค่าคงที่ และ μ ได้จากการนอร์มัลไลซ์เพื่อให้ผลตอบสนองของตัวกรองต่อสัญญาณคงที่ (Constant Image) เป็นศูนย์

ฟังก์ชันตัวกรอง $f(x)$ เป็นฟังก์ชันตรวจจับเส้นหนึ่งมิติเท่านั้น การตรวจจับเส้นในภาพจำเป็นต้องขยายตัวกรอง $f(x)$ ไปเป็นสองมิติ แต่เนื่องจากเส้นในภาพ สามารถวางตัวในทิศทางใดก็ได้ จึงต้องใช้ตัวกรองตรวจจับเส้น ทั้งในทิศทางแนวแกน x แกน y และแนวทแยงมุม ในส่วนตัวกรองสองมิติในทิศทางแนวแกน x , $X(x,y)$ นั้นเป็นดังสมการที่ (2.3)

$$X(x,y) = f(x)g(y) \tag{2.3}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันตรวจจับเส้น (Detection function) ตามทิศทาง x ในสมการที่ (2.2) และ $g(x)$ เป็นฟังก์ชันการฉาย (Projection Function) ตามทิศทาง y ที่ได้จากการนอร์มัลไลซ์ฟังก์ชัน $f(x)$ ดังสมการที่ (2.3)

$$g(x) = \int_{-\infty}^{x}\int_{-\infty}^{t} f(x)dxdt = \frac{1}{s^2}e^{-s|x|}(s|x|+1) \tag{2.3}$$

แต่เมื่อปรับแต่งอีกเล็กน้อยเพื่อให้ผลตอบสนองของตัวกรองต่อภาพคงที่เป็นศูนย์ จะได้ฟังก์ชัน g ดังสมการที่ (2.4)

$$g(x) = k(1+s|x|)e^{-s|x|} \tag{2.4}$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่จากการนอร์มัลไลซ์

ในส่วนตัวกรองตามแนวทแยงมุมซึ่งทำงานทั้งตามทิศทาง x และทิศทาง y นั้น กำหนดโดยฟังก์ชัน $h(x)$ ดังสมการที่ (2.5)

$$h(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt = -xe^{-sx} \tag{2.5}$$

แต่เพื่อให้ผลตอบสนองต่อภาพคงที่มีค่าเป็นศูนย์เมื่อข้อมูลเป็นภาพคงที่ จึงปรับแต่งสมการอีกเล็กน้อยดังสมการที่ (2.6)

$$h(x) = -cxe^{s|x|} \tag{2.6}$$

เมื่อ c เป็นค่าคงที่จากการนอร์มัลไลซ์

จะได้ตัวกรองที่จำเป็นทั้งสามตัว ได้แก่ ตัวกรองในทิศทาง x ตามสมการที่ (2.3) ตัวกรองในทิศทาง y , $Y(x, y)$ ตามสมการที่ (2.7) และตัวกรองในแนวทแยงมุมตามสมการที่ (2.8)

$$Y(x, y) = f(y)g(x) \tag{2.7}$$

$$Z(x, y) = h(x)h(y) \tag{2.8}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการเลือกจุดภาพสมาชิกของเส้นนั้น จะพิจารณาความสมเหตุสมผล และทิศทางเกรเดียนต์ (Gradient) ณ แต่ละจุดภาพ ในส่วนทิศทางเกรเดียนต์นั้นสามารถประมาณได้จากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigenvector) ที่เป็นคู่กับค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) ที่มีค่าสัมบูรณ์มากที่สุด ($\lambda_{\max}$) ของเมทริกซ์ (2.9)

$$\begin{bmatrix} (I*X)(x,y) & (I*Z)(x,y) \\ (I*Z)(x,y) & (I*Y)(x,y) \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

เมื่อกำหนดให้ I เป็นภาพที่ต้องการตรวจหาเส้น ส่วนค่าลักษณะเฉพาะนั้น สามารถหาได้จากสมการที่ (2.10)

$$\lambda(x,y) = \frac{1}{2}\left(I*X + I*Y \mp \sqrt{(I*X + I*Y)^2 + 4(I*Z)^2} \right) \tag{2.10}$$

