



ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
A System of Computer-Aided Breast Cancer Cell Image Analysis

ชลิท ปริ้มขจีพงศ์
Chalit Primkhajeepong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
ผู้เขียน นายชลิต พริ้มขจีพงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์)

.....
(ดร.สมชัย หลิมศิริโรรัตน์)

.....กรรมการ
(ดร.สมชัย หลิมศิริโรรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปลื้มจิต บุญยพิพัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
ผู้เขียน	นายชลิต พริ้มขจีพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมและการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ การประมวลผลภาพก่อนการตัดแยกโดยใช้ Wavelet transformation และ Color space transformation และการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมโดยใช้ Global thresholding และ Morphological operations ในการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ การหาลักษณะเด่น โดยลักษณะเด่นที่หาได้ คือ ค่าเฉลี่ยของ b^* ในปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ และการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ b^* ของเซลล์มะเร็งเต้านมแต่ละเซลล์ที่ตัดแยกได้ หากเซลล์ใดมีค่าเฉลี่ยเป็นบวก แสดงว่าเซลล์มะเร็งเต้านมดังกล่าวเป็นเซลล์ผลบวก (Positive cell) หากเซลล์ใดมีค่าเฉลี่ยเป็นลบ แสดงว่าเซลล์มะเร็งเต้านมดังกล่าวเป็นเซลล์ผลลบ (Negative cell) ผลการวิจัยพบว่า การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมโดยกำหนดการแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar รูปแบบ Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 85% และการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นผลบวกและผลลบด้วยลักษณะเด่นที่หาได้มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 94%

Thesis Title A System of Computer-Aided Breast Cancer Cell Image Analysis
Author Mr.Chalit Primkhajeepong
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 2009

ABSTRACT

This research presents a system of computer-aided breast cancer cell image analysis. The algorithm for automatically analyzing stained breast cancer cell image consists of two procedures, i.e. segmentation and classification procedures. In the segmentation, there are two stages, i.e. image preprocessing by using wavelet transformation and color space transformation, and segmentation by using global thresholding and morphological operations. In the classification, there are two stages. The first stage is feature extraction. The average of b^* in CIE $L^*a^*b^*$ color space is extracted. The second stage is classification. If the average of b^* is positive, the cancer cell is positive cell. In addition, if the average of b^* is negative, the cancer cell is negative cell. The segmentation results show that the average performance of the segmentation algorithm is 85% when Haar wavelet, square-shaped structuring element with four pixels in size, and city block distance transformation are used. The classification results show that the average performance of the classification algorithm is 94%.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 ขั้นตอนการวิจัย	6
2. ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ประเภทของภาพและปริภูมิสี	9
2.3 การแปลงปริภูมิสี	12
2.4 การแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ	14
2.5 การ Threshold	18
2.6 การหาค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของ Otsu	19
2.7 Morphological operations	21
3. อุปกรณ์และวิธีการ	28
3.1 ระบบเก็บภาพ	28
3.2 ระบบประมวลผล	28
3.3 คุณลักษณะของภาพเซลล์มะเร็งเต้านม	28
3.4 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ	29
3.5 การประเมินประสิทธิภาพ	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการวิจัย	37
4.1 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม	37
4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม	46
4.3 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม	49
4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม	51
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 บทสรุป	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก ประสิทธิภาพของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม	61
ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม	97
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม)	100
ภาคผนวก ง บทความเรื่อง “การตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติโดยใช้ GLOBAL THRESHOLDING และ MORPHOLOGICAL OPERATIONS” นำเสนอใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 21-22 พฤษภาคม 2552	
จ.สงขลา	112
ประวัติผู้เขียน	119

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	สรุปกระบวนการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2-1	ข้อมูลภาพขนาด 8×8 พิกเซล	17
2-2	ค่าเฉลี่ยและผลต่างเฉลี่ยของข้อมูล 2 ตัวที่อยู่ติดกันในแถวเดียวกัน	17
2-3	ผลรวมและผลต่างของข้อมูล 2 ตัวที่อยู่ติดกันในคอลัมน์เดียวกัน	17
3-1	รูปแบบและขนาดของ Structuring element	31
3-2	การประเมิน $TP1$, $FN1$ และ $FP1$	34
3-3	การประเมิน $TP2$, $FN2$, $FP2$, และ $TN2$	36
4-1	ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มี การแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (กำหนดการแปลงเวฟเล็ต ด้วย Haar wavelet, db1)	47
4-2	ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มี การแปลงเวฟเล็ต (กำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block)	48
4-3	ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม	52
ก-1	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มี การแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	62
ก-2	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	63
ก-3	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มี การแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	64
ก-4	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	65

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ก-5	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	66
ก-6	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	67
ก-7	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	68
ก-8	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	69
ก-9	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	70
ก-10	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	71
ก-11	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	72
ก-12	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	73
ก-13	ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	74
	(9)	

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-14 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	75
ก-15 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	76
ก-16 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	77
ก-17 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	78
ก-18 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	79
ก-19 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	80
ก-20 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	81
ก-21 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	82
ก-22 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	83

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-23 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	84
ก-24 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	85
ก-25 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	86
ก-26 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean	87
ก-27 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	88
ก-28 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	89
ก-29 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	90
ก-30 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard	91
ก-31 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	92

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-32 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean	93
ก-33 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db2) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	94
ก-34 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db3) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	95
ก-35 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db4) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block	96

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนโดยใช้เทคนิคทาง Immunohistochemistry (P คือเซลล์ผลบวก และ N คือเซลล์ผลลบ)	2
2-1 ภาพดิจิทัลในพิกัด (x, y)	8
2-2 ฮิสโทแกรมของภาพ	8
2-3 ตัวอย่างภาพขาวดำและค่าของพิกเซล	9
2-4 ตัวอย่างภาพระดับเทาและค่าของพิกเซล (Normalized value)	9
2.5 ตัวอย่างภาพสี RGB และค่าของพิกเซล (Normalized value)	10
2-6 ลูกบาศก์ของสี RGB 24 บิต (16,777,216 ระดับ)	11
2-7 ปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ใน 3 มิติ	11
2-8 แผนผังการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ	15
2-9 ผลการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ	15
2-10 Haar scaling function & Haar wavelet function	16
2-11 ฮิสโทแกรมของภาพและค่าขีดแบ่ง	19
2-12 ตัวอย่างการ Threshold	19
2-13 วิธี Erosion	22
2.14 ตัวอย่าง Erosion	22
2-15 วิธี Dilation	24
2-16 ตัวอย่าง Dilation	24
2-17 Structuring element	25
2-18 การเติมเต็มพื้นที่ว่างในวัตถุ	26
2-19 การกำจัดวัตถุที่อยู่ติดขอบภาพ	26
2-20 รูปแบบของ Distance transformation	27
2-21 การตัดแยกวัตถุที่ติดกันด้วย Watershed segmentation	27
3-1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Nikon รุ่น DXM1200F และกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i	29
3-2 ตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งที่ผ่านการย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน	29

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-3 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ	30
3-4 ขั้นตอนวิธีการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม	31
3-5 ขั้นตอนวิธีการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม	32
4-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10 ขนาด 512×640 พิกเซล	38
4-2 ภาพระดับเทาที่แปลงจากภาพประกอบ 4-1	38
4-3 ฮิสโทแกรมและค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ของภาพประกอบ 4-2	39
4-4 ภาพขาวดำที่ได้จากการ Threshold ภาพประกอบ 4-2	39
4-5 ภาพขาวดำที่ได้จากการใช้ Morphological operations กับภาพประกอบ 4-4	40
4-6 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	40
4-7 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการตัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	41
4-8 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมขนาด 256×320 พิกเซลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตภาพประกอบ 4-1	42
4-9 ภาพระดับเทาที่แปลงจากภาพประกอบ 4-8	42
4-10 ฮิสโทแกรมและค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ของภาพประกอบ 4-9	43
4-11 ภาพขาวดำที่ได้จากการ Threshold ภาพประกอบ 4-9	43
4-12 ภาพขาวดำที่ได้จากการใช้ Morphological operations กับภาพประกอบ 4-11	44
4-13 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	44
4-14 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการตัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	45
4-15 ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพ โดยคำนวณด้วยวิธีการของ Otsu	46

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-16 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	49
4-17 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพหมายเลข 10 ที่ตัดแยกได้จากขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต	50
4-18 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	50
4-19 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08	53
4-20 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08	53
4-21 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15	54
4-22 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15	54
ข-1 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 07	98
ข-2 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 12	98
ข-3 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 19	99
ข-4 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 21	99
ค-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 01	101
ค-2 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 02	101
ค-3 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 03	102
ค-4 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 04	102
ค-5 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 05	103

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ค-6 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 06	103
ค-7 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 07	104
ค-8 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08	104
ค-9 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 09	105
ค-10 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10	105
ค-11 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 11	106
ค-12 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 12	106
ค-13 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 13	107
ค-14 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 14	107
ค-15 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15	108
ค-16 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 16	108
ค-17 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 17	109
ค-18 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 18	109
ค-19 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 19	110
ค-20 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 20	110
ค-21 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 21	111
ค-22 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 22	111

บทที่ 1

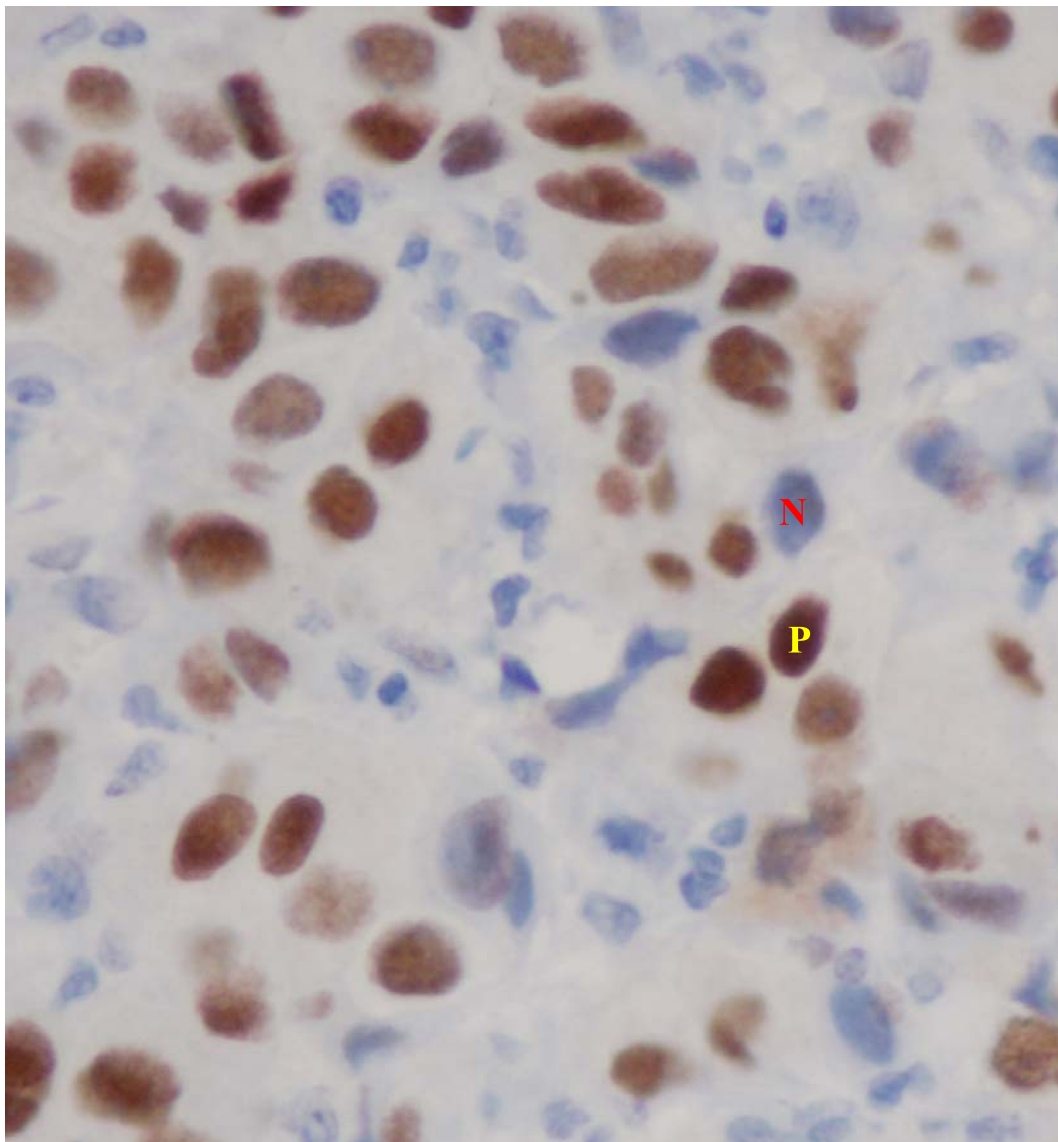
บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และขั้นตอนการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันมะเร็งเต้านม (Breast cancer) เป็นมะเร็งที่เกิดเป็นอันดับหนึ่งในผู้หญิงทั่วโลก ขณะที่ประเทศไทยพบผู้หญิงที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมสูงเป็นอันดับสองในปี พ.ศ. 2541-2543 [1] และเพิ่มสูงเป็นอันดับหนึ่งในปี พ.ศ. 2545 [2] เป็นต้นมา ในการวินิจฉัยมะเร็งเต้านมทางพยาธิวิทยาทำได้โดยตัดชิ้นเนื้อที่สงสัยมาตรวจ เรียกว่า ไบออปซี้ (Biopsy) หรือเจาะดูดชิ้นเนื้อด้วยเข็มขนาดเล็ก (Fine needle aspiration, FNA) หรืออาจตัดเต้านมรวมทั้งเต้านมต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ออกมาด้วย พยาธิแพทย์จะตรวจก่อนเนื้อด้วยสายตาเพื่อประเมินลักษณะรอยโรคและตัดชิ้นเนื้อในตำแหน่งที่สงสัยว่าจะเป็นมะเร็งมาตรวจทางเนื้อเยื่อวิทยา (Histopathology) ย้อมด้วยสี Hematoxylin & Eosin (H&E) เมื่อวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งที่มีต้นกำเนิดของเซลล์มาจากส่วนที่เป็นท่อน้ำนม (Duct) พยาธิแพทย์จะย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน (Estrogen receptor, ER) เพื่อดูการพยากรณ์ของโรค การย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนนั้นใช้เทคนิคทาง Immunohistochemistry (IHC) โดยที่ตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนเป็นโปรตีนที่เชื่อมหุ้มนิวเคลียส (Nuclear membrane) ของเซลล์มะเร็งซึ่งถือว่าเป็นแอนติเจน (Antigen) พยาธิแพทย์จะเลือกใช้แอนติบอดี (Antibody) ที่จำเพาะต่อแอนติเจนนั้น เกิดเป็นปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี (Antigen - antibody complex) ในนิวเคลียสของเซลล์มะเร็ง เมื่อเติมสีลงไป ในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาจะปรากฏสีให้มองเห็นได้ตามสีที่เลือกใช้ ปกตินิยมใช้สี DAB ซึ่งจะได้เป็นสีน้ำตาลและเก็บได้ทนนาน ภาพประกอบ 1-1 แสดงภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน จะมองเห็นนิวเคลียสเป็นสีน้ำตาล โดยสีจะเข้มมากหรือน้อยขึ้นกับจำนวนตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่มีอยู่ในนิวเคลียส

ความสำคัญของการย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน นอกจากจะมีประโยชน์ในการพยากรณ์โรค (Prognosis) แล้ว ยังเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ในการรักษาด้วยวิธีฮอร์โมนบำบัดอีกด้วย ถ้ามีจำนวนเซลล์ที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนมาก ก็จะพยากรณ์โรคได้ดี เพราะสามารถใช้ยา



ภาพประกอบ 1-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนโดยใช้เทคนิคทาง Immunohistochemistry (P คือเซลล์ผลบวก และ N คือเซลล์ผลลบ)

เพื่อเข้าไปจับกับฮอร์โมนเอสโตรเจน (Anti - estrogen) ซึ่งสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็งได้มากกว่าผู้ป่วยที่ไม่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน เนื่องจากฮอร์โมนเอสโตรเจนจะกระตุ้นการแบ่งตัวและเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง

ดังนั้น การรายงานผลของเซลล์ที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนเป็นจำนวนนับ (Quantitative) ต่อจำนวนเซลล์มะเร็งทั้งหมดเป็นร้อยละที่เป็นผลบวกหรือผลลบ จึงมีความสำคัญกว่าการรายงานแบบคุณภาพ (Qualitative) หรือกึ่งจำนวนนับ (Semi - quantitative) ปัจจุบันใช้วิธีการประมาณค่าอย่างคร่าว ๆ โดยใช้สายตาหรือนับจำนวนเซลล์จากสายตาของพยาธิแพทย์หรือ

ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ค่าไม่แน่นอนขึ้นกับตัวบุคคลและประสบการณ์ที่มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งยังเป็นงานประจำที่สิ้นเปลืองเวลาและน่าเบื่อ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการนับจำนวนเซลล์มะเร็งแทนการนับด้วยสายตาจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างมาก แม้บางส่วนยังต้องใช้วิจารณ์ญาณของพยาธิแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญแปลผลก็ตาม งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม เพื่อบรรเทาและแก้ไขปัญหานั้นได้กล่าวมาข้างต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 “Application of Photoshop-based image analysis to quantification of hormone receptor expression in breast cancer” [3] บทความนี้กล่าวถึงการนับจำนวน Hormone receptor expression ในภาพสไลด์ดิจิทัล 24 บิตของเซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยเทคนิคทาง Immunocytochemistry โดยใช้เครื่องมือในโปรแกรม Photoshop ซึ่งทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิด Macintosh

1.2.2 “Objective measurement of breast cancer oestrogen receptor status through digital image analysis” [4] บทความนี้กล่าวถึงการนับจำนวนตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนในภาพดิจิทัลของเซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยเทคนิคทาง Immunohistochemistry โดยใช้โปรแกรม Photoshop และคุณสมบัติ Red-scale absorption

1.2.3 “Cytometrical image analysis for immunohistochemical hormone receptor status in breast carcinomas” [5] บทความนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์สถานะของตัวรับฮอร์โมนทั้งตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนและตัวรับฮอร์โมนโปรเจสเทอโรนในเซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยเทคนิคทาง Immunohistochemistry ถ่ายภาพที่ก้ำกึ่งขยายรวม 200 เท่า ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ WinROOF โดยใช้ปริภูมิสี Red-Green-Blue (RGB) และ Hue-Luminosity-Saturation (HLS)

1.2.4 “Microscopic image analysis and recognition on pathological cells” [6] บทความนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์และการรู้จำภาพเซลล์ทางพยาธิวิทยา เช่น ภาพเซลล์มะเร็ง โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ คือ (1) การตัดแยกภาพสีของเซลล์ที่สนใจออกจากพื้นหลังด้วยกระบวนการ Automatic threshold segmentation โดยใช้ปริภูมิสี Red-Green-Blue (RGB) และ Hue-Saturation-Intensity (HSI) (2) การหาลักษณะเด่น โดยหาขอบเซลล์ด้วย Canny operator และใช้ Eight-chain code tracking ในการหาเส้นรอบวง พื้นที่ ความสูง ความกว้าง ความเป็นวงกลม ความเป็นสี่เหลี่ยม

และอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างนิวเคลียสกับไซโทพลาสซึม (3) ขั้นตอนวิธีการรู้จำและแยกกลุ่มภาพ เซลล์ โดยใช้ Morphologic feature recognition และ Colourometry feature recognition

1.2.5 “Evaluation of computer-aided analysis for nuclear stained breast cancer cell images” [7] บทความนี้กล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ภาพ เซลล์มะเร็งเต้านม ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนการตัดแยก ใช้ Neural network และ Mathematical morphology (2) ขั้นตอนการหาลักษณะเด่น โดยลักษณะเด่นที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยของ L^* , a^* , b^* ของแต่ละเซลล์ และ (3) ขั้นตอนการจำแนก โดยใช้ Euclidean distance ในปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ กับผู้เชี่ยวชาญเพื่อวัดประสิทธิภาพการวิเคราะห์เซลล์มะเร็งเต้านม พบว่าประสิทธิภาพของการ วิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ดังกล่าวใกล้เคียงกับการประมาณด้วย ผู้เชี่ยวชาญ

จากบทความ 1.2.1, 1.2.2 พบว่า การนับจำนวนตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนในภาพ เซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยเทคนิคทาง Immunohistochemistry หรือ Immunocytochemistry ผู้เชี่ยวชาญยังใช้การนับจำนวนเซลล์ด้วยสายตา โดยใช้โปรแกรม Photoshop ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลภาพทั่วไป ๆ เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่นเดียวกันกับบทความ 1.2.3 ที่ใช้โปรแกรม WinROOF ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลภาพทางการแพทย์ ทั้งโปรแกรม Photoshop และ WinROOF ยังไม่ใช่โปรแกรมเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม และการทำงานของโปรแกรมดังกล่าวยังไม่เป็นอัตโนมัติ ทำให้ผู้เชี่ยวชาญใช้เวลานานในการ วิเคราะห์ รวมถึงต้องมีความรู้ความเข้าใจทั้งการวิเคราะห์เซลล์มะเร็งเต้านมและการใช้โปรแกรม ดังกล่าว จากบทความ 1.2.5, 1.2.6 พบว่า ในการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม สามารถเลือกใช้ ขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพที่เหมาะสมมาช่วยในการวิเคราะห์ ทำให้การวิเคราะห์มีความ เป็นอัตโนมัติมากขึ้น รวมถึงมีการเปรียบเทียบผลกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำ จากทั้ง 5 บทความ สามารถสรุปกระบวนการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมได้ดังตารางที่ 1-1

จากกระบวนการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ดีจะต้องมีกระบวนการที่เป็นอัตโนมัติ สามารถ ตัดแยกเซลล์ที่ติดกันได้ และมีการเปรียบเทียบผลกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้การวิเคราะห์ภาพ เซลล์มะเร็งเต้านมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องมากที่สุด

ตารางที่ 1.1 สรุปกระบวนการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	กระบวนการตัดแยกเซลล์ออก จากพื้นหลังโดยอัตโนมัติ (มี/ไม่มี)	กระบวนการตัดแยก เซลล์ที่ติดกัน (มี/ไม่มี)	การเปรียบเทียบผล กับผู้เชี่ยวชาญ (มี/ไม่มี)
1.2.1	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
1.2.2	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
1.2.3	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
1.2.4	มี	ไม่มี	ไม่มี
1.2.5	ไม่มี	มี	มี

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการนับเซลล์มะเร็งเต้านม
- 1.3.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
- 1.3.3 เพื่อเพิ่มความสะดวกและความถูกต้องแม่นยำให้แพทย์และผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้ในการนับเซลล์มะเร็งเต้านมที่ติดกันได้โดยอัตโนมัติ
- 1.4.2 พัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมและรายงานผลการวิเคราะห์ให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญได้
- 1.4.3 ความแม่นยำของการนับเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นดีกว่าการนับด้วยแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ขั้นตอนวิธีใหม่ในการนับเซลล์มะเร็งเต้านม
- 1.5.2 ได้ต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็ง
- 1.5.3 เพิ่มความสะดวกและความถูกต้องแม่นยำในการนับเซลล์มะเร็งเต้านม
- 1.5.4 ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อซอฟต์แวร์ราคาแพงและไม่ได้ใช้เฉพาะโรค

1.6 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาระเบียบวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล
- 1.6.2 ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการปรับปรุงภาพ
- 1.6.3 ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการตัดแยกวัตถุจากพื้นหลัง
- 1.6.4 ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการนับเซลล์มะเร็งเต้านมที่ติดสี
- 1.6.5 พัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อนับเซลล์มะเร็งเต้านมที่ติดสีได้อย่างอัตโนมัติ
- 1.6.6 พัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อรายงานผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
- 1.6.7 ทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น
- 1.6.8 เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการนับเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นกับการนับด้วยพยาธิแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญ
- 1.6.9 สรุปผลการทดสอบและเขียนรายงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้อง

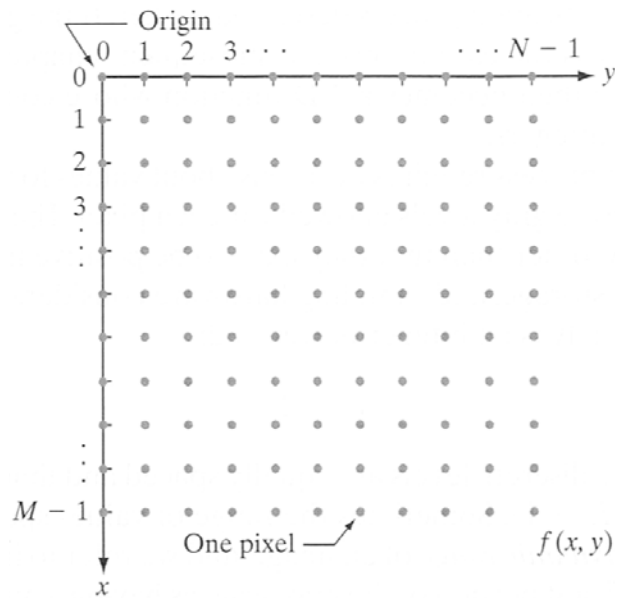
ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพสำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความหมายของภาพดิจิทัล การประมวลผลภาพดิจิทัล จุดภาพหรือพิกเซล และฮิสโทแกรม ประเภทของภาพและปริภูมิสี การแปลงปริภูมิสี การแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ การ Threshold การหาค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของ Otsu และ Morphological operations ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 บทนำ

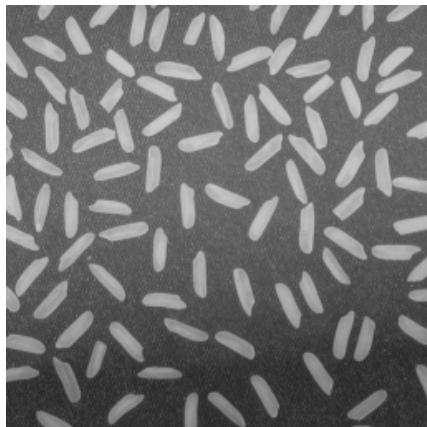
ภาพดิจิทัล (Digital image) เป็นฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x, y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของฟังก์ชันที่พิกัด (x, y) ใด ๆ คือค่าความเข้มของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้น ๆ โดยที่ x, y และแอมพลิจูดของฟังก์ชันเป็นค่าจำกัด (Finite value) แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete quantity) ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชัน $f(x, y)$ มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพอยู่ที่ตำแหน่ง $(x, y) = (0, 0)$ แล้ว จะสามารถเขียนฟังก์ชันเป็นสมการในรูปเมทริกซ์ได้ดังสมการ (2-1) [8]

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

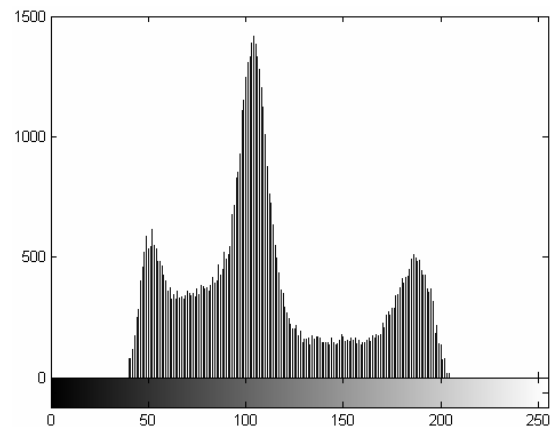
การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใด ๆ มากระทำกับภาพดิจิทัลเพื่อให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ [9] การประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มหลัก ๆ [10] ได้แก่ การปรับปรุงภาพ (Image enhancement) การกู้คืนภาพ (Image restoration) การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) การบีบอัดภาพ (Image compression) และการสังเคราะห์ภาพ (Image synthesis)



ภาพประกอบ 2-1 ภาพดิจิทัลในพิกัด (x, y) [8]



(ก)

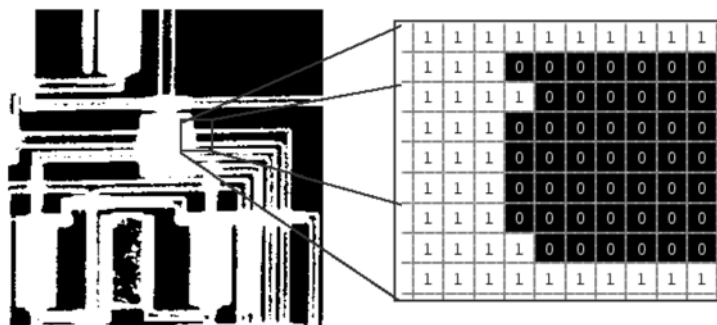


(ข)

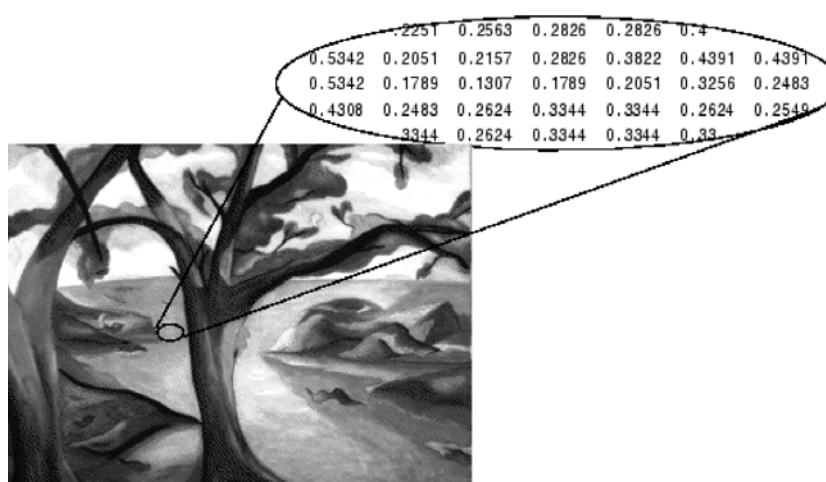
ภาพประกอบ 2-2 ฮิสโทแกรมของภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ฮิสโทแกรม [11]

จุดภาพหรือพิกเซล (Pixel มาจากคำว่า Picture element แปลว่า องค์ประกอบของภาพ [12]) เป็นหน่วยพื้นฐานของภาพ หมายถึง จุดใด ๆ ในพิกัด x และ y ซึ่งเป็นฟังก์ชัน $f(x, y)$ ที่แสดงค่าความเข้มของภาพ โดยภาพหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยพิกเซลมากมาย [13] จากสมการ (2-1) สามารถแทนด้วยพิกเซลได้ดังภาพประกอบ (2-1)

ฮิสโทแกรม (Histogram) คือ กราฟแท่งที่แสดงจำนวนความถี่ของความเข้มของพิกเซลในแต่ละระดับ [14] โดยแกน x คือระดับของพิกเซลตั้งแต่ 0 ถึง 255 และแกน y คือจำนวนความถี่ของความเข้มของพิกเซลในระดับนั้น ๆ ดังภาพประกอบ 2-2



ภาพประกอบ 2-3 ตัวอย่างภาพขาวดำและค่าของพิกเซล [11]



ภาพประกอบ 2-4 ตัวอย่างภาพระดับเทาและค่าของพิกเซล (Normalized value) [11]

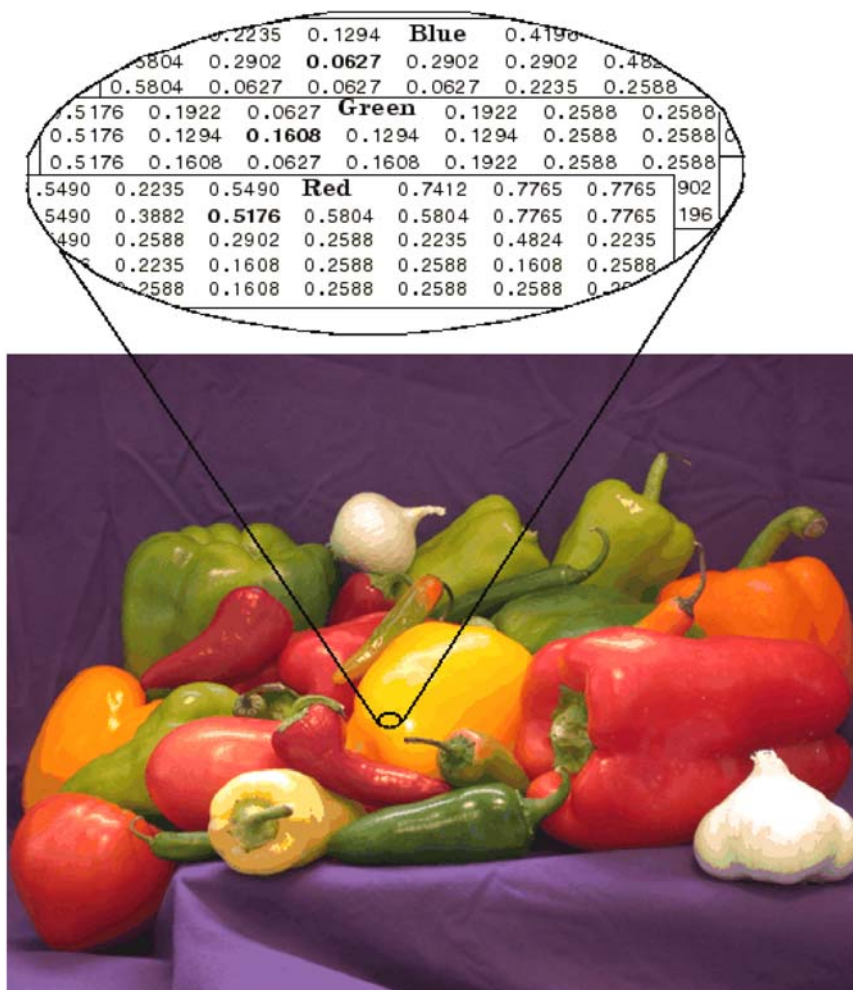
2.2 ประเภทของภาพและปริภูมิสี

2.2.1 ภาพขาวดำ

ภาพขาวดำ (Black & white image, BW) หรือ Binary image เป็นภาพที่แต่ละพิกเซลจะมีได้เพียง 2 ค่า คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) แต่ละพิกเซลใช้เพียง 1 บิตในการเก็บข้อมูล [11] ตัวอย่างภาพขาวดำและค่าของพิกเซลแสดงดังภาพประกอบ 2-3

2.2.2 ภาพระดับเทา

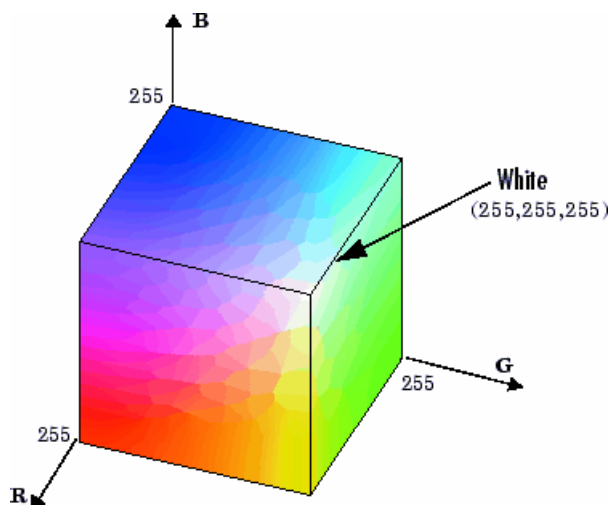
ภาพระดับเทา (Gray-scale image) บางครั้งเรียก Gray level image หรือ Intensity image เป็นภาพที่แต่ละพิกเซลมีค่าระหว่าง 0 (สีดำ) ถึง 255 (สีขาว) หรือ 0 - 1 (Normalized value) แต่ละพิกเซลใช้ 8 บิตหรือ 1 ไบต์ในการเก็บข้อมูล [11] ตัวอย่างภาพระดับเทาและค่าของพิกเซลแสดงดังภาพประกอบ 2-4



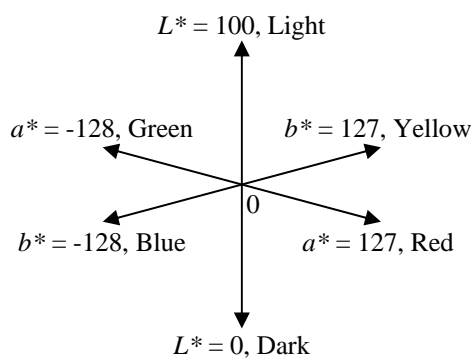
ภาพประกอบ 2-5 ตัวอย่างภาพสี RGB และค่าของพิกเซล (Normalized value) [11]

2.2.3 ภาพสี RGB

ภาพสี RGB (Red-green-blue image) หรือ True color image เป็นภาพสีที่เกิดจากการรวมของ 3 สี คือ สีแดง (R), สีเขียว (G), และสีน้ำเงิน (B) ในแต่ละพิกเซลประกอบด้วยค่าของสีทั้ง 3 สี แต่ละสีมีค่าแตกต่างกัน 256 ระดับคือ 0 - 255 หรือ 0 - 1 (Normalized value) ตัวอย่างภาพสี RGB และค่าของพิกเซลแสดงดังภาพประกอบ 2-5 แต่ละพิกเซลใช้ 24 บิตหรือ 3 ไบต์ในการเก็บข้อมูล ดังนั้นภาพสีจึงมีระดับสีแตกต่างกัน $256^3 = 16,777,216$ ระดับ [8], [14] ดังลูกบาศก์สีในภาพประกอบ 2-6



ภาพประกอบ 2-6 ลูกบาศก์ของสี RGB 24 บิต (16,777,216 ระดับ) [11]



ภาพประกอบ 2-7 ปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ใน 3 มิติ [7]

2.2.4 ภาพสี CIE $L^*a^*b^*$

CIE $L^*a^*b^*$ เป็นปริภูมิสีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย International Commission on Illumination (*Commission Internationale d'Eclairage*) ในปี ค.ศ. 1976 เพื่อระบุสีที่สายตาคมมนุษย์สามารถมองเห็นได้ [7], [15] ภาพประกอบ 2-7 แสดงปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ใน 3 มิติ องค์ประกอบ L^* แทนความเข้ม (Intensity) โดย $L^* = 0$ แทนความมืด (สีดำ) และ $L^* = 100$ แทนความสว่าง (สีขาว) องค์ประกอบ a^* และ b^* มีค่าระหว่าง -128 ถึง 127 โดย $a^* = -128$ แทนสีเขียว $a^* = 127$ แทนสีแดง $b^* = -128$ แทนสีน้ำเงิน และ $b^* = 127$ แทนสีเหลือง

2.3 การแปลงปริภูมิสี

2.3.1 การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

การแปลงภาพระดับเทาที่มีความเข้มหลายระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 255 หรือ 0 ถึง 1 (Normalized value) เป็นภาพขาวดำที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับคือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) โดยใช้เทคนิคการ Thresholding ศึกษารายละเอียดได้ในหัวข้อ 2.5

2.3.2 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทาเป็นการรวมองค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในภาพสี RGB โดยใช้สมการ (2-2) [11]

$$Gray = (0.2989 \times R) + (0.5870 \times G) + (0.1140 \times B) \quad (2-2)$$

โดย $Gray$ คือ ภาพระดับเทา

$R, G,$ และ B คือ องค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ

2.3.3 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสี CIE $L^*a^*b^*$

การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสี CIE $L^*a^*b^*$ มี 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสี sRGB ขั้นตอนที่สองคือการแปลงภาพสี sRGB เป็นภาพสี CIE XYZ และขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงภาพสี CIE XYZ เป็นภาพสี CIE $L^*a^*b^*$ รายละเอียดทั้ง 3 ขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

1. การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสี sRGB (Standard RGB) ตามมาตรฐาน IEC 61966-2-1 [11] ใช้สมการ (2-3) - (2-5) [16], [17]

$$sR = \begin{cases} \frac{R}{12.92} & , R \leq 0.03928 \\ \left[\frac{(R+0.055)}{1.055} \right]^{2.4} & , R > 0.03928 \end{cases} \quad (2-3)$$

$$sG = \begin{cases} \frac{G}{12.92} & , G \leq 0.03928 \\ \left[\frac{(G + 0.055)}{1.055} \right]^{2.4} & , G > 0.03928 \end{cases} \quad (2-4)$$

$$sB = \begin{cases} \frac{B}{12.92} & , B \leq 0.03928 \\ \left[\frac{(B + 0.055)}{1.055} \right]^{2.4} & , B > 0.03928 \end{cases} \quad (2-5)$$

โดย R, G, B มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

2. การแปลงภาพสี sRGB เป็นภาพสี CIE XYZ ใช้สมการ (2-6) [17]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4361 & 0.3851 & 0.1431 \\ 0.2225 & 0.7169 & 0.0606 \\ 0.0139 & 0.0971 & 0.7141 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sR \\ sG \\ sB \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

3. การแปลงภาพสี CIE XYZ เป็นภาพสี CIE $L^*a^*b^*$ ใช้สมการ (2-7) - (2-10)

[8]

$$L^* = 116 \cdot h\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (2-7)$$

$$a^* = 500 \left[h\left(\frac{X}{X_n}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2-8)$$

$$b^* = 200 \left[h\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (2-9)$$

โดย

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & , q > 0.008856 \\ 7.787q + 16/116 & , q \leq 0.008856 \end{cases} \quad (2-10)$$

และ X_n, Y_n, Z_n คือ ค่าความสว่างอ้างอิง โดยงานวิจัยนี้อ้างอิงตาม ICC Standard illuminant (Approximation of CIE standard illuminant D50) ซึ่งมีค่า $X_n = 0.9642, Y_n = 1.0000$, และ $Z_n = 0.8249$ [11]

2.4 การแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ

การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet transformation, WT) ถูกคิดค้นและพัฒนาโดย นักคณิตศาสตร์ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 และถูกนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การแปลงเวฟเล็ตสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์ภาพซึ่งเป็นข้อมูล 2 มิติ [18] ข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตจะถูกจัดเรียงใหม่ โดยแยกค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำออกจากกัน

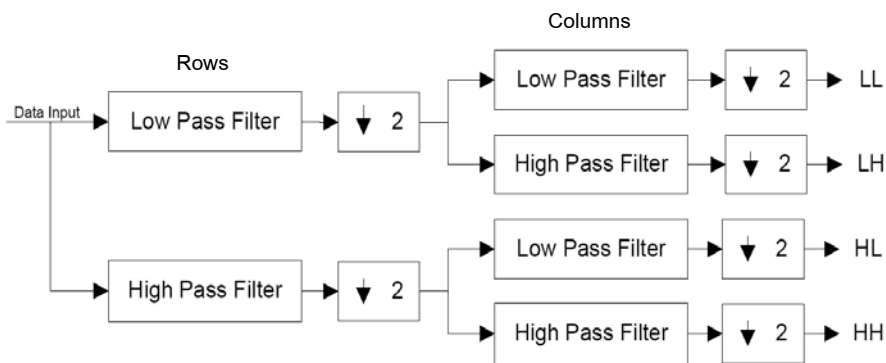
ภาพเป็นข้อมูล 2 มิติ ดังนั้นการแปลงเวฟเล็ตของภาพจึงเป็นการแปลงเวฟเล็ตในแนวแถว (Rows) และคอลัมน์ (Columns) สลับกัน แสดงแผนผังได้ดังภาพประกอบ 2-8

ผลการแปลงเวฟเล็ตของข้อมูลภาพ 2 มิติ จะถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่มย่อย (Sub-bands) ดังภาพประกอบ 2-9 [8], [19] แต่ละกลุ่มย่อยมีรายละเอียดดังนี้

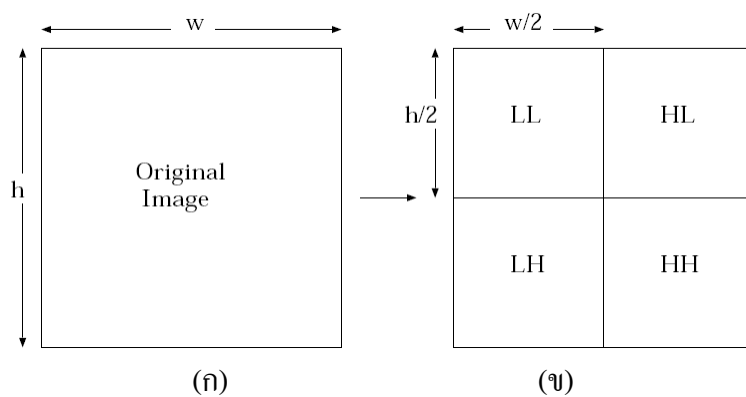
1. LL (Low-Low sub-band) คือ กลุ่มย่อยที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้งแนวแถวและคอลัมน์ องค์ประกอบความถี่ต่ำของข้อมูลภาพ (Approximation) จะอยู่ในกลุ่มย่อยนี้

2. LH (Low-High sub-band) คือ กลุ่มย่อยที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตัวกรองความถี่ต่ำในแนวแถว แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวคอลัมน์ กลุ่มย่อยนี้จะเก็บรายละเอียดของข้อมูลภาพในแนวตั้ง (Vertical detail)

3. HL (High-Low sub-band) คือ กลุ่มย่อยที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตัวกรองความถี่สูงในแนวแถว แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวคอลัมน์ กลุ่มย่อยจะเก็บรายละเอียดของข้อมูลภาพในแนวนอน (Horizontal detail)



ภาพประกอบ 2-8 แผนผังการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ [20]



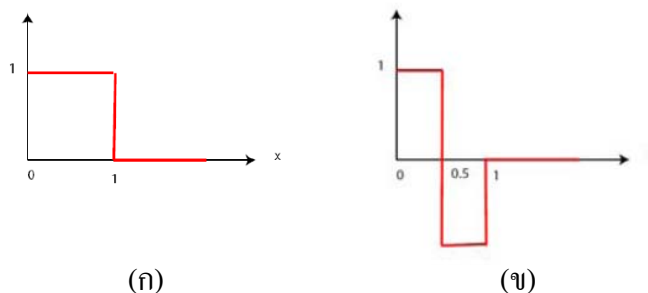
ภาพประกอบ 2-9 ผลการแปลงเวฟเล็ตกับข้อมูลภาพ [19]

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลการแปลงเวฟเล็ต

4. HH (High-High sub-band) คือ ส่วนที่เก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้งแนวแถวและคอลัมน์ กลุ่มย่อยนี้จะเก็บรายละเอียดของข้อมูลภาพในแนวทแยง (Diagonal detail) และมีความสำคัญน้อยที่สุด

2.4.1 เวฟเล็ตตระกูล Haar

เวฟเล็ตตระกูล Haar ถูกพัฒนาขึ้นโดย Alfred Haar ในปีคริสต์ศักราช 1909 และมีเวฟเล็ตหลายชนิดถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานของเวฟเล็ตชนิดนี้ เวฟเล็ตตระกูล Haar เป็นเวฟเล็ตที่มีความไม่ต่อเนื่องคล้ายฟังก์ชันขั้นบันได ดังภาพประกอบ 2-10 เวฟเล็ตตระกูล Haar นี้เป็นแบบเดียวกับเวฟเล็ตตระกูล Daubechies 1 (db1) [21]



ภาพประกอบ 2-10 (ก) Haar scaling function (ข) Haar wavelet function

เวฟเลตตระกูล Haar ประกอบด้วย Scaling function ($\varphi(x)$) และ Wavelet function ($\psi(x)$) ดังสมการ (2-11) และ (2-12) ตามลำดับ [8], [14]

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-11)$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x < 0.5 \\ -1 & \text{if } 0.5 \leq x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-12)$$

2.4.2 การคำนวณการแปลงเวฟเลตตระกูล Haar กับข้อมูลภาพ

การแปลงเวฟเลตตระกูล Haar กับข้อมูลภาพที่มีขนาด $M \times N$ พิกเซล มีขั้นตอนการคำนวณ [22] ดังนี้

1. ตารางที่ 2-1 แสดงตัวอย่างข้อมูลภาพขนาด 8×8 พิกเซล หากค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพ 2 พิกเซลที่อยู่คอลัมน์ติดกันในแถวเดียวกันเรียกว่า “ข้อมูลค่าเฉลี่ย” มี $N/2$ ค่า ดังตารางที่ 2-2 แถวและคอลัมน์สีชมพู
2. หาผลต่างเฉลี่ยของข้อมูลภาพ 2 พิกเซลที่อยู่คอลัมน์ติดกันในแถวเดียวกัน เรียกว่า “สัมประสิทธิ์ของ Haar (Haar coefficient)” เก็บผลต่างเฉลี่ยไว้ต่อจากคอลัมน์ข้อมูลค่าเฉลี่ย มี $N/2$ ค่า ดังตารางที่ 2-2 แถวและคอลัมน์สีเขียว
3. หาผลรวมของข้อมูล 2 ค่าที่อยู่แถวติดกันในคอลัมน์เดียวกัน และหาผลต่างของข้อมูล 2 ค่าที่อยู่แถวติดกันในคอลัมน์เดียวกัน จะได้
 - Approximation (LL sub-band) ในแถวและคอลัมน์สีชมพู
 - Vertical detail (LH sub-band) ในแถวและคอลัมน์สีเขียว

- Horizontal detail (HL sub-band) ในแถวและคอลัมน์สี่เหลี่ยม
- Diagonal detail (HH sub-band) ในแถวและคอลัมน์สี่มุม

ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละชนิดจะมีขนาด $(M/2) \times (N/2)$ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-1 ข้อมูลภาพขนาด 8×8 พิกเซล

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
M1	64	2	3	61	60	6	7	57
M2	9	55	54	12	13	51	50	16
M3	17	47	46	20	21	43	42	24
M4	40	26	27	37	36	30	31	33
M5	32	34	35	29	28	38	39	25
M6	41	23	22	44	45	19	18	48
M7	49	15	14	52	53	11	10	56
M8	8	58	59	5	4	62	63	1

ตารางที่ 2-2 ค่าเฉลี่ยและผลต่างเฉลี่ยของข้อมูล 2 ตัวที่อยู่ติดกันในแถวเดียวกัน

	(N1+N2)/2	(N3+N4)/2	(N5+N6)/2	(N7+N8)/2	(N1-N2)/2	(N3-N4)/2	(N5-N6)/2	(N7-N8)/2
M1	33	32	33	32	31	-29	27	-25
M2	32	33	32	33	-23	21	-19	17
M3	32	33	32	33	-15	13	-11	9
M4	33	32	33	32	7	-5	3	-1
M5	33	32	33	32	-1	3	-5	7
M6	32	33	32	33	9	-11	13	-15
M7	32	33	32	33	17	-19	21	-23
M8	33	32	33	32	-25	27	-29	31

ตารางที่ 2-3 ผลรวมและผลต่างของข้อมูล 2 ตัวที่อยู่ติดกันในคอลัมน์เดียวกัน

M1+M2	65	65	65	65	8	-8	8	-8
M3+M4	65	65	65	65	-8	8	-8	8
M5+M6	65	65	65	65	8	-8	8	-8
M7+M8	65	65	65	65	-8	8	-8	8
M1-M2	1	-1	1	-1	54	-50	46	-42
M3-M4	-1	1	-1	1	-22	18	-14	10
M5-M6	1	-1	1	-1	-10	14	-18	22
M7-M8	-1	1	-1	1	42	-46	50	-54

 Approximation coefficients	 Vertical detail coefficients
 Horizontal detail coefficients	 Diagonal detail coefficients

2.5 การ Threshold

การ Threshold เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับคือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) หรือแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ [14] เป็นเทคนิคที่สำคัญและนิยมใช้ในการตัดแยกข้อมูลภาพ (Segmentation) อย่างแพร่หลาย [23] ในกระบวนการ Threshold จะเลือกค่าความเข้มค่าหนึ่งเป็นค่าขีดแบ่ง (Threshold value) หากพิกเซลใดในภาพมีค่าความเข้มมากกว่าค่าขีดแบ่ง กระบวนการ Threshold จะกำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าใหม่เป็น 1 หรือพิกเซลสีขาว เรียกว่า วัตถุ (Object) และหากพิกเซลใดในภาพมีค่าความเข้มน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง กระบวนการ Threshold จะกำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าใหม่เป็น 0 หรือพิกเซลสีดำ เรียกว่า พื้นหลัง (Background) [8] ภาพประกอบ 2-11 แสดงฮิสโตแกรมของภาพระดับเทาและค่าขีดแบ่งที่แบ่งกลุ่มพิกเซลที่มีความเข้มน้อยและมากออกจากกัน ตัวอย่างการ Threshold แสดงดังภาพประกอบ 2-12 และการ Threshold สามารถแสดงได้ดังสมการ (2-13)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & , f(x, y) > T \\ 0 & , f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2-13)$$

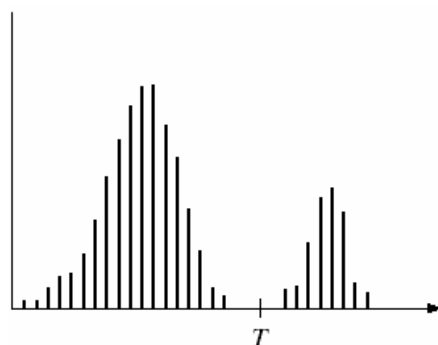
โดย $g(x, y)$ คือ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการ Threshold

$f(x, y)$ คือ ค่าความเข้มหรือค่าระดับเทาของพิกเซลที่พิกัด (x, y)

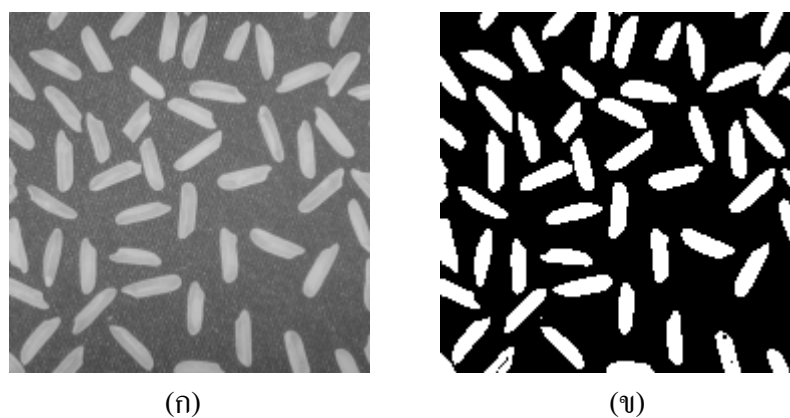
และ T คือ ค่าขีดแบ่ง

กระบวนการ Thresholding มี 2 รูปแบบ [24] คือ

1. Global thresholding คือ การ Threshold ที่ใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวกันทั้งภาพ
2. Adaptive (dynamic) thresholding คือ การ Threshold ที่มีการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นภาพย่อยๆ แต่ละภาพย่อยจะใช้ค่าขีดแบ่งเฉพาะภาพย่อยนั้น



ภาพประกอบ 2-11 ฮิสโทแกรมของภาพและค่าขีดแบ่ง [8]



ภาพประกอบ 2-12 ตัวอย่างการ Threshold (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์ [11]

2.6 การหาค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของ Otsu

วิธีการหาค่าขีดแบ่งในกระบวนการ Threshold ที่เป็นที่นิยม คือ วิธีการของ Otsu (Otsu's Method) [25]

ฮิสโทแกรมของภาพระดับเทาคือกราฟแท่งที่แสดงจำนวนความถี่ของความเข้มของพิกเซลในแต่ละระดับ ดังนั้น ความน่าจะเป็นของพิกเซลที่อยู่ในระดับความเข้ม i หาได้จาก

$$p_i = n_i / N \quad (2-14)$$

โดย n_i คือ จำนวนของพิกเซลที่ระดับความเข้ม i
 N คือ จำนวนทั้งหมดของพิกเซล

ถ้า Threshold ที่ระดับ k ค่า $\omega(k)$ และ $\mu(k)$ จะนิยามได้ดังต่อไปนี้

$$\omega(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad (2-15)$$

และ

$$\mu(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \quad (2-16)$$

โดย L คือ จำนวนของระดับความเข้ม และ $L-1$ คือ ค่าความเข้มที่มากที่สุด
จากนิยามจะได้

$$\omega(k) + \mu(k) = \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (2-17)$$

ค่า k ที่เหมาะสมสำหรับการตัดแยกวัตถุออกจากพื้นหลังคือค่า k ที่ทำให้ $\omega(k)$ และ $\mu(k)$
แตกต่างกันมากที่สุด วิธีการคำนวณเริ่มจากการหาค่าเฉลี่ยของภาพด้วยสมการ

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i \quad (2-18)$$

จากนั้นจึงหา k ทำให้ $\frac{(\mu_T \omega(k) - \mu(k))^2}{\omega(k)\mu(k)}$ มีค่ามากที่สุด

2.7 Morphological operations

Morphological operations (การปฏิบัติการเชิงสัณฐาน) เป็นการทำให้รูปร่างของวัตถุในภาพเปลี่ยนแปลงไป เช่น การขยายพิกเซลหรือการทำให้วัตถุใหญ่ขึ้น การลดพิกเซลหรือการทำให้วัตถุเล็กลง การเติมเต็มพื้นที่ การลบพิกเซลที่ไม่ต้องการ เป็นต้น

Morphological operations มีมากมายหลายวิธี แต่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ Opening, Region filling, Border clearing, และ Watershed segmentation โดย Operations ทั้ง 4 วิธีนี้จะกระทำกับภาพขาวดำ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 Opening

Opening เป็นการเปิดพื้นที่ว่างในภาพให้มากขึ้น โดยใช้วิธีการลดพิกเซล (Erosion) ของวัตถุลงด้วย Structuring element ที่กำหนด จากนั้นขยายพิกเซล (Dilation) ของวัตถุด้วย Structuring element เดิม [13], [26] การ Opening แสดงได้ดังสมการ (2-19) [8], [14]

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2-19)$$

โดย $A \circ B$ คือ การ Opening ภาพต้นฉบับ (A) ด้วย Structuring element (B)

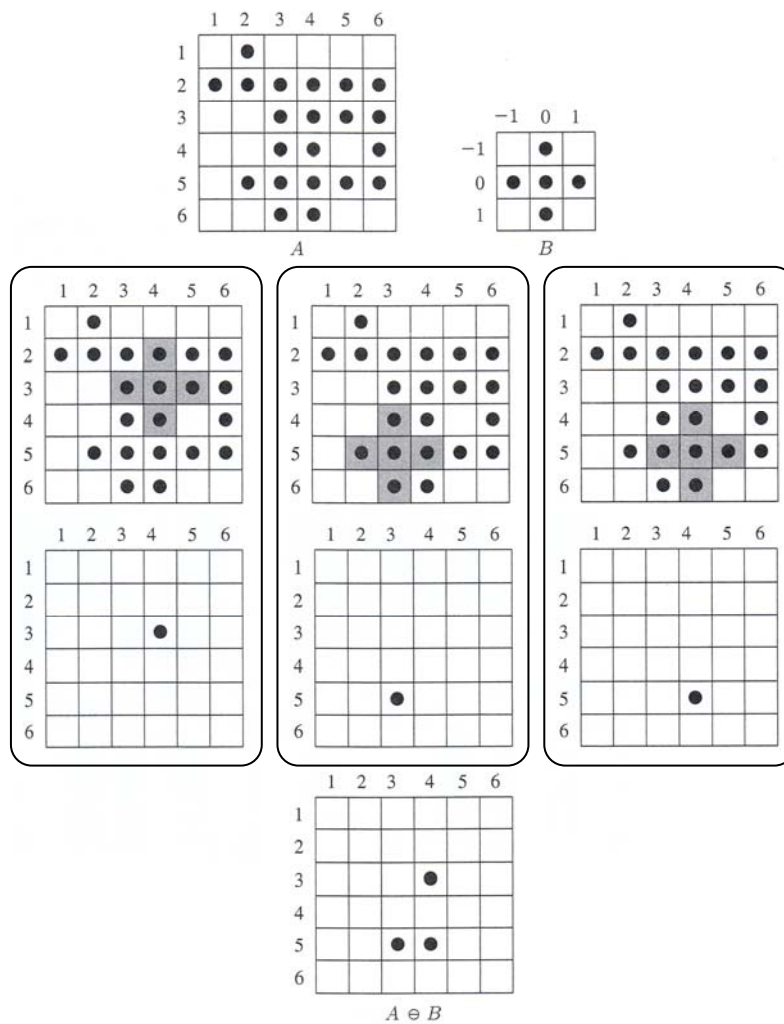
Erosion

Erosion เป็นการลดพิกเซลของวัตถุในภาพด้วย Structuring element [13] สามารถแสดงได้ดังสมการ (2-20) [14]

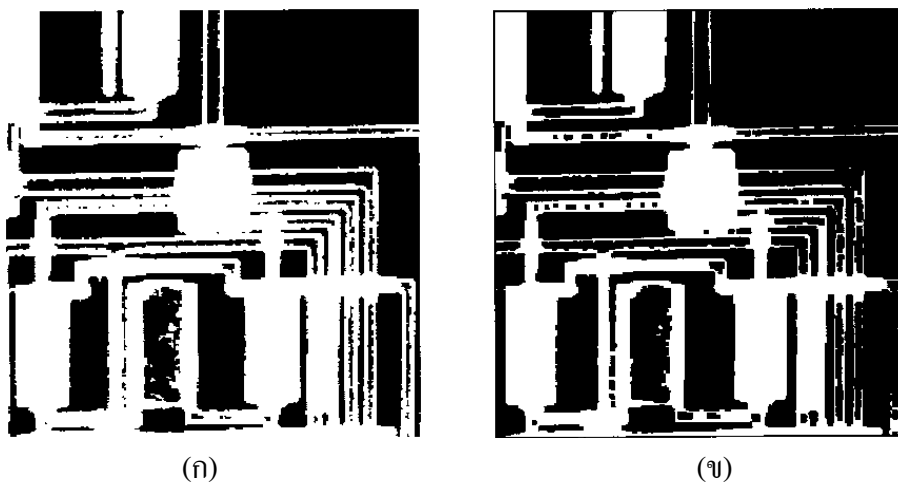
$$A \ominus B = \bigcap_{x \in B} A_x \quad (2-20)$$

โดย $A \ominus B$ คือ การ Erosion ภาพต้นฉบับ (A) ด้วย Structuring element (B)

จากสมการ (2-20) กล่าวได้ว่า เมื่อวัตถุของ Structure element ทั้งหมดอยู่ในวัตถุของภาพ จะได้ผลการ Erosion ที่วัตถุมีตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของภาพที่มีตำแหน่งเริ่มต้นของ Structuring element วางอยู่ วิธี Erosion แสดงดังภาพประกอบ 2-13 และตัวอย่าง Erosion แสดงดังภาพประกอบ 2-14



ภาพประกอบ 2-13 วิธี Erosion [14]



ภาพประกอบ 2-14 ตัวอย่าง Erosion (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์ [14]

Dilation

Dilation เป็นการขยายพิกเซลของวัตถุในภาพด้วย Structuring element [13] สามารถแสดงได้ดังสมการ (2-21) [14]

$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} A_x \quad (2-21)$$

โดย $A \oplus B$ คือ การ Dilation ภาพต้นฉบับ (A) ด้วย Structuring element (B)

จากสมการ (2-21) กล่าวได้ว่า การ Dilation เกิดจากการรวมของวัตถุทั้งหมดเมื่อวัตถุในภาพต้นฉบับเลื่อนตามพิกัดของวัตถุใน Structuring element วิธี Dilation แสดงดังภาพประกอบ 2-15 และตัวอย่าง Dilation แสดงดังภาพประกอบ 2-16

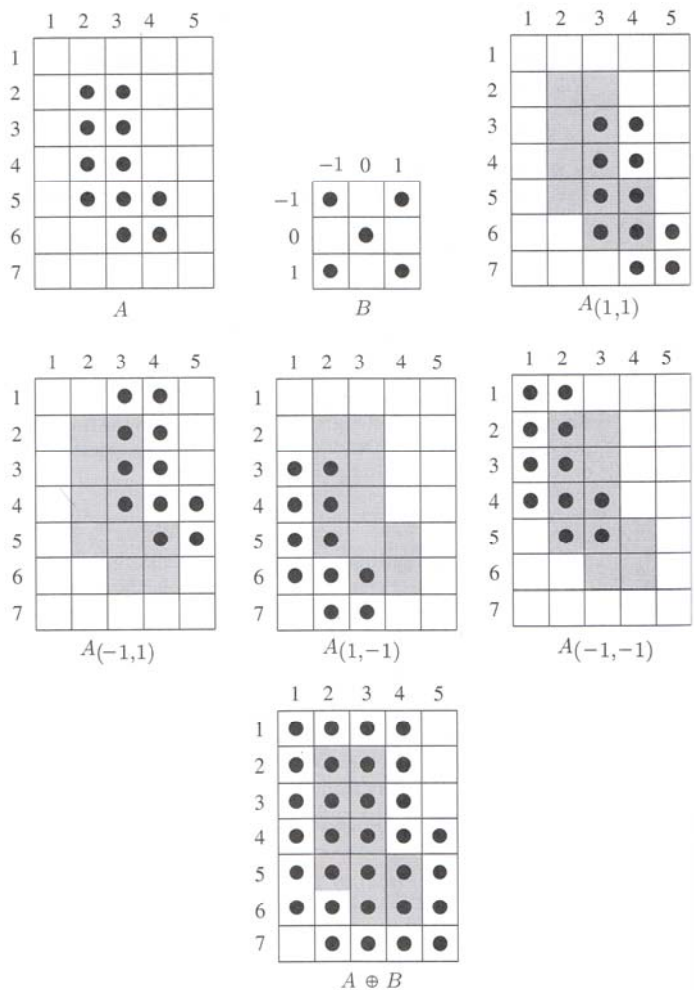
Structuring element

Structuring element เป็นภาพขาวดำที่ใช้ในกระบวนการ Erosion และ Dilation รูปร่างและขนาดของ Structuring element จะถูกกำหนดให้เหมาะสมกับการใช้งาน Structuring element ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ Diamond, Disk, Octagon, และ Square ดังภาพประกอบ 2-17

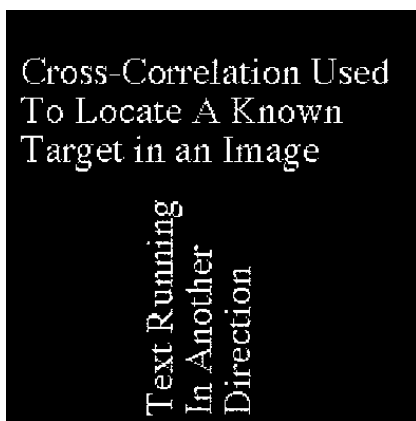
Area opening

นอกจากการ Opening ดังกล่าวข้างต้นแล้ว การ Opening ยังมีอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่ใช่ Structuring element คือ Area opening เป็นการลบกลุ่มพิกเซลของวัตถุที่มีขนาดหรือพื้นที่ที่ไม่ต้องการออก โดยมีขั้นตอนวิธี [11] ดังนี้

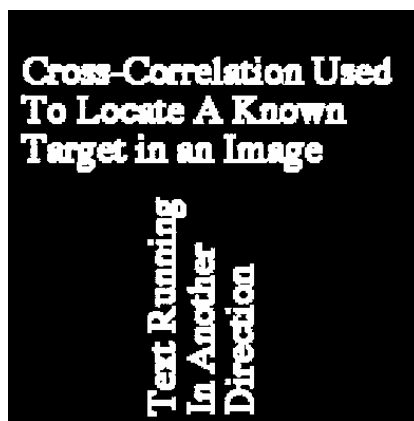
1. กำหนดกลุ่มพิกเซลของวัตถุ
2. คำนวณหาพื้นที่ของแต่ละกลุ่มพิกเซล
3. ลบกลุ่มพิกเซลที่มีขนาดน้อยกว่าที่กำหนด



ภาพประกอบ 2-15 วิธี Dilation [14]

