



การพัฒนาวิธีการวัดความคมชัดของภาพเพื่อถ่ายภาพอัตโนมัติจากกล้องจุลทรรศน์:
กรณีศึกษาจากเซลล์มะเร็งเต้านม
**Development of Autofocus Method for Automatic Microscopic Capturing:
Case Study from Breast Cancer Cells**

กสิณา อณุกุลกาญจน์

Kasina Anukunkarn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวิธีการวัดความคมชัดของภาพเพื่อถ่ายภาพอัตโนมัติจาก
กล้องจุลทรรศน์: กรณีศึกษาจากเซลล์มะเร็งเต้านม

ผู้เขียน นางสาวกสิณา อนุกุลกาญจน์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ เคารพพงศ์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมชัย หลิมศิริโรจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ เคารพพงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ป्लीมจิต บุญยพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ เกิดทองมี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ เคารพพวงส์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(นางสาว กสิณา อนุกุลกาญจน์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นางสาวกสิณา อนุกุลกาญจน์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวิธีการวัดความคมชัดของภาพเพื่อถ่ายภาพอัตโนมัติ จากกล้องจุลทรรศน์: กรณีศึกษาจากเซลล์มะเร็งเต้านม
ผู้เขียน	นางสาวกสิณา อนุกุลกาญจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวัดความคมชัดของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมเพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพอัตโนมัติจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นขึ้นใหม่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีความคมชัด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ในการวิเคราะห์และ/หรือนับจำนวนเซลล์โดยเฉพาะเซลล์มะเร็งเต้านม

โดยงานวิจัยนี้พัฒนาบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel (R) Core™ i5 CPU 3.10 GHz หน่วยความจำ 4.00 GB และใช้โปรแกรม MATLAB 7.9 (The MathWorks, Inc., Natick, MA) ในการประมวลผล ทดลองกับภาพเซลล์มะเร็งเต้านมขนาด 2880×3600 พิกเซล สำหรับกระบวนการวัดความคมชัดของภาพประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การเลือกส่วนของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมจากกำลังขยาย 400 เท่า แบ่งภาพออกเป็น 3x3 ส่วน มีพื้นที่รวมกัน 0.45x0.45 ตารางมิลลิเมตร ใช้วิธีนับจำนวนสีค่าของภาพระบบสีสามค่าว่า ส่วนใดใน 9 ส่วนมีจำนวนมากที่สุด ส่วนนั้นจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการวัดความคมชัดของภาพด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ซึ่งจะคำนวณหาค่าโพกัสจากผลรวมของสเปกตรัมกำลังเพียงบางเวกเตอร์ในภาพเท่านั้น ทำให้วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องทำทุกพิกเซลในภาพ จึงมีข้อดีคือสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดความคมชัดของภาพด้วยวิธีอื่นๆ และยังให้ภาพที่มีความคมชัด ผลการทดลองพบว่ากระบวนการที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลที่ 0.3 วินาที ต่อพื้นที่ 0.45x0.45 ตารางมิลลิเมตร ให้ความถูกต้องร้อยละ 83.33 และสามารถใช้ได้ทั้งภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั่วไปหรือมีเซลล์มะเร็งเพียงบางส่วนในภาพเท่านั้น

คำสำคัญ: วิธีการวัดความคมชัดของภาพ, เซลล์มะเร็งเต้านม, กล้องจุลทรรศน์, ฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์

Thesis Title	Development of Autofocus Method for Automatic Microscopic Capturing: Case Study from Breast Cancer Cells
Author	Miss Kasina Anukunkarn
Major Program	Computer Engineering
Academic Year	2014

ABSTRACT

This research proposes a novel method for automatic microscopic capturing by using breast cancer cells as prototypes. This method can give a quick and sharp image. It can be a useful tool for medical application to analyze and/or quantitate cells, particularly breast cancer cells.

The experiment was developed on personal computer with system specification of processor Intel (R) Core™ i5 CPU 3.10 GHz, 4.00 GB RAM, and MATLAB 7.9 software (The MathWorks, Inc., Natick, MA). The 2880x3600 pixel resolution of breast cancer cell images were used. The autofocus method consisted of two main steps. The first step was to divide the 400 X magnification image into 3x3 sub-windows with the total area of 0.45x0.45 mm². Then the sub-window with the highest number of black pixel in binary image was selected to analyze. The second step was to evaluate the sharpness of the image obtained from the first step by using FFT Vector. This method computed the focus value from summation of power spectrum at some vectors giving rise to faster processing more than other methods. It also gave a sharp image. The experiment results showed that the average time of image processing was 0.30 seconds per 0.45x0.45 mm² and the accuracy was 83.33%. This method also can be applied on dense and sparse breast cancer cell areas in the images.

Keyword: Autofocus, Breast cancer cell, Light microscope, FFT Vector

สารบัญ

บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ	(8)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการตาราง.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	9
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	9
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	10
2.1 ปฐมภูมิ.....	11
2.1.1 ระบบสี RGB	11
2.1.2 ระบบสีเทา.....	12
2.1.3 ระบบสีขาวดำ.....	12
2.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	13
2.3 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีขาวดำ.....	13
2.4 ฮิสโทแกรม (Histogram).....	14
2.5 เทคนิคคอนโวลูชัน (Convolution Technique).....	15
2.6 ค่าความคมชัดของภาพ (Focus Value).....	16
2.7 การถอดได้ไฟกัสจากการพิจารณาขอบวัตถุ	17
2.7.1 การถอดได้ไฟกัสโดยใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-order Derivative).....	17
2.7.1.1 วิธี Boddeke (BOD).....	19
2.7.1.2 วิธี Power of Gradient (POG).....	20

สารบัญ (ต่อ)

2.7.1.3	วิธี Sobel (SOB)	21
2.7.2	การออดได้โฟกัสโดยใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Second-order Derivative).....	21
2.7.2.1	วิธี Laplacian (LAP).....	22
2.7.2.2	วิธี Laplacian Variance (Lap Var).....	23
2.8	การออดได้โฟกัสจากการพิจารณาภาพในโดเมนความถี่.....	23
2.8.1	วิธีการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (FFT)	25
2.8.2	วิธีการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ 1 มิติและความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson).....	25
2.8.3	วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ (FFT Vector)	27
บทที่ 3	การออกแบบและพัฒนาระบบ.....	28
3.1	อุปกรณ์และวิธีการเก็บภาพตัวอย่าง	30
3.2	การหาระบบออดได้โฟกัสที่เหมาะสมสำหรับภาพเซลล์มะเร็งเต้านม	33
3.2.1	การทดลองหาค่าเคลดต้าที่เหมาะสมสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์.....	33
3.2.2	การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออดได้โฟกัสแบบต่างๆ	34
3.3	การทดลองเลือกบริเวณสำหรับออดได้โฟกัส	37
3.3.1	การทดลองออดได้โฟกัสของภาพในบริเวณที่ต่างๆกัน	37
3.3.2	การทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับออดได้โฟกัส.....	37
3.3.2.1	การพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมของภาพในระบบสีเทา	38
3.3.2.2	การพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมของภาพในระบบสีขาวดำ.....	40
3.4	การทดลองเพื่อปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึมเดิม	42
บทที่ 4	ผลการทดลอง	43
4.1	ข้อมูลในการทดลอง.....	43
4.2	ผลการทดลองหาค่าเคลดต้าที่เหมาะสมสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์	44
4.3	ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการออดได้โฟกัสแบบต่างๆ	49
4.3.1	ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการออดได้โฟกัสแบบต่างๆด้วยการย่อภาพ	49

สารบัญ (ต่อ)

4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆด้วยการตัดภาพ.....	54
4.4 ผลการทดลองเลือกบริเวณสำหรับอโต้โฟกัส.....	58
4.4.1 ผลการทดลองอโต้โฟกัสของภาพในบริเวณที่ต่าง ๆ กัน.....	60
4.4.2 ผลการทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับอโต้โฟกัส.....	69
4.5 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึมเดิม.....	83
4.6 ผลการทดลองเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์สำหรับภาพเซลล์ มะเร็งเต้านม.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1 สรุปผล.....	98
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	99
เอกสารอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i.....	103
ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	111

รายการภาพประกอบ

รูปที่ 1.1 ลำดับการค้นหาตำแหน่งโฟกัสของภาพด้วยวิธีของ C.-Y. Chen และคณะ	3
รูปที่ 1.2 วิธีการค้นหาตำแหน่งโฟกัสภาพวิธีของ Yu Song และคณะ	4
รูปที่ 1.3 ระบบการทำงานของวิธี Ming Yang, Li Luo	5
รูปที่ 1.4 ผลการทดลองถ่ายภาพเซลล์เลือด	5
รูปที่ 1.5 ขนาดของวัตถุที่ต่างกัน	6
รูปที่ 1.6 ผลการทดลองของวิธีเดิมและวิธีของ Ni Jun	6
รูปที่ 1.7 ผลการทดลองของวิธีการหาความคมชัดต่างๆ	7
รูปที่ 1.8 ผลการทดลองของวิธีต่างๆ และวิธีที่นำเสนอ	8
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัล	10
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพสี RGB และค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ	11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างภาพระบบสีเทาและค่าโทนสีเทาของแต่ละพิกเซล	12
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพระบบสีขาวดำและค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ	12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างภาพระบบสีเทาและกราฟฮิสโทแกรมของภาพตัวอย่าง	14
รูปที่ 2.6 ภาพที่มีลักษณะมีวัตถุในภาพมากและฮิสโทแกรมของภาพที่มีข้อมูลระดับสีเทาของ จุดภาพปรากฏอยู่ทางด้านซ้าย	15
รูปที่ 2.7 ภาพที่มีลักษณะมีวัตถุในภาพน้อยและฮิสโทแกรมของภาพที่มีข้อมูลระดับสีเทาของ จุดภาพปรากฏอยู่ทางด้านขวา	15
รูปที่ 2.8 กราฟอุดมคติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวัตถุและค่าโฟกัส	16
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของวัตถุ	17
รูปที่ 2.10 เวกเตอร์ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการประมวลผลตามวิธีการที่ 2.7.2	25
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการทดลองและผลที่ได้ในแต่ละขั้น	29
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ผ่านการย้อมสีแล้วที่อัตราขยาย 400 เท่า	30
รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eclipse 80i Advance Research Microscope	31
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงลำดับการได้มาของภาพดิจิทัล	31
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของภาพ 1 ชุดที่ประกอบไปด้วยภาพที่มีความคมชัดแตกต่างกัน	32
รูปที่ 3.6 แผนภาพกระบวนการของอัลกอริทึมวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์	34
รูปที่ 3.7 แผนภาพของการลดขนาดภาพต้นฉบับด้วยวิธีการย่อภาพและการตัดภาพ	35
รูปที่ 3.8 ภาพตัวอย่างการตัดภาพของเซลล์มะเร็งเรื้อรังที่ใช้ในการถอดโฟกัสที่บริเวณต่างๆกัน 36	

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ 3.9	แผนภาพส่วนหนึ่งของการเลือกบริเวณที่นำมาใช้ในการถอดไฟฟัศ	38
รูปที่ 3.10	ภาพที่ถูกแบ่งเป็น 3×3 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรมของแต่ละส่วน	39
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมก่อนและหลังแปลงเป็นระบบสีขาวดำ ด้วยค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน	41
รูปที่ 3.12	แผนภาพรวมของการคำนวณหาไฟฟัศด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์	42
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างภาพที่ชัดที่สุดของชุดที่ 1.1 – ชุดที่ 1.5	45
รูปที่ 4.2	ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของทั้งวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ด้วยการกำหนดขนาดเดลด้าที่แตกต่างกันในรูปแบบกราฟ	49
รูปที่ 4.3	ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ย่อขนาดลงมาด้วยวิธีถอดไฟฟัศแบบต่างๆ ในรูปแบบกราฟ	53
รูปที่ 4.4	ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ถูกตัดภาพบริเวณตรงกลางด้วย วิธีถอดไฟฟัศแบบต่างๆ ในรูปแบบกราฟ	57
รูปที่ 4.5	ภาพตัวอย่างที่ชัดที่สุดของชุดที่ 2.1 – ชุดที่ 2.15	59
รูปที่ 4.6	ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 2×2 หน้าต่างย่อย	62
รูปที่ 4.7	ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 3×3 หน้าต่างย่อย	63
รูปที่ 4.8	ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 4×4 หน้าต่างย่อย	64
รูปที่ 4.9	ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 5×5 หน้าต่างย่อย	65
รูปที่ 4.10	ผลการถอดไฟฟัศทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 2×2 หน้าต่างย่อย	66
รูปที่ 4.11	ผลการถอดไฟฟัศทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 3×3 หน้าต่างย่อย	66
รูปที่ 4.12	ผลการถอดไฟฟัศทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 4×4 หน้าต่างย่อย	67
รูปที่ 4.13	ผลการถอดไฟฟัศทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 5×5 หน้าต่างย่อย	68
รูปที่ 4.14	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรม	70
รูปที่ 4.15	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรม	72
รูปที่ 4.16	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรม	73
รูปที่ 4.17	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนและฮิสโทแกรม	75
รูปที่ 4.18	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนและฮิสโทแกรม	77
รูปที่ 4.19	ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนและฮิสโทแกรม	78

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ 4.20 ภาพรวมของขั้นตอนและเวลาของแต่ละขั้นตอนในการทดลองหาบริเวณที่นำไปออกได้ โฟกัสด้วยภาพระบบขาวดำขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อย	82
รูปที่ 4.21 ภาพรวมของขั้นตอนและเวลาของแต่ละขั้นตอนในการทดลองหาบริเวณที่นำไปออกได้ โฟกัสด้วยภาพระบบขาวดำขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อย	88
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการประมวลผลของภาพ 15 ชุดด้วยภาพระบบ สีขาว ดำและสีเทา	91
รูปที่ 4.23 แผนภาพรวมของวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้	92
รูปที่ 4.24 ภาพตัวอย่างที่ชัดที่สุดของชุด 3.1 – ชุด 3.30	95
รูปที่ 5.1 ภาพที่มีสิ่งรบกวน	99
รูปที่ 5.2 เซลล์มะเร็งเต้านมที่โฟกัสในตำแหน่งที่ต่างกัน	100

รายการตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีเพียร์สันด้วยเคลด้าขนาดต่างๆ กัน ของภาพทั้ง 5 ชุด	46
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์แวกเตอร์ด้วย เคลด้าขนาดต่างๆ กันของภาพทั้ง 5 ชุด	47
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของทั้งวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์แวกเตอร์ ด้วยการกำหนดขนาดเคลด้าที่ต่างๆกันในรูปแบบตาราง.....	48
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.1	50
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.2	50
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.3	51
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.4	51
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.5	52
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ย่อขนาดลงมาด้วยวิธีออดิโอโฟกัสแบบต่างๆ ในรูปแบบตาราง	52
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.1.....	54
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.2.....	54
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.3.....	55
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.4.....	55
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองของการออดิโอโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.5.....	56
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ถูกตัดภาพบริเวณตรงกลางด้วย วิธีออดิโอโฟกัสแบบต่างๆ	57
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดในระบบสี่เทาและระบบสี่ขาวดำ	80
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดในระบบสี่เทาและระบบสี่ขาวดำที่แปลงภาพเป็นระบบขาวเทาเฉพาะส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเด่นชัดมากที่สุดเท่านั้น	84
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดที่แปลงภาพเป็นระบบขาวเทาเฉพาะบางแวกเตอร์เท่านั้น ..	89
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองภาพจำนวน 30 ชุดและแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อย ในระบบขาวดำเพื่อเลือกบริเวณที่นำมาออดิโอโฟกัส	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้เราสามารถมองเห็นภาพหรือวัตถุขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าให้สามารถเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งมีความสำคัญในการศึกษาค้นคว้าและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะทางด้านชีววิทยา กล้องจุลทรรศน์ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมากว่า 300 ปี ในระยะแรกการบันทึกภาพจะใช้การวาดภาพ ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพจึงทำให้สามารถบันทึกภาพจากกล้องจุลทรรศน์ได้ และในยุคหลังที่มีการประดิษฐ์กล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลจึงสามารถบันทึกได้ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง โดยแปลงสัญญาณจากแสงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปจัดเก็บยังหน่วยความจำและมีการพัฒนาเรื่อยมาจนเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถถ่ายภาพได้อัตโนมัติในปัจจุบัน[1] อย่างไรก็ตามกล้องจุลทรรศน์ชนิดถ่ายภาพอัตโนมัติยังคงไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากราคาที่สูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ระบบปรับด้วยมือ 3-4 เท่าตัว การใช้งานกล้องจุลทรรศน์ในปัจจุบันจึงยังคงใช้เป็นระบบปรับด้วยมือเพื่อให้ได้ภาพวัตถุตัวอย่างที่คมชัด

ในการถ่ายภาพจากชิ้นเนื้อที่ตัดบางวางบนแผ่นแก้วหรือที่เรียกทางศัพท์เทคนิคว่า tissue section นั้นจะมีจุดโฟกัสที่แตกต่างกันเพราะความหนาบางของ tissue section ในแต่ละจุดจะไม่เท่ากัน เนื่องจากความหนาแน่น ความยืดหยุ่น ของชิ้นเนื้อที่ประกอบด้วยเซลล์และสารประกอบที่แตกต่างกันนั่นเอง ดังนั้นการถ่ายภาพในแต่ละจุดของ tissue section อาจต้องปรับโฟกัสหลายครั้ง และถ้าต้องถ่ายภาพจาก tissue section ที่มีขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลามากทำให้เสียเวลาผู้ปฏิบัติงาน

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพอัตโนมัติของเซลล์มะเร็ง เต้านมจากกล้องจุลทรรศน์ขึ้น โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วถูกต้อง และภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความคมชัดมากที่สุด เพื่อให้สามารถลดระยะเวลาการถ่ายภาพลง

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

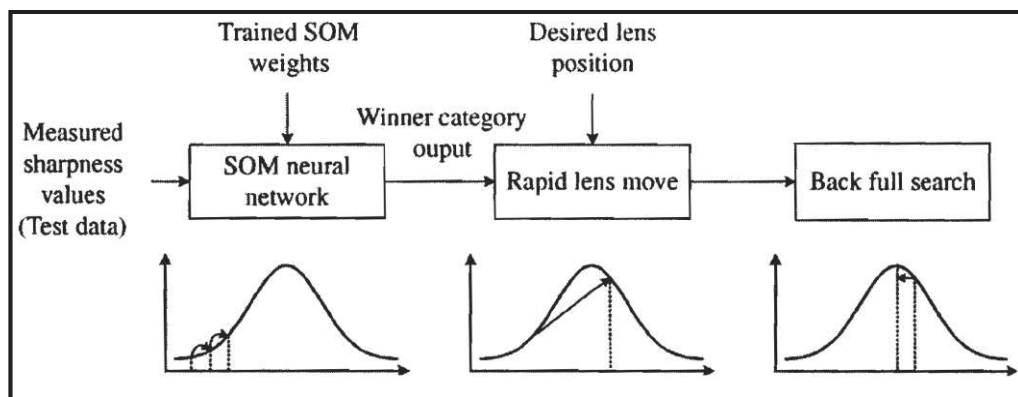
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการถ่ายภาพแบบโฟกัสอัตโนมัติจึงจำเป็นต้องศึกษางานวิจัยทางด้านอัตโนมัติโฟกัส ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.) ระบบอัตโนมัติโฟกัสแบบแอคทีฟ (Active Autofocus System) จะทำงานโดยทำการคำนวณระยะห่างระหว่างตำแหน่งเลนส์ขณะนั้นกับตำแหน่งของวัตถุ โดยวิธีที่ใช้ในการคำนวณระยะดังกล่าวคือ ใช้เซนเซอร์ที่สามารถวัดระยะห่างได้ เช่น อัลตราโซนิก เลเซอร์ เป็นต้น จะทำงานโดยการยิงคลื่นความถี่สูงจำนวนหนึ่งออกไปและมีตัวรับการสะท้อนกลับมาจากคลื่นเพื่อบอกพิสัยระยะของวัตถุที่อยู่ห่างออกไป จากนั้นจึงปรับเลนส์ให้เลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ อุปกรณ์เซนเซอร์และการติดตั้งมีราคาสูง

2.) ระบบอัตโนมัติโฟกัสแบบพาสซีฟ (Passive Autofocus System) จะทำงานโดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ตรวจวิเคราะห์จากภาพอินพุตที่เกิดขึ้นบนฉากและใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างของแสงและสีของภาพ ระบบอัตโนมัติโฟกัสแบบพาสซีฟวิธีการส่วนใหญ่จะใช้วิธีปรับตำแหน่งเลนส์ไปยังระยะต่างๆ พร้อมทั้งทำการถ่ายภาพวัตถุ ณ ตำแหน่งนั้นเอาไว้ หลังจากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปประมวลผลต่อไปเพื่อดูว่าภาพที่ถ่ายมาในระยะปัจจุบันนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งที่โฟกัสแล้วหรือไม่ หากยังไม่ใช่ก็จะทำการปรับตำแหน่งเลนส์ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบตำแหน่งที่ถูกต้องโดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการประมวลผลสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ พิจารณาจากโดเมนของตำแหน่งและอีกวิธีหนึ่งคือพิจารณาจากโดเมนความถี่ แต่ข้อเสียของวิธีการเหล่านี้คือ จำนวนครั้งที่ใช้ในการถ่ายภาพและประมวลผลอาจจะซับซ้อนหลายขั้นตอนกว่าจะพบระยะโฟกัส ซึ่งระบบอัตโนมัติโฟกัสของกล้องส่วนใหญ่จะเป็นประเภทอัตโนมัติโฟกัสแบบพาสซีฟ [2]

งานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นงานวิจัยที่ใช้ระบบอัตโนมัติโฟกัสแบบพาสซีฟ โดยจะทำการวัดค่าโฟกัสของภาพ และนำค่าโฟกัสดังกล่าวไปคำนวณเพื่อหาระยะที่จะปรับมอเตอร์ที่ควบคุมระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ โดยทำการคำนวณหาค่าโฟกัสไปเรื่อยๆจนกว่าจะเจอตำแหน่งซึ่งให้ค่าโฟกัสที่เป็นค่าของภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด

C.-Y. Chen และคณะได้เสนอวิธีการออดิโอโฟกัสโดยใช้เทคนิค DWT (Discrete Wavelet Transform) และวิธี Morphology ช่วยในการคำนวณหาค่าโฟกัส และงานวิจัยนี้ยังได้เสนอวิธีการปรับปรุงระบบออดิโอโฟกัสให้สามารถหาค่าตำแหน่งโฟกัสที่ดีที่สุดด้วยวิธี Self-organizing (SOM) neural network ในการเรียนรู้ค่าโฟกัสของระยะวัตถุ ตำแหน่งต่างๆ สำหรับวิธีการจะต้องทราบค่าโฟกัสของระยะวัตถุในช่วง 3 ระยะแรกจากนั้นจึงใช้ SOM neural network ทำการคำนวณหาระยะที่ดีที่สุดเพื่อเลื่อนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งนั้น และสุดท้ายจึงใช้วิธีการค้นหาแบบละเอียดอีกครั้งดังรูปที่ 1.1 [3]

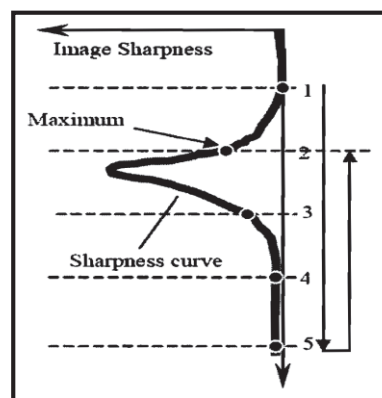


รูปที่ 1.1 ลำดับการค้นหาค่าตำแหน่งโฟกัสของภาพด้วยวิธีของ C.-Y. Chen และคณะ [3]

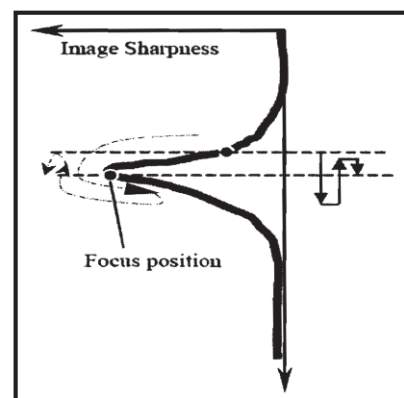
Tsung-Han Tsai และ Chung-Yuan Lin ได้เสนอวิธีการทำออดิโอโฟกัสบนกล้องดิจิทัล ซึ่งวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธีอื่นคือ โฟลิวินโดว์ (Focal Window) จะถูกค้นหาและติดตามก่อนที่จะใส่อัลกอริทึมออดิโอโฟกัสเข้าไป เพื่อเลื่อนสไลด์ไปยังตำแหน่งที่เหมาะสม วิธีนี้มีข้อดีในส่วนของความน่าเชื่อถือและการปรับตัวของโฟกัสมากกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือ ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของวัตถุและการค้นหาและติดตามโฟลิวินโดว์ เริ่มต้นจากการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของวัตถุโดยตรวจจับ ROI ของภาพ จากนั้นก็ทำการค้นหาและติดตามโฟลิวินโดว์เพื่อเลือกที่เหมาะสมและติดตามวินโดว์นี้ต่อไปเรื่อยๆบนภาพที่ต่อเนื่อง จากการทดลองวิธีออดิโอโฟกัสที่ได้นำเสนอนั้นสามารถใช้ได้ทั้งในเงื่อนไขที่มีการเคลื่อนไหวมากและการเคลื่อนไหวน้อย [4]

Xiao Tang, Pierre L'Hostis และ Yu Xiao ได้นำเสนอว่าวิธีการในการทำอโต้โฟกัสได้ถูกพัฒนามาหลายวิธี ได้แก่วิธีการพิจารณาจากการแปลงฟูเรียร์ของภาพดิจิทัล โดยวิเคราะห์จากภาพที่มีองค์ประกอบความถี่สูงจะมีความคมชัดมากกว่า แต่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดคือ ข้อมูลของภาพบางส่วนจะถูกตัดออก ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้วิธีการจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแทน [5]

Yu Song, Mantian Li and Lining Sun ได้นำเสนอว่าการทำอโต้โฟกัสที่เกี่ยวข้องกับตัวแปร 3 ชนิด ได้แก่ พื้นที่ที่สนใจ(ROI), ฟังก์ชันวัดความคมชัด (Image Sharpness Function) และวิธีการค้นหาแบบครอบคลุม (Global Maximum Searching Algorithm) โดยเริ่มต้นจากการเลื่อนมอเตอร์หาพื้นที่อย่างคร่าวๆ เพื่อสังเกตลักษณะของบริเวณที่น่าจะเป็นพื้นที่ที่เราสนใจ จากนั้นจึงเลื่อนมอเตอร์ให้ทำการค้นหาอย่างละเอียดอีกครั้งเป็นดังรูปที่ 1.2 ซึ่งวิธีที่ใช้วัดความคมชัดของบทความนี้ได้ใช้วิธี SUSAN (Smallest Unvalue Segment Assimilating Nucleus) [6] กับพื้นที่ที่สนใจของภาพ โดยปัญหาบทความนี้คือ การเลือกฟังก์ชันความเหมือนที่เหมาะสม เนื่องจากฟังก์ชันความเหมือนของวิธีการ SUSAN เดิม ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในบทความนี้ได้ และจากผลการทดลองสามารถแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี [7]



(ก) การค้นหาแบบคร่าวๆ

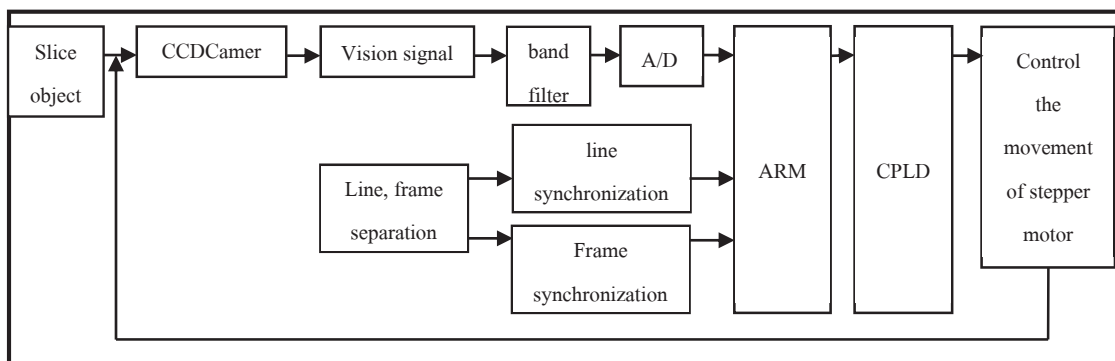


(จ) การค้นหาแบบละเอียดในบริเวณที่สนใจ

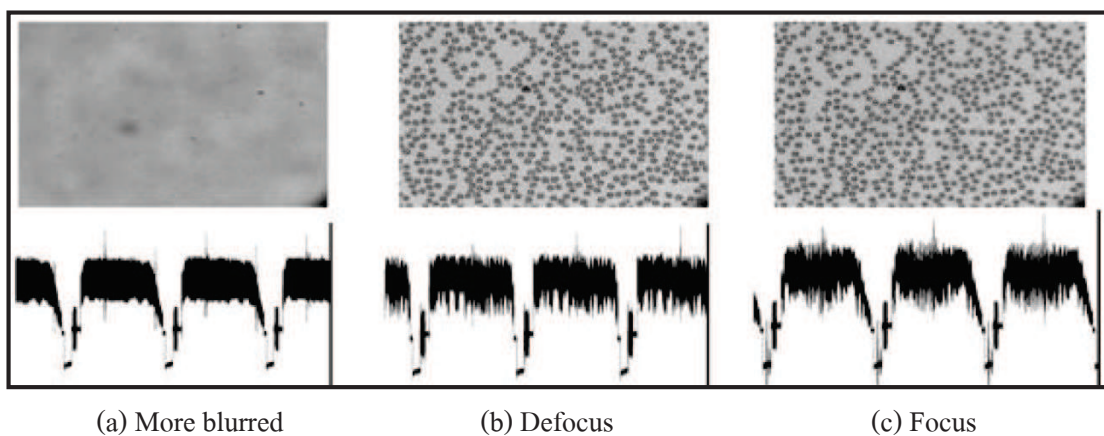
รูปที่ 1.2 วิธีการค้นหาค่าแห่งโฟกัสภาพวิธีของ Yu Song และคณะ [7]

G. Duceux และคณะ ได้นำเสนอวิธีการอโต้โฟกัสวิธีใหม่ซึ่งเป็นวิธีที่เร็วและให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ โดยใช้หลักการว่าภาพที่มีค่าโฟกัสมากที่สุดคือภาพที่ชัดที่สุด สำหรับฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหาค่าโฟกัสจะเป็นฟังก์ชันต่างๆ ได้แก่ ค่าเกรเดียนท์, ลาปลาเซียน, ค่าความแปรปรวน และค่าของฮิสโทแกรม เป็นต้น แต่วิธีที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้คือวิธีค่าความแปรปรวนปกติ [8]

Ming Yang, Li Luo ได้นำเสนอวิธีการทำออดิโอโฟกัสเพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความเร็วในการโฟกัส ภายในงานวิจัยนี้ได้มีการแสดงผลการทดลองของวิธีการวัดโฟกัสแบบต่างๆ ได้แก่ วิธี gray variance operator, sum-modulus difference operator, Roberts, Tenengrad function และ energy spectrum [9],[10] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงวิธี SMD และใช้เป็นวิธีการวัดโฟกัสของงานวิจัยนี้ ซึ่งขั้นตอนการออดิโอโฟกัสเริ่มต้นสัญญาณภาพผ่านเข้าไปยังกล้อง CCD และแปลงเป็นภาพที่อยู่ในรูปแบบสัญญาณอนาล็อก จากนั้นแบนด์พาสฟิลเตอร์ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงและความถี่ต่ำออก สัญญาณก็จะเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งต่อไปยัง ARM7 เพื่อให้ ARM7 ส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ต่อไปดังรูปที่ 1.3 และจากผลการทดลองดังรูปที่ 1.4 จะพบว่ารูปที่ 1.4 (c) คือภาพที่ผ่านการทำออดิโอโฟกัสตามเทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ออกมาได้ดี ซึ่งวิธีการทำออดิโอโฟกัสที่ได้นำเสนอนั้นสามารถนำมาใช้แทนวิธีแบบเก่าได้ [11]



รูปที่ 1.3 ระบบการทำงานของวิธี Ming Yang, Li Luo [11]



(a) More blurred

(b) Defocus

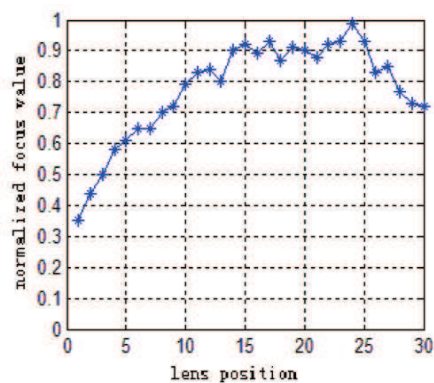
(c) Focus

รูปที่ 1.4 ผลการทดลองถ่ายภาพเซลล์เลือด [11]

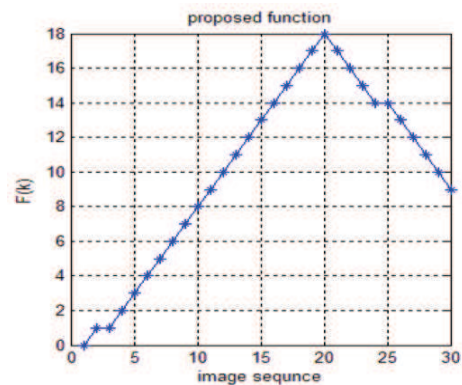
Ni Jun ได้นำเสนอวิธีการวัดความคมชัดของภาพที่มีการเคลื่อนที่โดยใช้วิธี Power of Gradient เนื่องจากวิธีการก่อนหน้านี้จะเป็นการหาความคมชัดของภาพในกรณีที่ภาพอยู่นิ่งคือภาพมีขนาดเท่ากันหมดแต่ในหลักการวัดอาจจะมีกรณีที่ภาพมีขนาดไม่เท่ากันได้ดังรูปที่ 1.5 และจากการทดลองได้ว่าวิธีที่นำเสนอในบทความนี้สามารถให้ผลการทดลองที่ถูกต้อง สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีก่อนหน้านี้ดังรูปที่ 1.6 จากผลการทดลองกราฟแสดงได้ชัดเจนว่าวิธีที่นำเสนอมีจุดยอดเพียงจุดเดียวซึ่งเป็นตำแหน่งที่ภาพชัดที่สุด แต่กราฟของวิธีก่อนหน้านี้มีจุดยอดหลายตำแหน่งซึ่งไม่ใช่ตำแหน่งที่ภาพชัดที่สุด [12]



รูปที่ 1.5 ขนาดของวัตถุที่ต่างกัน [12]



(ก) วิธีเดิม



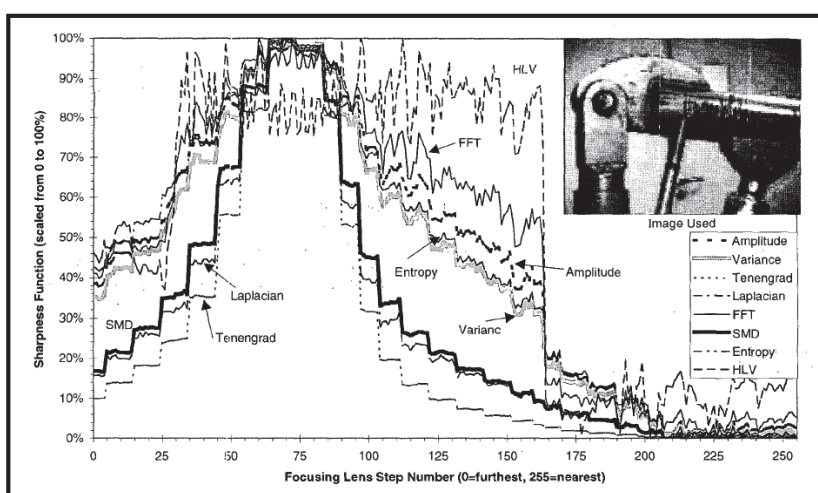
(ข) วิธีของ Ni Jun

รูปที่ 1.6 ผลการทดลองของวิธีเดิมและวิธีของ Ni Jun [12]

Siavash Yazdanfar และคณะได้สรุปวิธีการอัตโนมัติที่ถูกต้องที่แนะนำให้เสนอนี้ไว้ก่อนหน้านี้มีทั้งหมด 4 วิธีโดยพิจารณาจากค่าทางสถิติได้แก่ วิธีคอนทราสต์, วิธีความแปรปรวนของภาพ,

วิธีฮิสโทแกรมภาพและวิธี Branner และวิธีที่ดีที่สุดคือวิธี Brenner gradient บทความนี้ได้ทำการปรับปรุงวิธีดังกล่าวให้ดีขึ้นโดยใช้ Lorentzian function เข้าไปเพิ่ม [13]

Ng Kuang Chern, Nathaniel Poo, Aun Neow Marcelo และ H. Ang ได้กล่าวถึงการวัดความคมชัดด้วยวิธีต่างๆ ทั้งหมด 8 วิธีที่เคยมีมาก่อนหน้านี้ได้แก่ วิธี amplitude, variance, Tenengrad, Laplacian, Fast Fourier Transform, Sum-Module-Difference, histogram entropy และ histogram of local variations และได้ทำการทดลองพร้อมนำเสนอเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีดังรูปที่ 1.7 และจากผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีที่สามารถให้ผลลัพธ์ได้ออกมาถูกต้องและเหมาะสมกับงานวิจัยนี้คือ วิธี variance และ Tenengrad[14]