หากค่าลักษณะเฉพาะที่มีค่าสัมบูรณ์มากที่สุดที่ได้ของจุดภาพนั้น มีค่าเป็นลบ แสดงว่าเส้นที่ตรวจพบเป็นเส้นสว่างบนพื้นหลังทึบ หากมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นเส้นทึบบนพื้นหลังสว่าง ส่วนทิศทางเกรเดียนต์ ณ จุดภาพนั้น หาได้จากสมการที่ (2.11)

$$\vec{n} = \left(\frac{I*Z, \lambda_{\max} - I*X}{\sqrt{(I*X)^2 + (\lambda_{\max} - I*X)^2}} \right) \tag{2.11}$$

เมื่อ $\lambda_{\max}$ เป็นค่าลักษณะเฉพาะที่มีค่าสัมบูรณ์มากที่สุดที่ได้จากสมการ (2.10)

ความสมเหตุสมผลของการที่จุดภาพจะเป็นสมาชิกของเส้นหรือไม่นั้น สามารถประมาณได้จากค่าลักษณะเฉพาะที่มีค่าสัมบูรณ์มากที่สุด $\lambda_{\max}$ ที่ได้จากสมการ (2.10) ของแต่ละจุดภาพ เมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางเกรเดียนต์ ที่ได้จากสมการที่ (2.11) โดยใช้การขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maximum Suppression) [19] ซึ่งมีหลักการว่า หากจุดภาพใดมีความสมเหตุสมผลมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจุดภาพข้างเคียงที่อยู่ในแนวทิศทางเกรเดียนต์แล้ว จุดภาพนั้นเป็นจุดสมาชิกของเส้น

หลังจากผ่านขั้นตอนการขจัดค่าที่ไม่มากที่สุดแล้ว ผลลัพธ์จะได้เป็นภาพไบนารีที่สามารถนำไปคัดเลือกเฉพาะจุดที่เรียงตัวเป็นเส้นตรงได้ด้วยวิธีการแปลงฮัฟในหัวข้อถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 การสกัดเส้นด้วยการแปลงฮัฟ (Hough Transform) [20]

หลังจากได้จุดของเส้นที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองเรียกซ้ำ เพื่อเลือกเอาเฉพาะจุดที่เป็นสมาชิกของเส้นเท่านั้นแล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกค้นหาจุดที่เรียงตัวกันเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นสมาชิกของเสาไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์นี้

การแปลงฮัฟ (Hough Transform) เป็นเทคนิคที่ใช้ในตรวจจับลักษณะเด่น ที่สามารถระบุรูปร่างได้โดยใช้พารามิเตอร์เพียงไม่กี่ตัว เช่น เส้นตรง วงกลม หรือวงรีในภาพ เป็นต้น การแปลงฮัฟมีข้อดีในแง่ที่สามารถตรวจหาลักษณะเด่นที่ต้องการได้ แม้ว่าจะถูกบดบัง หรือในภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก การตรวจจับเส้นตรงภายในภาพโดยใช้การแปลงฮัฟ เริ่มจากแนวคิดที่จะแทนเส้นตรงแต่ละเส้นภายในภาพด้วยพารามิเตอร์ r ที่เป็นระยะห่างระหว่างเส้นกับจุดเริ่มต้น (Origin) และ θ ที่เป็นมุมของเวกเตอร์จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดของเส้นที่ใกล้ที่สุด ทำให้สามารถเขียนสมการของเส้นภายในภาพได้ดังนี้

$$r = x\cos\theta + y\sin\theta \tag{2.12}$$

ในการวิเคราะห์ภาพ พิกัดของจุดในภาพจะถูกวาดลงบนพิกัด r และ θ จากนั้นเมื่อมองในพิกัด r และ θ แล้ว จะพบว่าจุดที่เป็นสมาชิกของเส้นตรงจะมีค่าพารามิเตอร์เป็นค่าเดียวกันดัง รูป 2-1ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง (c)