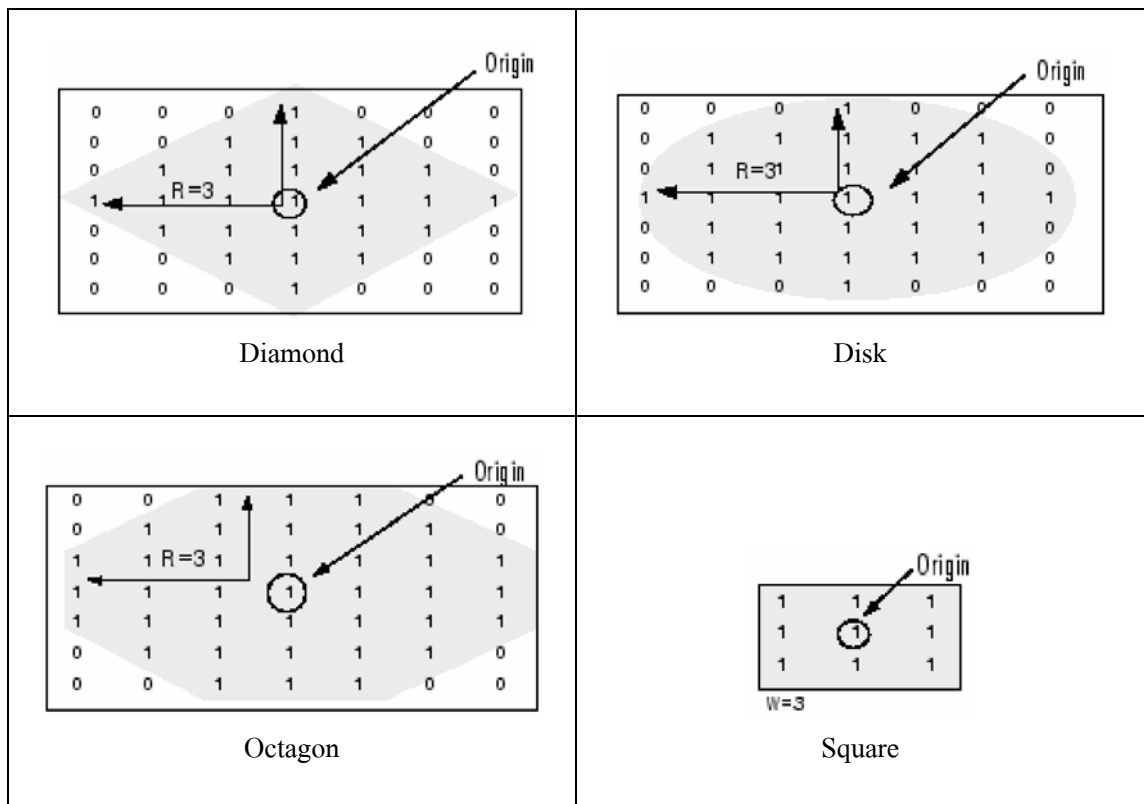


(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2-16 ตัวอย่าง Dilation (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์ [14]



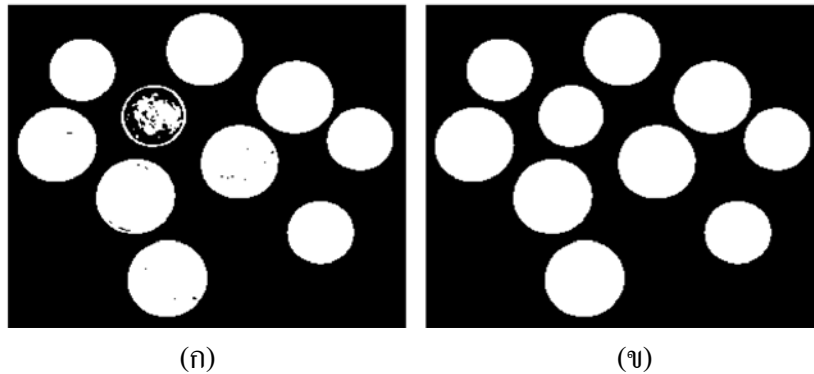
ภาพประกอบ 2-17 Structuring element [11]

2.7.2 Region filling

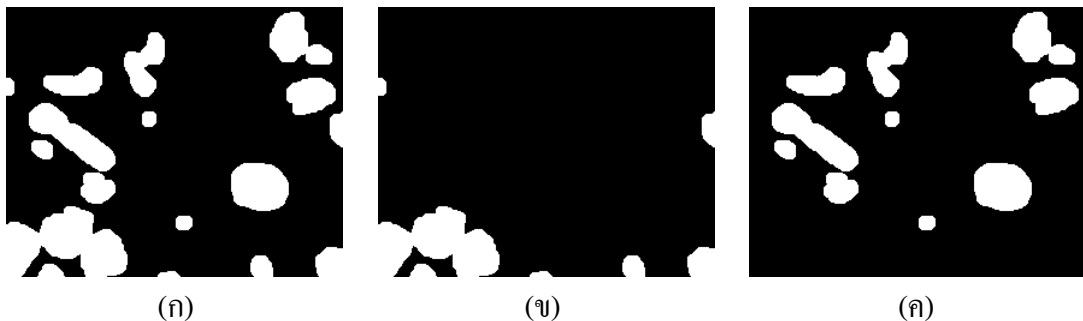
พื้นที่ว่างในวัตถุที่เกิดขึ้นในกระบวนการประมวลผลภาพ อาจส่งผลให้การตัดแยกวัตถุมีความผิดพลาด ทำให้การประมวลผลทางสถิติคลาดเคลื่อนด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการเติมเต็มพื้นที่ว่างดังกล่าว เพื่อให้การตัดแยกวัตถุและการประมวลผลทางสถิติมีความผิดพลาดน้อยลง การเติมเต็มพื้นที่ว่างในวัตถุโดยใช้ขั้นตอนวิธีด้าน Morphological reconstruction ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน [26] ตัวอย่างการเติมเต็มพื้นที่ว่างในวัตถุแสดงดังภาพประกอบ 2-18

2.7.3 Border clearing

ในการประมวลผลภาพในหลายๆ งาน มีความจำเป็นต้องกำจัดวัตถุขนาดเล็กที่อยู่ติดขอบภาพ วัตถุเหล่านี้ อาจทำให้การประมวลผลทางสถิติมีความคลาดเคลื่อนได้ การกำจัดวัตถุที่อยู่ติดขอบภาพทำได้โดยการหาวัตถุที่อยู่ติดขอบภาพแล้วกำหนดให้วัตถุอื่นมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นนำไปลบออกจากภาพต้นฉบับ จะได้ผลลัพธ์เป็นภาพที่ไม่มีวัตถุติดขอบภาพ [26] ตัวอย่างการกำจัดวัตถุที่อยู่ติดขอบภาพดังภาพประกอบ 2-19



ภาพประกอบ 2-18 การเติมเต็มพื้นที่ว่างในวัตถุ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพผลลัพธ์ [11]

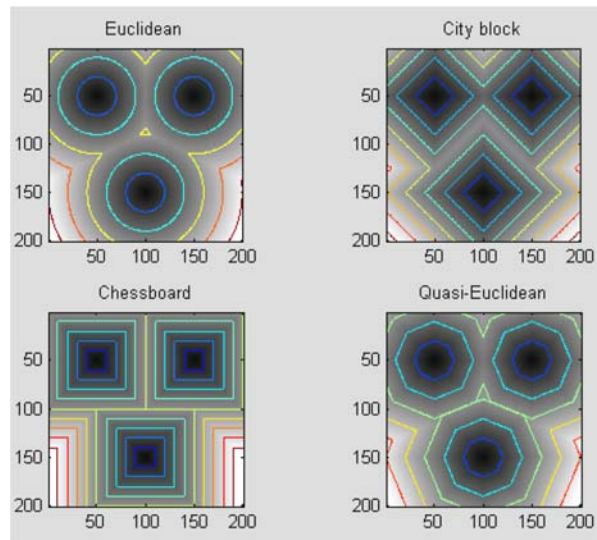


ภาพประกอบ 2-19 การกำจัดวัตถุที่อยู่ติดขอบภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ
(ข) วัตถุที่อยู่ติดขอบภาพ (ค) ภาพผลลัพธ์

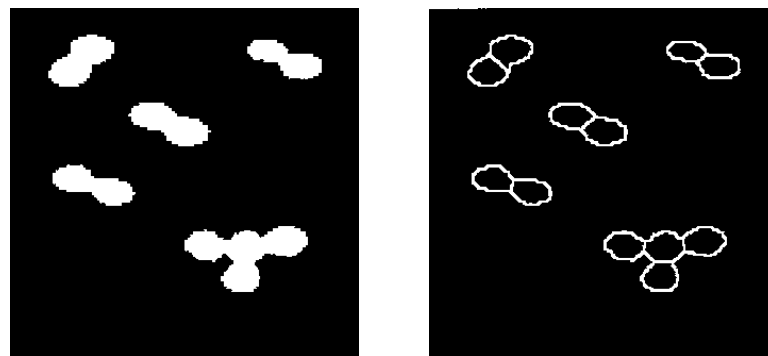
2.7.4 Watershed segmentation

การประมวลผลภาพบางงานจะพบวัตถุมากกว่า 2 ชิ้นที่มีบางส่วนติดหรือซ้อนทับกัน และมีความจำเป็นต้องตัดแยกให้ขาดออกจากกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ Watershed segmentation เป็นวิธีการประมวลผลภาพวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับตัดแยกวัตถุดังกล่าวให้ขาดออกจากกันได้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ขั้นตอนวิธี Watershed ของ Meyer (Mayer's watershed algorithm) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน [27] โดยใช้ร่วมกับ Distance transformation [11], [28] ซึ่งมีหลายรูปแบบดังภาพประกอบ 2-20 ฟังก์ชันของ Distance transformation แสดงได้ดังสมการ (2-22) - (2-25) และตัวอย่างการตัดแยกวัตถุที่ติดกันด้วย Watershed segmentation แสดงดังภาพประกอบ 2-21

$$d_{euclidean} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2-22)$$



ภาพประกอบ 2-20 รูปแบบของ Distance transformation [11]



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 2-21 การตัดแยกวัตถุที่ติดกันด้วย Watershed segmentation [24]

$$d_{chessboard} = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (2-23)$$

$$d_{cityblock} = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (2-24)$$

$$d_{quasi-euclidean} = \begin{cases} |x_1 - x_2| + (\sqrt{2} - 1)|y_1 - y_2| & , \text{ if } |x_1 - x_2| > |y_1 - y_2| \\ (\sqrt{2} - 1)|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2-25)$$

จากทฤษฎีการประมวลผลภาพดังกล่าว จะถูกใช้ในขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพ เซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติที่จะกล่าวในบทที่ 3

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระบบเก็บภาพ ระบบประมวลผล คุณลักษณะภาพเซลล์มะเร็งเต้านม ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ และการประเมินประสิทธิภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ระบบเก็บภาพ

ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล Nikon รุ่น DXM1200F ที่เชื่อมต่อกับกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eclipse 80i (Nikon Instech Co.,Ltd., Japan) ตั้งภาพประกอบ 3-1 ที่กำลังขยายรวม 400 เท่า บันทึกเป็นภาพสีดิจิทัล RGB 24 บิต รูปแบบแฟ้มข้อมูล JPEG ขนาดภาพ 512×640 พิกเซล จำนวน 22 ภาพ

3.2 ระบบประมวลผล

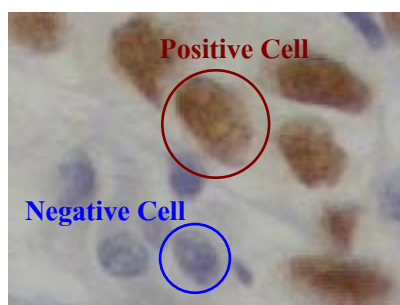
งานวิจัยนี้พัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Windows XP (SP3) ประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel® Core™2 Duo E8200 ความเร็ว 2.66 GHz แรม (RAM) 2 GB ชนิด DDRII-PC800 และฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ความจุ 250 GB

3.3 คุณลักษณะของภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

ภาพประกอบ 3-2 แสดงตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านการย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนด้วยเทคนิคทาง Immunohistochemistry และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่เชื่อมต่อกับกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า เซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านการย้อมจะมี 2 ชนิด คือ เซลล์สีน้ำตาล เป็นเซลล์ที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน ทางแพทย์เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่า เซลล์ผลบวก (Positive cell, P) และเซลล์สีน้ำเงิน เป็นเซลล์ที่ไม่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน ทางแพทย์เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่า เซลล์ผลลบ (Negative cell, N) แพทย์จะใช้อัตราส่วนของจำนวน



ภาพประกอบ 3-1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Nikon รุ่น DXM1200F
และกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i

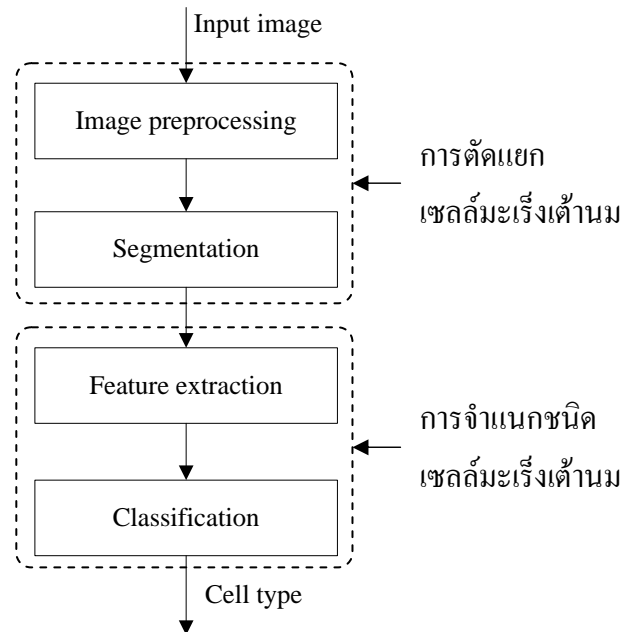


ภาพประกอบ 3-2 ตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งที่ผ่านการย้อมตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน

เซลล์ผลบวก (P) ต่อจำนวนเซลล์ทั้งหมด (P+N) ที่มีในภาพเพื่อวางแผนการรักษาด้วยวิธีฮอร์โมนบำบัดต่อไป

3.4 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ

ภาพรวมของขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ (Algorithm for automatic breast cancer cell image analysis) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม และการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม แสดงผังงานดังภาพประกอบ 3-3 แต่ละขั้นตอนหลักก็มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



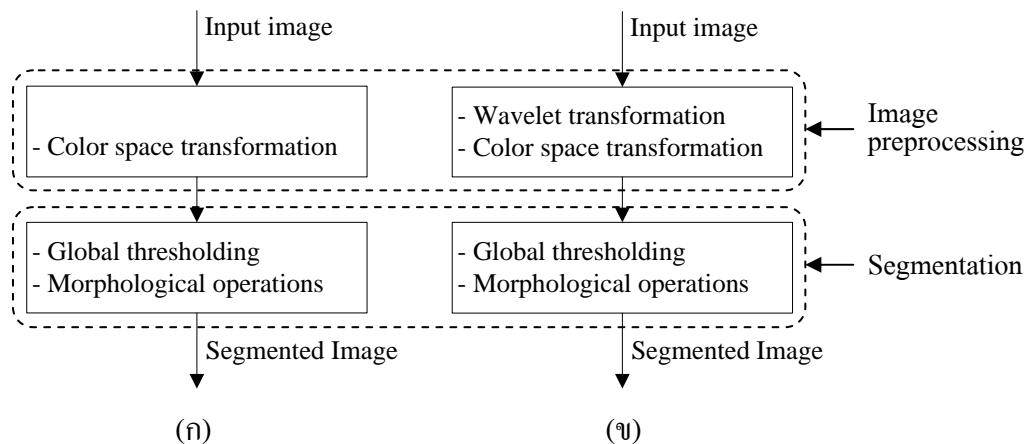
ภาพประกอบ 3-3 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติ

3.4.1 การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลัง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมภาพก่อนการประมวลผล (Image preprocessing) และการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม (Segmentation) มีการเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตในการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล แสดงผังงานดังภาพประกอบ 3-4 เพื่อเลือกขั้นตอนวิธีที่สามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังได้ดีที่สุด และนำผลการตัดแยกไปจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมต่อไป รายละเอียดของขั้นตอนวิธีการตัดแยกมะเร็งเต้านมมีดังนี้

1. การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต

ในการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับซึ่งเป็นภาพสี RGB 24 บิต จะถูกแปลงเป็นภาพระดับเทา โดยใช้สมการ (2-2) และในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ Global thresholding และ Morphological operations โดยภาพระดับเทาที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการประมวลผลจะถูก Threshold ด้วยค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu โดยใช้สมการ (2-13) ได้ผลการ Threshold เป็นภาพขาวดำ จากนั้นประมวลผลต่อด้วย Morphological operations ได้แก่ Opening, Region filling, Border clearing และ Watershed segmentation ได้ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลัง



ภาพประกอบ 3-4 ขั้นตอนวิธีการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม (ก) ขั้นตอนวิธี
ที่ไม่มีการแปลงเวฟเลต (ข) ขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเลต

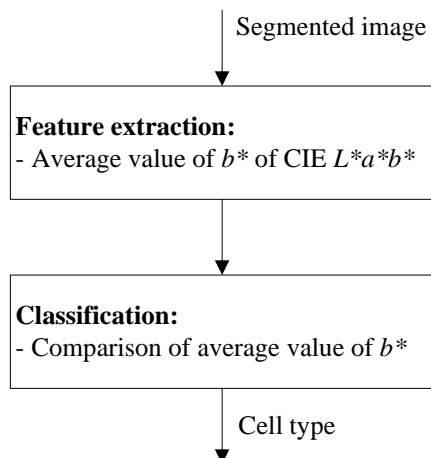
2. การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเลต

ในการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับซึ่งเป็นภาพสี RGB 24 บิต จะถูกแปลงเวฟเลตด้วย Haar wavelet (db1) ผลการแปลงเวฟเลตได้ภาพกลุ่มย่อย LL ที่ยังคงเป็นภาพสี RGB และถูกแปลงเป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (2-2) ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม ใช้การประมวลผลเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเลต

นอกจากนี้ มีการเปรียบเทียบรูปแบบและขนาดของ Structuring element ใน Opening และรูปแบบ Distance transformation ใน Watershed segmentation ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยกำหนดรูปแบบและขนาดของ Structuring element ดังตารางที่ 3-1 และกำหนดรูปแบบของ Distance transformation 4 รูปแบบ คือ Euclidean, City block, Chessboard และ Quasi-euclidean และมีการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงเวฟเลตด้วย Haar wavelet (db1) และ Daubechies 2, 3, 4 (db2, db3, db4) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 3-1 รูปแบบและขนาดของ Structuring element

รูปแบบ	ขนาดของ Structuring element (พิกเซล)	
	ขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเลต	ขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเลต
Diamond	R = 6	R = 2
Disk	R = 6	R = 2
Octagon	R = 6	R = 3
Square	W = 12	R = 4



ภาพประกอบ 3-5 ขั้นตอนวิธีการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม

3.4.2 การจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม

ขั้นตอนการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การหาลักษณะเด่นและการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม แสดงผังงานดังภาพประกอบ 3-5 รายละเอียดของการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม มีดังนี้

1. การหาลักษณะเด่น (Feature extraction)

เมื่อตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังได้แล้ว เซลล์มะเร็งเต้านมจะถูกจำแนกชนิดเป็นเซลล์ผลบวก (P) และเซลล์ผลลบ (N) โดยใช้ลักษณะเด่นของปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ จากภาพประกอบ 2-7 ปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ใน 3 มิติ จะเห็นได้ว่า b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินซึ่งสอดคล้องกับเซลล์มะเร็งเต้านมที่เป็นสีน้ำตาลและสีน้ำเงิน โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของ b^* ของแต่ละเซลล์เพื่อแทนลักษณะเด่นของเซลล์นั้น ๆ การหาค่าเฉลี่ยของ b^* ของแต่ละเซลล์หาได้จากสมการ (3-1)

$$\bar{b}_i^* = \frac{\left(\sum x\right)_i}{n_i} - 127 \quad (3-1)$$

โดย \bar{b}_i^* คือ ค่าเฉลี่ยของ b^* ของเซลล์มะเร็งเต้านมเซลล์ที่ i
 $\left(\sum x\right)_i$ คือ ผลรวมค่า b^* ของแต่ละพิกเซลของเซลล์มะเร็งเต้านมเซลล์ที่ i
 n_i คือ จำนวนพิกเซลของเซลล์มะเร็งเต้านมเซลล์ที่ i
 และ 127 คือ ค่าทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalize value)

2. การจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม (Classification)

การจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมสามารถจำแนกได้จากคุณลักษณะเด่นที่หาได้ หากค่าเฉลี่ยของ b^* ของเซลล์ใดมีค่าบวก ($\overline{b_i^*} \geq 0$) แสดงว่าเซลล์มะเร็งเต้านมนั้นเป็นผลบวก (P) และหากค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบ b^* ของเซลล์ใดมีค่าลบ ($\overline{b_i^*} < 0$) แสดงว่าเซลล์มะเร็งเต้านมนั้นเป็นผลลบ (N) สามารถสรุปได้ดังสมการ (3-2)

$$C_i = \begin{cases} P & , \text{ if } \overline{b_i^*} \geq 0 \\ N & , \text{ if } \overline{b_i^*} < 0 \end{cases} \quad (3-2)$$

โดย C_i คือ ชนิดของเซลล์มะเร็งเต้านมเซลล์ที่ i

P คือ เซลล์มะเร็งเต้านมผลบวก

N คือ เซลล์มะเร็งเต้านมผลลบ

และ $\overline{b_i^*}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ b^* ของเซลล์มะเร็งเต้านมเซลล์ที่ i

3.5 การประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม และการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม [7]

3.4.1 การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม มีเกณฑ์การประเมิน 2 เกณฑ์ คือ

1. ค่าความไว (Sensitivity, $SS1$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญจะถูกนับโดยคอมพิวเตอร์ ค่าความไวคำนวณได้จากสมการ (3-3) หากมีค่าต่ำผู้ใช้โปรแกรมจะต้องนับเซลล์เพิ่มเป็นจำนวนมาก

2. ค่าพยากรณ์ผลบวก (Positive predictive value, $PPV1$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกนับโดยคอมพิวเตอร์จะถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ค่าพยากรณ์ผลบวกคำนวณได้จากสมการ (3-4) หากมีค่าต่ำผู้ใช้โปรแกรมจะต้องลบเซลล์ออกเป็นจำนวนมาก

$$SS1 = \frac{TP1}{TP1 + FN1} \quad (3-3)$$

$$PPV1 = \frac{TP1}{TP1 + FP1} \quad (3-4)$$

โดย $TP1$ (True positive) หรือ ผลบวกจริง หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ขั้นตอนวิธีสามารถตัดแยกออกจากพื้นหลังตรงกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเรื้อรัง

$FN1$ (False negative) หรือ ผลลบเท็จ หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ขั้นตอนวิธีไม่สามารถตัดแยกออกจากพื้นหลัง แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเรื้อรัง

และ $FP1$ (False positive) หรือ ผลบวกเท็จ หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ขั้นตอนวิธีสามารถตัดแยกออกจากพื้นหลัง แต่ผู้เชี่ยวชาญไม่ระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเรื้อรัง การประเมิน $TP1$, $FN1$ และ $FP1$ สรุปได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 การประเมิน $TP1$, $FN1$ และ $FP1$

ผล	ระบุด้วยโปรแกรม	ระบุโดยผู้เชี่ยวชาญ
$TP1$	Cancer cell	Cancer cell
$FN1$	Not cancer cell	Cancer cell
$FP1$	Cancer cell	Not cancer cell

3.4.2 การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเรื้อรัง

การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเรื้อรัง มีเกณฑ์การประเมิน 4 เกณฑ์ คือ

1. ค่าความไว (Sensitivity, $SS2$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเรื้อรังผลบวกที่ถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญจะถูกนับโดยคอมพิวเตอร์ ค่าความไวคำนวณได้จากสมการ (3-5) หากมีค่าค่าผู้ใช้โปรแกรมจะต้องนับเซลล์มะเร็งเรื้อรังผลบวกเพิ่มเป็นจำนวนมาก

2. ค่าพยากรณ์ผลบวก (Positive predictive value, $PPV2$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเรื้อรังผลบวกที่ถูกนับโดยคอมพิวเตอร์จะถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ค่าพยากรณ์ผลบวกคำนวณได้จากสมการ (3-6) หากมีค่าผู้ใช้โปรแกรมจะต้องลบเซลล์มะเร็งเรื้อรังผลบวกออกเป็นจำนวนมาก

3. ค่าความจำเพาะ (Specificity, $SC2$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านผลลบที่ถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญจะถูกนับโดยคอมพิวเตอร์ ค่าความจำเพาะคำนวณได้จากสมการ (3-7) หากมีค่าต่ำผู้ใช้โปรแกรมจะต้องนับเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านผลลบเพิ่มเป็นจำนวนมาก

4. ค่าพยากรณ์ผลลบ (Negative predictive value, $NPV2$) หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกความน่าจะเป็นของเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านผลลบที่ถูกนับโดยคอมพิวเตอร์จะถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ค่าพยากรณ์ผลลบคำนวณได้จากสมการ (3-8) หากมีค่าต่ำผู้ใช้โปรแกรมจะต้องลบเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านผลลบออกเป็นจำนวนมาก

$$SS2 = \frac{TP2}{TP2 + FN2} \quad (3-5)$$

$$PPV2 = \frac{TP2}{TP2 + FP2} \quad (3-6)$$

$$SC2 = \frac{TN2}{TN2 + FP2} \quad (3-7)$$

$$NPV2 = \frac{TN2}{TN2 + FN2} \quad (3-8)$$

โดย $TP2$ (True positive) หรือ ผลบวกจริง หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านขั้นตอนวิธีจำแนกประเภทเป็นผลบวก ตรงกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุว่าเป็นผลบวก

$FN2$ (False negative) หรือ ผลลบเท็จ หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านขั้นตอนวิธีจำแนกประเภทเป็นผลลบ แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นผลบวก

$FP2$ (False positive) หรือ ผลบวกเท็จ หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านขั้นตอนวิธีจำแนกประเภทเป็นผลบวก แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นผลลบ

และ $TN2$ (True negative) หรือ ผลลบจริง หมายถึง จำนวนเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านขั้นตอนวิธีจำแนกประเภทเป็นผลลบ ตรงกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุว่าเป็นผลลบ การประเมิน $TP2$, $FN2$, $FP2$ และ $TN2$ สรุปได้ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การประเมิน *TP2*, *FN2*, *FP2* และ *TN2*

ผล	ระบุด้วยโปรแกรม	ระบุโดยผู้เชี่ยวชาญ
<i>TP2</i>	P cell	P cell
<i>FN2</i>	N cell	P cell
<i>FP2</i>	P cell	N cell
<i>TN2</i>	N cell	N cell

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม ผลการประเมินประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม และผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

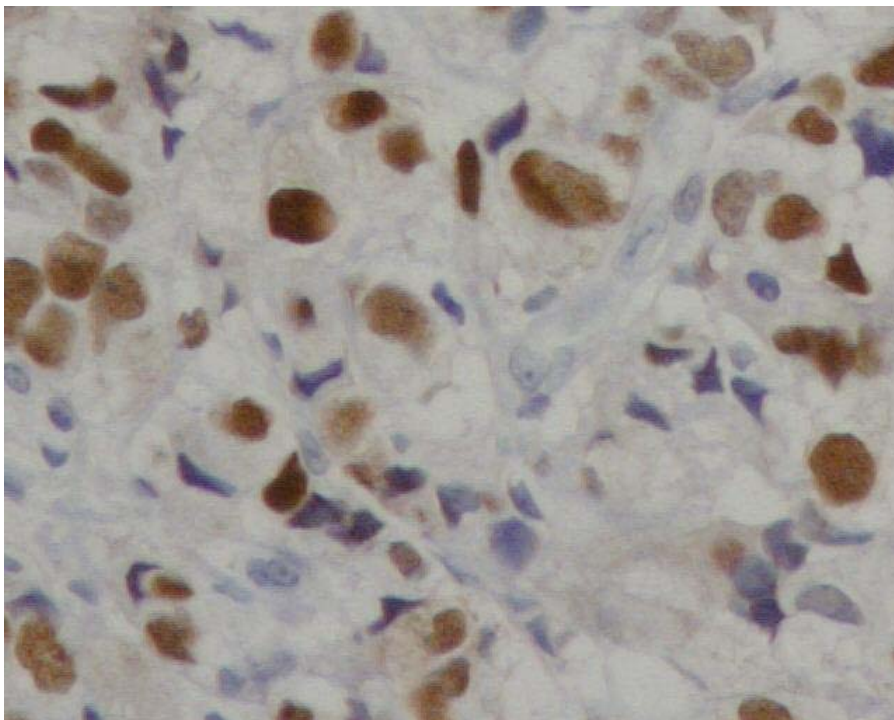
4.1 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมนี้ แสดงตัวอย่างการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10 โดยกำหนด Structuring element แบบ Square และ Distance transformation แบบ City block ดังรายละเอียดต่อไปนี้

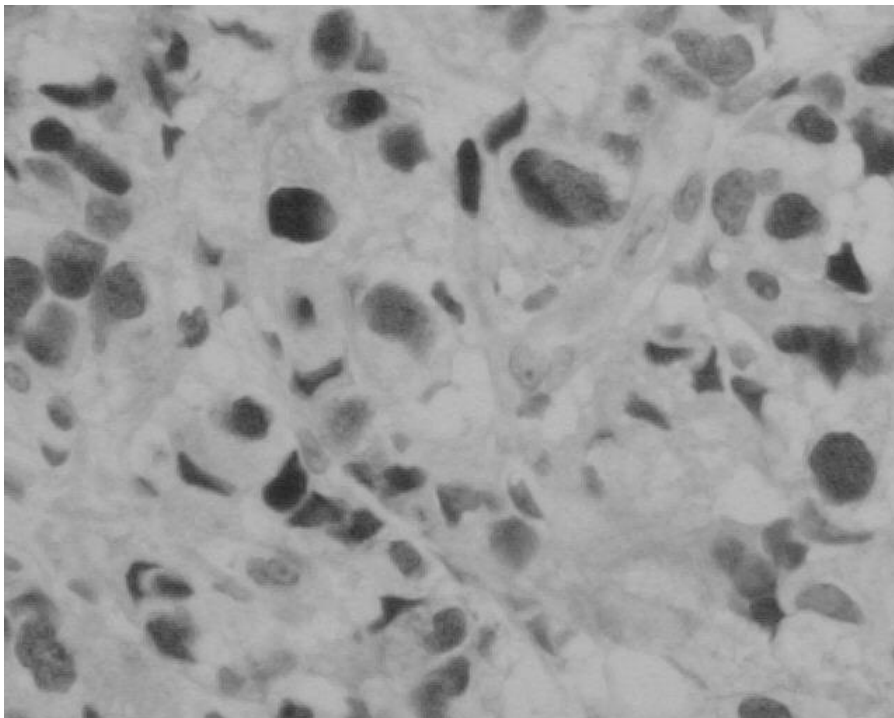
4.1.1 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต

ภาพประกอบ 4-1 แสดงภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10 ซึ่งเป็นภาพสี RGB 24 บิต ขนาด 512×640 พิกเซล ในการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับจะถูกแปลงเป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (2-2) ได้ภาพระดับเทาดังภาพประกอบ 4-2

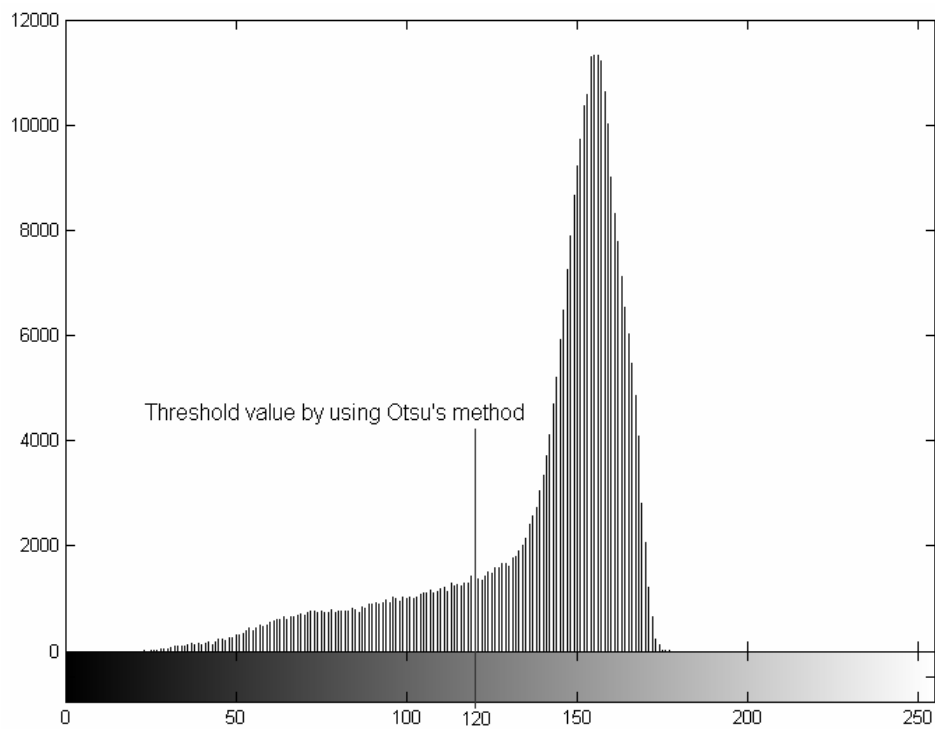
ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม ภาพระดับเทาจะถูก Threshold โดยใช้สมการ (2-13) ด้วยค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 แสดงดังภาพประกอบ 4-3 ได้ภาพขาวดำดังภาพประกอบ 4-4 พบว่า กระบวนการ Threshold สามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังได้ แต่ยังมีวัตถุขนาดเล็กเกินกว่าจะเป็นเซลล์มะเร็งเต้านมและวัตถุที่คาดว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านมที่ไม่สมบูรณ์บริเวณติดขอบภาพที่ต้องกำจัดออก รวมถึงวัตถุที่คาดว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านมสองเซลล์หรือมากกว่าซ้อนทับกันที่ต้องตัดแยกออกจากกัน โดยใช้ Morphological operations ที่กำหนด Structuring element เป็นแบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซลและ Distance transformation แบบ City block ได้ผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 4-5 เมื่อลากเส้นรอบขอบเซลล์ในภาพประกอบ 4-5 ลงบนภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับจะเห็นเซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกออกจากพื้นหลังดังภาพประกอบ 4-6 และเปรียบเทียบผลการตัดแยกกับผู้เชี่ยวชาญได้ดังภาพประกอบ 4-7



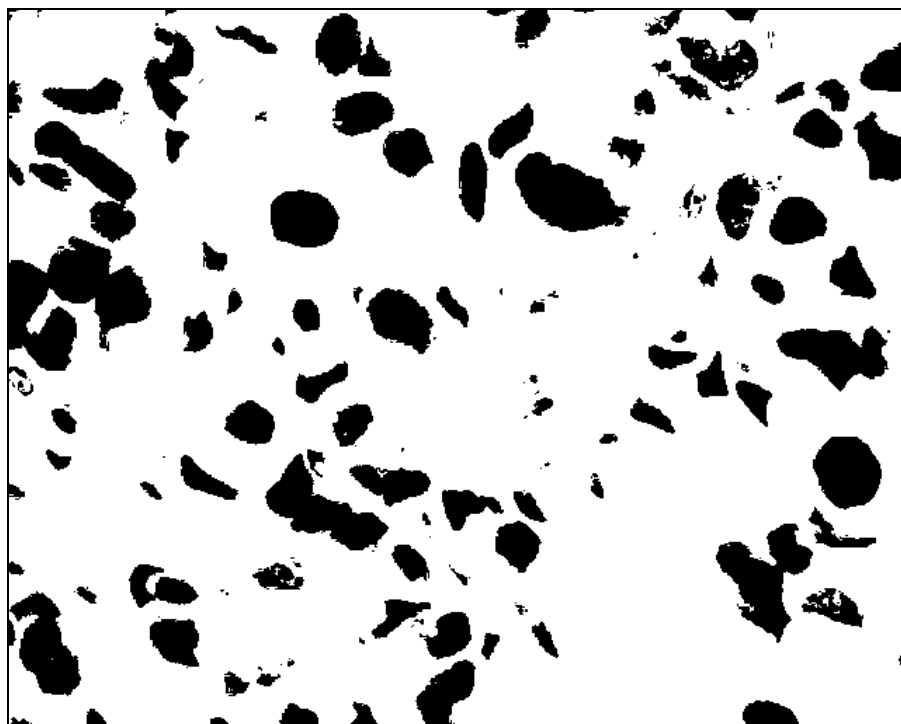
ภาพประกอบ 4-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10 ขนาด 512×640 พิกเซล



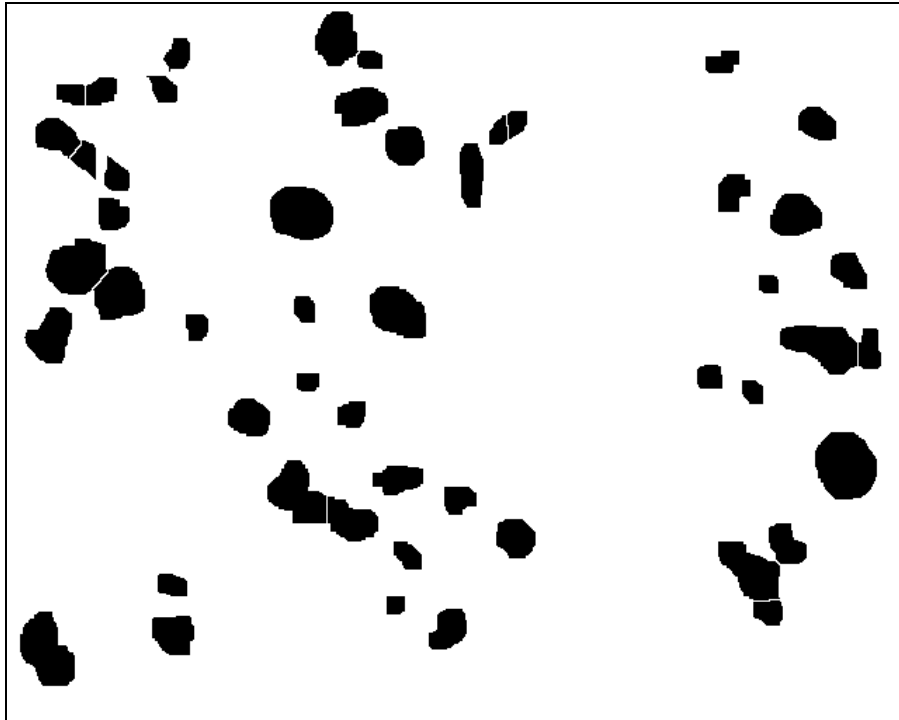
ภาพประกอบ 4-2 ภาพระดับเทาที่แปลงจากภาพประกอบ 4-1



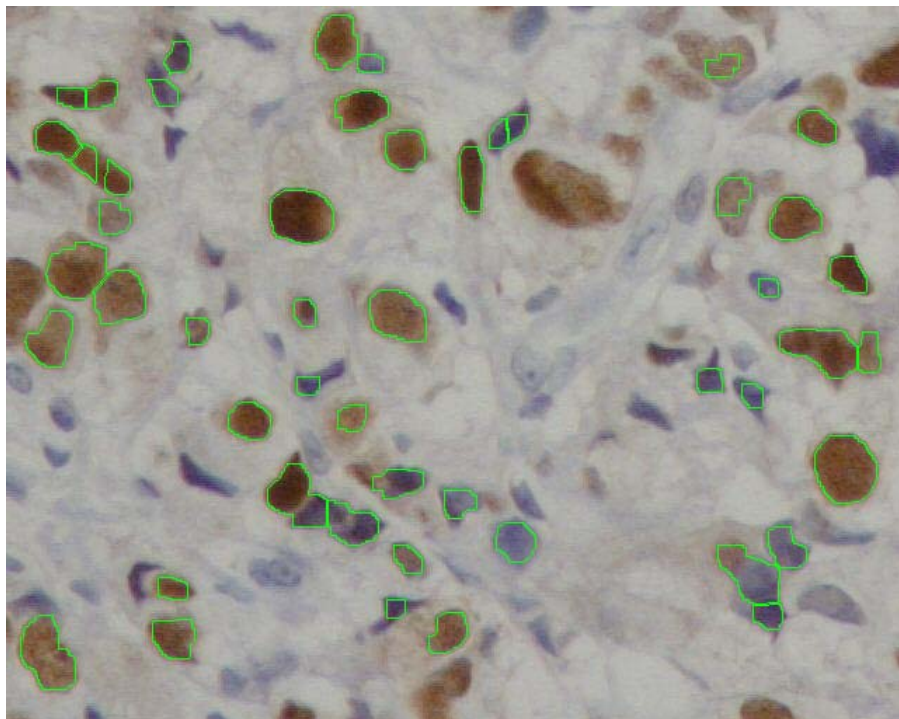
ภาพประกอบ 4-3 ฮิสโทแกรมและค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ของภาพประกอบ 4-2



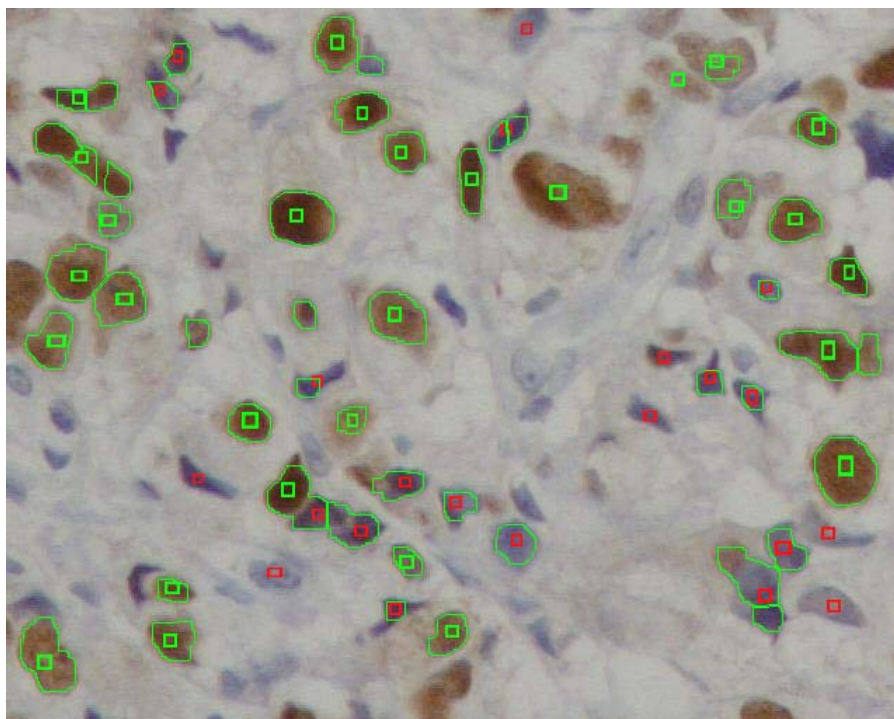
ภาพประกอบ 4-4 ภาพขาวดำที่ได้จากการ Threshold ภาพประกอบ 4-2



ภาพประกอบ 4-5 ภาพขาวดำที่ได้จากการใช้ Morphological operations กับภาพประกอบ 4-4



ภาพประกอบ 4-6 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี
ที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10

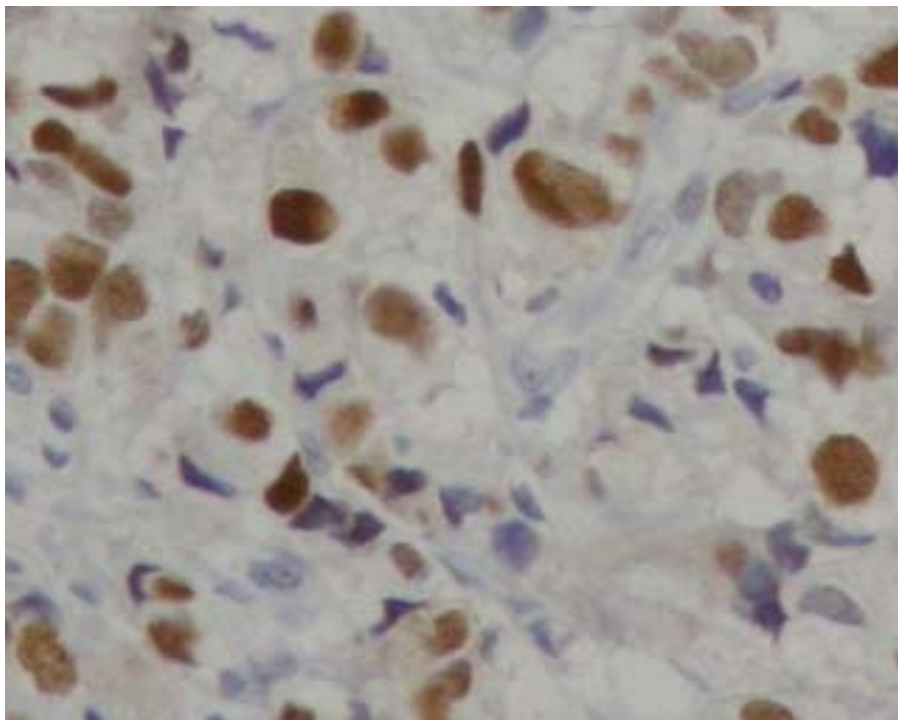


ภาพประกอบ 4-7 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการตัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วย สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10

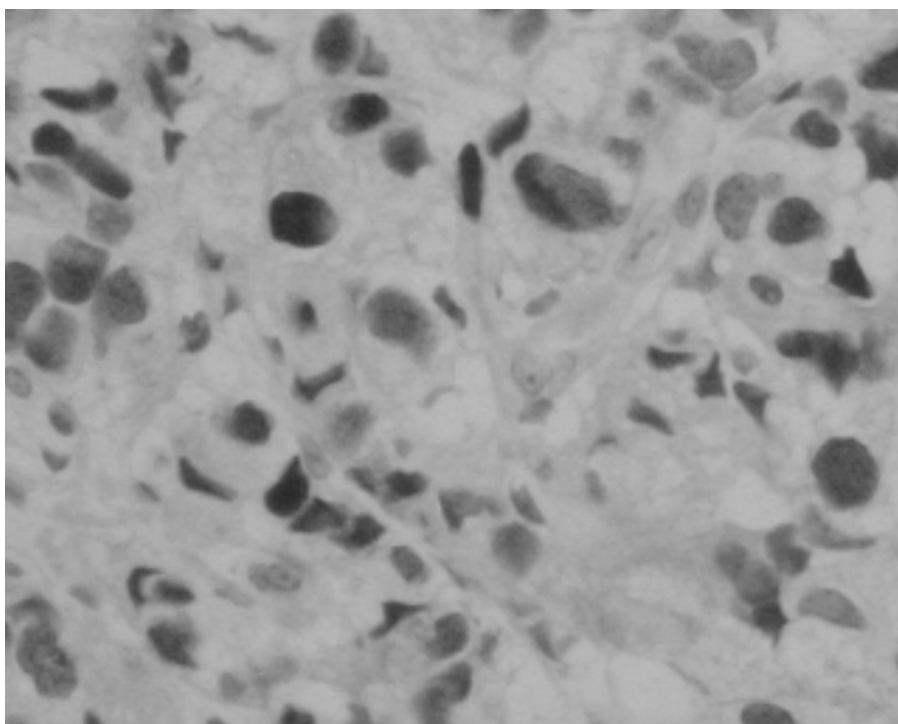
4.1.2 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต

ในการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับจะถูกแปลงเวฟเล็ตด้วยเวฟเล็ตตระกูล Haar 1 ครั้ง ได้ภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตในกลุ่มย่อย LL แสดงดังภาพประกอบ 4-8 โดยภาพมีขนาดเล็กลง 4 เท่าหรือมีขนาด 256×320 พิกเซล จากนั้นแปลงเป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (2-2) ได้ภาพระดับเทาดังภาพประกอบ 4-9

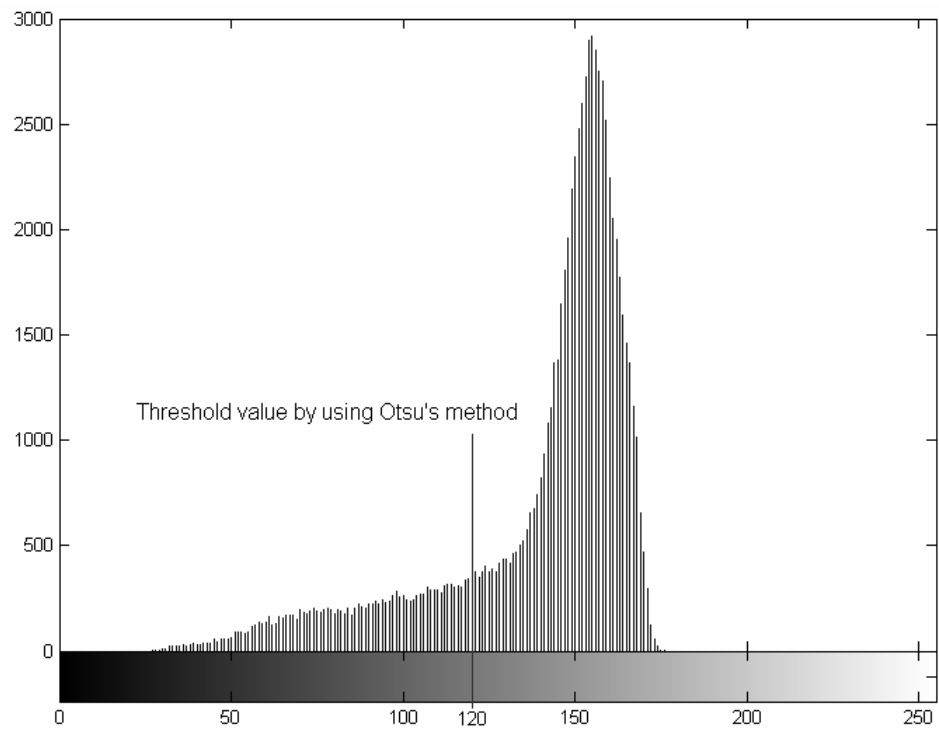
ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม มีกระบวนการเช่นเดียวกันกับขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ของภาพระดับเทาในขั้นตอนวิธีนี้มีค่าเท่ากับ 120 ดังภาพประกอบ 4-10 เมื่อ Threshold ภาพระดับเทาจะได้ภาพขาวดำดังภาพประกอบ 4-11 จากนั้นใช้ Morphological operations โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล ได้ผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 4-12 เมื่อลากเส้นรอบขอบเซลล์ของภาพประกอบ 4-12 ลงบนภาพเซลล์มะเร็งเต้านมต้นฉบับจะเห็นเซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกออกจากพื้นหลังดังภาพประกอบ 4-13 และเปรียบเทียบผลการตัดแยกกับผู้เชี่ยวชาญได้ดังภาพประกอบ 4-14



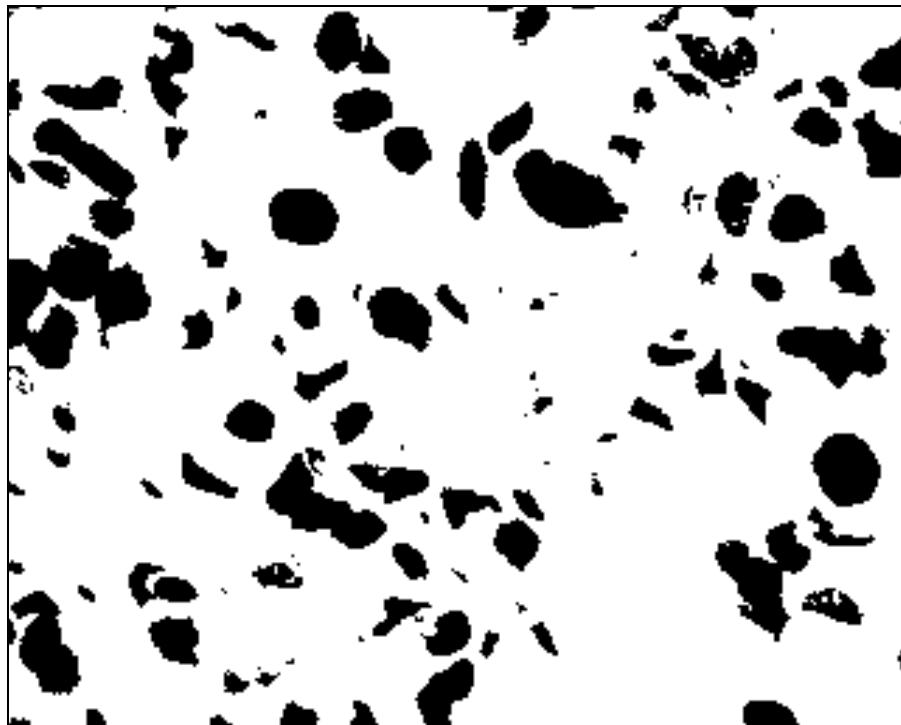
ภาพประกอบ 4-8 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมขนาด 256×320 พิกเซล
ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตภาพประกอบ 4-1



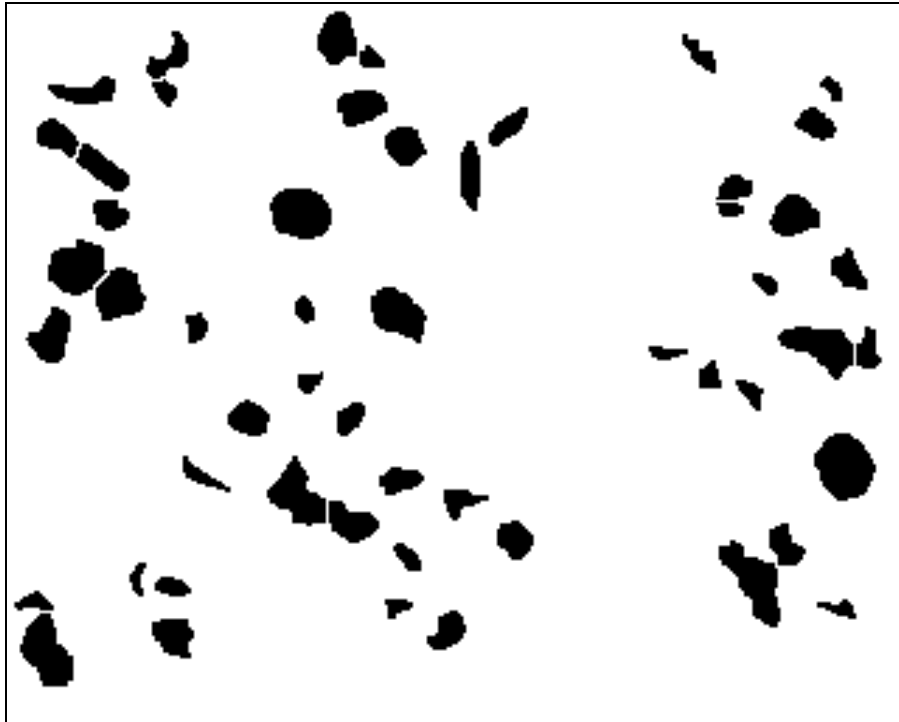
ภาพประกอบ 4-9 ภาพระดับเทาที่แปลงจากภาพประกอบ 4-8



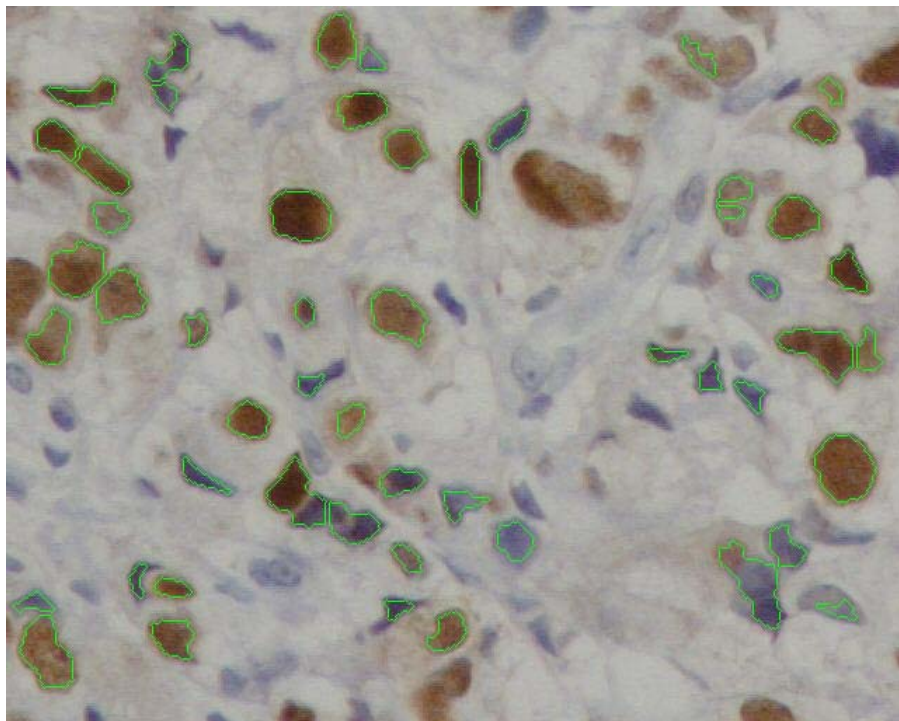
ภาพประกอบ 4-10 ฮิสโทแกรมและค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ของภาพประกอบ 4-9



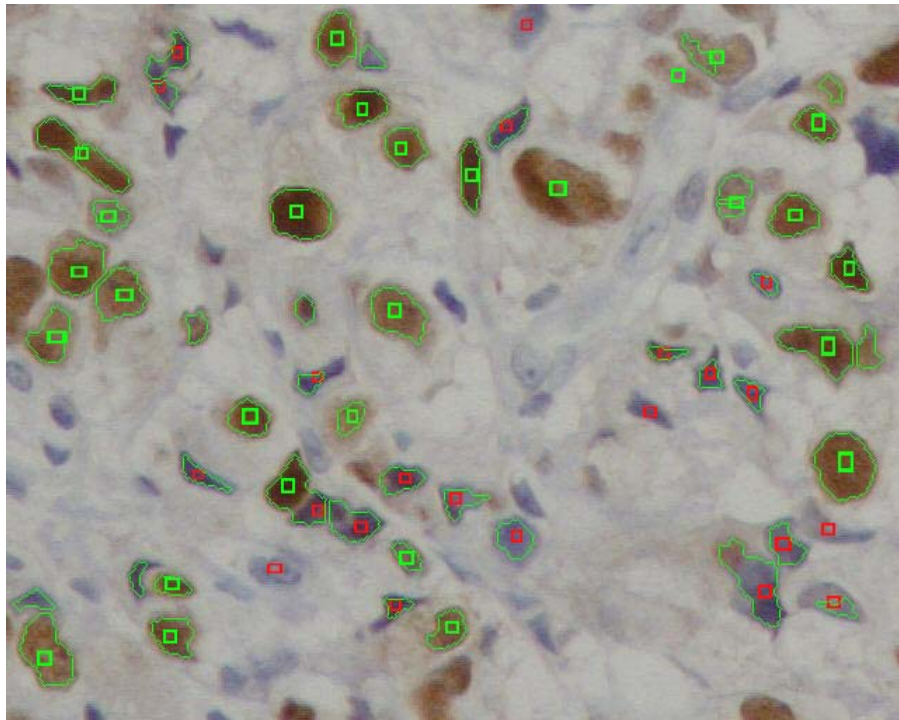
ภาพประกอบ 4-11 ภาพขาวดำที่ได้จากการ Threshold ภาพประกอบ 4-9



ภาพประกอบ 4-12 ภาพขาวดำที่ได้จากการใช้ Morphological operations กับภาพประกอบ 4-11



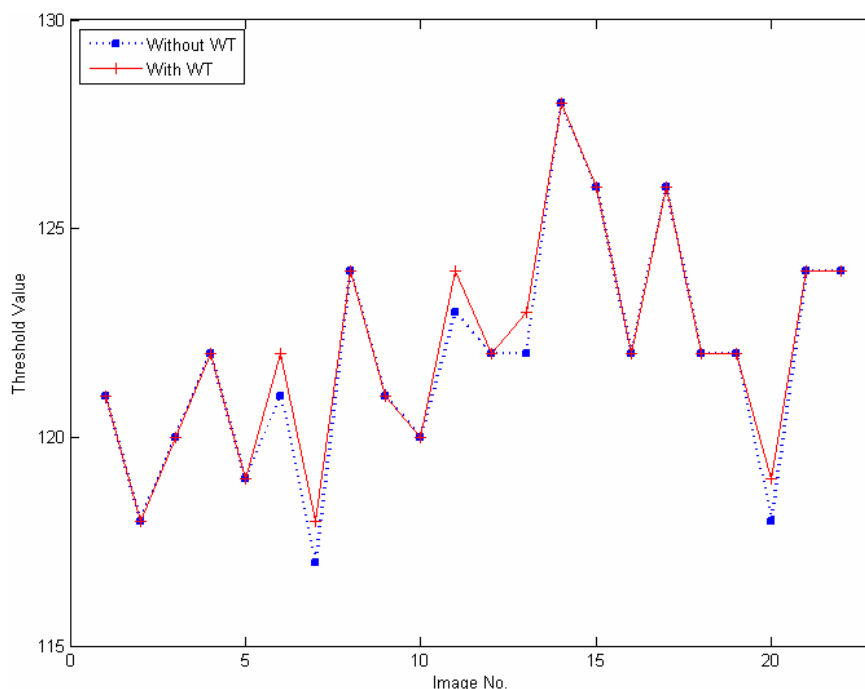
ภาพประกอบ 4-13 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี
ที่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10



ภาพประกอบ 4-14 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการตัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วย สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10

ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (กำหนดการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet, db1) สามารถคำนวณค่าขีดแบ่งของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพได้ด้วยวิธีการของ Otsu แสดงค่าขีดแบ่งได้ดังภาพประกอบ 4-15

จากภาพประกอบ 4-7 และภาพประกอบ 4-14 พบว่า การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของทั้ง 2 ขั้นตอนวิธี ยังไม่สามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมได้ตรงกับผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด มีบางเซลล์ที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม แต่ขั้นตอนวิธีทั้งสองไม่สามารถตัดแยกได้ อาจเนื่องจากเซลล์ดังกล่าวมีความเข้มน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของ Otsu ทำให้กระบวนการ Threshold ไม่สามารถระบุให้เป็นวัตถุได้ หรืออาจเนื่องจากเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าที่กำหนดในกระบวนการ Opening



ภาพประกอบ 4-15 ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของ
ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพ โดยคำนวณด้วยวิธีการของ Otsu

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพ โดยกำหนดรูปแบบและขนาดของ Structuring element ตามตารางที่ 3-1 กำหนดรูปแบบของ Distance transformation 4 รูปแบบ คือ Euclidean, City block, Chessboard และ Quasi-euclidean และกำหนดการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet (db1) แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะการตัดแยกด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพดีกว่า และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า เนื่องจากภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตมีขนาดเล็กลง 4 เท่า ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง แม้ขั้นตอนการประมวลผลจะเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งขั้นตอนก็ตาม นอกจากนี้การกำหนดรูปแบบของ Structuring element เป็นแบบ Square และรูปแบบของ Distance transformation เป็นแบบ City block ในขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตจะให้ประสิทธิภาพการตัดแยกสูงสุด

ตารางที่ 4-1 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ตและขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (กำหนดการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet, db1)

Structuring element	Distance transformation	ขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต			ขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต		
		SS1	PPV1	T*	SS1	PPV1	T*
		(%)	(%)	(s)	(%)	(%)	(s)
Diamond	Euclidean	85 ± 6	62 ± 6	0.48 ± 0.01	86 ± 5	73 ± 7	0.29 ± 0.00
	City block	85 ± 5	70 ± 6	0.51 ± 0.02	85 ± 5	81 ± 6	0.30 ± 0.00
	Chessboard	85 ± 6	79 ± 7	0.53 ± 0.01	85 ± 6	84 ± 7	0.30 ± 0.01
	Quasi-euclidean	85 ± 6	64 ± 5	0.53 ± 0.01	86 ± 5	73 ± 6	0.30 ± 0.00
Disk	Euclidean	85 ± 5	61 ± 5	0.48 ± 0.01	86 ± 5	73 ± 7	0.29 ± 0.01
	City block	86 ± 5	73 ± 6	0.51 ± 0.01	85 ± 5	81 ± 5	0.30 ± 0.00
	Chessboard	85 ± 5	75 ± 6	0.53 ± 0.01	85 ± 6	84 ± 7	0.31 ± 0.00
	Quasi-euclidean	86 ± 5	63 ± 5	0.54 ± 0.01	86 ± 5	73 ± 6	0.31 ± 0.00
Octagon	Euclidean	84 ± 6	61 ± 5	0.49 ± 0.02	84 ± 7	75 ± 7	0.29 ± 0.01
	City block	85 ± 5	73 ± 7	0.51 ± 0.01	83 ± 6	85 ± 6	0.30 ± 0.00
	Chessboard	84 ± 6	78 ± 6	0.53 ± 0.01	83 ± 6	86 ± 6	0.31 ± 0.01
	Quasi-euclidean	85 ± 5	64 ± 5	0.53 ± 0.01	84 ± 7	76 ± 7	0.31 ± 0.00
Square	Euclidean	84 ± 5	65 ± 6	0.48 ± 0.01	87 ± 6	73 ± 6	0.30 ± 0.01
	City block	84 ± 5	80 ± 7	0.51 ± 0.02	87 ± 5	83 ± 6	0.31 ± 0.01
	Chessboard	82 ± 6	74 ± 6	0.52 ± 0.00	86 ± 6	81 ± 7	0.31 ± 0.00
	Quasi-euclidean	85 ± 5	69 ± 5	0.53 ± 0.01	87 ± 6	73 ± 7	0.31 ± 0.01

* T คือ เวลาที่ใช้ในการประมวลผล หน่วย วินาที

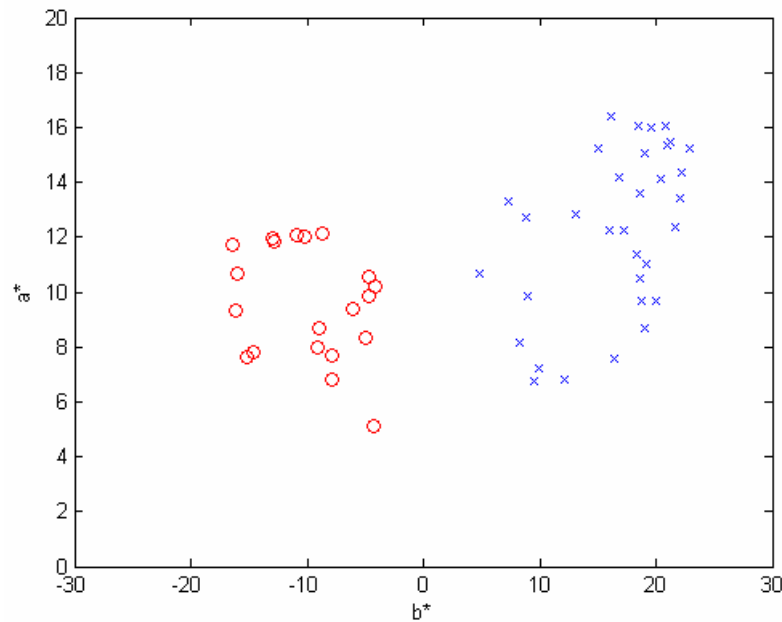
ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (กำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block)

Wavelet	SS1 (%)	PPV1 (%)	T^* (s)
db1	87 ± 5	83 ± 6	0.31 ± 0.01
db2	87 ± 5	82 ± 6	0.33 ± 0.00
db3	86 ± 5	82 ± 6	0.36 ± 0.00
db4	86 ± 5	82 ± 6	0.39 ± 0.01

* T คือ เวลาที่ใช้ในการประมวลผล หน่วย วินาที

ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพ โดยกำหนดรูปแบบของ Structuring element เป็นแบบ Square กำหนดรูปแบบของ Distance transformation เป็นแบบ City block และกำหนดการแปลงเวฟเล็ต 4 แบบคือ db1, db2, db3 และ db4 แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่า การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet (db1) มีประสิทธิภาพสูงสุดและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด

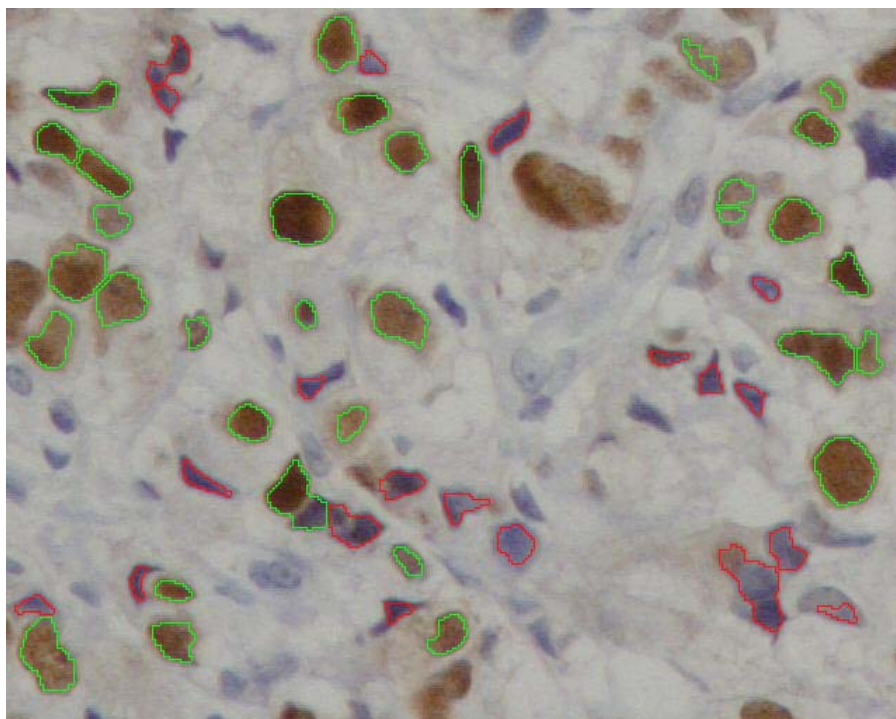
ดังนั้น การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตโดยกำหนดรูปแบบของ Structuring element เป็นแบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล กำหนดรูปแบบ Distance transformation เป็นแบบ City block และกำหนดการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet (db1) จึงถูกเลือกใช้เป็นส่วนหนึ่งในระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม และผลการตัดแยกจากขั้นตอนวิธีดังกล่าวจะถูกจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมต่อไป



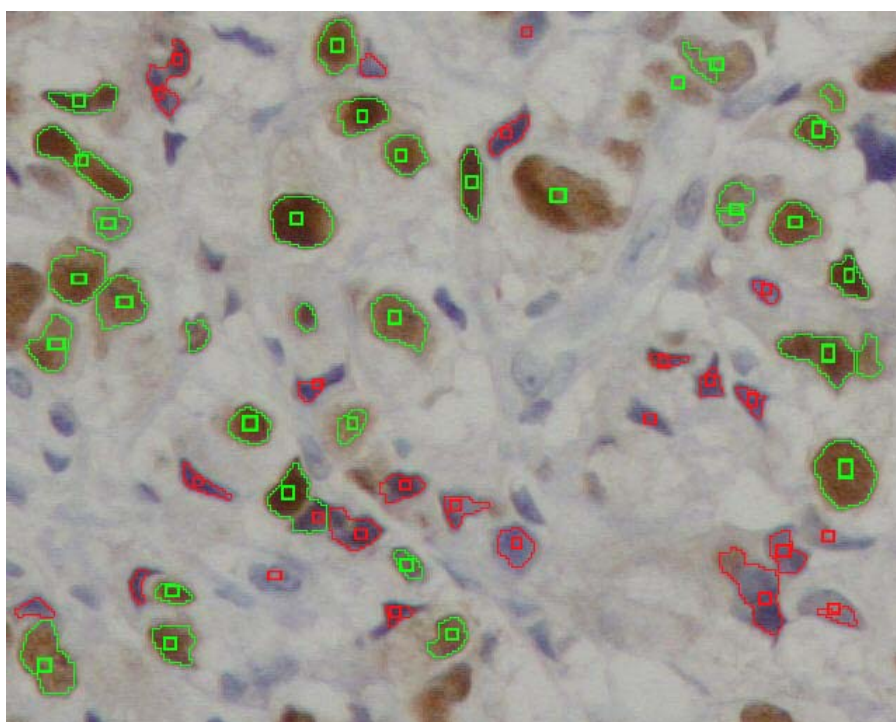
ภาพประกอบ 4-16 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์
ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10

4.3 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม

เซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกได้จากขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนดรูปแบบของ Structuring element เป็นแบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation เป็นแบบ City block จะถูกคำนวณค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* การกระจายตัวของค่าเฉลี่ย a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์แสดงดังภาพประกอบ 4-16 พบว่า ค่าเฉลี่ยของ b^* แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับภาพประกอบ 2-7 แกน b^* ที่แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยเซลล์สีน้ำตาลจะมีสีเหลืองเป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับกับเซลล์สีน้ำเงินที่มีสีน้ำเงินเป็นองค์ประกอบ นั่นคือค่าเฉลี่ยของ b^* ของแต่ละเซลล์ จึงถูกเลือกใช้เป็นลักษณะเด่น ซึ่งค่าเฉลี่ยของ b^* ของแต่ละเซลล์หาได้จากสมการ (3-1) และใช้สมการ (3-2) ในการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม หากเซลล์ใดมีค่าเฉลี่ยของ b^* เป็นบวก เซลล์ดังกล่าวเป็นเซลล์ผลบวก และหากเซลล์ใดมีค่าเฉลี่ยของ b^* เป็นลบ เซลล์ดังกล่าวเป็นเซลล์ผลลบ ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพหมายเลข 10 แสดงดังภาพประกอบ 4-17 เซลล์ที่ล้อมรอบขอบด้วยเส้นสีเขียวคือเซลล์มะเร็งเต้านมชนิดผลบวก และเซลล์ที่ล้อมรอบขอบด้วยเส้นสีแดงคือเซลล์มะเร็งเต้านมชนิดผลลบ เปรียบเทียบผลการจำแนกกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม ดังภาพประกอบ 4-18



ภาพประกอบ 4-17 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมของภาพหมายเลข 10



ภาพประกอบ 4-18 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) ของภาพเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมหมายเลข 10

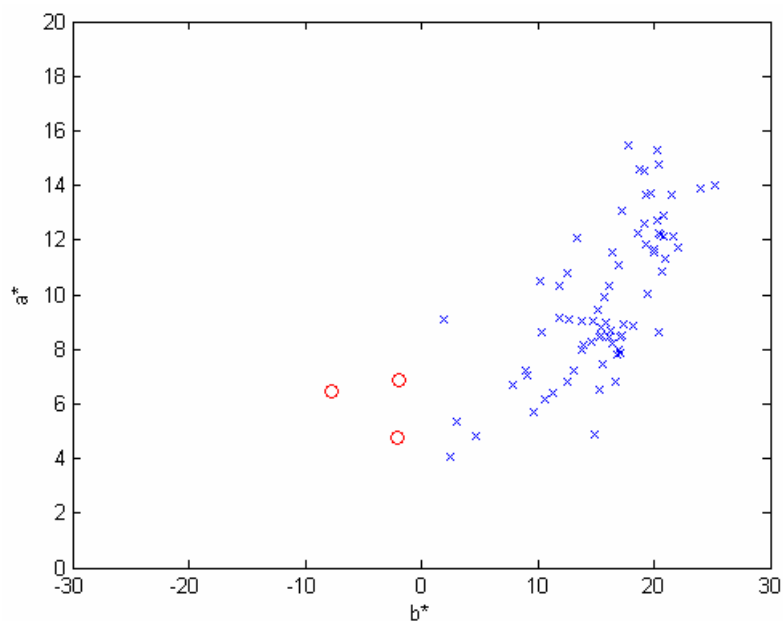
4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม

ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 22 ภาพ แสดงดังตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยมีค่า $SS2 = 98 \pm 3\%$, $PPV2 = 100 \pm 1\%$, $SC2 = 93 \pm 14\%$, และ $NPV2 = 86 \pm 21\%$

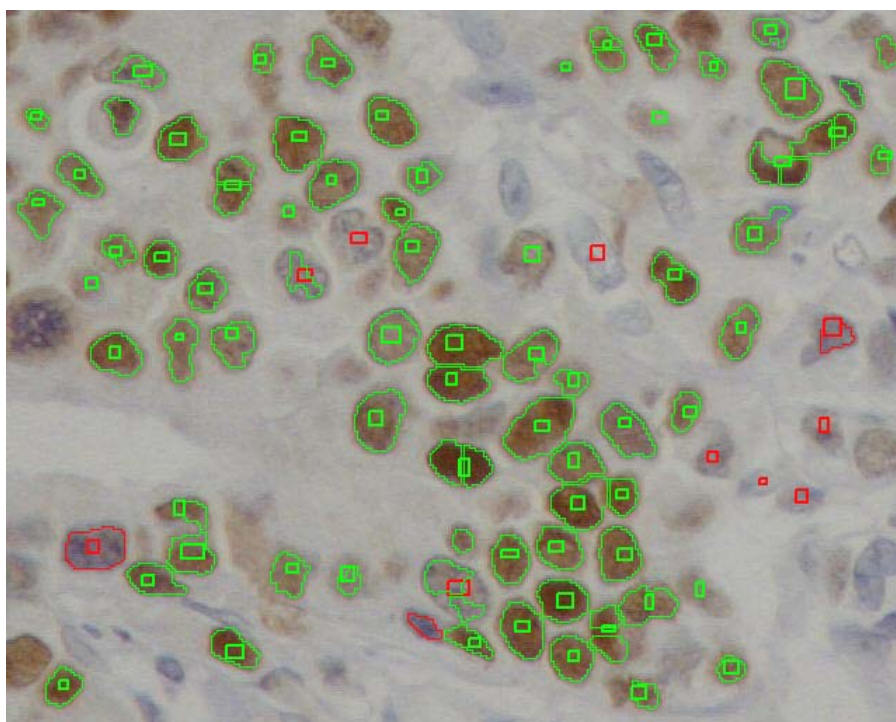
จากลักษณะเด่นที่ทำได้ คือ ค่าเฉลี่ยของ b^* ของแต่ละเซลล์ สามารถจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นเซลล์ผลบวกและเซลล์ผลลบได้ถูกต้องในเกณฑ์ที่ดีมาก ซึ่งดูได้จากประสิทธิภาพที่คำนวณได้ในตารางที่ 4-3 มีเพียงบางภาพที่มีประสิทธิภาพบางค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เช่น ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08 มีค่า $SC2 = 50\%$ แสดงว่า ขั้นตอนวิธีจำแนกเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นผลลบได้เป็นจำนวนน้อย ทำให้ผู้เชี่ยวชาญต้องระบุเพิ่มจำนวนมาก เช่นเดียวกับภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15 มีค่า $NPV2 = 38\%$ แสดงว่า ขั้นตอนวิธีจำแนกเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นผลลบได้เป็นจำนวนมาก ในขณะที่บางเซลล์ไม่ใช่เซลล์ผลลบ ทำให้ผู้เชี่ยวชาญต้องลบเซลล์ออกเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าเฉลี่ยของ b^* ของเซลล์ที่ตัดแยกได้มีค่าใกล้ 0 มาก เมื่อมองด้วยสายตาอาจเห็นสีของเซลล์ไม่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ทำให้ขั้นตอนวิธีและผู้เชี่ยวชาญจำแนกชนิดไม่ตรงกัน ดังภาพประกอบ 4-19 และภาพประกอบ 4-21 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08 และ 15 เซลล์ที่ตัดแยกได้จากขั้นตอนวิธีบางเซลล์มีค่าเฉลี่ย b^* เข้าใกล้ 0 มาก เมื่อเปรียบเทียบผลการจำแนกด้วยขั้นตอนวิธีกับผู้เชี่ยวชาญ พบว่า บางเซลล์ขั้นตอนวิธีนับเป็นเซลล์ผลบวก แต่ผู้เชี่ยวชาญนับเป็นเซลล์ผลลบ ในขณะเดียวกัน บางเซลล์ขั้นตอนวิธีนับเป็นเซลล์ผลลบ แต่ผู้เชี่ยวชาญนับเป็นเซลล์ผลบวก ดังภาพประกอบ 4-20 และภาพประกอบ 4-22 ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง ผู้ใช้โปรแกรมต้องแก้ไขผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยตนเอง ทั้งนี้ การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมและการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมของผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีความเห็นที่ตรงกันของผู้เชี่ยวชาญตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ผลเฉลยภาพเซลล์มะเร็งเต้านมจากผู้เชี่ยวชาญทางพยาธิวิทยาที่มีความเห็นตรงกัน 2 ท่าน

ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม

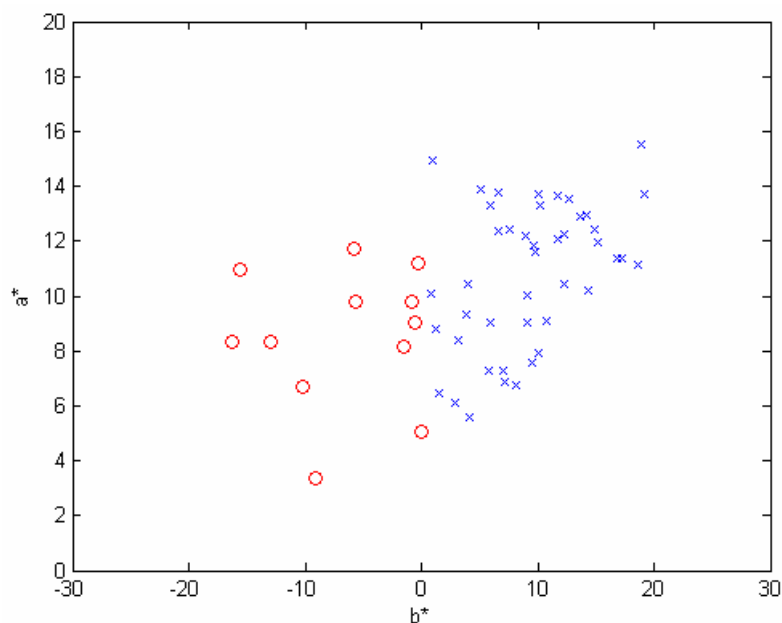
No.	TP2	TN2	FP2	FN2	SS2 (%)	PPV2 (%)	SC2 (%)	NPV2 (%)
01	55	2	0	0	100	100	100	100
02	53	1	0	1	98	100	100	50
03	16	20	0	1	94	100	100	95
04	40	2	1	0	100	98	67	100
05	37	12	0	0	100	100	100	100
06	47	3	1	2	96	98	75	60
07	58	2	0	0	100	100	100	100
08	62	2	2	0	100	97	50	100
09	45	1	0	1	98	100	100	50
10	27	17	0	0	100	100	100	100
11	35	10	0	1	97	100	100	91
12	40	9	0	0	100	100	100	100
13	38	6	0	3	93	100	100	67
14	32	10	0	0	100	100	100	100
15	37	3	0	5	88	100	100	38
16	47	3	1	1	98	98	75	75
17	55	3	0	0	100	100	100	100
18	37	3	0	2	95	100	100	60
19	57	3	1	0	100	98	75	100
20	26	3	0	0	100	100	100	100
21	26	6	0	1	96	100	100	86
22	17	2	0	0	100	100	100	100
ค่าเฉลี่ย					98 ± 3	100 ± 1	93 ± 14	85 ± 21



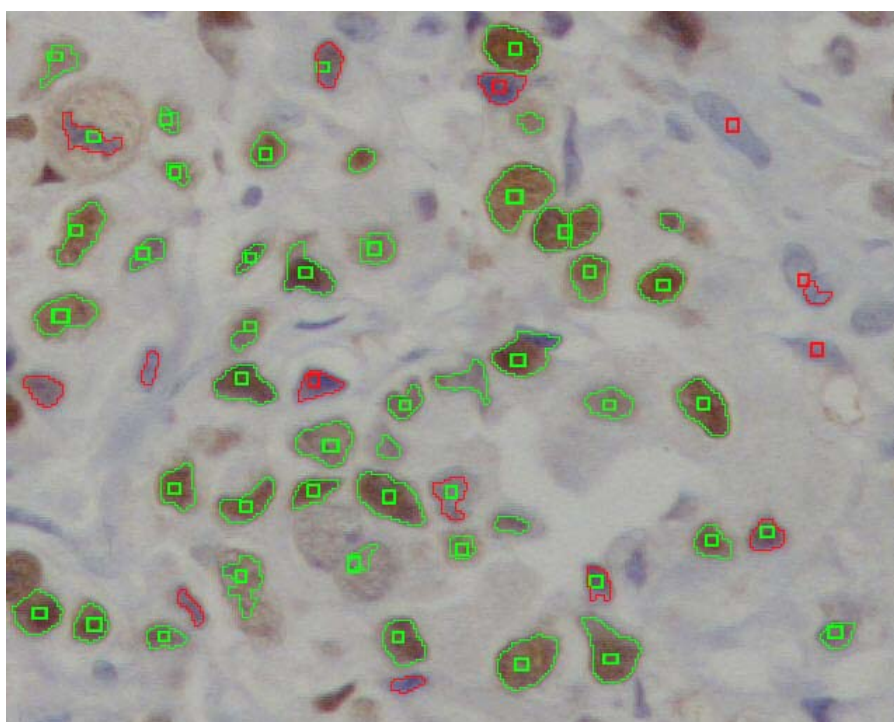
ภาพประกอบ 4-19 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์
ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08



ภาพประกอบ 4-20 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบ
ขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม)
ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08



ภาพประกอบ 4-21 แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยของ a^* และ b^* ของแต่ละเซลล์
ที่ตัดแยกได้จากภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15



ภาพประกอบ 4-22 ผลการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธี (ระบุด้วยเส้นรอบ
ขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการจำแนกโดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม)
ของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุปของการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับผู้ต้องการนำงานวิจัยนี้ไปอ้างอิงหรือพัฒนาต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม เพื่อช่วยให้การวินิจฉัยโรคมะเร็งเต้านมมีความถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น การวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม และขั้นตอนที่สองคือการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกได้

ในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม มีการเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ Color space transformation, Global thresholding, และ Morphological operations และขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ Wavelet transformation, Color space transformation, Global thresholding, และ Morphological operations มีการเปรียบเทียบรูปแบบของ Structuring element ได้แก่ Diamond, Disk, Octagon และ Square และรูปแบบของ Distance transformation ได้แก่ Euclidean, City block, Chessboard และ Quasi-euclidean โดยกำหนดการแปลงเวฟเล็ตด้วย Haar wavelet (db1) จากการวิจัยพบว่า ขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตสามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมได้ดีกว่าและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต และการกำหนด Structuring element แบบ Square และ Distance transformation แบบ City block ในขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตให้ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่ดีที่สุด คือมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 85% และใช้เวลาลดลง 39%

นอกจากนี้ มีการเปรียบเทียบการแปลงเวฟเล็ตระหว่าง Haar wavelet (db1) และ Daubechies 2, 3, 4 (db2, db3, db4) ในขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block จากการวิจัยพบว่า การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar (db1) ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 85% และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าแบบ Daubechies 2, 3, 4 (db2, db3, db4) ดังนั้น การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังด้วย

ขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar (db1) กำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และกำหนด Distance transformation แบบ City block จึงถูกเลือกใช้เป็นส่วนหนึ่งในระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

ในการจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านม เซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกได้จากขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ตจะถูกจำแนกชนิดด้วยคุณลักษณะเด่น คือ ค่าเฉลี่ยของ b^* ในปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ของแต่ละเซลล์ จากผลการวิจัยพบว่า การจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นผลบวกและผลลบด้วยลักษณะเด่นที่หาได้มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 94% นั่นคือ ลักษณะเด่นดังกล่าวสามารถจำแนกชนิดเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นผลบวกและผลลบได้ถูกต้องในเกณฑ์ดีมาก

จากผลการวิจัยดังกล่าว พบว่า ต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมสามารถเพิ่มความสะดวกและลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์หลังได้ แต่ความถูกต้องของการวิเคราะห์บางส่วนยังคงต้องใช้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญประกอบ และภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์นี้จะต้องมีเซลล์ผลบวกและเซลล์ผลลบที่เห็นได้ชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขนาดเซลล์มะเร็งเต้านมในภาพแต่ละภาพมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน บางเซลล์มีขนาดเล็ก บางเซลล์มีขนาดใหญ่ บางเซลล์มีรูปร่างกลม หรือบางเซลล์มีรูปร่างรีมากน้อยต่างกัน การกำหนดขนาดของ Structuring element และขนาดพื้นที่ของ Area opening ที่แน่นอนในกระบวนการ Opening มีผลต่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม หากขนาดของ Structuring element และขนาดพื้นที่ของ Area opening ปรับเปลี่ยนได้ตามแต่ละภาพ อาจทำให้ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมดีขึ้นได้

5.2.2 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการประมวลผลเป็นภาพสี RGB การประมวลผลภาพในปริภูมิสี RGB ให้ผลที่ดีในระดับหนึ่ง หากสามารถเลือกใช้ปริภูมิสีอื่นที่เหมาะสมกว่าปริภูมิสี RGB อาจทำให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมดีขึ้นได้

5.2.3 ขั้นตอนวิธีสำหรับวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีในระดับหนึ่ง แต่ขั้นตอนวิธีสำหรับการประมวลผลภาพมีมากมาย อาจมีขั้นตอนวิธีอื่นที่สามารถวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมได้ดีเทียบเท่าหรือดีกว่า

บรรณานุกรม

- [1] A. Chaiwerawatana, "Breast," *Cancer in Thailand*, vol. 4, 1998-2000. pp. 48.
- [2] P. Attasara, *Cancer Registry 2002*, Bangkok: Ministry of Public Health, pp. 10.
- [3] H. Lehr, D. A. Mankoff, D. Corwin, G. Santeusanio, and A. M. Gown, "Application of Photoshop-based image analysis to quantification of hormone receptor expression in breast cancer," *The Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, vol. 45, 1997, pp. 1559-1565.
- [4] R. Mofidi, R. Walsh, P.F. Ridgway, T. Crotty, E.W. McDermott, T.V. Keaveny, M.J. Duffy, A.D.K Hill, and N. O'Higgins, "Objective measurement of breast cancer oestrogen receptor status through digital image analysis," *European Journal of Surgical Oncology*, vol. 29, 2003, pp. 20-24.
- [5] Y. Hatanaka, K. Hashizume, K. Nitta, T. Kato, I. Itoh, and Y. Tani, "Cytometrical image analysis for immunohistochemical hormone receptor status in breast carcinomas," *Pathology International*, vol. 53, pp. 693-699, 2003.
- [6] B. Liu, C. Yin, Z. Liu, Z. Zhang, J. Gao, M. Zhu, J. Gu, and K. Xu, "Microscopic image analysis and recognition on pathological cells," in *Electrical and Computer Engineering, 2007, Canadian Conference on*, pp. 1022-1025.
- [7] P. Phukpattaranont, S. Limsiroratana, and P. Boonyaphiphat, "Evaluation of computer-aided analysis for nuclear stained breast cancer cell images," in *The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering*, 2008, pp. 213-216.
- [8] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed., New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2001.
- [9] สิทธิโชค ขอดระยับ, *การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.
- [10] กัญญารัตน์ บุญบุญสิน, "การปรับปรุงภาพเอกสารที่บกพร่องเนื่องจากราโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล," *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2542.
- [11] The MathWorks™. (2008, Oct.). *Image Processing Toolbox™ 6 User's Guide* [Online]. Available:
http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/images/images_tb.pdf

- [12] R. F. Graf, *Modern Dictionary of Electronics*, Oxford: Newnes, 1999. pp. 569.
- [13] ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล, คู่มือการเขียนโปรแกรมวินโดวส์ขั้นสูงด้วย *Visual C++ .NET Episode One*, กรุงเทพฯ: ไทยเจริญการพิมพ์, 2546.
- [14] A. McAndrew, *Introduction to Digital Image Processing with MATLAB*, Massachusetts: Thomson Learning, Inc., 2004.
- [15] H. D. Cheng, X. H. Jiang, Y. Sun, and J. Wang, "Color image segmentation: advances and prospects," *The Journal of the Pattern Recognition Society*, vol. 34, no. 12, 2001, pp. 2259-2281.
- [16] M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, and R. Motta. (1996, Nov.). *A Standard Default Color Space for the Internet - sRGB* [Online]. Available:
<http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB>
- [17] M. Nielsen, and M. Stokes, "The creation of the sRGB ICC profile," in *Sixth Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications*, 1998, pp. 253-257.
- [18] Y. Chai, L. Gao, and S. Lu, "Wavelet-based watershed for image segmentation algorithm," in *Proceeding of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2006, pp. 9595-9599.
- [19] M. Kubo, Z. Aghbari, K. S. Oh, and A. Makinouchi, "A wavelet-based image indexing, clustering, and retrieval technique based on edge feature," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Wavelet Analysis and Its Applications*, 2001, pp. 164-175.
- [20] M. Ozden, and E. Polat, "Image segmentation using color and texture features," in *Proceeding of the 13th European Signal Processing*, 2005.
- [21] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, and J.M. Poggi. (2008, March). *Wavelet Toolbox™ 4 User's Guide* [Online]. Available:
http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/wavelet/wavelet_ug.pdf
- [22] P. Morton, and A. Petersen. (1997, Dec.). *Image Compression Using the Haar Wavelet Transform* [Online]. Available:
<http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/laproj/Fall97/PMorton/pmorton.pdf>
- [23] G. J. Awcock, and R. Thomas, *Applied Image Processing*, Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1995.

- [24] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, 3rd ed., Ontario: Thomson Learning, 2008.
- [25] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", *IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, 1979, pp. 62-66.
- [26] P. Soille, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*, 2nd ed., New York: Springer-Verlag, 2002.
- [27] F. Mayer, "Topographic distance and watershed lines," *Signal Processing*, Vol. 38, 1994, pp. 113-125.
- [28] Q. Chen, X. Yang, and E. M. Petriu, "Watershed segmentation for binary images with difference transforms," in *Proceeding of the 3rd IEEE Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications*, 2004, pp. 111-116.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ประสิทธิภาพของการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

ตารางที่ ก-1 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 6 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	31	10	85	65	0.49
02	56	21	8	88	73	0.48
03	38	25	10	79	60	0.46
04	41	20	8	84	67	0.46
05	48	29	2	96	62	0.48
06	53	24	8	87	69	0.47
07	58	20	6	91	74	0.49
08	64	33	14	82	66	0.49
09	48	28	6	89	63	0.49
10	45	35	6	88	56	0.47
11	42	29	16	72	59	0.47
12	49	37	7	88	57	0.48
13	43	22	8	84	66	0.47
14	39	34	8	83	53	0.47
15	42	28	5	89	60	0.47
16	48	25	11	81	66	0.47
17	57	38	13	81	60	0.49
18	42	29	11	79	59	0.47
19	63	52	8	89	55	0.50
20	28	19	9	76	60	0.47
21	34	26	3	92	57	0.46
22	18	17	4	82	51	0.45
Average				85 ± 6	62 ± 6	0.48 ± 0.01

ตารางที่ ก-2 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	19	10	85	75	0.29
02	56	11	8	88	84	0.30
03	36	11	12	75	77	0.29
04	43	10	6	88	81	0.29
05	48	14	2	96	77	0.29
06	52	14	9	85	79	0.29
07	57	10	7	89	85	0.29
08	63	21	15	81	75	0.29
09	49	22	5	91	69	0.29
10	44	25	7	86	64	0.29
11	45	24	13	78	65	0.29
12	49	25	7	88	66	0.29
13	45	19	6	88	70	0.29
14	40	22	7	85	65	0.29
15	43	9	4	91	83	0.28
16	52	18	7	88	74	0.29
17	59	28	11	84	68	0.29
18	42	21	11	79	67	0.29
19	64	22	7	90	74	0.29
20	29	11	8	78	73	0.29
21	33	12	4	89	73	0.29
22	18	11	4	82	62	0.28
Average				86 ± 5	73 ± 7	0.29 ± 0.00

ตารางที่ ก-3 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 6 พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	54	30	14	79	64	0.52
02	54	20	10	84	73	0.51
03	39	17	9	81	70	0.49
04	42	16	7	86	72	0.49
05	48	20	2	96	71	0.51
06	53	16	8	87	77	0.51
07	58	16	6	91	78	0.51
08	62	27	16	79	70	0.52
09	49	13	5	91	79	0.51
10	43	18	8	84	70	0.50
11	43	20	15	74	68	0.50
12	50	19	6	89	72	0.51
13	42	21	9	82	67	0.50
14	41	26	6	87	61	0.50
15	43	22	4	91	66	0.50
16	50	13	9	85	79	0.50
17	56	30	14	80	65	0.52
18	42	24	11	79	64	0.50
19	62	30	9	87	67	0.52
20	30	9	7	81	77	0.49
21	31	18	6	84	63	0.49
22	20	13	2	91	61	0.48
Average				85 ± 5	70 ± 6	0.51 ± 0.01

ตารางที่ ก-4 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	56	12	12	82	82	0.30
02	55	10	9	86	85	0.30
03	36	10	12	75	78	0.30
04	42	6	7	86	88	0.29
05	47	11	3	94	81	0.30
06	53	6	8	87	90	0.29
07	58	6	6	91	91	0.30
08	64	16	14	82	80	0.30
09	48	11	6	89	81	0.30
10	43	11	8	84	80	0.30
11	46	15	12	79	75	0.30
12	49	12	7	88	80	0.30
13	47	14	4	92	77	0.30
14	40	16	7	85	71	0.30
15	43	10	4	91	81	0.30
16	52	9	7	88	85	0.29
17	59	14	11	84	81	0.31
18	43	13	10	81	77	0.29
19	62	16	9	87	79	0.30
20	28	5	9	76	85	0.29
21	32	7	5	86	82	0.29
22	19	8	3	86	70	0.29
Average				85 ± 5	81 ± 5	0.30 ± 0.00

ตารางที่ ก-5 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 6 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	56	10	12	82	85	0.54
02	51	9	13	80	85	0.54
03	39	10	9	81	80	0.52
04	44	8	5	90	85	0.52
05	49	9	1	98	84	0.53
06	51	11	10	84	82	0.53
07	60	3	4	94	95	0.54
08	61	13	17	78	82	0.55
09	47	14	7	87	77	0.53
10	45	16	6	88	74	0.53
11	45	21	13	78	68	0.53
12	50	21	6	89	70	0.54
13	46	16	5	90	74	0.53
14	37	15	10	79	71	0.53
15	43	10	4	91	81	0.53
16	48	14	11	81	77	0.53
17	59	12	11	84	83	0.54
18	41	12	12	77	77	0.53
19	58	16	13	82	78	0.55
20	27	6	10	73	82	0.52
21	32	12	5	86	73	0.51
22	20	10	2	91	67	0.51
Average				85 ± 6	79 ± 7	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-6 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	5	11	84	92	0.32
02	51	6	13	80	89	0.32
03	40	9	8	83	82	0.32
04	43	6	6	88	88	0.31
05	48	8	2	96	86	0.33
06	51	6	10	84	89	0.31
07	59	3	5	92	95	0.31
08	60	7	18	77	90	0.32
09	48	7	6	89	87	0.33
10	45	7	6	88	87	0.31
11	47	16	11	81	75	0.31
12	51	14	5	91	78	0.31
13	47	13	4	92	78	0.32
14	40	17	7	85	70	0.32
15	43	11	4	91	80	0.31
16	49	11	10	83	82	0.31
17	57	15	13	81	79	0.31
18	42	10	11	79	81	0.32
19	58	6	13	82	91	0.32
20	26	5	11	70	84	0.31
21	32	3	5	86	91	0.31
22	20	9	2	91	69	0.30
Average				85 ± 6	84 ± 7	0.32 ± 0.01

ตารางที่ ก-7 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 6 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	31	10	85	65	0.55
02	55	18	9	86	75	0.54
03	38	22	10	79	63	0.52
04	41	25	8	84	62	0.52
05	49	29	1	98	63	0.53
06	53	25	8	87	68	0.53
07	57	22	7	89	72	0.54
08	64	32	14	82	67	0.55
09	47	23	7	87	67	0.54
10	45	28	6	88	62	0.53
11	43	27	15	74	61	0.53
12	51	32	5	91	61	0.54
13	42	25	9	82	63	0.53
14	40	30	7	85	57	0.53
15	42	25	5	89	63	0.53
16	48	21	11	81	70	0.53
17	56	33	14	80	63	0.54
18	42	25	11	79	63	0.53
19	61	40	10	86	60	0.55
20	29	11	8	78	73	0.52
21	34	26	3	92	57	0.52
22	20	15	2	91	57	0.50
Average				85 ± 6	64 ± 5	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-8 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Diamond ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	19	9	87	76	0.31
02	55	12	9	86	82	0.30
03	36	12	12	75	75	0.30
04	42	10	7	86	81	0.30
05	49	16	1	98	75	0.31
06	52	13	9	85	80	0.30
07	57	10	7	89	85	0.30
08	66	24	12	85	73	0.31
09	49	21	5	91	70	0.31
10	43	21	8	84	67	0.30
11	44	25	14	76	64	0.30
12	49	23	7	88	68	0.30
13	44	22	7	86	67	0.30
14	40	22	7	85	65	0.30
15	43	10	4	91	81	0.30
16	52	16	7	88	76	0.30
17	60	29	10	86	67	0.31
18	42	22	11	79	66	0.30
19	64	25	7	90	72	0.31
20	29	10	8	78	74	0.30
21	33	12	4	89	73	0.30
22	18	10	4	82	64	0.30
Average				86 ± 5	73 ± 6	0.30 ± 0.00

ตารางที่ ก-9 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	<i>TP1</i>	<i>FP1</i>	<i>FN1</i>	<i>SS1 (%)</i>	<i>PPV1 (%)</i>	<i>T (s)</i>
01	59	37	9	87	61	0.49
02	56	20	8	88	74	0.49
03	39	19	9	81	67	0.47
04	40	21	9	82	66	0.47
05	48	28	2	96	63	0.48
06	53	31	8	87	63	0.48
07	57	23	7	89	71	0.49
08	63	36	15	81	64	0.49
09	47	30	7	87	61	0.50
10	45	30	6	88	60	0.48
11	44	32	14	76	58	0.48
12	50	39	6	89	56	0.49
13	43	31	8	84	58	0.47
14	38	31	9	81	55	0.49
15	43	29	4	91	60	0.47
16	47	31	12	80	60	0.48
17	56	39	14	80	59	0.49
18	42	34	11	79	55	0.48
19	63	54	8	89	54	0.50
20	29	20	8	78	59	0.48
21	33	28	4	89	54	0.47
22	18	14	4	82	56	0.46
Average				85 ± 5	61 ± 5	0.48 ± 0.01

ตารางที่ ก-10 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation

แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	19	10	85	75	0.29
02	56	11	8	88	84	0.30
03	36	11	12	75	77	0.28
04	43	10	6	88	81	0.29
05	48	14	2	96	77	0.30
06	52	14	9	85	79	0.29
07	57	10	7	89	85	0.30
08	63	21	15	81	75	0.29
09	49	22	5	91	69	0.29
10	44	25	7	86	64	0.29
11	45	24	13	78	65	0.29
12	49	25	7	88	66	0.29
13	45	19	6	88	70	0.29
14	40	22	7	85	65	0.29
15	43	9	4	91	83	0.29
16	52	18	7	88	74	0.29
17	59	28	11	84	68	0.30
18	42	21	11	79	67	0.29
19	64	22	7	90	74	0.30
20	29	11	8	78	73	0.29
21	33	12	4	89	73	0.28
22	18	11	4	82	62	0.28
Average				86 ± 5	73 ± 7	0.29 ± 0.01

ตารางที่ ก-11 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด R = 6 พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	56	24	12	82	70	0.52
02	57	12	7	89	83	0.51
03	39	12	9	81	76	0.50
04	42	9	7	86	82	0.50
05	48	21	2	96	70	0.51
06	53	15	8	87	78	0.50
07	58	13	6	91	82	0.52
08	64	20	14	82	76	0.52
09	48	14	6	89	77	0.51
10	43	16	8	84	73	0.50
11	44	18	14	76	71	0.51
12	49	20	7	88	71	0.51
13	47	18	4	92	72	0.50
14	41	23	6	87	64	0.50
15	43	21	4	91	67	0.50
16	51	14	8	86	78	0.50
17	59	25	11	84	70	0.52
18	42	17	11	79	71	0.51
19	63	22	8	89	74	0.53
20	31	8	6	84	79	0.49
21	32	16	5	86	67	0.50
22	19	13	3	86	59	0.48
Average				86 ± 5	73 ± 6	0.51 ± 0.01

ตารางที่ ก-12 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation

แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	56	12	12	82	82	0.30
02	55	10	9	86	85	0.30
03	36	10	12	75	78	0.29
04	42	6	7	86	88	0.29
05	47	11	3	94	81	0.30
06	53	6	8	87	90	0.29
07	58	6	6	91	91	0.30
08	64	16	14	82	80	0.30
09	48	11	6	89	81	0.30
10	43	11	8	84	80	0.29
11	46	15	12	79	75	0.30
12	49	12	7	88	80	0.30
13	47	14	4	92	77	0.30
14	40	16	7	85	71	0.30
15	43	10	4	91	81	0.30
16	52	9	7	88	85	0.30
17	59	14	11	84	81	0.30
18	43	13	10	81	77	0.29
19	62	16	9	87	79	0.30
20	28	5	9	76	85	0.29
21	32	7	5	86	82	0.29
22	19	8	3	86	70	0.29
Average				85 ± 5	81 ± 5	0.30 ± 0.00

ตารางที่ ก-13 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	14	9	87	81	0.55
02	55	15	9	86	79	0.54
03	40	14	8	83	74	0.52
04	43	12	6	88	78	0.52
05	49	14	1	98	78	0.54
06	51	16	10	84	76	0.53
07	59	9	5	92	87	0.55
08	63	15	15	81	81	0.55
09	46	17	8	85	73	0.54
10	45	18	6	88	71	0.53
11	46	25	12	79	65	0.53
12	48	26	8	86	65	0.54
13	47	19	4	92	71	0.53
14	38	15	9	81	72	0.53
15	43	13	4	91	77	0.53
16	47	17	12	80	73	0.53
17	58	17	12	83	77	0.55
18	41	12	12	77	77	0.54
19	59	17	12	83	78	0.56
20	28	9	9	76	76	0.53
21	31	14	6	84	69	0.52
22	19	11	3	86	63	0.51
Average				85 ± 5	75 ± 6	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-14 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 2$ พิกเซล และ Distance transformation

แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	5	11	84	92	0.31
02	51	6	13	80	89	0.31
03	40	9	8	83	82	0.31
04	43	6	6	88	88	0.30
05	48	8	2	96	86	0.30
06	51	6	10	84	89	0.30
07	59	3	5	92	95	0.31
08	60	7	18	77	90	0.31
09	48	7	6	89	87	0.31
10	45	7	6	88	87	0.31
11	47	16	11	81	75	0.31
12	51	14	5	91	78	0.31
13	47	13	4	92	78	0.31
14	40	17	7	85	70	0.31
15	43	11	4	91	80	0.31
16	49	11	10	83	82	0.30
17	57	15	13	81	79	0.31
18	42	10	11	79	81	0.31
19	58	6	13	82	91	0.31
20	26	5	11	70	84	0.30
21	32	3	5	86	91	0.30
22	20	9	2	91	69	0.30
Average				85 ± 6	84 ± 7	0.31 ± 0.00

ตารางที่ ก-15 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต
โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation
แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	35	9	87	63	0.58
02	55	23	9	86	71	0.55
03	40	16	8	83	71	0.52
04	41	20	8	84	67	0.53
05	50	31	0	100	62	0.54
06	53	29	8	87	65	0.54
07	57	26	7	89	69	0.55
08	63	38	15	81	62	0.55
09	48	26	6	89	65	0.54
10	45	27	6	88	63	0.53
11	44	33	14	76	57	0.54
12	51	39	5	91	57	0.54
13	43	29	8	84	60	0.53
14	40	30	7	85	57	0.53
15	42	26	5	89	62	0.53
16	47	26	12	80	64	0.53
17	58	31	12	83	65	0.55
18	42	32	11	79	57	0.53
19	61	41	10	86	60	0.56
20	30	12	7	81	71	0.52
21	32	25	5	86	56	0.52
22	20	14	2	91	59	0.51
Average				86 ± 5	63 ± 6	0.54 ± 0.01

ตารางที่ ก-16 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Disk ขนาด R = 2 พิกเซล และ Distance transformation

แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	19	9	87	76	0.31
02	55	12	9	86	82	0.31
03	36	12	12	75	75	0.30
04	42	10	7	86	81	0.31
05	49	16	1	98	75	0.31
06	52	13	9	85	80	0.30
07	57	10	7	89	85	0.31
08	66	24	12	85	73	0.31
09	49	21	5	91	70	0.31
10	43	21	8	84	67	0.30
11	44	25	14	76	64	0.31
12	49	23	7	88	68	0.30
13	44	22	7	86	67	0.30
14	40	22	7	85	65	0.30
15	43	10	4	91	81	0.30
16	52	16	7	88	76	0.30
17	60	29	10	86	67	0.31
18	42	22	11	79	66	0.31
19	64	25	7	90	72	0.31
20	29	10	8	78	74	0.30
21	33	12	4	89	73	0.30
22	18	10	4	82	64	0.30
Average				86 ± 5	73 ± 6	0.31 ± 0.00

ตารางที่ ก-17 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	<i>TP1</i>	<i>FP1</i>	<i>FN1</i>	<i>SS1 (%)</i>	<i>PPV1 (%)</i>	<i>T (s)</i>
01	59	36	9	87	62	0.49
02	56	22	8	88	72	0.48
03	38	19	10	79	67	0.47
04	40	19	9	82	68	0.47
05	49	31	1	98	61	0.48
06	53	30	8	87	64	0.48
07	58	26	6	91	69	0.49
08	63	35	15	81	64	0.49
09	47	28	7	87	63	0.51
10	44	33	7	86	57	0.48
11	43	30	15	74	59	0.57
12	50	38	6	89	57	0.50
13	43	25	8	84	63	0.48
14	37	33	10	79	53	0.49
15	42	30	5	89	58	0.47
16	47	30	12	80	61	0.53
17	56	34	14	80	62	0.49
18	42	31	11	79	58	0.47
19	62	49	9	87	56	0.50
20	28	20	9	76	58	0.47
21	33	25	4	89	57	0.46
22	18	17	4	82	51	0.45
Average				84 ± 6	61 ± 5	0.49 ± 0.02

ตารางที่ ก-18 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	20	10	85	74	0.30
02	56	10	8	88	85	0.29
03	33	8	15	69	80	0.29
04	40	10	9	82	80	0.29
05	48	10	2	96	83	0.29
06	52	13	9	85	80	0.29
07	58	6	6	91	91	0.29
08	63	19	15	81	77	0.29
09	49	21	5	91	70	0.29
10	40	23	11	78	63	0.31
11	42	19	16	72	69	0.30
12	49	22	7	88	69	0.30
13	44	16	7	86	73	0.29
14	39	18	8	83	68	0.29
15	40	8	7	85	83	0.29
16	51	19	8	86	73	0.33
17	57	29	13	81	66	0.29
18	40	18	13	75	69	0.29
19	64	22	7	90	74	0.29
20	29	11	8	78	73	0.29
21	33	10	4	89	77	0.29
22	19	7	3	86	73	0.29
Average				84 ± 7	75 ± 7	0.29 ± 0.01

ตารางที่ ก-19 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	56	26	12	82	68	0.53
02	56	11	8	88	84	0.51
03	38	14	10	79	73	0.49
04	42	10	7	86	81	0.50
05	48	21	2	96	70	0.51
06	53	12	8	87	82	0.50
07	58	13	6	91	82	0.52
08	63	19	15	81	77	0.52
09	48	12	6	89	80	0.51
10	41	16	10	80	72	0.50
11	44	16	14	76	73	0.50
12	50	19	6	89	72	0.51
13	45	19	6	88	70	0.50
14	40	26	7	85	61	0.50
15	43	22	4	91	66	0.49
16	51	12	8	86	81	0.50
17	55	24	15	79	70	0.52
18	42	19	11	79	69	0.50
19	62	19	9	87	77	0.53
20	30	8	7	81	79	0.49
21	32	14	5	86	70	0.49
22	19	13	3	86	59	0.48
Average				85 ± 5	73 ± 7	0.51 ± 0.01

ตารางที่ ก-20 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	7	11	84	89	0.30
02	57	6	7	89	90	0.30
03	34	6	14	71	85	0.29
04	39	3	10	80	93	0.29
05	48	7	2	96	87	0.30
06	53	5	8	87	91	0.29
07	58	1	6	91	98	0.30
08	64	13	14	82	83	0.30
09	47	9	7	87	84	0.30
10	39	8	12	76	83	0.30
11	42	13	16	72	76	0.30
12	47	10	9	84	82	0.30
13	45	14	6	88	76	0.30
14	39	13	8	83	75	0.30
15	39	7	8	83	85	0.30
16	51	8	8	86	86	0.30
17	56	12	14	80	82	0.30
18	40	10	13	75	80	0.30
19	61	13	10	86	82	0.30
20	28	6	9	76	82	0.30
21	32	4	5	86	89	0.29
22	19	4	3	86	83	0.29
Average				83 ± 6	85 ± 6	0.30 ± 0.00

ตารางที่ ก-21 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ด
โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation
แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	11	10	85	84	0.54
02	55	13	9	86	81	0.54
03	39	11	9	81	78	0.52
04	42	6	7	86	88	0.52
05	49	10	1	98	83	0.53
06	51	13	10	84	80	0.53
07	60	7	4	94	90	0.54
08	63	10	15	81	86	0.55
09	46	12	8	85	79	0.54
10	43	17	8	84	72	0.53
11	44	19	14	76	70	0.53
12	49	19	7	88	72	0.54
13	47	18	4	92	72	0.53
14	36	17	11	77	68	0.54
15	43	13	4	91	77	0.53
16	48	15	11	81	76	0.53
17	56	13	14	80	81	0.54
18	41	13	12	77	76	0.54
19	59	15	12	83	80	0.57
20	27	7	10	73	79	0.52
21	31	11	6	84	74	0.52
22	20	11	2	91	65	0.51
Average				84 ± 6	78 ± 6	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-22 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	5	10	85	92	0.31
02	52	4	12	81	93	0.33
03	37	5	11	77	88	0.30
04	39	5	10	80	89	0.30
05	48	6	2	96	89	0.31
06	51	5	10	84	91	0.31
07	57	0	7	89	100	0.31
08	58	8	20	74	88	0.31
09	47	8	7	87	85	0.31
10	41	6	10	80	87	0.30
11	44	9	14	76	83	0.30
12	49	11	7	88	82	0.31
13	46	12	5	90	79	0.31
14	38	13	9	81	75	0.31
15	40	8	7	85	83	0.30
16	48	9	11	81	84	0.30
17	54	16	16	77	77	0.33
18	39	7	14	74	85	0.30
19	58	4	13	82	94	0.31
20	28	6	9	76	82	0.30
21	32	3	5	86	91	0.31
22	20	6	2	91	77	0.30
Average				83 ± 6	86 ± 6	0.31 ± 0.01

ตารางที่ ก-23 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 6$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	<i>TP1</i>	<i>FP1</i>	<i>FN1</i>	<i>SS1 (%)</i>	<i>PPV1 (%)</i>	<i>T (s)</i>
01	59	33	9	87	64	0.55
02	55	22	9	86	71	0.54
03	37	13	11	77	74	0.52
04	41	19	8	84	68	0.52
05	48	34	2	96	59	0.53
06	52	26	9	85	67	0.55
07	58	25	6	91	70	0.54
08	63	32	15	81	66	0.55
09	47	23	7	87	67	0.55
10	44	27	7	86	62	0.53
11	43	27	15	74	61	0.53
12	51	36	5	91	59	0.54
13	44	25	7	86	64	0.52
14	39	32	8	83	55	0.53
15	42	28	5	89	60	0.52
16	48	24	11	81	67	0.53
17	56	29	14	80	66	0.55
18	42	29	11	79	59	0.53
19	60	40	11	85	60	0.55
20	29	11	8	78	73	0.52
21	32	21	5	86	60	0.52
22	20	14	2	91	59	0.50
Average				85 ± 5	64 ± 5	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-24 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Octagon ขนาด $R = 3$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	20	9	87	75	0.31
02	55	10	9	86	85	0.30
03	33	9	15	69	79	0.30
04	40	9	9	82	82	0.30
05	49	11	1	98	82	0.30
06	52	14	9	85	79	0.30
07	58	4	6	91	94	0.31
08	64	20	14	82	76	0.31
09	49	18	5	91	73	0.30
10	39	19	12	76	67	0.32
11	41	19	17	71	68	0.31
12	49	20	7	88	71	0.31
13	43	20	8	84	68	0.31
14	39	20	8	83	66	0.31
15	39	8	8	83	83	0.31
16	51	16	8	86	76	0.31
17	58	27	12	83	68	0.31
18	40	18	13	75	69	0.31
19	64	23	7	90	74	0.31
20	29	9	8	78	76	0.30
21	33	9	4	89	79	0.30
22	19	6	3	86	76	0.30
Average				84 ± 7	76 ± 7	0.31 ± 0.00

ตารางที่ ก-25 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	26	10	85	69	0.48
02	56	19	8	88	75	0.48
03	38	17	10	79	69	0.46
04	41	14	8	84	75	0.46
05	47	25	3	94	65	0.47
06	52	21	9	85	71	0.47
07	58	13	6	91	82	0.49
08	65	28	13	83	70	0.49
09	47	23	7	87	67	0.48
10	43	29	8	84	60	0.50
11	43	24	15	74	64	0.47
12	49	32	7	88	60	0.47
13	43	27	8	84	61	0.47
14	37	23	10	79	62	0.48
15	42	24	5	89	64	0.47
16	49	26	10	83	65	0.48
17	58	43	12	83	57	0.48
18	40	31	13	75	56	0.50
19	63	41	8	89	61	0.50
20	29	18	8	78	62	0.49
21	31	19	6	84	62	0.46
22	20	14	2	91	59	0.45
Average				84 ± 5	65 ± 6	0.48 ± 0.01

ตารางที่ ก-26 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	20	10	85	74	0.31
02	56	11	8	88	84	0.31
03	36	11	12	75	77	0.29
04	44	11	5	90	80	0.29
05	49	16	1	98	75	0.29
06	51	12	10	84	81	0.29
07	59	10	5	92	86	0.29
08	66	20	12	85	77	0.30
09	50	21	4	93	70	0.30
10	46	23	5	90	67	0.29
11	46	23	12	79	67	0.30
12	50	26	6	89	66	0.30
13	46	17	5	90	73	0.31
14	41	22	6	87	65	0.30
15	45	11	2	96	80	0.30
16	52	20	7	88	72	0.29
17	59	27	11	84	69	0.30
18	42	21	11	79	67	0.29
19	63	25	8	89	72	0.31
20	29	12	8	78	71	0.29
21	33	14	4	89	70	0.29
22	19	11	3	86	63	0.29
Average				87 ± 6	73 ± 6	0.30 ± 0.01

ตารางที่ ก-27 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	55	15	13	81	79	0.54
02	56	8	8	88	88	0.51
03	38	10	10	79	79	0.50
04	41	5	8	84	89	0.50
05	48	14	2	96	77	0.51
06	52	11	9	85	83	0.52
07	57	3	7	89	95	0.53
08	64	15	14	82	81	0.54
09	45	9	9	83	83	0.51
10	41	9	10	80	82	0.50
11	43	10	15	74	81	0.51
12	49	17	7	88	74	0.52
13	45	17	6	88	73	0.49
14	40	17	7	85	70	0.51
15	42	13	5	89	76	0.51
16	51	7	8	86	88	0.50
17	57	16	13	81	78	0.51
18	40	14	13	75	74	0.50
19	61	14	10	86	81	0.53
20	28	8	9	76	78	0.54
21	31	6	6	84	84	0.49
22	20	10	2	91	67	0.47
Average				84 ± 5	80 ± 7	0.51 ± 0.02

ตารางที่ ก-28 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	6	11	84	90	0.31
02	55	8	9	86	87	0.32
03	37	11	11	77	77	0.32
04	43	4	6	88	91	0.30
05	49	11	1	98	82	0.31
06	53	4	8	87	93	0.31
07	60	3	4	94	95	0.32
08	66	12	12	85	85	0.32
09	47	10	7	87	82	0.32
10	44	9	7	86	83	0.31
11	46	15	12	79	75	0.31
12	49	13	7	88	79	0.31
13	47	16	4	92	75	0.30
14	42	15	5	89	74	0.31
15	45	11	2	96	80	0.30
16	52	8	7	88	87	0.30
17	58	13	12	83	82	0.31
18	42	10	11	79	81	0.30
19	61	15	10	86	80	0.31
20	29	5	8	78	85	0.31
21	33	7	4	89	83	0.31
22	19	8	3	86	70	0.30
Average				87 ± 5	83 ± 6	0.31 ± 0.01

ตารางที่ ก-29 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	17	11	84	77	0.54
02	53	11	11	83	83	0.53
03	39	15	9	81	72	0.51
04	41	9	8	84	82	0.52
05	49	13	1	98	79	0.53
06	50	14	11	82	78	0.52
07	58	10	6	91	85	0.53
08	59	18	19	76	77	0.54
09	45	13	9	83	78	0.53
10	42	16	9	82	72	0.52
11	43	20	15	74	68	0.52
12	47	23	9	84	67	0.53
13	45	19	6	88	70	0.52
14	35	20	12	74	64	0.52
15	41	13	6	87	76	0.52
16	44	16	15	75	73	0.52
17	58	21	12	83	73	0.54
18	39	15	14	74	72	0.52
19	58	19	13	82	75	0.54
20	29	11	8	78	73	0.52
21	29	9	8	78	76	0.51
22	19	11	3	86	63	0.50
Average				82 ± 6	74 ± 6	0.52 ± 0.00

ตารางที่ ก-30 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Chessboard

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	10	10	85	85	0.31
02	50	8	14	78	86	0.31
03	40	10	8	83	80	0.30
04	44	7	5	90	86	0.30
05	49	8	1	98	86	0.30
06	51	7	10	84	88	0.30
07	59	3	5	92	95	0.31
08	60	9	18	77	87	0.31
09	48	8	6	89	86	0.31
10	46	12	5	90	79	0.31
11	46	17	12	79	73	0.31
12	51	19	5	91	73	0.31
13	46	16	5	90	74	0.30
14	40	20	7	85	67	0.30
15	45	11	2	96	80	0.30
16	49	12	10	83	80	0.31
17	57	17	13	81	77	0.31
18	41	11	12	77	79	0.30
19	58	9	13	82	87	0.31
20	28	8	9	76	78	0.30
21	32	4	5	86	89	0.31
22	20	9	2	91	69	0.30
Average				86 ± 6	81 ± 7	0.31 ± 0.00

ตารางที่ ก-31 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการแปลงเวฟเล็ต โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 12$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	58	25	10	85	70	0.54
02	56	21	8	88	73	0.53
03	39	14	9	81	74	0.51
04	41	12	8	84	77	0.51
05	49	22	1	98	69	0.52
06	52	21	9	85	71	0.52
07	58	13	6	91	82	0.54
08	65	29	13	83	69	0.55
09	48	19	6	89	72	0.53
10	43	25	8	84	63	0.52
11	44	23	14	76	66	0.53
12	49	29	7	88	63	0.53
13	43	27	8	84	61	0.52
14	38	21	9	81	64	0.52
15	42	23	5	89	65	0.52
16	50	19	9	85	72	0.53
17	58	29	12	83	67	0.54
18	40	21	13	75	66	0.57
19	63	33	8	89	66	0.55
20	30	14	7	81	68	0.52
21	31	14	6	84	69	0.51
22	20	13	2	91	61	0.50
Average				85 ± 5	69 ± 5	0.53 ± 0.01

ตารางที่ ก-32 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเรียงด้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db1) โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation แบบ Quasi-euclidean

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	59	20	9	87	75	0.31
02	55	10	9	86	85	0.30
03	36	12	12	75	75	0.30
04	44	10	5	90	81	0.31
05	50	15	0	100	77	0.31
06	52	15	9	85	78	0.31
07	59	8	5	92	88	0.31
08	66	19	12	85	78	0.31
09	50	19	4	93	72	0.31
10	45	20	6	88	69	0.32
11	45	23	13	78	66	0.32
12	50	24	6	89	68	0.31
13	45	21	6	88	68	0.31
14	41	23	6	87	64	0.31
15	45	11	2	96	80	0.30
16	52	18	7	88	74	0.30
17	60	28	10	86	68	0.34
18	42	21	11	79	67	0.31
19	63	26	8	89	71	0.31
20	30	14	7	81	68	0.30
21	33	14	4	89	70	0.30
22	19	10	3	86	66	0.30
Average				87 ± 6	73 ± 7	0.31 ± 0.01

ตารางที่ ก-33 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db2)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation

แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	6	11	84	90	0.33
02	55	9	9	86	86	0.34
03	40	9	8	83	82	0.33
04	43	4	6	88	91	0.32
05	49	13	1	98	79	0.33
06	51	5	10	84	91	0.33
07	60	2	4	94	97	0.33
08	65	14	13	83	82	0.33
09	46	11	8	85	81	0.33
10	44	11	7	86	80	0.33
11	46	13	12	79	78	0.33
12	49	15	7	88	77	0.33
13	48	14	3	94	77	0.33
14	42	15	5	89	74	0.33
15	45	12	2	96	79	0.33
16	52	8	7	88	87	0.33
17	59	14	11	84	81	0.33
18	42	12	11	79	78	0.33
19	62	13	9	87	83	0.33
20	28	5	9	76	85	0.32
21	33	7	4	89	83	0.33
22	19	8	3	86	70	0.32
Average				87 ± 5	82 ± 6	0.33 ± 0.00

ตารางที่ ก-34 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db3)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation

แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	7	11	84	89	0.36
02	54	10	10	84	84	0.36
03	39	9	9	81	81	0.36
04	43	5	6	88	90	0.36
05	49	12	1	98	80	0.36
06	51	7	10	84	88	0.36
07	59	4	5	92	94	0.36
08	65	12	13	83	84	0.37
09	46	10	8	85	82	0.36
10	44	12	7	86	79	0.36
11	45	12	13	78	79	0.36
12	49	16	7	88	75	0.36
13	47	13	4	92	78	0.36
14	42	15	5	89	74	0.36
15	44	12	3	94	79	0.36
16	52	7	7	88	88	0.36
17	58	16	12	83	78	0.36
18	40	11	13	75	78	0.36
19	62	15	9	87	81	0.37
20	29	4	8	78	88	0.36
21	33	8	4	89	80	0.36
22	19	7	3	86	73	0.35
Average				86 ± 5	82 ± 6	0.36 ± 0.00

ตารางที่ ก-35 ประสิทธิภาพการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยขั้นตอนวิธีที่มีการแปลงเวฟเล็ต (db4)

โดยกำหนด Structuring element แบบ Square ขนาด $W = 4$ พิกเซล และ Distance transformation

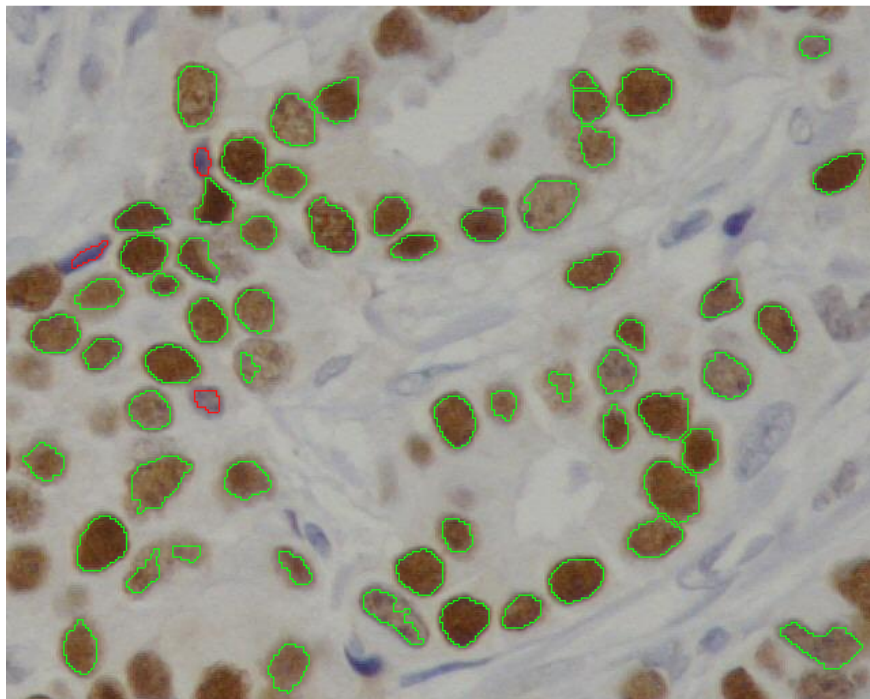
แบบ City block

No.	TP1	FP1	FN1	SS1 (%)	PPV1 (%)	T (s)
01	57	7	11	84	89	0.39
02	55	8	9	86	87	0.39
03	40	8	8	83	83	0.39
04	43	4	6	88	91	0.39
05	48	10	2	96	83	0.40
06	51	9	10	84	85	0.39
07	59	5	5	92	92	0.39
08	67	11	11	86	86	0.41
09	46	12	8	85	79	0.39
10	44	12	7	86	79	0.39
11	46	15	12	79	75	0.40
12	50	14	6	89	78	0.39
13	47	14	4	92	77	0.39
14	41	14	6	87	75	0.39
15	45	10	2	96	82	0.39
16	52	10	7	88	84	0.39
17	57	15	13	81	79	0.39
18	40	13	13	75	75	0.39
19	62	15	9	87	81	0.40
20	28	4	9	76	88	0.40
21	33	8	4	89	80	0.39
22	19	8	3	86	70	0.39
Average				86 ± 5	82 ± 6	0.39 ± 0.01

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม
ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

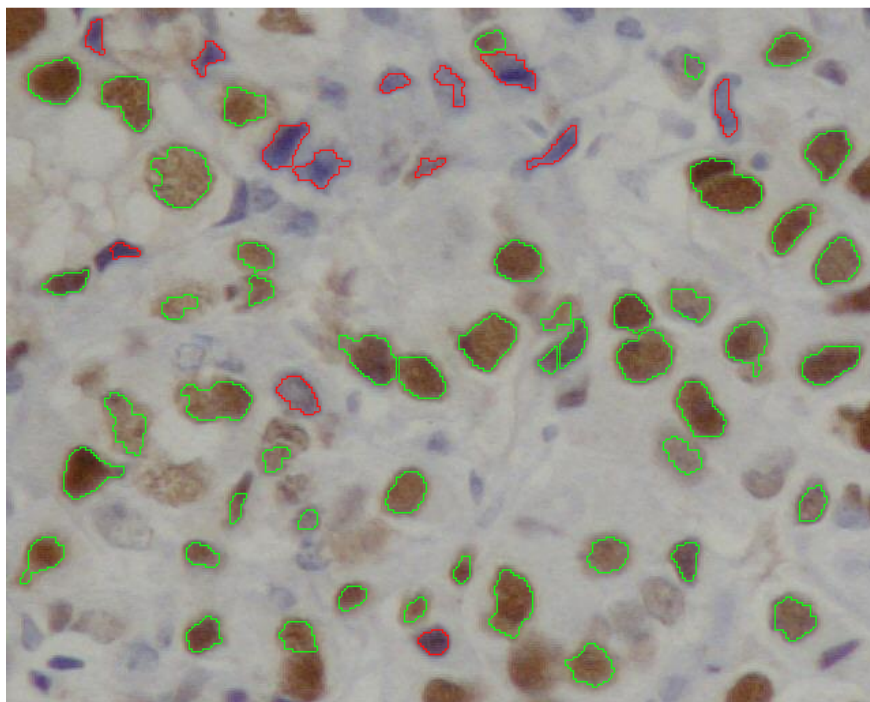
File name: 07.jpg



Positive 60 cells, Negative 3 cells, Total 63 cells.

ภาพประกอบ ข-1 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 07

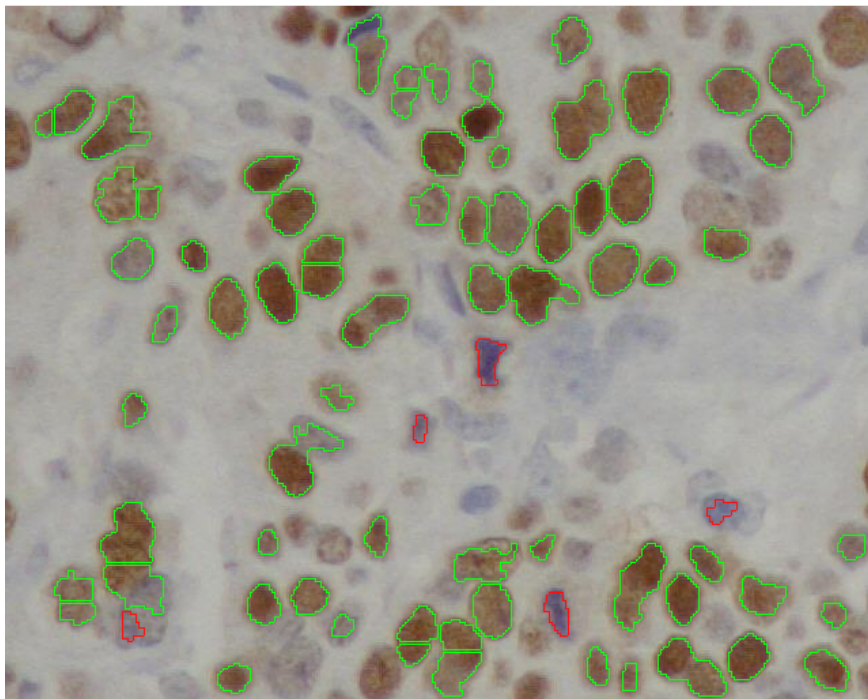
File name: 12.jpg



Positive 49 cells, Negative 13 cells, Total 62 cells.

ภาพประกอบ ข-2 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 12

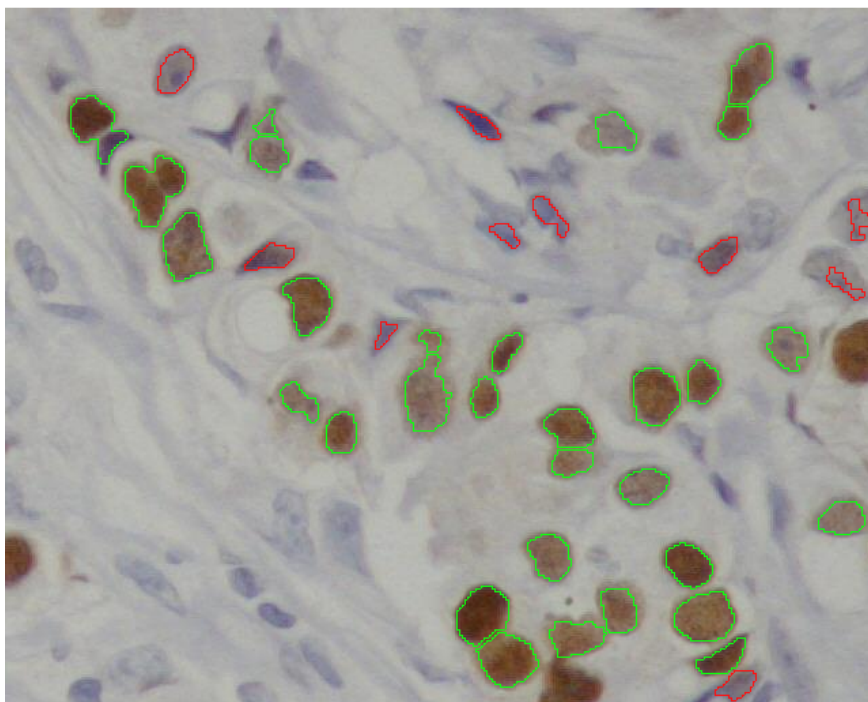
File name: 19.jpg



Positive 71 cells, Negative 5 cells, Total 76 cells.

ภาพประกอบ ข-3 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 19

File name: 21.jpg

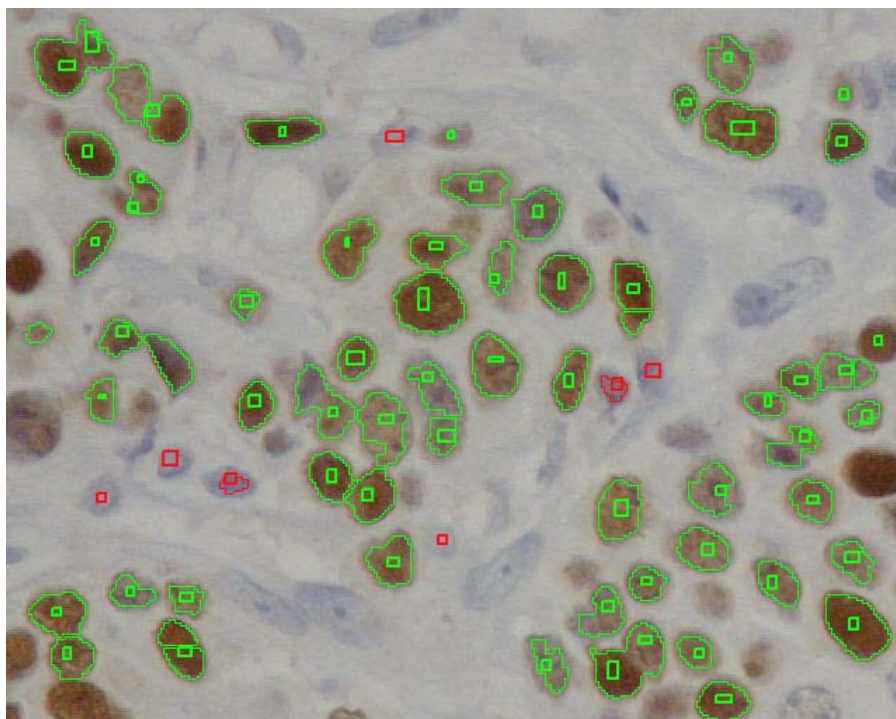


Positive 30 cells, Negative 10 cells, Total 40 cells.