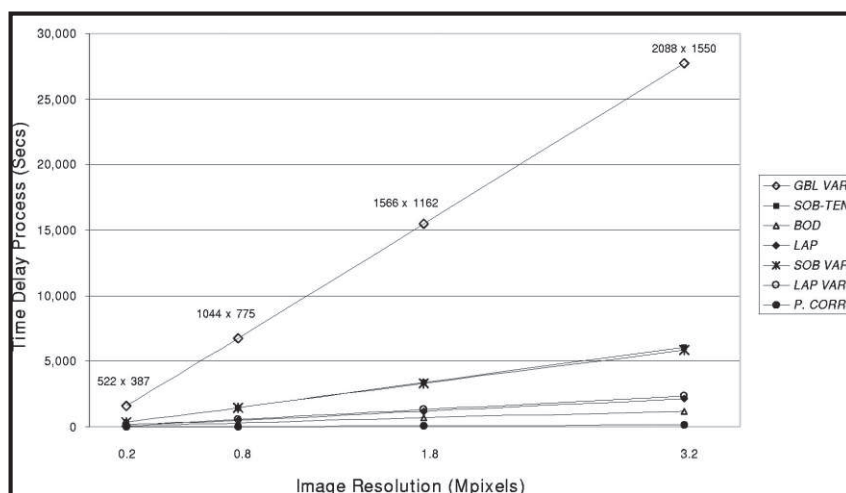
รูปที่ 1.7 ผลการทดลองของวิธีการหาความคมชัดต่างๆ [14]

Li-Cheng Chiu และ Chiou-Shann Fuh ได้นำเสนอระบบการโฟกัสของภาพโดยใช้เส้นโค้งของค่าโฟกัสเป็นตัวช่วยในการคำนวณ และได้แบ่งการนำเสนอเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการหาค่าโฟกัสของภาพโดยใช้พิจารณาจากองค์ประกอบทางความถี่ของภาพด้วยการหาเกรเดียนท์ ส่วนที่สองเป็นการเลือกภาพที่มีความคมชัดที่สุดจากค่าอัตราส่วนระหว่างค่าโฟกัสที่ได้จากภาพล่าสุดกับภาพก่อนหน้า โดยถ้าอัตราส่วนมีการเพิ่มขึ้นหมายความว่า "ได้อยู่ในช่วงของระยะโฟกัสที่ถูกต้องแล้วซึ่งค่าดังกล่าวจะใช้ในการปรับระยะครั้งถัดไปจนถึงจุดโฟกัส [15]

Wei-Sheng Liao และ Chiou-Shann Fuh ได้พัฒนาอัลกอริทึมอัตโนมัติโฟกัส โดยทำการแบ่งภาพที่ต้องการออกเป็นภาพย่อยๆ และเลือกออกมาเพียง 3 ภาพย่อยสำหรับการประมวลผล เพื่อลดเวลาในการประมวลผลให้น้อยลง โดยใช้วิธีเกรเดียนท์ในการคำนวณหาค่า

โฟกัส แต่วิธีที่นำเสนอก็มีข้อดีคือเมื่อภาพย่อยที่ถูกเลือกไม่ได้อยู่ในบริเวณที่ต้องการจะโฟกัส ทำให้ข้อมูลที่ได้ออกมามีความผิดพลาด สำหรับผลการทดลองพบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถประมวลผลได้เร็วและมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ [16]

Mario A. Bueno-Ibarra, Josue´ A´ lvarez-Borrego, Leonardo Acho และ Mari´a Cristi´na Cha´vez-Sa´nchez ได้เสนอวิธีการหาภาพที่คมชัดที่สุดของตัวอย่างด้านชีววิทยาด้วยวิธีการที่เร็ว และแม่นยำ ซึ่งนำหลักการการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติและความสัมพันธ์เพียร์สันมาช่วยในการตัดสินใจหาภาพที่ดีที่สุด ภายในบทความนี้ยังมีการกล่าวถึงวิธีการหาภาพที่คมชัดที่สุดด้วยวิธีต่างๆ เช่น Tenenbaum’s algorithm (SOB-TEN), Boddeke’s algorithm (BOD), Sobel-Tenengrad Gradient Magnitude Variance (SOB VAR) และ Laplacian Gradient Magnitude Variance (LAP VAR) ในบทความได้แสดงเวลาการคำนวณของแต่ละวิธีเป็นดังรูปที่ 1.8 และ สรุปผลการทดลองว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง [17]



รูปที่ 1.8 ผลการทดลองของวิธีต่างๆ และวิธีที่นำเสนอ [17]

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาวิธีการวัดความคมชัดของภาพเพื่อถ่ายภาพอัตโนมัติจากกล้องจุลทรรศน์ กรณีศึกษาจากเซลล์มะเร็งเต้านม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาจากชิ้นเนื้อมะเร็งเต้านมที่ย้อมด้วยเทคนิคอิมมูโนฮิสโตเคมี (immunohistochemistry) เพื่อตรวจหาตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน (estrogen receptor) บนผิวของนิวเคลียส ซึ่งเซลล์มะเร็งที่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนจะมีสีน้ำตาล ส่วนเซลล์มะเร็งที่ไม่มีตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนและเซลล์อื่นๆ จะมีนิวเคลียสสีน้ำเงิน

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นที่ 1: ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ในการถ่ายภาพเซลล์มะเร็ง

ขั้นที่ 2: ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพ เช่น การหาขอบภาพ การหาค่าความคมชัดของภาพ

ขั้นที่ 3: ทำการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อหาค่าความคมชัดในแต่ละภาพ

ขั้นที่ 4: ทำการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึม

ขั้นที่ 5: ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ขั้นที่ 6: จัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

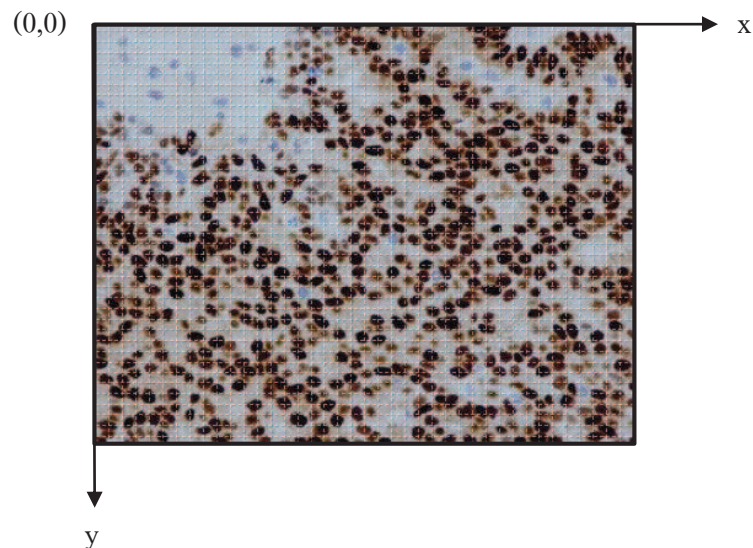
1. สามารถลดเวลาในการถ่ายภาพเซลล์มะเร็งเต้านมของกล้องจุลทรรศน์ได้
2. สามารถสร้างโปรแกรมระบบการโฟกัสภาพแบบอัตโนมัติของกล้องจุลทรรศน์ได้
3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เซลล์มะเร็งเต้านมให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและรวดเร็วได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ภาพดิจิทัลเป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y แทนพิกัดของภาพและแอมพลิจูดของฟังก์ชัน f ที่พิกัด (x,y) ใดๆ ภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ กำหนดให้ภาพ $f(x,y)$ เป็นภาพดิจิทัลที่มีขนาด M แถว N คอลัมน์ และมีพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ภาพที่ตำแหน่ง $(x,y) = (0,0)$ และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ (Matrix) ดังสมการที่ (1) โดยค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์จะเรียกว่า องค์ประกอบภาพ (Picture Element) หรือ พิกเซล โดยตำแหน่ง $(0,0)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายมือบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นภาพและจัดลำดับของเส้นภาพจะเรียงจากบนลงล่าง[18] ได้ดังรูปที่ 2.1

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

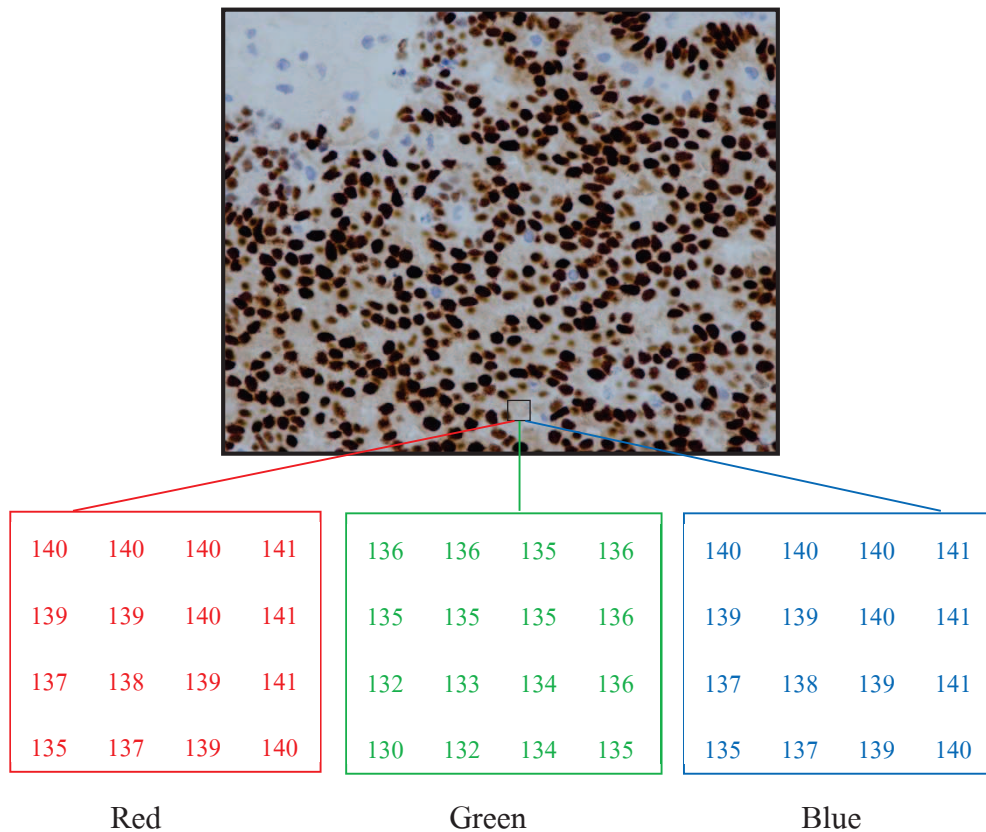


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัล

2.1 ปรีภูมิติ

2.1.1 ระบบสี RGB

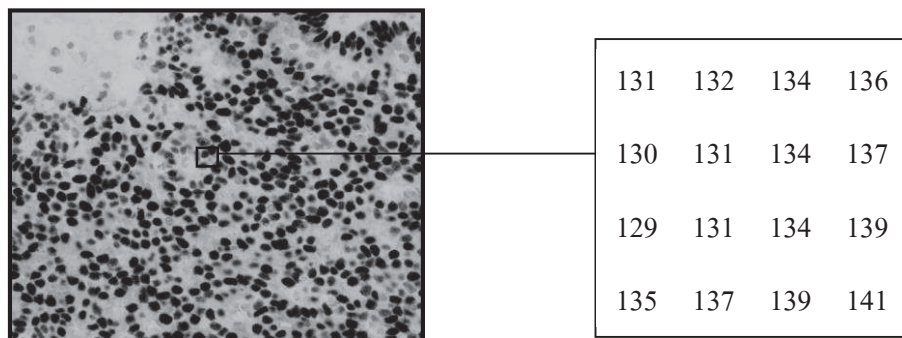
ระบบสี RGB เกิดจากการรวมตัวกันของสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งมาจากระบบสีของแสงที่เกิดการหักเหผ่านแท่งแก้วปริซึมเกิดเป็นแถบสีขึ้น 7 สีที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ แต่ละพิกเซลจะประกอบไปด้วย 3 ช่องสีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยจะใช้ 8 บิตต่อจุดภาพต่อช่องสี ดังนั้นจะมีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 0-255 ทั้งหมด 256 ระดับ ทำให้แต่ละพิกเซลสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 256^3 สี ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพสี RGB และค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ

2.1.2 ระบบสีเทา

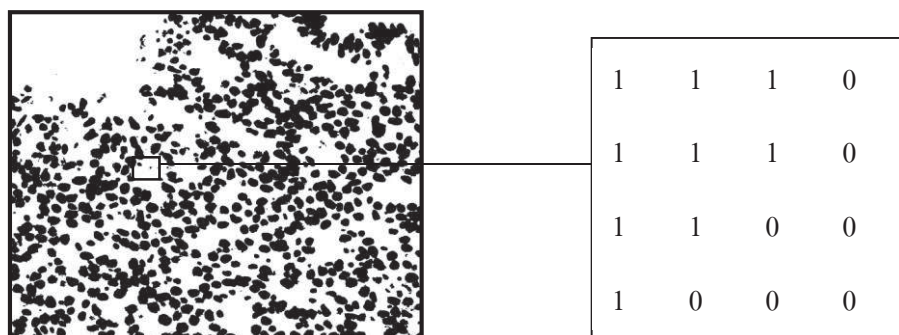
ระบบสีเทา (Gray-scale Image) ภาพในระบบนี้จะแสดงค่าความเข้มแสงของแต่ละตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพซึ่งภาพจะมีลักษณะเป็นโทนสีเทา และจะมีความเข้มของภาพเพียงความสว่างอย่างเดียวไม่มีค่าข้อมูลของสีภาพ ดังนั้นภาพระบบสีเทาจึงหมายถึง ภาพที่มีค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพอยู่ในช่วงสีดำ สีเทา เรื่อยไปจนถึงสีขาวซึ่งเป็นสีที่มีค่าความสว่างมากที่สุด สำหรับค่าของระดับสีเทานั้นปกติแล้วจะเป็นกำลังของสองซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 8 บิตต่อจุดภาพแต่มีเพียงช่องสีเดียวจะมีตั้งแต่ระดับ 0-255 คือมี 256 ระดับ โดยระดับ 0 คือ สีดำ และระดับ 255 คือ สีขาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างภาพระบบสีเทาและค่าโทนสีเทาของแต่ละพิกเซล

2.1.3 ระบบสีขาวดำ

ระบบสีขาวดำ (Black-white Image หรือ Binary Image) ภาพในระบบนี้จะมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) ดังนั้นแต่ละจุดภาพจะมีเพียง 1 บิตเท่านั้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพระบบสีขาวดำและค่าในในแต่ละพิกเซลของภาพ

2.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาเป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผลเพียงความสว่างของภาพอย่างเดียว โดยปราศจากค่าข้อมูลของสีภาพ ความสัมพันธ์ของการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Grayscale}(x,y) = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2)$$

โดย $\text{Grayscale}(x,y)$ คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากการคำนวณของจุดภาพของสี RGB (x,y)
 R คือ ค่าสีแดงในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $R(x,y)$
 G คือ ค่าสีเขียวในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $G(x,y)$
 B คือ ค่าน้ำเงินในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $B(x,y)$

2.3 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีขาวดำ

การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวดำหรือเรียกอีกอย่างว่า การ Threshold เป็นกระบวนการแปลงภาพสีที่มีความเข้มหลายระดับให้เป็นภาพที่มีการแสดงความเข้มเพียง 2 ระดับคือ ขาวและดำเท่านั้น โดยกระบวนการนี้จะทำการกำหนดค่าความเข้มค่าหนึ่งไว้เรียกว่า ค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) และพิจารณาเปรียบเทียบจุดภาพแต่ละจุดในภาพว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่งนั้น เพื่อกำหนดค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพใหม่ให้เป็น 0 หรือ 1 ดังสมการที่ (3)

$$f'(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) > T \\ 0, & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

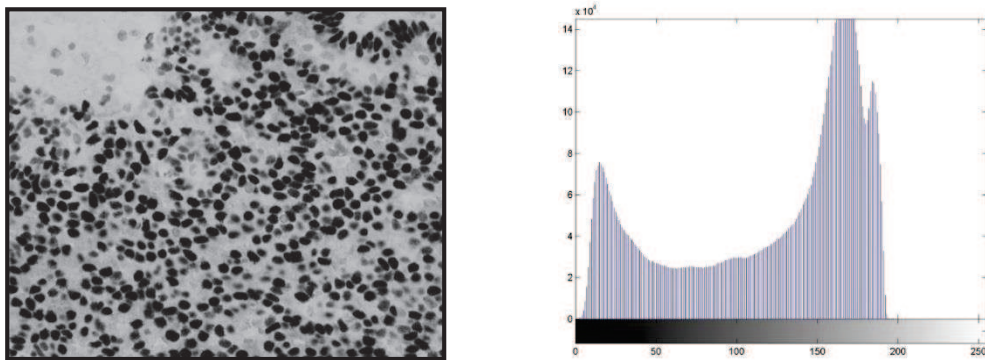
โดย $f'(x,y)$ คือ ค่าความเข้มใหม่ที่ได้จากการ Threshold ณ จุดพิกัด (x,y)
 $f(x,y)$ คือ ค่าความเข้มเดิมก่อนการ Threshold ณ จุดพิกัด (x,y)
 T คือ ค่าขีดแบ่ง

จากสมการข้างต้นอธิบายได้ว่า หากจุดภาพใดมีค่าความเข้มมากกว่าค่าขีดแบ่งจุดภาพนั้นจะมีค่าความเข้มใหม่เป็น 1 (สีขาว) เรียกว่า วัตถุ และถ้าจุดภาพใดมีค่าความเข้มน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง จุดภาพนั้นก็จะเป็น 0 (จุดดำ) เรียกว่า พื้นหลัง กระบวนการนี้เป็น

เทคนิคที่นิยมใช้ในการแยกบริเวณ (Segmentation) ที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ และหากต้องการให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้ที่ดีควรกำหนดค่าค่าขีดแบ่งที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้ากำหนดค่าค่าขีดแบ่งต่ำหรือสูงเกินไป ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีมืดหรือสว่างเกินไปทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจน

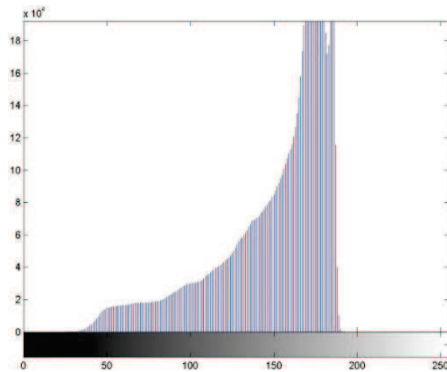
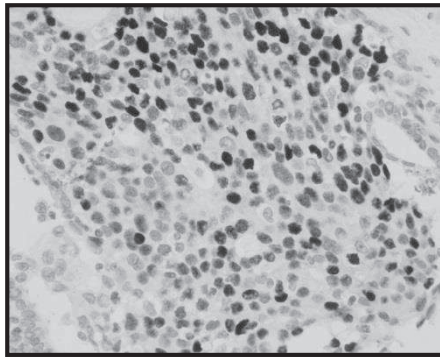
2.4 ฮิสโทแกรม (Histogram)

ฮิสโทแกรม (Histogram) ของภาพเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและจำนวนพิกเซลที่มีค่าความเข้ม ณ ระดับนั้นๆ ซึ่งสามารถหาได้ทั้งสำหรับภาพระดับสีเทาและภาพสี หากเป็นของภาพสีจะอยู่ในลักษณะของฮิสโทแกรม 1 มิติของแต่ละสีและซ้อนกัน 3 ช่องสี แต่ถ้าหากเป็นฮิสโทแกรมของภาพระดับสีเทาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

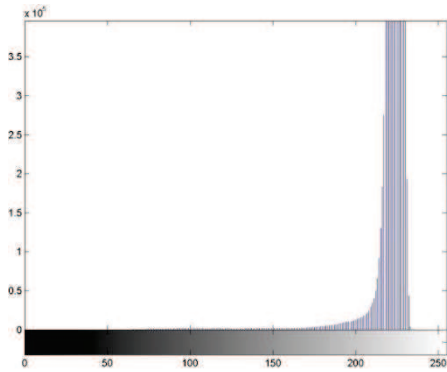
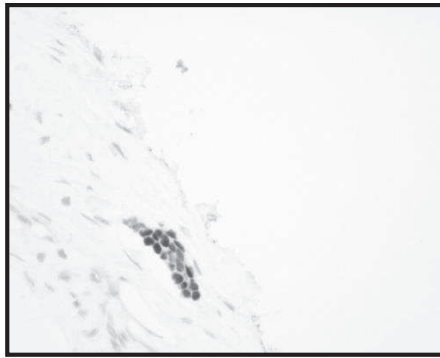


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างภาพระดับสีเทาและกราฟฮิสโทแกรมของภาพตัวอย่าง

ฮิสโทแกรมของภาพสามารถบอกคุณลักษณะของภาพนั้นๆ ได้เช่น ถ้าหากฮิสโทแกรมของภาพรวมกลุ่มกันทางด้านซ้าย จะหมายถึงพิกเซลส่วนใหญ่ของภาพมีค่าระดับความสว่างต่ำภาพที่ได้จะมีดังรูปที่ 2.6 และในทางกลับกันถ้าฮิสโทแกรมของภาพรวมกลุ่มกันทางด้านขวาจะหมายถึงจุดภาพส่วนใหญ่มีค่าระดับความสว่างสูงหรือหมายถึงภาพนั้นสว่างนั่นเอง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ภาพที่มีลักษณะมีวัตถุในภาพมากและฮิสโทแกรมของภาพที่มีข้อมูลระดับสีเทาของจุดภาพปรากฏอยู่ทางด้านซ้าย



รูปที่ 2.7 ภาพที่มีลักษณะมีวัตถุในภาพน้อยและฮิสโทแกรมของภาพที่มีข้อมูลระดับสีเทาของจุดภาพปรากฏอยู่ทางด้านขวา

2.5 เทคนิคคอนโวลูชัน (Convolution Technique)

เทคนิคคอนโวลูชันเป็นเทคนิคพื้นฐานในการประมวลผลภาพเพื่อกรองสัญญาณรบกวน โดยนำเทมเพลตไปซ้อนทับตามพิกเซลต่างๆ ในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดจากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าความเข้มแสงในตำแหน่งนั้นเป็นไปดังสมการที่ (4)

$$g(x, y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i, j) I(x - i, y - j) \quad (4)$$

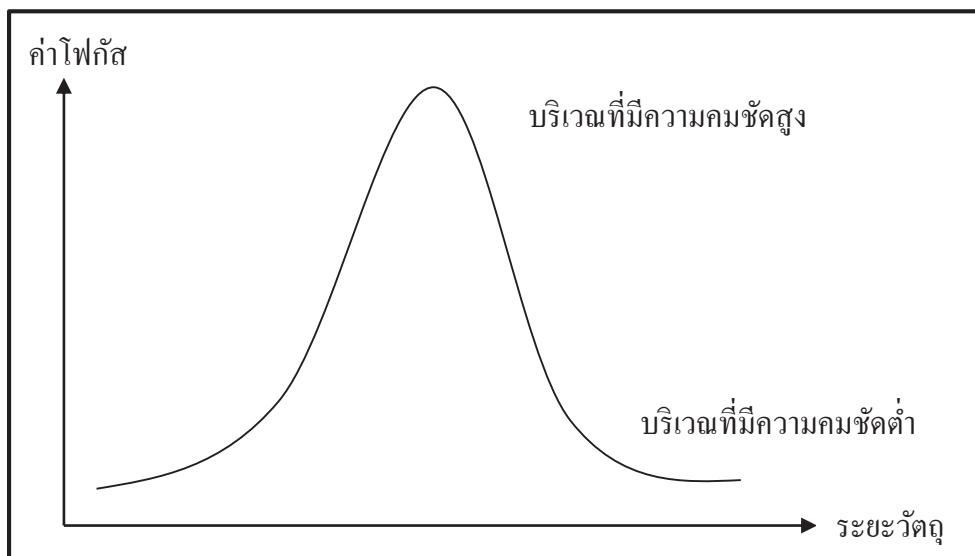
โดย T เป็นเทมเพลตขนาด $n \times m$

I เป็นภาพขนาด $N \times M$

g คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

2.6 ค่าความคมชัดของภาพ (Focus Value)

การถ่ายภาพวัตถุขึ้นเดียวกันในระยะวัตถุที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ภาพที่ถ่ายออกมามีความคมชัดที่ต่างกัน แต่จะมีเพียง 1 ภาพหรือ 1 ตำแหน่งเท่านั้นที่จะมีความคมชัดมากที่สุด จึงต้องมีการวัดความคมชัดของภาพเพื่อใช้หาภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด โดยการวัดความคมชัดของภาพนั้นจะทำการคำนวณหาค่าความชัดของภาพหรือเรียกอีกอย่างว่า ค่าโฟกัส (Focus Value) ของภาพที่ถ่ายออกมาในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งค่าโฟกัสและระยะวัตถุของภาพนั้นจะมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟอุดมคติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวัตถุและค่าโฟกัส

ภาพถ่ายที่ชัดคือภาพที่ขอบวัตถุของภาพมีความชัดเจนหรือถ้าเป็นทางการประมวลผลภาพคือมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มของขอบภาพอย่างฉับพลัน เช่นการเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีดำหรือสีดำเป็นสีขาวทันที และถ้าเป็นภาพถ่ายที่เบลอจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มอย่างช้าๆ โดยไล่ระดับสีหนึ่งไปยังอีกสีหนึ่ง เช่นสีเทาเป็นต้น หรือความหมายอีกอย่างหนึ่งของภาพที่มีความคมชัดและเบลอคือ ความถี่ของภาพที่ชัด (Spatial Frequency) จะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับภาพที่เบลอ ดังนั้นการหาค่าโฟกัสเพื่อพัฒนาระบบออโต้โฟกัสจึงสามารถพิจารณาได้จากขอบภาพและความถี่ของภาพนั่นเอง

2.7 การถอดโฟกัสจากการพิจารณาขอบวัตถุ

จากที่กล่าวไปข้างต้นภาพที่ชัดคือภาพที่มีขอบคมชัดที่สุด วิธีนี้จึงเป็นการหาภาพที่มีขอบคมชัดที่สุดนั่นเอง โดยปกติแล้วขอบคือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ได้หลายลักษณะเช่นภาพที่มีความคมชัดจะมีขอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีเทา 2 ค่าจากพิกเซลหนึ่งไปยังอีกพิกเซลหนึ่งที่ติดกันดังรูปที่ 2.9 (ก) หรือภาพที่เบลอก็จะมีขอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีเทา 2 ค่าที่เกิดแบบค่อยเป็นค่อยไปดังรูปที่ 2.9 (ข)



(ก) มีการเปลี่ยนแปลงของขอบอย่างชัดเจน
(ภาพที่ชัด)



(ข) มีการเปลี่ยนแปลงของขอบอย่างค่อยเป็น
ค่อยไป (ภาพที่เบลอ)

รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงขอบวัตถุ

การหาค่าโฟกัสจากวิธีนี้สามารถทำได้โดยการทำอนุพันธ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Differentiation) ซึ่งเป็นการหาผลต่างในแกนตำแหน่ง โดยจะใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-order Derivative) และเทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Second-Order Derivative)

2.7.1 การถอดโฟกัสโดยใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-order Derivative)

การทำอนุพันธ์อันดับหนึ่งใช้ในการหาค่าตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงในภาพซึ่งเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุ ซึ่งมีข้อกำหนดสำหรับการอนุพันธ์อันดับหนึ่งดังนี้

1. ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งจะมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นพื้นที่ราบหรือมีค่าความเข้มแสงเป็นค่าคงที่
2. ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งจะมีค่าไม่เป็น 0 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอยู่ในรูปขั้นบันไดหรือลาดชัน

อนุพันธ์อันดับหนึ่งสำหรับฟังก์ชัน $f(x)$ คือ การหาค่าผลต่าง ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x) \quad (5)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f(y+1) - f(y) \quad (6)$$

จากสมการที่ (5) และ (6) มีค่าเทียบเท่ากับการนำภาพมาทำการคอนโวลูชันด้วยเทมเพลต $\begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$ และ $\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ ตามลำดับ

สำหรับการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งกับภาพหรือค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงแต่ละพิกเซลในภาพ สามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (7)$$

โดย $f(x, y)$ คือ ความเข้มแสง ณ ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ

$\nabla f(x, y)$ คือ เวกเตอร์เกรเดียนต์ (Gradient) ณ ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ

สำหรับขนาดและทิศทางของเวกเตอร์เกรเดียนต์สามารถหาได้จากสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} |\nabla f(x, y)| &= \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{f_y}{f_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}}{\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}}\right) \quad (9)$$

โดย $|\nabla f(x, y)|$ คือ ค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง

θ คือ ค่าทิศทางการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงโดยเทียบกับแกน x

ในทางปฏิบัติการคำนวณหาขนาดของเกรเดียนต์ตามสมการที่ (8) ต้องใช้เวลานานพอสมควร จึงใช้ค่าการประมาณเป็นดังสมการที่ (10)

$$|\nabla f(x,y)| \approx |f_x| + |f_y| \quad (10)$$

หรือ

$$|\nabla f(x,y)| \approx |f(x+1) - f(x)| + |f(y+1) - f(y)| \quad (11)$$

การหาค่าโฟกัสจากเทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งหรือเกรเดียนต์ของภาพทำได้โดยการหาค่าผลต่างนอกจากวิธีดังกล่าวที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีวิธีในการหาผลต่างได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธี BOD, วิธี POG หรือวิธี SOB เป็นต้น ขึ้นอยู่กับเทมเพลตที่เรานำมาใช้ดังนี้

2.7.1.1 วิธี Boddeke (BOD)

วิธี BOD ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1994 โดยนาย Frank R Boddeke และคณะ เป็นวิธีหาค่าโฟกัสโดยใช้เทมเพลตคอนโวลูชันแบบ 1 มิติคือคำนวณเฉพาะในแนวแกน X เท่านั้น สำหรับเทมเพลตที่ใช้คือ $[-1 \ 0 \ 1]$ ทำให้สามารถหาค่าโฟกัสได้จากสมการที่ (12)

$$f_{BOD} = \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=1}^M [\nabla B_x(n,m)]^2 \quad (12)$$

โดย f_{BOD} คือ ค่าโฟกัสจากวิธี BOD

N, M คือ ขนาดของภาพที่จะหาค่าโฟกัส

$\nabla B_x(n,m)$ คือ ค่าเกรเดียนต์ตามแนวแกน x จากสมการที่ (13)

$$\nabla B_x(n,m) = f(x+1,y) - f(x-1,m) \quad (13)$$

2.7.1.2 วิธี Power of Gradient (POG)

วิธี Power of Gradient (POG) หรือวิธี Robert ที่ใช้ในการหาขอบภาพนั่นเอง วิธี POG เป็นวิธีการหาค่าโพลัสด้วยหลักการพื้นฐานอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ที่หาค่าความเปลี่ยนแปลงเกรเดียนต์แบบ 2 มิติทั้งในแนวแกน x และ แกน y ในแนวเส้นทแยงมุม ดังสมการ (14) ต่อไปนี้

$$f_{POG} = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M [\nabla P(n, m)]^2 \quad (14)$$

โดย $\nabla P(n, m)$ คือค่าเกรเดียนต์ที่คำนวณได้จากวิธี Power of Gradient ดังสมการ (15)

$$\begin{aligned} \nabla P(n, m) &= \sqrt{(\nabla P_x(n, m))^2 + (\nabla P_y(n, m))^2} \\ \nabla P_x &= f(x, y) - f(x + 1, y + 1) \\ \nabla P_y &= f(x + 1, y) - f(x, y + 1) \end{aligned} \quad (15)$$

โดย ∇P_x และ ∇P_y เป็นค่าเกรเดียนต์ที่คำนวณตามแนวแกน x และ แกน y ตามลำดับ สำหรับเทมเพลตของวิธีนี้คือ

$$P_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad P_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

โดย P_x คือ เทมเพลตในแนวแกน x

P_y คือ เทมเพลตในแนวแกน y

2.7.1.3 วิธี Sobel (SOB)

วิธี SOB เป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณค่าโฟกัสบนพื้นฐานอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่ยอมรับวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถหาค่าโฟกัสได้จากสมการที่ (16) ดังนี้

$$f_{SOB} = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M [\nabla S(n, m)]^2 \quad (16)$$

โดย $\nabla S(n, m)$ คือค่าเกรเดียนท์ที่คำนวณได้จากวิธี Sobel ดังสมการ (17)

$$\nabla S(n, m) = \sqrt{(\nabla S_x(n, m))^2 + (\nabla S_y(n, m))^2}$$

$$\begin{aligned} \nabla S_x = & \{-[f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] \\ & + [f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)]\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \nabla S_y = & \{[f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)] \\ & - [f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)]\} \end{aligned}$$

วิธีนี้จะใช้เทมเพลตขนาด 3x3 สองเทมเพลต ดังนี้

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

โดย S_x เป็นเทมเพลตสำหรับการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน X

S_y เป็นเทมเพลตสำหรับการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน Y

2.7.2 การอโต้โฟกัสโดยใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Second-order Derivative)

วิธีจากเทคนิคอนุพันธ์อันดับสองจะคล้ายกับวิธีของอนุพันธ์อันดับหนึ่ง แต่วิธีนี้จะให้ผลเด่นชัดกับการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่งคือให้รายละเอียดของภาพเด่นชัดขึ้นมากกว่า สำหรับการคำนวณหาค่าโฟกัสโดยวิธีการอนุพันธ์อันดับสองในที่นี้จะมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธี Laplacian (LAP) และวิธี Laplacian Variance (Lap Var) ดังนี้

2.7.2.1 วิธี Laplacian (LAP)

โดยทั่วไปการทำอนุพันธ์อันดับสอง จะนำไปตั้งสมการที่ (18) ดังนี้

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (18)$$

โดย

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) - 2f(x, y) \quad (19)$$

และ

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 2f(x, y) \quad (20)$$

สำหรับการคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสองสำหรับ 2 ตัวแปรทำได้โดยการบวกทั้งสองข้างของสมการข้างต้นเข้าด้วยกันดังนี้

$$f_{LAP} = \sum_{n=2}^N \sum_{m=2}^M |\nabla L(n, m)| \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \nabla L &= f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) \\ &\quad + f(x, y - 1) - 4f(x, y) \end{aligned}$$

โดยสมการที่ (21) สามารถนำมาสร้างเป็นเทมเพลตได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.7.2.2 วิธี Laplacian Variance (Lap Var)

วิธีนี้พัฒนามาจากวิธีการของ Laplacian ขึ้นมาอีกขั้นเพื่อให้ได้ค่าโพกัสที่ชัดเจน เนื่องจากภาพที่มีความคมชัดมากกว่าจะมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่า จึงทำให้สามารถนำมาสร้างเป็นสมการหาค่าโพกัสได้ดังนี้

$$f_L = \sum_{n=2}^N \sum_{m=2}^M [\nabla L(n, m) - \overline{\nabla L(n, m)}]^2 \quad (22)$$

$$\overline{\nabla L} = \frac{1}{(N-2)(M-2)} \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=2}^{M-1} \nabla L(n, m)$$

2.8 การถอดโพกัสจากการพิจารณาภาพในโดเมนความถี่

การแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Transform) เป็นการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่อ้างอิงในเชิงตำแหน่งหรือเวลาที่เรียกว่า โดเมนตำแหน่ง (Spatial Domain) ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยสามารถแสดงขนาดของสัมประสิทธิ์ความถี่ในลักษณะสเปกตรัมความถี่หรือแถบความถี่ได้ สำหรับการประยุกต์ใช้การแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์กับงานด้านการประมวลผลภาพซึ่งแต่ละพิกเซลในภาพมีตำแหน่งเป็นจำนวนเต็มและไม่ต่อเนื่องกัน จึงถือเป็นการแปลงสัมประสิทธิ์ไม่ต่อเนื่องดังแสดงในสมการที่ (23)

$$F(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi \frac{ux}{M}} \quad (23)$$

โดยที่ $F(u)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ในตำแหน่งความถี่ u

$f(x)$ คือ ค่าของข้อมูลในภาพในโดเมนตำแหน่ง (x)

M คือ ขนาดของภาพในแนวแกน x

สัมประสิทธิ์ค่าความถี่ $F(u)$ นี้จะมีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งสามารถเขียนในรูปของพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate) ได้ดังสมการที่ (24)

$$\begin{aligned}
 F(u) &= |F(u)|e^{-j\theta(u)} \\
 &= Re(u) + jIm(u)
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

โดย

$$|F(u)| = \sqrt{Re^2(u) + Im^2(u)} \tag{25}$$

เป็นค่าขนาดหรือค่าแอมพลิจูดของการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ คือค่าขนาดของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุต และค่า θ เป็นค่ามุมของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่หรือมุมของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตตามสมการที่ (26) โดยที่ $Re(u)$ และ $Im(u)$ เป็นค่าของส่วนจำนวนจริง (Real) และค่าของส่วนจินตภาพ (Imaginary) ของค่า $F(u)$ นั่นเอง[19]

$$\theta(u) = \tan^{-1} \left(\frac{Im(u)}{Re(u)} \right) \tag{26}$$

สำหรับอีกค่าหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์อย่างมากคือ ค่าสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum) หรือบางครั้งเรียกว่าสเปกตรัมและเฟส สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (27)

$$\begin{aligned}
 P(u) &= |F(u)|^2 \\
 &= Re^2(u) + Im^2(u)
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

โดยปกติขั้นตอนการทำการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่องเมื่อจำนวนของข้อมูลมีมากจะใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นตามไปด้วยและทำให้มีความซับซ้อนของการคำนวณอยู่ในอันดับของ N^2 ตัวอย่างเช่น การคำนวณสำหรับลำดับสัญญาณ N จุด จะต้องทำการคูณจำนวนเชิงซ้อนถึง $N \times N$ ครั้ง และบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก $N(N-1)$ ครั้ง ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลที่นานเกินกว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานแบบทันที (Real Time) ได้ จึงมีการเสนออัลกอริทึมที่มีแนวทางในการลดระยะเวลาลงให้การทำงานเร็วกว่านี้โดยมีความซับซ้อนอยู่ในอันดับที่ $N \log_2(N)$ ซึ่งถูกเรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเป็นเทคนิคที่นำมาช่วยให้การแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มีความรวดเร็วมากขึ้น แต่ไม่ได้เป็นการแปลงเทคนิคใหม่แต่อย่างใดยังคงมีอัลกอริทึมที่อยู่บนพื้นฐานแบบเดียวกับการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

2.8.1 วิธีการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (FFT)

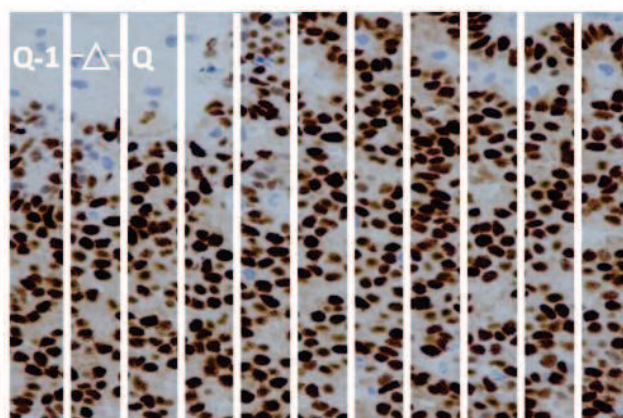
สำหรับวิธีในหัวข้อ 2.7.1-2.7.3 เป็นวิธีการวัดความคมชัดของภาพโดยอาศัยพื้นฐานในเรื่ององค์ประกอบความถี่ของภาพเข้ามาช่วยพิจารณา โดยทำการแปลงข้อมูลภาพจากโดเมนตำแหน่งหรือ โดเมนเวลาให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อได้ออกมาเป็นจำนวนเชิงซ้อนจึงนำค่าส่วนจริงและส่วนจินตภาพจากสมการที่ (24) มาสร้างเป็นสมการเพื่อค่าหาโฟกัส F_{FT} ได้ดังสมการที่ (28)

$$F_{FT} = \frac{1}{n} \sum |(Re^2(u) + Im^2(u)) \times \tan^{-1} \left(\frac{Im(u)}{Re(u)} \right)| \quad (28)$$

$$f_{BF} = f_k \text{ where } MAX(N(F_{FT})) \quad (29)$$

2.8.2 วิธีการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ 1 มิติและความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson)

วิธีนี้จะเป็นการนำวิธีการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มารวมกับการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีของเพียร์สัน โดยเริ่มจากการแปลงภาพที่ต้องการหาค่าโฟกัสให้อยู่โดเมนความถี่ด้วยการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ 1 มิติตามวิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะคำนวณเพียงบางส่วนของภาพเท่านั้นตามจำนวน Q เวกเตอร์ (V_q) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เวกเตอร์ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการประมวลผลตามวิธีการที่ 2.7.2

โดย $q = 1, 2, 3, \dots, Q$ และระยะห่างของแต่ละเวกเตอร์ V_q จะมีขนาดเท่ากับ เดลต้า ดังนั้นจำนวนของเวกเตอร์จะเท่ากับ $\frac{N}{\Delta} + 1$ และแต่ละเวกเตอร์ V_q สามารถสร้างได้ดัง สมการ (30)

$$\begin{aligned} V_1 &= f(1, y_0, \dots, y_m) \\ V_2 &= f(1 + \Delta, y_0, \dots, y_m) \\ &\vdots \\ V_q &= f(1 + (q - 1)\Delta, y_0, \dots, y_m) \end{aligned} \quad (30)$$

เมื่อทำการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เวกเตอร์ทั้งหมดแล้วก็จะนำแต่ละเวกเตอร์จาก สมการ (30) มาคำนวณหาสเปกตรัมกำลังตามสมการที่ (27) ได้ออกมาเป็น $|H_1(f)|^2, |H_2(f)|^2, |H_3(f)|^2, \dots, |H_q(f)|^2$ ตามลำดับและสุดท้ายค่าที่ได้จะเป็นค่าโพกัสของแต่ละภาพออกมาเพื่อนำมา หาภาพที่ชัดที่สุดตามความสัมพันธ์แบบเพียร์สันต่อไป

ความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r) ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือข้อมูล 2 ชุด โดยที่ตัวแปรหรือข้อมูล 2 ชุดนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นและมีความเป็นอิสระต่อกัน ค่าสัมประสิทธิ์ r มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง ± 1.00 ค่า 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ ค่า ± 1.00 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูงสุดหรือสมบูรณ์ (Perfect Correlation) เครื่องหมายบวกและลบแสดงทิศทางของความสัมพันธ์คือเครื่องหมายบวกแสดงว่า ตัวแปร 2 ตัวแปรผันไปในทิศทางเดียวกัน ส่วน เครื่องหมายลบแสดงว่าตัวแปร 2 ตัวแปรผันแบบผกผันกันคือ แปรผันในทิศทางตรงกันข้ามกัน การหาค่าสัมประสิทธิ์ r มีสูตรดังนี้

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right]}} \quad (31)$$

โดย r เป็น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน
 $\sum x$ เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)
 $\sum y$ เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)
 $\sum xy$ เป็น ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2
 $\sum x^2$ เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1
 $\sum y^2$ เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2
 n เป็น ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบเพียร์สันในการหาภาพที่คมชัดที่สุดโดยวิธีในหัวข้อนี้คือ ภาพที่ถูกเลือกให้เป็นภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่เบลอที่สุด ซึ่งจะทำได้ว่าภาพที่มีความคมชัดที่สุดและภาพที่เบลอที่สุดจะมีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดคือภาพที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r) น้อยที่สุดนั่นเอง

$$f_{BF} = f_k \text{ where } \text{MIN}(N(r)) \quad (32)$$

2.8.3 วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ (FFT Vector)

วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์เป็นวิธีการวัดความคมชัดของภาพที่ได้คิดค้นขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ให้เป็นวิธีที่รวดเร็วกว่าต้องและภาพผลลัพธ์มีความคมชัดมากที่สุด ขั้นตอนเริ่มจากภาพที่ได้จะอยู่ในโดเมนตำแหน่งจึงต้องทำการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ และจะใช้เพียงบางเวกเตอร์ของภาพมาทำการประมวลผลเท่านั้นเพื่อลดเวลาในการคำนวณให้เร็วคล้ายกับวิธีที่ 2.7.2 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ที่กำหนดไว้ หากเซลล์มีค่าต่ำจะทำให้จำนวนเวกเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณมากส่งผลให้เวลาในการคำนวณนาน แต่ผลลัพธ์จะมีความแม่นยำสูง ในทางกลับกันหากเซลล์มีค่าสูงจำนวนเวกเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณก็จะน้อยและเวลาในการคำนวณก็จะเร็วด้วยเช่นกันแต่ความถูกต้องแม่นยำจะน้อยกว่ากรณีแรก เมื่อได้ค่าเซลล์จะทำให้สามารถกำหนดเวกเตอร์จำนวน N_q เวกเตอร์เพื่อนำไปคำนวณหาสเปกตรัมกำลังตามสมการที่ (27) ได้

ถ้าพิจารณารายละเอียดของภาพจะพบว่าส่วนของภาพที่เป็นรายละเอียดต่างๆไปนั้นคือ ภาพที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำจะเป็นภาพที่มีความเบลอคือภาพมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีอย่างค่อยเป็นค่อยไป ส่วนภาพที่มีองค์ประกอบความถี่สูงจะเป็นภาพที่มีความคมชัด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีอย่างรวดเร็วจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ได้ข้อสรุปว่าเราสามารถหาค่าโพกัสของแต่ละภาพได้จากการหาสเปกตรัมกำลังของแต่ละภาพนั่นเอง และจากคุณสมบัติเรื่ององค์ประกอบความถี่ของภาพที่ชัดและเบลอทำให้ได้ว่าเมื่อนำสเปกตรัมกำลังที่คำนวณได้มาหาผลรวม ภาพที่ชัดที่สุดจะต้องเป็นภาพที่มีค่าผลรวมมากที่สุดด้วย จึงสามารถคำนวณหาค่าโพกัสของแต่ละภาพและภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดได้ดังสมการที่ (33) และ (34) ตามลำดับ

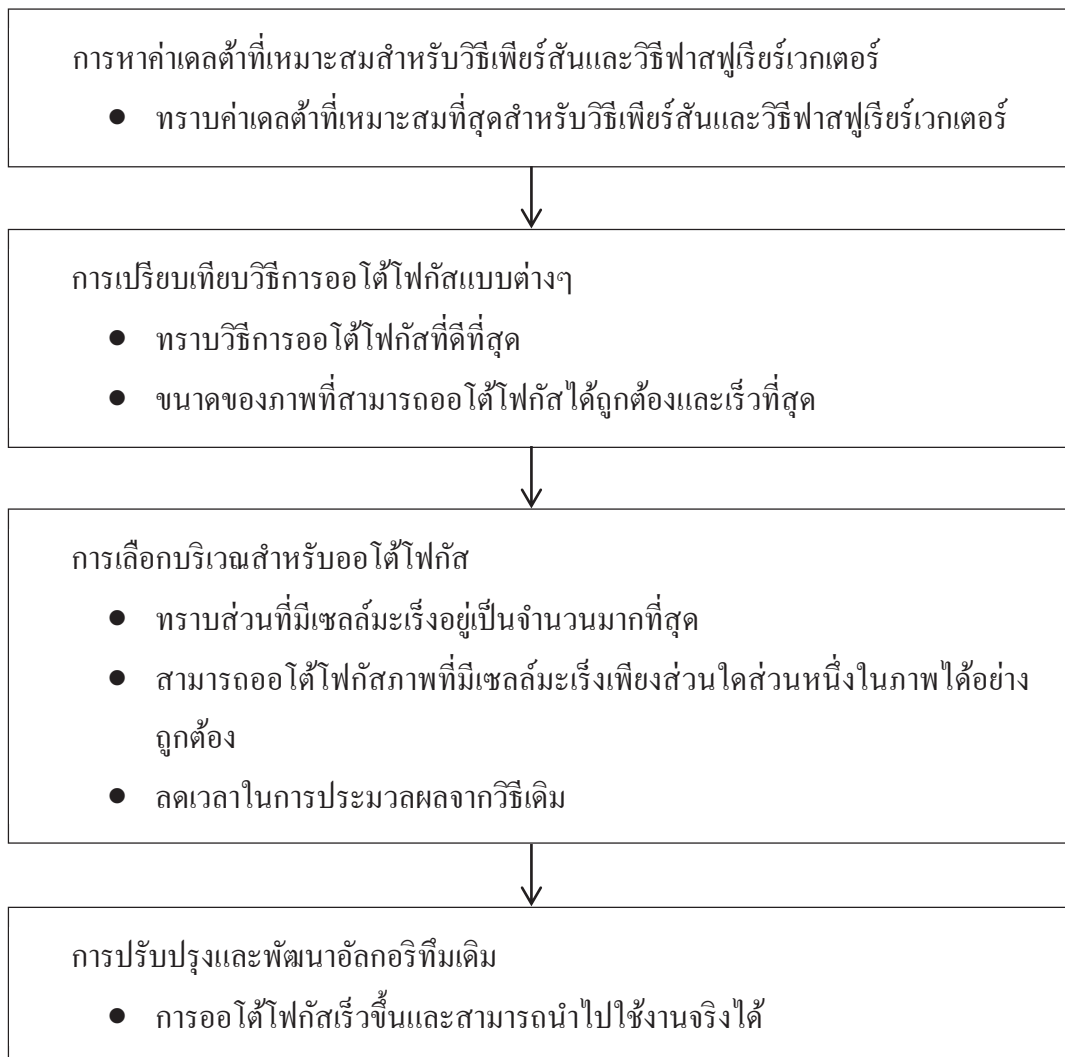
$$F_{\text{FFTVector}} = \sum |H(f)|^2 \quad (33)$$

$$f_{BF} = f_k \text{ where } \text{MAX}(N(F_{\text{FFTVector}})) \quad (34)$$

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบ

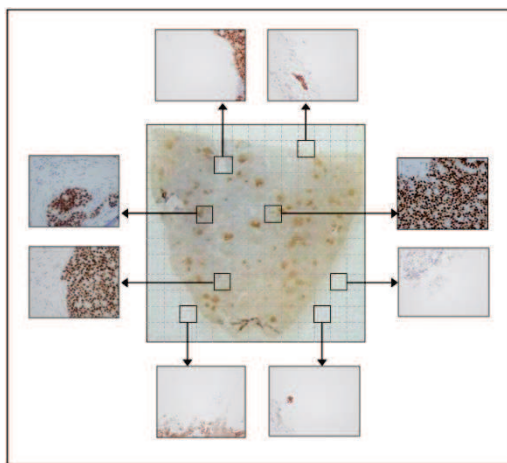
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาออกแบบอัลกอริทึมอโต้โฟกัสสำหรับการถ่ายภาพ เซลล์มะเร็งเต้านมด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถประมวลผลได้รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ในการเก็บภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะของเซลล์มะเร็งเต้านม งานวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีลักษณะแตกต่างกัน และนำมาทดสอบกับวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆ โดยเริ่มต้นจากการทดลองเพื่อหาขนาดของเซลล์ที่เหมาะสมที่สุดกับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ เมื่อได้ค่าเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์แล้วจากนั้นจะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆ ทั้ง 7 วิธีคือ วิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR, FFT, เพียร์สันและฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ด้วยภาพต้นฉบับ, ภาพที่ได้ทำการย่อภาพให้เล็กลงและตัดภาพเฉพาะบางส่วนมาใช้ในการประมวลผล แต่เนื่องด้วยลักษณะภาพของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมอาจจะมีบางบริเวณในภาพเป็นพื้นที่ว่าง จึงได้ออกแบบวิธีการอโต้โฟกัสเพื่อทดสอบกับภาพที่มีลักษณะดังกล่าว โดยจะแบ่งภาพออกเป็นหลายๆ ส่วนและเลือกเฉพาะส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดสำหรับอโต้โฟกัส ด้วยวิธีการพิจารณาจากกราฟฮิสโทแกรมของภาพสีเทาและภาพขาวดำ และท้ายสุดเป็นการพัฒนาปรับปรุงให้อัลกอริทึมเดิมให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นและยังให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเช่นเดิมดังรูปที่ 3.1



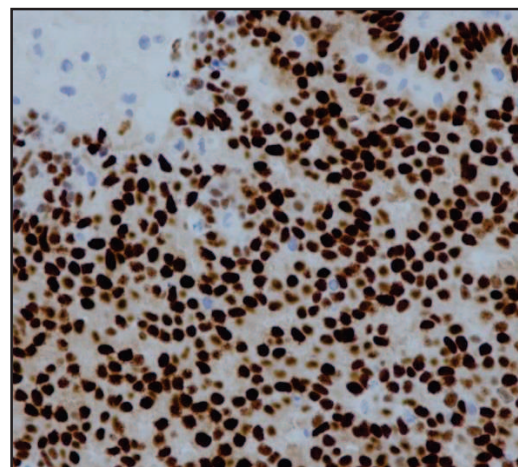
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการทดลองและผลที่ได้ในแต่ละขั้น

3.1 อุปกรณ์และวิธีการเก็บภาพตัวอย่าง

ภาพเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเนื้อเยื่อของเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านม ซึ่งผ่านการย้อมสีและเซลล์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลและสีน้ำเงินดังรูปที่ 3.2 (ก) จากนั้นจะทำการถ่ายภาพด้วยอัตราขยาย 400 เท่าดังรูปที่ 3.2 (ข) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eclipse 80i Advance Research Microscope ดังรูปที่ 3.3 (รายละเอียดการใช้งานในภาคผนวก ก) และบันทึกออกมาเป็นภาพสีดิจิทัล RGB 24 บิต ขนาด 2880 × 3600 พิกเซล เป็นไฟล์ประเภท JPEG ค่าการบีบอัด 1:10 สามารถเขียนเป็นแผนภาพประกอบได้ดังรูปที่ 3.4 และนำมาทดลองโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel ® Core™ i5 CPU 3.10 GHz หน่วยความจำ 4.00 GB และใช้โปรแกรม MATLAB 7.9 (The MathWorks, Inc., Natick, MA) ในการประมวลผล

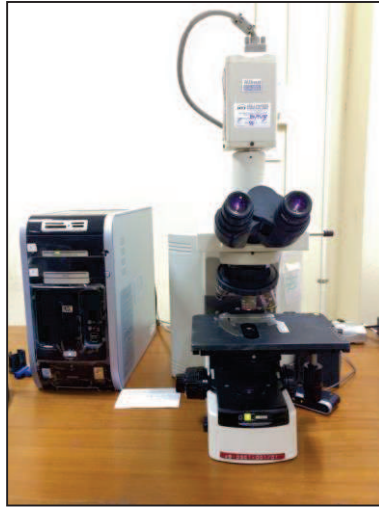


(ก) ภาพของชิ้นเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมที่ผ่านการย้อมสี

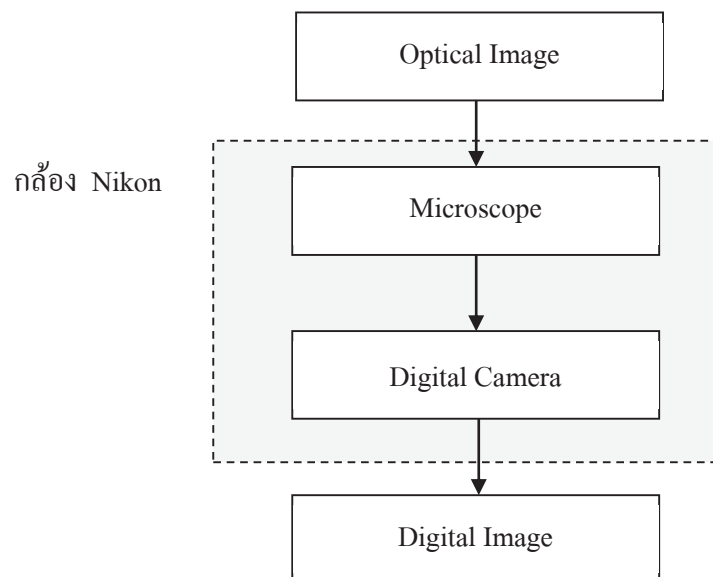


(ข) ภาพของเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมที่อัตราขยาย 400 เท่า

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพเซลล์มะเร็งเรื้อรังเต้านมที่ผ่านการย้อมสีแล้วที่อัตราขยาย 400 เท่า

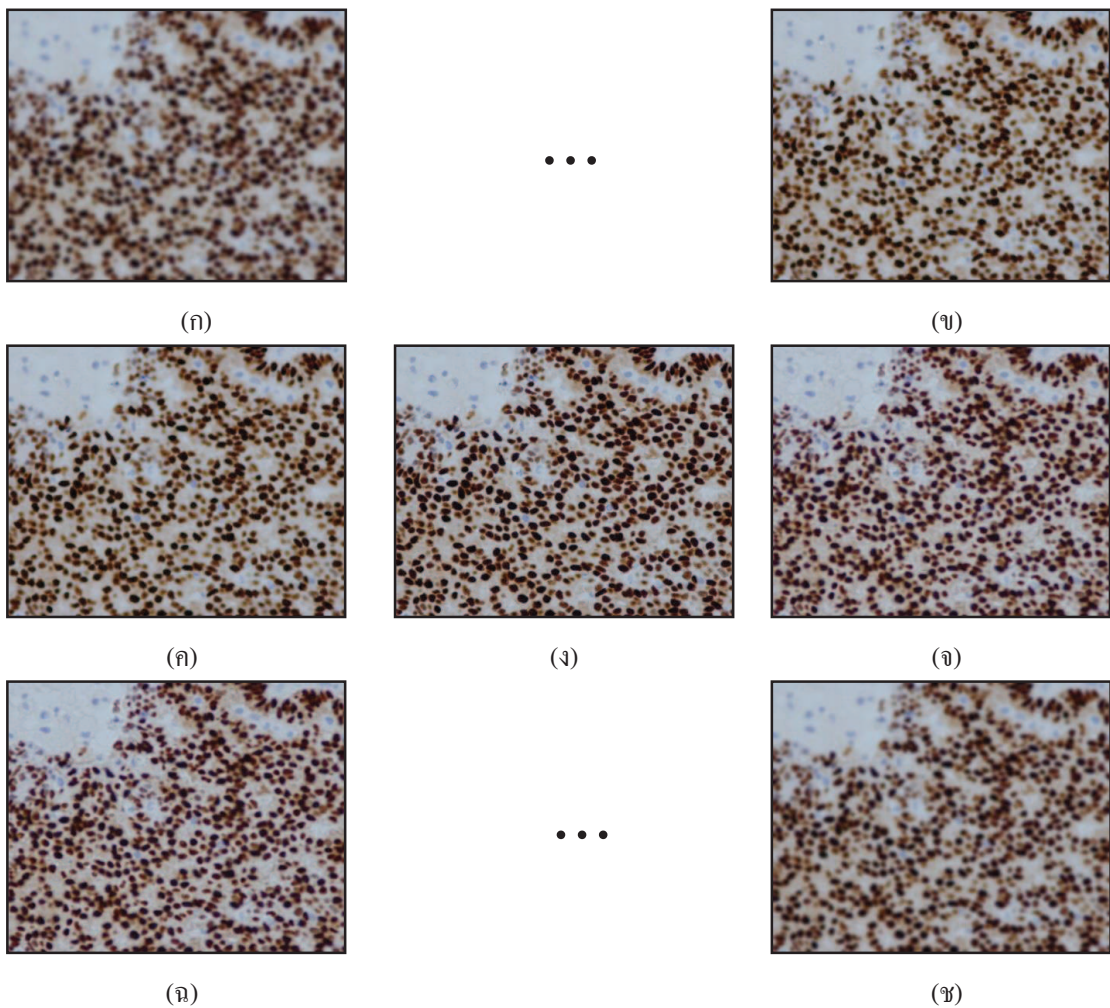


รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eclipse 80i Advance Research Microscope



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงลำดับการได้มาของภาพดิจิทัล

การเก็บภาพเพื่อนำมาทดสอบเริ่มต้นจากการถ่ายภาพที่ตำแหน่งชัดที่สุดมา 1 ภาพ ดังรูปที่ 3.5 (ง) และหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดขึ้นไป 1 ระดับขนาด 0.5 ไมโครเมตรเพื่อถ่ายภาพให้ได้ระยะวัตถุตำแหน่งที่ต่างจากภาพแรก โดยความชัดจะลดลงมา 1 ระดับจากรูปเริ่มต้นดังรูปที่ 3.5 (ค) จากนั้นหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดด้วยวิธีการเช่นเดิมอีก 14 ครั้งจะได้ภาพที่มีความชัดระดับที่ต่างกันอีก 14 ภาพดังรูปที่ 3.5 (ข) และ รูปที่ 3.5 (ค) ตามลำดับ และจากระดับตำแหน่งที่ได้ภาพที่ชัดที่สุดออกมาทำการหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดลงมาอีก 15 ระดับและจะได้ภาพที่มีความคมชัดที่ต่าง ๆ กันอีก 15 ภาพ ดังรูปที่ 3.5 (จ), รูปที่ 3.5 (ฉ) และ รูปที่ 3.5 (ช) ตามลำดับ และท้ายสุดภาพ 1 ชุดจะประกอบไปด้วยภาพทั้งสิ้นจำนวน 31 ภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอในการทดลอง เป็นภาพที่ชัดที่สุด 1 ภาพและภาพที่มีความชัดลดลงเรื่อยๆ ลงมาอีก 30 ภาพ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของภาพ 1 ชุดที่ประกอบไปด้วยภาพที่มีความคมชัดแตกต่างกัน

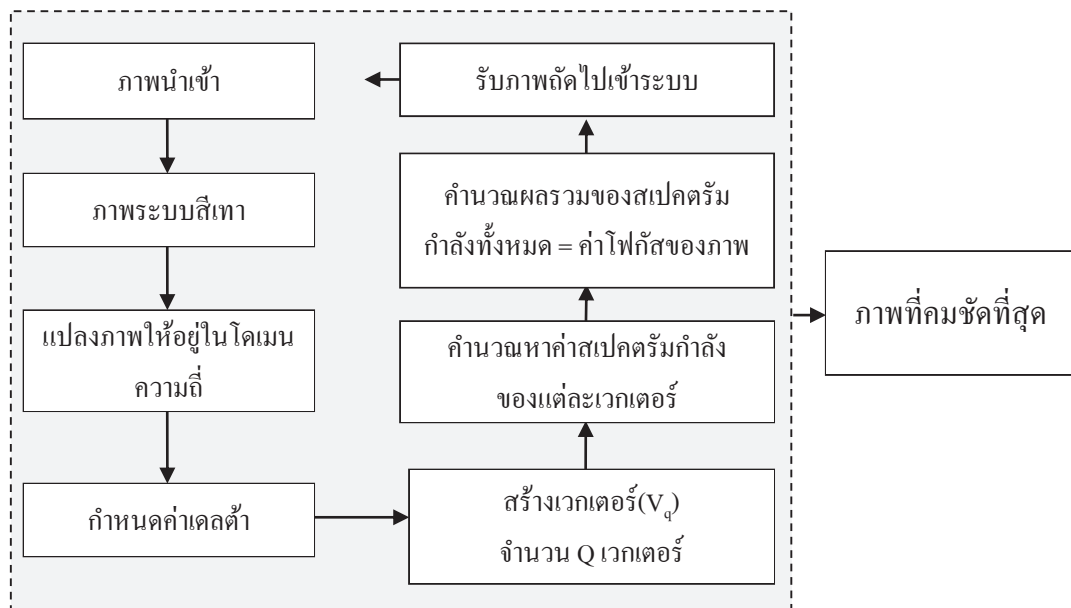
3.2 การหาระบบอโต้ไฟกัสที่เหมาะสมสำหรับภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าเคลด้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ และส่วนที่สองของการทดลองเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการอโต้ไฟกัสที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ (วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์) กับวิธีอโต้ไฟกัสอื่นๆ

3.2.1 การทดลองหาค่าเคลด้าที่เหมาะสมสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์

จากวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์พบว่าทั้งสองวิธีต้องมีการกำหนดค่าเคลด้าเพื่อเป็นตัวกำหนดปริมาณของเวกเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการอโต้ไฟกัสดังที่ได้กล่าวไว้หัวข้อที่ 2.7.3 เนื่องจากค่าเคลด้ามีผลต่อการอโต้ไฟกัสระดับหนึ่งคือ หากเคลด้ามีค่ามากจะทำให้ระยะห่างของเวกเตอร์มากตามไปด้วยและส่งผลให้ปริมาณเวกเตอร์ที่จะนำมาคำนวณต่อจะมีปริมาณน้อย เมื่อเวกเตอร์มีปริมาณน้อยก็จะทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยแต่ข้อมูลที่นำมาพิจารณาจะน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นข้อดีของการกำหนดค่าเคลด้าให้มีค่ามากคือ ประมวลผลเร็ว แต่ข้อเสียคืออาจจะได้ข้อมูลสำหรับอโต้ไฟกัสที่ผิดพลาดหรือขาดความถูกต้องนั่นเอง แต่ถ้าหากค่าเคลด้ามีค่าน้อยลงการอโต้ไฟกัสที่ได้จะค่อนข้างแม่นยำน่าเชื่อถือ แต่ก็จะมีข้อเสียคือเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมากตามไปด้วย การทดลองนี้จึงทำการกำหนดค่าเคลด้าไว้ที่ขนาด 1, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 500, 1000 และ 2000 เวกเตอร์ สำหรับวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ การหาค่าเคลด้าที่เหมาะสมที่สุดโดยสามารถทำให้การประมวลผลรวดเร็วและอโต้ไฟกัสได้อย่างถูกต้อง

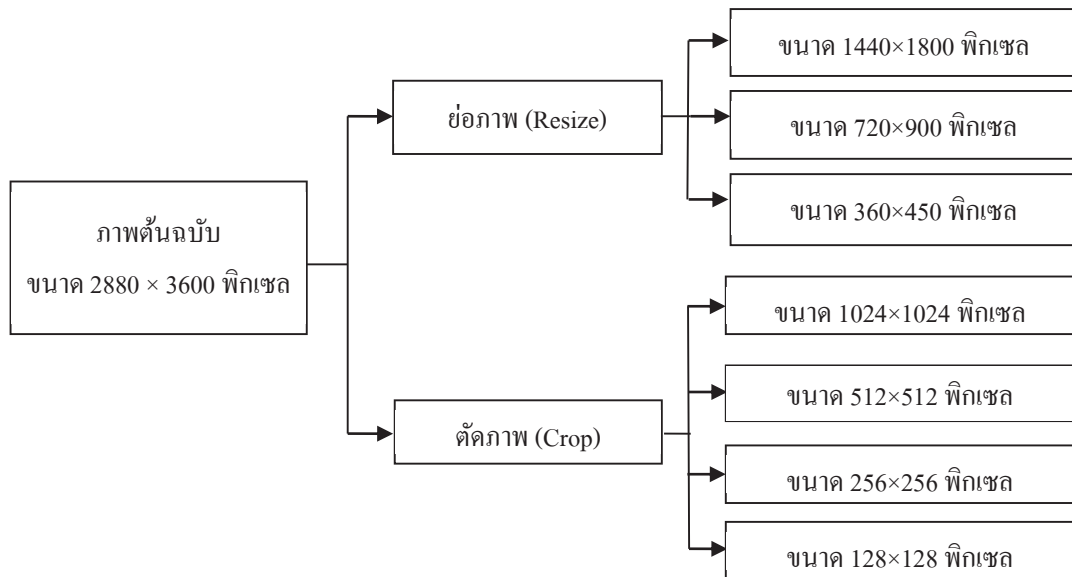
โดยขั้นตอนของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์เริ่มจากนำภาพต้นฉบับภาพแรกแปลงให้เป็นภาพระบบสีเทาและแปลงฟาสฟูเรียร์ภาพนั้นๆ ให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ขั้นตอนถัดไป จะทำการกำหนดตัวแปรเคลด้าเพื่อสร้างเวกเตอร์และคำนวณหาค่าสเปกตรัมกำลังของแต่ละเวกเตอร์ และท้ายสุดทำการคำนวณหาค่าไฟกัสจากผลรวมของสเปกตรัมกำลังทั้งหมดที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้ ทำด้วยวิธีการเดียวกันนี้จนถึงภาพสุดท้ายและนำค่าไฟกัสของทุกภาพมาเปรียบเทียบเลือกที่มีค่ามากที่สุดซึ่งคือภาพที่ชัดที่สุดนั่นเอง ดังรูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพขั้นตอนต่างๆ ของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ที่ได้กล่าวไว้



รูปที่ 3.6 แผนภาพกระบวนการของอัลกอริทึมวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์

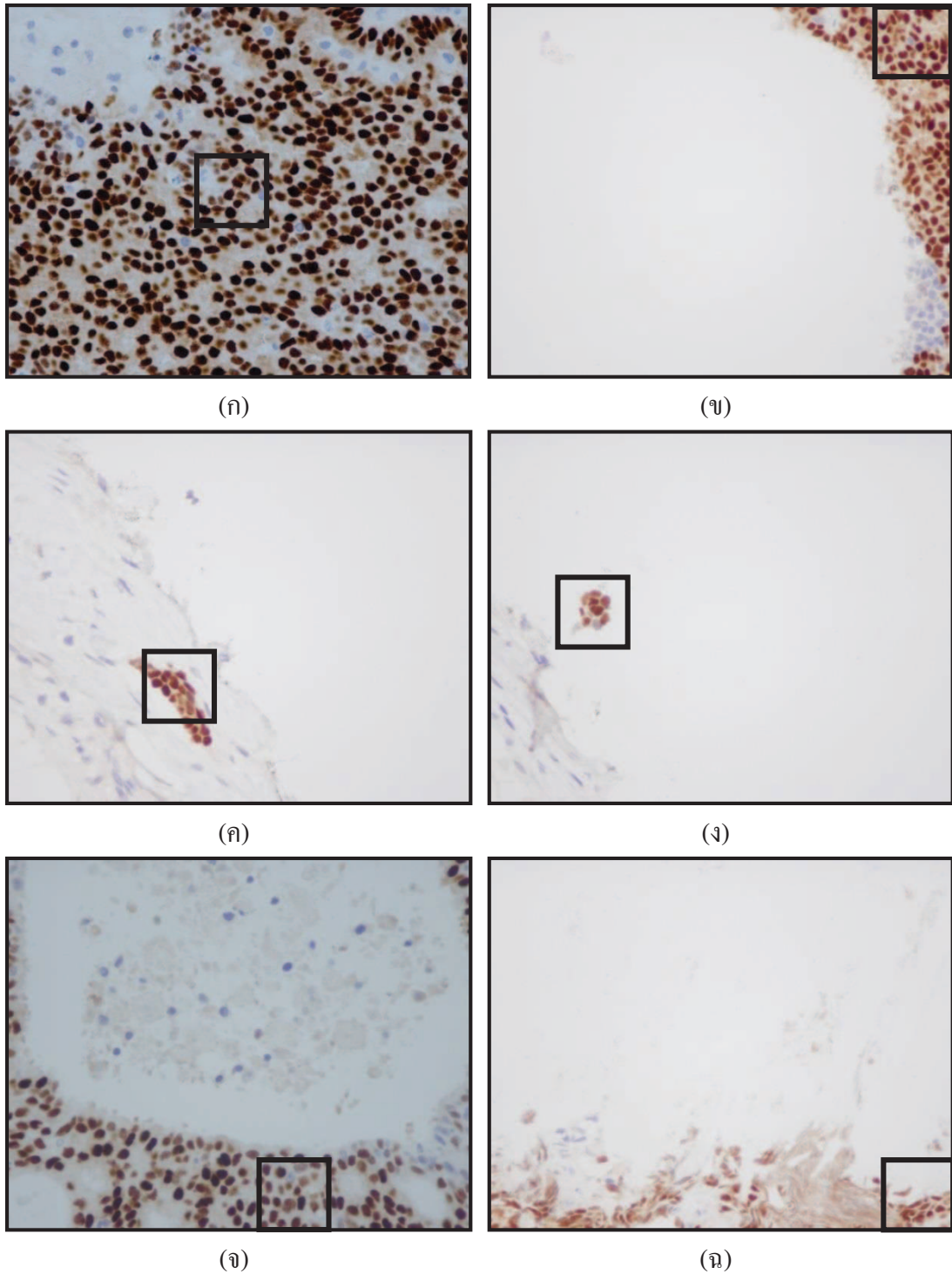
3.2.2 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆ

การทดลองประสิทธิภาพของวิธีการอโต้โฟกัสจะเป็นการทดลองในเรื่องของความเร็วในการประมวลผลและความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ของวิธีต่างๆที่ถูกนำเสนอมาก่อนหน้านี้และวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยนำมาทดสอบกับภาพต้นฉบับขนาด 2880×3600 พิกเซลและภาพที่มีขนาดเล็กกว่าเดิมจากการย่อภาพ (Resize) และตัดภาพ (Crop) ออกมาเพียงบางส่วน เพื่อให้การอโต้โฟกัสสามารถประมวลผลได้เร็วที่สุดตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยทำการย่อภาพให้เหลือ 1440×1800 , 720×900 และ 360×450 พิกเซล ซึ่งหมายความว่าภาพต้นฉบับถูกลดด้วยขนาด 0.5, 0.25 และ 0.125 ตามลำดับ สำหรับการตัดภาพนั้นภาพจะถูกตัดจากบริเวณตรงกลางของภาพต้นฉบับด้วยขนาด 1024×1024 , 512×512 , 256×256 และ 128×128 พิกเซล และขั้นตอนถัดไปจึงนำภาพเหล่านั้นมาประมวลผลต่อเพื่อหาภาพที่ชัดที่สุดด้วยวิธีอโต้โฟกัสทั้ง 7 วิธี คือ วิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR, FFT, เพียร์สันและฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ สามารถเขียนเป็นแผนภาพของภาพที่นำมาใช้ทดสอบได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพของการลดขนาดภาพต้นฉบับด้วยวิธีการย่อภาพและการตัดภาพ

ภาพของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมมีลักษณะที่แตกต่างกันหลายแบบ ซึ่งอาจจะ เป็นภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั่วทั้งภาพ หรืออาจจะมีเซลล์มะเร็งเต้านมจับกลุ่มอยู่ ส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพและบริเวณที่เหลือจะเป็นพื้นที่ว่างเปล่าดังรูปที่ 3.8 (ข) - รูปที่ 3.8 (ค) ดังนั้นหากจะกำหนดบริเวณส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพเพื่อตัดภาพเฉพาะส่วนมาใช้ในการ ประมวลผลออกได้โฟกัสจึงเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องนัก ดังการทดลองก่อนหน้านี้ที่ได้กำหนดให้ตัดภาพ บริเวณส่วนตรงกลางภาพมาทำการออกได้โฟกัส เนื่องจากบริเวณนั้นอาจจะเป็นบริเวณพื้นที่ว่าง เปล่าที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่ เช่นรูปที่ 3.8 (ก) คือภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั่วทั้ง ภาพจึงสามารถตัดภาพบริเวณส่วนตรงกลางภาพที่อยู่ในกรอบสีดำมาทำการออกได้โฟกัสได้ แต่ ภาพของเซลล์มะเร็งเต้านมดังรูปที่ 3.8 (ข) - รูปที่ 3.8 (ค) จะเห็นได้ว่ากลุ่มของเซลล์มะเร็งเต้านม ไม่ได้กระจายอยู่ทั่วทั้งภาพแต่จับกลุ่มอยู่ในบริเวณที่แตกต่างกัน ดังนั้นบริเวณที่เหมาะสมที่จะ นำมาประมวลผลออกได้โฟกัสคือบริเวณที่อยู่ในกรอบสีดำตามที่ได้แสดงไว้



รูปที่ 3.8 ภาพตัวอย่างการตัดภาพของเซลล์มะเร็งเต้านมที่ใช้ในการอโต้โฟกัสที่บริเวณต่างๆกัน

3.3 การทดลองเลือกบริเวณสำหรับอโต้โฟกัส

จากปัญหาของการทดลองก่อนหน้านี้คือ บริเวณของภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาประมวลผลอโต้โฟกัสของแต่ละภาพแตกต่างกันออกไป และลักษณะของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีความหนาของเนื้อเยื่อไม่เท่ากันทั้งหมดจึงส่งผลให้ระยะ โฟกัสของแต่ละส่วนแตกต่างกัน การทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่จะนำไปอโต้โฟกัสจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองอโต้โฟกัสของภาพในบริเวณที่ต่างๆกันและการทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับอโต้โฟกัสดังนี้

3.3.1 การทดลองอโต้โฟกัสของภาพในบริเวณที่ต่างๆกัน

จากปัญหาของงานวิจัยนี้คือ ลักษณะของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีความหนาไม่เท่ากันจึงทำให้ระยะ โฟกัสของแต่ละบริเวณในเนื้อเยื่อนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความหนาในบริเวณนั้นๆ การทดลองจึงแบ่งภาพออกเป็นหน้าต่างย่อยหลายขนาดได้แก่ 2×2 , 3×3 , 4×4 และ 5×5 ส่วน และอโต้โฟกัสด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ในแต่ละส่วนเพื่อเปรียบเทียบผลการอโต้โฟกัส

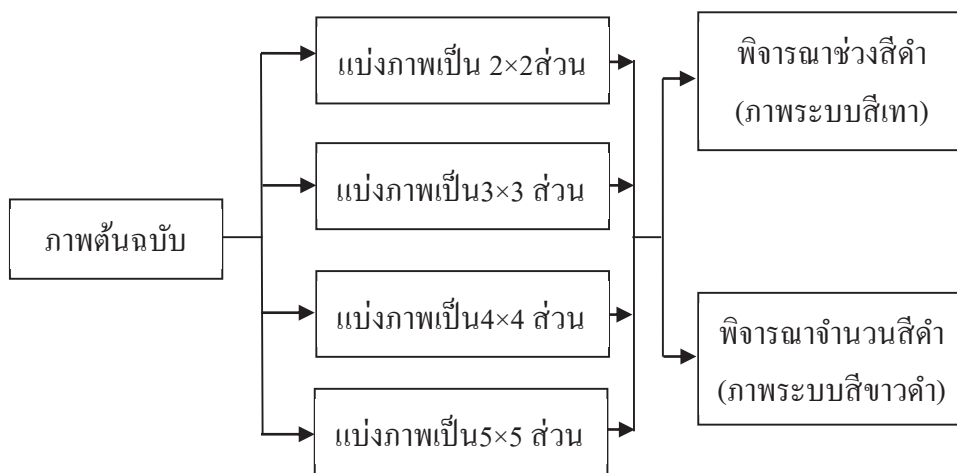
3.3.2 การทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับอโต้โฟกัส

จากภาพของเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีบางบริเวณในภาพเป็นส่วนของพื้นที่ว่างนั้นจึงไม่สามารถกำหนดบริเวณที่จะนำมาอโต้โฟกัสได้อย่างแน่นอน การเลือกบริเวณที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับว่าบริเวณใดในภาพมีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด บริเวณนั้นคือบริเวณที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปประมวลผลอโต้โฟกัสนั่นเอง

การทดลองเริ่มต้นจากการแบ่งภาพออกเป็น 2×2 , 3×3 , 4×4 และ 5×5 ส่วน เพื่อพิจารณาว่าสมควรที่จะแบ่งภาพออกเป็นกี่ส่วนดีที่สุดในพื้นฐานของความเร็วและความถูกต้อง จากนั้นจะเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดโดยเลือกจากการทดลอง 2 วิธีคือ

- 1) แปลงภาพให้อยู่ในระบบสี่เทาและพิจารณาช่วงสีค่าของภาพนั้นในแต่ละส่วน
- 2) แปลงภาพให้อยู่ในระบบขาวดำและพิจารณาจำนวนสีค่าของภาพนั้นในแต่ละส่วน

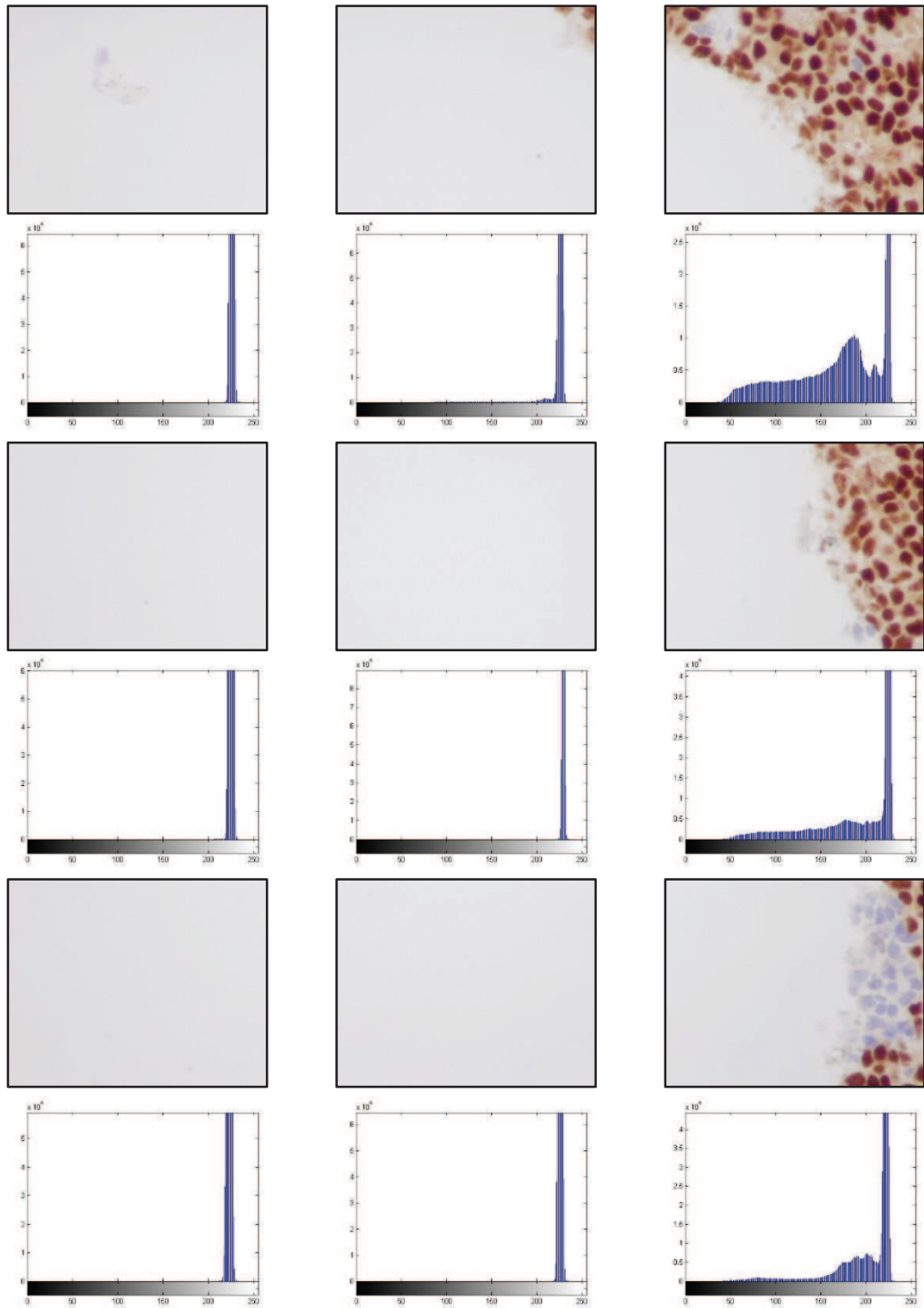
สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนภาพส่วนหนึ่งของการเลือกบริเวณที่นำมาใช้ในการถอดได้โฟกัส

3.3.2.1 การพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมของภาพในระบบสี่เทา

ฮิสโทแกรมของภาพระบบสี่เทาเป็นการแสดงจำนวนพิกเซลของแต่ละค่าระดับสี โดยแกนอนจะเป็นค่าระดับสีเทาและแกนตั้งจะเป็นความถี่ของระดับสีเทา ดังเช่นตัวอย่างของรูปที่ 3.8 (ข) เซลล์มะเร็งเต้านมกระจายตัวอยู่เพียงบางส่วนและมีจำนวนมากที่สุดในบริเวณด้านขวาบนของภาพ หากแปลงภาพนี้เป็นระบบสี่เทาและทำการแบ่งภาพนี้ออกเป็นขนาด 3×3 ส่วน และสร้างกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนออกมาได้มาดังรูปที่ 3.10 กราฟฮิสโทแกรมของส่วนที่ 3 คือส่วนที่อยู่ด้านขวาบนของภาพมีความถี่ในช่วงสีค่าสูงกว่าส่วนอื่นๆทั้งหมดอย่างชัดเจน ซึ่งตรงกับ การพิจารณาจากตอนต้นว่าส่วนที่ 3 คือส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปคำนวณถอดได้โฟกัส เนื่องจากเป็นส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด

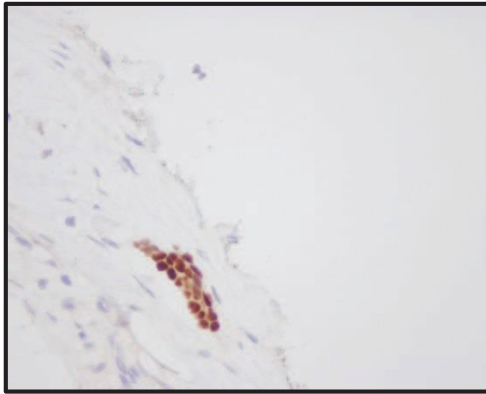


รูปที่ 3.10 ภาพที่ถูกแบ่งเป็น 3×3 ส่วนย่อยและฮิสโตแกรมของแต่ละส่วน

3.3.2.2 การพิจารณาเลือกบริเวณที่เหมาะสมของภาพในระบบสีขาวดำ

การแปลงภาพให้เป็นภาพระบบสีขาวดำจำเป็นต้องกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อ กำหนดค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพใหม่ให้เป็น 0 (สีดำ) หรือ 1 (สีขาว) หากค่าขีดแบ่งมีค่าต่ำจะ ส่งผลให้จำนวนจุดสีดำน้อย และหากค่าขีดแบ่งมีค่าสูงจะส่งผลให้จำนวนจุดสีดำมากด้วยเช่นกัน เนื่องมาจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับภาพของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมดังตัวอย่างรูปที่ 3.11 (ก) ซึ่งจะสนใจเฉพาะส่วนที่เป็นเป็นตัวเซลล์มะเร็งเต้านมที่เป็นสีน้ำตาลเท่านั้น หากนำภาพนี้มา แปลงเป็นภาพระบบสีขาวดำด้วยค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.8 จะได้ภาพระบบสีขาวดำดังรูปที่ 3.11 (ข), ค่า ขีดแบ่งเท่ากับ 0.7 จะได้ภาพระบบสีขาวดำดังรูปที่ 3.11 (ค) และค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.5 ดังรูปที่ 3.11 (ง) จากภาพในตัวอย่างที่ได้แสดงไว้จะพบว่า หากค่าขีดแบ่งมีค่าสูงเกินไปเท่ากับ 0.8 จะปรากฏ ส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อซึ่งไม่ใช่บริเวณที่สนใจ แต่หากลดค่าขีดแบ่งลงก็จะปรากฏเฉพาะส่วนที่เป็น เซลล์มะเร็งเต้านมสีน้ำตาลเท่านั้น ซึ่งค่าขีดแบ่งไม่ควรจะต่ำมากเกินไปเนื่องจากจะเสียข้อมูลของ ภาพในส่วนที่เราต้องการได้เพราะการย้อมสีของเซลล์มะเร็งเต้านมอาจจะมียางบริเวณที่เป็นสีอ่อน ได้ดังรูปที่ 3.11 (ง) ดังนั้นจากการทดลองค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมในการทดลองนี้คือ 0.7

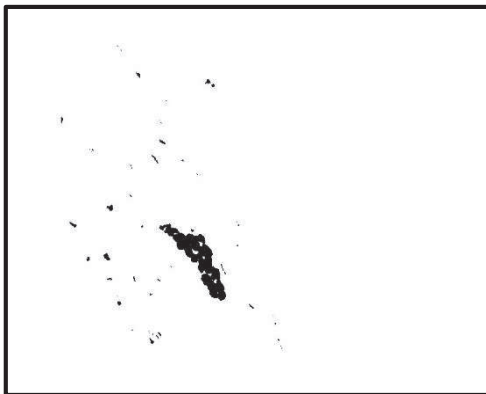
จากลักษณะของภาพเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมส่วนที่เป็นเซลล์มะเร็งเต้านมคือ ส่วนของภาพที่มีสีและส่วนที่เป็นพื้นที่ว่างคือส่วนของภาพที่เป็นสีขาว จากการสังเกตนี้หากแปลง ภาพเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมจากภาพสีให้เป็นภาพระบบขาวดำก็จะได้ว่า ตัวเซลล์มะเร็งเต้านม จะมีค่าความเข้มสีเป็นสีดำ (0) และพื้นที่ว่างคือค่าความเข้มสีเป็นสีขาว (1) นั่นเอง ดังนั้นการ ทดลองจึงได้ออกแบบให้เลือกส่วนที่มีความถี่ของสีดำอยู่จำนวนมากที่สุดซึ่งก็คือส่วนของภาพที่มี เซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดนั่นเอง เมื่อได้ส่วนของภาพที่มีจำนวนเซลล์มะเร็งเต้านม มากที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำส่วนนั้นไปเข้ากระบวนการอโต้โฟกัสต่อไป



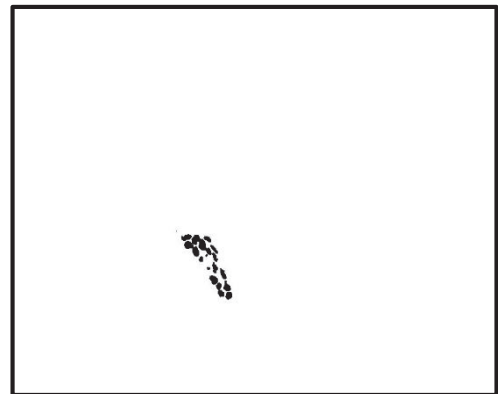
(ก) ภาพของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมก่อนแปลง
เป็นระบบสีขาวดำ



(ข) ภาพระบบสีขาวดำของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็ง
เต้านมด้วยค่าขีดแบ่ง 0.8



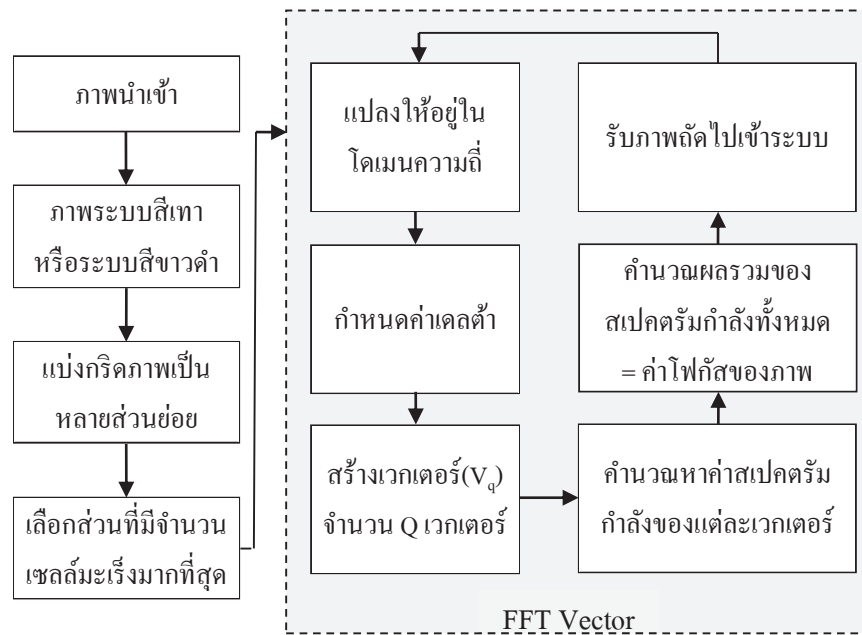
(ค) ภาพระบบสีขาวดำของเนื้อเยื่อเซลล์
มะเร็งเต้านมด้วยค่าขีดแบ่ง 0.7



(ง) ภาพระบบสีขาวดำของเนื้อเยื่อเซลล์
มะเร็งเต้านมด้วยค่าขีดแบ่ง 0.5

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างของเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเต้านมก่อนและหลังแปลงเป็นระบบสีขาวดำ
ด้วยค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกัน

สำหรับวิธีการออดิโอโฟกัสของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์จึงมีการปรับปรุงจากวิธีเดิม
ดังนี้ เริ่มต้นจากการรับภาพต้นฉบับที่มีขนาด 2880×3600 พิกเซลแปลงให้อยู่ในระบบภาพสีเทา
หรือภาพขาวดำตามแต่ละวิธีนั้นๆ และแบ่งกริดของภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อพิจารณาจำนวน
เซลล์มะเร็งเต้านมในแต่ละส่วนและเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมจำนวนมากที่สุดให้เป็นตัวแทน
ของภาพในการออดิโอโฟกัสตามขั้นตอนของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ต่อไป โดยสร้างเวกเตอร์ V_q
ทั้งหมดและคำนวณหาสเปกตรัมกำลังของแต่ละเวกเตอร์ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าโฟกัสจาก
ผลรวมของสเปกตรัมกำลังของแต่ละเวกเตอร์ จากนั้นจึงรับภาพถัดไปและทำเช่นเดียวกันนี้จนถึง
ภาพสุดท้าย ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพรวมของการคำนวณหาโพกซ์ด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์

3.4 การทดลองเพื่อปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึมเดิม

การทดลองนี้ได้ถูกออกแบบเพื่อพัฒนาวิธีการเดิมให้ดีขึ้น โดยการปรับปรุงในเรื่องของเวลาให้สามารถประมวลได้เร็วกว่าเดิมแต่ยังคงผลลัพธ์ที่ถูกต้อง เช่น จากเดิมที่แปลงภาพเป็นระบบสีเทาทั้งภาพก็ถูกปรับปรุงให้เปลี่ยนเป็นเลือกแปลงเป็นระบบสีเทาเฉพาะส่วนที่จะนำมาใช้ในการประมวลผลเท่านั้น เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองการถอดโพกัสของภาพเซลล์มะเร็งเต้านม จากกล้องจุลทรรศน์ เริ่มจากผลการทดลองเพื่อหาขนาดของเซลล์ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งในวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ที่เหมาะสม เมื่อได้ขนาดของเซลล์ที่เหมาะสมแล้ว ถัดไปจะเป็นผลการทดลองประสิทธิภาพของวิธีถอดโพกัสแบบต่างๆ จากภาพที่ได้ทำการย่อภาพให้เล็กลงและตัดภาพเฉพาะบางส่วนในการประมวลผล เมื่อสามารถเลือกวิธีถอดโพกัสที่ดีที่สุดจากการทดลองก่อนหน้านี้ได้จึงนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปเพื่อคำนวณหาผลการทดลองการถอดโพกัสโพกัสของภาพที่มีพื้นที่ว่าง และสุดท้ายจะเป็นผลการทดลองเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีการถอดโพกัสที่ผู้กานำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลในการทดลอง

การทดลองทั้งหมดจะใช้ภาพทั้งสิ้นจำนวน 50 ชุดๆ ละ 31 ภาพ โดยแบ่งชุดภาพทั้งหมดเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ

กลุ่มที่ 1 จำนวน 5 ชุดคือ ชุดที่ 1.1 ถึง ชุดที่ 1.5 ภาพในกลุ่มนี้จะมีลักษณะที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั่วทั้งภาพ สำหรับทดลองหาค่าเซลล์ที่เหมาะสมและทดลองเปรียบเทียบวิธีการถอดโพกัสแบบต่างๆ

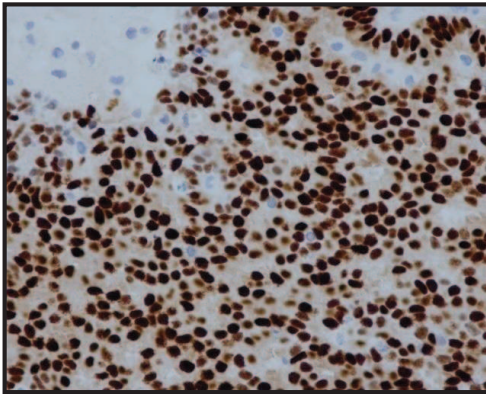
กลุ่มที่ 2 จำนวน 15 ชุดคือ ชุดที่ 2.1 ถึง ชุดที่ 2.15 ภาพในกลุ่มนี้จะมีลักษณะที่มีเซลล์กระจายแบบประปรายและพื้นที่ว่างในภาพและมีเซลล์อยู่เพียงบางส่วนในภาพเท่านั้น สำหรับทดลองเพื่อเลือกบริเวณสำหรับถอดโพกัสและการทดลองเพื่อปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึม

กลุ่มที่ 3 จำนวน 30 ชุดคือ ชุดที่ 3.1 ถึง ชุดที่ 3.30 ภาพในกลุ่มนี้จะมีทั้งลักษณะที่เหมือนในกลุ่มที่ 1 และ 2 คือ มีเซลล์อยู่ทั้งทั้งภาพ, มีเซลล์กระจายแบบประปรายและพื้นที่ว่าง และมีเซลล์อยู่เพียงบางส่วนในภาพเท่านั้น สำหรับทดลองเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์สำหรับภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

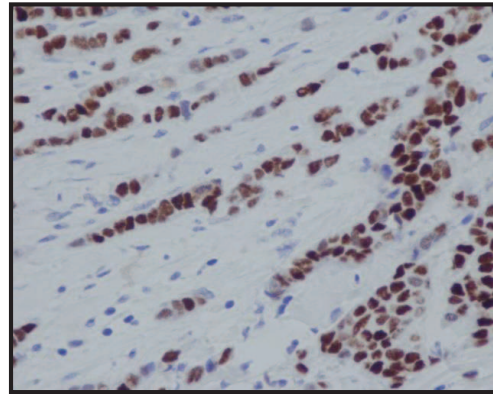
4.2 ผลการทดลองหาค่าเคลด้าที่เหมาะสมสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาค่าเคลด้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์เท่านั้น โดยภาพที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้ภาพทั้งสิ้น 5 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1.1, ชุดที่ 1.2, ชุดที่ 1.3, ชุดที่ 1.4 และชุดที่ 1.5 ดังแสดงภาพที่ 16 ของแต่ละชุดจากภาพต้นฉบับซึ่งมีขนาด 2880×3600 พิกเซล ดังรูปที่ 4.1 ตามลำดับ

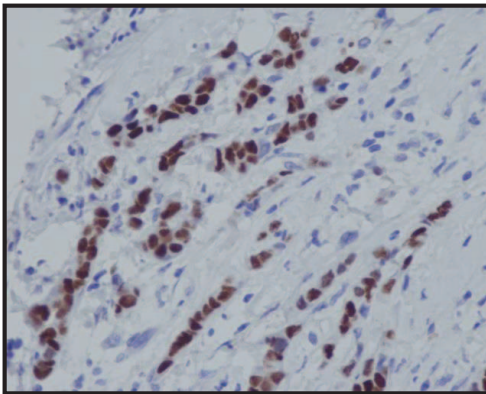
สำหรับขนาดของเคลด้าที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดไว้ด้วยกัน 8 ขนาด ได้แก่ 1, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 500, 1000 และ 2000 เวกเตอร์ โดยวิธีเพียร์สันได้ให้ผลการทดลองออกมาดังตารางที่ 4.1 และวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ให้ผลการทดลองออกมาดังตารางที่ 4.2 โดยภาพที่ชัดที่สุดจากการทดลองของแต่ละชุดคือ ตัวเลขในหลักของภาพและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละชุดคือหลักของเวลาซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที



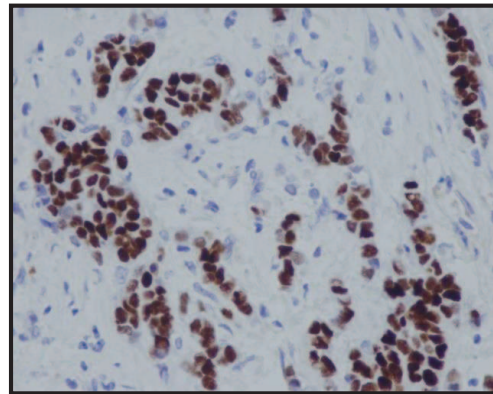
(ก) ภาพตัวอย่างของชุดที่ 1.1



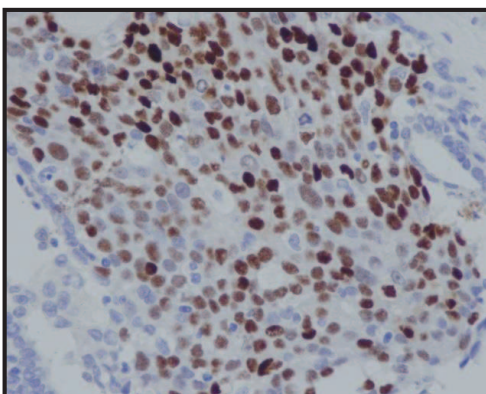
(ข) ภาพตัวอย่างของชุดที่ 1.2



(ค) ภาพตัวอย่างของชุดที่ 1.3



(ง) ภาพตัวอย่างของชุดที่ 1.4



(จ) ภาพตัวอย่างของชุดที่ 1.5

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพที่ชัดที่สุดของชุดที่ 1.1 – ชุดที่ 1.5

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของการอัดไฟฟ้าด้วยวิธีเพียร์สันด้วยเซลล์้าขนาดต่างๆ กัน
ของภาพทั้ง 5 ชุด

Δ	ชุดที่ 1.1		ชุดที่ 1.2		ชุดที่ 1.3		ชุดที่ 1.4		ชุดที่ 1.5	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
1	15	40.50	16	40.55	16	40.39	16	40.51	16	40.52
20	15	6.48	16	6.44	16	6.43	16	6.45	16	6.42
40	15	5.38	16	5.59	16	5.58	16	5.60	16	5.59
60	15	5.10	16	5.24	16	5.30	15	5.22	16	5.22
80	15	5.02	16	5.15	16	5.08	16	5.08	16	5.07
100	15	4.99	16	4.95	16	4.98	16	4.99	16	4.96
200	15	4.90	17	4.99	16	4.98	16	4.95	16	4.92
500	15	4.81	17	4.94	16	4.82	16	4.82	16	4.81
1,000	14	4.80	17	4.78	16	4.77	16	4.77	16	4.77
2,000	14	4.79	16	4.75	16	4.75	16	4.75	16	4.77

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงผลจากการทดลองการอัดไฟฟ้าด้วยวิธีเพียร์สันและกำหนดค่าเซลล์้าด้วยขนาดต่างๆกันตั้งแต่ 1, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 500, 1000 และ 2000 เวกเตอร์จากภาพทั้ง 5 ชุด เมื่อพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะพบว่า เมื่อค่าเซลล์้ามีค่ามากขึ้นเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะลดลง และตั้งแต่เซลล์้ามีค่ามากกว่า 100 เวกเตอร์เป็นต้นไปเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะลดลงที่น้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนผลเรื่องของความถูกต้องจะพบว่า เมื่อค่าเซลล์้าเริ่มมากขึ้นความถูกต้องของภาพจะมีผิดพลาดเกิดขึ้นจากผลการทดลองของภาพที่คำนวณมาได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของการอัดไฟฟ้กัด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ด้วย
เคลต้าขนาดต่างๆ กันของภาพทั้ง 5 ชุด

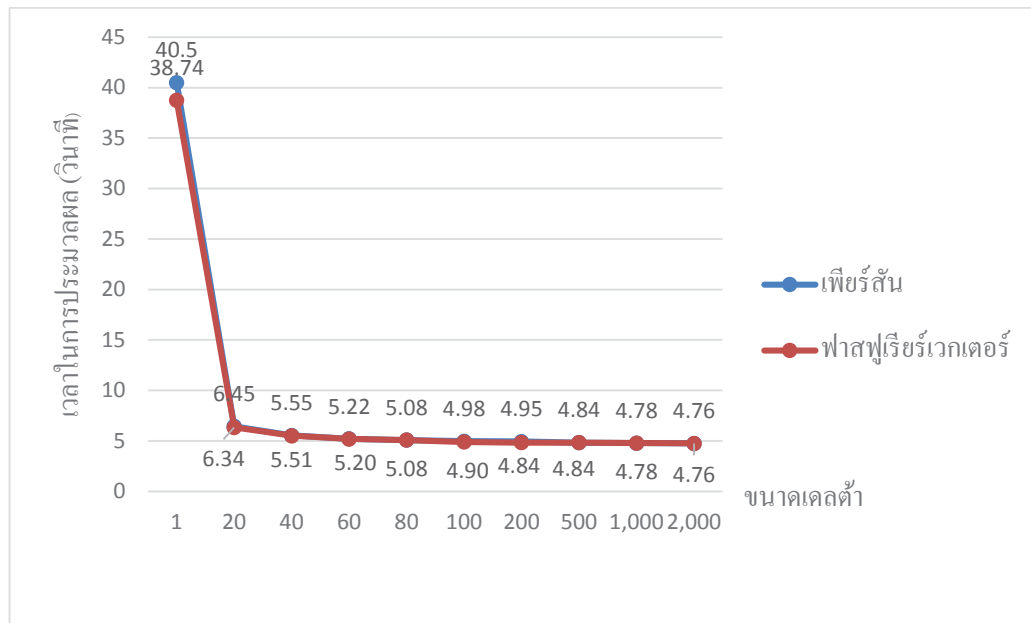
Δ	ชุดที่ 1.1		ชุดที่ 1.2		ชุดที่ 1.3		ชุดที่ 1.4		ชุดที่ 1.5	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
1	15	38.08	16	38.93	16	38.85	16	38.91	15	38.93
20	15	6.03	16	6.41	16	6.42	16	6.42	15	6.40
40	15	5.33	16	5.57	16	5.55	16	5.55	15	5.57
60	15	5.13	16	5.23	16	5.22	16	5.23	15	5.21
80	15	5.09	16	5.10	16	5.07	16	5.12	15	5.14
100	15	4.86	16	4.89	16	4.93	16	4.89	15	4.93
200	15	4.85	16	4.83	16	4.84	16	4.83	15	4.86
500	15	4.85	18	4.83	16	4.83	17	4.83	15	4.83
1,000	14	4.78	18	4.79	16	4.79	16	4.77	15	4.79
2,000	14	4.77	18	4.77	16	4.78	16	4.75	15	4.76

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลจากการทดลองการอัดไฟฟ้กัด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์และกำหนดค่าเคลต้าด้วยขนาดต่างๆกันตั้งแต่ 1, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 500, 1000 และ 2000 เวกเตอร์จากภาพทั้ง 5 ชุด เมื่อพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะพบว่า เมื่อค่าเคลต้ามีค่ามากขึ้นเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะลดลง และตั้งแต่เคลต้ามีค่ามากกว่า 100 เวกเตอร์เป็นต้นไปเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะลดลงทีละน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนผลเรื่องของความถูกต้องจะพบว่า เมื่อค่าเคลต้าเริ่มมากขึ้นความถูกต้องของภาพจะมีผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทดลองของภาพที่คำนวณมาได้

จากตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 เมื่อนำผลการทดลองของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของภาพทั้ง 5 ชุดมาค่าเฉลี่ยได้ผลออกมาดังตารางที่ 4.3 หรือแสดงผลรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.2 จะพบว่าวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์สามารถประมวลผลได้เร็วกว่าวิธีเพียร์สันไม่ว่าเซลล์จะมีขนาดใดก็ตาม เนื่องมาจากวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์นั้นจะนำคุณสมบัติเรื่ององค์ประกอบทางความถี่ของภาพเข้ามาช่วยพิจารณาจึงไม่จำเป็นต้องนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบเพียร์สันอีก แต่ทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มเหมือนกันคือ ยิ่งค่าเซลล์เพิ่มมากขึ้นเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะน้อยลง โดยตั้งแต่เซลล์มีค่ามากกว่า 100 เป็นต้นไปเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะลดลงแบบค่อยเป็นค่อยไปที่ละน้อยไม่แตกต่างกันมากนัก และความถูกต้องก็จะยิ่งน้อยลงเช่นกัน ดังนั้นจึงพิจารณาแล้วว่าขนาดเซลล์เท่ากับ 100 คือ ขนาดที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลถือว่าเหมาะสมและให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องด้วย

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของทั้งวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ด้วยการกำหนดขนาดเซลล์ที่ต่างกันในรูปแบบตาราง

Δ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผล	
	เพียร์สัน	ฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์
1	40.50	38.74
20	6.45	6.34
40	5.55	5.51
60	5.22	5.20
80	5.08	5.08
100	4.98	4.90
200	4.95	4.84
500	4.84	4.84
1,000	4.78	4.78
2,000	4.76	4.76



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของทั้งวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ด้วยการกำหนดขนาดเคลตต้าที่ต่างกันในรูปแบบกราฟ

4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆ

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเรื่องของเวลาและความถูกต้องของแต่ละวิธีกับภาพต้นฉบับขนาด 2880×3600 พิกเซล, ภาพที่ได้ย่อขนาดลงและภาพที่ตัดเฉพาะบริเวณตรงกลางของภาพมาประมวลผล ซึ่งผลการทดลองจะเริ่มนับเวลาตั้งแต่ขั้นตอนการแปลงภาพให้อยู่ในระบบสีเทา, ย่อขนาดของภาพหรือตัดภาพเฉพาะบางส่วน และรวมไปถึงขั้นตอนอโต้โฟกัสของแต่ละวิธีด้วย โดยภาพสำหรับทดลองใช้ภาพทั้งสิ้น 5 ชุดได้แก่ ชุดที่ 1.1, ชุดที่ 1.2, ชุดที่ 1.3, ชุดที่ 1.4 และชุดที่ 1.5 ดังนั้นผลการทดลองจึงแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อยดังในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 ต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆด้วยการย่อภาพ

จากภาพชุดที่ 1.1, ชุดที่ 1.2, ชุดที่ 1.3, ชุดที่ 1.4 และชุดที่ 1.5 ทำการลดขนาดด้วยวิธีการย่อภาพด้วยขนาด 0.5, 0.25 และ 0.125 ตามลำดับ ให้ผลลัพธ์ของเวลา (หน่วยเป็น วินาที) และภาพที่คำนวณออกมาแล้วเป็นภาพที่ชัดที่สุดดังตารางที่ 4.4 - ตารางที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของการอัดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.1

Resize	1		0.5		0.25		0.125	
	2880×3600		1440×1800		720×900		360×450	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	15	1676.27	14	481.09	14	135.36	13	47.08
LAP	15	3354.70	15	844.80	15	224.86	15	68.27
POG	15	2814.71	15	729.01	14	199.00	14	62.29
LAP VAR	15	6374.47	15	1496.6	15	384.23	15	124.39
FFT	15	30.94	15	40.72	15	24.51	15	18.92
Pearson	15	5.24	15	35.29	15	23.74	14	18.94
FFT Vector	15	5.19	15	34.61	15	23.61	14	18.81

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของการอัดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.2

Resize	1		0.5		0.25		0.125	
	2880×3600		1440×1800		720×900		360×450	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	18	1673.45	16	480.56	16	135.93	15	47.43
LAP	18	3280.12	16	843.75	17	225.14	17	68.20
POG	18	2830.32	16	739.51	16	196.93	16	62.02
LAP VAR	18	6400.07	16	1480.1	17	393.31	17	123.43
FFT	16	33.05	16	40.28	16	24.50	16	18.99
Pearson	16	5.29	17	35.12	16	23.75	17	18.91
FFT Vector	16	5.27	16	35.00	16	23.62	16	18.79

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของการถอดโค้ดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.3

Resize	1		0.5		0.25		0.125	
	2880×3600		1440×1800		720×900		360×450	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	16	1677.36	16	478.40	14	136.29	14	47.34
LAP	17	3299.65	16	843.00	17	225.06	17	68.20
POG	17	2816.61	16	737.92	16	197.85	15	62.08
LAP VAR	17	6481.05	16	1477.2	17	390.60	17	125.45
FFT	16	33.05	16	40.43	16	24.53	16	18.99
Pearson	16	5.30	16	35.57	16	23.76	16	18.94
FFT Vector	16	5.27	16	35.26	16	23.57	16	18.82

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของการถอดโค้ดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.4

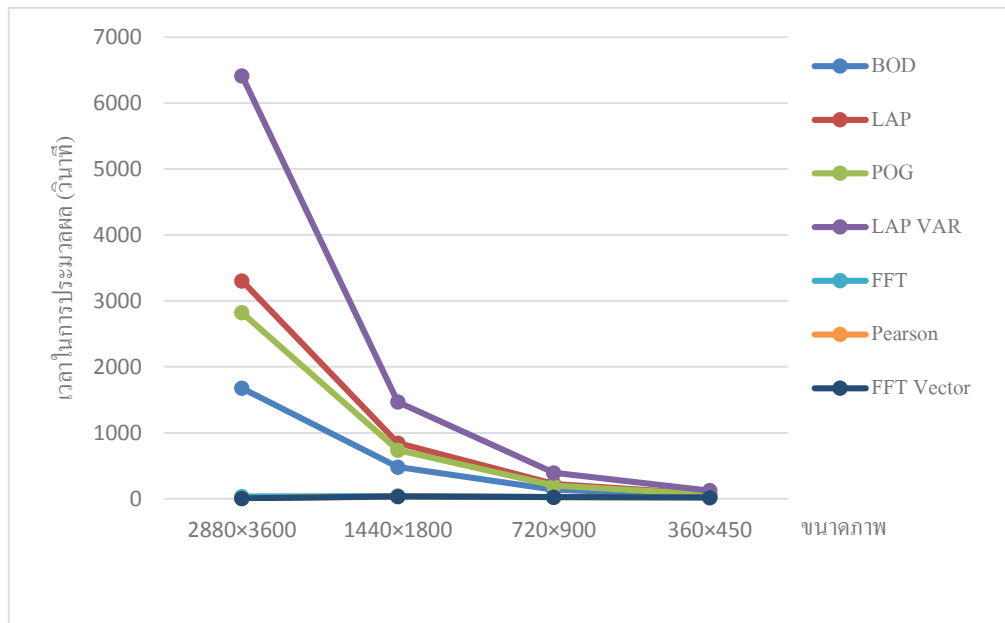
Resize	1		0.5		0.25		0.125	
	2880×3600		1440×1800		720×900		360×450	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	25	1675.83	14	480.75	14	135.98	13	47.47
LAP	17	3287.45	17	843.59	16	225.14	16	68.23
POG	25	2825.98	16	738.58	15	197.94	14	62.17
LAP VAR	16	6439.24	16	1462.3	16	398.86	16	125.48
FFT	16	33.13	16	40.64	16	24.54	15	18.99
Pearson	16	5.37	16	35.56	16	23.83	16	18.95
FFT Vector	16	5.31	16	35.19	16	23.55	16	19.07

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของการอโต้โฟกัสด้วยวิธีต่างๆ จากการย่อภาพของภาพชุดที่ 1.5

Resize	1		0.5		0.25		0.125	
	2880×3600		1440×1800		720×900		360×450	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	15	1675.49	16	482.73	14	136.83	14	47.38
LAP	15	3295.98	15	843.59	16	225.13	16	68.25
POG	15	2820.22	15	738.32	16	197.85	16	62.17
LAP VAR	15	6378.03	15	1421.4	16	398.30	16	123.75
FFT	15	34.51	16	40.57	16	24.53	16	18.98
Pearson	16	5.33	16	35.56	16	23.77	17	18.96
FFT Vector	15	5.28	15	35.13	16	23.46	16	19.16

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ย่อขนาดลงมาด้วยวิธีอโต้โฟกัสแบบต่างๆ
ในรูปแบบตาราง

Resize	1	0.5	0.25	0.125
	2880×3600	1440×1800	720×900	360×450
	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)
BOD	1675.68	480.71	136.07	47.34
LAP	3303.58	843.74	225.06	68.23
POG	2821.57	736.67	197.91	62.15
LAP VAR	6414.57	1467.55	393.06	124.50
FFT	32.93	40.53	24.52	18.97
Pearson	5.30	35.42	23.77	18.94
FFT Vector	5.26	35.04	23.56	18.93



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ย่อขนาดลงมาด้วยวิธีอโต้โฟกัสแบบต่างๆ ในรูปแบบกราฟ

ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอโต้โฟกัสแบบต่างๆ ด้วยการย่อภาพเกี่ยวกับเรื่องเวลาและความแม่นยำของภาพทั้ง 5 ชุดหลังจากทำการย่อภาพ จากตารางที่ 4.4 - ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของภาพทุกชุดมีแนวโน้มเหมือนกันคือ วิธีที่ใช้เรื่องความถี่ของภาพเป็นพื้นฐาน (FFT, เพียร์สันและฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์) จะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าวิธีที่พิจารณาจากค่าอนุพันธ์ของภาพ (BOD, LAP, POG และ LAP VAR) ทั้งเรื่องของเวลาและความถูกต้องอย่างเห็นได้ชัด และจากผลการทดลองทั้งหมดในแต่ละตารางวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์จากภาพที่ไม่ได้ทำการย่อภาพคือภาพขนาด 2880×3600 พิกเซล ให้ผลลัพธ์ได้ดีที่สุดทั้งเรื่องของความเร็วและความถูกต้องและเร็วกว่าภาพที่ทำการลดขนาดลงมาด้วย ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าอัลกอริทึมที่ใช้ในการย่อขนาดของภาพนั้นซับซ้อนส่งผลให้ใช้เวลาค่อนข้างมากทำให้การคำนวณทั้งหมดต้องใช้เวลามากกว่าการไม่ต้องลดขนาดภาพลงมา และเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ง่ายขึ้นจึงได้นำผลการทดลองเรื่องเวลาของภาพทั้ง 5 ชุดมาหาค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4.9 หรือในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.3 ดังนั้นจากตารางที่ 4.9 จึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีการลดขนาดของภาพด้วยการย่อภาพนั้นวิธีอโต้โฟกัสที่สามารถประมวลผลได้ดีที่สุดคือ วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ด้วยภาพต้นฉบับขนาด 2880×3600 พิกเซล และใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 5.26 วินาที

4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการถอดโค้ดโฟกัสแบบต่างๆด้วยการตัดภาพ

จากภาพชุดที่ 1.1, ชุดที่ 1.2, ชุดที่ 1.3, ชุดที่ 1.4 และชุดที่ 1.5 ทำการตัดภาพบริเวณส่วนตรงกลางภาพด้วยขนาด 1024×1024, 512×512, 256×256 และ 128×128 ตามลำดับ ให้ผลลัพธ์ของเวลา (หน่วยเป็น วินาที) และภาพที่คำนวณออกมาแล้วเป็นภาพที่ชัดที่สุดดังตารางที่ 4.10 - ตารางที่ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองของการถอดโค้ดโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.1

Crop	1024×1024		512×512		256×256		128×128	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	14	172.92	14	46.39	14	14.98	14	7.20
LAP	15	333.35	15	86.55	14	24.86	15	9.56
POG	15	286.98	15	76.18	15	22.35	14	9.07
LAP VAR	15	620.59	15	175.76	14	41.74	15	14.65
FFT	15	7.34	14	5.44	14	4.96	14	4.79
Pearson	15	4.78	14	4.70	13	4.69	15	4.68
FFT Vector	15	4.74	15	4.64	13	4.60	15	4.52

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองของการถอดโค้ดโฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.2

Crop	1024×1024		512×512		256×256		128×128	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	16	173.33	16	46.48	16	15.07	15	7.16
LAP	17	334.86	16	87.13	16	24.90	16	9.53
POG	18	287.89	18	75.70	18	22.49	16	9.02
LAP VAR	17	618.36	16	175.82	16	40.48	16	13.98
FFT	16	7.57	16	5.41	16	5.11	16	4.76
Pearson	16	4.72	17	4.65	15	4.64	16	4.20
FFT Vector	16	4.69	16	4.63	15	4.60	16	4.55

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองของการถอดโค้ดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.3

Crop	1024×1024		512×512		256×256		128×128	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	15	173.18	15	46.48	15	15.07	15	7.22
LAP	16	334.84	17	87.12	15	24.89	15	9.54
POG	17	287.74	15	75.75	15	22.47	15	9.01
LAP VAR	16	615.81	16	177.23	15	43.99	15	13.21
FFT	15	7.55	15	5.41	15	4.98	17	4.78
Pearson	16	4.83	16	4.67	16	4.66	15	4.62
FFT Vector	16	4.77	15	4.65	17	4.59	15	4.54

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองของการถอดโค้ดไฟล์ด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.4

Crop	1024×1024		512×512		256×256		128×128	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	25	173.22	16	46.41	17	15.06	16	7.23
LAP	17	334.64	16	87.08	16	24.88	16	9.54
POG	25	287.89	25	75.57	17	22.50	17	9.02
LAP VAR	16	619.84	16	176.41	16	42.75	16	13.05
FFT	16	7.51	16	5.41	16	5.03	16	4.78
Pearson	15	4.75	15	4.75	16	4.69	15	4.64
FFT Vector	16	4.72	15	4.63	16	4.56	16	4.56

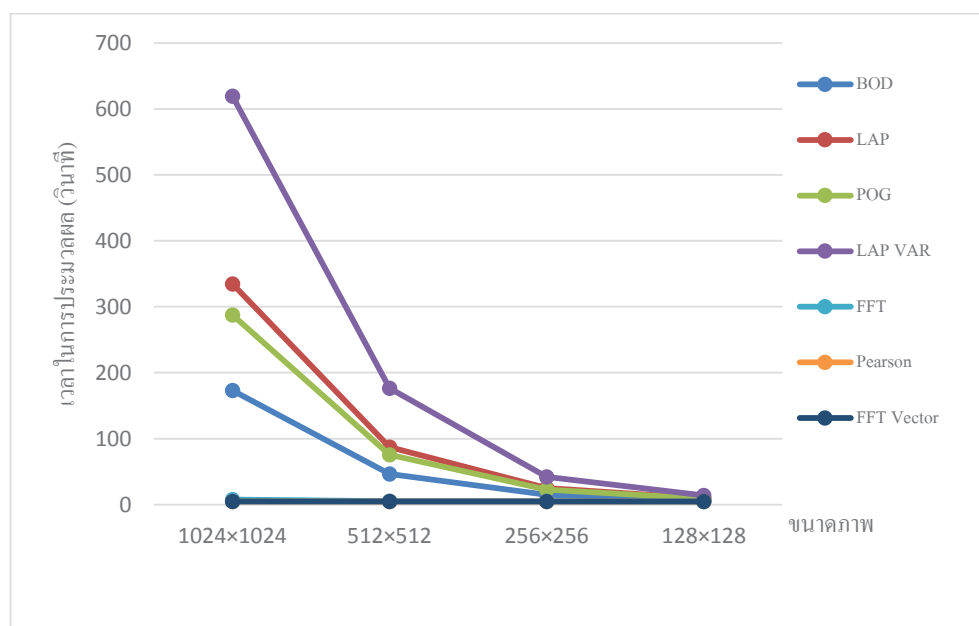
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองของการอโต้โฟกัสด้วยวิธีต่างๆจากการตัดภาพของภาพชุดที่ 1.5

Crop	1024×1024		512×512		256×256		128×128	
	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)	ภาพ	เวลา (วินาที)
BOD	15	173.57	15	46.37	15	15.11	15	7.20
LAP	15	334.86	15	87.12	15	24.87	15	9.54
POG	15	287.78	15	75.56	15	22.50	15	9.01
LAP VAR	15	622.89	15	177.46	15	41.61	15	13.83
FFT	15	7.50	15	5.40	15	4.95	15	4.78
Pearson	15	4.74	16	4.69	17	4.65	16	4.62
FFT Vector	15	4.73	15	4.64	15	4.57	17	4.53

ผลการทดลองประสิทธิภาพเกี่ยวกับเรื่องเวลาและความแม่นยำของวิธีการหาค่าอโต้โฟกัสด้วยวิธีต่างๆของภาพทั้ง 5 ชุดหลังจากทำการตัดภาพจากตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองของภาพทุกชุดมีแนวโน้มเหมือนกันคือ วิธีที่ใช้เรื่องความถี่ของภาพเป็นพื้นฐาน (FFT, เพียร์สันและฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์) จะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าวิธีที่พิจารณาจากค่าอนุพันธ์ของภาพ (BOD, LAP, POG และ LAP VAR) ทั้งเรื่องของเวลาและความถูกต้องอย่างเห็นได้ชัด และจากผลการทดลองทั้งหมดในแต่ละตารางวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ด้วยภาพที่ได้ทำการตัดภาพให้เหลือขนาด 128×128 พิกเซลจากบริเวณตรงกลางของภาพต้นฉบับ ให้ผลลัพธ์ได้ดีที่สุดทั้งเรื่องความเร็วและความถูกต้อง ซึ่งแตกต่างจากวิธีการย่อภาพเนื่องจากอัลกอริทึมของการตัดภาพไม่ซับซ้อนเหมือนของการย่อภาพนั่นเอง และเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองง่ายขึ้นจึงได้นำผลการทดลองเรื่องเวลาของภาพทั้ง 5 ชุดมาหาค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4.15 หรือในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.4 ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีอโต้โฟกัสด้วยภาพที่ตัดมาจากบริเวณกลางภาพสามารถประมวลผลได้ดีที่สุดคือ วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ด้วยภาพที่ได้ตัดภาพบริเวณตรงกลางภาพให้เหลือขนาด 128×128 พิกเซล และใช้เวลาเฉลี่ยที่ 4.54 วินาที

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ถูกตัดภาพบริเวณตรงกลางด้วยวิธีอโต้โฟกัสแบบต่างๆ

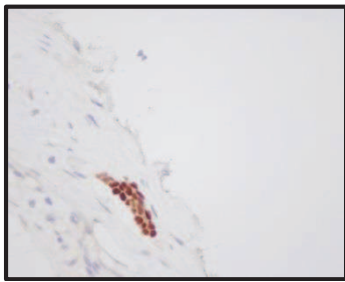
Crop	1024×1024	512×512	256×256	128×128
	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)	เวลา(วินาที)
BOD	173.24	46.43	15.06	7.2
LAP	334.51	87.00	24.88	9.54
POG	287.66	75.75	22.46	9.03
LAP VAR	619.5	176.54	42.11	13.74
FFT	7.50	5.41	5.01	4.78
Pearson	4.76	4.67	4.66	4.66
FFT Vector	4.73	4.64	4.59	4.54



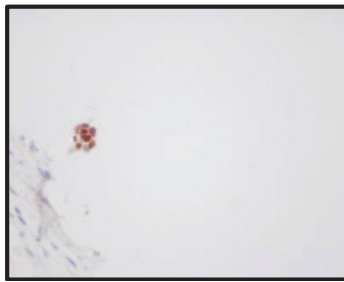
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยของภาพที่ถูกตัดภาพบริเวณตรงกลางด้วยวิธีอโต้โฟกัสแบบต่างๆ ในรูปแบบกราฟ

4.4 ผลการทดลองเลือกบริเวณสำหรับอโต้โฟกัส

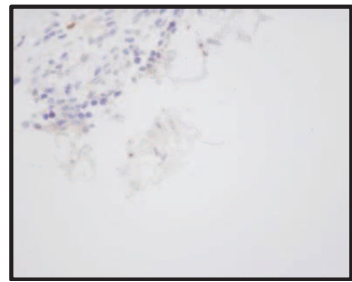
ผลการทดลองนี้แสดงการอโต้โฟกัสของภาพที่มีบริเวณว่างเปล่า โดยภาพที่นำมาใช้ในการทดลองนี้จะเป็นภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เพียงบางส่วนของภาพและมีบริเวณพื้นที่ว่างเปล่าอยู่ด้วย ซึ่งจะแตกต่างจากภาพ 5 ชุดแรก (ชุด 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 และ 1.5) ที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั่วทั้งภาพ การทดลองนี้จะทดสอบด้วยภาพทั้งสิ้น 15 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 2.1 - ชุดที่ 2.15 โดยชุดละ 31 ภาพเช่นเดิม สำหรับตัวอย่างภาพแต่ละชุดเป็นดังรูปที่ 4.5



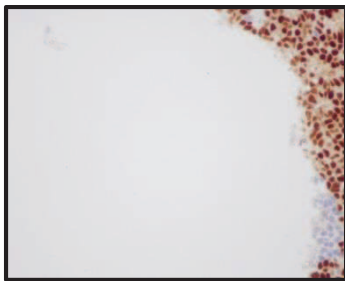
ชุดภาพที่ 2.1



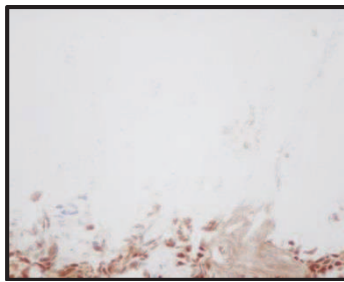
ชุดภาพที่ 2.2



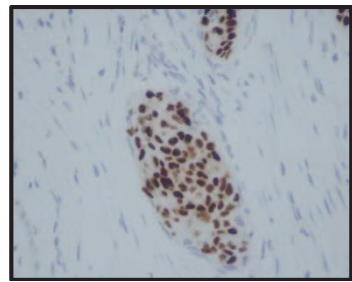
ชุดภาพที่ 2.3



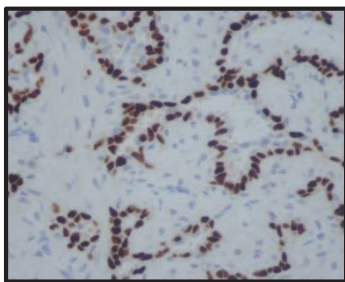
ชุดภาพที่ 2.4



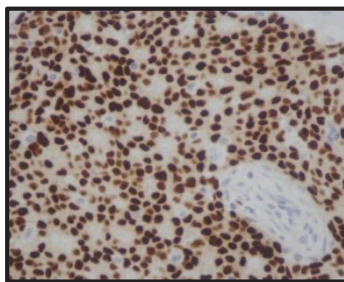
ชุดภาพที่ 2.5



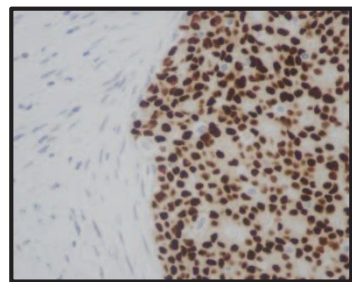
ชุดภาพที่ 2.6



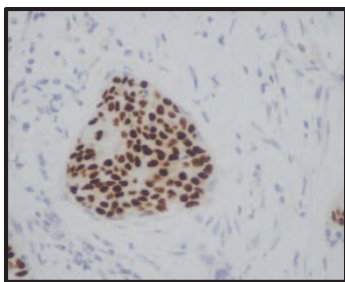
ชุดภาพที่ 2.7



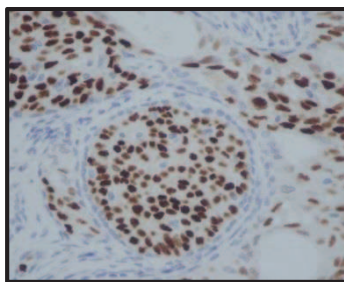
ชุดภาพที่ 2.8



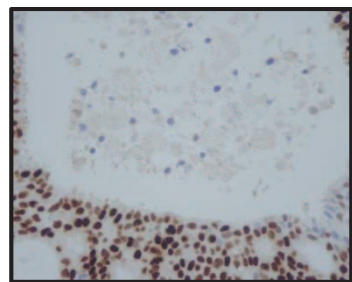
ชุดภาพที่ 2.9



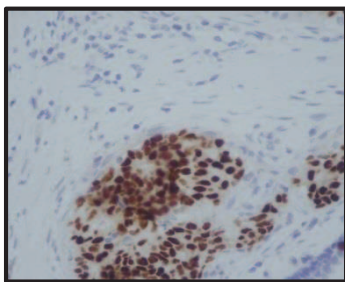
ชุดภาพที่ 2.10



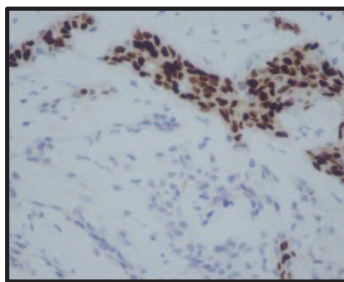
ชุดภาพที่ 2.11



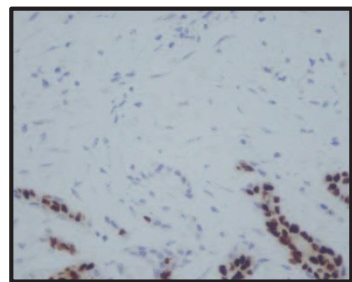
ชุดภาพที่ 2.12



ชุดภาพที่ 2.13



ชุดภาพที่ 2.14



ชุดภาพที่ 2.15

รูปที่ 4.5 ภาพตัวอย่างที่ชัดที่สุดของชุดที่ 2.1 – ชุดที่ 2.15

4.4.1 ผลการทดลองอโต้ไฟกัสของภาพในบริเวณที่ต่างๆกัน

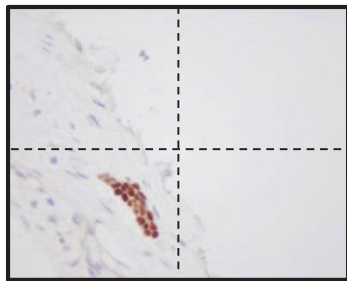
ผลการทดลองอโต้ไฟกัสภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 โดยแบ่งออกเป็น 2×2, 3×3, 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อยดังรูปที่ 4.6- รูปที่ 4.9 ตามลำดับ ได้ผลการทดลองออกมาดังรูปที่ 4.10 - รูปที่ 4.13 ตามลำดับ

รูปที่ 4.10 แสดงผลการอโต้ไฟกัสของภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 มาแบ่งเป็นขนาด 2×2 หน้าต่างย่อยและอโต้ไฟกัสด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ เช่นชุดภาพที่ 2.1 หากทำการแบ่งเป็นขนาด 2×2 หน้าต่างย่อยดังรูปที่ 4.6 (ก) จะพบว่าส่วนของแถวที่ 2 หลักที่ 1 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจอยู่และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่า ส่วนนั้นสามารถให้ผลการทดลองอโต้ไฟกัสได้อย่างถูกต้องคือภาพที่ 17 แต่ในส่วนที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่ 1 หลักที่ 2 ผลการอโต้ไฟกัสจะผิดพลาดต่างออกไปอย่างชัดเจนคือภาพที่ 25 และเช่นเดียวกับภาพที่มีลักษณะมีเซลล์อยู่เพียงบางส่วนได้แก่ ชุดที่ 2.2, 2.3, 2.4, และ 2.5 ส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจจะสามารถให้ผลการอโต้ไฟกัสที่ถูกต้องคือ 17, 17, 14 และ 16 ตามลำดับ และส่วนที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจจะให้ผลการอโต้ไฟกัสที่ผิดพลาดต่างออกไปอย่างชัดเจนคือ 18, 19, 20 และ 18 ตามลำดับ สำหรับภาพที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่กระจายอยู่ประปรายในภาพได้แก่ ชุดที่ 2.6 – 2.15 จะพบว่าผลการอโต้ไฟกัสในแต่ละส่วนจะถูกต้องเหมือนกันหรือแตกต่างกันเพียง 1-2 ภาพเท่านั้น เช่นชุดภาพที่ 2.8 เมื่อนำมาแบ่งเป็นขนาด 2×2 หน้าต่างย่อยดังรูปที่ 4.6 (ข) ทุกส่วนของภาพมีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่กระจายทั่วทั้งหมดและเมื่อพิจารณาผลการอโต้ไฟกัสพบว่า ทุกส่วนให้ผลการทดลองที่ถูกต้องเหมือนกันหมดคือภาพที่ 16 หรือตัวอย่างของชุดภาพที่ 2.11 ผลการอโต้ไฟกัสคือ 13 และ 14 ซึ่งคลาดเคลื่อนเพียง 1 ภาพเท่านั้น

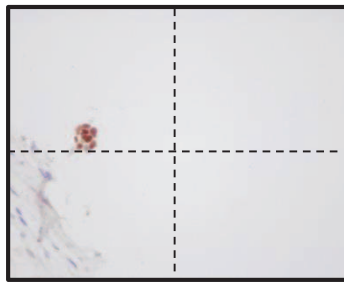
รูปที่ 4.11 แสดงผลการอโต้ไฟกัสของภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 มาแบ่งเป็นขนาด 3×3 หน้าต่างย่อยและอโต้ไฟกัสด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ ภาพที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจเพียงบางส่วนได้แก่ชุดที่ 2.1 – 2.5 ส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจจะสามารถให้ผลการอโต้ไฟกัสที่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนเพียง 1-2 ภาพเท่านั้น และส่วนที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจจะให้ผลการอโต้ไฟกัสที่ผิดพลาดอย่างชัดเจนเช่น ชุดที่ 2.1 ส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 2 เป็นส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่สนใจได้ให้ผลการอโต้ไฟกัสเป็นรูปที่ 17 ซึ่งแตกต่างจากส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 3 ผลการอโต้ไฟกัสคือรูปที่ 29 ซึ่งผิดพลาดแตกต่างกับส่วนก่อนหน้าอย่างชัดเจน สำหรับภาพที่มีเซลล์มะเร็งเรื้อรังด้านที่กระจายอยู่ประปรายทั้งภาพเช่นชุดภาพที่ 2.6 – 2.15 ทุกส่วนสามารถให้ผลการอโต้ไฟกัสที่เหมือนกันหรือคลาดเคลื่อนเพียง 1-2 ภาพเท่านั้น

เช่นเดียวกับผลการทดลองในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 เป็นการนำภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 มาแบ่งเป็นขนาด 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อยและอโต้โฟกัสด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์แวกเตอร์ ซึ่งผลการทดลองในภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เพียงบางส่วนจะให้ผลการทดลองที่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนเพียง 1-2 ภาพเท่านั้นและส่วนที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเต้านมจะให้ผลการอโต้โฟกัสที่ผิดพลาดอย่างชัดเจน สำหรับภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายทั้งภาพทุกส่วนสามารถให้ผลการอโต้โฟกัสที่เหมือนกันหรือคลาดเคลื่อนเพียง 1-2 ภาพเท่านั้น

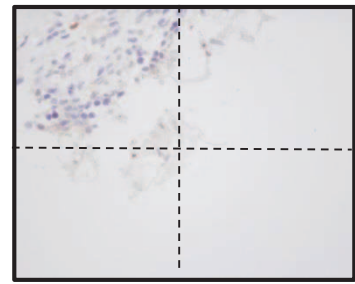
จากผลการทดลองซึ่งเป็นการแบ่งภาพออกเป็นขนาดต่างๆ กันและอโต้โฟกัสในแต่ละส่วนด้วยวิธีฟาสฟูเรียร์แวกเตอร์ได้ให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือ ภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมเพียงบางส่วนในภาพจะสามารถให้ผลการอโต้โฟกัสในส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมได้อย่างถูกต้องและส่วนที่ไม่มีเซลล์มะเร็งเต้านมจะให้ผลการอโต้โฟกัสที่ผิดพลาดแตกต่างจากส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอย่างชัดเจน สำหรับภาพที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมกระจายอยู่ทั้งภาพทุกส่วนในภาพจะให้ผลการทดลองที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันเพียง 1-2 ภาพเท่านั้น



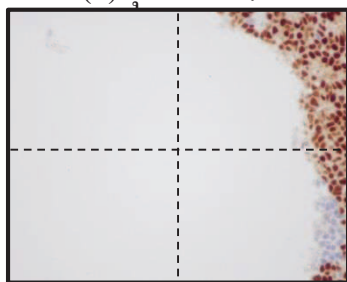
(ก) ชุดภาพที่ 2.1



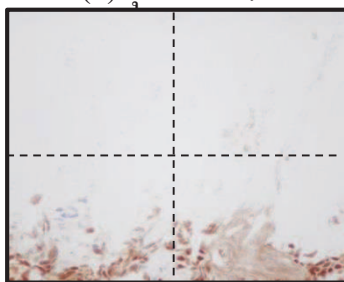
(ข) ชุดภาพที่ 2.2



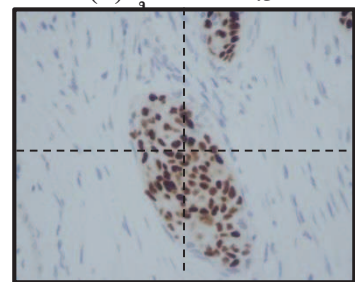
(ค) ชุดภาพที่ 2.3



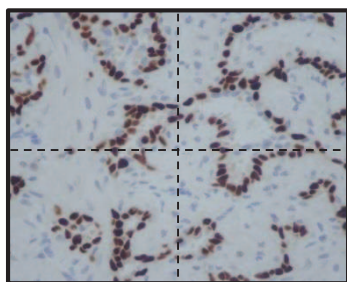
(ง) ชุดภาพที่ 2.4



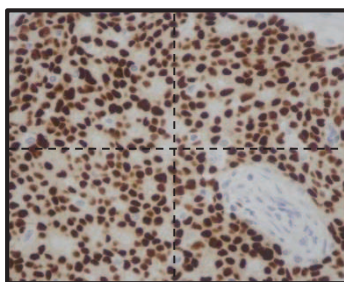
(จ) ชุดภาพที่ 2.5



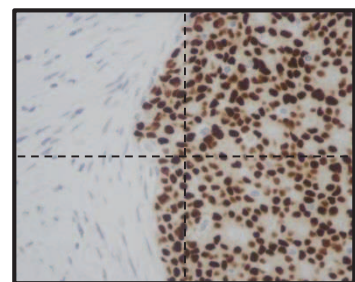
(ฉ) ชุดภาพที่ 2.6



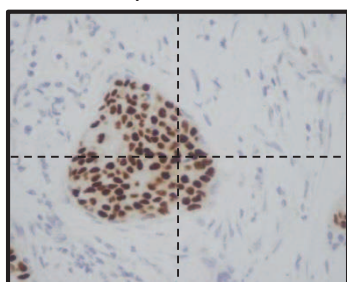
(ช) ชุดภาพที่ 2.7



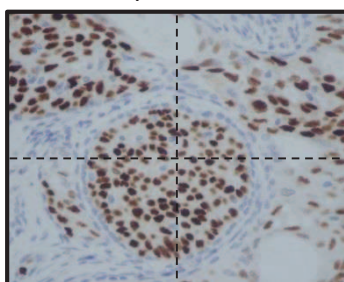
(ซ) ชุดภาพที่ 2.8



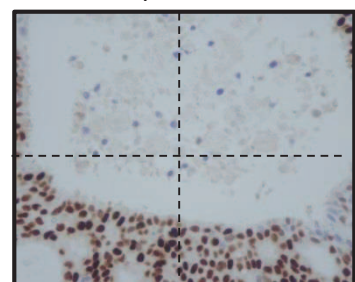
(ฌ) ชุดภาพที่ 2.9



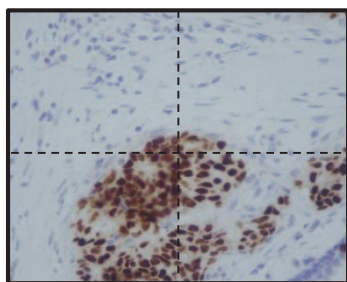
(ญ) ชุดภาพที่ 2.10



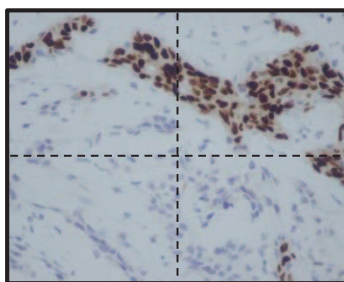
(ฎ) ชุดภาพที่ 2.11



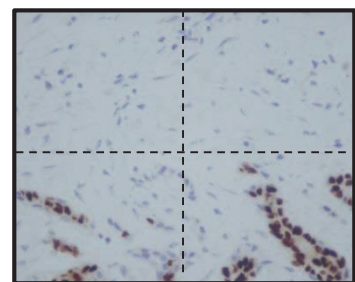
(ฏ) ชุดภาพที่ 2.12



(ฐ) ชุดภาพที่ 2.13

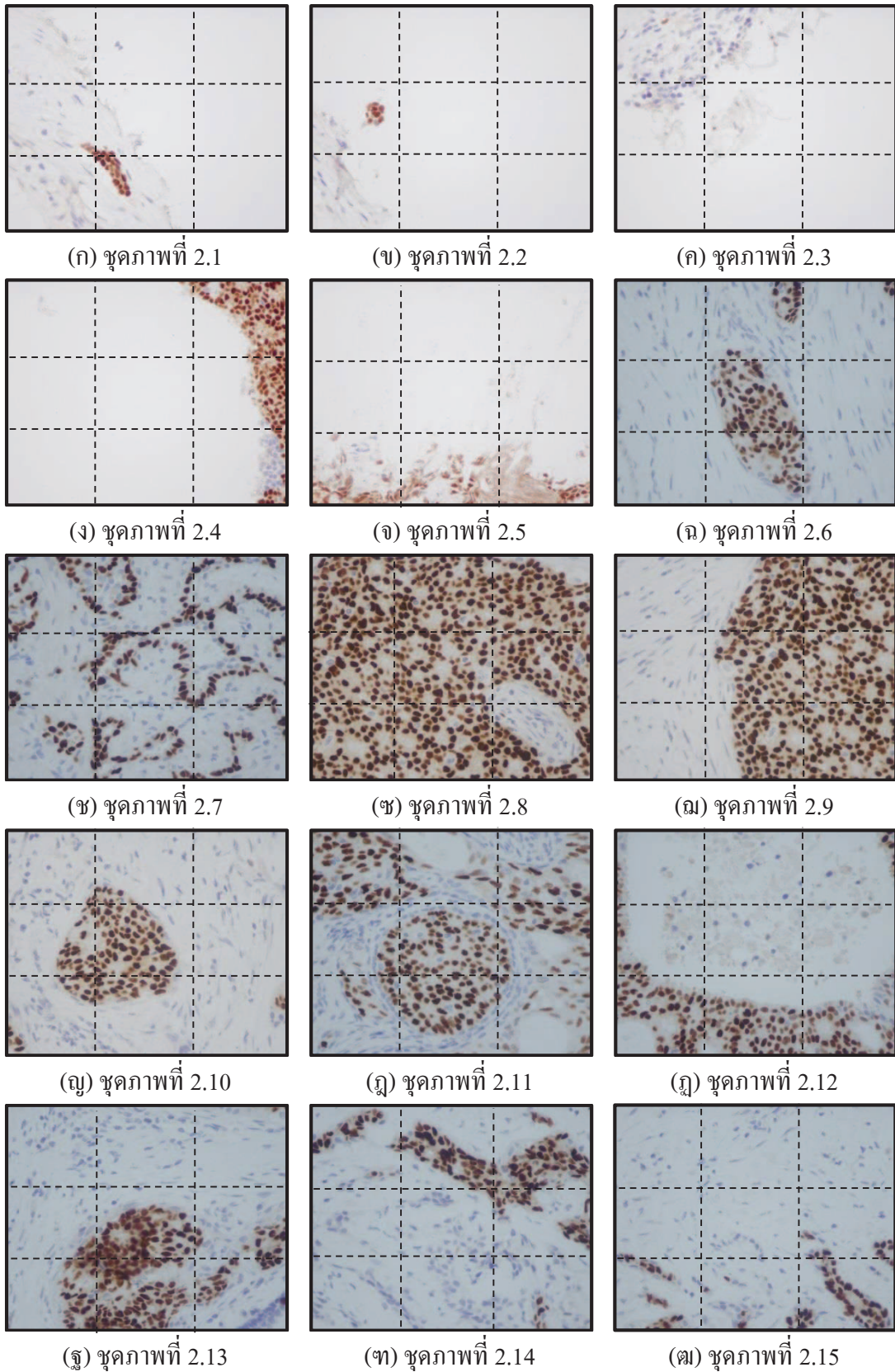


(ฑ) ชุดภาพที่ 2.14

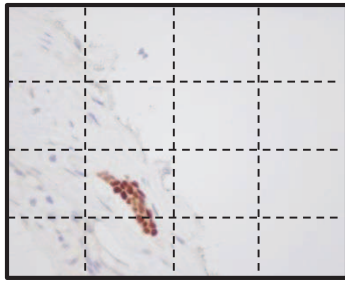


(ฒ) ชุดภาพที่ 2.15

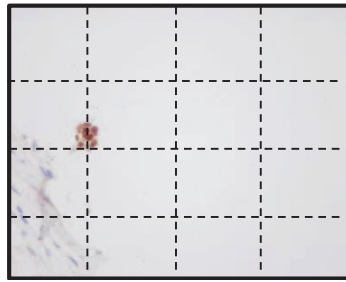
รูปที่ 4.6 ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 2x2 หน้าต่างย่อย



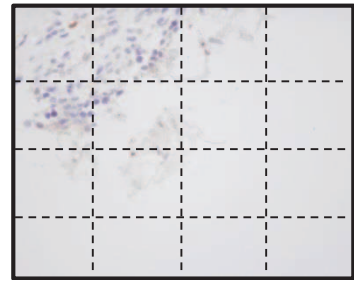
รูปที่ 4.7 ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 3×3 หน้าต่างย่อย



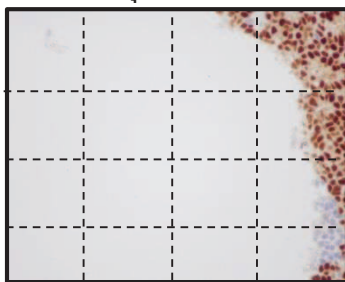
(ก) ชุดภาพที่ 2.1



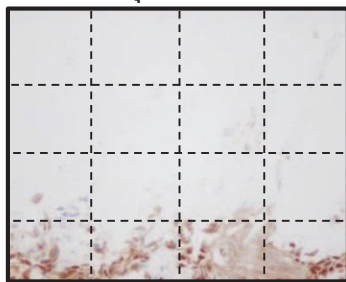
(ข) ชุดภาพที่ 2.2



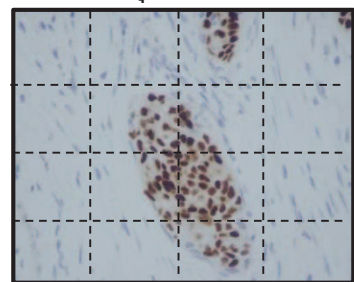
(ค) ชุดภาพที่ 2.3



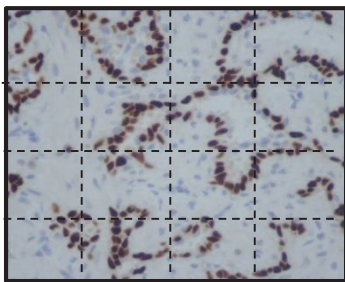
(ง) ชุดภาพที่ 2.4



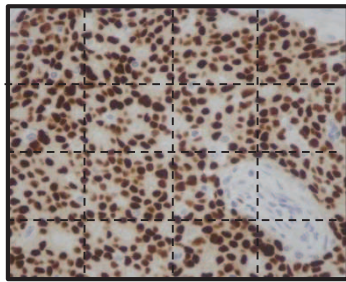
(จ) ชุดภาพที่ 2.5



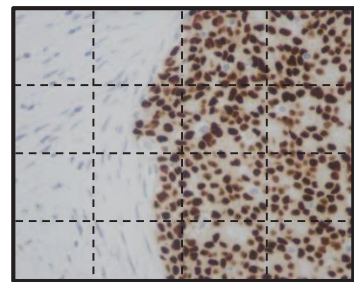
(ฉ) ชุดภาพที่ 2.6



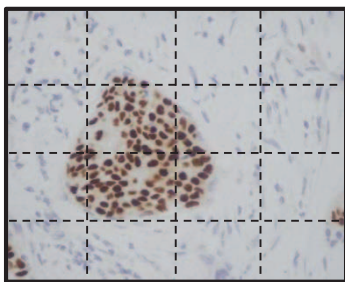
(ช) ชุดภาพที่ 2.7



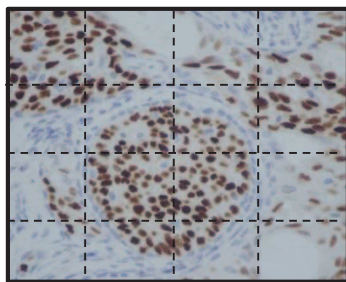
(ซ) ชุดภาพที่ 2.8



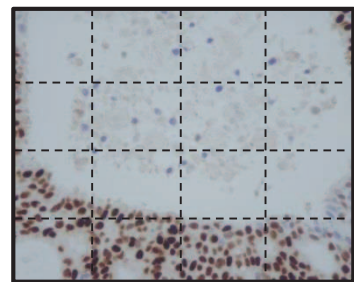
(ฌ) ชุดภาพที่ 2.9



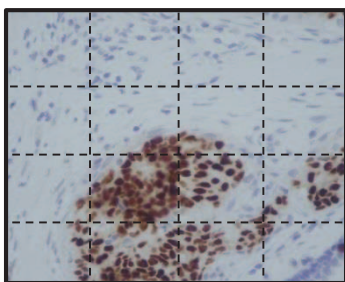
(ญ) ชุดภาพที่ 2.10



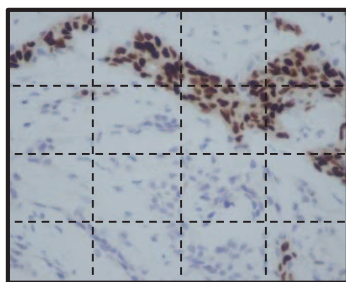
(ฎ) ชุดภาพที่ 2.11



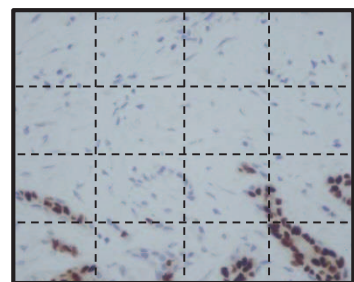
(ฏ) ชุดภาพที่ 2.12



(ฐ) ชุดภาพที่ 2.13

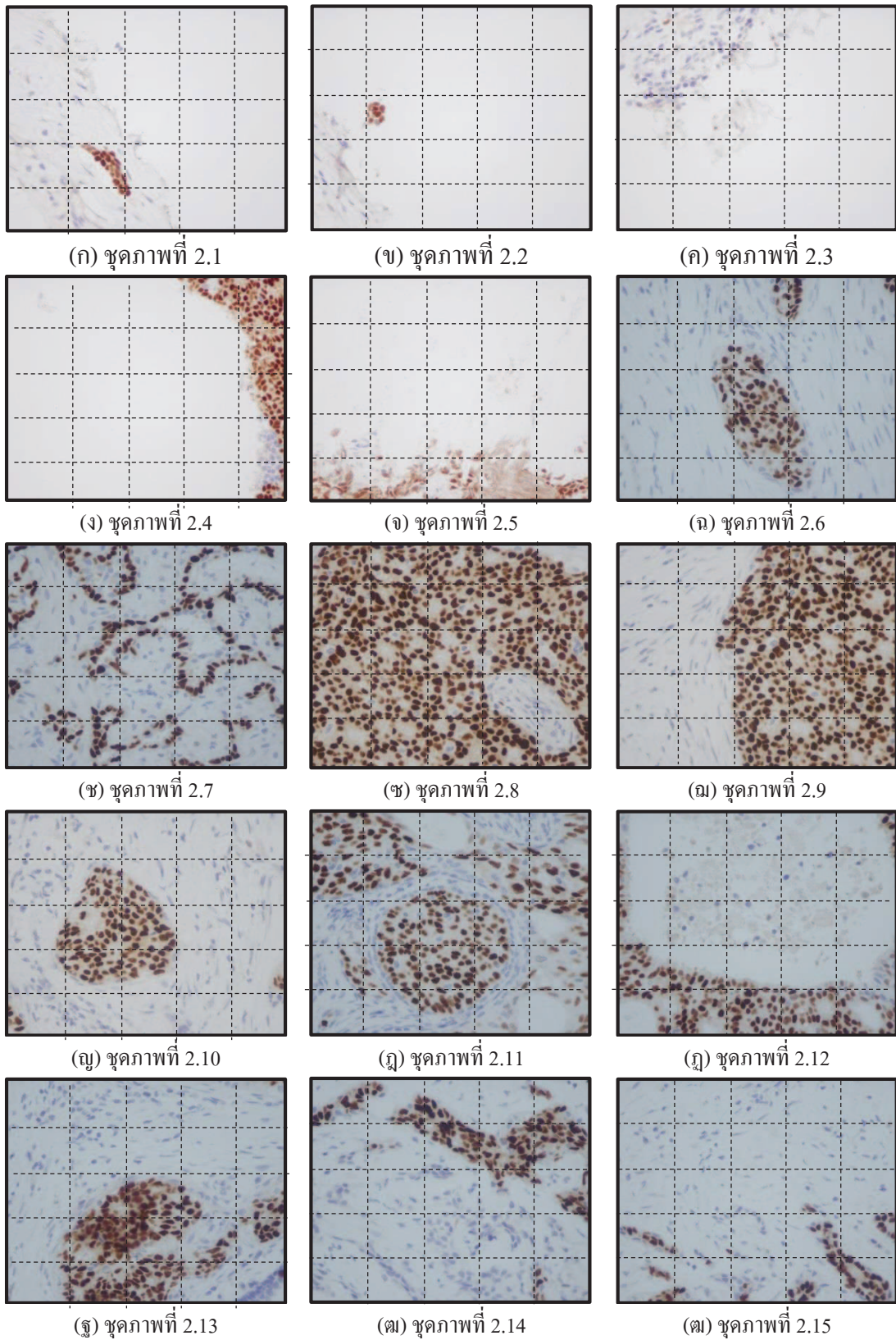


(ฑ) ชุดภาพที่ 2.14



(ฒ) ชุดภาพที่ 2.15

รูปที่ 4.8 ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 4×4 หน้าต่างย่อย



รูปที่ 4.9 ภาพชุดที่ 2.1 – 2.15 แบ่งออกเป็น 5×5 หน้าต่างย่อย

ชุดที่ 2.1	ชุดที่ 2.2	ชุดที่ 2.3	ชุดที่ 2.4	ชุดที่ 2.5
17 25	17 18	17 18	14 14	17 18
17 17	15 18	19 19	20 15	15 16
ชุดที่ 2.6	ชุดที่ 2.7	ชุดที่ 2.8	ชุดที่ 2.9	ชุดที่ 2.10
13 13	15 16	16 16	16 16	15 15
13 14	15 16	16 16	15 15	16 16
ชุดที่ 2.11	ชุดที่ 2.12	ชุดที่ 2.13	ชุดที่ 2.14	ชุดที่ 2.15
14 13	15 15	15 14	16 16	15 16
13 14	15 15	16 16	14 15	16 16

รูปที่ 4.10 ผลการถอดได้โฟกัสทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 2×2 หน้าต่างย่อย

ชุดที่ 2.1	ชุดที่ 2.2	ชุดที่ 2.3	ชุดที่ 2.4	ชุดที่ 2.5
17 17 31	25 16 5	17 17 18	14 18 14	16 17 18
16 16 1	15 9 17	18 19 8	11 17 14	19 18 18
17 17 29	15 17 17	2 19 6	10 20 15	15 16 16
ชุดที่ 2.6	ชุดที่ 2.7	ชุดที่ 2.8	ชุดที่ 2.9	ชุดที่ 2.10
12 14 13	15 16 16	16 16 16	15 16 16	15 15 15
12 14 13	16 16 16	16 16 16	15 16 15	16 16 15
13 13 13	15 15 16	16 16 16	14 15 15	16 16 14
ชุดที่ 2.11	ชุดที่ 2.12	ชุดที่ 2.13	ชุดที่ 2.14	ชุดที่ 2.15
15 14 13	15 15 16	15 15 14	16 16 16	15 16 15
14 14 15	15 15 14	15 17 16	14 15 16	15 15 16
13 14 13	15 15 15	16 16 17	14 13 14	16 16 16

รูปที่ 4.11 ผลการถอดได้โฟกัสทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 3×3 หน้าต่างย่อย

ชุดที่ 2.1				ชุดที่ 2.2				ชุดที่ 2.3				ชุดที่ 2.4			
17	17	13	1	16	20	16	5	17	17	17	16	14	4	17	14
16	17	4	28	15	16	3	7	17	18	19	30	24	23	15	16
17	15	16	4	15	17	18	15	19	19	19	19	17	13	14	15
16	17	16	1	15	16	8	15	11	15	7	18	15	2	7	17

ชุด 2.5				ชุดที่ 2.6				ชุดที่ 2.7				ชุดที่ 2.8			
16	17	4	17	12	13	13	14	16	15	16	16	16	17	16	16
18	16	17	17	12	15	14	12	15	15	16	16	16	16	16	16
17	17	18	17	13	14	14	13	15	15	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	13	13	14	13	15	16	16	15	16	16	16	16

ชุดที่ 2.9				ชุดที่ 2.10				ชุดที่ 2.11				ชุดที่ 2.12			
15	16	16	16	15	14	15	15	15	15	13	14	30	15	15	16
15	15	16	16	15	16	15	15	13	14	13	14	15	15	15	15
15	15	15	16	16	17	17	15	13	13	14	12	15	15	15	16
15	16	16	16	15	15	14	15	14	14	13	14	15	15	15	15

ชุดที่ 2.13				ชุดที่ 2.14				ชุดที่ 2.15			
15	15	14	15	16	16	13	16	16	15	16	16
14	14	15	15	13	16	16	16	16	16	15	16
14	20	16	16	13	13	15	15	16	15	16	16
17	16	16	17	15	14	14	16	16	16	17	16

รูปที่ 4.12 ผลการถอดได้โฟกัสทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 4x4 หน้าต่างย่อย

ชุดที่ 2.1				
17	16	15	24	8
17	17	17	18	9
17	17	15	19	27
17	16	16	20	13
17	17	15	3	21

ชุดที่ 2.2				
25	16	3	16	5
15	17	6	26	5
16	15	13	16	11
15	15	28	6	20
15	16	20	5	11

ชุดที่ 2.3				
17	17	17	18	24
17	17	18	19	12
17	18	18	15	17
18	18	19	27	12
9	5	7	18	4

ชุด 2.4				
13	21	31	16	14
20	25	12	25	14
9	25	4	11	14
9	6	1	13	16
19	20	18	6	17

ชุด 2.5				
16	18	19	15	18
18	19	20	18	18
19	18	13	18	17
16	16	18	17	16
16	16	15	16	15

ชุดที่ 2.6				
12	12	14	14	15
13	13	13	13	12
12	14	15	13	12
12	12	14	13	13
12	12	14	14	13

ชุดที่ 2.7				
16	15	16	16	16
16	16	16	16	15
15	16	16	16	15
15	14	15	16	16
16	16	16	16	15

ชุดที่ 2.8				
16	16	16	17	15
16	16	16	16	16
16	16	16	16	16
17	16	16	15	16
16	16	16	16	16

ชุด 2.9				
15	15	16	16	16
15	15	16	15	15
15	15	15	15	15
15	14	15	16	16
15	14	15	15	15

ชุดที่ 2.10				
15	14	14	15	15
14	16	15	14	14
15	16	16	15	15
14	16	17	15	15
15	15	15	14	14

ชุดที่ 2.11				
15	14	14	12	14
15	15	13	13	13
13	13	13	14	14
13	14	14	13	13
14	12	13	14	14

ชุดที่ 2.12				
15	13	15	13	16
15	15	15	15	15
15	15	15	15	14
15	15	15	12	14
15	15	15	15	15

ชุดที่ 2.13				
15	14	14	14	15
15	15	14	14	15
15	16	17	15	16
15	16	16	16	17
14	16	17	17	17

ชุดที่ 2.14				
16	16	16	16	17
15	14	16	16	16
15	13	14	16	16
15	13	14	14	13
14	14	13	15	16

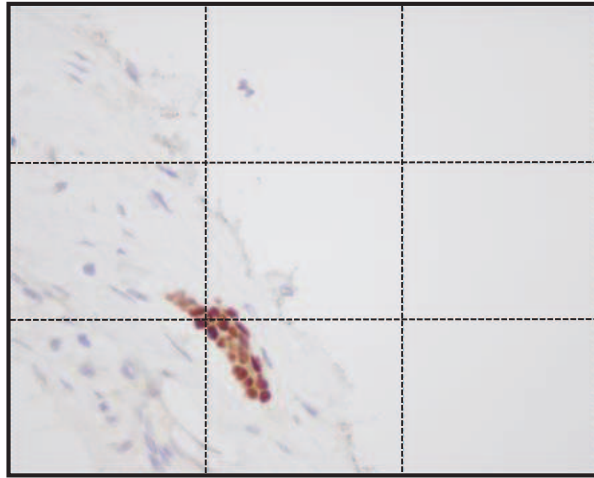
ชุดที่ 2.15				
15	14	16	16	15
15	16	16	16	16
15	16	15	16	13
17	16	16	16	16
16	16	16	16	16

รูปที่ 4.13 ผลการถอดโค้ดภาพทุกส่วนของภาพที่แบ่งออกเป็น 5x5 หน้าต่างย่อย

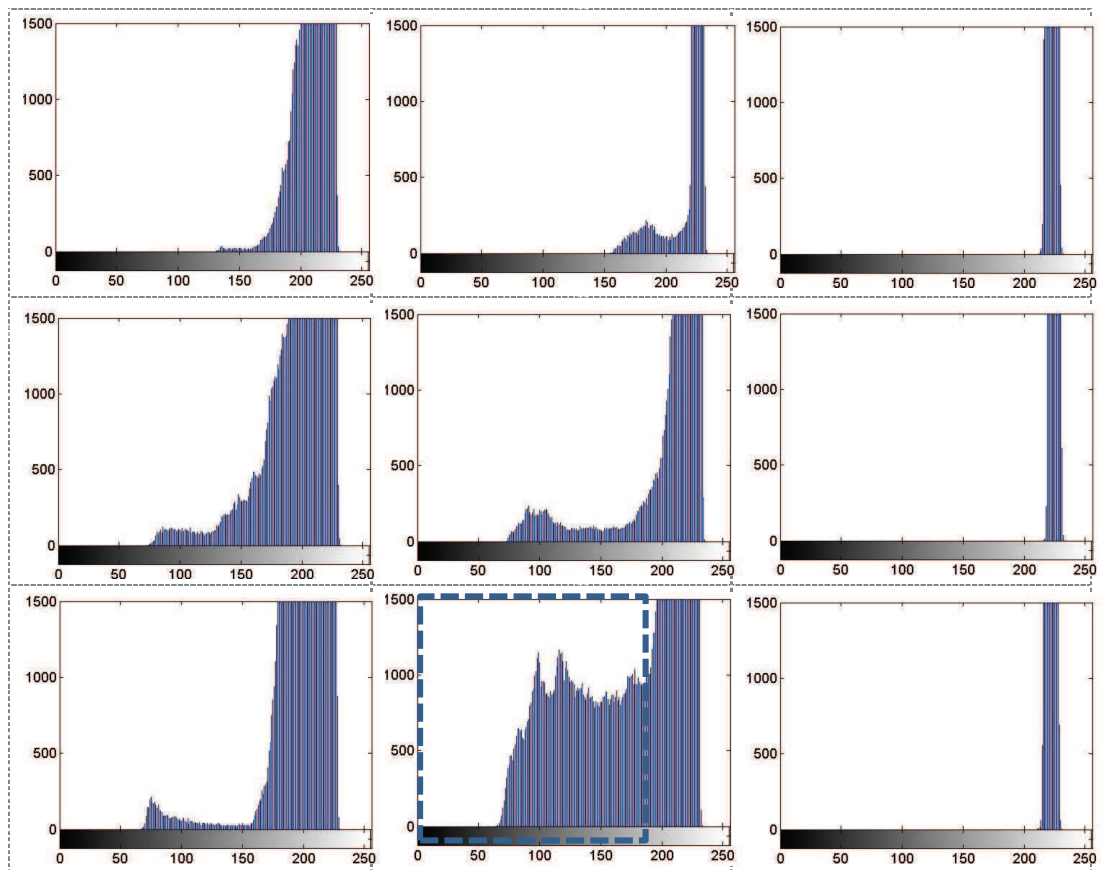
4.4.2 ผลการทดลองเพื่อเลือกบริเวณที่เหมาะสมสำหรับอโต้โฟกัส

โดยอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการอโต้โฟกัสของภาพจะต้องสามารถหาบริเวณที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดได้ และแบ่งภาพออกเป็นขนาดต่างๆกัน ได้แก่ 2×2 , 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อย จากนั้นพิจารณาภาพระบบสีเทาในช่วงสี 0-178 เพื่อเลือกช่วงของสีที่เป็นเซลล์มะเร็งเต้านมเท่านั้น หรือพิจารณาจำนวนสีค่าของภาพขาวดำเพื่อเลือกบริเวณที่นำไปอโต้โฟกัส ดังตัวอย่างรูปที่ 4.14, รูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 เป็นการแสดงภาพในระบบสีเทาของชุดที่ 2.1 ที่มีการแบ่งออกเป็น 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อยและกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.14 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเต้านมตัวอย่างที่ถูกแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด และในรูปที่ 4.14 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมในระบบสีเทาของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.14 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 3 หลักที่ 2 ในช่วงสี 0-178 จะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆตามกรอบสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลต่อไปได้อย่างถูกต้อง



(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและทำการแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อย

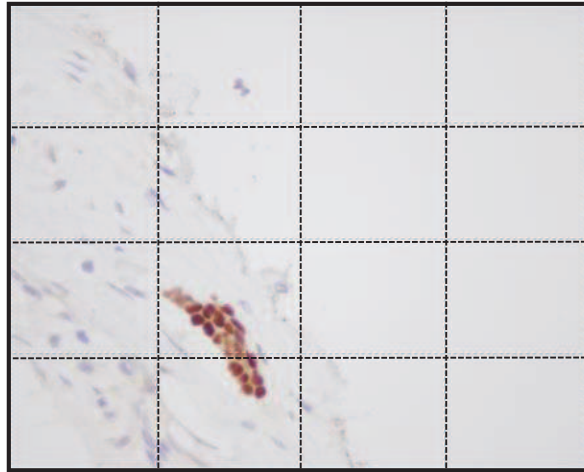


(ข) กราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจากภาพ (ก) ในระบบสีเทา

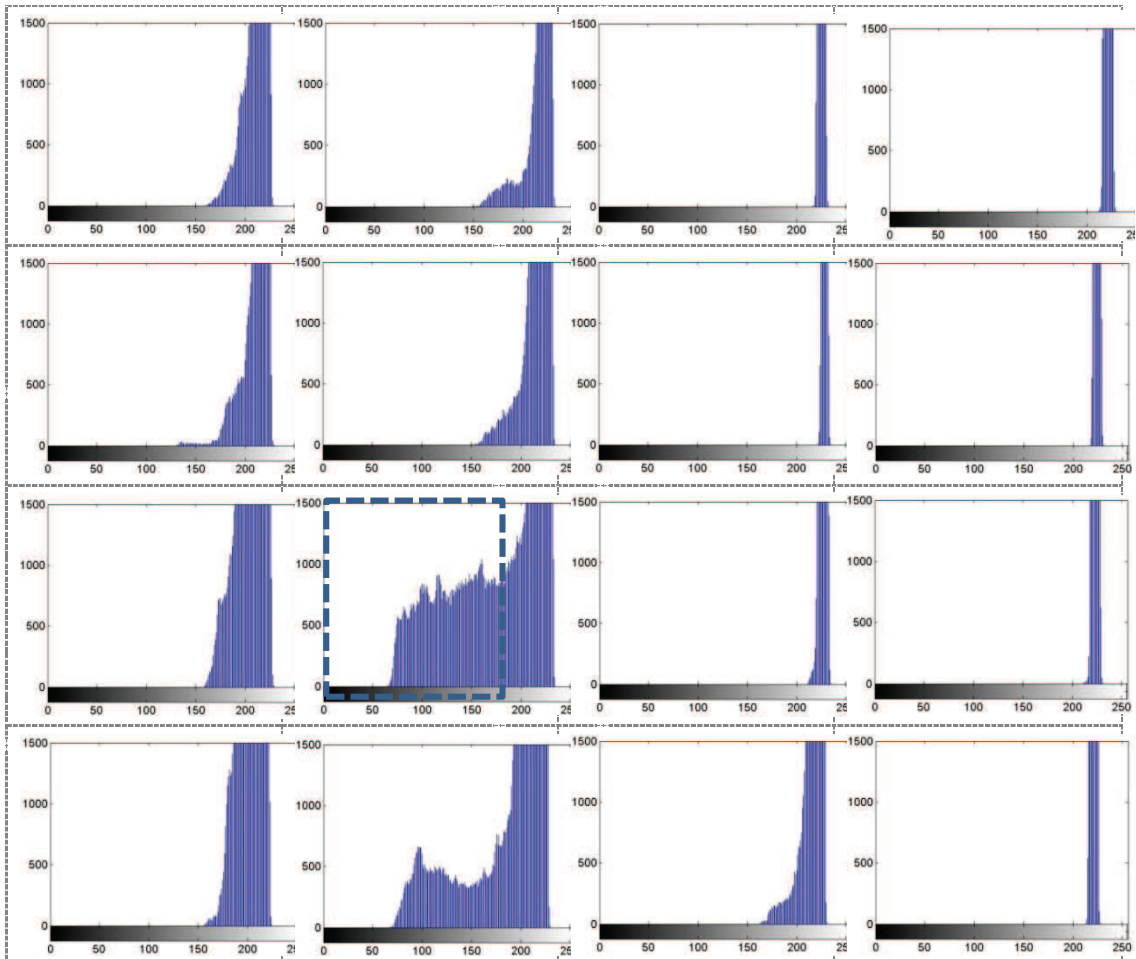
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรม

รูปที่ 4.15 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเรียงตัวอย่างที่ถูกแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวอยู่มากที่สุด และในรูปที่ 4.15 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมในระบบสี่เทาของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.15 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 3 หลักที่ 2 ในช่วงสี 0-178 จะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆตามกรอบสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวอยู่มากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

รูปที่ 4.16 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเรียงตัวอย่างที่ถูกแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 4 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวอยู่มากที่สุด และในรูปที่ 4.16 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมในระบบสี่เทาของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.16 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 4 หลักที่ 2 ในช่วงสี 0-178 จะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆตามกรอบสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวอยู่มากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

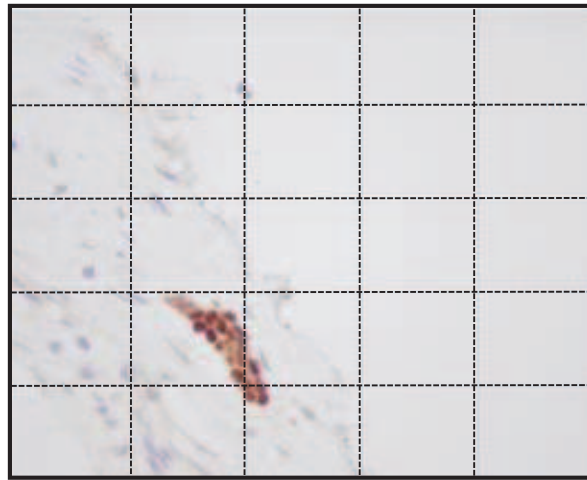


(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและทำการแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนย่อย

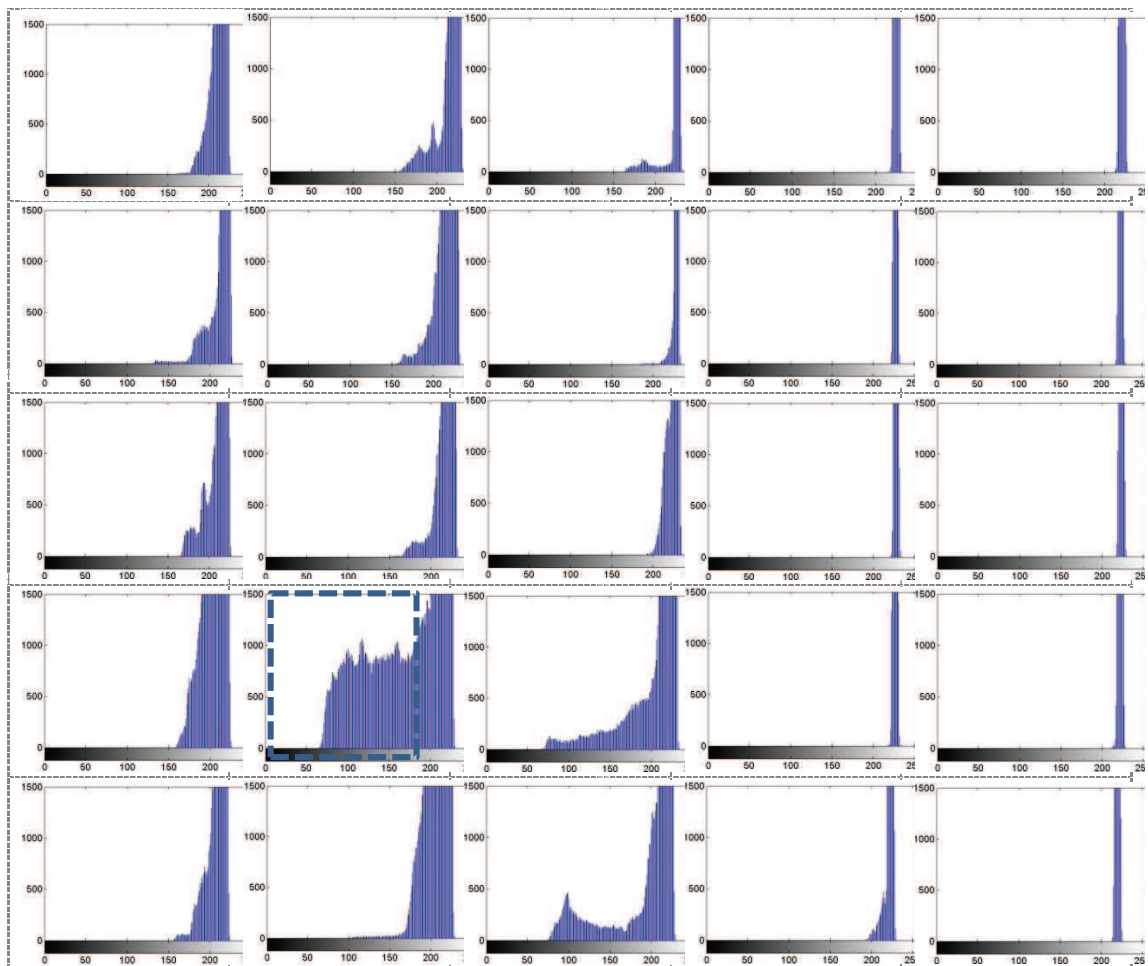


(ข) กราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจากภาพ (ก) ในระบบสีเทา

รูปที่ 4.15 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนย่อยและฮิสโทแกรม



(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและทำการแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนย่อย

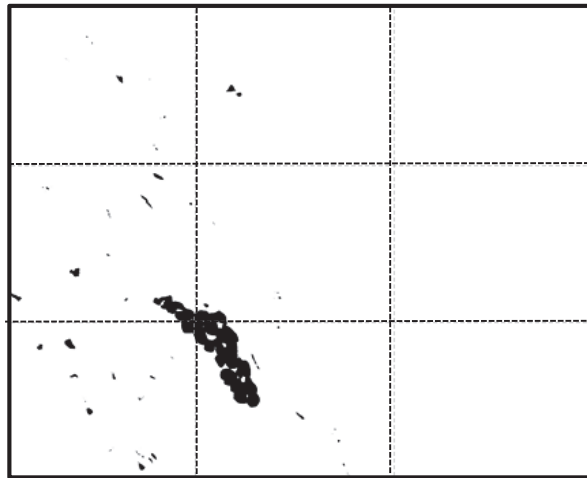


(ข) กราฟฮิสโตแกรมของแต่ละส่วนย่อยจากภาพ (ก) ในระบบสีเทา

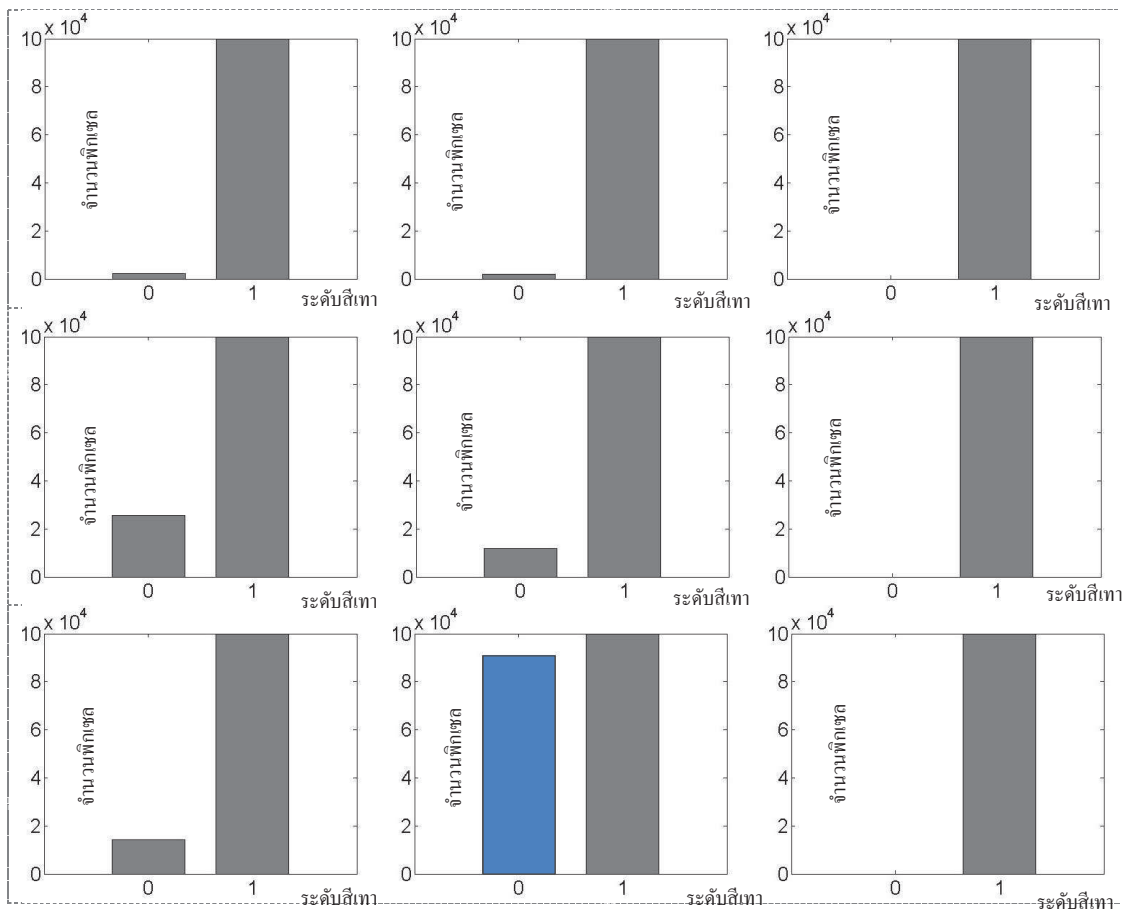
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมที่ถูกแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนย่อยและฮิสโตแกรม

เช่นเดียวกับภาพในระบบสี่ขาค่าและแบ่งภาพออกเป็นขนาด 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อย และพิจารณาจำนวนสีค่าของกราฟฮิสโทแกรมในแต่ละส่วนย่อยมาคำนวณเลือกบริเวณที่ถูกต้อง ดังตัวอย่างรูปที่ 4.17 - รูปที่ 4.19 เป็นการแสดงภาพในระบบขาค่าและแบ่งออกเป็น 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อยพร้อมด้วยกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.17 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเต้านมตัวอย่างหลังจากแปลงให้เป็นระบบขาค่าและแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด และในรูปที่ 4.17 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.17 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 3 หลักที่ 2 ปริมาณสีค่าจะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆตามสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง



(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบสีขาวดำที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและแบ่งออกเป็น 3x3 ส่วน

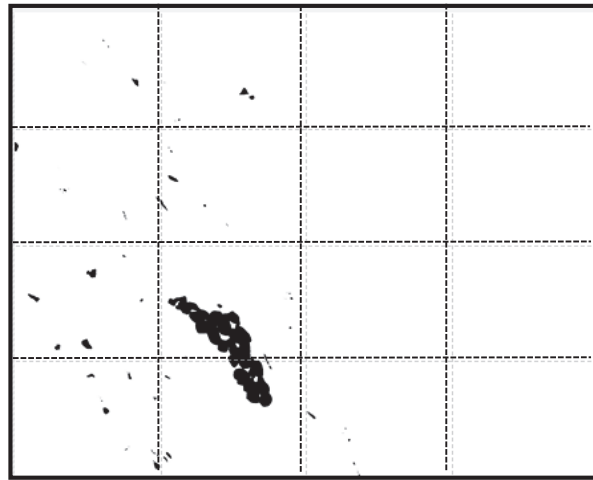


(ข) กราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนจากภาพ (ก)

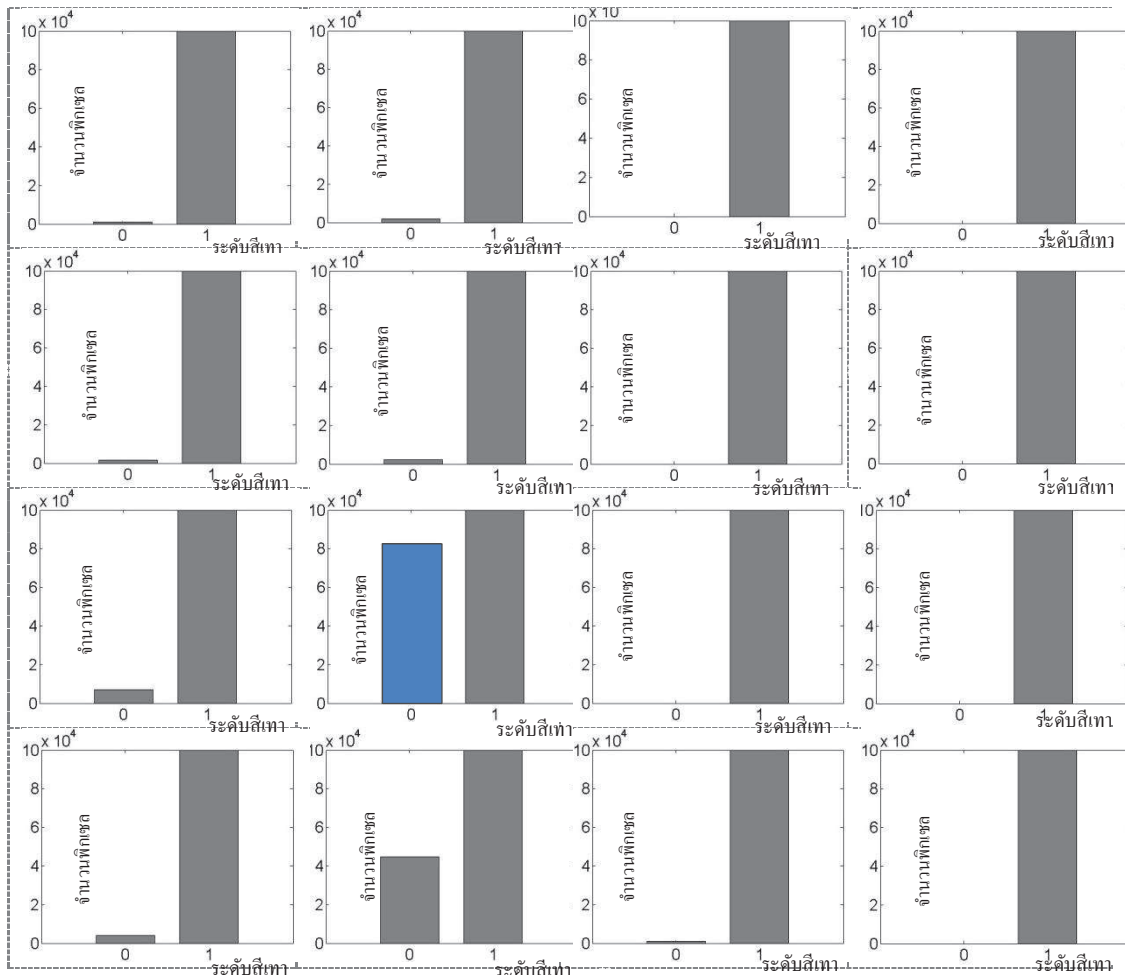
รูปที่ 4.17 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 3x3 ส่วนและฮิสโทแกรม

รูปที่ 4.18 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเรียงตัวอย่างหลังจากแปลงเป็นระบบขาค้ำ และแบ่งออกเป็น 4×4 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 3 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวมออยู่เป็นจำนวนมากที่สุด และในรูปที่ 4.18 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.18 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 3 หลักที่ 2 ปริมาณสีค่าจะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ตามกรอบสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวมออยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