2.1.3 การตรวจจับภาพเสาไฟฟ้าภายในภาพจากเส้นโครงร่าง

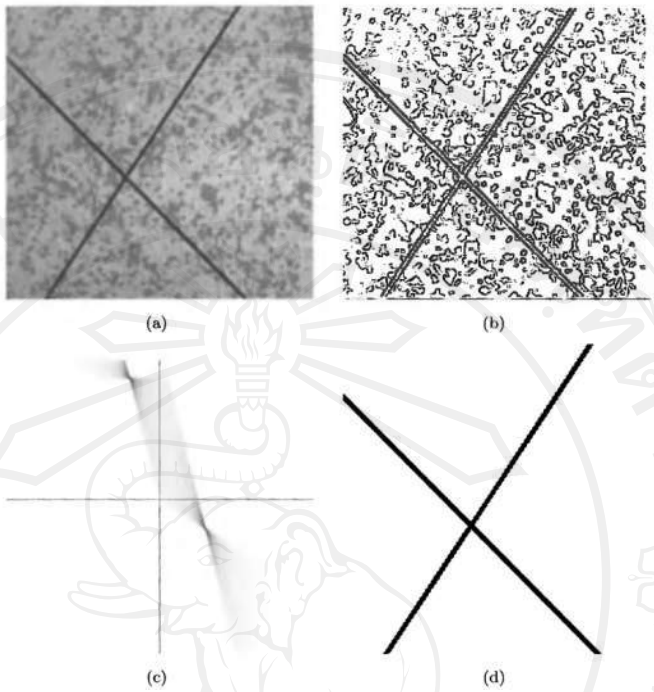
เมื่อได้เส้นจากการสร้างโครงร่างด้วยการแปลงฮัฟ แล้วขั้นต่อไปเป็นการตรวจจับการจัดเรียงตัวของเส้นที่มีความสัมพันธ์กับภาพเสาไฟฟ้าแรงสูงภายในภาพ

2.1.3.1 การกำจัดเส้นแนวนอน

เส้นโครงร่างที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า สามารถแสดงได้ในรูปพารามิเตอร์ r และ θ โดยที่ θ เป็นค่าของมุมที่เส้นๆนั้นทำกับแนวแกน y ในภาพ

เส้นที่เป็นองค์ประกอบของเสาไฟฟ้าแรงสูงเป็นเส้นที่วางตัวในแนวดิ่ง การกำจัดเส้นในแนวราบขนานกับพื้นจึงเป็นการลดสิ่งบดบังอื่นๆภายในภาพที่มิใช่เสาไฟฟ้าแรงสูงได้ ดังนั้น ในงานวิจัยจึงดำเนินการกำจัดเส้นแนวราบดังกล่าว ด้วยการจำกัดมุมของเส้นโดยกำหนดให้ $|\theta|$ มีค่าน้อยกว่า 8 องศา ตามสมการ $|\theta| < 8$ องศา ทำให้สามารถตัดเส้นที่เป็นของสิ่งรบกวนการตรวจจับภาพเสาไฟฟ้าแรงสูงภายในภาพออกไปได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2-1 การแปลงฮัฟเพื่อตรวจจับเส้น (a) ภาพเริ่มต้น (b) เส้นขอบในภาพ
(c) มิติพารามิเตอร์ (d) เส้นที่ตรวจจับได้ (ที่มา [21])

2.2 การแสดงประสิทธิภาพของระบบด้วยเส้นโค้ง ROC (Receiver Operating Characteristics Curve) [22]

เส้นโค้ง ROC (Receiver Operating Characteristics Curve) ดังรูป 2-2 เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนของ True Positives (TPR = True Positive Rate) กับ สัดส่วนของ False Positives (FPR = False Positive Rate) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าขีดแบ่ง (Threshold) ของระบบ