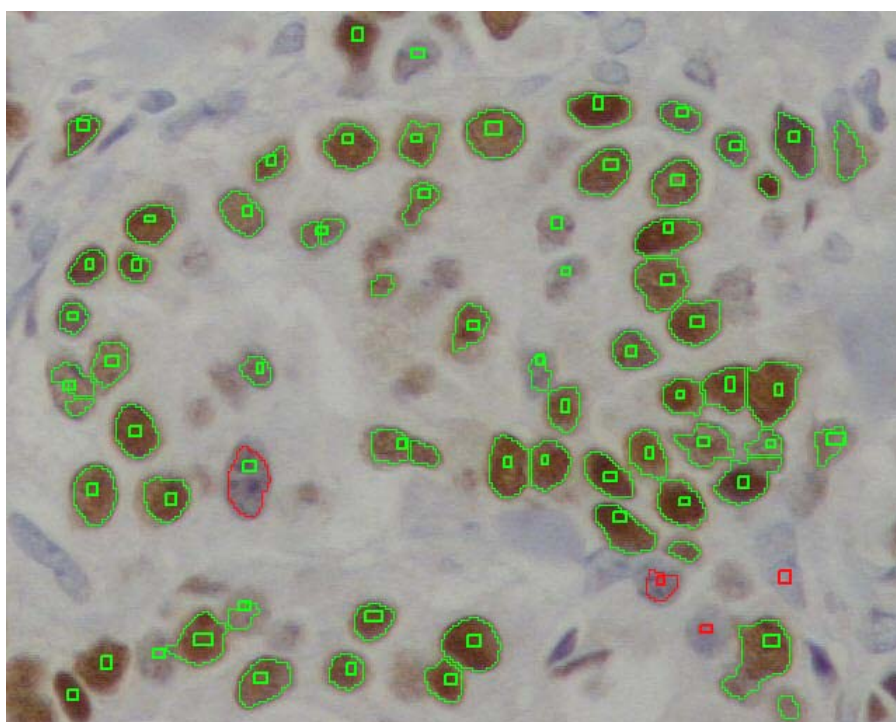
ภาพประกอบ ข-4 ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 21

ภาคผนวก ก

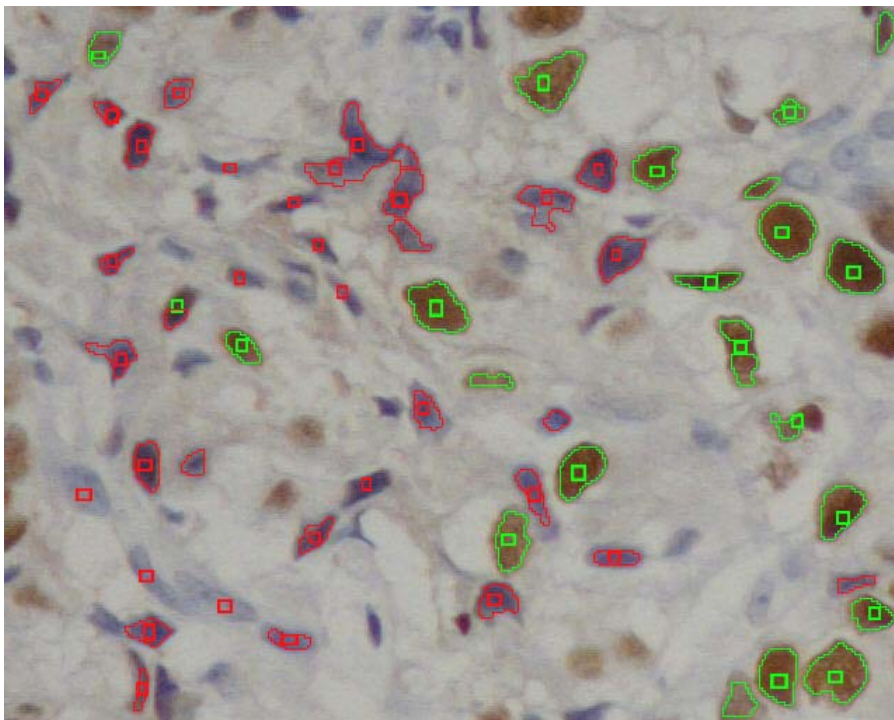
ผลการวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งที่นำมด้วยระบบคอมพิวเตอร์
(ระบุด้วยเส้นรอบขอบเซลล์) เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์
โดยผู้เชี่ยวชาญ (ระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม)



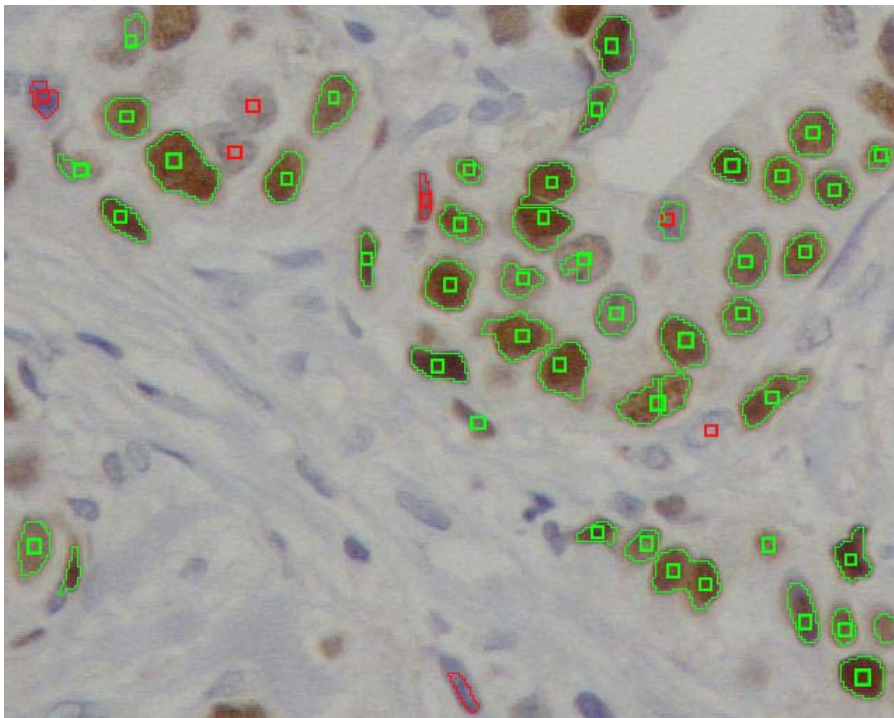
ภาพประกอบ ค-1 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 01



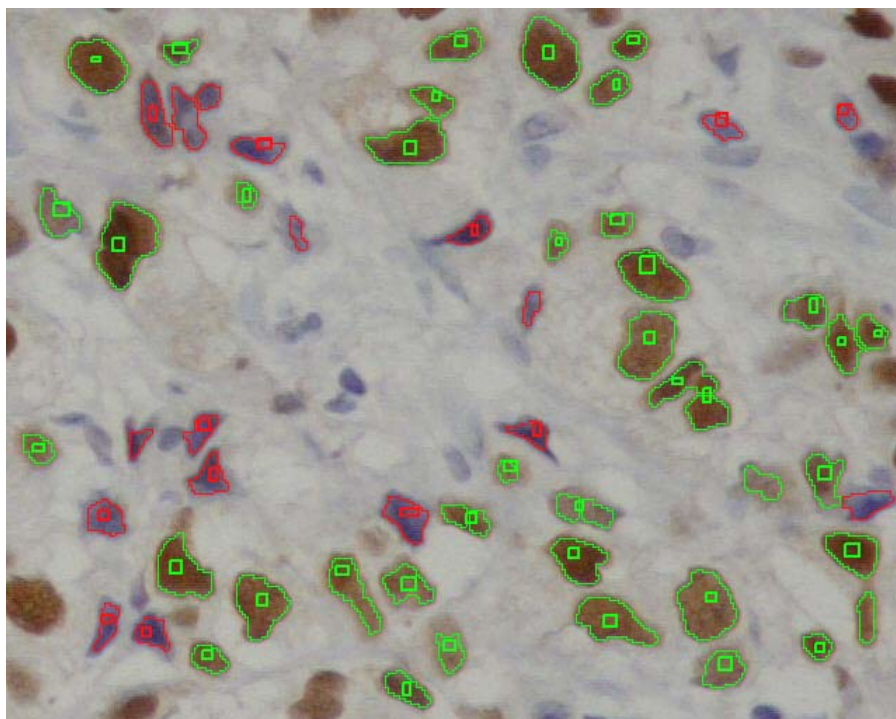
ภาพประกอบ ค-2 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 02



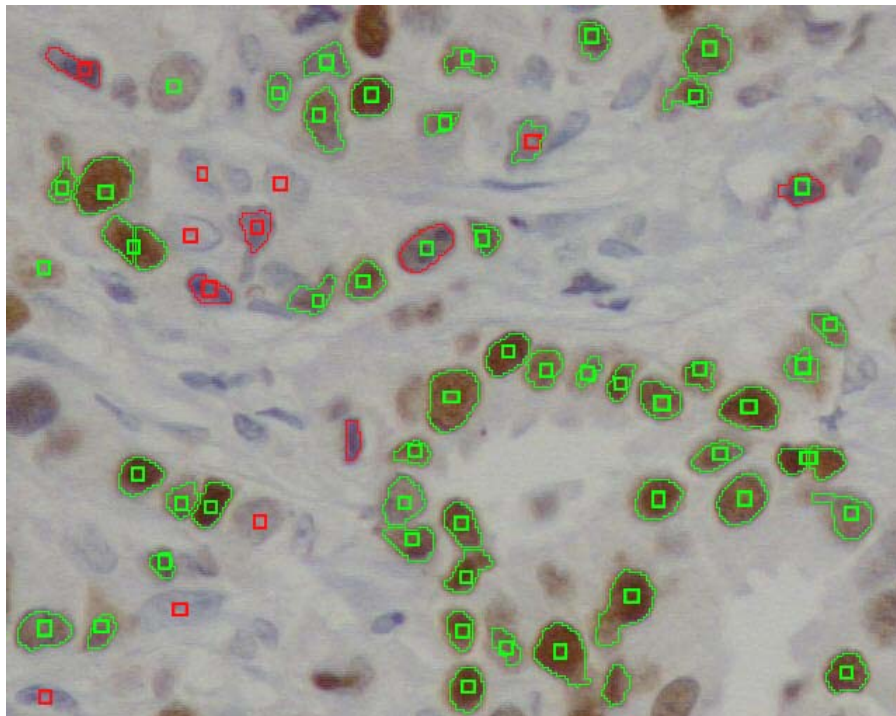
ภาพประกอบ ค-3 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 03



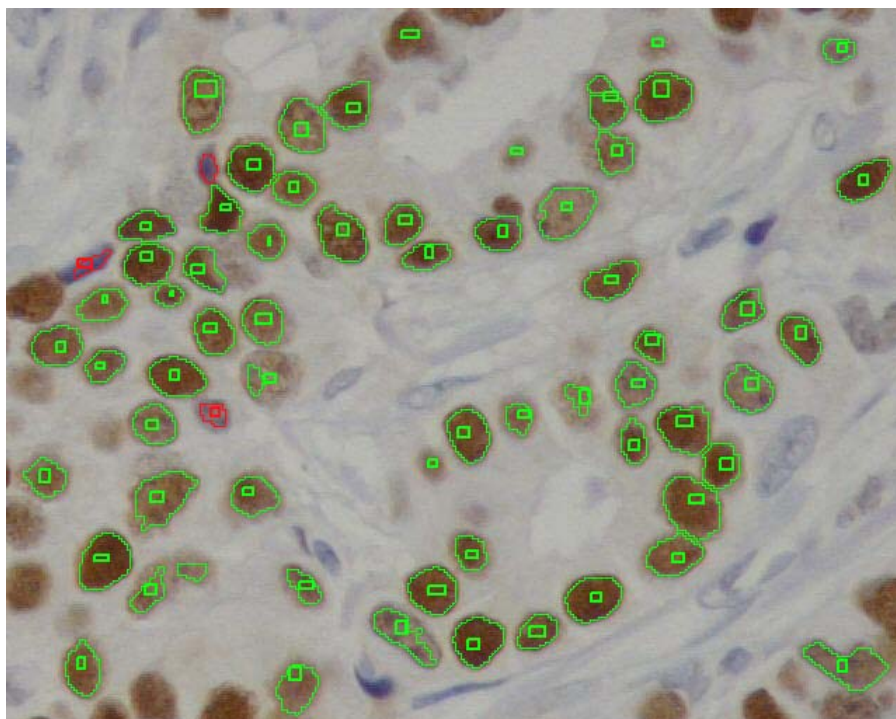
ภาพประกอบ ค-4 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 04



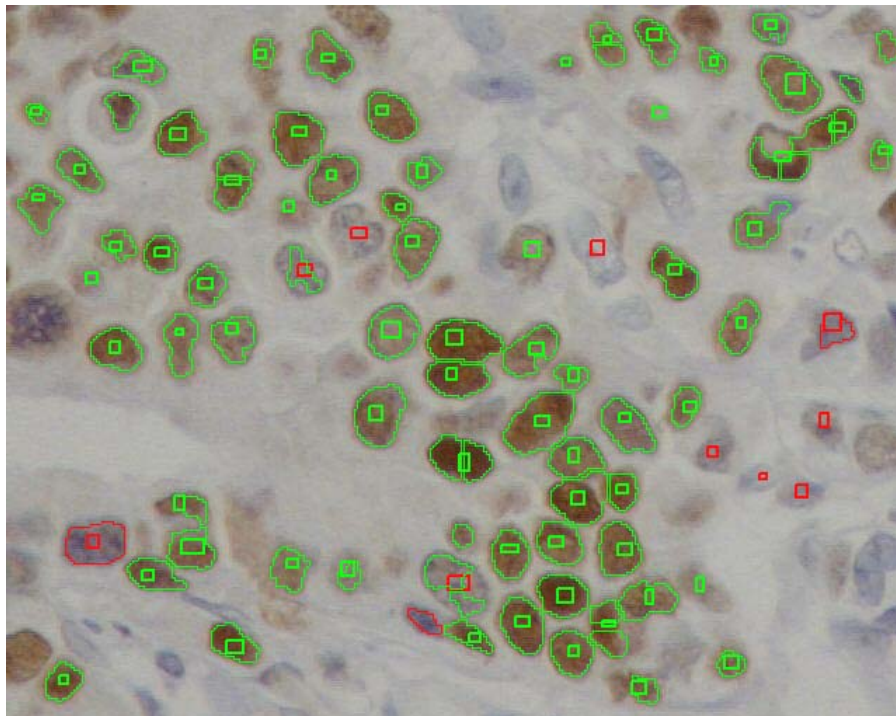
ภาพประกอบ ค-5 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 05



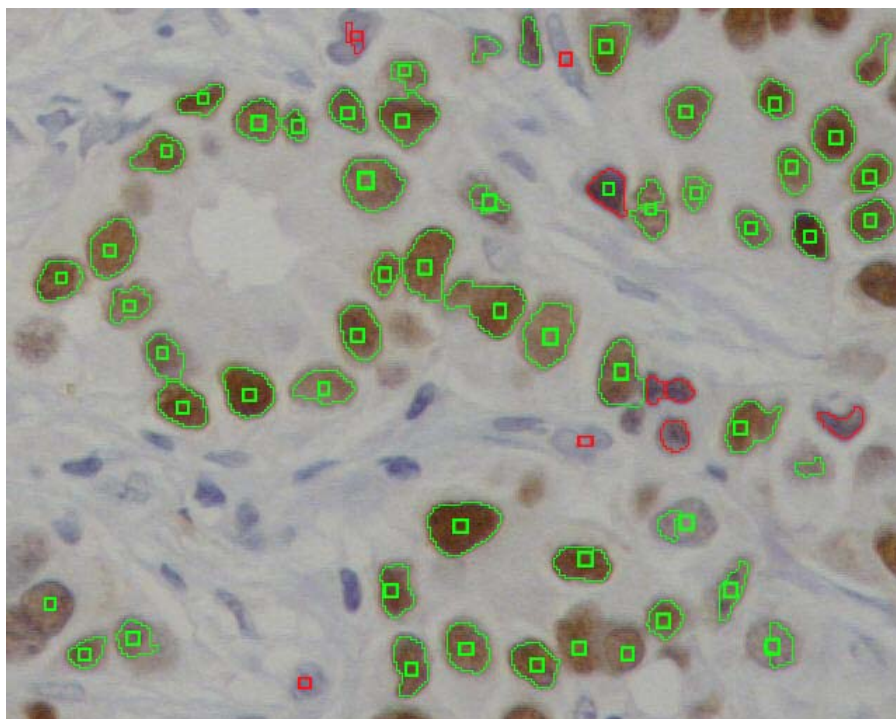
ภาพประกอบ ค-6 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 06



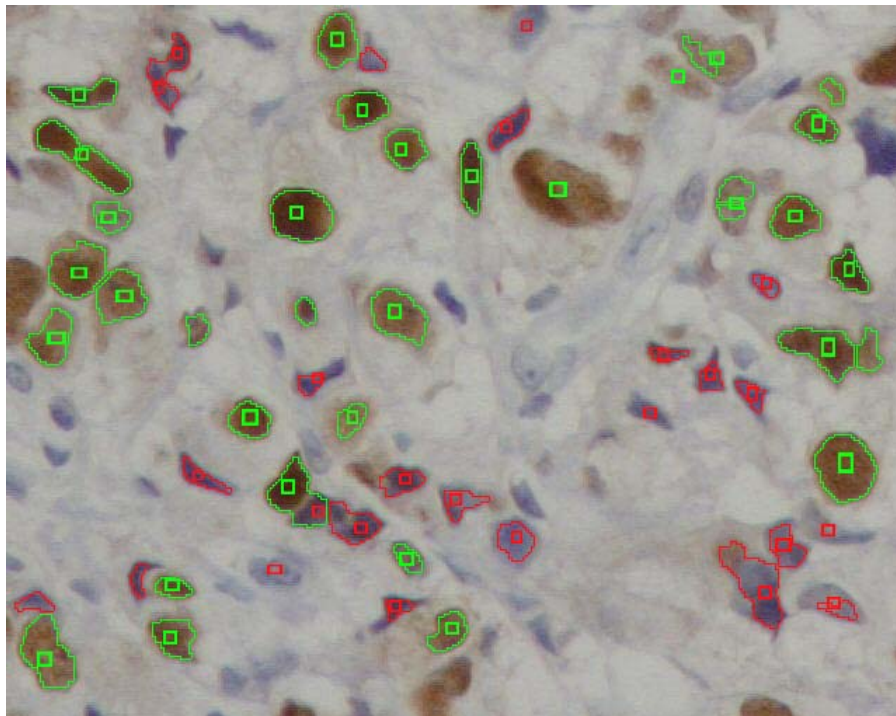
ภาพประกอบ ค-7 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 07



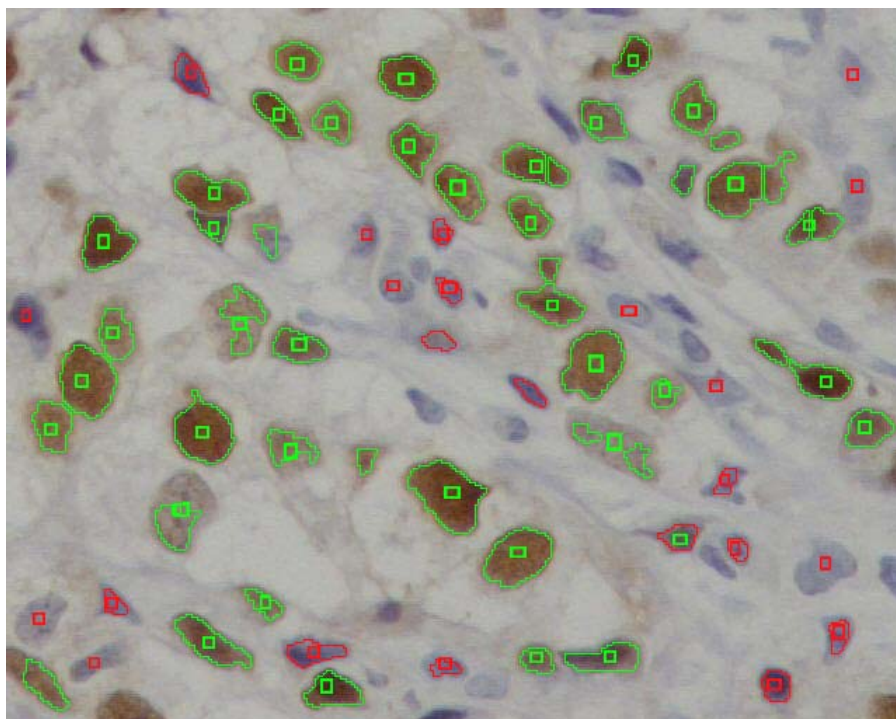
ภาพประกอบ ค-8 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 08



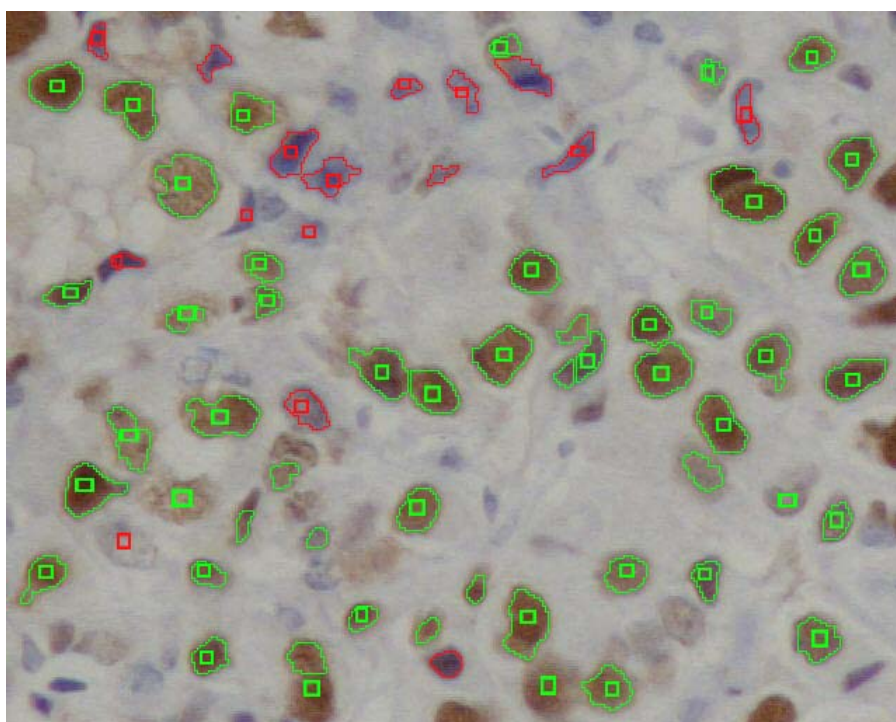
ภาพประกอบ ค-9 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 09



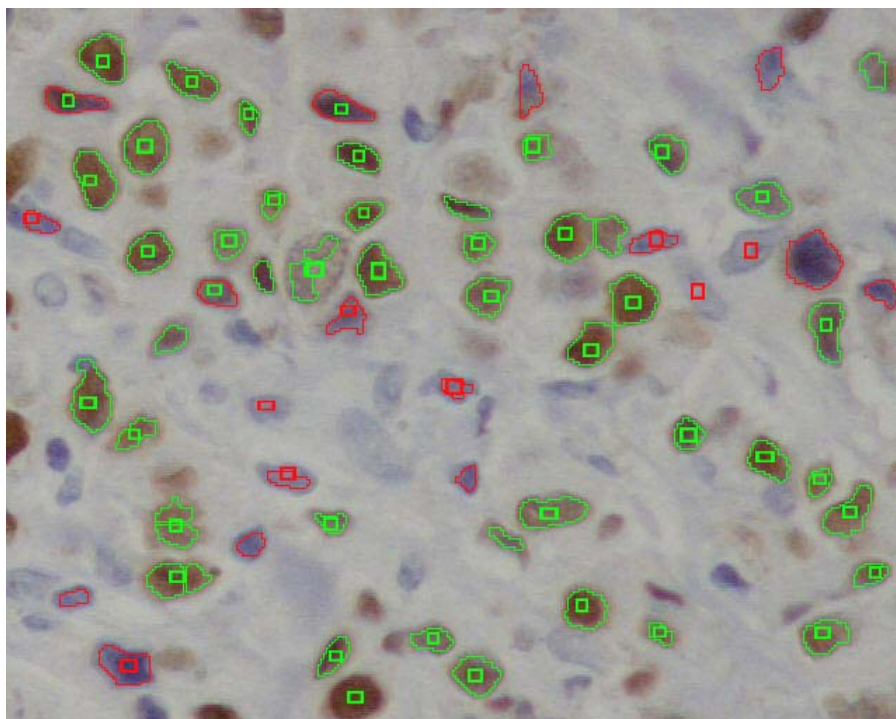
ภาพประกอบ ค-10 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 10



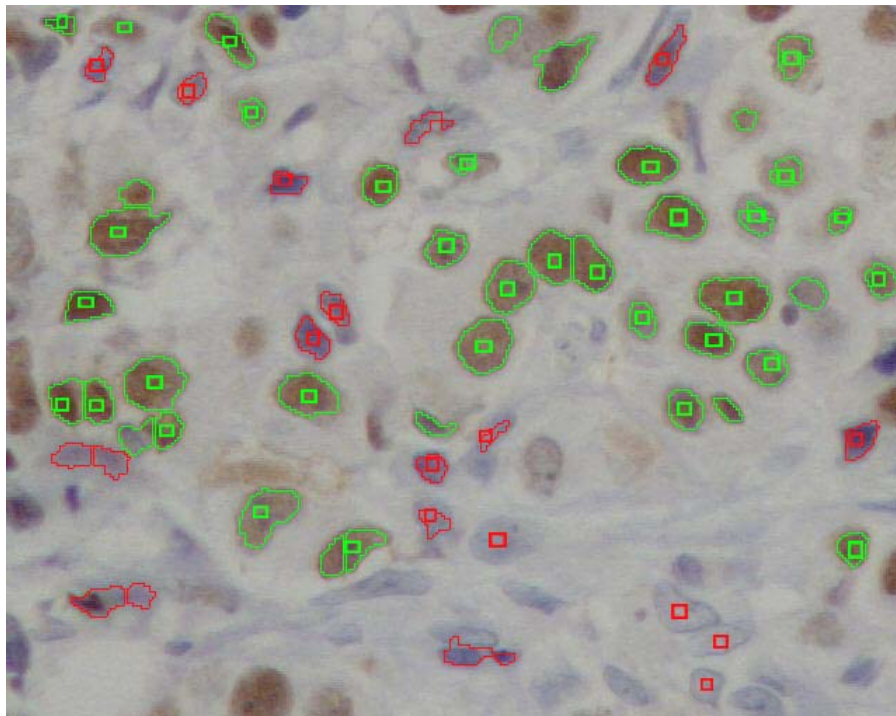
ภาพประกอบ ค-11 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 11



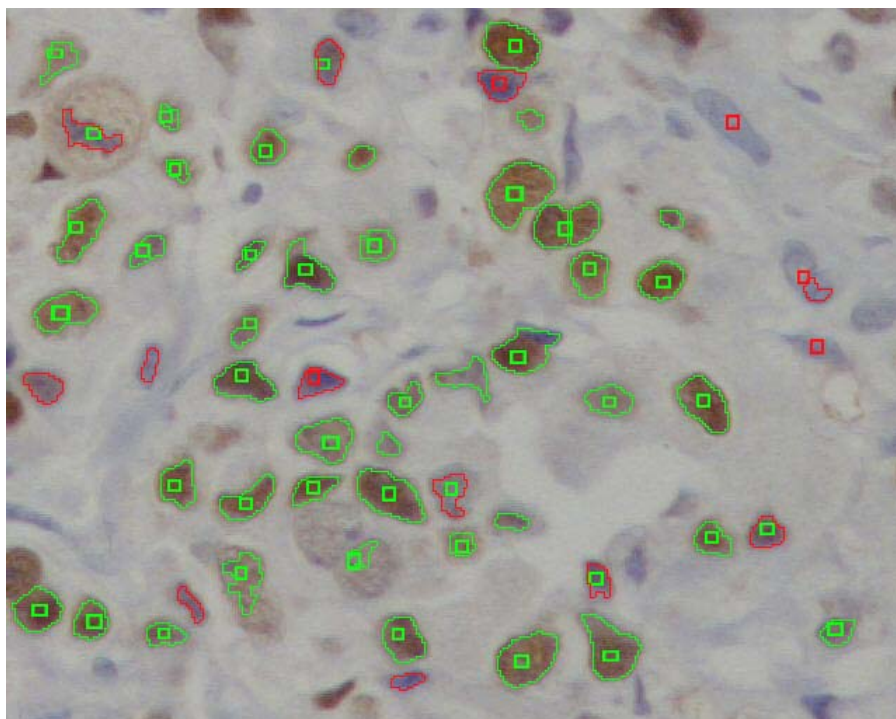
ภาพประกอบ ค-12 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 12



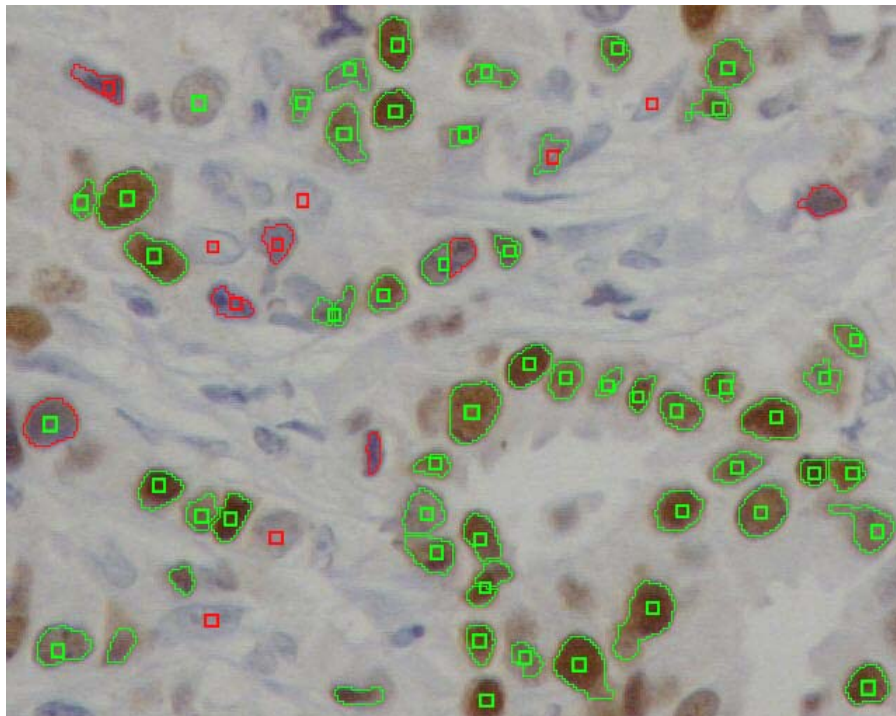
ภาพประกอบ ค-13 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 13



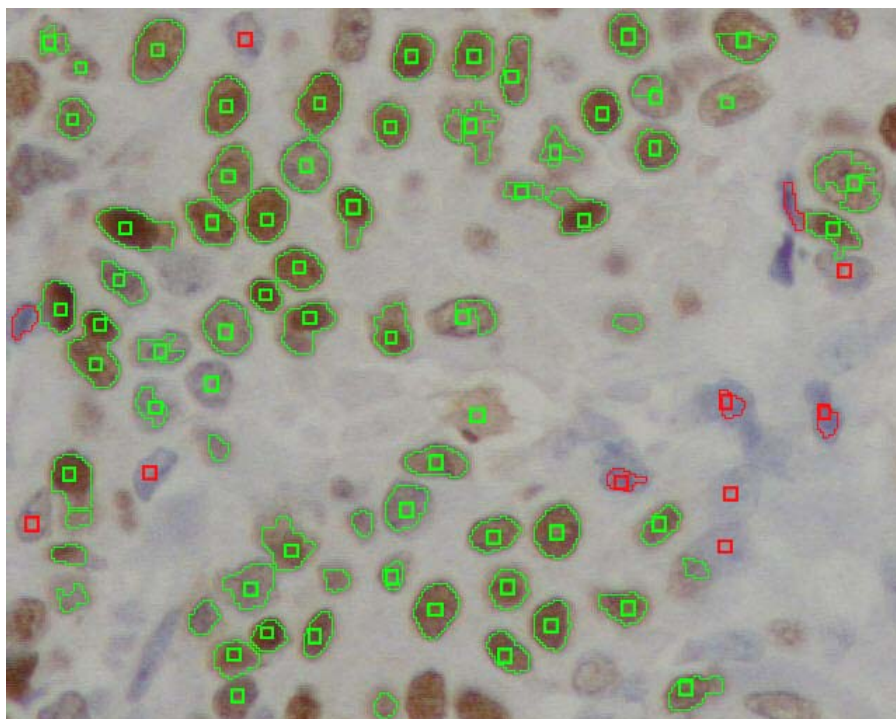
ภาพประกอบ ค-14 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 14