รูปที่ 4.19 (ก) แสดงภาพเซลล์มะเร็งเรียงตัวอย่างหลังจากแปลงเป็นระบบขาค้ำ และแบ่งออกเป็น 5×5 ส่วนย่อย ซึ่งจะพบว่าในส่วนของแถวที่ 4 หลักที่ 2 คือส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวมออยู่เป็นจำนวนมากที่สุด และในรูปที่ 4.19 (ข) แสดงกราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยของรูปที่ 4.19 (ก) ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนย่อยจะพบว่า กราฟของแถวที่ 4 หลักที่ 2 ปริมาณสีค่าจะมีจำนวนพิกเซลอยู่มากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ตามสีน้ำเงินที่ได้แสดงไว้ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงตัวมออยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเพื่อนำไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

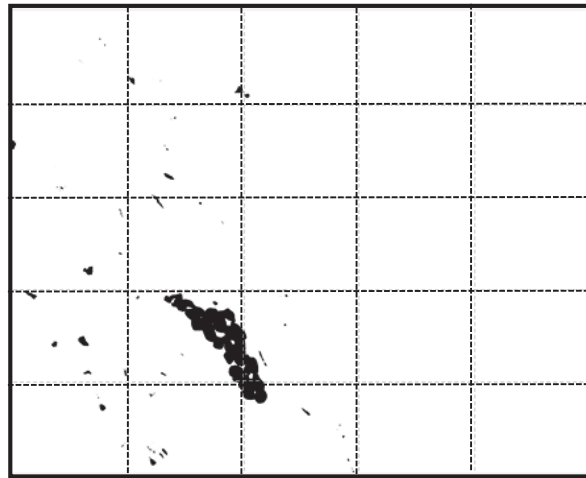


(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบสีขาวดำที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและแบ่งออกเป็น 4x4 ส่วน

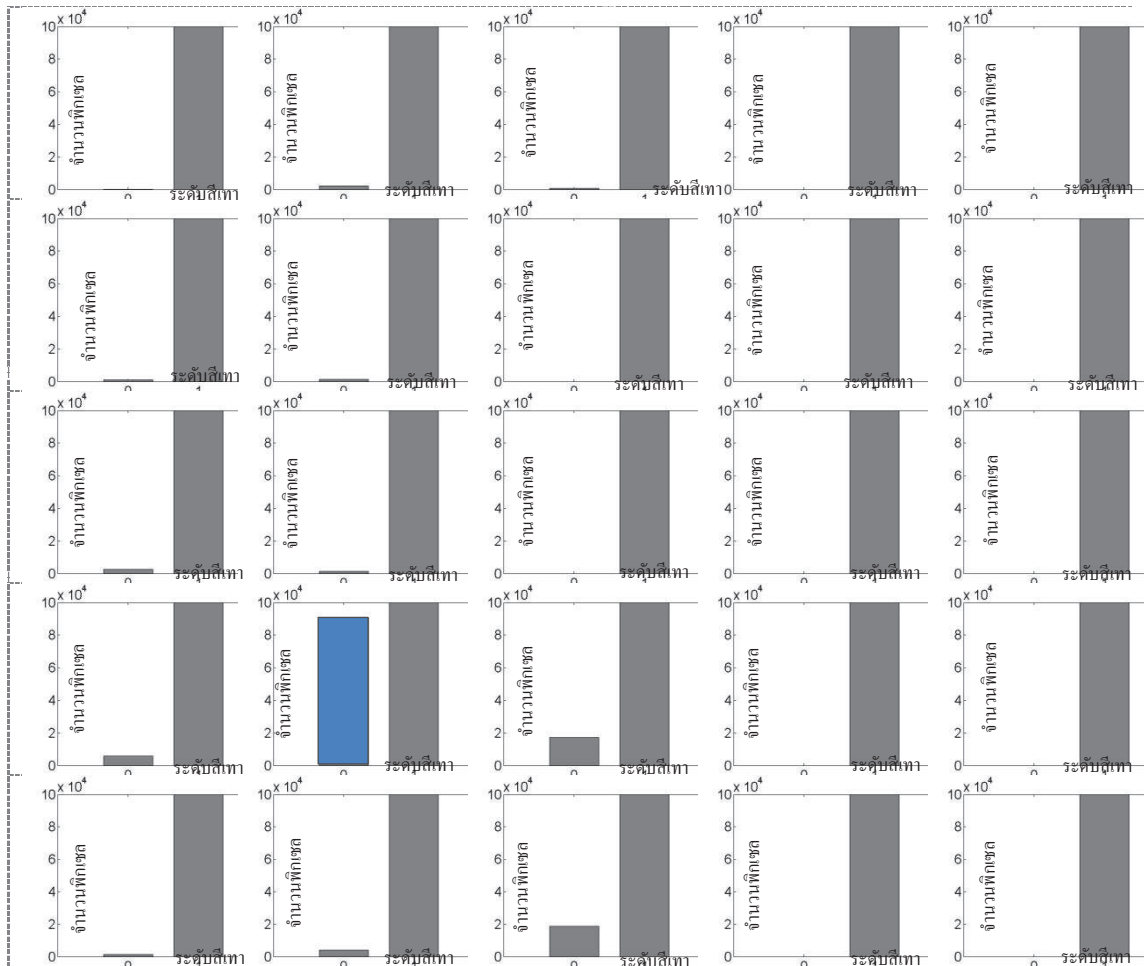


(ข) กราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนจากภาพ (ก)

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 4x4 ส่วนและฮิสโทแกรม



(ก) ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบสีขาวดำที่มีบริเวณพื้นที่ว่างและแบ่งออกเป็น 5x5 ส่วน



(ข) กราฟฮิสโทแกรมของแต่ละส่วนจากภาพ (ก)

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งเต้านมในระบบขาวดำและแบ่งออกเป็น 5x5 ส่วนและฮิสโทแกรม

ผลการทดลองหาบริเวณที่มีเซลล์มะเร็งเริ่มต้นโดยพิจารณาจากสีค่าของภาพในระบบสีเทาและภาพระบบสีขาวดำ และใช้ภาพทั้ง 15 ชุด (ชุดที่ 2.1-2.15) ในการทดลอง โดยแสดงผลการทดลองของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล, ภาพที่ชัดที่สุดจากการเลือกในแต่ละวิธีและส่วนย่อยของภาพที่ได้นำไปใช้ในการอโต้โฟกัสดังตารางที่ 4.16

จากตารางที่ 4.16 ผลการทดลองแสดงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลการทดลองเรื่องของเวลาในการประมวลผลวิธีที่พิจารณาจากภาพระบบสีเทาเร็วกว่าวิธีที่พิจารณาจากภาพระบบสีขาวดำ โดยเฉลี่ยจะใช้เวลาที่ 5 วินาที

2) ผลการทดลองเรื่องของความถูกต้องในการเลือกภาพที่ชัดที่สุดทั้งวิธีของภาพระบบสีเทาและภาพระบบสีขาวดำให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน โดยขนาด 2×2 หน้าต่างย่อยมีความถูกต้อง 80%, ขนาด 3×3 หน้าต่างย่อยมีความถูกต้อง 86.67%, ขนาด 4×4 หน้าต่างย่อยมีความถูกต้อง 86.67% และขนาด 5×5 หน้าต่างย่อยมีความถูกต้อง 86.67%

3) ผลการทดลองเรื่องการเลือกส่วนย่อยของภาพที่นำมาประมวลผล ทั้งสองวิธีสามารถเลือกส่วนย่อยของภาพได้ถูกต้อง

4) สำหรับผลการทดลองเรื่องของขนาดกริดนั้นพบว่า เมื่อขนาดกริดมีขนาดเล็กลงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลทั้งหมดจะเร็วขึ้นเป็นลำดับ แต่เนื่องจากขั้นตอนการประมวลผลของวิธีดังกล่าวเริ่มต้นรับภาพเข้ามาเพียง 1 ภาพเพื่อเป็นตัวแทนของภาพทั้งชุดในการเลือกส่วนที่จะอโต้โฟกัสและแปลงภาพนั้นเป็นระบบสีเทา ขั้นตอนถัดไปทำการแบ่งภาพนั้นออกเป็นหน้าต่างย่อยพร้อมทั้งใช้วิธีที่ได้กล่าวมาตอนต้นเพื่อเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเริ่มต้นอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเมื่อทราบส่วนของภาพที่จะนำไปอโต้โฟกัสแล้วภาพที่เหลืออีก 30 ภาพจึงสามารถกำหนดส่วนที่จะไปนำอโต้โฟกัสต่อไปได้ดังรูปที่ 4.20 ที่แสดงเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนสำหรับวิธีที่พิจารณาจากระบบสีขาวดำด้วยขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อย

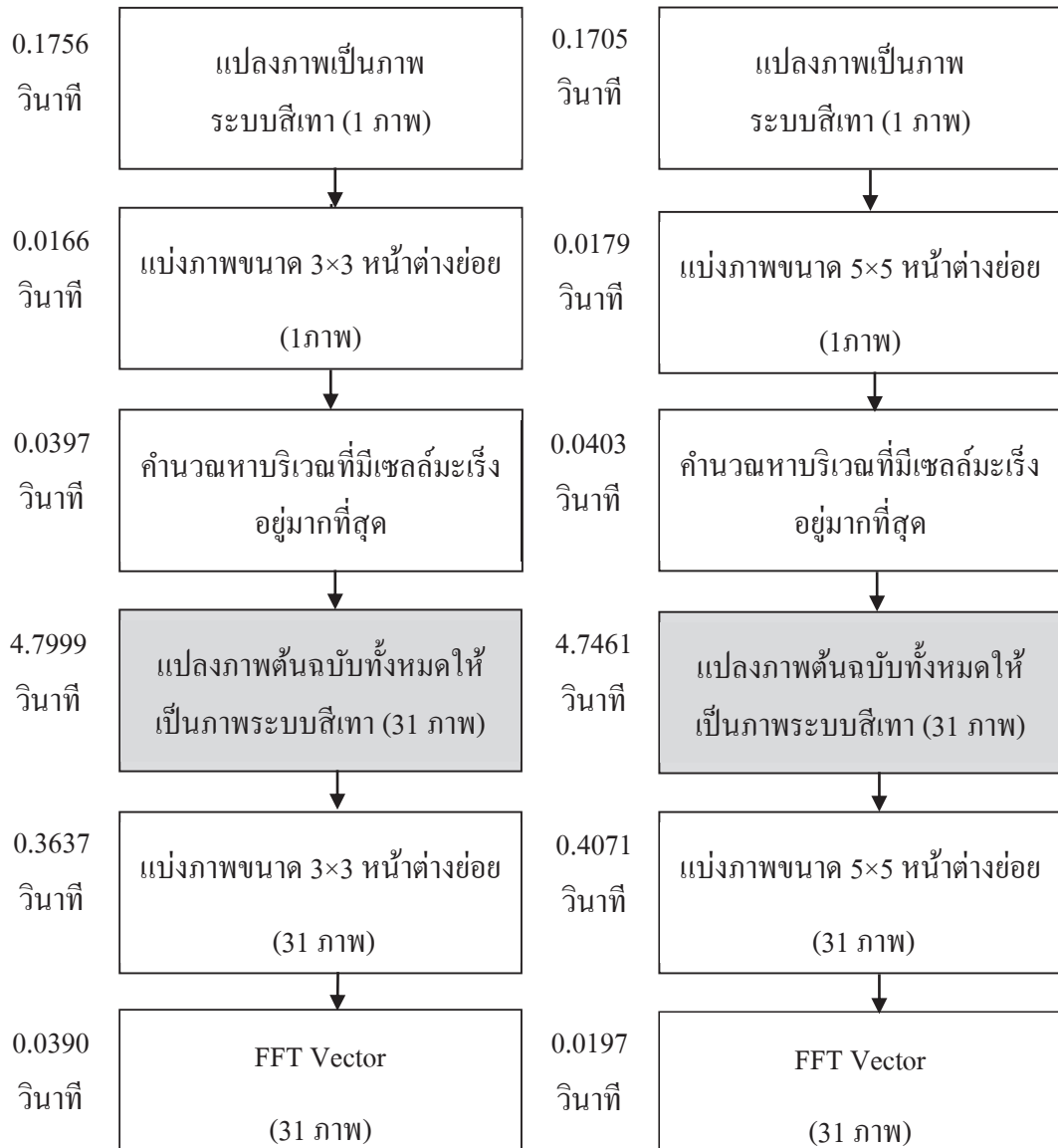
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดในระบบสี่เทาและระบบสี่ขาวดำ

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสี่ขาวดำ				ภาพระบบสี่เทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
2x2	2.1	5.62	17	2	1	5.57	17	2	1
	2.2	5.58	17	1	1	5.43	17	1	1
	2.3	5.55	17	1	1	5.41	17	1	1
	2.4	5.50	14	1	2	5.44	14	1	2
	2.5	5.59	16	2	2	5.49	16	2	2
	2.6	5.68	14	2	2	5.43	14	2	2
	2.7	5.60	15	1	1	5.45	15	1	1
	2.8	5.63	16	1	1	5.56	16	1	1
	2.9	5.69	15	2	2	5.42	15	2	2
	2.10	5.65	16	2	1	5.45	16	2	1
	2.11	5.71	13	2	1	5.61	13	2	1
	2.12	5.68	15	2	1	5.52	15	2	1
	2.13	5.65	16	2	2	5.56	16	2	2
	2.14	5.69	16	1	2	5.47	16	1	2
	2.15	5.61	16	2	2	5.39	16	2	2
เวลาเฉลี่ย 5.63 วินาที					เวลาเฉลี่ย 5.48 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสี่ขาวดำ				ภาพระบบสี่เทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
3x3	2.1	5.55	17	3	2	5.49	17	3	2
	2.2	5.60	15	2	1	5.53	15	2	1
	2.3	5.61	17	1	1	5.45	17	1	1
	2.4	5.52	14	1	3	5.47	14	1	3
	2.5	5.54	15	3	1	5.56	15	3	1
	2.6	5.59	14	2	2	5.45	14	2	2
	2.7	5.49	15	3	1	5.53	15	3	1
	2.8	5.51	16	1	1	5.43	16	1	1
	2.9	5.51	16	1	3	5.54	16	1	3
	2.10	5.51	16	2	2	5.47	16	2	2
	2.11	5.56	15	1	1	5.52	15	1	1
	2.12	5.46	15	3	1	5.46	15	3	1
	2.13	5.45	16	3	2	5.60	16	3	2
	2.14	5.50	16	1	3	5.45	16	1	3
	2.15	5.55	16	3	3	5.58	16	3	3
เวลาเฉลี่ย 5.53 วินาที					เวลาเฉลี่ย 5.50 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสี่ขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
4x4	2.1	5.58	15	3	2	5.49	15	3	2
	2.2	5.48	15	2	1	5.44	15	2	1
	2.3	5.47	17	2	1	5.50	17	2	1
	2.4	5.65	14	1	4	5.46	14	1	4
	2.5	5.50	16	4	4	5.44	16	4	4
	2.6	5.61	14	4	3	5.45	14	4	3
	2.7	5.47	15	4	4	5.45	15	4	4
	2.8	5.43	16	2	1	5.46	16	2	1
	2.9	5.51	16	3	4	5.55	16	3	4
	2.10	5.58	17	3	2	5.46	17	3	2
	2.11	5.58	15	1	1	5.48	15	1	1
	2.12	5.50	15	4	2	5.47	15	4	2
	2.13	5.52	16	4	2	5.51	16	4	2
	2.14	5.46	16	2	4	5.44	16	2	4
	2.15	5.58	16	4	4	5.42	16	4	4
เวลาเฉลี่ย 5.53 วินาที					เวลาเฉลี่ย 5.47 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสี่ขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
5x5	2.1	5.61	16	4	2	5.54	16	4	2
	2.2	5.47	15	3	2	5.46	15	3	2
	2.3	5.43	17	2	1	5.51	17	2	1
	2.4	5.49	14	1	5	5.45	14	1	5
	2.5	5.48	16	5	1	5.47	16	5	1
	2.6	5.46	14	4	3	5.44	14	4	3
	2.7	5.44	15	5	5	5.45	15	5	5
	2.8	5.46	16	2	5	5.44	16	2	5
	2.9	5.49	16	1	5	5.46	16	1	5
	2.10	5.52	16	3	3	5.56	16	3	3
	2.11	5.51	15	1	1	5.49	15	1	1
	2.12	5.60	15	5	3	5.42	15	5	3
	2.13	5.68	17	5	3	5.55	17	5	3
	2.14	5.56	16	2	4	5.49	16	2	4
	2.15	5.67	16	5	5	5.43	16	5	5
เวลาเฉลี่ย 5.52 วินาที					เวลาเฉลี่ย 5.48 วินาที				



รูปที่ 4.20 ภาพรวมของขั้นตอนและเวลาของแต่ละขั้นตอนในการทดลองหาบริเวณที่น่าไปออโต้โฟกัสด้วยภาพระบบขาวดำขนาด 3x3 และ 5x5 หน้าต่างย่อย

4.5 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึมเดิม

จากผลการทดลองขั้นตอนการแปลงภาพต้นฉบับทั้งหมดให้เป็นภาพระบบสีเทา จำนวน 31 ภาพใช้เวลามากที่สุดทั้งการแบ่งด้วยขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อยดังแสดงเวลาการประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 4.20 เพื่อปรับปรุงให้เวลาในการประมวลผลเร็วขึ้นจึงได้ทำการทดลองการแปลงภาพเป็นระบบสีเทาเฉพาะบริเวณที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดเท่านั้น ซึ่งบริเวณดังกล่าวได้ถูกคำนวณมาแล้วจากภาพแรกที่ได้รับเข้ามา การทดลองจะทดสอบกับภาพ 15 ชุดเดิมซึ่งให้ผลการทดลองออกมาเป็นดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดในระบบสีเทาและระบบสีขาวดำที่แปลงภาพเป็นระบบขาว
เทาเฉพาะส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเรียงเด่นมมากที่สุดเท่านั้น

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
2x2	2.1	1.78	17	2	1	1.72	17	2	1
	2.2	1.73	17	1	1	1.69	17	1	1
	2.3	1.78	17	1	1	1.69	17	1	1
	2.4	1.76	14	1	2	1.7	14	1	2
	2.5	1.79	16	2	2	1.7	16	2	2
	2.6	1.76	14	2	2	1.7	14	2	2
	2.7	1.76	15	1	1	1.7	15	1	1
	2.8	1.78	16	1	1	1.73	16	1	1
	2.9	1.77	15	2	2	1.73	15	2	2
	2.10	1.76	16	2	1	1.73	16	2	1
	2.11	1.77	13	2	1	1.78	13	2	1
	2.12	1.77	15	2	1	1.76	15	2	1
	2.13	1.73	16	2	2	1.76	16	2	2
	2.14	1.75	16	1	2	1.75	16	1	2
	2.15	1.80	16	2	2	1.75	16	2	2
เวลาเฉลี่ย 1.77วินาที					เวลาเฉลี่ย 1.73 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
3x3	2.1	0.93	17	3	2	0.92	17	3	2
	2.2	0.90	15	2	1	0.88	15	2	1
	2.3	0.90	17	1	1	0.88	17	1	1
	2.4	0.91	14	1	3	0.88	14	1	3
	2.5	0.90	15	3	1	0.88	15	3	1
	2.6	0.90	14	2	2	0.88	14	2	2
	2.7	0.90	15	3	1	0.89	15	3	1
	2.8	0.90	16	1	1	0.88	16	1	1
	2.9	0.90	16	1	3	0.88	16	1	3
	2.10	0.90	16	2	2	0.89	16	2	2
	2.11	0.89	15	1	1	0.90	15	1	1
	2.12	0.89	15	3	1	0.89	15	3	1
	2.13	0.88	16	3	2	0.89	16	3	2
	2.14	0.89	16	1	3	0.88	16	1	3
	2.15	0.88	16	3	3	0.90	16	3	3
เวลาเฉลี่ย 0.90 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.89 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
4x4	2.1	0.63	15	3	2	0.63	15	3	2
	2.2	0.58	15	2	1	0.60	15	2	1
	2.3	0.58	17	2	1	0.59	17	2	1
	2.4	0.62	14	1	4	0.59	14	1	4
	2.5	0.58	16	4	4	0.59	16	4	4
	2.6	0.59	14	4	3	0.60	14	4	3
	2.7	0.60	15	4	4	0.59	15	4	4
	2.8	0.59	16	2	1	0.58	16	2	1
	2.9	0.61	16	3	4	0.59	16	3	4
	2.10	0.60	17	3	2	0.59	17	3	2
	2.11	0.59	15	1	1	0.59	15	1	1
	2.12	0.60	15	4	2	0.59	15	4	2
	2.13	0.60	16	4	2	0.58	16	4	2
	2.14	0.60	16	2	4	0.58	16	2	4
	2.15	0.59	16	4	4	0.59	16	4	4
เวลาเฉลี่ย 0.60 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.59 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
5x5	2.1	0.47	16	4	2	0.47	16	4	2
	2.2	0.44	15	3	2	0.44	15	3	2
	2.3	0.43	17	2	1	0.43	17	2	1
	2.4	0.43	14	1	5	0.43	14	1	5
	2.5	0.50	16	5	1	0.43	16	5	1
	2.6	0.45	14	4	3	0.43	14	4	3
	2.7	0.43	15	5	5	0.42	15	5	5
	2.8	0.45	16	2	5	0.42	16	2	5
	2.9	0.43	16	1	5	0.42	16	1	5
	2.10	0.45	16	3	3	0.43	16	3	3
	2.11	0.45	15	1	1	0.42	15	1	1
	2.12	0.44	15	5	3	0.43	15	5	3
	2.13	0.43	17	5	3	0.43	17	5	3
	2.14	0.45	16	2	4	0.43	16	2	4
	2.15	0.43	16	5	5	0.43	16	5	5
เวลาเฉลี่ย 0.45 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.43 วินาที				

ผลการทดลองนี้สามารถให้ผลลัพธ์ได้ดีกว่าผลการทดลองในตารางที่ 4.16 ได้อย่างชัดเจนในเรื่องของเวลา จากเดิมเวลาในการประมวลผลส่วนใหญ่เฉลี่ยที่ 5 วินาทีแต่การทดลองนี้การแบ่งภาพเป็น 2×2 หน้าต่างย่อยใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ย 1.7 วินาทีเท่านั้น หรือการแบ่งภาพด้วยขนาด 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อยใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยที่ 0.9, 0.6 และ 0.4 วินาทีตามลำดับ สำหรับผลการทดลองเรื่องของภาพที่ชัดที่สุดยังคงผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องเหมือนการทดลองก่อนหน้า

หากพิจารณาขนาดของกริดแบบต่างๆก็จะพบว่า ถ้าแบ่งกริดให้มีขนาดเล็กลง เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะน้อยลงตามไปด้วย และวิธีของภาพระบบสี่เหลี่ยมยังคงเร็วกว่าวิธีของภาพระบบสี่เหลี่ยมดำเช่นการทดลองเดิม ซึ่งสามารถทำเวลาได้เร็วที่สุดเฉลี่ย 0.43 วินาทีด้วยการแบ่งกริดขนาด 5×5 หน้าต่างย่อยและใช้วิธีพิจารณาจากภาพระบบสี่เหลี่ยม และหากพิจารณาเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนสำหรับการทดลองนี้ด้วยภาพระบบสี่เหลี่ยมดำและแบ่งกริดขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21

จากรูปที่ 4.21 จะพบว่าเวลาในขั้นตอนการแปลงภาพให้เป็นภาพระบบสี่เหลี่ยมเฉพาะส่วนที่ต้องการออโต้โฟกัสเร็วกว่าเดิมเป็นอย่างมาก โดยกริดขนาด 3×3 จะใช้เวลา 0.6541 วินาทีและหากเป็นกริดขนาด 5×5 จะใช้เวลา 0.2321 วินาทีต่อจำนวนภาพ 31 ภาพ ซึ่งการแปลงภาพเป็นระบบสี่เหลี่ยมของขนาด 5×5 จะใช้เวลาน้อยกว่าเนื่องมาจากขนาดที่เล็กกว่านั่นเอง แต่ยังคงใช้เวลามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ เพื่อปรับปรุงให้เวลาในการประมวลผลเร็วขึ้นกว่าเดิมจึงทำการทดลองขึ้นมาอีกหนึ่งการทดลองโดยทดลองกับภาพเดิม 15 ชุด แต่ทดลองให้แปลงภาพเป็นระบบสี่เหลี่ยมเฉพาะเวกเตอร์ที่ใช้ในการนำไปออโต้โฟกัสเท่านั้นด้วยภาพที่ถูกแบ่งออกเป็น 2×2 , 3×3 , 4×4 และ 5×5 หน้าต่างย่อย และเพิ่มผลการทดลองออโต้โฟกัสทั้งภาพโดยไม่เลือกเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพขนาด 2880×3600 พิกเซล ซึ่งให้ผลลัพธ์ออกมาดังตารางที่ 4.18

จากตารางที่ 4.18 ได้ให้ผลการทดลองออกมาอย่างน่าพอใจซึ่งสามารถลดเวลาในการประมวลผลลงจากวิธีเดิมได้ประมาณเท่าตัว ซึ่งเมื่อแสดงผลการทดลองเวลาเฉพาะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของตารางที่ 4.18 ในรูปแบบกราฟเส้นสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 4.22 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้ หากแบ่งภาพออกเป็น

ขนาด 2×2 หน้าต่างย่อยทุกวิธีใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยที่ 0.4 วินาที

ขนาด 3×3 หน้าต่างย่อยทุกวิธีใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยที่ 0.3 วินาที

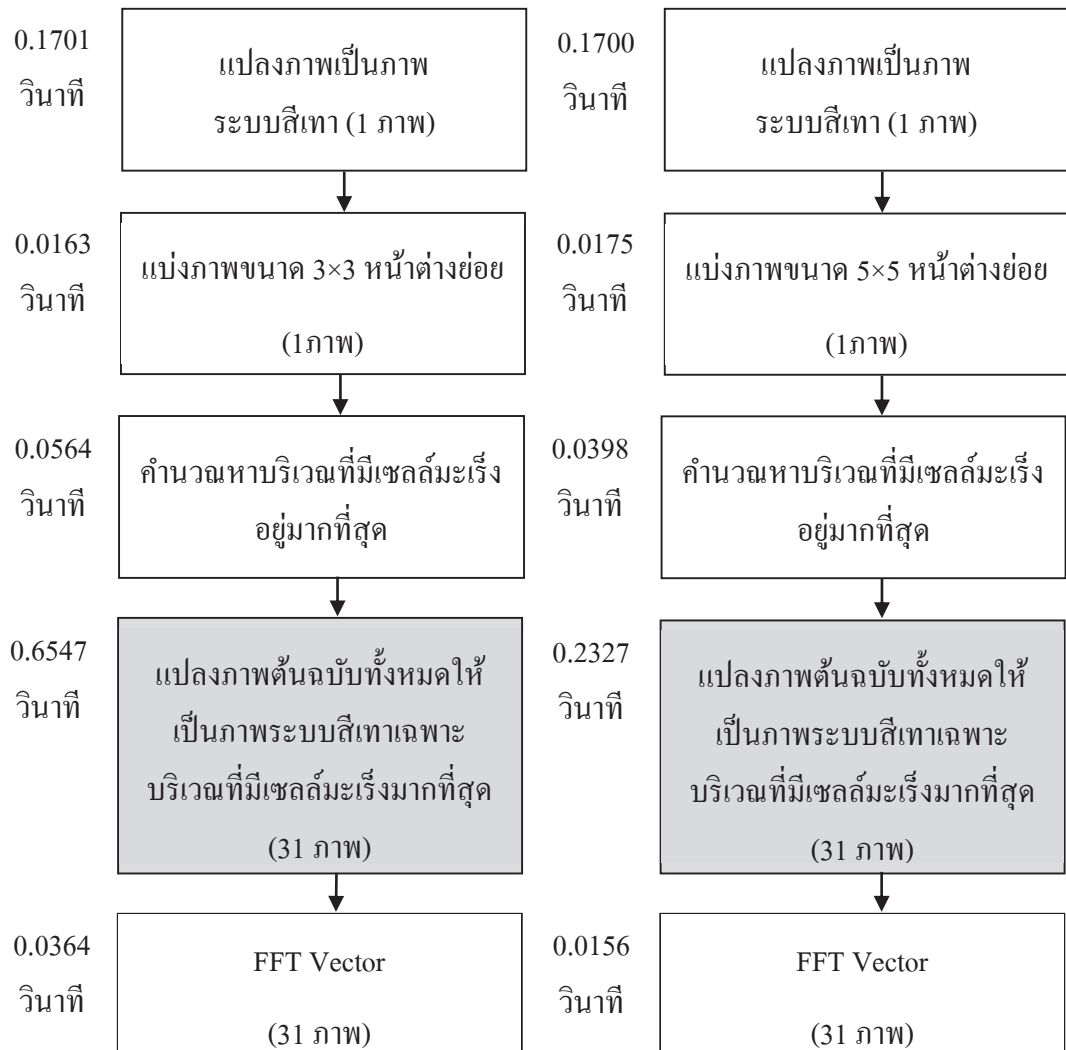
ขนาด 4×4 หน้าต่างย่อยทุกวิธีใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยที่ 0.27 วินาที

ขนาด 5×5 หน้าต่างย่อยทุกวิธีใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยที่ 0.25 วินาที

และทั้งภาพขนาด 2880×3600 พิกเซลใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยที่ 0.64 วินาที

จากผลการทดลองทั้งหมดด้วยขนาดต่างๆ การออดิโอโฟกัสทั้งภาพโดยไม่เจาะจงส่วนให้ผลการทดลองของภาพที่ชัดที่สุดใกล้เคียงกับการแบ่งเป็นภาพเป็นหลายหน้าต่างย่อย แต่ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าวิธีอื่นๆ หลายเท่าตัว ดังนั้นเรื่องของขนาดภาพที่ใช้ในการออดิโอโฟกัสจึงสามารถสรุปได้ว่า ควรจะใช้วิธีการแบ่งภาพออกเป็นหลายหน้าต่างย่อยและใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นตัวแทนทั้งภาพในการโฟกัส

เมื่อแบ่งภาพให้มีขนาดเล็กลงตั้งแต่ขนาด 3×3 หน้าต่างย่อยเป็นต้นไป เวลาที่ใช้ในการประมวลผลได้มีการลดลงเพียงเล็กน้อยอย่างไม่ค่อยสำคัญ และเพื่อให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องที่สุดจึงควรที่จะเลือกให้ภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุดนั่นคือ การแบ่งภาพออกเป็นขนาด 3×3 หน้าต่างย่อย สำหรับวิธีพิจารณาส่วนที่มีเซลล์มะเร็งในด้านมเป็นจำนวนมากที่สุดจากภาพระบบสีเทาและระบบสีขาวดำนั้น การพิจารณาจากภาพระบบสีดำหรือภาพสีเทาด้วยขนาดใดก็ตามวิธีของภาพระบบสีเทาสามารถใช้เวลาการประมวลผลที่น้อยกว่าเนื่องจากภาพระบบขาวดำต้องใช้เวลาในขั้นตอนของการแปลงเป็นระบบสีขาวดำ แต่วิธีพิจารณาจากภาพขาวดำเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนจึงสามารถตัดสินใจได้ง่ายกว่าภาพในระบบสีเทา ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดในการเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งด้านมเป็นจำนวนมากที่สุดคือ การแปลงภาพเป็นระบบสีขาวดำและพิจารณาจำนวนสีดำที่มากที่สุด



รูปที่ 4.21 ภาพรวมของขั้นตอนและเวลาของแต่ละขั้นตอนในการทดลองหาบริเวณที่น่าไปออโต้
โฟกัสด้วยภาพระบบขาวดำขนาด 3×3 และ 5×5 หน้าต่างย่อย

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองภาพ 15 ชุดที่แปลงภาพเป็นระบบขาวเทาเฉพาะบางเวกเตอร์เท่านั้น

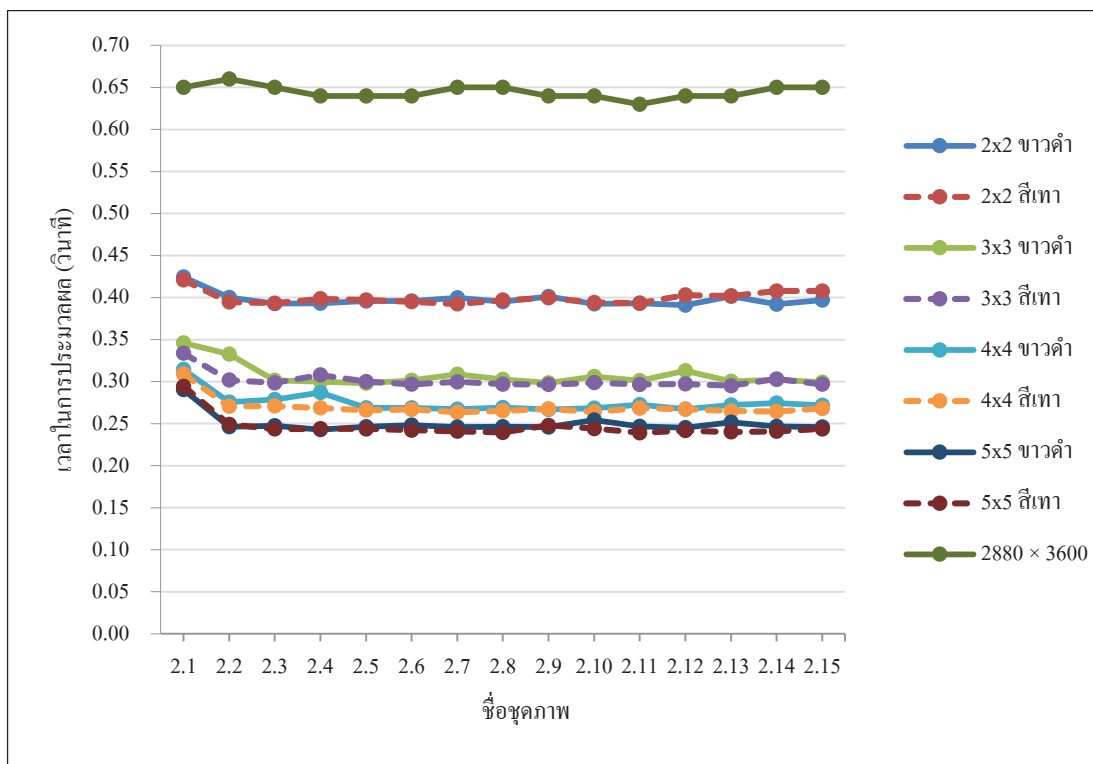
ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
2x2	2.1	0.424	17	2	1	0.421	17	2	1
	2.2	0.400	17	1	1	0.395	15	2	1
	2.3	0.393	17	1	1	0.393	17	1	1
	2.4	0.393	14	1	2	0.399	14	1	2
	2.5	0.396	16	2	2	0.397	16	2	2
	2.6	0.396	14	2	2	0.395	14	2	2
	2.7	0.400	15	1	1	0.392	16	2	2
	2.8	0.395	16	1	1	0.397	16	1	2
	2.9	0.401	15	2	2	0.400	15	2	2
	2.10	0.393	16	2	1	0.394	16	2	1
	2.11	0.393	13	2	1	0.393	14	2	2
	2.12	0.391	15	2	1	0.403	15	1	2
	2.13	0.402	16	2	2	0.402	14	1	2
	2.14	0.392	16	1	2	0.408	14	2	1
	2.15	0.397	16	2	2	0.408	16	1	2
เวลาเฉลี่ย 0.400 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.398 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
3x3	2.1	0.346	17	3	2	0.334	17	3	2
	2.2	0.333	15	2	1	0.302	15	2	1
	2.3	0.302	17	1	1	0.298	17	1	1
	2.4	0.300	14	1	3	0.308	14	1	3
	2.5	0.298	15	3	1	0.300	16	3	3
	2.6	0.302	14	2	2	0.297	13	3	3
	2.7	0.309	15	3	1	0.300	16	2	3
	2.8	0.303	16	1	1	0.297	16	2	2
	2.9	0.298	16	1	3	0.297	15	2	3
	2.10	0.306	16	2	2	0.299	16	2	1
	2.11	0.301	15	1	1	0.297	13	3	3
	2.12	0.313	15	3	1	0.297	14	2	3
	2.13	0.300	16	3	2	0.295	14	1	3
	2.14	0.302	16	1	3	0.303	14	3	3
	2.15	0.299	16	3	3	0.297	16	3	2
เวลาเฉลี่ย 0.307 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.301 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
4x4	2.1	0.315	15	3	2	0.309	15	3	2
	2.2	0.275	15	2	1	0.270	15	3	1
	2.3	0.279	17	2	1	0.271	17	2	1
	2.4	0.287	14	1	4	0.269	14	1	4
	2.5	0.269	16	4	4	0.266	16	4	3
	2.6	0.269	14	4	3	0.267	13	4	4
	2.7	0.267	15	4	4	0.264	15	4	4
	2.8	0.269	16	2	1	0.265	16	3	4
	2.9	0.267	16	3	4	0.268	15	3	3
	2.10	0.268	17	3	2	0.264	17	3	2
	2.11	0.273	15	1	1	0.269	14	4	4
	2.12	0.267	15	4	2	0.267	16	3	4
	2.13	0.272	16	4	2	0.265	17	4	4
	2.14	0.274	16	2	4	0.265	16	4	4
	2.15	0.272	16	4	4	0.268	17	4	3
เวลาเฉลี่ย 0.275 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.270 วินาที				