ผลที่ได้จากระบบสำหรับแบ่งกลุ่มข้อมูล เป็นการแยกตัวอย่างข้อมูลให้เป็นกลุ่มๆ อาจเป็นค่าต่อเนื่อง ซึ่งระบุขอบเขตได้จากค่าขีดแบ่ง (Threshold) ค่าหนึ่ง หรืออาจเป็นกลุ่มของค่าที่ไม่ต่อเนื่องแต่ละค่าก็ได้

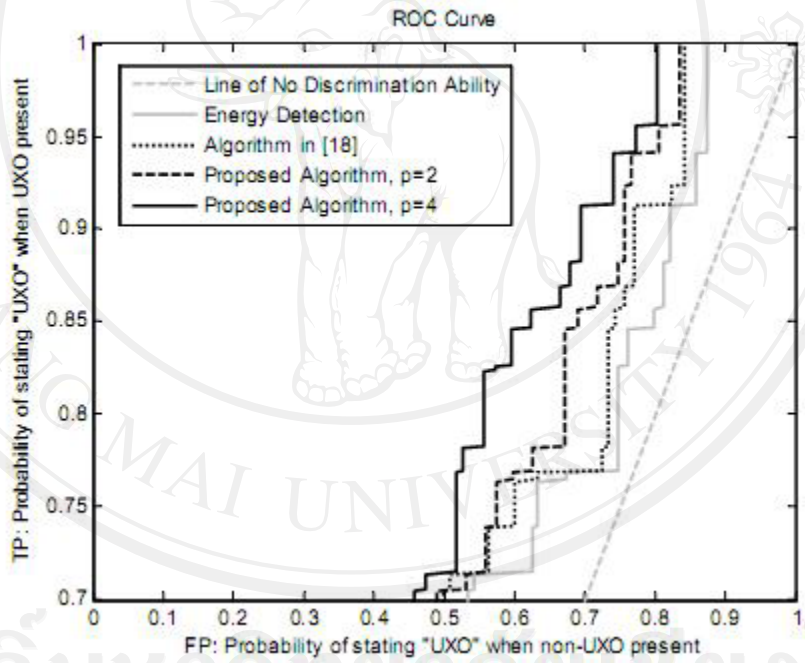
ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีการแบ่งแยกเพียงสองประเภท (Binary Classification) มีเฉพาะ Positive (p) หรือ Negative (n) เท่านั้น ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ออกมาจึงเป็นไปได้สี่แบบ หากผลลัพธ์ที่ได้เป็น p และค่าจริงก็เป็น p ด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเรียกว่า True Positive (TP) แต่ถ้าค่าจริงเป็น n ผลลัพธ์นั้นจะถูกเรียกว่า False Positive (FP) ในทางกลับกัน True Negative เกิดขึ้นเมื่อค่าที่คำนวณได้และค่าจริงเป็น n และหากค่าจริงเป็น p ผลลัพธ์จะถูกเรียกว่า False Negative

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างเส้นโค้ง ROC จะใช้เพียงค่า True Positive Rate (TPR) และ False Positive Rate (FPR) เท่านั้น TPR เป็นตัวบ่งชี้สมรรถนะของตัวแบ่งกลุ่มในการแยกแยะข้อมูลที่เป็น Positive ที่ถูกต้อง ออกจากข้อมูลที่เป็น Positive จริงทั้งหมด ส่วน FPR บ่งชี้จำนวน Positive ที่ผิดจากข้อมูลที่เป็น Negative จริงทั้งหมด

ปริภูมิ ROC ถูกนิยามด้วยการใช้ค่า FPR เป็นแกน x และ TPR เป็นแกน y เส้นที่ได้จะบ่งชี้ถึงการแลกเปลี่ยนกันระหว่าง True Positive ซึ่งเป็นผลที่ได้รับกับ False Positive ที่เป็นส่วนที่ต้องยอมเสียไป

ระบบที่มีสมรรถนะในการทำงานดีที่สุดจะให้จุดที่อยู่ทางด้านซ้ายบน นั่นคือระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องมากที่สุดแต่มีความสูญเสียน้อยที่สุด



รูป 2-2 ตัวอย่างเส้นโค้ง ROC [23]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved