

การตรวจจับขอบภาพเคลื่อนที่โดยใช้อัลกอริทึมไฮบริด

Edge Detection for Moving Image Using
Hybrid Algorithm

บงการ หอมนาน*
Bongkarn Homnan

*อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อศึกษาและสร้างหน่วยตรวจจับขอบภาพเคลื่อนที่โดยใช้ไฮบริดอัลกอริทึม (Hybrid Algorithm: HA) HA ที่นำเสนอผสมผสานด้วยอัลกอริทึมโซเบล (Sobel Algorithm: SA) และอัลกอริทึมแคนนี่ (Canny Algorithm: CA) และแต่ละอัลกอริทึมจะได้รับการเน้นด้วยดัชนีการเรียนรู้และดัชนีกำลัง ขอบคมชัดมากที่ตรวจจับได้จาก SA จะถูกเติมด้วยขอบคมชัดน้อยที่ตรวจจับจาก CA จะให้ภาพของขอบภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้ HA ยังมีความยืดหยุ่นกว่าอัลกอริทึมดั้งเดิมเนื่องจากจำนวนของระดับของความอิสระมากกว่า

Abstract

The aim of this paper is to realize edge detection unit of moving image by using Hybrid Algorithm (HA). The proposed HA is combined with Sobel Algorithm (SA) and Canny Algorithm (CA) and each algorithm is stressed with learning index and power index. The strong edges detected from SA are filled with the weak edges detected from CA can give edge-based image better. Additionally, the HA is more flexibility than the conventional algorithms due to more number of degrees of freedom.

คำสำคัญ : การตรวจจับขอบภาพ, ภาพเคลื่อนที่, ดัชนีการเรียนรู้, ดัชนีกำลัง, โซเบล แคนนี่

Keywords : Edge detection, Moving image, Learning index, Power index, Sobel, Canny

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความนิยมใช้อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวอย่างกว้างขวาง โดยภาพต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีส่วนประกอบของกล้องที่ใช้ตรวจจับสัญญาณ ซึ่งคุณสมบัติของกล้องรับสัญญาณภาพก็ได้มีการพัฒนาในด้านต่างๆ ได้แก่ ความละเอียด ความคมชัด ความสว่าง การสว้าง หรือระดับสี เป็นต้น

สำหรับภาพเคลื่อนไหวนั้นนิยมใช้การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพด้วยการตรวจจับขอบวัตถุซึ่งมีความไม่ชัดเจน (Blurred) จากการเคลื่อนที่ และเพื่อทำการหาขอบวัตถุจากภาพที่ได้ จึงมีการนำเสนอวิธีการตรวจจับขอบภาพด้วยอัลกอริทึมต่างๆ เช่น การใช้การหาอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับสีในภาพ (1) เช่น อัลกอริทึมโซเบล และอัลกอริทึมโรเบิร์ตส์ เป็นต้น การใช้การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณที่ข้ามผ่านศูนย์ เช่น อัลกอริทึม-ลาปลาเซีย (2) รวมถึงการใช้อัตราส่วน

สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เช่น อัลกอริทึม-แคนนี่ เป็นต้น (3)

อัลกอริทึมโดยวิธีข้างต้นยังทำการพัฒนาโดยใช้ความละเอียดของการเปลี่ยนแปลงและระดับสัญญาณมาเกี่ยวข้องและลดเวลาการประมวลผลด้วยการใช้ทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ เช่น ตรรกะฟัซซี่ (2) (4) และโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงการใช้ทฤษฎีเชิงสถิติ (3) ประยุกต์ร่วมกับอัลกอริทึมที่มีการนำเสนอก่อนหน้านี้ โดยเฉพาะอัลกอริทึมโซเบลและอัลกอริทึมแคนนี่ อย่างไรก็ตามในบทความนี้ได้ปรับปรุงคุณลักษณะของขอบภาพที่ตรวจจับได้แบบผสมผสานด้วยการใช้ดัชนีการเรียนรู้และดัชนีการกำลังสำหรับอัลกอริทึมโซเบลและแคนนี่เพื่อให้ได้ภาพที่เหมาะสมของขอบคมชัดมากและขอบคมชัดน้อยตลอดจนการเติมเต็มส่วนประกอบของขอบ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2 ซึ่งเป็นการกล่าวถึงอัลกอริทึมตรวจจับขอบ และหัวข้อที่ 3 กล่าวถึงอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยในบทความนี้มีการกำหนดใช้สัญลักษณ์/ พารามิเตอร์ ศัพท์ภาษาอังกฤษและศัพท์ภาษาไทยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์/ พารามิเตอร์ ศัพท์ภาษาอังกฤษและศัพท์ภาษาไทยที่กำหนดใช้

