



การนับเซลล์ในภาพถ่ายจุลทรรศน์อัตโนมัติที่มีเซลล์ทับซ้อนกัน
Automatic Cell Counting in Microscopy Images with Overlapping Cells



ธนโชติ จ่านงค์สังข์



การนับเซลล์ในภาพถ่ายจุลทรรศน์อัตโนมัติที่มีเซลล์ทับซ้อนกัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Automatic Cell Counting in Microscopy Images with Overlapping Cells



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF ENGINEERING (Electrical Engineering)
Faculty of Engineering Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปรินญาณินพณ์
 เรือง
 การนับเซลลในภาพถ่ายจุลทรรศน์อัตโนมัติที่มีเซลล์ทับซ้อนกัน
 ของ
 ธนโชติ จำงนค์สังข์

ด้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาปรินญาณินพณ์ คณะกรรมการสอบปากเปล่าปรินญาณินพณ์
 ที่ปรึกษา
 หลัก ประธาน
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์) (อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ใหม่เจริญกุล)

.....
 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ทีฆพันธ์ เจริญพงษ์)

ชื่อเรื่อง	การนับเซลล์ในภาพถ่ายจุลทรรศน์อัตโนมัติที่มีเซลล์ทับซ้อนกัน
ผู้วิจัย	ธนโชติ จำนงค์สังข์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำพล วรรดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ในปี 2558 โรคมะเร็งเต้านมถือเป็นอันดับแรกของการเสียชีวิตของผู้หญิงในประเทศไทย การวินิจฉัยโรคและติดตามผลการรักษาที่นิยมเลือกใช้วิธีการตรวจทางพยาธิวิทยา จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการนับเซลล์ตัวอย่าง ซึ่งความยากในการนับเซลล์คือ เซลล์มะเร็งที่มีการทับซ้อนกันหรือเชื่อมต่อกัน ซึ่งอาจส่งผลทำให้การนับเกิดความผิดพลาด ดังนั้นจึงนำเสนอวิธีการแยกเซลล์มะเร็งที่มีการทับซ้อนกัน รหัส BT-549 โดยใช้วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ (Watershed transform) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งผลปรากฏว่าสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่ก็พบว่าในบางภาพยังไม่สามารถแยกเซลล์ที่ทับซ้อนกันหรือเชื่อมต่อกันได้ จึงใช้วิธีการความเว้าเส้นรอบขอบ (Contour concavity) ร่วมด้วย พบว่าสามารถแบ่งแยกเซลล์มะเร็งที่มีการทับซ้อนกันได้ แล้วจึงนำผลลัพธ์ดังกล่าวนับจำนวนเซลล์ ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบค่าที่นับโดยมนุษย์กับวิธีการดังกล่าว โดยทดลองกับภาพจำนวน 5 รูปแบบ ผลปรากฏว่าความถูกต้องของระบบคิดเป็นร้อยละ 98.04 ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาคาร์ทับซ้อนของเซลล์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : โรคมะเร็งเต้านม, วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ, วิธีการความเว้าเส้นรอบขอบ, การนับจำนวนเซลล์

Title	Automatic Cell Counting in Microscopy Images with Overlapping Cells
Author	TANACHOT JAMNONGSUNG
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Kampol Woradit
Thesis Co-Advisor	

Breast cancer is the most common disease among women in Thailand in 2015. The diagnosis and follow up on the results of the treatment are the most popular method in cell science. They need to use an expert to count sample cells and the challenge is to count cancer cells that overlap or connect each other. This caused failure in terms of the count. As a result, this article proposes the separation of the BT-549 cancer cell code by using watershed methods to solve the problem. The proposal could resolve the issue but it was found that in some of the images it was not able to segment the cells that overlap or connect each other. Therefore, the contour concavity method is adopted along with the watershed method, so that the overlapping cells can be separated. The results are then applied to the cell count. The results of this study were 5 format. The accuracy of the system was 98.04%, which could solve the problem of cell overlap very well.

Keyword : Breast Cancer, Watershed, Contour concavity, Cell counting

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูดา จิตตสุโก คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับการเอื้อเฟื้อภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ รวมถึงโครงการสนับสนุนทุนการศึกษาในประเทศสำหรับพนักงาน กสทช. ประจำปี 2558 ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการเข้าร่วมประชุมและเสนอผลงานฯ จากบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2561 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ธนโชติ จำนงค์สังข์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การทบทวนวรรณกรรม.....	3
2.2 เซลล์มะเร็งเต้านม.....	5
2.3 ภาพดิจิทัล (Digital Image).....	6
2.4 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	9
2.5 องค์ประกอบของภาพ	11
2.6 ภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผล.....	13
2.8 ระบบสีสำหรับภาพดิจิทัล	15
2.9 ระบบสี $L^*a^*b^*$	17
2.10 การวิเคราะห์และหาโครงสร้างของภาพ	18

2.11 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation).....	22
2.12 การทำฮิสโตแกรมให้เท่ากัน (Histogram Equalization)	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายเซลล์	32
3.2 กระบวนการเตรียมภาพถ่าย (Preprocessing)	32
3.3 กระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำ	34
3.4 กระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	40
4.1 กรณีแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	40
4.2 กรณีการแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม	48
ประวัติผู้เขียน.....	52

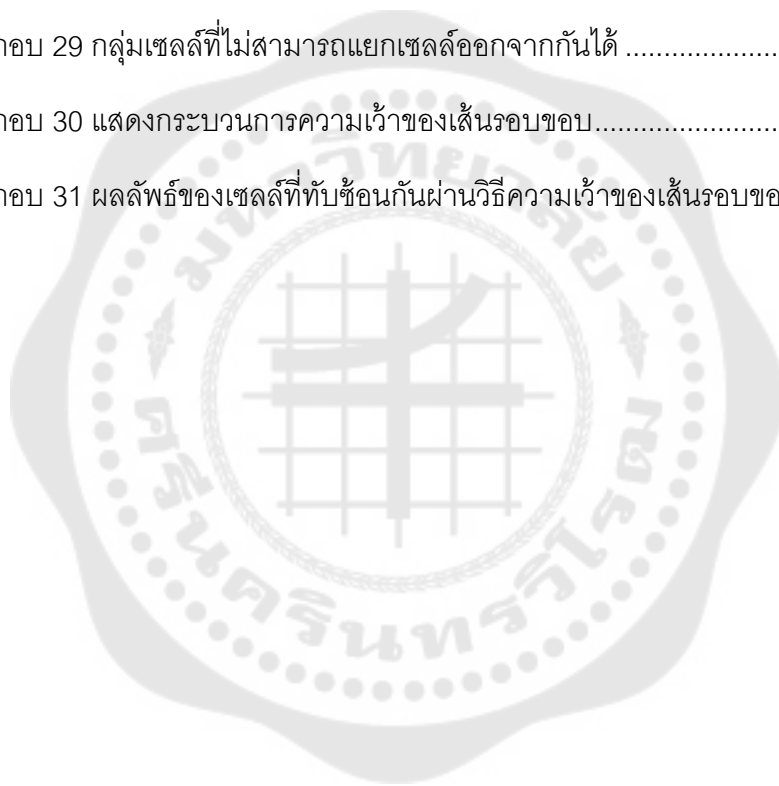
สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงคลาสของข้อมูล	14
ตาราง 2 แสดงคลาสของข้อมูล (ต่อ)	15
ตาราง 3 แสดงผลตรรกะและนิพจน์ของ MATLAB	20
ตาราง 4 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	40
ตาราง 5 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ (ต่อ)	41
ตาราง 6 ผลการนับเซลล์เปรียบเทียบวิธีการนับด้วยมนุษย์และการนับจำนวนเซลล์ด้วยวิธีการ บริเวณลุ่มน้ำ	42
ตาราง 7 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ	43
ตาราง 8 เปรียบเทียบผลการทดลองของการนับจำนวนเซลล์ด้วยมนุษย์และวิธีการที่นำเสนอ	44
ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการนำเสนอสำหรับกรณีการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกัน	46

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ภาพถ่ายเซลล์มะเขีงเต้านม	6
ภาพประกอบ 2 แสดงข้อมูลแบบต่อเนื่อง	7
ภาพประกอบ 3 แสดงข้อมูลดิจิทัล	8
ภาพประกอบ 4 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ	9
ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะการประมวลผลภาพ	10
ภาพประกอบ 6 แสดงกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่าย	10
ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะการสื่อความหมายด้วยภาพ	11
ภาพประกอบ 8 แสดงภาพสีเทา	11
ภาพประกอบ 9 แสดงภาพสี	12
ภาพประกอบ 10 แสดงภาพสีส่วนประกอบไปด้วยสามชั้นข้อมูลต่อหนึ่งเซล	13
ภาพประกอบ 11 แสดงการอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพและส่วนประกอบของชั้นภาพสี	13
ภาพประกอบ 12 แสดงภาพนิ่งและภาพต่อเนื่องและการประมวลผล	14
ภาพประกอบ 13 แสดงการผสมสีของระบบสี RGB	16
ภาพประกอบ 14 แสดงโมเดลลูกบาศก์ระบบสี RGB	17
ภาพประกอบ 15 แสดงระบบสี RGB ขนาด 24 บิต	17
ภาพประกอบ 16 แสดงระบบสี L*a*b*	18
ภาพประกอบ 17 คำสั่งเกี่ยวกับเซต	19
ภาพประกอบ 18 แสดงวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	24
ภาพประกอบ 19 แสดงการสร้างเงื่อนไข	26
ภาพประกอบ 20 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	29
ภาพประกอบ 21 แสดงฟังก์ชันการแปลงระดับเทา	30
ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการดำเนินการ	31

ภาพประกอบ 23 เซลล์มะเร็งเต้านม BT-549	32
ภาพประกอบ 24 แสดงกระบวนการแปลงระบบสี RGB เป็นระบบสี L*a*b*	33
ภาพประกอบ 25 ผลลัพธ์ค่าสัมบูรณ์	33
ภาพประกอบ 26 กระบวนการลบสิ่งเจือปน	34
ภาพประกอบ 27 ภาพระดับเทาเมื่อผ่านวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	36
ภาพประกอบ 28 ผลลัพธ์ของวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	36
ภาพประกอบ 29 กลุ่มเซลล์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ออกจากกันได้	37
ภาพประกอบ 30 แสดงกระบวนการความเฝ้าของเส้นรอบขอบ	39
ภาพประกอบ 31 ผลลัพธ์ของเซลล์ที่ทับซ้อนกันผ่านวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหากจะกล่าวได้ว่า โรคมะเร็ง คือ อันดับหนึ่งของอัตราการเสียชีวิตของคนไทย และหากจะศึกษาเพิ่มเติม โรคมะเร็งเต้านมในผู้หญิงไทย ก็ถือว่าเป็นโรคที่เป็นอันดับต้นๆ ของการเสียชีวิตของผู้หญิงเช่นกัน วิธีการที่จะตรวจพบได้อย่างชัดเจนนั้นก็คือการตรวจทางพยาธิวิทยาและชีวอณูวิทยา ล้วนมีทิศทางไปสู่ความเข้าใจถึงสาเหตุ กลไกการเกิดโรค ถ้าจะกล่าวว่าเป็นการดูร่องรอยโรคก็ว่าได้ การวินิจฉัย การพยากรณ์โรค ตลอดจนถึงแนวทางการรักษามะเร็งเต้านม ซึ่งการตรวจทางพยาธิวิทยาประกอบด้วย การตรวจชิ้นเนื้อด้วยตา (macroscopy หรือ gross examination) และการตรวจจุลพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ (microscopy หรือ microscopic examination) การวินิจฉัยทางพยาธิวิทยามักถือเป็นการวินิจฉัยที่สิ้นสุด (definitive diagnosis) การจัดการตัวอย่างทางเซลล์วิทยานั้น จะมีการนำส่งตัวอย่างพร้อมบรรจุภัณฑ์ การตรวจวินิจฉัยทางเซลล์วิทยา ใช้การเตรียมเป็นสเมียร์ (smears) บนสไลด์ และจุ่มทันทีใน 95% ethanol (wet-fixation) แช่ทิ้งไว้เวลานาน 15 นาทีหรือติดสียกเว้นถ้าจะตรวจหา ER PR HER2 ต้องเตรียมโดยแช่ในน้ำยา 0.1% formal saline เป็นเวลานาน 10-15 นาที จึงเปลี่ยนไปแช่ใน 95% ethanol เป็นเวลานาน 15 นาที หรือติดสี

จากการที่ได้รับทราบปัญหาและอุปสรรครวมถึงความอนุเคราะห์ภาพถ่ายจากรองศาสตราจารย์ชุตตา จิตตสุโก คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปัจจุบันการตรวจนับจำนวนเซลล์ (Cell) จากภาพถ่ายมะเร็งเต้านม รหัส BT-549 ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ นั้น ต้องใช้มนุษย์ในการนับจำนวนเซลล์มะเร็ง เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของเซลล์มะเร็งเต้านมของผู้ป่วยมีปริมาณเท่าไร ภายหลังจากการย้อมสี Papanicolaou's หากจะกล่าวได้ว่าเป็นงานที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญและเป็นงานที่มีความละเอียดอ่อน ซึ่งใช้ระยะเวลาในการนับจำนวนเซลล์ค่อนข้างนาน อาจเกิดการเหนื่อยล้าจากผู้ปฏิบัติงานได้เช่นกัน อีกทั้งเมื่อเซลล์ที่ทำการตรวจนับมีการทับซ้อนกันทำให้ผู้ปฏิบัติงานนับเซลล์ได้ผิดพลาดได้เช่นกัน ดังนั้น หากเกิดความผิดพลาดจากการนับ หรือการวิเคราะห์เบื้องต้นก็อาจจะส่งผลเสียต่อผู้ป่วยและแพทย์ทำการรักษา วินิจฉัยคาดเคลื่อนก็เป็นได้

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะแบ่งหัวข้อการนำเสนอวิธีการตรวจนับเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 แบบอัตโนมัติด้วยการผนวกวิธีบริเวณลุ่มน้ำ (watershed) และวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ (Contour Concavity) โดยบทที่ 1 จะกล่าวถึง ความเป็นมา วัตถุประสงค์ และ

ขอบเขตของงานวิจัย บทที่ 2 จะกล่าวถึงวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 ในขณะที่ บทที่ 4 และ บทที่ 5 จะกล่าวถึง ผลของงานวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะของงานวิจัย ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการตรวจนับเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 แบบอัตโนมัติด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

1.2.2 ศึกษาการตรวจนับเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 แบบอัตโนมัติด้วยวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ

1.2.3 ออกแบบการตรวจนับของเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 แบบอัตโนมัติ ระหว่างวิธีการลุ่มน้ำ และวิธีการความเว้าของเส้นรอบขอบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เป็นการนับจำนวนเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 จากตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

1.3.2 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.4.1 สามารถแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันหรือเชื่อมต่อกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ และวิธีการความเว้าของเส้นรอบขอบ

1.4.2 ลดความผิดพลาดและระยะเวลาในการนับเซลล์ในกรณีที่เซลล์มีการทับซ้อนกัน

1.4.3 ช่วยลดภาระหน้าที่ของพยาธิแพทย์ในการนับเซลล์มะเร็งเต้านม

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

ได้ทำการศึกษาการนับเซลล์อัตโนมัติจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้วิธีการบริเวณลุ่มน้ำในการตรวจนับเซลล์ โดยนับเซลล์จากภาพถ่าย 98 ภาพ โดยใช้วิธีการนับด้วยการแบ่งเขตสี โดยแยกเป็น ภาพสีเทา ภาพสีแดง ภาพสีเขียว ภาพสีน้ำเงิน และวิธีการสุดท้ายคือ การใช้วิธีการบริเวณลุ่มน้ำร่วมกับวิธีการคำนวณรูปแบบซ้ำ ผลที่ได้มีความไวร้อยละ 97 และค่าความจำเพาะร้อยละ 96 [1] ได้นำเสนอวิธีการบวกรวมบริเวณลุ่มน้ำโดยใช้เซลล์จำนวน 177 เซลล์ในการทำทดลองนี้ โดยอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 90 [2] ได้ทำการทดลองการแยกเซลล์เม็ดเลือดขาว และเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีการทับซ้อนกัน โดยใช้วิธีการเลือกจับขอบ (Sobel edge detector) ร่วมกับวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ โดยใช้เซลล์จำนวน 118 เซลล์ ความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 95 วิธีการนี้ยังใช้งานกับเซลล์ที่มีระดับความเข้มของสีน้อยไม่ได้ [3] ทำการทดลองการแยกเซลล์ที่มีการเกาะติดแน่นด้วยการแบ่งแยกเซลล์ด้วยวิธีการหาค่าที่ระดับกันของ (OTSU threshold) ร่วมกับวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ อัตราความผิดพลาดของระบบอยู่ที่ร้อยละ 1.85 [4] ได้ทำการทดลองการการค้นหาเซลล์โรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวแบบเฉียบพลัน โดยเลือกใช้วิธีการบริเวณลุ่มน้ำร่วมกับการนำเสนอการแบ่งแยกเซลล์เพิ่มเติมในสองรูปแบบคือ ชุดการจดจำรูปแบบ IDB1 และชุดการจดจำรูปแบบ IDB2 โดยใช้ภาพถ่ายจำนวน 45 ภาพ โดยมีความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 95.56 [5] ได้มีการนำเสนอวิธีการแยกเซลล์ด้วยวิธีการอิมมูโนฮิสโตเคมี และวิธีการเวกเตอร์ความลาดชันร่วมกับวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ โดยใช้ภาพถ่ายเซลล์จำนวน 40 ภาพ โดยมีอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 75 [6] นำเสนอวิธีการแยกเซลล์อัตโนมัติของภาพถ่ายเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำ และวิธีการพื้นที่ความเว้าจุดสูงสุด (Concave Vertex Graph) ซึ่งวิธีดังกล่าวยังคงมีบางจุดที่เซลล์มีระดับเท่ากัน และไม่สามารถแยกแยะเซลล์สองบริเวณนั้นได้ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการแยกเซลล์ [7] นำเสนอวิธีการนับเซลล์เม็ดเลือดแดงจากภาพถ่ายเซลล์เม็ดเลือดของผู้ป่วยโรคโลหิตจาง โดยใช้วิธีการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการจดจำรูปลักษณะของเซลล์ โดยผลความสำเร็จในการแยกเซลล์อยู่ที่ร้อยละ 98.695 [8] งานวิจัยดังกล่าวเป็นการแยกกลุ่มเซลล์จากของเหลวในเยื่อหุ้มปอด ซึ่งแต่เดิมการแยกเซลล์นั้นจะมาจากการจดจำรูปลักษณะขนาด รวมถึงสีของเซลล์มะเร็ง แต่ก็พบว่าเซลล์บางกลุ่มมีการเชื่อมต่อกัน