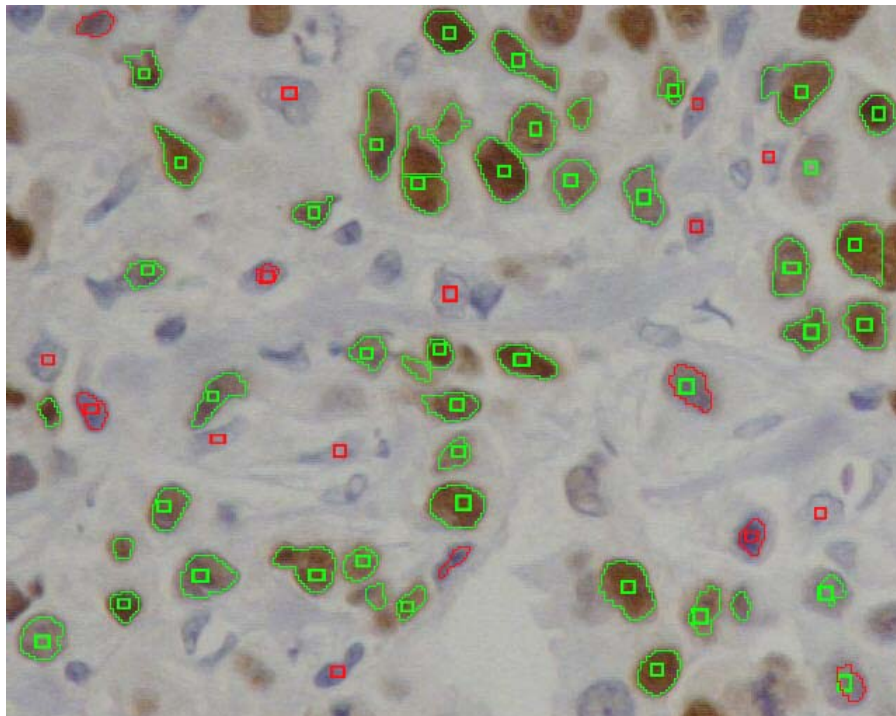
ภาพประกอบ ค-15 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 15



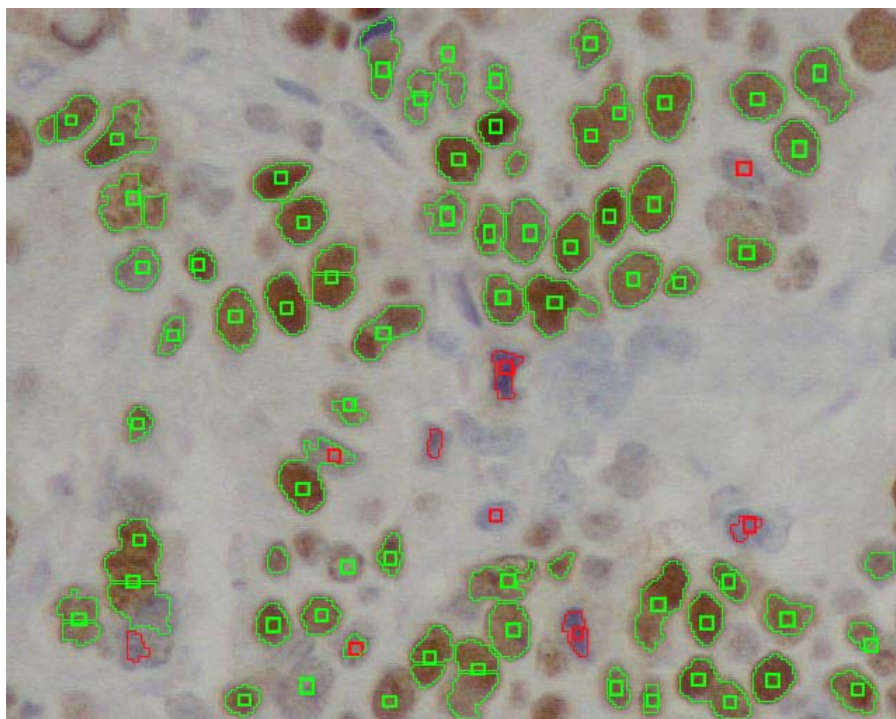
ภาพประกอบ ค-16 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 16



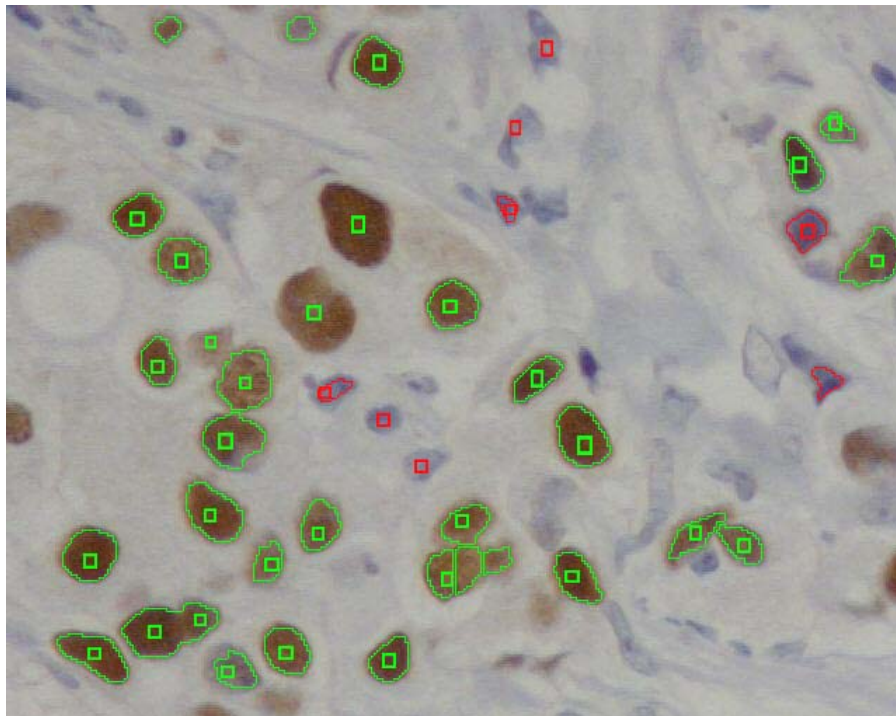
ภาพประกอบ ค-17 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 17



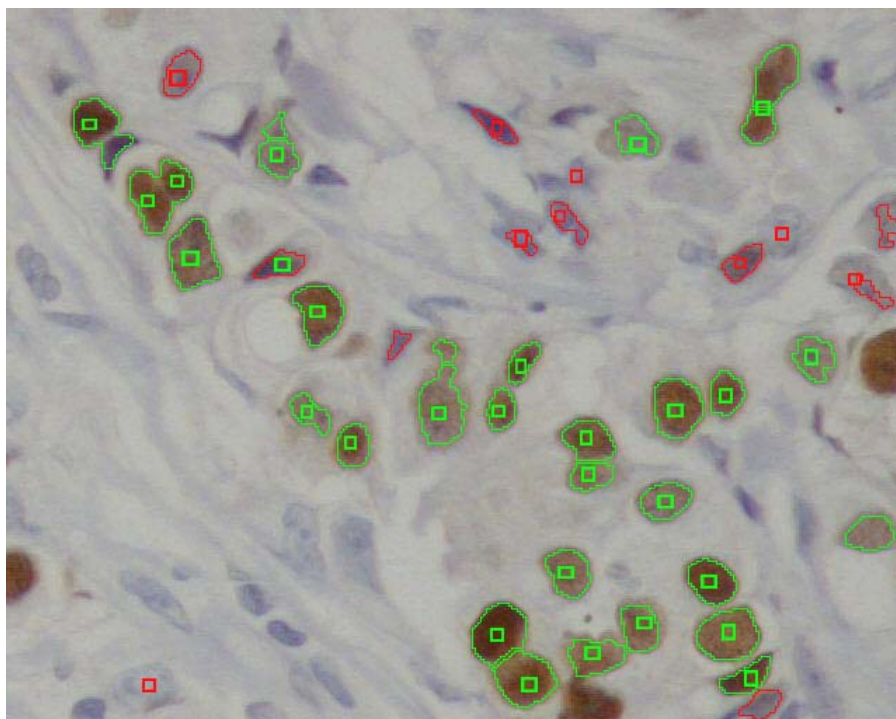
ภาพประกอบ ค-18 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 18



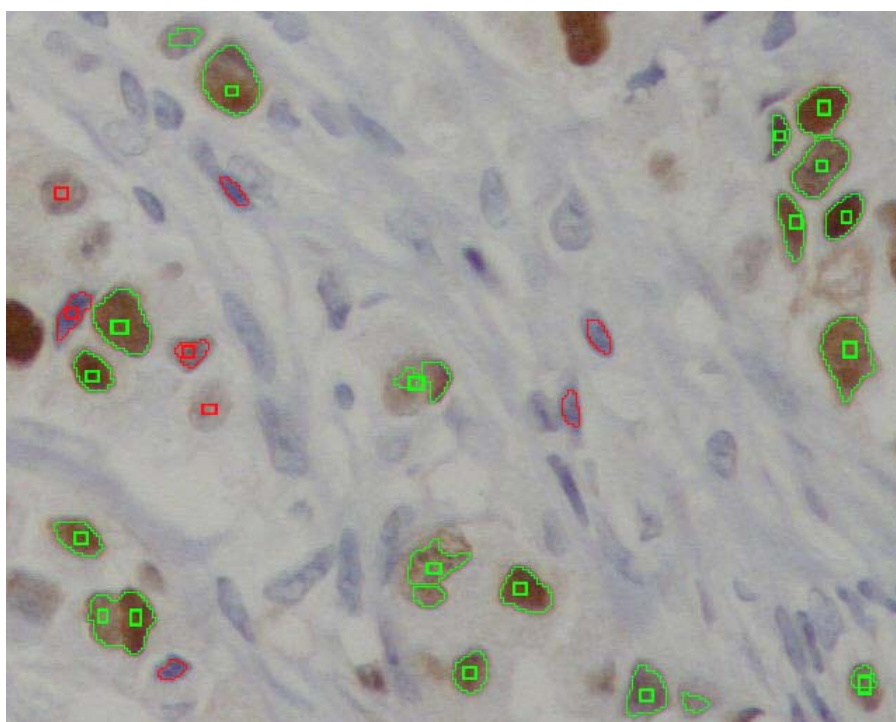
ภาพประกอบ ค-19 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 19



ภาพประกอบ ค-20 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 20



ภาพประกอบ ค-21 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 21



ภาพประกอบ ค-22 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 22

ภาคผนวก ง

บทความเรื่อง

“การตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งต้านแบบอัตโนมัติโดยใช้

GLOBAL THRESHOLDING และ MORPHOLOGICAL OPERATIONS”

นำเสนอใน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7

21-22 พฤษภาคม 2552 จ.สงขลา

การตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติโดยใช้ GLOBAL THRESHOLDING และ MORPHOLOGICAL OPERATIONS AUTOMATIC SEGMENTATION OF BREAST CANCER CELL IMAGES USING GLOBAL THRESHOLDING AND MORPHOLOGICAL OPERATIONS

ชลิต พร้มขจีพงษ์¹ พรชัย พุกภักัทธานนท์² สมชัย หลิมศิริรัตน์³

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

³ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: chalit.pr@gmail.com

Chalit Primkhajeepong¹ Pornchai Phukpattaranont² Somchai Limsiroratana³

^{1,2}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

³Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: chalit.pr@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการอัตโนมัติสำหรับตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ อัลกอริทึมในการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมภาพก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม โดยการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา และขั้นตอนที่สองเป็นการใช้ Global thresholding เพื่อตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังและใช้ Morphological operations ได้แก่ fill holes, opening, border clearing และ watershed transform เพื่อกำจัดกลุ่มพิกเซลที่ไม่ใช่เซลล์ กำจัดเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ และตัดแยกเซลล์ที่ซ้อนทับกัน จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังมีความไวของอัลกอริทึมเฉลี่ย 85% และมีค่าพยากรณ์บวกเฉลี่ย 80%

คำหลัก การประมวลผลภาพทางการแพทย์ การตัดแยกภาพภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

Abstract

This paper presents an automatic approach on segmenting breast cancer cells in a microscopic tissue image. The algorithm for image segmentation consists of two steps. First, we perform color space transformation from RGB to Gray in the preprocessing step. Second, we perform global thresholding to segment breast cancer cells from background

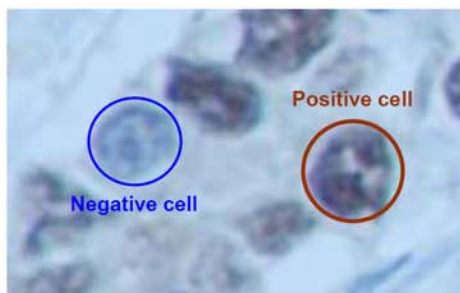
and morphological operations, i.e., fill holes, opening, border clearing and watershed transform to remove noise, imperfect cells, and segment overlap cells. Results from our algorithm show that the average performance evaluations are 85% of sensitivity and 80% of positive prediction value.

Keywords: Medical image processing, Image segmentation, Breast cancer cell image

1. บทนำ

ปัจจุบันมะเร็งเต้านมเป็นสาเหตุของการป่วยและเสียชีวิตของสตรีไทยเป็นอันดับ 2 รองจากมะเร็งปากมดลูก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี สตรีที่มีโอกาสเป็นมะเร็งเต้านม คือ สตรีที่มีอายุมาก สตรีที่ครอบครัวเคยมีประวัติเป็นมะเร็งเต้านม สตรีที่ไม่มีบุตรหรือมีบุตรคนแรกเมื่ออายุมากกว่า 30 ปี รวมถึงสตรีที่มีรอบเดือนมาเร็วและหมดช้า การรักษามะเร็งเต้านมมี 4 วิธี คือ การผ่าตัดเคมีบำบัด รังสีรักษา และฮอร์โมนบำบัด [1]

เซลล์มะเร็งเต้านมใช้ฮอร์โมนเอสโตรเจนในการเจริญเติบโต ดังนั้น ถ้ายับยั้งไม่ให้ฮอร์โมนเอสโตรเจนออกฤทธิ์หรือลดปริมาณฮอร์โมนเอสโตรเจนในเซลล์มะเร็งให้น้อยที่สุด ก็จะสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของมะเร็งเต้านมได้ ในเซลล์มะเร็งเต้านมจะต้องมีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน (Estrogen receptor - ER) การรักษาด้วยยาต้านฮอร์โมนจึงจะได้ผล การตัดชิ้นเนื้อที่ส่งสัยมาตรวจทางเนื้อเยื่อวิทยา (Histopathology) จะทำให้แพทย์ทราบว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านมมีตัวรับฮอร์โมนหรือไม่ จากนั้นจึงจะทำการรักษาด้วยวิธี



รูปที่ 1 คุณลักษณะของเซลล์มะเร็งเต้านม

ฮอร์โมนบำบัด เพื่อลดปริมาณฮอร์โมนเอสโตรเจนให้มันน้อยที่สุด โดยนิยมใช้ยาต้านฮอร์โมนที่เรียกว่า Tamoxifen การรักษาดังวิธีนี้มีผลข้างเคียงน้อย ง่ายและสะดวก [2]

บทความนี้ นำเสนอผลการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติโดยใช้ Global thresholding และ Morphological operations ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม (A SYSTEM OF COMPUTER-AIDED BREAST CANCER CELL IMAGE ANALYSIS) ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์เฉพาะที่สามารถวิเคราะห์และรายงานจำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนให้แพทย์ได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการรักษาด้วยวิธีฮอร์โมนบำบัดต่อไป

2. อุปกรณ์

2.1 ระบบเก็บภาพ

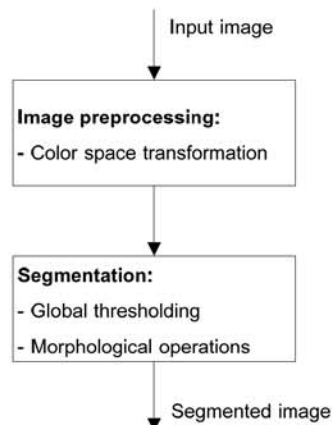
ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในบทความนี้ เป็นภาพสื่อดิจิทัล RGB 8 บิต รูปแบบ JPEG ขนาด 640x512 พิกเซล ซึ่งได้จากกล้องจุลทรรศน์รุ่น Eclipse 80i (Nikon Instech Co.,Ltd., Japan) ที่กำลังขยายรวม 400 เท่า จำนวน 9 ภาพ

2.2 ระบบประมวลผล

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมนี้ ใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB 7.5 (The MathWorks, Inc., Natick, MA) ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Windows XP SP3 ซึ่งประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel® Core™2 Duo E8200 ความเร็ว 2.66 GHz แรม 2 GB DDRII-PC800 และ ฮาร์ดดิสก์ SATA 250 GB

3. คุณลักษณะของเซลล์มะเร็งเต้านม

ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมจะมีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยเซลล์ที่เป็นสีน้ำตาลจะมีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน ในทางการแพทย์เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่าเซลล์ Positive (P) และเซลล์ที่เป็นสีน้ำเงินจะไม่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่าเซลล์ Negative (N) แพทย์จะใช้อัตราส่วนของจำนวนเซลล์ Positive ต่อจำนวนเซลล์ทั้งหมด (Positive + Negative) ที่มีในภาพเพื่อวางแผนการรักษาด้วยวิธีฮอร์โมนบำบัดต่อไป



รูปที่ 2 อัลกอริทึมสำหรับการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

4. การตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

อัลกอริทึมสำหรับการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิค Global thresholding และ Morphological operations แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการเตรียมภาพก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม และขั้นตอนที่สองคือการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

4.1 การเตรียมภาพก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านม

- Color space transformation

ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการประมวลผลเป็นภาพสีที่มีองค์ประกอบสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) แต่การ Thresholding ซึ่งเป็นกระบวนการแรกในขั้นตอนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมจะกระทำกับภาพระดับเทา (Gray-scale image) ดังนั้น ขั้นตอนก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมจึงเป็นการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา [3] โดยใช้สมการ (1)

$$Gray = (0.2989 \times R) + (0.5870 \times G) + (0.1140 \times B) \quad (1)$$

โดย Gray คือ ภาพระดับเทา, R คือ องค์ประกอบสีแดง, G คือ องค์ประกอบสีเขียว, และ B คือ องค์ประกอบสีน้ำเงิน

4.2 การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลัง

ขั้นตอนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังนี้ จะใช้วิธี Global thresholding และ Morphological operations ร่วมกัน ดังนี้

- Global thresholding

ภาพระดับเทาที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมจะถูก Threshold ด้วยสมการ (2) โดยใช้วิธีการของ Otsu (Otsu's method) [4], [5]

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

โดย $g(x, y)$ คือ ภาพที่ได้จากการ Threshold, $f(x, y)$ คือ ค่าระดับเทาที่ตำแหน่งพิกเซล (x, y) และ T คือ ค่า Threshold

- Morphological operations

ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการ Threshold จะถูกประมวลผลต่อด้วย Morphological operations 4 วิธี ได้แก่

1. Fill holes โดยใช้อัลกอริทึม Morphological reconstruction [6]
2. Opening โดยใช้ Disc-shaped structuring element ที่มีรัศมี 7 พิกเซล [7], [8] และกำจัดกลุ่มพิกเซลที่มีพื้นที่น้อยกว่า 50 พิกเซลและมากกว่า 250 พิกเซล ซึ่งไม่จัดเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม
3. Border clearing โดยใช้อัลกอริทึม Morphological reconstruction [6] เพื่อกำจัดเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบภาพ
4. Watershed with cityblock distance transform เพื่อตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่ซ้อนทับกัน โดย Watershed transform ใช้อัลกอริทึมของ Fernand Mayer [9] และฟังก์ชันของ Cityblock distance transform [10], [11] แสดงดังสมการ (3)

$$d_{cityblock} = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (3)$$

โดย $d_{cityblock}$ คือ ระยะห่างระหว่างพิกเซล (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) แบบ cityblock

5. การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังมีเกณฑ์การประเมิน 2 เกณฑ์ คือ ความไวของอัลกอริทึม (Sensitivity - SS) และค่าพยากรณ์บวก (Positive Prediction Value - PPV) [12]

5.1 ความไวของอัลกอริทึม

ความไวของอัลกอริทึม (Sensitivity) หมายถึง ความสามารถของอัลกอริทึมในการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมได้ถูกต้อง ตรงกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม ดังสมการ (4)

$$SS = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

โดย SS คือ ความไวของอัลกอริทึม (Sensitivity), TP คือ จำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกโดยอัลกอริทึมและผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม (True Positive), และ FN คือ จำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมที่อัลกอริทึมไม่สามารถตัดแยกได้ แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม (False Negative)

5.2 ค่าพยากรณ์บวก

ค่าพยากรณ์บวก (Positive Prediction Value) หมายถึง ความสามารถของอัลกอริทึมที่ตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมได้ถูกต้องตามความเป็นจริง ดังสมการ (5)

$$PPV = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

โดย PPV คือ ค่าการพยากรณ์บวก (Positive Prediction Value), TP คือ จำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมที่ตัดแยกโดยอัลกอริทึมและผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม (True Positive), และ FP คือ จำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมที่สามารถตัดแยกโดยอัลกอริทึมแต่ผู้เชี่ยวชาญไม่ระบุว่าเป็นเซลล์มะเร็งเต้านม (False Positive)

6. ผลลัพธ์

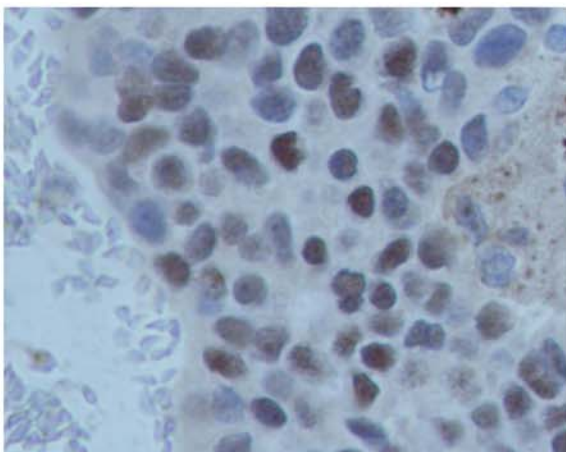
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการประมวลผล ในขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมจะเปลี่ยนภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (1) ได้ผลลัพธ์เป็นภาพระดับเทาดังรูปที่ 4

ในขั้นตอนการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลัง จะเริ่มจากการ Threshold ภาพระดับเทาด้วยวิธีการของ Otsu รูปที่ 5 แสดงกราฟฮิสโทแกรม (Histogram) และค่า Threshold ของภาพระดับเทาเท่ากับ 146 ผลของการ Threshold จะได้ภาพขาวดำดังรูปที่ 6 กลุ่มพิกเซลสีดำคือเซลล์มะเร็งเต้านมและกลุ่มพิกเซลสีขาวคือพื้นหลัง ในกลุ่มพิกเซลสีดำจะมีบางส่วนที่เป็นกลุ่มเล็ก ๆ ซึ่งไม่ใช่เซลล์และกลุ่มพิกเซลสีดำที่อยู่ติดขอบภาพซึ่งเป็นเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ที่ต้องกำจัดออก โดยใช้ Morphological operations ได้แก่ Fill holes, Opening และ Border clearing ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 7 จากนั้นตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่ซ้อนทับกันโดยใช้ Watershed with cityblock distance transform ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 8

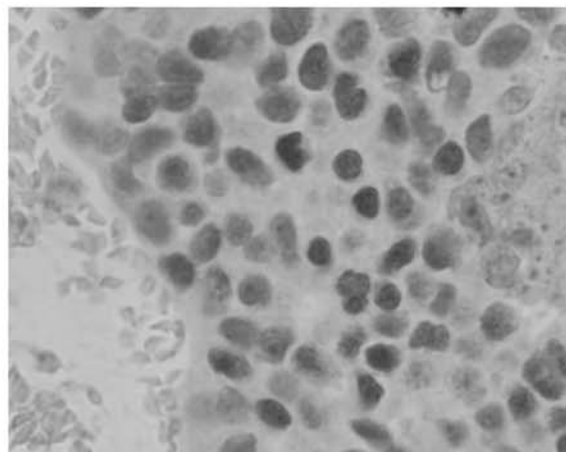
การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จะใช้การประเมินความไวของอัลกอริทึมและค่าพยากรณ์บวก รูปที่ 9 แสดงผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังของภาพหมายเลข 4 โดยใช้ Global thresholding และ Morphological operations ที่ระบุเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยเส้นขอบสีน้ำเงิน เทียบกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีเขียวและสีแดง พบว่า ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมมีความไว 95% และค่าพยากรณ์บวก 75%

รูปที่ 10 แสดงผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังของภาพหมายเลข 2 โดยใช้ Global thresholding และ Morphological operations ที่ระบุเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยเส้นขอบสีน้ำเงิน เทียบกับผู้เชี่ยวชาญที่ระบุด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีเขียวและสีแดง พบว่า ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมมีความไว 88% และค่าพยากรณ์บวกเท่ากับ 98%

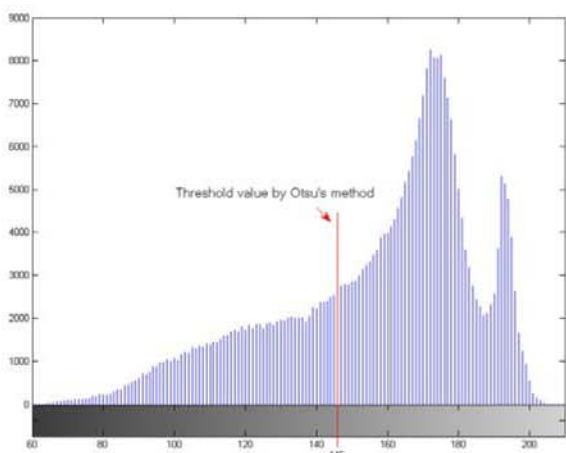
ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมในการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมทั้งหมด 9 ภาพ พบว่าบางภาพมีความไวของอัลกอริทึมและค่าพยากรณ์บวกใกล้เคียงกัน เช่น ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 2 และ 4 ดังรูปที่ 10 และ 9 แสดงว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ บางภาพมีความไวของอัลกอริทึมและค่าพยากรณ์บวกแตกต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมหมายเลข 7 ดังรูปที่ 11 มีความไวของอัลกอริทึม 59 % และค่าพยากรณ์บวก 86% แสดงว่า อัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมได้ไม่ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ ประสิทธิภาพโดยรวม



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการประมวลผล



รูปที่ 4 ภาพระดับเทาที่ได้จากภาพสี RGB



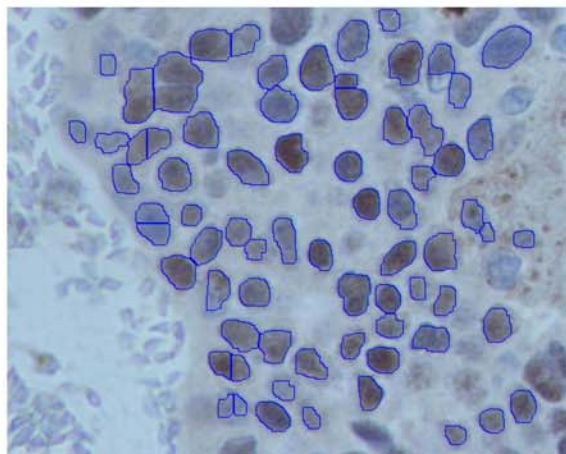
รูปที่ 5 ฮิสโตแกรมของภาพระดับเทาและค่า Threshold ด้วยวิธีการของ Otsu



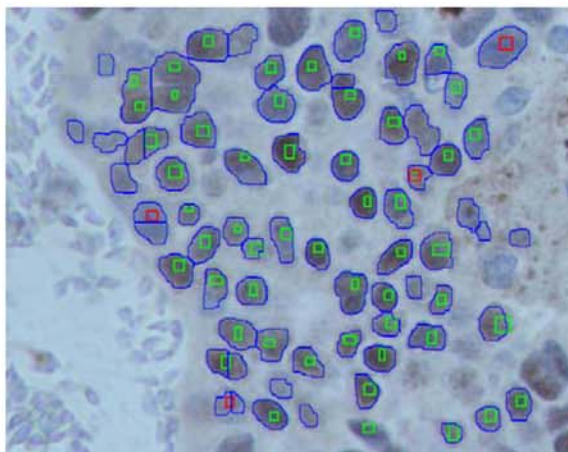
รูปที่ 6 ภาพขาวดำที่ได้จากการ Threshold ด้วยวิธีการของ Otsu



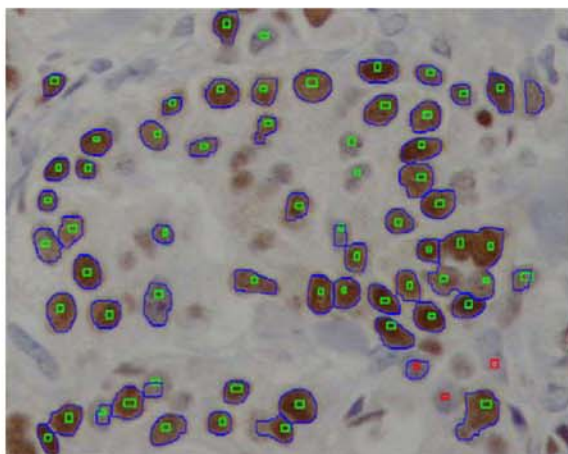
รูปที่ 7 ภาพขาวดำที่ผ่านการประมวลผลด้วย Morphological operators ได้แก่ Fill holes, Opening และ Border clearing



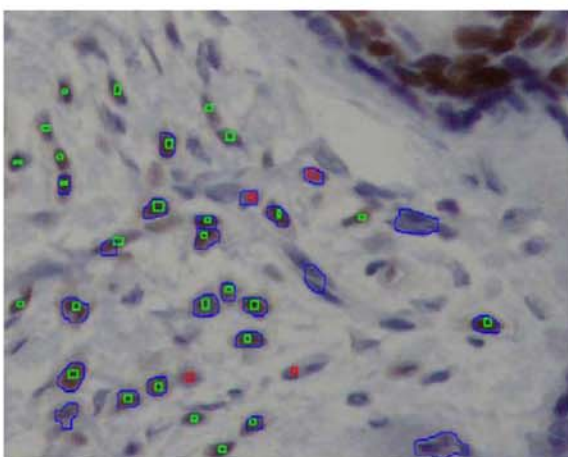
รูปที่ 8 ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ผ่านการตัดแยกเซลล์ที่ซ้อนทับกันด้วย Watershed with cityblock distance transform



รูปที่ 9 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพหมายเลข 4 โดยใช้อัลกอริทึม (เส้นขอบสีน้ำเงิน) เทียบกับผู้เชี่ยวชาญ (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีเขียวและสีแดง)



รูปที่ 10 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพหมายเลข 2 โดยใช้อัลกอริทึม (เส้นขอบสีน้ำเงิน) เทียบกับผู้เชี่ยวชาญ (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีเขียวและสีแดง)



รูปที่ 11 ผลการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมของภาพหมายเลข 7 โดยใช้อัลกอริทึม (เส้นขอบสีน้ำเงิน) เทียบกับผู้เชี่ยวชาญ (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีเขียวและสีแดง)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติโดยใช้ Global thresholding และ Morphological operations

หมายเลขภาพ	SS (%)	PPV (%)
1	80	81
2	88	98
3	97	70
4	95	75
5	90	84
6	94	69
7	59	86
8	93	71
9	68	90
ค่าเฉลี่ย	85	80

ของอัลกอริทึมมีความไวเฉลี่ย 85% และค่าพยากรณ์บวกเฉลี่ย 80% แสดงว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอวิธีการตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังโดยใช้ Global thresholding และ Morphology operations ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านม ผลการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งเต้านมโดยใช้อัลกอริทึมดังกล่าวพบว่า สามารถตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมออกจากพื้นหลังได้อย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความไวของอัลกอริทึมเฉลี่ย 85% ค่าพยากรณ์บวกเฉลี่ย 80% และทำงานได้อย่างอัตโนมัติ จากผลลัพธ์ดังกล่าว สามารถนำอัลกอริทึมไปพัฒนาต่อเพื่อคัดแยกเซลล์ที่เป็น Positive และเซลล์ที่เป็น Negative ออกจากกัน ผู้เชี่ยวชาญสามารถนำผลการวิเคราะห์จากระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์มะเร็งเต้านมไปใช้เป็นแนวทางในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย ได้รับการสนับสนุนทุนศึกษย์กัญญิ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สัญญาเลขที่ ENG-51-2-7-02-0018-S และได้รับการสนับสนุนภาพข้อมูลทางการแพทย์และเซลล์มะเร็งเต้านมจาก ผศ.ปรีมจิต บุญยพิพัฒน์ ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.bangkokbreast.com/index.asp>.
- [2] ธีัญญาธร พงษ์พรหมณ์ และ พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์. 2551. การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยวิธีโดยวิธีการแบ่งกลุ่มแบบ K-Mean. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, สงขลา, ประเทศไทย, 8-9 พฤษภาคม 2551: 336-339.
- [3] http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/images_product_page.html
- [4] Awcock, G.J. and Thomas, R. 1995. Applied Image Processing, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- [5] Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Transactions on, Systems, Man, and Cybernetics, 9: 62-66.
- [6] Soille, P. 1999. Morphological Image Analysis: Principles and Applications, Springer-Verlag, Germany.
- [7] Adams, R. 1993. Radial Decomposition of Discs and Spheres. Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing, 55: 325-332.
- [8] Jones, R., and Soille, P. 1996. Periodic lines: Definition, cascades, and application to granulometrie. Pattern Recognition Letters, 17: 1057-1063.
- [9] Mayer, F. 1994. Topographic distance and watershed lines. Signal Processing, 38: 113-125.
- [10] Chen, Q., Yang, X. and Petriu, E.M. 2004. Watershed segmentation for binary images with difference transforms. Proceeding of the 3rd IEEE Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications. Oct. 2-3, 2004: 111-116.
- [11] Rosenfeld, A. and Pfaltz J.L. 1966. Sequential Operations in Digital Picture Processing. The Association for Computing Machinery, 13: 471-494.
- [12] Phukpattaranont, P., Limsiroratana, S. and Boonyaphiphat, P. 2008. Evaluation of computer-aided analysis for nuclear stained breast cancer cell images. Proceeding of the 3rd International Symposium on Biomedical Engineering. Nov. 10-11, 2008: 213-216.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายชลิต ปริ้มขจีพงศ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010120012	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศิษย์ก้นกุฏิ ระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ชลิต ปริ้มขจีพงศ์, พรชัย พฤษย์ภัทรานนต์, และสมชัย หลิมศิริโรรัตน์, “การตัดแยกภาพ เซลล์มะเร็งเต้านมแบบอัตโนมัติโดยใช้ GLOBAL THRESHOLDING และ MORPHOLOGICAL OPERATIONS,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, สงขลา, 21-22 พฤษภาคม 2552, หน้า 204-209.