สัญลักษณ์/ พารามิเตอร์	ศัพท์ภาษาอังกฤษ	ศัพท์ภาษาไทย
ϵ	Power Index	ดัชนีกำลัง
λ	Learning Index	ดัชนีการเรียนรู้
σ	Standard Deviation	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ED	Edge Detection	การตรวจจับขอบ
CA	Canny Algorithm	อัลกอริทึมแคนนี่
CA-ED	Canny Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐาน อัลกอริทึมแคนนี่
CSA-ED	Canny-aided Sobel Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐาน อัลกอริทึมโซเบลโดยใช้อัลกอริทึม แคนนี่ช่วย
I_{CSA-ED}	-	ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
I_{SA-ED}	-	ขอบภาพที่ได้จาก SA-ED
I_{CA-ED}	-	ขอบภาพที่ได้จาก CA-ED
l	-	ความยาวของส่วนภาพที่ได้จาก การแบ่ง
L	-	ความยาวของภาพตั้งต้น
LA	Laplacian Algorithm	อัลกอริทึมลาปลาเซีย
LA-ED	Laplacian Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐาน อัลกอริทึมลาปลาเซีย
MP	Mega Pixel	เมกะพิกเซล/ล้านจุดภาพ
N	-	จำนวนส่วนภาพ
N_{CA-ED}	-	จำนวนส่วนภาพที่ใช้ CA-ED
PA	Prewitt Algorithm	อัลกอริทึมพรีวิตต์
PA-ED	Prewitt Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐาน อัลกอริทึมพรีวิตต์
RA	Roberts Algorithm	อัลกอริทึมโรเบิร์ต
RA-ED	Roberts Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐาน อัลกอริทึมโรเบิร์ต

สัญลักษณ์/ พารามิเตอร์	ศัพท์ภาษาอังกฤษ	ศัพท์ภาษาไทย
SA	Sobel Algorithm	อัลกอริทึมโซเบล
SA-ED	Sobel Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐานอัลกอริทึมโซเบล
Th	Threshold	จุดเริ่มเปลี่ยน
w	-	ความกว้างของส่วนภาพที่ได้จากการแบ่ง
W	-	ความกว้างของภาพตั้งต้น
ZCA	Zero- Cross Algorithm	อัลกอริทึมข้ามผ่านศูนย์
ZCA-ED	Zero- Cross Algorithm-based Edge Detection	การตรวจจับขอบบนพื้นฐานอัลกอริทึมข้ามผ่านศูนย์

2. อัลกอริทึมตรวจจับขอบ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการตรวจจับขอบ (ED: Edge Detection) ของวัตถุซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 อัลกอริทึมพื้นฐานหลัก (0) คือ อัลกอริทึมโซเบล (SA: Sobel Algorithm) และ อัลกอริทึมแคนนี่ (CA: Canny Algorithm) โดย SA และ CA สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.1 อัลกอริทึมโซเบล

ED บนพื้นฐาน SA (SA-ED: SA-based ED) ถือว่าเป็นอัลกอริทึมในการตรวจจับขอบโดยอาศัยหลักการของการอนุพันธ์ซึ่งจะให้ขอบของวัตถุในภาพ ณ บริเวณที่มีค่าเกรเดียนต์ (Gradient) ของภาพสูงที่สุด (1)

SA-ED สามารถระบุจุดเริ่มเปลี่ยน (Th: Threshold) เพื่อระบุความไวของอัลกอริทึมโดยหากกำหนดให้ Th มีค่าสูง ภาพที่ได้ก็จะไม่ตรวจจับขอบที่ไม่คมชัด (Weak Edge) และ SA-Ed ยังสามารถกำหนดทิศทางของการหาอนุพันธ์ในแนวนอน แนวตั้ง หรือทั้งสองแนวได้

2.2 อัลกอริทึมแคนนี่

ED บนพื้นฐาน CA (CA-ED: CA-based ED) จะทำการตรวจจับขอบโดยอาศัยหลักการของเกรเดียนต์ภายในภาพซึ่งใช้การหาอนุพันธ์ของตัวกรองแบบเกาส์ โดยมีการกำหนดใช้ Th 2 ค่าในการตรวจจับขอบคมชัดมากและขอบคมชัดน้อยที่เชื่อมต่อกับขอบคมชัดมาก ดังนั้น CA-ED จึงแตกต่างจาก SA ในส่วนของการกำหนดใช้ Th (3)

CA-ED สามารถลดสัญญาณรบกวนภาพได้เป็นอย่างดีจากเงื่อนไขของการกรองภาพข้างต้น และยังสามารถตรวจจับขอบที่มีความคมชัดน้อยได้เป็นอย่างดี

CA-ED สามารถระบุ Th เพื่อระบุความไวของอัลกอริทึม โดยหากกำหนดให้ Th มีค่าสูง ภาพที่ได้ก็จะไม่ตรวจจับขอบที่ไม่คมชัด และ CA-ED ยังมีการใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของตัวกรองแบบลอการิทึม (Logarithm Filter) โดยขนาดของตัวกรองขึ้นกับค่าของ σ

3. อัลกอริทึมไฮบริด (อัลกอริทึมตรวจจับขอบที่นำเสนอ)

เนื่องจาก SA-ED มีอัลกอริทึมตรวจจับขอบที่ไม่ซับซ้อนและเป็นอัลกอริทึมที่ใช้อ้างอิงสำหรับอัลกอริทึมบนพื้นฐานการอนุพันธ์ในภาพของ ED แบบอื่น ๆ ได้แก่ PA-ED และ RA-ED ดังนั้น SA-ED และอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจึงใช้เวลาน้อยกว่า ED ที่ใช้ทฤษฎีเชิงสถิติได้แก่ LA-ED ZCA-ED และ CA-ED

LA-ED และ ZCA-ED มีการใช้ตัวกรองและเพิ่มการใช้จุดข้ามผ่านศูนย์ในการประมวลผลเพื่อเพิ่มรายละเอียดของภาพ ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนในภาพมากขึ้นและใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้น

CA-ED มีการตรวจจับขอบทั้งขอบคมชัดมากและขอบคมชัดน้อย นอกจากนั้นยังช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพได้เป็นอย่างดี ดีส่งผลให้การประมวลผลของ CA-ED ใช้เวลานานกว่า ED อื่นแต่ CA-ED มีความละเอียดในการตรวจจับขอบมาก

สำหรับบทความนี้กำหนดให้ใช้ SA-ED CA-ED และอัลกอริทึมที่นำเสนอซึ่งเป็นการใช้ CA-ED บนโครงสร้างของ SA-ED ดังนั้นจึงเป็นอัลกอริทึมตรวจจับขอบแบบไฮบริด (Hybrid) โดยใช้ชื่อว่า “การตรวจจับขอบบนพื้นฐานอัลกอริทึมไฮเบลโดยใช้อัลกอริทึมแคนนี่ช่วย (CSA-ED: Canny-aided Sobel Algorithm-Edge Detection)” ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น 3 ภาค ได้แก่ ภาคแยกภาพ ภาคคุณลักษณะภาพ และภาคประกอบภาพ

3.1 ภาคแยกภาพ

ภาคแยกภาพของ CSA-ED เป็นการแยกภาพที่พิจารณา โดยสามารถหาจำนวนส่วนภาพ (N) ซึ่งเป็นจำนวนภาพองค์ประกอบของภาพที่พิจารณา (แสดงตัวอย่างในรูปที่ 5-1) ซึ่ง N สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$N = \frac{W}{w} \times \frac{L}{l} \quad (1)$$

โดย

W คือ ความกว้างของภาพตั้งต้น

L คือ ความยาวของภาพตั้งต้น

w คือ ความกว้างของส่วนภาพ

l คือ ความยาวของส่วนภาพ

3.2 ภาคคุณลักษณะภาพ

ภาคคุณลักษณะภาพของ CSA-ED เป็นการใช้ CA-ED ช่วย SA-ED โดย CA-ED จะทำการเพิ่มขอบความคมชัดน้อยด้วยค่า $(1-\lambda)^{\varepsilon}$ สำหรับส่วนภาพทั้งหมด โดยยังคงขอบคมชัดมาจาก SA-ED ด้วยค่า λ^{ε} ซึ่งสามารถแสดงสมการคุณลักษณะของขอบภาพ (I: Image) ได้ดังสมการที่ (2)

$$I_{CSA-ED} = \lambda^{\varepsilon} I_{SA-ED} + (1-\lambda)^{\varepsilon} I_{CA-ED} \quad (2)$$

โดย

I_{CSA-ED} คือ ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED

I_{SA-ED} คือ ขอบภาพที่ได้จาก SA-ED

I_{CA-ED} คือ ขอบภาพที่ได้จาก CA-ED

λ คือ ดัชนีการเรียนรู้ (Learning Index)

ε คือ ดัชนีกำลัง (Power Index)

3.3 ภาคประกอบภาพ

เมื่อดำเนินการในภาคคุณลักษณะภาพแล้ว ในอัลกอริทึม CSA-ED จะทำการประกอบภาพของส่วนภาพทั้งหมด ซึ่งในการประกอบส่วนภาพทั้งหมด สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

- 1) ประกอบส่วนภาพตามปกติ
- 2) ประกอบและเติมภาพ (ที่ต้องการเน้นส่วนภาพ ในจำนวนที่น้อยกว่า N ส่วนภาพ)

เมื่อต้องการประกอบและเติมภาพรายละเอียดของขอบจะใช้ CSA-ED ในส่วนภาพดังกล่าวด้วยค่า λ และ ε ที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 3.2 สำหรับส่วนภาพพิจารณาจำนวน N_{CA-ED} ส่วนภาพดังกล่าว

4. การประมวลผลและผลการทดลอง

4.1 ข้อกำหนดของการประมวลผล

การทดลองงานวิจัยมีข้อกำหนดของการประมวลผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ใช้ภาพของการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 1 ชื่อ "สนทนา & เคลื่อนที่" ซึ่งมีขนาด 3.2 ล้านจุดภาพ (MP: Mega Pixel)



รูปที่ 1 สนทนา & เคลื่อนที่ (3.2 MP)

2. การทดลองที่ 1 ใช้ SA-ED สำหรับรูปที่ 1
3. การทดลองที่ 2 ใช้ CA-ED สำหรับรูปที่ 1
4. การทดลองที่ 3 ใช้ CSA-ED สำหรับรูปที่ 1 โดยมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้
 - 4.1 $\lambda = 0.5$ และ $\varepsilon = 1$
 - 4.2 $\lambda = 0.5$ และ $\varepsilon = 0.5$
 - 4.3 $\lambda = 0.5$ และ $\varepsilon = 2$
 - 4.4 $\lambda = 0.7$ และ $\varepsilon = 1$
 - 4.5 $\lambda = 0.7$ และ $\varepsilon = 0.5$
 - 4.6 $\lambda = 0.7$ และ $\varepsilon = 2$
5. การทดลองที่ 4 ใช้ CSA-ED สำหรับรูปที่ 1 โดยมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้
 - 5.1 $\lambda = 0.7$ $\varepsilon = 1$ $N = 9$ และ $N_{CA-ED} = 1$ ($\lambda = 0.7$ $\varepsilon = 1$)
 - 5.2 $\lambda = 0.7$ $\varepsilon = 1$ $N = 25$ และ $N_{CA-ED} = 2$ ($\lambda = 0$ $\varepsilon = 1$)

4.2 ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1: SA-ED

เมื่อทำการทดลองที่ 1 โดยใช้ SA-ED สำหรับรูปที่ 1 ซึ่งเป็นภาพ "สนทนา & เคลื่อนที่" ที่มีขนาด 3.2 MP จะได้ขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งขอบภาพที่ได้จาก SA-ED (I_{SA-ED}) มีลักษณะเป็นขอบคมชัดมาก



รูปที่ 2 ขอบภาพที่ได้จาก SA-ED

การทดลองที่ 2: CA-ED

เมื่อทำการทดลองที่ 2 โดยใช้ CA-ED สำหรับรูปที่ 1 จะได้ขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะได้ I_{CA-ED} ดังแสดงในรูปที่ 3 โดย I_{CA-ED} ให้ขอบคมชัดมากและขอบคมชัดน้อยจำนวนมาก



รูปที่ 3 ขอบภาพที่ได้จาก CA-ED

การทดลองที่ 3: CSA-ED

ในการทดลองที่ 3 ใช้ CSA-ED สำหรับรูปที่ 1 จะได้ผลของขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจากสมการที่ (1) กำหนดให้ดัชนีการเรียนรู้ (λ) เท่ากับ 0.5 และ 0.7 และดัชนีกำลัง (\mathcal{E}) เท่ากับ 0.5 1 และ 2 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4

กรณีที่ 1 $\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 1$

รูปที่ 4-1 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.5$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.5: 0.5 โดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} ไม่ได้มีการเพิ่มรายละเอียดของขอบเนื่องจาก $\mathcal{E} = 1$

กรณีที่ 2 $\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 0.5$

รูปที่ 4-2 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.5$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.5: 0.5 โดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} มีการเพิ่มรายละเอียดของขอบโดยใช้ $\mathcal{E} = 0.5$ ซึ่งจะทำให้ขอบในส่วนรายละเอียดภาพเด่นชัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1

กรณีที่ 3 $\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 2$

รูปที่ 4-3 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.5$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.5: 0.5 โดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} มีการลดรายละเอียดของขอบโดยใช้ $\mathcal{E} = 2$ ซึ่งจะทำให้ขอบในส่วนรายละเอียดภาพเด่นชัดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1

กรณีที่ 4 $\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 1$

รูปที่ 4-4 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.7$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.7: 0.3 ส่งผลให้มีขอบหลักจากขอบคมชัดเด่นชัดเพิ่มขึ้นกว่าขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยโดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} ไม่ได้มีการเพิ่มรายละเอียดของขอบเนื่องจาก $\mathcal{E} = 1$ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1

กรณีที่ 5 $\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 0.5$

รูปที่ 4-5 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.7$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.7: 0.3 ส่งผลให้มีขอบหลักจากขอบคมชัดเด่นชัดเพิ่มขึ้นกว่าขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยโดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} มีการเพิ่มรายละเอียดของขอบโดยใช้ $\mathcal{E} = 0.5$ ซึ่งจะทำให้ขอบในส่วนรายละเอียดภาพเด่นชัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 2



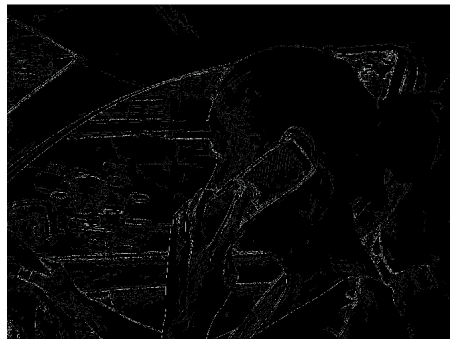
รูปที่ 4-1 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 1$)



รูปที่ 4-3 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 0.5$)

กรณีที่ 6 $\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 2$

รูปที่ 4-6 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.7$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.7: 0.3 ส่งผลให้มีขอบหลักจากขอบคมชัดเด่นชัดเพิ่มขึ้นกว่าขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยโดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} มีการลดรายละเอียดของขอบโดยใช้ $\mathcal{E} = 2$ ซึ่งจะทำให้ขอบในส่วนรายละเอียดภาพเด่นชัดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 3



รูปที่ 4-2 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 1$)



รูปที่ 4-4 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 0.5$)



รูปที่ 4-5 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.5$ และ $\mathcal{E} = 2$)



รูปที่ 4-6 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
($\lambda = 0.7$ และ $\mathcal{E} = 2$)

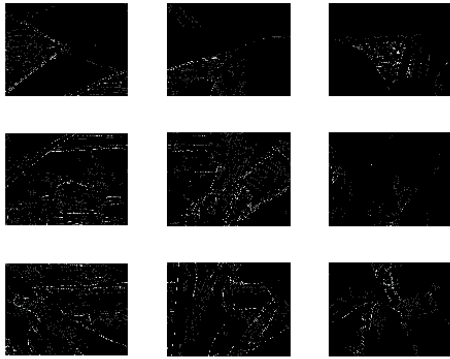
รูปที่ 4 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED

การทดลองที่ 4: CSA-ED

กรณีที่ 1 $\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$ $N = 9$ และ $N_{CA-ED} = 1$ ($\lambda = 0$ $\mathcal{E} = 1$)

รูปที่ 5-2 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.7$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.7: 0.3 ส่งผลให้มีขอบหลักจากขอบคมชัดเด่นชัดเพิ่มขึ้นกว่าขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยโดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} ไม่ได้มีการเพิ่มรายละเอียด

ของขอบเนื่องจาก $\mathcal{E} = 1$ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4-4 ($\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$) ทั้งนี้ในรูปที่ 5-2 ยังมีการปรับแต่งขอบเพิ่มเติมด้วยขอบคมชัดน้อยให้มีความเด่นชัดเพิ่มขึ้นดังแสดงด้วยกรอบสี่เหลี่ยมมุมล่างซ้ายของภาพ โดยในภาคแยกภาพใช้ส่วนภาพจำนวน 9 ส่วนภาพ ($N = 9$) ดังแสดงในรูปที่ 5-1 ด้วยการเพิ่มส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่ง 1 ส่วนภาพ ($N_{CA-ED} = 1$) บริเวณมุมล่างซ้ายของภาพที่ผ่านภาคแยกภาพ และสามารถแสดงภาพขยายของส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่งและขยาย ดังแสดงในรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-1 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED เมื่อผ่าน
ภาคแยกภาพและภาคคุณลักษณะภาพ



รูปที่ 5-2 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
เมื่อผ่านภาคประกอบภาพ
($\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$ $N = 9$ และ
 $N_{CA-ED} = 1$ ($\lambda = 0$ $\mathcal{E} = 1$))



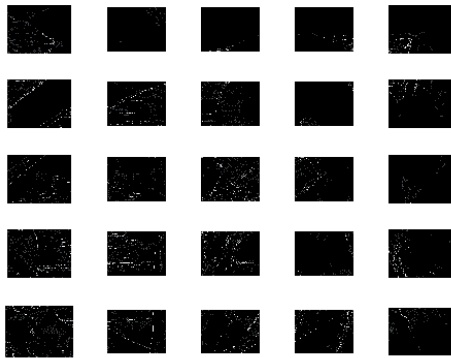
รูปที่ 5-3 ภาพขยายของขอบส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่ง

รูปที่ 5 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED เมื่อผ่านภาคแยกภาพ ภาคคุณลักษณะภาพ ภาคประกอบภาพ และภาพขยายของขอบส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่ง ($\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$ $N = 9$ และ $N_{CA-ED} = 1$ ($\lambda = 0$ $\mathcal{E} = 1$))

กรณีที่ 2 $\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$ $N = 25$
และ $N_{CA-ED} = 2$ ($\lambda = 0$ $\mathcal{E} = 1$)

รูปที่ 6-2 แสดง I_{CSA-ED} ซึ่งให้ขอบหลักจากขอบคมชัดมากของ I_{SA-ED} และขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยของ I_{CA-ED} ด้วย $\lambda = 0.7$ หรือในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 0.7: 0.3 ส่งผลให้มีขอบหลักจากขอบคมชัดเด่นชัดเพิ่มขึ้นกว่าขอบเพิ่มเติมจากขอบคมชัดน้อยโดย I_{SA-ED} และ I_{CA-ED} ไม่ได้มีการเพิ่มรายละเอียดของขอบเนื่องจาก $\mathcal{E} = 1$ เมื่อเปรียบเทียบ