และทับซ้อนกัน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงแปลงภาพจาก 3 แมสตี ได้แก่ แมสตีแดง แมสตีเขียว และแมสตีน้ำเงิน ไปเป็นระบบภาพ L^*a^*b หลังจากนั้นก็ทำการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการหาระดับกันของ OTSU ผล คือ สามารถแยกเซลล์ออกได้ แต่มีบางเซลล์ที่ไม่สามารถแยกออกมาได้เพราะมีการทับซ้อนกันความสำเร็จในการแยกเซลล์คิดเป็นร้อยละ 94 [9] นำเสนอวิธีการแยกเซลล์เม็ดเลือดแดงของผู้ป่วยโรคผิวหนัง ด้วยวิธีการแปลงแบบ Hough และวิธีการบริเวณลุ่มน้ำซึ่งใช้ระยะเวลาในการแยกเซลล์ได้ 11.743 วินาที [10] นำเสนอวิธีการแยกเซลล์โรคมะเร็งเม็ดเลือดคฤคิเมียที่เกิดในกระดูก ด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำและวิธีการซัพพอตเวกเตอร์แมกซิมในการในการจำแนกเซลล์ ซึ่งในวิธีการให้ระบบจดจำรูปลักษณะของเซลล์โรคมะเร็งในกระดูกที่มีความแตกต่างกัน 12 รูปแบบ [11] งานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการแยกเซลล์มะเร็งจากเยื่อหุ้มปอด งานวิจัยดังกล่าวจึงมีการค้นกระบวนการแยกนิวเคลียสออกจากวิธีการตรวจทางพยาธิวิทยาที่เซลล์เกิดการทับซ้อน โดยอาศัยวิธีการหาระดับกันของ OTSU และการเปลี่ยนแปลงระยะทางของวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ (distance transform watershed method) การดำเนินการด้วยวิธีการหาระดับกันของ OTSU ลำดับถัดไปเมื่อเซลล์มีการทับซ้อนกัน เราจึงต้องเลือกเอาคุณลักษณะเด่นของภาพระดับสีเทาเพื่อให้การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนด้วยวิธีการแบบ GLCM (gray level co-occurrence metrics) ความแม่นยำของการประมวลผลโดยใช้ภาพเยื่อหุ้มปอดจำนวน 25 ภาพ และอัตราผลความสำเร็จ 94% แต่เมื่อสังเกตผลการทดลองดังกล่าวจะพบว่า ในบางจุดนั้นวิธีบริเวณลุ่มน้ำยังคงไม่สามารถแก้ไขปัญหาพื้นที่ทับซ้อนได้ในบางจุด [12] งานวิจัยดังกล่าวเป็นการใช้ภาพถ่ายเซลล์จากกล้องจุลทรรศน์ที่อยู่ใกล้กันซึ่งปัญหาคือไม่สามารถแยกนับเซลล์ได้ จึงทำให้มีการคิดแก้ปัญหาโดยใช้การคาดการณ์ล่วงหน้า และใช้การแปลงของ Hough ในการแยกเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงกัน ผลที่ได้คือวิธีการดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 93 [13] งานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาการนับจำนวนเซลล์ เดิมทีจะใช้ผู้เชี่ยวชาญในการนับเซลล์ซึ่งใช้ระยะเวลาในการดำเนินการค่อนข้างนาน อีกทั้งอาจจะเกิดความผิดพลาดในการนับจำนวนเซลล์ จึงมีการนำเสนอวิธีการที่เข้ามาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยงานวิจัยดังกล่าวได้จะสนใจขนาดและปริมาตรในการเรียงแสงของภาพ โดยใช้วิธีการตรวจจับรอยหยด (blob detection clustering) และการตรวจความเว้าของพื้นที่เซลล์ (separation using concave regions of the cells contours) สำหรับวิธีการตรวจจับรอยหยดใช้ลาปาซของเกาส์เซียนเพื่อหาวงกลมของพื้นที่สว่างและพื้นที่ที่มีความเข้ม ซึ่งวิธีการตรวจจับรอยหยด และสำหรับวิธีการความเว้าของเส้นขอบ การดำเนินการดังกล่าวจะเป็นการสร้างเส้นเค้าโครงขึ้นมาบริเวณที่เป็นไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ที่มีการทับซ้อนกันโดยใช้การเว้าของจุดแต่ละจุด แล้ว

พิจารณาในระยะทางระหว่างกัน หากระยะทางสั้น ซึ่งความเป็นไปได้ของระยะทางที่สั้นระหว่างกัน ส่วนใหญ่จะเป็นมุมที่เข้าเข้ามาหากัน ก็จะมีการทำเครื่องหมายตรงจุดบริเวณดังกล่าวเพื่อทำการแยกเซลล์ที่มีพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างมาโครฟาจ (macrophages) และปรสิต (parasites) สำหรับการหาพื้นที่ทับซ้อนกัน ผลจากการนำเสนอวิธีการตรวจนับอัตโนมัติของมาโครฟาจ และปรสิตในภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ ผลจากการตรวจนับภาพถ่ายจำนวน 24 รูป ความแม่นยำของระบบอยู่ที่ร้อยละ 95 [14]

2.2 เซลล์มะเร็งเต้านม

2.2.1 มะเร็งเต้านมเริ่มก่อกำเนิดจากเซลล์เยื่อบุผิวของท่อน้ำนม เมื่อก่อนมะเร็งโตขึ้น จะมีการลุกลามเรื่อยๆ ไปตามท่อน้ำนม (mammary duct) และยังสามารถทะลุผ่านเยื่อบุได้ เยื่อบุเมือกและต่อมคัดหลัง (Basement membrane) ต่อมไขมันเต้านม (mammary fat) อาจจะมีการลุกลามเข้าสู่ท่อทางเดินน้ำเหลืองของเต้านม มะเร็งสามารถลุกลามผ่านผนังเส้นเลือด กระจายเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง (deep lymphatic) ใต้ผิวหนังแท้ (dermis) ทำให้เกิดการบวมของ ผิวหนังแบบผิวส้ม ความรู้พยาธิวิทยาเป็นพื้นฐานของการวินิจฉัยโรค การตรวจทางพยาธิวิทยา ประกอบกับการตรวจดูรอยโรคด้วยตาและการดูจุลพยาธิวิทยาผ่านกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเราจะเห็น ถึงเค้าโครงรอยโรคที่สามารถมองเห็นด้วยตามีความสอดคล้องกับภาพถ่ายเอกซเรย์และการอัลตราซาวนด์ การจำแนกโรคเต้านม สามารถแบ่งได้เป็นสามกลุ่มโรค ได้แก่ กลุ่มโรคที่เกี่ยวข้องกับ พัฒนาการ กลุ่มโรคเกี่ยวกับการอักเสบ และกลุ่มเนื้องอก

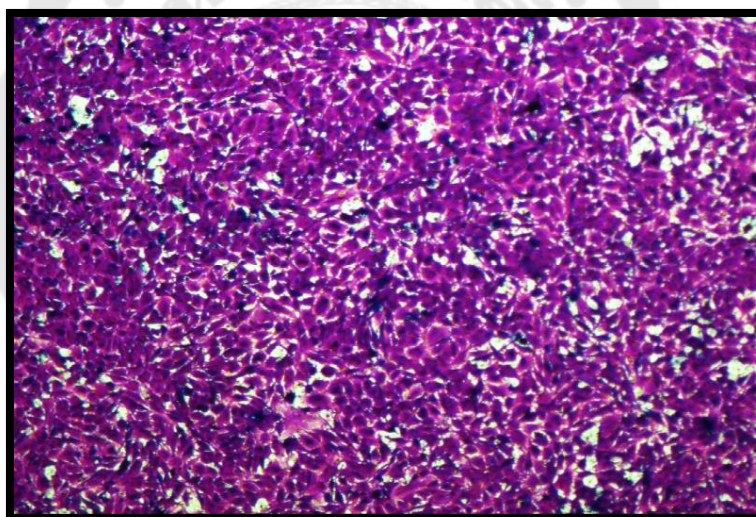
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงจากเซลล์ปกติกลายเป็นเซลล์มะเร็ง

เซลล์มะเร็ง เป็นเซลล์ที่มีกำเนิดมาจากเซลล์ปกติที่เป็นองค์ประกอบทั่วไปของ ร่างกายมนุษย์ แต่เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงในหลายปัจจัยที่เกิดขึ้นจนก่อให้เกิดเป็นเซลล์ที่มี ลักษณะและพฤติกรรมเฉพาะที่ผิดปกติ และแตกต่างไปมากจากเซลล์ปกติ ที่สำคัญ คือ

1. เซลล์มีลักษณะการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็ว และไม่มีจำนวน ครั้งจำกัด กล่าวคือแบ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
2. ตรวจสอบไม่พบการเกาะกลุ่ม (contact inhibition) คือ เซลล์มะเร็งจะไม่หยุด การแบ่งตัวแม้เซลล์จะสัมผัสกับเซลล์ข้างเคียงก็ตาม
3. เซลล์ไม่มีการพัฒนาเพื่อทำหน้าที่โดยเฉพาะ (Cell differentiation) ความสามารถของเซลล์ในการรุกรานของเซลล์และเนื้อเยื่อข้างเคียงสูง (Invasion)

4. มีความสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนอื่นของร่างกายได้

การเกิดมะเร็งนั้นเกิดจากการสะสมการกลายพันธุ์ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของความเปลี่ยนแปลง และความผิดปกติของยีนภายในเซลล์อย่างต่อเนื่องเรื่อยๆจนกลายเป็นการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์ปกติ ไปเป็นเซลล์มะเร็งนั่นเอง โดยเฉพาะการกลายพันธุ์ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์ปกติไปเป็นเซลล์มะเร็งได้ จะมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สะสมความผิดปกติของยีนที่สำคัญต่อการแบ่งตัวเพิ่มจำนวน และยีนที่ควบคุมการตายของเซลล์ และสะสมความผิดปกติมากเพียงพอที่จะทำให้เซลล์เปลี่ยนเป็นเซลล์มะเร็งได้ หลังจากนั้นเซลล์มะเร็งก็มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้นจนกลายเป็นก้อนมะเร็งนั่นเอง อีกทั้งเซลล์มะเร็งที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งตัวถ่ายทอดความผิดปกติให้เซลล์มะเร็งที่เกิดขึ้นใหม่มีความผิดปกติของจีโนม (genome) เช่นเดียวกับเซลล์มะเร็งตั้งต้นได้อย่างไม่จำกัด

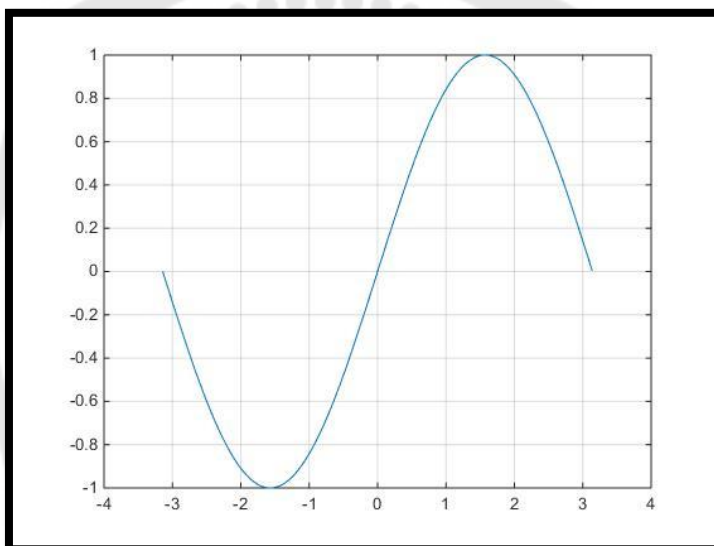


ภาพประกอบ 1 ภาพถ่ายเซลล์มะเร็งเต้านม

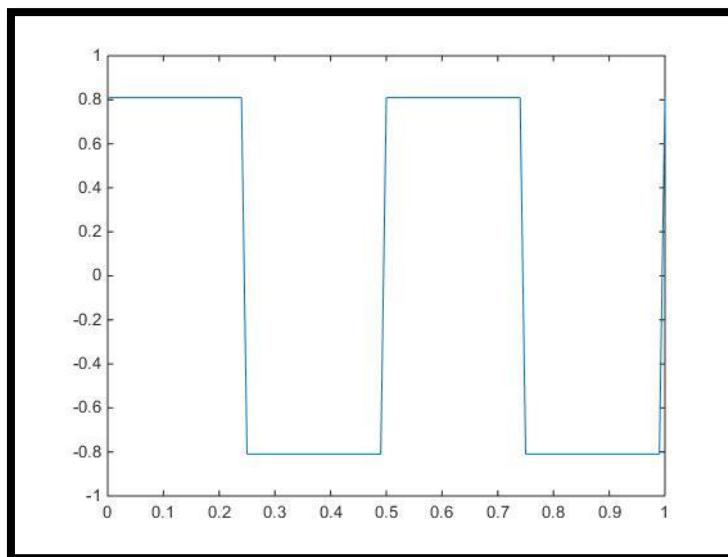
2.3 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

2.3.1 ภาพ หมายถึง ฟังก์ชันความเข้มแสงขนาดสองมิติ [15] $f(x,y)$ เมื่อ x และ y คือ พิกัดเกี่ยวกับระยะทาง และค่าของ f ที่จุดใดๆ เราจะเรียก (x,y) เป็นสัดส่วนกับความสว่าง (ระดับความเทาของภาพ ณ จุดนั้นๆ) ดังนั้น ภาพดิจิทัล คือ ภาพถูกแปลงให้เป็นค่าวิยุต (discrete) เพื่อใช้ในการประมวลผล ซึ่งการแปลงฟังก์ชัน $f(x,y)$ ทั้งค่าพิกัดและค่าความสว่าง ซึ่งเราจะแทนค่าความสว่างด้วยขนาด 8 บิต สำหรับค่าระดับเทา มีค่าเท่ากับ "0" ความหมาย

ความสว่างน้อยหรือสีดำ สำหรับค่าระดับเทาที่ “255” มีความหมายคือ ความสว่างมากหรือสีขาว ภาพดิจิทัลขนาด $M \times N$ อาจถูกพิจารณาว่าเป็นเมทริกซ์ที่มีขนาด $M \times N$ ซึ่งค่าอินเด็กซ์ของเมทริกซ์ (แถวและคอลัมน์) ระบุจุดในภาพและค่าของเมทริกซ์ที่ตำแหน่งดังกล่าว แทนค่าระดับเทาที่จุดนั้น เราจะเรียกจุดดังกล่าวที่เล็กที่สุดของภาพดิจิทัลว่า “พิกเซล” (Pixel) ณ จุดใดๆ ในส่วนกรณีภาพดิจิทัลสีขนาด $M \times N$ เราจะใช้เมทริกซ์ขนาด $M \times N$ จำนวน 3 เมทริกซ์ อันได้แก่ แม่สีแดง (Red) แม่สีเขียว (Green) และแม่สีน้ำเงิน (Blue) ในการแทนค่าสีที่จุดใดๆ โดยที่ค่าสีที่จุดใดๆ ซึ่งเกิดจากการผสมสีจะได้มาจากค่าในเมทริกซ์ทั้ง 3 เมทริกซ์ เช่น ค่าในเมทริกซ์ แม่สีแดง แม่สีเขียว และแม่สีน้ำเงิน คือ (255,0,0) เป็นต้น



ภาพประกอบ 2 แสดงข้อมูลแบบต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 3 แสดงข้อมูลดิจิทัล

2.3.2 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

ในกระบวนการประมวลผลภาพนั้น [15] จะมีการดำเนินการดัง ภาพประกอบ 4

การรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition) คือ เป็นขั้นตอนแรกของการประมวลผลภาพ ซึ่งภาพที่จะนำมาเพื่อประมวลผลนั้น ต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลก่อนเสมอ

การปรับปรุงภาพ (Image enhancement) คือ กระบวนถัดมาหลังจากได้แปลงภาพให้เป็นข้อมูลดิจิทัลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก่อนการขั้นตอนประมวลผลภาพนั้น ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ซึ่งจะเรียกการประมวลผลก่อนผลจริง (Preprocessing) เพื่อให้สามารถประมวลผลได้อย่างแม่นยำ กระบวนดังกล่าวยังรวมถึงการฟื้นฟูภาพ (Image restoration) อีกด้วย

การประมวลผลภาพสี (Color image processing) คือ การประมวลผลภาพสีมีส่วนสำคัญในการประมวลผลภาพ เช่น การแปลงภาพจากแม่สี 3 สี ได้แก่ แม่สีแดง แม่สีเขียว และแม่สีน้ำเงิน เป็นระบบภาพสีอื่นๆ เช่น ระบบภาพสี HSV (Hue Saturation Value) ระบบภาพสี $L^*a^*b^*$ ฯลฯ

การบีบอัด (Compression) คือ เทคนิคการบีบอัดคุณภาพของภาพดิจิทัล โดยก่อนที่เราจะส่งภาพดิจิทัลนั้น ต้องทำการบีบอัดภาพก่อนส่งเพื่อการประหยัดช่องสัญญาณใน

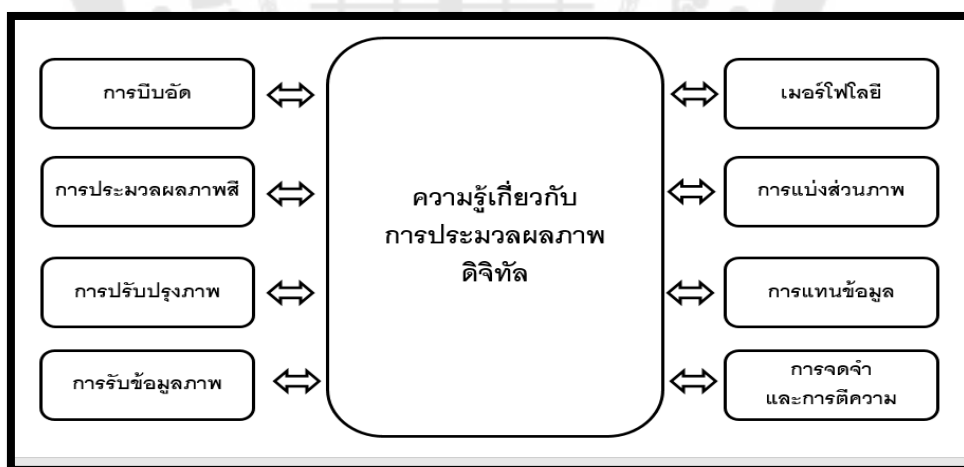
การรับ – ส่ง ข้อมูลนั่นเอง แต่การบีบอัดก็ต้องยังคงคุณภาพของภาพนั้นอีกด้วย เช่น การบีบอัดแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group)

มอร์โฟโลยี (Morphological processing) คือ การแยกองค์ประกอบของภาพ เช่น เส้นขอบเขต เส้นโครง เป็นต้น

การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) คือ ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพออกเป็น ส่วนประกอบหรือวัตถุที่เราต้องการ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องนั้นจะนำไปสู่แนวทางการแก้ไข ปัญหาของภาพได้อย่างถูกต้อง แต่หากแบ่งส่วนภาพผิดพลาดการที่ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ที่ถูกต้องก็ย่อมคาดเคลื่อนได้เช่นกัน

การแทนข้อมูล (Representation and description) คือ การแปลงข้อมูลให้อยู่ ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลภาพ และการระบุนิที่ใช้ในการอธิบายในข้อมูล ที่ให้ความสนใจ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแยกลักษณะเพื่อให้ได้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อใช้ในการ แยกแยะวัตถุที่มีความแตกต่างกัน

การจดจำและการตีความ (Recognition) คือ การทำฉลาก (Label) ให้กับวัตถุ โดยใช้คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการให้คำอธิบาย รวมถึงการตีความหมายกับกลุ่มวัตถุที่จดจำได้



ภาพประกอบ 4 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ

2.4 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัล [16] โดยทั่วไปแล้วหมายถึงการประมวลผลภาพดิจิทัลสอง มิติโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือหมายถึงการประมวลผลทางดิจิทัลของข้อมูลสองมิติใดๆ

การประมวลผลภาพดิจิทัลถูกนำมาใช้ในการประยุกต์ใช้งานต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ การส่งภาพและเก็บภาพสำหรับธุรกิจ การประมวลผลภาพทางการแพทย์ การประมวลผลภาพถ่ายด้วยเรดาร์ โซนาร์และสัญญาณความถี่ย่านเสียง (Acoustic) งานด้านหุ่นยนต์ และการตรวจสอบอัตโนมัติของชิ้นส่วนทางอุตสาหกรรม ต่อไปนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพในด้านต่างๆ

2.4.1 กระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล เราสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

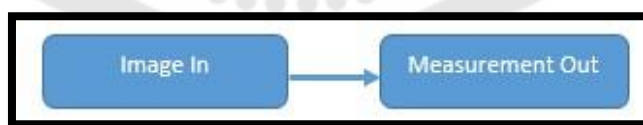
2.4.1.1 กระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing)



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะการประมวลผลภาพ

กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อให้ได้ภาพออกมาเพื่อนำไปใช้ตามความต้องการทั่วไป เช่น การตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม โฟโตชอป (Photoshop)

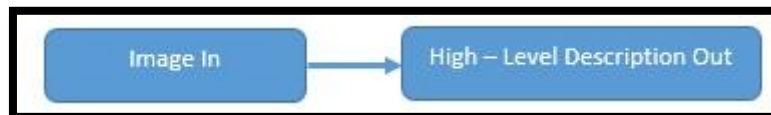
2.4.1.2 การวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis)



ภาพประกอบ 6 แสดงกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่าย

การวิเคราะห์ภาพถ่าย หมายถึง กรรมวิธีใดๆ มากกระทำกับภาพ และคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ และปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

2.4.1.3 การสื่อความหมายด้วยภาพ (Image Understanding)

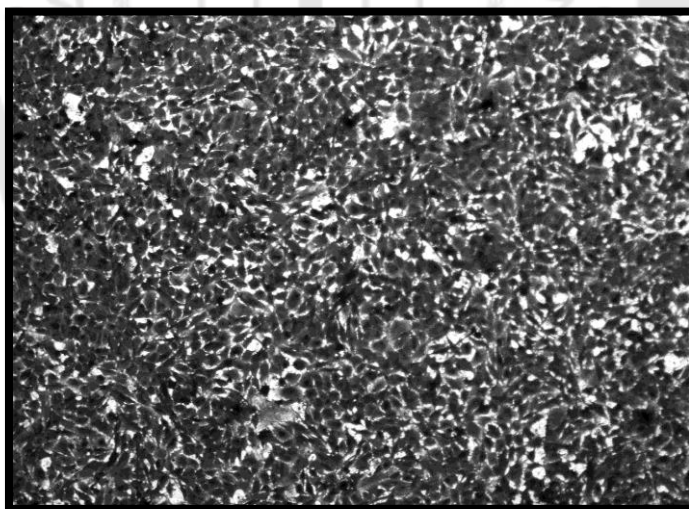


ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะการสื่อความหมายด้วยภาพ

การสื่อความหมายด้วยภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความหมาย เช่น การจดจำตัวอักษร (Optical Character Recognition)

2.5 องค์ประกอบของภาพ

ประเภทของภาพตามคุณสมบัติของสี [17] สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ภาพสีเทา (Gray Image) และภาพสี (Color Image) โดยทั้งสองแบบมีองค์ประกอบที่คล้ายกัน

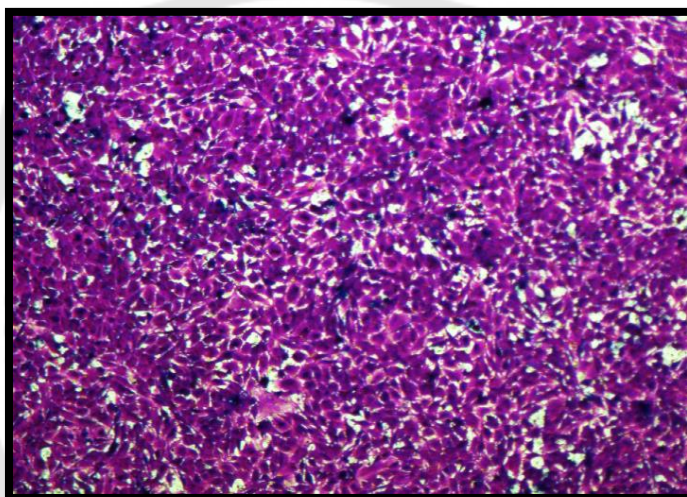


ภาพประกอบ 8 แสดงภาพสีเทา

ภาพสีเทา (Gray Image) ประกอบด้วยข้อมูลอยู่ 2 มิติ ได้แก่ ชั้นข้อมูลจำนวน 1 ชั้นข้อมูล (Layer) โดยในแต่ละพิกเซลแสดงระดับเข้มสี เมื่อภาพแสดงด้วย 1 ชั้นข้อมูล ภาพที่ได้จะแสดงเป็นภาพสีเทา ซึ่งแต่ละค่าสีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ซึ่งสามารถแสดงค่าสีออกได้

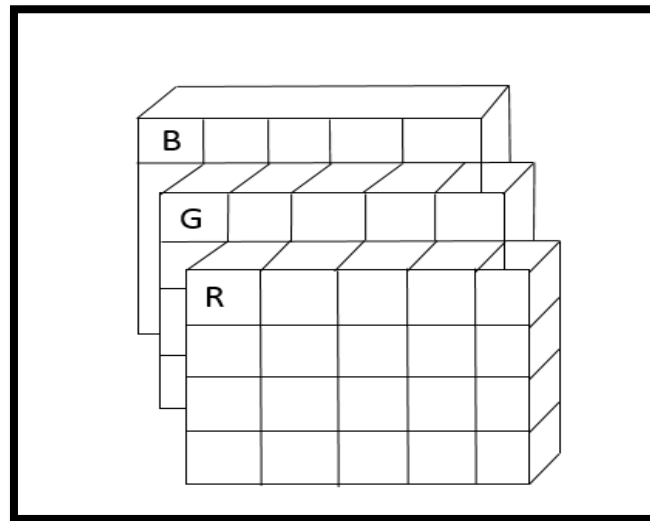
256 ค่า โดยที่สีดำแทนด้วยค่า 0 และสีขาวแทนด้วยค่า 255 ดังภาพประกอบ 8 ภาพสี่เทาที่ประกอบด้วยค่าเฉพาะ 0 และ 255 หรือ 0 และ 1 เราเรียกว่า “ภาพไบนารี” (Binary Image) ภาพดิจิทัลแสดงในรูปแบบเมทริกซ์ 2 มิติ ขนาด $M \times N$ ได้ดังนี้ [18]

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

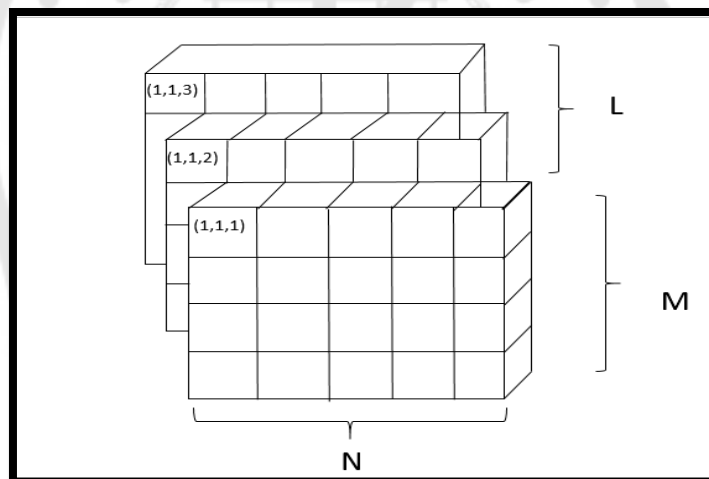


ภาพประกอบ 9 แสดงภาพสี

ภาพสี (Color Image) จะประกอบด้วยข้อมูลสี 2 มิติ มีจำนวนชั้นข้อมูล 3 ชั้น ต่อหนึ่งพิกเซล ดังภาพประกอบ 9 คือ แม่สีแดง แม่สีเขียว และแม่สีฟ้า ซึ่งแต่ละค่าสีจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เมื่อแสดงค่าสีทั้งสามชั้นข้อมูลพร้อมกัน จะแสดงผลเป็นสีต่างๆ ตรวจสอบได้จากรหัสสี (Color Code) เช่น ถ้าต้องการพิกเซลนั้นแสดงเป็นสีแดง ก็ต้องใส่ค่า (255,0,0) ในพิกเซลนั้น ถ้าต้องการสีเขียว ต้องใส่ค่า (0,255,0) หรือ ถ้าต้องการสีฟ้า ต้องใส่ค่า (0,0,255) ตามภาพประกอบ 10 และ 11



ภาพประกอบ 10 แสดงภาพสี่ส่วนประกอบไปด้วยสามชั้นข้อมูลต่อหนึ่งเซลล์

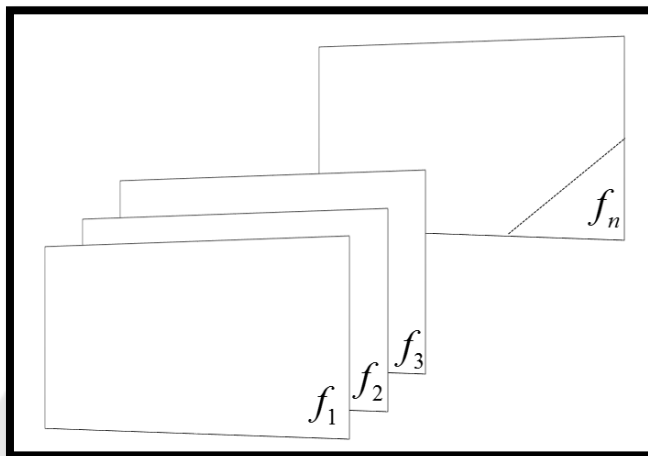


ภาพประกอบ 11 แสดงการอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพและส่วนประกอบของชั้นภาพสี่

2.6 ภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผล

เราสามารถแบ่งประเภทของภาพตามการเคลื่อนไหวของวัตถุในภาพ [17] ได้ 2 ประเภท คือ ภาพนิ่ง และภาพวีดิทัศน์ (ภาพต่อเนื่อง หรือภาพวีดิโอ) ซึ่งทั้งสองประเภทมีพื้นฐานเรื่องภาพเหมือนกัน ภาพวีดิทัศน์สามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้ เนื่องจากการแสดงภาพนิ่งหลายๆ ภาพต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่ง ถ้านำภาพวีดิทัศน์มาพิจารณาแต่ละเฟรม จะได้ภาพนิ่ง ดังนั้น สำหรับการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ จะเหมือนการประมวลผลภาพนิ่งแต่ละภาพ โครงสร้างของภาพ

วีดิทัศน์แสดงดังภาพประกอบ 12 จะให้เห็นได้ว่าโครงสร้างของภาพวีดิทัศน์ประกอบด้วยภาพนิ่ง $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ เมื่อแสดงภาพต่อเนื่องจะทำให้เห็นภาพวัตถุเคลื่อนไหวได้



ภาพประกอบ 12 แสดงภาพนิ่งและภาพต่อเนื่องและการประมวลผล

2.7 คลาสของข้อมูล (Data Classes)

Matlab [19] ได้มีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชนิด โดยแปดชนิดแรกเป็นคลาสของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวเลข ชนิดที่เก้าเป็นคลาสเกี่ยวกับตัวอักษร (Char) ชนิดสุดท้ายเป็นคลาสข้อมูลเชิงตรรกยะ (Logical) คลาส unit 8 เกี่ยวข้องกับภาพมากที่สุด เนื่องจากภาพที่อ่านเข้ามาเป็นภาพขนาด 8 บิต มักถูกแทนด้วยระดับความเข้มในช่วง [0-255] คลาส unit 8 จะใช้หน่วยความจำ 1 ไบท์ สำหรับหนึ่งค่าของข้อมูล

ตาราง 1 แสดงคลาสของข้อมูล

ลำดับ	ชื่อ	คำอธิบาย
1.	double	ความแม่นยำเพิ่มเป็นสองเท่า (Double-Precision) , ไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนที่ใกล้เคียงกัน Floating-point numbers in the approximate โดยมีค่าตั้งแต่ $10^{308} - 10^{-308}$

ตาราง 2 แสดงคลาสของข้อมูล (ต่อ)

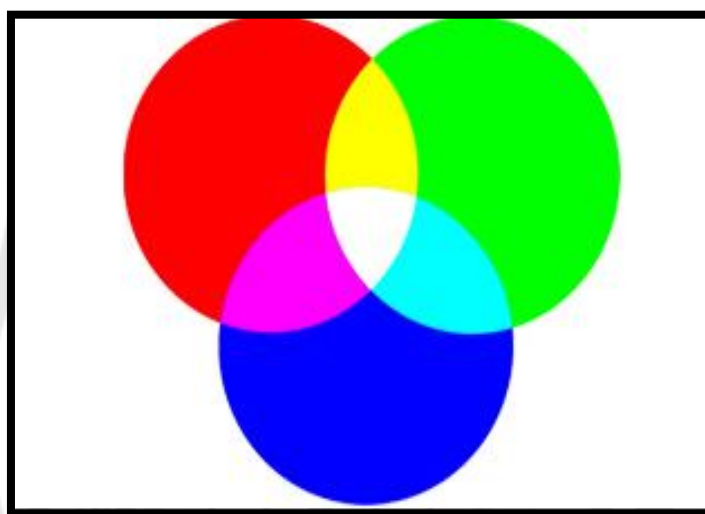
ลำดับ	ชื่อ	คำอธิบาย
2.	unit 8	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมายขนาด 8 บิต ในช่วง [0,255] ขนาด 1 ไบต์
3.	unit 16	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมาย ขนาด 16 บิต ในระหว่างช่วง [0,65535] (ขนาด 2 ไบต์)
4.	unit 32	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมาย ขนาด 32 บิต ในระหว่างช่วง [0,4294967295] (ขนาด 4 ไบต์)
5.	int 8	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมาย ขนาด 8 บิต ในระหว่างช่วง [-128,127] (ขนาด 1 ไบต์)
6.	int 16	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมาย ขนาด 16 บิต ในระหว่างช่วง [-32768,32768] (ขนาด 2 ไบต์)
7.	int 32	จำนวนเต็ม ไม่ระบุเครื่องหมาย ขนาด 32 บิต ในระหว่างช่วง [-2147483648,2147483647] (ขนาด 4 ไบต์)
8.	single	ขนาดเดียว-ความแม่นยำของจุด ระหว่างช่วง $[10^{38} - 10^{38}]$ (ขนาด 4 ไบต์)
9.	Char	ตัวอักษร (ขนาด 2 ไบต์)
10.	logical	ค่า ที่มีค่า 0 หรือค่า 1 (ขนาด 1 ไบต์)

2.8 ระบบสีสำหรับภาพดิจิทัล

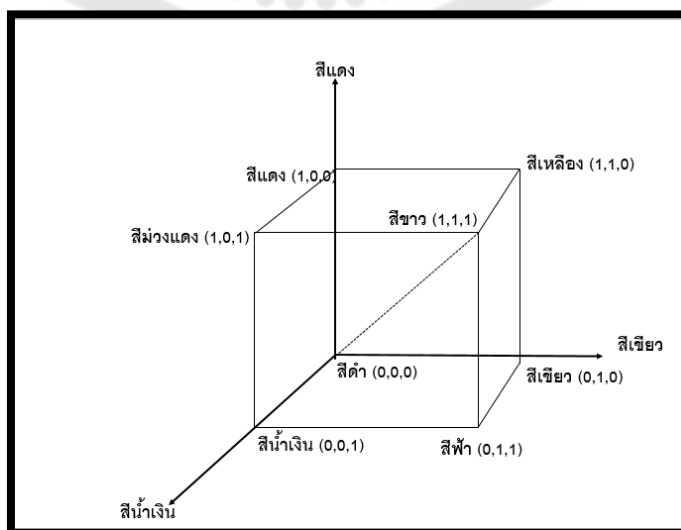
2.8.1 ระบบสี RGB

ค่าสีจะจัดเก็บในรูปแบบระบบสี RGB คือ แม่สีแดง (Red) แม่สีเขียว (Green) และแม่สีน้ำเงิน (Blue) โดยแต่ละสีมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 เมื่อนำแม่สีทั้ง 3 ค่ามาผสมกันจะได้สีต่างๆ ตามที่ต้องการ ระบบสี RGB คือ อาร์เรย์ขนาด $M \times N \times 3$ ของพิกเซลสีโดยที่แต่ละพิกเซลสีคือค่าหนึ่งในสาม (Triplet) สอดคล้องกับองค์ประกอบแม่สีแดง แม่สีเขียว และแม่สีน้ำเงิน ดั่งภาพประกอบ 13 ภาพสีอาจจะมองว่าเป็นชั้นของภาพระดับเทาสามภาพ ที่ถูกป้อนให้กับอินพุท

ของจอคอมพิวเตอร์สี เพื่อให้เกิดขึ้นจอภาพ โดยมาตรฐานแล้วภาพทั้งสามที่เป็นส่วนของภาพสี หมายถึงภาพองค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คลาสของข้อมูลของภาพองค์ประกอบเป็น ตัวกำหนดช่วงของค่าสีแต่ละสีจะอยู่ระหว่าง 0-255 หรือ ถ้าหากเทียบเป็นความสว่างและมืด ก็คือ 0 กับ 1 โดยสีดำคือ (0,0,0) และสีขาวคือ (1,1,1) หรือ (255,255,255) การแสดงค่าสีจะแสดงด้วย โมเดลลูกบาศก์ ตามภาพประกอบ 14 สำหรับภาพที่มีความเข้มของสี (Bit Depth) จำนวน 24 บิต จำนวนของสีในภาพสีคือ $(2^b)^3$ จำนวนสีทั้งหมดที่มีได้คือ 16,777,216 ตามภาพประกอบ 15



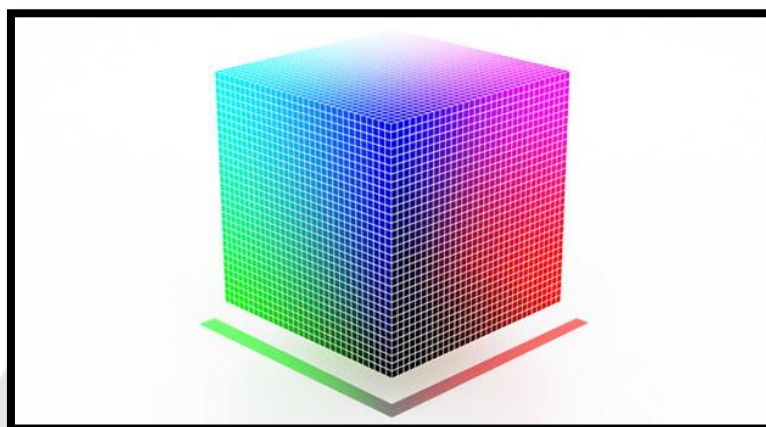
ภาพประกอบ 13 แสดงการผสมสีของระบบสี RGB



ภาพประกอบ 14 แสดงโมเดลลูกบาศก์ระบบสี RGB

สีประจำพิกัด

(0,0,0) สีดำ , (0,0,1) สีน้ำเงิน , (0,1,0) สีเขียว , (0,1,1) สีฟ้า
 (1,0,1) สีม่วง , (1,1,0) สีเหลือง , (1,1,1) สีขาว , (1,0,0) สีแดง



ภาพประกอบ 15 แสดงระบบสี RGB ขนาด 24 บิต

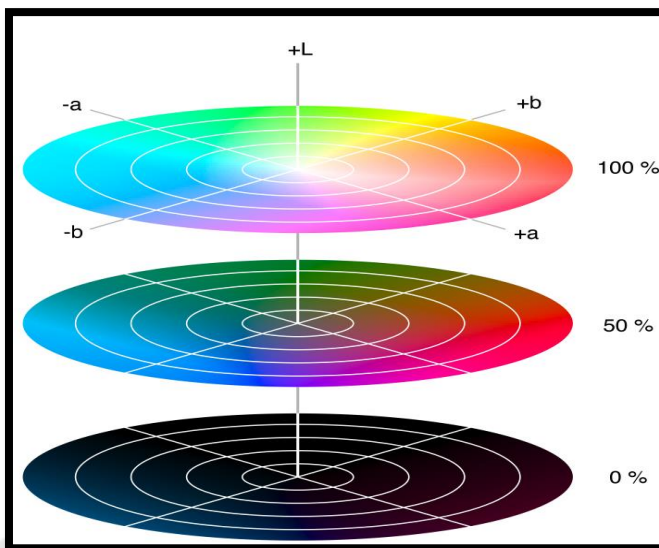
2.9 ระบบสี L*a*b*

ระบบสี L*a*b* [17] แสดงตามภาพประกอบ 15 โดยมีความหมายของแต่ละตัวอักษรดังนี้

มิติ L คือ ความสว่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 โดยค่า 0 แสดงด้วยสีดำ และ 100 แสดงด้วยสีขาว ช่วงสีของมิติ a และ b ขึ้นอยู่กับสูตรในการคำนวณ

มิติ a แสดงด้วยสีเขียวสำหรับค่าลบ ถึงสีแดงสำหรับค่าบวก

มิติ b แสดงด้วยสีฟ้า สำหรับค่าลบ ถึงสีเหลืองสำหรับค่าบวก



ภาพประกอบ 16 แสดงระบบสี $L^*a^*b^*$

2.10 การวิเคราะห์และหาโครงสร้างของภาพ

กระบวนการวิเคราะห์และหาโครงสร้างของภาพ หรือกระบวนการ “มอร์โฟโลยี” (Morphology) [20, 21] เป็นส่วนจัดการเกี่ยวกับรูปร่างและโครงสร้างของสัตว์และพืช โดยเราจะใช้กระบวนการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Morphology) ในทางการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อแยกองค์ประกอบของภาพที่จำเป็นเพื่อใช้แทน (Representation) รวมถึงการอธิบาย (Description) รูปร่างของบริเวณ (Region Shape) ตัวอย่างขององค์ประกอบของภาพ เช่น เส้นขอบเขต (Boundary) เส้นโครง (Skeleton) และ พื้นผิวที่นูน (Convex Hull) เป็นต้น อีกทั้งใช้ในการปรับปรุงภาพ ส่วนใหญ่จะใช้กับภาพไบนารี (Binary Image) แต่ก็สามารถนำไปใช้กับภาพระดับสีเทาหรือภาพเกรย์สเกล (Gray Scale Image)

2.10.1 ทฤษฎีเซตเบื้องต้น

กำหนดให้ Z เป็นเซตของจำนวนเต็ม เราจะได้ว่า Z^2 คือ คาร์ทีเซียนของ Z ซึ่งจะได้ค่าที่อยู่ในภาพของ (x, y) ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่ง (x, y) ในภาพประกอบ 17 โดยที่ฟังก์ชัน $f(x, y)$ คือค่าความเข้มที่ตำแหน่ง (x, y) โดยกำหนดให้ A เป็นเซตใน Z^2 และ w คือจุด (x, y) ในภาพ ซึ่งเป็นสมาชิกของ A ซึ่งเราจะเขียนได้ว่า $w \in A$ และในทางตรงกันข้ามนั้น ถ้า w ไม่ได้เป็นสมาชิกของ A แล้ว เราก็สามารถเขียนได้ว่า $w \notin A$

$A^c = \{w | w \notin A\}$ คือ w ซึ่งหมายถึงจุด (x, y) ทั้งหมดที่ไม่ใช่สมาชิกของเซต A

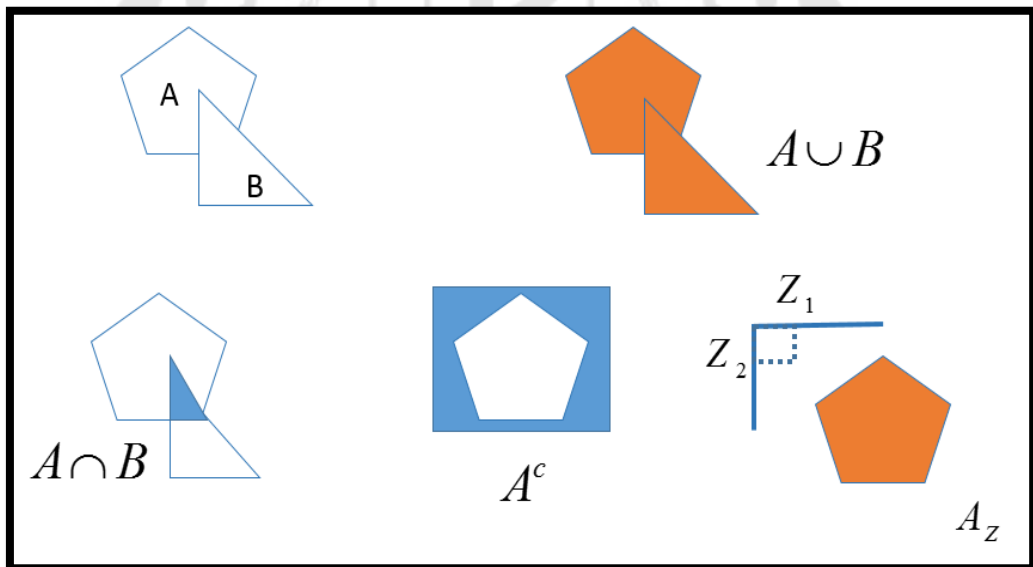
$C = A \cup B$ คือ สมาชิกที่อยู่ในเซต A หรืออยู่ในเซต B หรือทั้งคู่ก็ได้

$C = A \cap B$ คือ สมาชิกที่อยู่ในเซต A และ B เท่านั้น

$A - B = \{w | w \in A, w \notin B\}$ คือ จุด (x, y) เป็นสมาชิกของเซต A และต้องไม่ได้เป็นสมาชิกของเซต B

$\hat{A} = \{w | w = -b, \text{ for } b \in B\}$ คือ จุด (x, y) ถูกกำหนดให้เป็นค่าที่มีเครื่องหมายตรงข้าม ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นลักษณะตรงข้ามกัน

$(A)_z = \{c | c = a + z, \text{ for } a \in A\}$, กำหนดให้ $z = (z_1, z_2)$ คือ การเพิ่มค่าของทุกๆ สมาชิกในเซต A อีก Z ซึ่งจะมีผลให้ภาพมีการเลื่อนออกไปอีก Z ในแกนภาพ x และแกนภาพ y



ภาพประกอบ 17 คำสั่งเกี่ยวกับเซต

2.10.2 ภาพไบนารีและตัวดำเนินการตรรกะ

ลักษณะภาพถ่ายไบนารี (binary image) คือ ภาพที่แต่ละพิกัด (x, y) มีค่าความเข้มเป็น 1 หรือ 0 เท่านั้น ถ้าจะให้เห็นภาพคือ ภาพถ่ายที่มีลักษณะโทนสีขาวและสีดำ ซึ่ง

เปรียบเทียบได้กับค่าตรรกะ “จริง” หรือ “เท็จ” ในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถ้าเราแสดงภาพที่มีค่าความเข้มเท่ากับ 0 ในทุกพิกัด (x, y) ภาพนั้นจะเป็นสีดำทั้งหมด ดังนั้น เราจึงสามารถนำตัวดำเนินการตรรกะมาใช้ในการประมวลผลภาพไบนารีได้ กำหนดให้ A,B,C คือ ภาพไบนารี ดังสมการ 2 ถ้าความเข้มเป็น 1 เมื่อ (x, y) มีค่าเท่ากับ 1 หรือถ้าทั้งสองก็ให้มีค่าเท่ากับ 1 ในอีกกรณี ถ้าเป็นนอกเหนือจากเงื่อนไขดังกล่าว ให้ค่า (x, y) มีค่าเท่ากับ 0 และตาราง 3

$$C(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if either } A(x, y) \text{ is 1, or if both are 1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

..... (2)

ตาราง 3 แสดงผลตรรกะและนิพจน์ของ MATLAB

ตัวดำเนินการตรรกะ	นิพจน์ทาง MATLAB	ชื่อ
$A \cap B$	$A \& B$	AND
$A \cup B$	$A B$	OR
A^c	$\sim A$	NOT
$A - B$	$A \& \sim B$	DIFFERENCE

2.10.3 เอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง (Structural Element)

เอลิเมนต์เชิงโครงสร้างเปรียบได้กับแกนกลาง (Kernel) ในการทำฟิลเตอร์ หมายถึง เมทริกซ์ที่ประกอบไปด้วย 1 และ 0 ประกอบเป็นรูปร่าง เช่น แบบเชิงเส้น (linear structure) หรือแบบไม่เชิงเส้น (non-linear structure)

คำสั่ง $\text{fliplr}(a)$ คือ การพลิกเมทริกซ์สลับซ้ายกับขวา

คำสั่ง $\text{flipud}(a)$ คือ การพลิกเมทริกซ์สลับบนกับล่าง

การสะท้อน คือ การใช้คำสั่ง $\text{fliplr}(a)$ และ $\text{flipud}(a)$

นอกเหนือจากคำสั่งเหล่านี้ เราสามารถสร้างเอลิเมนต์เชิงโครงสร้างได้จากคำสั่ง

โดยที่ $A = \text{set of (shape, parameters)}$

shape คือ รูปทรงต่างๆ เช่น 'diamond', 'disk', 'line'

parameters คือ ขนาดของเอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของเอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง

2.10.4 การกร่อน (Erosion)

การกร่อน (Erosion) [21] คือ การทำให้วัตถุในรูปไบนารีมีลักษณะที่บางลง ซึ่งขึ้นอยู่กับเอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง B เราสามารถอธิบายได้ดังสมการ 3

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap A^c \neq \emptyset\}$$

..... (3)

จากสมการจะเห็นว่า เอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง B จะทำการแทนที่ (Translation) ด้วยค่า z ซึ่งจะต้องไม่มีส่วนใดคาบเกี่ยวระหว่างภาพ A ขดเซย (Compliment) กับ B หากจะเปรียบเทียบก็คือ การเขื่อนพื้นที่ของ A ด้วย เอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง B นั้นเอง

โดยที่ C และ A คือภาพไบนารี B คือ เอลิเมนต์เชิงโครงสร้างที่มีค่าของ 0 และ 1

2.11.5 Opening และ Closing

Opening คือ การทำการกร่อน แล้วตามด้วยการเปลี่ยนขนาด โดยสามารถอธิบายตามสมการ 4

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

..... (4)

การทำการกร่อน คือ การทำให้วัตถุในภาพที่มีขนาดเล็กกว่า เอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง ถูกลบออกไปหรือวัตถุมีขนาดใหญ่กว่า เอลิเมนต์เชิงโครงสร้าง จะมีขนาดเล็กลง แต่ถ้าทำการเปลี่ยนขนาด แล้ว วัตถุที่มีขนาดเล็กก็จะถูกทำให้หนาขึ้น ส่วนวัตถุที่ถูกลบไปแล้วจะไม่สามารถทำให้หนาขึ้นได้

Closing คือ การเปลี่ยนขนาดแล้วตามด้วยการกร่อน สามารถอธิบายได้ดัง

สมการ 5

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

..... (5)

การทำการเปลี่ยนขนาด คือ การทำให้วัตถุในภาพมีความหนามากขึ้นแล้วทำการกร่อนส่วนที่หนาขึ้นหลายๆ ส่วนก็จะบางลงสู่ภาพเดิม แต่ในกรณีที่การทำ การเปลี่ยนขนาดทำให้ช่องว่างหนาจนเต็ม นั่น การทำการกร่อนจะไม่สามารถทำให้กลับมาเป็นช่องได้อีก อาจจะมีบางส่วนที่ไม่สามารถทำให้บางลงเช่นกัน

2.11 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

การแบ่งส่วนภาพ [19] เป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนการวิเคราะห์ภาพ การแบ่งส่วนภาพทำการแบ่งภาพออกตามองค์ประกอบหรือวัตถุที่อยู่ในภาพ ระดับของการแบ่งมักขึ้นอยู่กับปัญหาที่ศึกษา นั่นคือ การแบ่งส่วนภาพควรหยุดเมื่อวัตถุที่เราสนใจในการประยุกต์ใช้งานได้ถูกแยกออกมา ตัวอย่างเช่น ในระบบค้นหาเป้าหมายจากอากาศสู่ภาคพื้นดิน เราสนใจเส้นถนนเพื่อระบุถึงยานพาหนะที่อยู่บนถนน ขั้นตอนแรกจึงเป็นการแยกส่วนที่เป็นถนน จากนั้นแยกวัตถุขนาดต่างๆ ในถนน ที่อาจเป็นยานพาหนะ จึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการแยกส่วนย่อยเลยจากจุดนี้ไปรวมทั้งไม่มีความจำเป็นต้องทำการแยกส่วนนอกขอบเขตของถนน

อัลกอริทึมการแบ่งส่วนภาพสำหรับภาพขาวดำโดยทั่วไปแล้วมักใช้คุณสมบัติสองประการของค่าระดับเทาได้แก่ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) และความเหมือนกัน (Similarity) ในกลุ่มแรก ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มภาพตามเปลี่ยนแปลงทันทีที่ทันใดของระดับเทาโดยใช้การตรวจหาจุด เส้น และขอบในภาพ ในกลุ่มที่สองทำการแบ่งกลุ่มภาพโดยใช้การตั้งระดับกั้น (Threshold) การโตขึ้นของบริเวณ (Region Growing) และการแยกและการรวมของบริเวณ (Region Splitting and Merging) แนวคิดของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ความไม่ต่อเนื่องและความเหมือนกันของค่าระดับเทาถูกนำไปใช้ได้ทั้งภาพนิ่ง (Static) และภาพเคลื่อนไหว (Dynamic) สำหรับกรณีหลังการเคลื่อนไหว (Motion) ถูกนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการแบ่งส่วนภาพ

2.11.1 วิธีการหาค่าระดับกั้นของ OTSU

วิธีการหาค่าที่ระดับกั้นของ OTSU [18] ถูกคิดค้นโดย Nobuyuki Otsu โดยเป็นการจำลองภาพวัตถุและพื้นหลังอยู่ในระดับขั้นที่แตกต่างกัน ทั้งสองกลุ่มถูกแบ่งออกจากกันด้วยค่าระดับกั้น กำหนดให้กลุ่ม C_0 มีระดับค่าความเข้มตั้งแต่ 1 ถึง t หรือเขียนในรูปเซต

$C1 = \{t+1, \dots, t\}$ และกลุ่ม C1 มีระดับค่าความเข้มตั้งแต่ $t+1$ ถึง L หรือเขียนในรูปเซต $C1 = \{t+1, \dots, L\}$ โดยที่ t คือ ค่าระดับกัน และ L คือ ระดับค่าความเข้มสูงสุด (โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 256) กลุ่ม C0 และ C1 จะมีการกำหนดให้เป็นส่วนของวัตถุหรือพื้นหลังก็ได้ สำหรับค่าระดับกันที่เลือกเราสามารถคำนวณค่าความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มได้ ซึ่งในค่าระดับกันที่เหมาะสมตามวิธีของ OTSU คือ ค่าระดับกันที่ t ส่งผลทำให้ค่าความแปรปรวนรวมมีค่าต่ำสุด ความหมายของค่าความแปรปรวนรวม คือ ผลรวมน้ำหนักของค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม ซึ่งหาได้จากสมการ 6 โดยตัวแปร q_1, q_2 คือ ภาพถ่าย ส่วนตัวแปร σ_1^2, σ_2^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sigma_w^2 = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t) \quad \dots\dots (6)$$

โดยที่ $\sigma_1^2(t)$ คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่ม C0 และหาได้จากสมการ 7 โดยตัวแปร μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของความสว่าง

$$\sigma_1^2(t) = \frac{\sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 P(i)}{q_1(t)} \quad \dots\dots (7)$$

และ $\sigma_2^2(t)$ คือ ค่าแปรปรวนของกลุ่ม C1 และหาได้จากสมการ 8

$$\sigma_2^2(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^L [i - \mu_2(t)]^2 P(i)}{q_2(t)} \quad \dots\dots (8)$$

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \quad \text{และ} \quad q_2(t) = \sum_{i=t+1}^L P(i) \quad \dots\dots (9)$$

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^t iP(i)}{q_1(t)} \quad \text{และ} \quad \mu_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^L iP(i)}{q_2(t)} \quad \dots\dots (10)$$

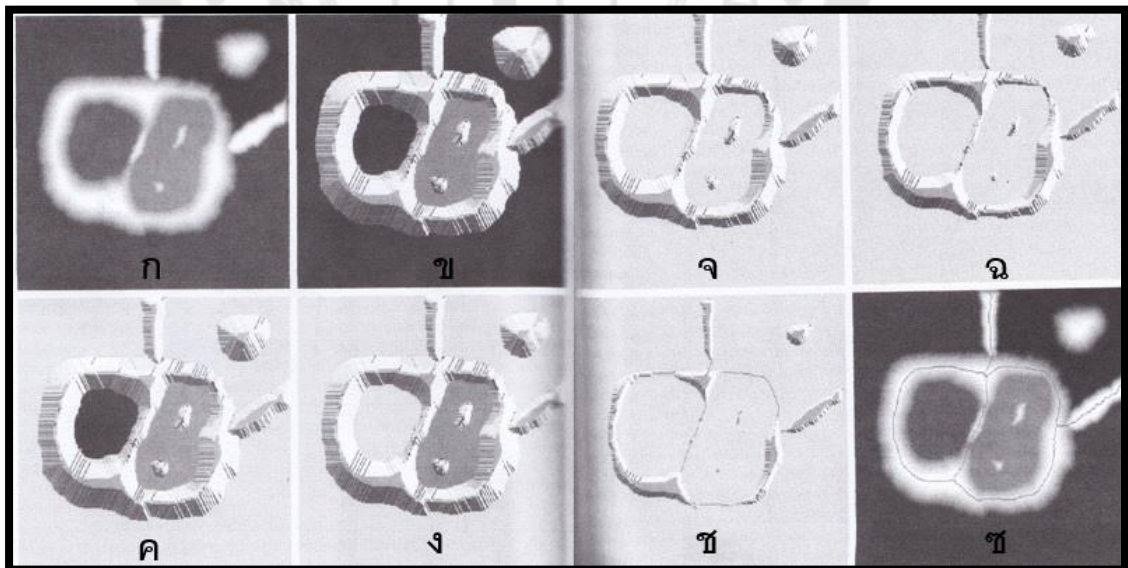
สมการที่ 11 หมายถึง ความน่าจะเป็นของฮิสโตแกรมที่มีระดับความเข้ม $i = 1, \dots, L$

$$P(i) = \frac{\text{number}\{(r,c)|\text{image}(r,c)=i\}}{R \times C} \quad \dots\dots (11)$$

สำหรับค่า r และ c หมายถึง ค่าประจำตำแหน่งแถวและประจำตำแหน่งหลักในภาพ (ตามลำดับ) ส่วน R และ C คือ จำนวนของแถวและหลักของภาพตามลำดับวิธีการหาระดับกันของ OTSU จะเป็นการหาค่าแปรปรวนรวม σ_w^2 สำหรับทุกค่า t โดยสำหรับค่าความเหมาะสมระดับกันจะเป็นไปตามวิธีนี้คือ t ที่ทำให้ σ_w^2 ซึ่งจะมีค่าน้อยสุด

2.11.2 วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

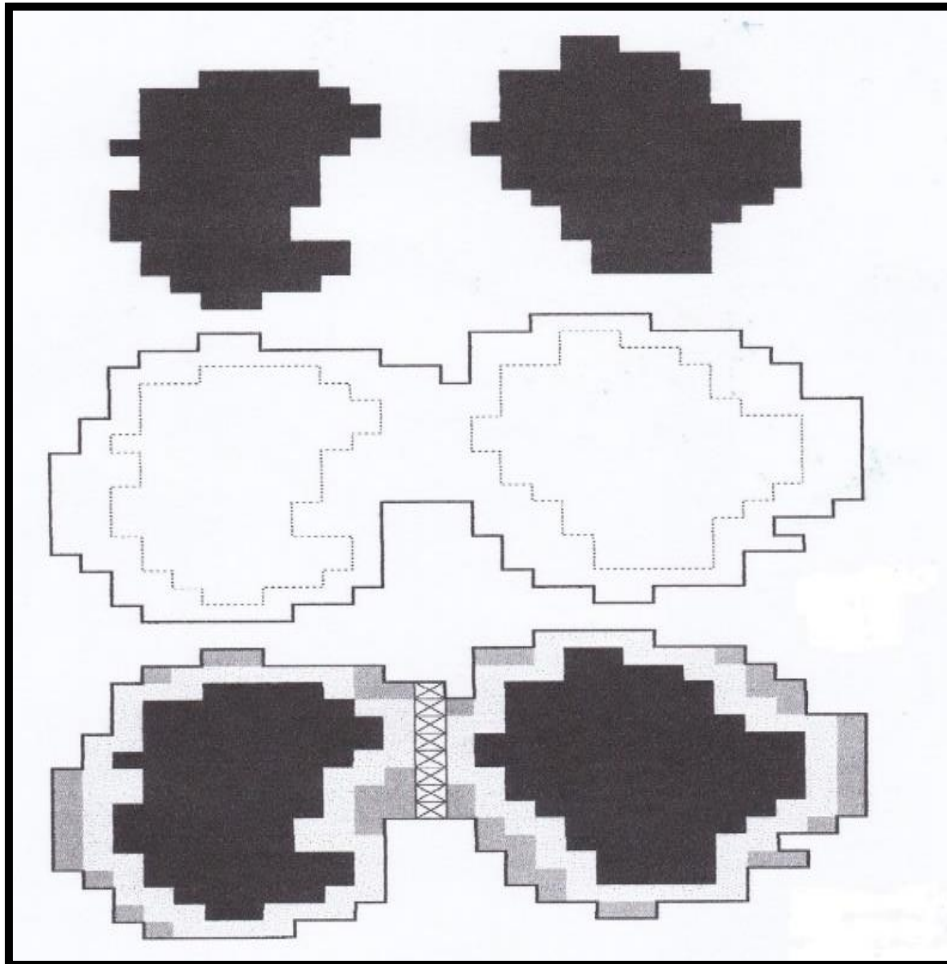
คือ กระบวนการที่ใช้หลักแนวสันปันน้ำ [16] ที่แยกอ่างน้ำสองแห่งออกจากกัน โดยหลักการดังกล่าวจะใช้ร่วมกับภาพระดับเทาโดยจะแยกวัตถุสองวัตถุออกจากกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เราจะเห็นเฉพาะขอบของอ่างเก็บน้ำ จากภาพดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเราจะกำหนดจุดปล่อยน้ำให้เข้าไหลเข้ามาในที่ราบลุ่ม ที่ราบลุ่มในที่นี้คือจุดที่มีค่าความเข้มน้อย น้ำจะเพียงระดับขึ้นมาเรื่อยๆจนสูงถึงขอบ ก็จะหยุดไหล เราจึงสามารถเห็นขอบของอ่างน้ำ หากเปรียบเทียบก็คือ เราก็จะเห็นขอบของระหว่างภาพสองภาพนั่นเอง



ภาพประกอบ 18 แสดงวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

หากจะอธิบายตามภาพประกอบ 16 (ก) คือ ภาพต้นฉบับที่จะนำมาใช้วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ ในกระบวนการต่อมาภาพประกอบ 16 (ข) คือ Gonzalez, R. C. ได้แสดงวิธีการให้สามารถเห็นภาพของกระบวนการดังกล่าว จึงสมมติให้ภาพเป็นรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้ได้เห็นภาพอย่างชัดเจน โดยที่พื้นผิวสีดำ บิต 0 มีค่าน้อยสุด และพื้นผิวสีขาว บิต 1 มีค่ามากที่สุด เราจึงเห็นได้ว่าจะมีพื้นผิว 2 แบบ ซึ่งเราจะเจาะรูในพื้นที่ที่มีค่าน้อยสุดให้น้ำเอ่อเข้ามาโดยจุดแรกที่สังเกตเห็นได้ว่าเป็นรูที่พื้นผิวรอบนอกจะเริ่มท่วมก่อนเนื่องจากมีพื้นผิวกว้าง ลำดับถัดมาในภาพประกอบ 16 (ค) น้ำเข้าท่วมเต็มพื้นที่รอบนอกเป็นลำดับแรกลำดับต่อมาพื้นที่ชั้นในด้านซ้ายของภาพดังกล่าวเริ่มมีปริมาณน้ำท่วมเป็นลำดับต่อไป ในภาพประกอบ 16 (ง) พื้นที่ชั้นในด้านซ้ายปริมาณน้ำเริ่มท่วมจนพื้นผิวเปลี่ยนเป็นสีขาว ต่อมาพื้นที่ชั้นในด้านขวาเริ่มมีปริมาณน้ำเข้าท่วม ภาพประกอบ 16 (จ) ภาพประกอบ 16 (ฉ) ปริมาณน้ำเริ่มเข้าท่วมในทุกพื้นที่จะสังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่เปลี่ยนจากสีดำเป็นสีขาวโดยทั่ว ภาพประกอบ 16 (ช) ปริมาณน้ำเริ่มเพิ่มขึ้น จะสังเกตเห็นได้ว่า ตรงบริเวณขอบของพื้นที่ชั้นในด้านขวาเริ่มมีปริมาณน้ำปริ่มแล้ว ซึ่งวิธีการบริเวณลุ่มน้ำจะทำการสร้างพิกเซลขนาด 1 หน่วย (single pixel) เพื่อสร้างเขื่อน (dam) ขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นจนข้ามมายังอีกฝั่ง ภาพประกอบ 16 (ซ) เราจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำได้เข้าเต็มทุกพื้นที่ มีการสร้างเขื่อนเพื่อป้องกันน้ำล้น ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าเราเริ่มจะเห็นเส้นขอบของแอ่งน้ำแล้ว จนกระทั่งภาพประกอบ 16 (ด) จะเหลือเพียงเส้นขอบเท่านั้น โดย Gonzalez, R. C. ได้นำเอาภาพต้นฉบับมาเทียบเพื่อให้เราสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

2.11.3 กระบวนการสร้างเขื่อน หรือ พิกเซลขนาด 1 หน่วย



ภาพประกอบ 19 แสดงการสร้างเขื่อน

สำหรับการสร้างเขื่อน หรือขนาด 1 หน่วย เพื่อป้องกันน้ำล้นข้ามฝั่งดังภาพประกอบ 19 เราจะกำหนดให้ พื้นที่ด้านซ้ายและด้านขวา ว่า M_1 (พื้นที่ด้านซ้าย) และ M_2 (พื้นที่ด้านขวา) โดยพื้นที่ที่น้ำท่วมเราจะกำหนดให้เป็น $n-1$ ซึ่งพื้นที่น้ำท่วม M_1 เราจะเขียนได้ว่า $C_{n-1}(M_1)$ และ พื้นที่น้ำท่วม M_2 เราจะเขียนได้ว่า $C_{n-1}(M_2)$ พื้นที่น้ำท่วมแสดงในภาพประกอบ 18 การสร้างเขื่อนขนาด 1 หน่วย ในการกันพื้นที่ M_1 และ M_2 นั้น จะมีเงื่อนไขในการสร้างดังนี้ การสร้างจะไม่สามารถสร้างเกินพื้นที่ในภาพประกอบ 19 ไม่สามารถสร้างให้พื้นที่ M_1 และ M_2 เชื่อมต่อกัน ถ้าสองพื้นที่ M_1 และ M_2 จะเชื่อมต่อกันให้สร้างเขื่อนกัน ภาพประกอบ 19 พื้นที่สีเทา

คือการสร้างเขื่อนขนาด 1 หน่วย ในครั้งที่ 1 ถัดมา พื้นที่สีดำ คือการสร้างเขื่อนขนาด 1 หน่วย ในครั้งที่ 2 ซึ่งการสร้างครั้งที่ 2 จะต้องไม่เกินพื้นที่ M_1 และ M_2 จะสังเกตเห็นได้ว่า ในครั้งที่ 2 จะมีบางส่วนของเขื่อนหายไปเนื่องจากว่า ถ้าเกินพื้นที่เขื่อนขนาด 1 หน่วย จะถูกลบออกไป เราจึงเห็นพื้นที่บางพื้นที่ขาดหายไป เมื่อการสร้างครั้งที่ 2 ในพื้นที่ระหว่าง M_1 และ M_2 จะเชื่อมต่อกัน จะมีการสร้าง "Dam point" (จุดทำนบ) ขึ้นมากระหว่างกัน โดยเราจะใช้ค่าที่น้อย (min) เท่ากับค่าจำนวนที่น้อยที่สุด (minimum) และค่ามาก (max) เท่ากับค่ามากที่สุด (maximum) ซึ่งเป็นค่า $g(x, y)$ ทำยุดค่า $T[n]$ จะอธิบายระยะพิกัด (s, t) เมื่อ $g(s, t) < n$

$$T[n] = \{(s, t) | g(s, t) < n\} \quad \dots\dots (12)$$

เมื่อ $T[n]$ = ค่าที่ของจุด $g(x, y)$ เมื่อค่าที่อยู่ใต้ $g(x, y) = n$

ค่าน้อย, ค่ามาก = ระดับความเข้มสีเทา

n = ปริมาณน้ำที่ท่วมตั้งแต่ $\min+1$ ถึง $\max+1$

$C_n(M_i)$ เป็นจุดของราบลุ่มของอ่างเก็บน้ำ กับค่า M_i คือพื้นที่น้ำท่วม สมการ 13

$$C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n] \quad \dots\dots (13)$$

อัลกอริทึม (Algorithm) ที่ช่วยทำให้น้ำท่วมถึงระดับ $C_n(M_i)$ และ $T[n]$ ซึ่งอัตราจะคงที่ หรือเพิ่มขึ้นขึ้นกับ $C[\min+1] = T[\min+1]$ และในขั้นตอน $C[n-1]$ เป็นขั้นตอนการสร้าง ส่วนประกอบที่เชื่อมต่อไปใน $T[n]$ และส่วนที่เชื่อมต่อ $g \in Q[n]$

1. $g \cap C[n-1]$ คือ วางเปล่า
2. $g \cap C[n-1]$ ส่วนประกอบไปด้วย component ที่เชื่อมต่อกับ $C[n-1]$
3. $g \cap C[n-1]$ ส่วนประกอบที่มีมากกว่า component ที่เชื่อมต่อกับ $C[n-1]$

2.12 การทำฮิสโตแกรมให้เท่ากัน (Histogram Equalization)

2.12.1 ฮิสโตแกรม (Histogram)

คือ ฮิสโตแกรม [22] ของภาพกล่าว คือ แทนความถี่สัมพัทธ์ของการเกิดของ แต่ละระดับเทาในภาพที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ดังนั้นลักษณะของฮิสโตแกรมที่ไม่เหมือนกัน ภาพประกอบ 20 แสดงฮิสโตแกรมโทนสีออกมืด แสดงฮิสโตแกรมโทนสีสว่าง รวมถึงแสดง

ฮิสโตแกรม ที่มีคอนทราสต์ต่ำโทนของภาพจะมีสีเทา และ แสดงฮิสโตแกรม ที่มีคอนทราสต์สูง ฮิสโตแกรมจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงของระดับเทา

2.12.2 การทำฮิสโตแกรมให้เท่ากัน

คือ เทคนิคการปรับปรุงความเข้มของภาพเพื่อเพิ่มความคมชัดมากขึ้น การใช้การทำฮิสโตแกรมให้เท่ากัน จะพยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่ปกติให้เป็นแบบปกติ และปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้าให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ให้ตัวแปร r แทนระดับเทาในภาพที่ต้องการปรับปรุงโดยที่ r ถูกนอร์มอลไลซ์ให้อยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยที่ $r = 0$ แทนสีดำ $r = 1$ แทนสีขาว เราต้องพิจารณาการแปลงที่อยู่ในรูป

$$s = T(r) \quad \text{..... (14)}$$

ซึ่งทำการหาระดับของ s สำหรับทุกพิกเซลของ r ในภาพเดิม เราสมมติว่าฟังก์ชันการแปลงในสมการที่ 14 มีคุณสมบัติดังนี้

- (a) $T(r)$ เป็นฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นในลักษณะ Monotonically
- (b) $0 \leq T(r) \leq 1$ สำหรับ $0 \leq r \leq 1$

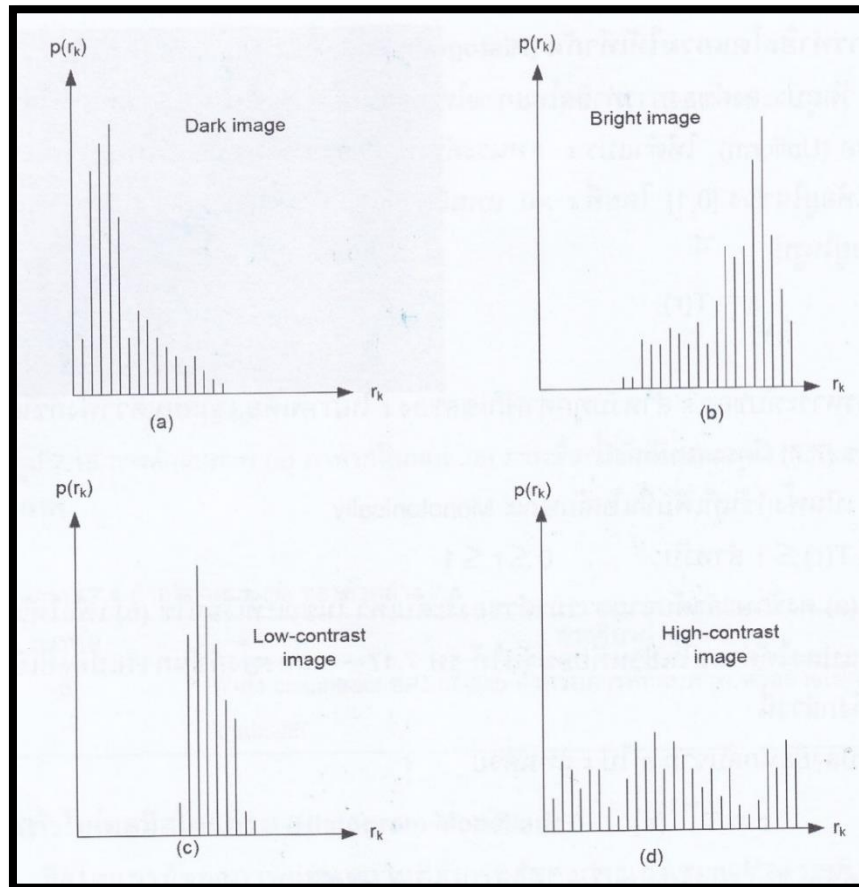
เงื่อนไข (a) คงรักษาลำดับจากขาวมาดำของระดับเทา ในขณะที่เงื่อนไข (b) เพื่อให้แน่ใจว่าผลของการแปลงได้ค่าอยู่ในย่านที่ยอมรับได้ แสดงฟังก์ชันการแปลงที่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวนี้

การแปลงย้อนกลับจาก s ไป r แทนด้วย

$$r = T^{-1}(s) \quad 0 \leq s \leq 1 \quad \text{(15)}$$

โดยที่ฟังก์ชัน T^{-1} เป็นไปตามเงื่อนไข (a) และ (b) เช่นกัน

ภาพระดับเทาจะถูกมองว่าเป็นตัวแปรแรนดอม ที่มีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ ถ้าเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่องแล้วระดับเทาในภาพเดิมและภาพที่แปลงได้สามารถแทนด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) $P_r(r)$ และ $P_s(s)$ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 20 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

จากทฤษฎีเราจะทราบค่า $P_r(r)$ และ $T(r)$ และ T^{-1} เป็นไปตามเงื่อนไข (a) และ (b) แล้ว PDF ของระดับเทาในภาพที่แปลงได้สามารถหาได้จาก

$$P_s(s) = \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)} \quad \dots\dots (16)$$

สำหรับการปรับปรุงภาพจะทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพโดยการควบคุม PDF ของระดับเทาโดยผ่านฟังก์ชันการแปลง $T(r)$ พิจารณาฟังก์ชันการแปลง

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \quad 0 \leq r \leq 1 \quad \dots\dots (17)$$

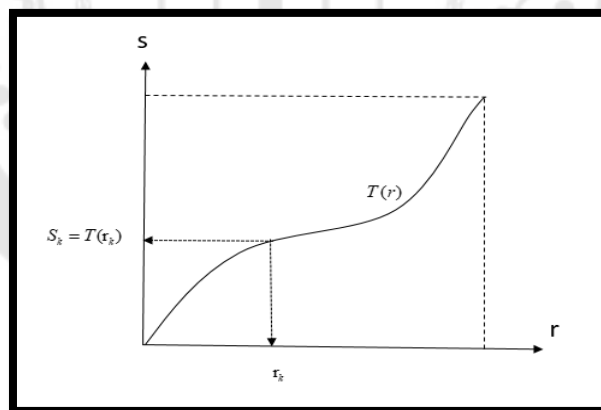
โดยที่ w เป็นตัวแปรดัมมี่ของการอินทิเกรชัน ทางขวามือของสมการที่ 17 คือฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของ r สังเกตว่าฟังก์ชัน $T(r)$ นี้เป็นไปตามเงื่อนไข (a) และ (b) เนื่องจาก CDF เป็นฟังก์ชันที่มีค่าค่อยๆ เพิ่มจาก 0 ถึง 1 แบบ Monotonically

จากสมการที่ 17 ทำการหาอนุพันธ์ของ s เทียบกับ r เราได้ว่า

$$\frac{ds}{dr} = P_r(r) \quad \text{..... (18)}$$

แทนค่า $\frac{dr}{ds}$ ลงในสมการที่ 16 ได้เป็น

$$\begin{aligned} P_s(s) &= \left[p_r(r) \frac{1}{p_r(r)} \right]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= [1]_{r=T^{-1}(s)} \\ &= 1, \quad 0 \leq s \leq 1 \end{aligned} \quad \text{..... (19)}$$

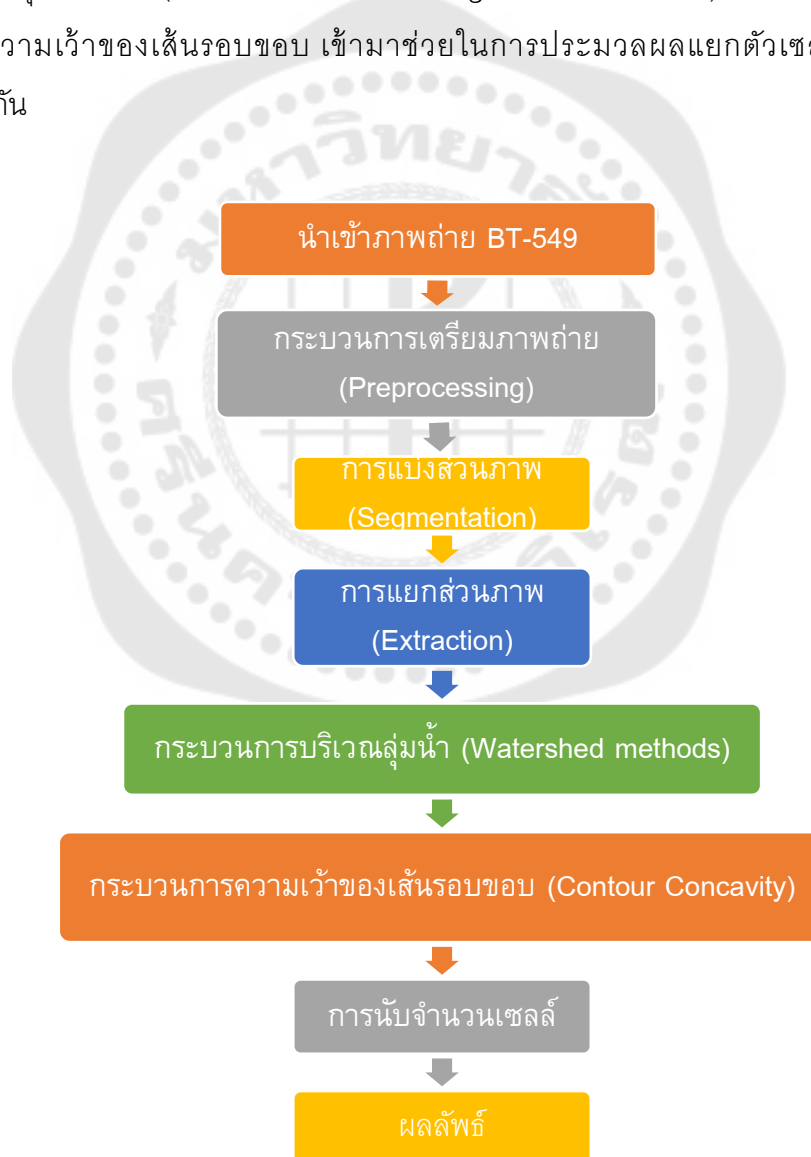


ภาพประกอบ 21 แสดงฟังก์ชันการแปลงระดับเทา

ซึ่งเป็น PDF แบบสม่ำเสมอ (Uniform) ของตัวแปร s ผลลัพธ์นี้ไม่ขึ้นกับฟังก์ชันการแปลงย้อนกลับ $T^{-1}(s)$ ซึ่งถือว่าสำคัญเนื่องจากว่าการคำนวณ $T^{-1}(s)$ ไม่ง่ายในทางปฏิบัติจากการวิเคราะห์ข้างบนนี้เราสรุปว่าถ้าฟังก์ชันการแปลง CDF ของ r ระดับเทา s ของภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ เป็นการเพิ่มย่านไดนามิกของภาพ ทำให้ภาพมีคอนทราสต์ที่ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

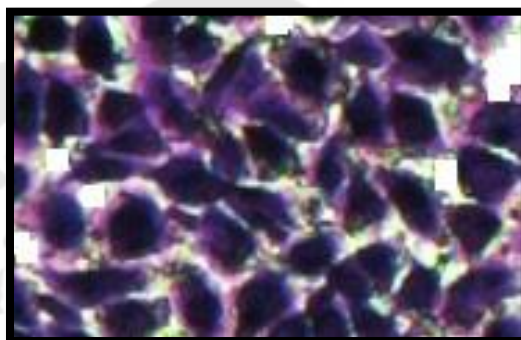
ในการแยกเซลล์ และนับจำนวนเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 ด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ ด้วยวิธีการเดิมในการนับต้องใช้มนุษย์ในการนับเซลล์ซึ่งอาจจะเกิดความผิดพลาด อีกทั้งเซลล์บางครั้งก็มีการทับซ้อนกัน จึงต้องมีการใช้ กระบวนการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล มาช่วยในการนับเพื่อลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์ ซึ่งเรานำเสนอวิธีการแบ่งออกเป็น ส่วนแบบอนุกรมต่อกัน (Serial Concatenated Segmentation Method) ระหว่างวิธีบริเวณลุ่มน้ำ และวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ เข้ามาช่วยในการประมวลผลแยกตัวเซลล์ที่ซ้อนทับกัน ออกจากกัน



ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายเซลล์

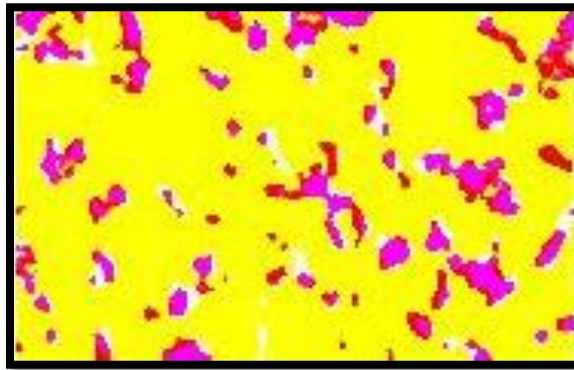
ภาพถ่ายที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพ โดยใช้เซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 จำนวน 5 ภาพ ตามภาพประกอบ 22-26 จากกล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น CX23 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ภาพถ่ายจาก รองศาสตราจารย์ชูดา จิตตสุโก คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อภาพถ่ายเซลล์มะเร็งเต้านม และใช้โปรแกรม Matlab (R2014b) ในการประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ในการประมวลผลภาพดิจิทัล หน่วยประมวลผล (CPU) Core™ i5-7500 และหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ขนาด 8 gigabyte



ภาพประกอบ 23 เซลล์มะเร็งเต้านม BT-549

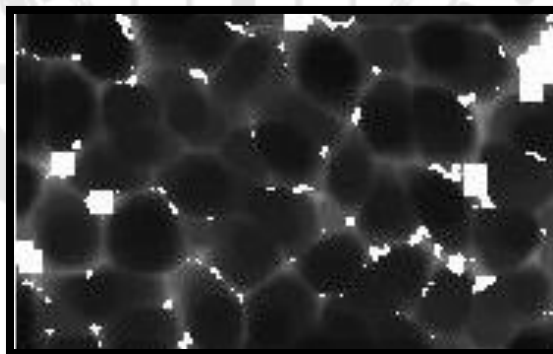
3.2 กระบวนการเตรียมภาพถ่าย (Preprocessing)

อันดับแรกเป็นการแปลงระบบภาพสี RGB เป็นระบบภาพสี $L^*a^*b^*$ วัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถเห็นกลุ่มเซลล์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งในวิธีการนี้จะใช้ค่าของแกน a และแกน b เพื่อให้สามารถเห็นขอบเขตพื้นที่ของเซลล์ รวมถึงการเชื่อมต่อดิจิทัลของเซลล์ได้อย่างชัดเจน จากภาพประกอบ 28 จะสังเกตเห็นได้ว่ากลุ่มของเซลล์ที่เราสนใจจะมีลักษณะสีชมพูปนแดง ส่วนพื้นที่ที่ไม่ใช่เซลล์จะเป็นสีเหลืองและสีขาว เป็นพื้นที่ที่เราไม่สนใจ ในกระบวนการถัดไปนั้นเราต้องแยกชั้นระหว่างเซลล์ที่สนใจและพื้นที่ที่ไม่สนใจ (สิ่งเจือปน) ออกจากกันเพื่อส่งต่อไปเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพต่อไป



ภาพประกอบ 24 แสดงกระบวนการแปลงระบบสี RGB เป็นระบบสี $L^*a^*b^*$

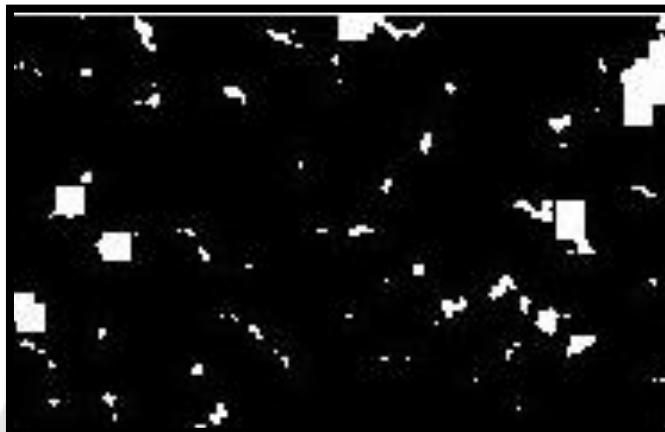
หลังจากนั้นจะทำการหาพื้นที่สูงสุดของพื้นที่ว่าง เพื่อต้องการทราบตำแหน่งของจุดที่ไม่ใช่เซลล์ที่ต้องการ โดยการเอาค่าเฉลี่ยซึ่งประกอบไปด้วยค่าสัมบูรณ์ของสูงสุดของของระบบสี $L^*a^*b^*$ ลบกับค่าเดิมของระบบสี $L^*a^*b^*$ ผลที่ได้คือภาพจุดสูงสุดของพื้นที่ว่าง ถัดไปจะดำเนินการแปลงภาพถ่ายให้เป็นภาพถ่ายระดับเทาเพื่อให้สามารถเห็นรูปร่างของเซลล์ได้อย่างชัดเจนในที่นี้กำหนดขนาดค่าพื้นที่ไว้ที่น้อยกว่า 8 ตามภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 ผลลัพธ์ค่าสัมบูรณ์

จะเห็นได้ว่าภาพยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่ นอกเหนือจากเซลล์ที่เราต้องการ จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดังกล่าวให้พร้อมใช้งานในขั้นตอนถัดไป สำหรับการปรับปรุงคุณภาพด้วยการลบสิ่งเจือปน (Noise) ออกจากภาพถ่าย และปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้นซึ่ง

จะช่วยเพิ่มวิธีการลบสิ่งเจือปน (Noise) เพื่อป้องกันการประมวลผลผิดพลาดของระบบ จึงมีความจำเป็นต้องกำจัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องในภาพออกไป ภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 กระบวนการลบสิ่งเจือปน

ในการแปลงภาพจากระบบสี RGB มาเป็นระบบเทานั้น อาจเกิดการโอเวอร์ของแสงได้ บางจุดอาจจะทำให้เซลล์นั้นเลื่อนหายไป จึงต้องมีการใส่พิวเตอร์ (กรองแสง) เพื่อไม่ให้เกิดการแปลงกลับมากว้างมากจนเซลล์ก็เลื่อนหายไปกับภาพพื้นหลังที่เป็นพื้นผิวสีขาว โดยเลือกรูปแบบเป็น 'ones'

สำหรับการลบส่วนที่เจือปน นั้น เราสามารถเลือกรูปแบบการลบได้ตามความเหมาะสมของภาพถ่ายที่เราใช้งาน หากเลือกการลบที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อภาพถ่ายของเราทำให้ส่วนที่เรามีความต้องการขาดหายไป ไม่สมบูรณ์ โดยใช้คุณลักษณะการกรองแบบ 'disk'

3.3 กระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำ

เมื่อผ่านกระบวนการเตรียมภาพถ่ายเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ ซึ่งกระบวนการบริเวณลุ่มน้ำ [15] คือ กระบวนการที่ใช้หลักแนวสันปันน้ำ ที่แยกอ่างน้ำสองแห่งออกจากกัน โดยหลักการดังกล่าวจะใช้ร่วมกับภาพระดับเทา โดยจะแยกวัตถุสองวัตถุออกจากกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เราจะเห็นเฉพาะขอบของอ่างเก็บน้ำ โดยเราจะใช้ค่าที่น้อยเท่ากับค่าจำนวนที่น้อยที่สุด และค่ามากเท่ากับค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นค่า $g(x, y)$ ทำยสุดค่า $T[n]$ จะอธิบายระยะพิกัด (s, t) เมื่อ $g(s, t) < n$

$$T[n] = \{(s, t) | g(s, t) \langle n\} \quad \dots\dots (20)$$

เมื่อ $T[n]$ = ค่าที่ของจุด $g(x, y)$ เมื่อค่าที่อยู่ใต้ $g(x, y) = n$

ค่าน้อย,ค่ามาก = ระดับความเข้มสีเทา

n = ปริมาณน้ำที่ท่วมตั้งแต่ $\min+1$ ถึง $\max+1$

$C_n(M_i)$ เป็นจุดของราบลุ่มของอ่างเก็บน้ำ กับค่า M_i คือพื้นที่น้ำท่วม

$$C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n] \quad \dots\dots (21)$$

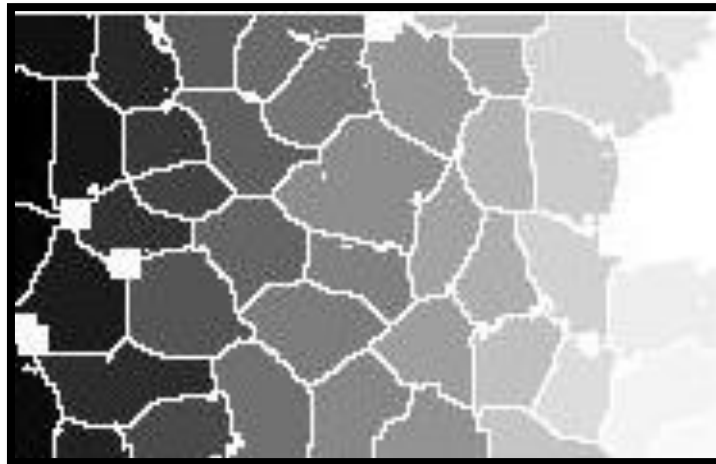
ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ช่วยทำให้ น้ำท่วมถึงระดับ $C_n(M_i)$ และ $T[n]$ ซึ่งอัตราจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นขึ้นกับ $C[\min+1] = T[\min+1]$ และในขั้นตอน $C[n-1]$ เป็นขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบที่เชื่อมต่อไปใน $T[n]$ และส่วนที่เชื่อมต่อไป $g \in Q[n]$ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. $g \cap C[n-1]$ คือ ว่างเปล่า กล่าวคือจะเกิดขึ้นเมื่อมีการควบคุมระดับต่ำสุดใหม่อีกครั้ง ในส่วนที่ g ถูกรวมไว้ใน $C[n-1]$ เพื่อใช้สร้าง $C[n]$

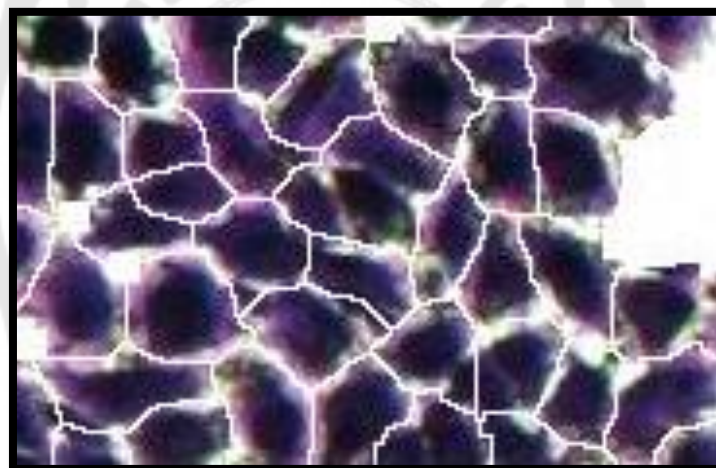
2. $g \cap C[n-1]$ ส่วนประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกับ $C[n-1]$ กล่าวคือเงื่อนไขที่สอง จะกล่าวถึงมีการสร้างผนังเชื่อมขึ้นมากันระหว่างสองเซลล์เมื่อเซลล์สองเซลล์กำลังจะเชื่อมต่อกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการล้นข้ามกัน เมื่อ g เมื่ออยู่ในอ่างน้ำระดับต่ำสุดในกรณีที่ g ถูกรวมไว้ใน $C[n-1]$ เพื่อใช้สร้าง $C[n]$

3. $g \cap C[n-1]$ ส่วนประกอบที่มีมากกว่าส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกับ $C[n-1]$ เงื่อนไขสุดท้ายจะเกิดขึ้นเมื่อทุกส่วนหรือบางส่วนของสันปันน้ำแยกอ่างเก็บน้ำไว้สองหรือมากกว่า ซึ่งระดับน้ำยังคงท่วมต่อไปจนอ่างน้ำเริ่มจะผานกันแล้ว จะมีการสร้าง g เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นระหว่างอ่างน้ำ ซึ่งเราเรียกว่า พิกเซลการสร้างทำนบ เมื่อนั้น $g \cap C[n-1]$ กับสร้างส่วนเสริมขนาด 3×3 และถูกขยายรวมกับ g อีกด้วย

เมื่อผ่านวิธีการบริเวณลุ่มน้ำเป็นที่เรียบร้อยแล้วเราจะพบว่าภาพในระดับเทาตามภาพประกอบ 27 เพื่อให้เห็นภาพอย่างชัดเจนจึงนำเอาภาพต้นฉบับตอนที่แปลงเป็นระบบสี RGB มาซ้อนเพื่อทำให้เห็นการแบ่งแยกเซลล์ด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำอย่างชัดเจน ตามภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 27 ภาพระดับเทาเมื่อผ่านวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ



ภาพประกอบ 28 ผลลัพธ์ของวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

จากนั้นระบบจะทำการนับจำนวนเซลล์ออกมา เพื่อส่งผลลัพธ์ให้ผู้ใช้งานทราบค่าจำนวนเซลล์ที่ปรากฏอยู่บนภาพถ่ายเซลล์มะเร็งเต้านมนี้ แต่ก็จะพบว่า มีบางกลุ่มเซลล์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ออกจากกันได้ ในกรณีนี้จะเห็นว่าระบบจะดึงเอากลุ่มเซลล์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ออกจากกันได้จากภาพประกอบ 29 ด้วยการใช่วิธีการฐานนิยมเข้ามาช่วย โดยมองถึงการรวมกลุ่มของเซลล์ทำให้บริเวณนั้นมีการซ้ำกันของความเข้มแสงมากกว่าจุดอื่นๆ ระบบจึงดึงเอาบริเวณดังกล่าวออกมา เพื่อนำไปเข้าวิธีการความเว้าของเส้นรอบขอบ



ภาพประกอบ 29 กลุ่มเซลล์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ออกจากกันได้

3.4 กระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ

เพื่อแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันซึ่งขึ้นอยู่กับจุดว่า วิธีการดังกล่าวจะใช้ภาพจากผลลัพธ์ของวิธีบริเวณลุ่มน้ำไม่สามารถแยกได้กระบวนการดังกล่าว โดยมีสมการ 22 ดังนี้

$$c(t) = (x(t), y(t)), t \in \{0, 1, \dots, L\} \quad \dots (22)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของเส้นรอบขอบ ของ $c(t)$, ซึ่งอาจจะมีบางส่วนที่ไม่ใช้ส่วนเว้าส่วนโค้ง จึงต้องใช้ฟูเรียร์ $a_x^{(.)}$, $a_y^{(.)}$ ใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ในการหาค่าส่วนเว้าโค้ง โดยจะมีการทดสอบค่าในหลายๆ ครั้ง เพื่อหาความเว้าโค้งของเซลล์ จากสมการ 21

$$\begin{aligned} x_s(t) &= a_x^0 + \sum_{n=1}^N a_x^{2n-1} \cos\left(\frac{2\pi nt}{L}\right) + a_x^{2n} \sin\left(\frac{2\pi nt}{L}\right) \\ y_s(t) &= a_y^0 + \sum_{n=1}^N a_y^{2n-1} \cos\left(\frac{2\pi nt}{L}\right) + a_y^{2n} \sin\left(\frac{2\pi nt}{L}\right) \quad \dots (21) \end{aligned}$$

ในส่วนของพื้นที่ที่มีการทับซ้อนกัน มีคู่ของบริเวณความเว้า เรียกว่า ส่วนเว้าจริง ตรงข้ามบริเวณเว้าเนื่องจากความผิดปกติของเส้นถูกกำหนดไม่ถูกต้องจะไม่ถูกกำหนดว่าเป็นส่วนที่มีความเว้าจริง โดยสามารถหาความเว้าได้จากสมการ 22

$$\varphi(n) = \angle P_{n1}P_{n2}P_{n3} \quad \dots\dots (22)$$

เมื่อ $P_{n1}P_{n2}P_{n3}$ เป็นจุดเริ่มต้นของส่วนเว้า โดยแบ่งเป็นมุมเว้าที่ 1 มุมเว้าที่ 2 และมุมเว้าที่ 3 โดยค่า ψ จะมีระยะ $[0, 2\pi]$ $\varphi(n)$ ซึ่งจะต้องจับคู่ที่ถูกต้อง Neves, J. C., et al. ได้นำเสนอวิธีการ n th ถึงระยะ m th ตามสมการ 23

$$\alpha(n, m) = \angle \overrightarrow{v(n)}P_{n2}P_{m2} \quad \dots\dots (23)$$

เมื่อกำหนดให้

\angle หมายถึง มุมเรเดียน

$\overrightarrow{v(n)}$ หมายถึง เวกเตอร์ของการเว้าเพื่อไว้หาได้จาก $\overrightarrow{v(n)} = \overrightarrow{P_{n1}P_{n2}} + \overrightarrow{P_{n3}P_{n2}}$ ในส่วนของพื้นที่ทับซ้อนกัน ก็คือ $\alpha(n, m)$ และ $\alpha(m, n) \approx 0$ โดยให้ A เป็นพื้นที่ความเว้า ซึ่งจะสอดคล้องกับ พื้นที่ n th จนถึง m th ซึ่งเป็นสัดส่วนของ $\alpha(n, m)$ และ $\varphi(n)$

$$M_A(n, m) = w_1 \frac{\alpha(n, m)}{\pi} + w_2 \frac{\varphi(n)}{\pi} + w_3 \frac{d_A(n, m)}{\sup(d_A)} \quad \dots\dots (24)$$

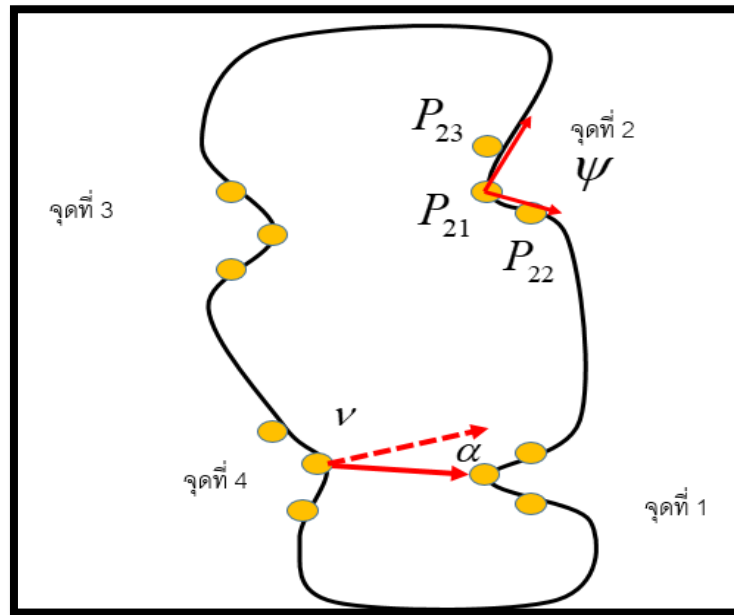
เมื่อ $M_A(n, m)$ คือ การหาค่าเหมาะสมของพื้นที่ n th จนถึง m th

และความสอดคล้องกัน

$$K_A(n, m) = \frac{M_A(n, m) + M_A(m, n)}{2} \quad \dots\dots (25)$$

เมื่อ $K_A(n, m)$ คือ ค่าเหมาะสมของพื้นที่ทั้งหมด

เมื่อ d_A คือ ระยะทางทั้งหมดระหว่างจุด A และ w



ภาพประกอบ 30 แสดงกระบวนการความเว้าของเส้นรอบขอบ

ระบบจะทำการหาความเว้าความโค้งจากกลุ่มภาพที่ไม่สามารถแยกเซลล์ได้ โดยจะสังเกตเห็นได้ว่า ระบบจะคำนวณหาความเว้าของเซลล์ เมื่อได้คำนวณได้จะทำการวงล้อมจุดบริเวณดังกล่าว เพื่อทำการแบ่งแยกเซลล์และนับจำนวนเซลล์ที่อยู่ในกลุ่มเซลล์นี้ ตามภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 ผลลัพธ์ของเซลล์ที่ทับซ้อนกันผ่านวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ

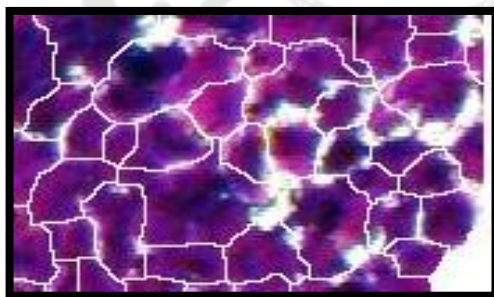

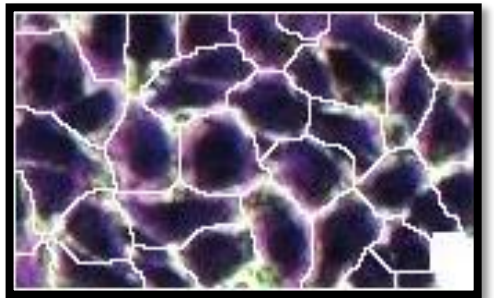

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

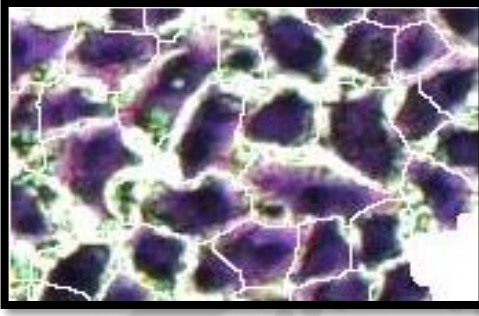

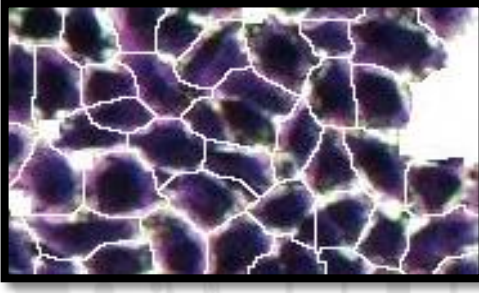
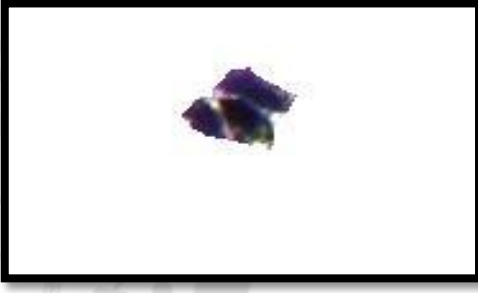
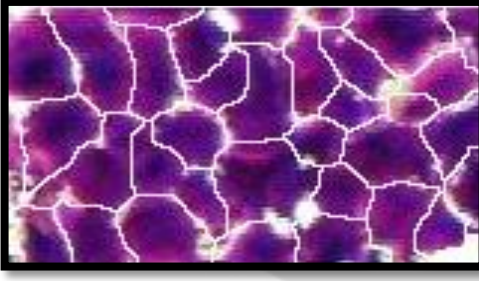

4.1 กรณีแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

จากภาพถ่ายเซลล์มะเร็งที่มีการทับซ้อนกันจำนวน 5 ภาพ เมื่อทำการทดลองด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ พบว่าสามารถแยกนับเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันได้ออกจากกันได้ ตามตาราง 4 เป็นการแสดงภาพถ่ายที่ผ่านวิธีการบริเวณลุ่มน้ำซึ่งสามารถแบ่งแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันจะสังเกตเห็นได้จากเส้นสีขาวที่ขีดแบ่งแยกระหว่างพื้นที่เซลล์ที่มีการเกาะกลุ่มกัน แต่ก็พบว่าวิธีการนี้ยังมีบางจุดที่ไม่สามารถแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันบางส่วน ผลปรากฏตามตาราง 4 แสดงถึงพื้นที่เซลล์ลักษณะเกาะกลุ่มกันที่วิธีการนี้ ยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ จึงมีความจำเป็นต้องนำวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบมาใช้แยกเซลล์ที่ยังไม่สามารถแยกเซลล์ได้สำเร็จ

ตาราง 4 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

ลำดับ	ผลลัพธ์การแยกเซลล์ด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	ภาพผลลัพธ์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ได้สำเร็จ
1		
2		

ตาราง 5 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ (ต่อ)

ลำดับ	ผลลัพธ์การแยกเซลล์ด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำ	ภาพผลลัพธ์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ได้สำเร็จ
3		
4		
5		

สำหรับการเลือกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันตามผลลัพธ์ที่ไม่สามารถแยกได้สำเร็จนั้น ใช้การกรองข้อมูลภาพโดยพิจารณาจากความเข้มแสงของจุดต่างๆ มากที่สุดในภาพผลลัพธ์ ซึ่งใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยม สำหรับการที่ความเข้มแสงกระจุกอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งในภาพมากที่สุด หมายความว่ามีการเกาะกลุ่มของเซลล์มากที่สุดบริเวณนั้น ระบบจึงเลือกกลุ่มดังกล่าวออกมาเพื่อนำไปผ่านวิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ

ตาราง 6 ผลการนับเซลล์เปรียบเทียบวิธีการนับด้วยมนุษย์และการนับจำนวนเซลล์ด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ

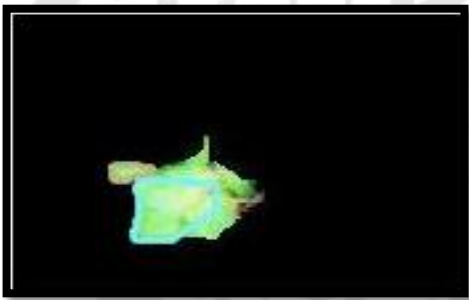
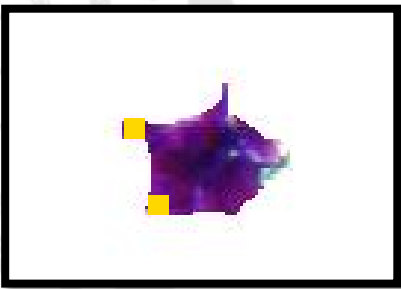




ภาพที่	นับเซลล์ด้วยมนุษย์	นับเซลล์ด้วยวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	อัตราความแม่นยำ (ร้อยละ)
1	56	51	91.07
2	36	35	97.22
3	61	60	98.36
5	48	46	95.83
5	37	38	97.3
ผลรวม			97.04


จากข้อมูลเบื้องต้นจะพบว่า เมื่อนำรูปเซลล์มะเร็งเต้านม ที่มีการทับซ้อนกันหรือเชื่อมต่อกัน มาผ่านกระบวนการวิธีแบบลุ่มน้ำ จะพบว่า ระบบสามารถที่จะแบ่งแยกและนับจำนวนเซลล์ได้ตามตารางที่ 6 ซึ่งอัตราความถูกต้องโดยเฉลี่ยของระบบอยู่ที่ร้อยละ 97.04 แต่ก็พบว่ายังคงมีบางกลุ่มเซลล์ที่มีการทับซ้อนกัน จึงต้องนำเอาวิธีการแบบเว็นเด็นรอบขอบ มาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำของระบบในการนับเซลล์

4.2 กรณีการแยกเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ

การแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยวิธีการความเฝ้าของเส้นรอบขอบ โดยนำภาพผลลัพธ์ที่ไม่สามารถแยกเซลล์ได้สำเร็จ ตามตาราง 4 มาใช้กับวิธีการความเฝ้าของเส้นรอบขอบเพื่อแยกเซลล์ที่วิธีก่อนหน้านี้ไม่สามารถแยกเซลล์ได้ ตามตาราง 6 วิธีการนี้จะทำการหาความเฝ้าของขอบเซลล์เพื่อกำหนดขอบเขตของเซลล์ เมื่อได้ความเฝ้าของเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันแล้วจะทำการสร้างเส้นล้อมวงขอบเขตของเซลล์ ทำให้สามารถเห็นจุดแบ่งแยกของเซลล์ดังกล่าว เมื่อถึงวิธีการนี้ระบบจะทำการนับจำนวนเซลล์ที่มีการเกาะกลุ่มกันอีกด้วย สังเกตได้จากจุดสีเหลืองที่ระบบทำการนับจำนวนเซลล์ภายหลังที่มีการแยกเซลล์ออกจากกันได้แล้ว

ตาราง 7 ผลลัพธ์การแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ

ลำดับ	ผลลัพธ์การแยกเซลล์ วิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ	ผลลัพธ์การนับเซลล์
1		
2		
3		

ลำดับ	ผลลัพธ์การแยกเซลล์ วิธีความเว้าของเส้นรอบขอบ	ผลลัพธ์การนับเซลล์
4		
5		

ตาราง 8 เปรียบเทียบผลการทดลองของกรนับจำนวนเซลล์ด้วยมนุษย์และวิธีการที่นำเสนอ

ลำดับ	นับเซลล์ ด้วยมนุษย์	นับเซลล์ด้วย วิธีเดิม	นับเซลล์ด้วย วิธีการ ที่นำเสนอ	อัตรา ความแม่นยำวิธีการ ที่นำเสนอ (ร้อยละ)
1	56	51	52	92.86
2	36	35	36	100
3	62	60	62	100
4	48	46	48	100
5	37	38	38	97.36
รวม				98.04

ตาราง 8 แสดงถึงผลลัพธ์ของการแบ่งแยกเซลล์มะเร็งเต้านม รหัส BT-549 ในการใช้กระบวนการวิธีแบ่งแยกเซลล์ด้วยวิธีการลุ่มน้ำ และวิธีการความเว้าเส้นรอบขอบ แล้วจึงให้ระบบทำการนับจำนวนเซลล์มะเร็งเต้านมจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ ผลปรากฏว่า ระบบสามารถแบ่งเซลล์มะเร็งได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อนำเอากระบวนการทั้ง 2 วิธีการมาผนวกกันในการช่วยในการแบ่งแยกเซลล์มะเร็ง ได้แก่วิธีการลุ่มน้ำ และวิธีการความเว้าของเส้นรอบขอบมาช่วยในการแบ่งแยกเซลล์ในพื้นที่ที่ไม่สามารถแยกจำนวนเซลล์ได้ด้วยวิธีก่อนหน้านี้ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบวิธีการแบ่งแยกเซลล์พร้อมนับจำนวนเซลล์ด้วยสายตาของมนุษย์ผลปรากฏว่ามีความถูกต้องของระบบอยู่ที่ร้อยละ 98.04



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดสอบการนับและการแบ่งแยกเซลล์โรคมะเร็งเต้านม รหัส BT-549 ที่มีการทับซ้อนหรือเชื่อมต่อกัน ด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำและวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบ เพื่อช่วยในการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนหรือการเชื่อมต่อกันรวมถึงการนับจำนวนเซลล์มะเร็ง จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งให้ความแม่นยำกว่าวิธีเดิมสูงกว่าเดิมถึงร้อยละ 2.96 ถึงร้อยละ 4.17 ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีผู้ศึกษาก่อนหน้านี้ จะพบว่ามีการศึกษาและมีการนำเสนอวิธีการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันในหลากหลายวิธี ดังนั้นเพื่อให้เห็นภาพอย่างชัดเจน จึงนำเสนอในรูปแบบตาราง 8 จะเห็นได้ว่าวิธีการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันด้วยวิธีบริเวณลุ่มน้ำ ผนวกกับวิธีความเฝ้าของเส้นรอบขอบได้ประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีก่อนหน้านี

ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการนำเสนอสำหรับกรณีการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกัน

วรรณกรรม	วรรณกรรมปี	วิธีการที่นำเสนอ	ผลความแม่นยำ (ร้อยละ)
[23]	2549	ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มแบบ Fuzzy K-Means และระบบสี่แบบ $L^*A^*B^*$	92
[24]	2554	ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มด้วยการหาค่าเฉลี่ย Fuzzy C	93
[25]	2555	วิธีการบริเวณลุ่มน้ำและวิธีการระบบสี่แบบ HSV	94.5
[26]	2556	วิธีการ Lindblad Distance	92
[27]	2556	วิธีการ Arithmetical ร่วมกับการหาความแปรปรวนแบบ OTSU	93
[5]	2558	วิธีการบริเวณลุ่มน้ำ ร่วมกับการจดจำรูปแบบของเม็ดเลือด	95.56
[8]	2560	วิธีการ circular Hough transform ผนวกกับวิธีการบริเวณลุ่มน้ำ	97.69

วรรณกรรม	วรรณกรรมปี	วิธีการที่นำเสนอ	ผลความแม่นยำ (ร้อยละ)
งานวิจัย ปัจจุบัน	2561	วิธีการบริเวณลุ่มน้ำผนวกกับ วิธีการความเว้าของเส้นรอบขอบ	98.04

5.2 ข้อเสนอแนะ

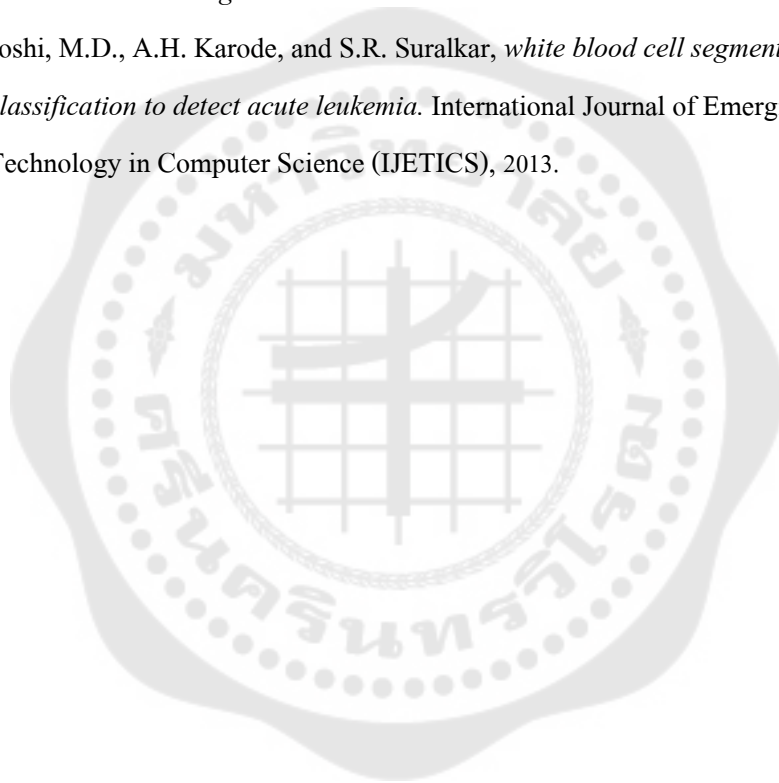
ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการศึกษาการแยกเซลล์ที่มีการทับซ้อนกันนั้น มีความสำคัญมากในการวินิจฉัยโรค ซึ่งต้องมีการนับจำนวนเซลล์ผลที่เกิดขึ้นคือ เมื่อใช้มนุษย์ในการนับเซลล์จะพบว่ามีอาการล่าช้าเนื่องจากเป็นงานที่ต้องใช้ระยะเวลา และอาจเกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการแยกเซลล์ด้วยวิธีที่หลากหลาย แต่จากการทดลองจะพบว่าในบางจุดของภาพที่มีการเกาะกลุ่มของเซลล์จริง แต่ขอบความเว้าของเซลล์ไม่ชัดเจน จึงทำให้ระบบมองไม่เห็นจุดความเว้าเพื่อจะแบ่งแยกเซลล์สองเซลล์ออกจากกัน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งสามารถที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แม่นยำ

บรรณานุกรม

1. Park, M., et al. *Automatic cell segmentation in microscopic color images using ellipse fitting and watershed*. in *IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering*. 2010.
2. Lu, J., W. Lu, and B. Lu. *Lasso-watershed algorithm used to identify individual cells undergoing autophagy in immunofluorescent microscopic images*. in *2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. 2011.
3. Savkare, S.S. and S.P. Narote. *Blood cell segmentation from microscopic blood images*. in *2015 International Conference on Information Processing (ICIP)*. 2015.
4. Ji, X., et al. *Cell image segmentation based on an improved watershed algorithm*. in *2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*. 2015.
5. Bhattacharjee, R. and L.M. Saini. *Detection of Acute Lymphoblastic Leukemia using watershed transformation technique*. in *2015 International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*. 2015.
6. Wdowiak, M., J. Slodkowska, and T. Markiewicz. *Cell segmentation in desmoglein-3 stained specimen microscopic images using GVF and watershed algorithm*. in *2016 17th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*. 2016.
7. Mouelhi, A., M. Sayadi, and F. Fnaiech. *Automatic segmentation of clustered breast cancer cells using watershed and concave vertex graph*. in *2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA)*. 2011.
8. Aparna, V., T.V. Sarath, and K.I. Ramachandran. *Simulation model for anemia detection using RBC counting algorithms and Watershed transform*. in *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*. 2017.
9. Win, K.Y. and S. Choomchuay. *Automated segmentation of cell nuclei in cytology pleural fluid images using OTSU thresholding*. in *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*. 2017.
10. AbdulraheemFadhel, M., A.J. Humaidi, and S. RazzaqOleiwi. *Image processing-based diagnosis of sickle cell anemia in erythrocytes*. in *2017 Annual Conference on New Trends in Information & Communications Technology Applications (NTICT)*. 2017.

11. Osowski, S., et al. *Feature generation for the cell image recognition of myelogenous leukemia*. in 2004 12th European Signal Processing Conference. 2004.
12. Win, K.Y. and S. Choomchuay, *features extraction from segmented cell nuclei of cytological Smear Images for Detection of Cancer Cells in Pleural Fluid* 2017.
13. Ying-Lun, F., J.C.K. Chan, and R.T. Chin, *Automated analysis of nerve-cell images using active contour models*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1996. 15(3): p. 353-368.
14. Neves, J.C., et al., *Detection and separation of overlapping cells based on contour concavity for Leishmania images*. Cytometry Part A, 2014. 85(6): p. 491-500.
15. Gonzalez, R.C., *Digital image processing*. 2nd ed., international ed., ed. R.E. Woods. 2002, Upper Saddle River, N.J.: Upper Saddle River, N.J. : Prentice-Hall.
16. โกวิท, โ., โปรแกรมการตรวจสอบบัตินิสิตโดยการประมวลผลภาพ, บ. ฌฐพล, อ. พ็ชรกรณั, and ม. อาคม, Editors. 2551, โครงงานวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ , 2551.
17. ฌัฒพันธุ์, ., การประยุกต์ใช้ *MATLAB* สำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล. 2558, นครนายก]: นครนายก : สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
18. ชูชาติ, ป., การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย *MATLAB*. พิมพ์ครั้งที่ 1.. ed, ed. ค. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551, กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
19. ชูชาติ, ป., การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย *MATLAB = Digital image processing with MATLAB*. พิมพ์ครั้งที่ 2.. ed, ed. ค. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555, กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ : บริการการเรียนการสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
20. รัชลิดา, ล., *MATLAB* การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 5.. ed. 2558, กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
21. ลัญจร, ว., *MATLAB* การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 4.. ed. 2553, กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
22. ครุณี, บ., ตำราวินิจฉัยโรคเต้านม : *Textbook of Breast Imaging*. พิมพ์ครั้งที่ 1.. ed. 2554, กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯ : ศูนย์สิริกิติ์บรมราชินีนาถ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์.
23. Scotti, F. *Robust Segmentation and Measurements Techniques of White Cells in Blood Microscope Images*. in 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. 2006.

24. Mohapatra, S., et al. *Fuzzy Based Blood Image Segmentation for Automated Leukemia Detection*. in 2011 *International Conference on Devices and Communications (ICDeCom)*. 2011.
25. Lim, H.N., M.Y. Mashor, and R. Hassan. *White blood cell segmentation for acute leukemia bone marrow images*. in 2012 *International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*. 2012.
26. Di Ruberto, C. and L. Putzu, *White Blood Cells Identification and Classification from Leukemic Blood Image*. 2013.
27. Joshi, M.D., A.H. Karode, and S.R. Suralkar, *white blood cell segmentation and classification to detect acute leukemia*. *International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Science (IJETICS)*, 2013.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธนโชติ จำนงค์สังข์
วัน เดือน ปี เกิด	24 พฤศจิกายน 2532
สถานที่เกิด	ลำปาง
วุฒิการศึกษา	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	322/2 ถ.รัตนวิเศษ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10 Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