กับรูปที่ 4-4 ($\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$) ทั้งนี้ในรูปที่ 6-2 ยังมีการปรับแต่งขอบเพิ่มเติมด้วยขอบคมชัดน้อยให้มีความเด่นชัดเพิ่มขึ้นดังแสดงด้วยกรอบสี่เหลี่ยมมุมล่างซ้ายและตรงกลางของภาพ โดยในภาคแยกภาพใช้ส่วนภาพจำนวน 25 ส่วนภาพ ($N = 25$) ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ด้วยการเพิ่มส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่ง 2 ส่วนภาพ ($N_{CA-ED} = 2$) บริเวณมุมล่างซ้ายและตรงกลางของภาพที่ผ่านภาคแยกภาพ



รูปที่ 6-1 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
เมื่อผ่านภาคแยกภาพ



รูปที่ 6-2 ขอบภาพที่ได้จาก CSA-ED
เมื่อผ่านภาคประกอบภาพ
($\lambda = 0.7$ $\mathcal{E} = 1$ $N = 25$
และ $N_{CA-ED} = 2$ ($\lambda = 0$ $\mathcal{E} = 1$))

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล แสดงให้เห็นว่าสมการคุณลักษณะที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดัชนีการเรียนรู้และดัชนีกำลังมีผลต่อขอบภาพคมชัดมากและขอบภาพคมชัดน้อย และการเน้นรายละเอียดของขอบตามลำดับ โดยดัชนีการเรียนรู้ค่าสูงส่งผลให้มีขอบภาพคมชัดมากจากอัลกอริทึมไซเบล

ในทางตรงกันข้ามหากดัชนีการเรียนรู้ค่าต่ำจะส่งผลให้มีขอบภาพคมชัดน้อยจากอัลกอริทึมแคนนี่ ส่วนดัชนีกำลังค่าสูงจะทำให้ภาพมีรายละเอียดของขอบน้อยกว่ากรณีที่ใช้ดัชนีกำลังค่าต่ำ

ในงานวิจัยนี้สามารถกำหนดจำนวนส่วนภาพและส่วนภาพที่ต้องการเน้นได้ หากมีการกำหนดส่วนภาพจำนวนมากจะส่งผลให้สามารถกำหนดบริเวณที่ต้องการเน้นขอบ

ภาพได้เฉพาะมากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อการประมวลผลลดลงสำหรับการตรวจจับขอบภาพโดยรวม

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมที่น่าเสนอนี้ทั้ง 3 ภาค: ภาคแยกภาพ ภาคคุณลักษณะภาพ และภาคประกอบภาพ มีความยืดหยุ่นต่อการตรวจจับภาพ ยืดหยุ่นต่อการเน้นบริเวณขอบภาพ จากการใช้พารามิเตอร์ที่กำหนด (ดัชนีการเรียนรู้ ดัชนีกำลัง จำนวนส่วนภาพ และจำนวนส่วนภาพที่ได้รับการปรับแต่ง)

งานวิจัยในอนาคตมุ่งเน้นในการใช้ CSA-ED เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ การใช้ดัชนีการเรียนรู้และดัชนีกำลังแบบปรับตัวได้ ตลอดจนการลดเวลาในการประมวลผล

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต สำหรับการใช้อุปกรณ์การตรวจจับ ขอขอบคุณ ดร. หม่อมหลวงสรสิริ วรวรรณ ที่เอื้อเฟื้อในส่วนตัวสอบและประมวลผล และขอขอบคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ตรวจทานเพื่อให้บทความมีคุณภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Jinbo Wu, Zhouping Yin, and Youlun Xiong. The Fast Multilevel Fuzzy Edge Detection of Blurry Images. **IEEE Signal Processing Letters**. (14. 5). pp. 344 - 347. May. 2007.
- Jia Li and Xiaojun Jing. Edge Detection Based on Decision-Level Information Fusion and Its Application in Hybrid Image Filtering. **International Conference on Image Processing**. pp. 251 — 254. 2004.
- Said E. El Kamy, Mona Lofly, and Noha El-Yamany. A Modified Fuzzy Sobel Edge Detector. **17th National Radio Science Conference**. pp. c32-1 - c32-9. Feb. 2000.
- Paul Bao, Lei Zhang, and Xianlin Wu. Canny Edge Detection Enhancement by Scale Multiplication. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**. (27. 9). pp. 1486 - 1490 . Sep. 2005.