ขนาด	ชุดภาพ	ภาพระบบสีขาวดำ				ภาพระบบสีเทา			
		เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก	เวลา (วินาที)	ภาพ	แถว	หลัก
5x5	2.1	0.291	16	4	2	0.294	16	4	2
	2.2	0.246	15	3	2	0.249	15	3	2
	2.3	0.248	17	2	1	0.244	17	2	1
	2.4	0.243	14	1	5	0.244	14	1	5
	2.5	0.246	16	5	1	0.244	16	5	4
	2.6	0.248	14	4	3	0.242	13	5	5
	2.7	0.246	15	5	5	0.241	15	5	5
	2.8	0.246	16	2	5	0.240	16	4	5
	2.9	0.246	16	1	5	0.248	15	3	4
	2.10	0.254	16	3	3	0.244	15	5	1
	2.11	0.247	15	1	1	0.239	14	5	5
	2.12	0.245	15	5	3	0.242	15	5	1
	2.13	0.252	17	5	3	0.240	17	5	5
	2.14	0.247	16	2	4	0.241	16	5	5
	2.15	0.246	16	5	5	0.244	16	5	4
เวลาเฉลี่ย 0.250 วินาที					เวลาเฉลี่ย 0.246 วินาที				

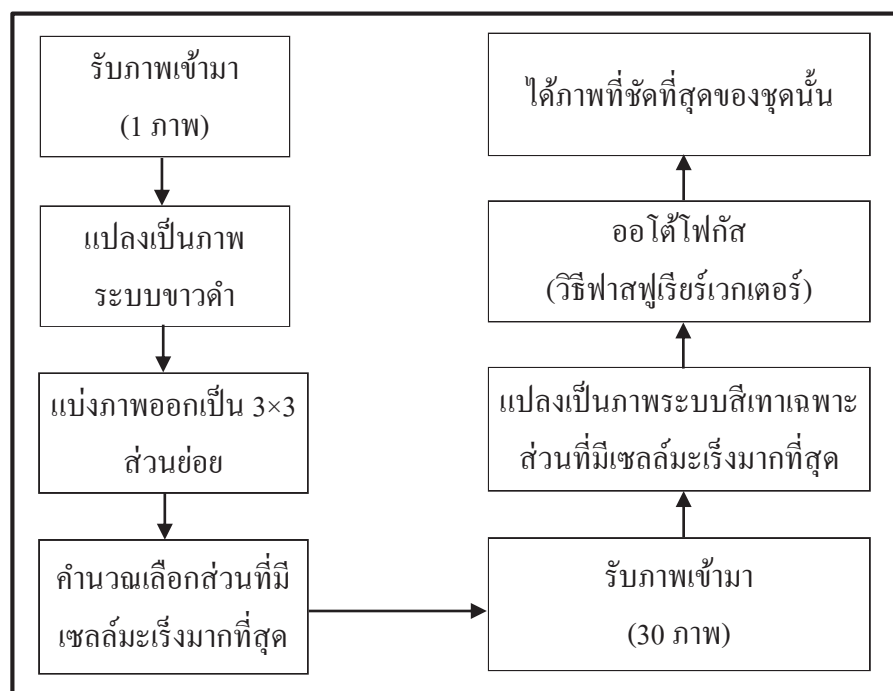
ขนาด	ชุดภาพ	เวลา	ภาพ
2880 × 3600 พิกเซล	2.1	0.65	16
	2.2	0.66	15
	2.3	0.65	17
	2.4	0.64	14
	2.5	0.64	16
	2.6	0.64	13
	2.7	0.65	16
	2.8	0.65	16
	2.9	0.64	15
	2.10	0.64	16
	2.11	0.63	14
	2.12	0.64	15
	2.13	0.64	16
	2.14	0.65	16
	2.15	0.65	16
เวลาเฉลี่ย 0.64 วินาที			



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการประมวลผลของภาพ 15 ชุดด้วยภาพระบบ สีขาวดำและสีเทา

4.6 ผลการทดลองเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์สำหรับภาพเซลล์มะเร็งเต้านม

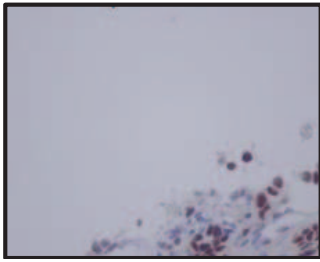
จากผลการทดลองที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นแล้วว่า วิธีการโฟกัสภาพเซลล์มะเร็งเต้านมที่ดีที่สุดคือ เริ่มต้นจากรับภาพเข้ามาและแปลงเป็นภาพระบบสีขาวดำ จากนั้นแบ่งภาพออกเป็นขนาด 3×3 หน้าต่างย่อยและพิจารณาจำนวนสีค่าของแต่ละส่วนเพื่อเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมเป็นจำนวนมากที่สุดมาออกโต้โฟกัส เมื่อได้ส่วนที่ต้องการนำไปประมวลผลต่อไปแล้ว ถัดไปจะนำภาพที่เหลือในชุดอีก 30 ภาพมาแปลงเป็นภาพระบบสีเทาเฉพาะส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด และนำส่วนนั้นของทั้ง 30 ภาพมาออกโต้โฟกัสของแต่ละภาพโดยวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ สุดท้ายจะได้ภาพที่ชัดที่สุดออกมาโดยใช้เวลาในการประมวลผลทั้งหมดต่อภาพ 1 ชุด (31 ภาพ) ที่ 0.3 วินาที หรือ 0.01 วินาทีต่อ 1 ภาพ สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภาพรวมได้ดังรูปที่ 4.23



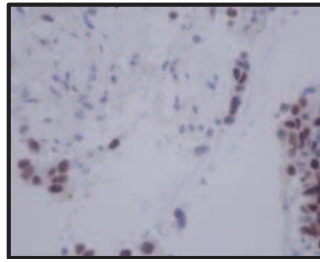
รูปที่ 4.23 แผนภาพรวมของวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

เพื่อเป็นการทดสอบแสดงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีสุดท้ายที่แนะนำให้เสนอในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบกับภาพ 30 ชุดดังรูปที่ 4.24 และได้ผลการทดลองออกมาดังตารางที่ 4.19

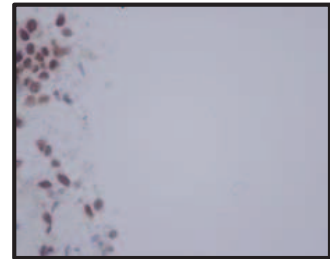
จากตารางผลการทดลองที่ 4.19 พบว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของภาพ 1 ชุด จำนวน 31 ภาพคือ 0.3 วินาที และสามารถเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่มากที่สุดมาออกได้โฟกัสได้ถูกต้อง สำหรับผลการเลือกภาพที่ชัดที่สุดมีความถูกต้อง 83.33%



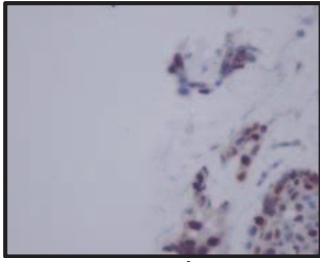
ชุดภาพที่ 3.1



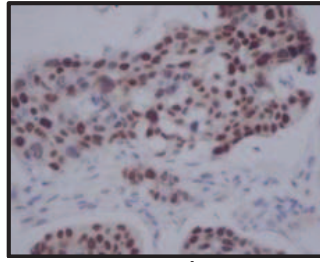
ชุดภาพที่ 3.2



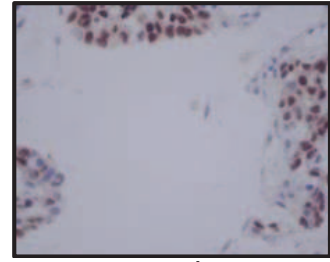
ชุดภาพที่ 3.3



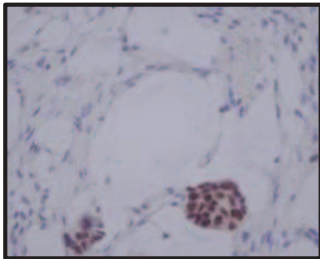
ชุดภาพที่ 3.4



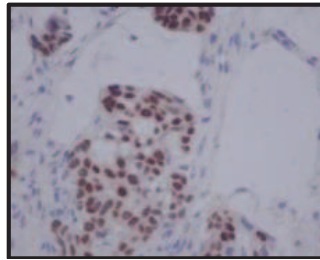
ชุดภาพที่ 3.5



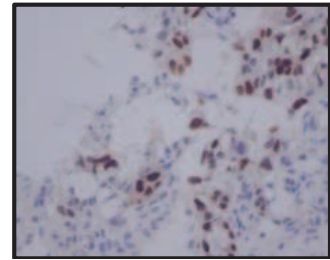
ชุดภาพที่ 3.6



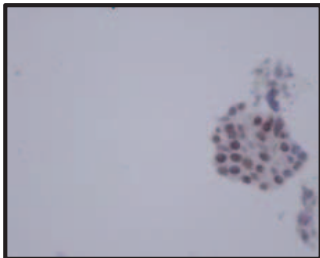
ชุดภาพที่ 3.7



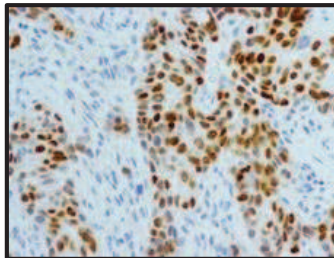
ชุดภาพที่ 3.8



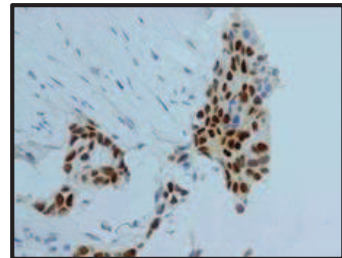
ชุดภาพที่ 3.9



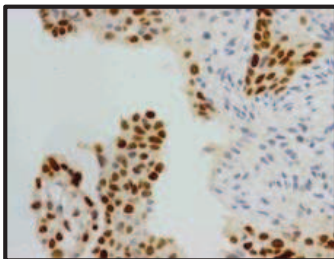
ชุดภาพที่ 3.10



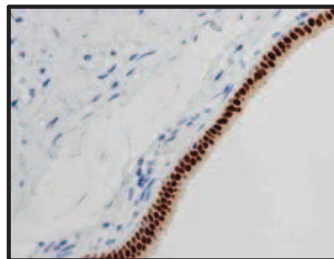
ชุดภาพที่ 3.11



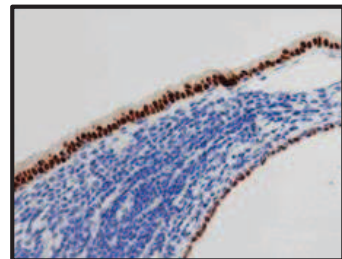
ชุดภาพที่ 3.12



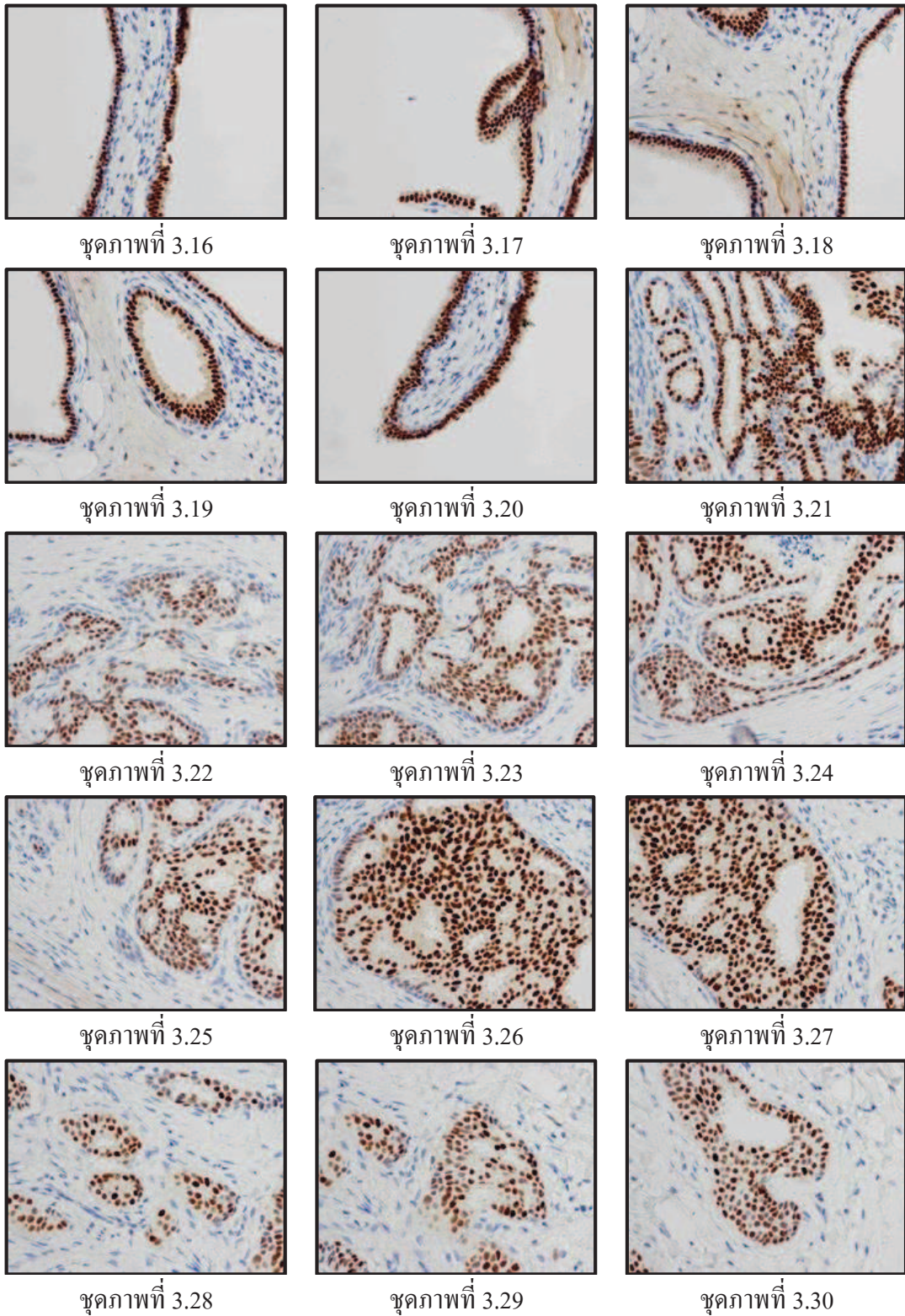
ชุดภาพที่ 3.13



ชุดภาพที่ 3.14



ชุดภาพที่ 3.15



รูปที่ 4.24 ภาพตัวอย่างที่ชัดที่สุดของชุด 3.1 – ชุด 3.30

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองภาพจำนวน 30 ชุดและแบ่งออกเป็น 3×3 ส่วนย่อย
ในระบบवाद้าเพื่อเลือกบริเวณที่นำมาออกโต้โฟกัส

ชุดภาพที่	เวลาในการประมวลผล (วินาที)	ภาพจากการคำนวณ ที่ชัดที่สุด	ส่วนของภาพที่ถูกเลือกมา ประมวลผล	
			แถวที่	หลักที่
3.1	0.29	15	3	3
3.2	0.29	18	2	3
3.3	0.30	18	1	1
3.4	0.30	16	3	3
3.5	0.30	16	1	3
3.6	0.29	16	2	3
3.7	0.29	16	3	3
3.8	0.29	16	2	2
3.9	0.29	15	1	3
3.10	0.30	15	2	3
3.11	0.28	16	1	3
3.12	0.28	17	2	2
3.13	0.29	15	3	1
3.14	0.29	15	3	2
3.15	0.29	15	2	2
3.16	0.29	15	1	2
3.17	0.29	18	2	3
3.18	0.29	17	3	2
3.19	0.29	15	2	3
3.20	0.29	14	2	2

ชุดภาพที่	เวลาในการประมวลผล (วินาที)	ภาพจากการคำนวณ ที่ชัดที่สุด	ส่วนของภาพที่ถูกเลือกมา ประมวลผล	
			แถวที่	หลักที่
3.21	0.29	18	3	3
3.22	0.29	16	3	2
3.23	0.29	16	2	3
3.24	0.29	16	2	2
3.25	0.29	16	2	3
3.26	0.29	15	1	2
3.27	0.29	15	1	1
3.28	0.29	16	2	2
3.29	0.29	15	2	2
3.30	0.29	15	2	2

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากวิธีอโต้โฟกัสที่ได้นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งประกอบด้วยวิธีอโต้โฟกัสที่มีการนำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้ทั้ง 6 วิธีได้แก่ วิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR, FFT และเพียร์สัน และวิธีอโต้โฟกัสที่ได้นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้คือวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ สำหรับวิธีเพียร์สันและวิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ต้องมีการกำหนดค่าเคลต้าซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งในการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองการกำหนดค่าเคลต้าที่เหมาะสมสำหรับวิธีทั้งสองได้ข้อสรุปว่า เคลต้าที่มีขนาด 100 เวกเตอร์เป็นขนาดที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถประมวลผลได้เร็วและให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง และเมื่อได้ขนาดเคลต้าที่เหมาะสมจึงนำไปสู่การทดลองถัดไปคือการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีอโต้โฟกัสแต่ละวิธี เมื่อนำวิธีทั้งหมดมาทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในเรื่องของความเร็วและความถูกต้องกับภาพที่ถูกย่อขนาดให้เล็กลงและภาพที่ตัดมาเฉพาะบริเวณตรงกลางภาพได้ข้อสรุปว่า วิธีฟาสฟูเรียร์เวกเตอร์ด้วยภาพที่ตัดมาเฉพาะบริเวณตรงกลางภาพขนาด 128×128 พิกเซลสามารถประมวลผลได้ดีกว่าวิธีทั้งหมด โดยพิจารณาในเรื่องของความเร็วและความถูกต้อง

เนื่องด้วยลักษณะของภาพเซลล์มะเร็งเต้านมอาจจะมีส่วนภาพที่บริเวณตรงกลางภาพเป็นส่วนที่ว่าง ดังนั้นการตัดภาพส่วนนั้นมาประมวลผลอโต้โฟกัสจึงไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องนัก บริเวณที่ควรจะนำมาอโต้โฟกัสควรจะเป็นบริเวณที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด จึงได้ทำการทดลองแบ่งภาพออกเป็นหลายๆส่วนและเลือกส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด ได้ข้อสรุปจากการทดลองว่า ควรจะแบ่งภาพออกเป็น 3×3 หน้าต่างย่อยและแปลงภาพเป็นระบบสีขาวดำเพื่อใช้ในการพิจารณาว่าส่วนใดที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดซึ่งให้ผลการทดลองต่อภาพ 1 ชุดจำนวน 31 ภาพประมาณ 0.3 วินาทีหรือ 0.01 วินาทีต่อ 1 ภาพนั่นเอง

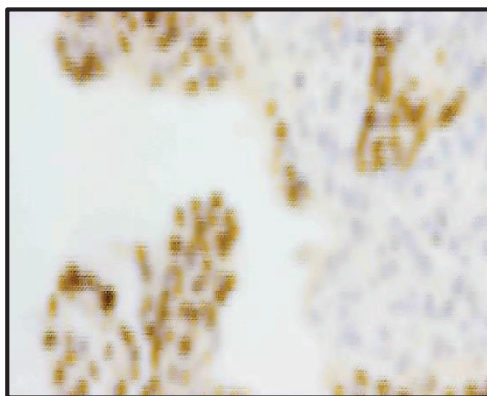
สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแบ่งภาพเป็น 3×3 หน้าต่างย่อยและพิจารณาส่วนที่มีเซลล์มะเร็งเต้านมจำนวนมากที่สุดจากภาพระบบสีขาวดำด้วยภาพจำนวน 30 ชุด ได้ให้ผลการทดลองออกมาเป็นที่น่าพอใจคือสามารถประมวลผลด้วยเวลา

เฉลี่ยที่ 0.3 วินาทีต่อภาพ 1 ชุด (จำนวน 31 ภาพ) หรือเวลา 0.01 วินาทีต่อ 1 ภาพ และความถูกต้องในการเลือกภาพที่ชัดที่สุด 83.33% ซึ่งภาพที่ได้อาจจะมีความถูกต้องที่คลาดเคลื่อนได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) ในการวิจัยทดลองวิธีการวัดความคมชัดของภาพเซลล์มะเร็งเต้านม ภาพที่นำมาทดลองจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ในเวลาที่แตกต่างกันจะส่งผลให้คุณภาพของภาพที่ได้ออกมาลดลง เนื่องด้วยเรื่องอายุการใช้งานของกล้องจุลทรรศน์เครื่องนั้นเช่นตัวอย่างของชุดภาพที่ 1.1 ถ่ายเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 มีคุณภาพที่ดีกว่าชุดภาพที่ 3.1 ซึ่งถ่ายเมื่อเมษายน 2558 อย่างไรก็ตามการวัดความคมชัดของภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังคงสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้

2) หากภาพที่นำมาทดลองมีความผิดปกติจะส่งผลให้ผลการทดลองอาจมีความผิดพลาดได้เช่น กล้องจุลทรรศน์มีการสั่นสะเทือนขณะถ่ายภาพดังรูปที่ 5.1 คือภาพที่ 27 ของชุดภาพที่ 3.3 จะพบว่าภาพมีสิ่งรบกวนทำให้ค่าโฟกัสที่ได้สูงกว่าภาพที่ 16



รูปที่ 5.1 ภาพที่มีสิ่งรบกวน

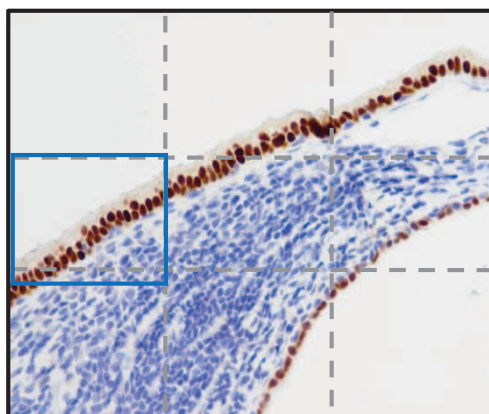
3) ภาพที่นำมาทดลองเป็นภาพที่ได้จากการกำหนดให้มีคุณภาพสูงถึงระดับ 2880×3600 พิกเซล ทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่ค่อนข้างมาก ซึ่งเมื่อนำไปประยุกต์ใช้สามารถที่จะลดขนาดของภาพต้นฉบับให้เล็กลงกว่านี้ได้เพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นแต่ยังคงผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

4) เนื่องจากความหนาบางของ tissue section ในแต่ละจุดไม่เท่ากันส่งผลให้จุดโฟกัสแตกต่างกันออกไปด้วย เมื่อทดลองเลือกเพียงบางตำแหน่งมาอโต้โฟกัสอาจจะให้ผลการ

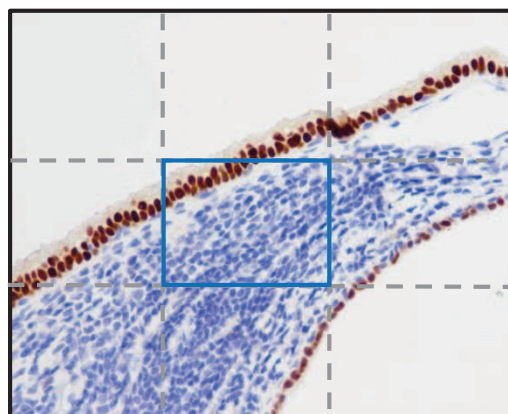
ทดลองที่ไม่เหมือนกับภาพที่ได้ถ่ายจากสายตาผู้ชำนาญการ เนื่องจากตำแหน่งของการโฟกัสที่ไม่ตรงกัน เช่นตัวอย่างรูปที่ 5.2 (ก) คือรูปของเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมที่ชัดที่สุดโดยการวัดจากผู้ชำนาญการที่โฟกัสเฉพาะตำแหน่งของภาพในส่วนแฉกที่ 2 หลักที่ 1 ตามกรอบสีน้ำเงินในรูปเท่านั้นจึงกำหนดให้เป็นภาพที่ 16 ที่ชัดที่สุด แต่เมื่อประมวลผลตามวิธีที่ได้กำหนดไว้ รูปที่ชัดที่สุดกลับกลายเป็นรูปที่ 14 เนื่องจากอัลกอริทึมนั้นได้เลือกส่วนของภาพในแฉกที่ 2 หลักที่ 2 ในการโฟกัสเพราะเป็นส่วนที่มีจำนวนเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมมากที่สุดดังรูปที่ 5.2 (ข)

5) ในการเริ่มทำงานประมวลผลแต่ละครั้ง ภาพชุดแรกจะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าชุดอื่นๆ เสมอ เนื่องมาจากการทำงานของโปรแกรม Matlab ที่ต้องมีการบันทึกค่าของตัวแปรต่างๆ ลงในหน่วยความจำ หรือเวลาในการประมวลผลของบางชุดใช้เวลามากผิดปกติเพราะอาจจะมีการขัดจังหวะเกิดขึ้น

6) งานวิจัยนี้เน้นการทดสอบสำหรับภาพเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมเท่านั้น แต่ถ้าหากมีการพัฒนาอัลกอริทึมของงานวิจัยนี้สามารถที่จะต่อยอดนำไปประยุกต์ใช้กับภาพชนิดอื่นได้



(ก) ภาพของเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมที่โฟกัสภาพเฉพาะส่วนของแฉกที่ 2 หลักที่ 1 เท่านั้น



(ข) ภาพของเซลล์มะเร็งเรียงเต้านมที่โฟกัสภาพเฉพาะส่วนของแฉกที่ 2 หลักที่ 2 เท่านั้น

รูปที่ 5.2 เซลล์มะเร็งเรียงเต้านมที่โฟกัสในตำแหน่งที่ต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนันต์ ลือขจร. 2535. กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการถ่ายภาพทางชีววิทยา. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- [2] S. Jin, J. Cho, K. H. Kwon and J. W. Jeon. 2009. "A dedicated hardware architecture for real-time auto-focusing using an FPGA," *Machine Vision and Applications*, vol. 21, no. 5, pp. 727–734.
- [3] C.-Y. Chen, R.-C. Hwang, and Y.-J. Chen. 2010. "A passive auto-focus camera control system," *Applied Soft Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 296–303.
- [4] T.-H. Tsai and C.-Y. Lin. 2008. "A new auto-focus method based on focal window searching and tracking approach for digital camera," in *3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, pp. 650–653.
- [5] X. Tang, P. L'Hostis, and Y. Xiao. 2000. "An Auto-Focusing Method in a Microscopic Testbed for Optical Discs," in *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, vol 105, pp. 565-569.
- [6] S. M. Smith and J. M. Brady. 1997. "SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing," *International Journal of Computer Vision*, vol. 23, pp. 45–78.
- [7] Y. Song, M. Li, and L. Sun. 2006. "A New Auto-focusing Algorithm for Optical Microscope Based Automated System," in *9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1–5.
- [8] G. Duceux, B. Tamadazte, N. L.-F. Piat, S. Dembélé, E. Marchand, and G. Fortier. 2010. "Autofocusing-based visual servoing: Application to MEMS micromanipulation," in *2010 International Symposium on Optomechatronic Technologies*, pp. 1–6.
- [9] J.-H. Lee, K.-S. Kim, B.-D. Nam, J.-C. Lee, Y.-M. Kwon, and H.-G. Kim. 1995. "Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 449–454.
- [10] M. Subbarao and J.-K. Tyan. 1998. "Selecting the optimal focus measure for autofocusing and depth-from-focus," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 864–870.

- [11] M. Yang and L. Luo. 2008. "A rapid auto-focus method in automatic microscope," in 9th International Conference on Signal Processing, pp. 502–505.
- [12] N. Jun. 2009. "Auto-Focus Algorithm for Moving Target Image," in Fifth International Conference on Image and Graphics, pp. 728–732.
- [13] S. Yazdanfar, K. B. Kenny, K. Tasimi, A. D. Corwin, E. L. Dixon, and R. J. Filkins. 2008. "Simple and robust image-based autofocusing for digital microscopy," *Opt Express*, vol. 16, no. 12, pp. 8670–8677.
- [14] N. K. C. Nathaniel, A. N. Poo, and J. Ang M.H. 2001. "Practical issues in pixel-based autofocusing for machine vision," in *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 2791–2796.
- [15] L.-C. Chiu and C.-S. Fuh. 2010. "An Efficient Auto Focus Method for Digital Still Camera Based on Focus Value Curve Prediction Model," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 26, no. 4, pp. 1261–1272.
- [16] W.-S. Liao and C.-S. Fuh. 2005. "Autofocus with Automatic Block Selection," in *18th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp. 1096-1103.
- [17] M. A. Bueno-Ibarra, J. A'lvarez-Borrego, L. Acho, and M. C. Cha'vez-Sa'nchez. 2005. "Fast autofocus algorithm for automated microscopes," *Optical Engineering*, vol. 44, no. 6, pp. 063601–063601.
- [18] อรรถธร จิตต์โสภักตร์. 2552. ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
- [19] ศันสนีย์ เอื้อพันธ์วิริยะกุล. 2555. การประมวลผลภาพดิจิทัล. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i

องค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i



รูปที่ ก.1 กล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i และส่วนประกอบ

ขั้นตอนการใช้งานเบื้องต้นของกล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น Eclipse 80i

- 1) ปรับตั้งลำกล้องให้ตรง โดยให้ฐานอยู่บนพื้นรองรับที่เรียบสม่ำเสมอ
- 2) หมุนเลนส์ใกล้วัตถุให้เป็นเลนส์ที่มีกำลังขยายต่ำสุดโดยให้อยู่ในตำแหน่งตรงแนวกับลำกล้อง
- 3) ปรับเร่ง-หรือ-แสงเพื่อให้แสงสะท้อนเข้าลำกล้องเต็มที่
- 4) นำแผ่นสไลด์ที่ต้องการจะถ่ายภาพบนแท่นวางวัตถุ ให้วัตถุอยู่กึ่งกลางบริเวณที่แสงผ่าน
- 5) มองผ่านเลนส์ใกล้ตาลงตามลำกล้องพร้อมกับค่อยๆ หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้แท่นวางวัตถุเลื่อนขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อหาระยะภาพ จนมองเห็นวัตถุที่จะศึกษาโดยระวังอย่าให้เลนส์ใกล้วัตถุสัมผัสกับกระจกปิดสไลด์
- 6) มองผ่านเลนส์ใกล้ตาหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดเพื่อปรับภาพให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น อาจเลื่อนสไลด์ไปมาช้าๆ เพื่อให้วัตถุที่ต้องการศึกษามาอยู่กลางแนวลำกล้อง
- 7) ถ้าต้องการขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น ให้หมุนเลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายสูงขึ้น เข้ามาในแนวลำกล้อง โดยไม่ต้องขยับสไลด์อีก แล้วปรับความคมชัดด้วยปุ่มปรับภาพละเอียดเท่านั้น
- 8) หลังจากใช้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ให้เลื่อนที่หนีบสไลด์ให้ตั้งฉากกับที่วางวัตถุ หมุนเลนส์ใกล้วัตถุให้เป็นอันที่มีกำลังขยายต่ำสุดอยู่ในตำแหน่งของลำกล้อง และเลื่อนลำกล้องให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด

ภาคผนวก ข
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

“การอโต้โฟกัสภาพเซลล์มะเร็งในกล้องจุลทรรศน์”

นำเสนอใน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

12-14 ธันวาคม 2555

การโฟกัสภาพเซลล์มะเร็งในกล้องจุลทรรศน์ Auto Focusing Algorithm for Cancer Cell Image Acquisition Process from Microscope

กสิณา อนุกุลกาญจน์ และ ธนศ เคารพพงศ์
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15 ต.กาญจนวิชัย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 E-Mail: kthanate@coe.psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอวิธีการโฟกัสอัตโนมัติ (Auto Focus) เพื่อถ่ายภาพเซลล์มะเร็งด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้หลักการหาผลรวมเชิงความถี่ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์ในแต่ละตำแหน่งโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ พบว่าภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดคือภาพที่มีค่าผลรวมเชิงความถี่สูงสุด โดยได้ทำการทดสอบกับภาพเซลล์มะเร็งต้นฉบับที่มีความละเอียดสูง ภาพที่ผ่านการปรับขนาด (Resize) และการตัดภาพออกเป็นส่วนย่อย (Crop) ด้วยขนาดต่างกัน มาทดสอบด้วยวิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR Fourier Transform, Pearson Correlation และ FFT Vector เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงาน และจากผลการทดลองพบว่า วิธีที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจเนื่องจากใช้เวลาน้อยและยังคงให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง 100% ดังนั้นจุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ เป็นวิธีที่ประมวลผลได้เร็วและมีความถูกต้องกว่าวิธีอื่นๆ ที่มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้

คำสำคัญ: โฟกัสอัตโนมัติ, การแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

Abstract

This research proposes a new autofocus algorithm for capture cancer cells image. The algorithm is based on Fourier Transform and frequency content of image to find the best focus image. The original images, the resize images and crop images are experimented in BOD, LAP, POG, LAP VAR Fourier Transform, Pearson Correlation and FFT Vector algorithm to measure the result. The matter of this research is quickly and accurately the best focus image. The experimental result show the algorithm has a fast response for finding the best focus image among the capture images, compared with related autofocus algorithm present in the past.

Keywords: Auto Focus, Fourier Transform

1. บทนำ

จากงานวิจัยการตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งด้านมแบบอัตโนมัติซึ่งนำเสนอโดย ชดิศ พรหมชีพพงศ์และคณะ[1] จำเป็นจะต้องทำการถ่ายภาพ

เนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งเพื่อมาทำการวิเคราะห์ต่อไป แต่ขบวนการถ่ายภาพเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งจากกล้องจุลทรรศน์ต้องอาศัยผู้ชำนาญการเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดจากการปรับส่วนต่างๆ บนกล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งมีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถถ่ายเนื้อเยื่อหมดได้ภายในครั้งเดียว จึงต้องแบ่งถ่ายเป็นหลายส่วนแล้วนำมาประกอบกันในภายหลัง ซึ่งเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งมีความหนาไม่เท่ากัน ดังนั้นระยะโฟกัสของภาพที่จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย จึงทำให้การถ่ายภาพในแต่ละส่วนอาจจะต้องทำการปรับระยะโฟกัส งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวความคิดการถ่ายภาพเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอัตโนมัติขึ้น

ส่วนย่อยของการโฟกัสอัตโนมัติคือการคำนวณหาความคมชัดของภาพ เนื่องจาก ค่าหนึ่งของเลนส์ต่างกันก็จะส่งผลให้ความคมชัดของภาพเปลี่ยนไป โฟกัสจึงหมายถึงการเคลื่อนที่ของเลนส์แบบอัตโนมัติไปยังตำแหน่งที่ได้ภาพออกมาชัดที่สุด Mario A.Bueno-Ibarra และคณะได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบวิธีการทำโฟกัสของภาพในวิธีต่างๆกัน 7 วิธี และได้ข้อสรุปว่าวิธีการโฟกัสแบบ P.CORR (Fourier Transform and Pearson Correlation Algorithm) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำโฟกัสบนกล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณไม่มาก จึงสามารถใช้งานแบบเวลาจริงได้[2] และ Ng KuangChern. และคณะได้นำเสนอวิธีการทำโฟกัสโดยประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์มาช่วยพิจารณาความคมชัดของภาพ[3] จากวิธีต่างๆที่ได้ถูกพัฒนาและนำเสนอมาเป็นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ ประเภทแรกเป็นการคำนวณที่ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของค่าเกรเดียนต์ และประเภทที่สองจะเป็นการคำนวณที่ขึ้นอยู่กับพื้นฐานขององค์ประกอบทางความถี่ของภาพ โดยทุกวิธีมีเทคนิคที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้ได้ภาพที่คมชัดที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพที่มีขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะเพิ่มตามขึ้นไปด้วย

2. อัลกอริทึมสำหรับการทำโฟกัสอัตโนมัติ

สำหรับในหัวข้อที่ 2 เป็นการอธิบายวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของทุกวิธีที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยกำหนดให้ฟังก์ชัน $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ เป็นของภาพทั้งหมดจำนวน K ภาพ ซึ่งมีขนาด $N \times M$ พิกเซล โดยทั้ง K ภาพเป็นภาพของวัตถุชิ้นเดียวกัน แต่ถูกถ่าย ณ ตำแหน่งต่างๆกัน

2.1 วิธีของ Boddeke (BOD)

อัลกอริทึมสำหรับการทำอโต้โทกัสในหัวข้อ 2.1 ถึง 2.4 เป็นวิธีที่ถูกประยุกต์จากวิธีการหาขอบภาพ และสำหรับวิธีในหัวข้อ 2.1 ได้ถูกนำเสนอโดย Boddeke ซึ่งวิธีการวัดความคมชัดจะอยู่บนพื้นฐานเทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง โดยเทมเพลตตัวกรอง (mask) ที่ใช้เป็นแบบ 1 มิติที่มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในแนวแกน x เท่านั้น คือ [-1 0 1][4] ซึ่งทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MAX}(N(BFM_k))\} \quad (1)$$

โดย BFM_k เวกเตอร์เคียนที่ผ่านกรณอร์มัลไลซ์แล้วจากสมการ

$$BFM_k = \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=1}^M (f(n+1,m) - f(n-1,m))^2 \quad (2)$$

จากสมการที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด จะพบว่า วิธีนี้มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน เนื่องจากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเฉพาะในแนวแกน x เท่านั้น ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยลง

2.2 วิธีอนุพันธ์อันดับสอง(LAP)

วิธีนี้ถูกพัฒนาจากวิธีการหาขอบภาพโดยใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์อันดับสอง จากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าไฟกัสด้านล่างจะพบว่า สมการมีความซับซ้อนมากกว่าวิธีเคดดังนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MAX}(N(LFM_k))\} \quad (3)$$

$$LFM_k = \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=2}^M \left[\frac{1}{6} \left(4f(n,m) - [f(n-1,m) + f(n,m-1)] + f(n+1,m) + f(n,m+1) \right) \right] \quad (4)$$

2.3 Power of Gradient (POG)

การคำนวณวิธีนี้คล้ายกับวิธี 2.1 แต่ในวิธีนี้จะคำนวณค่าเกรเดียนท์จากทั้งในแนวแกน x และแกน y[5] จึงซับซ้อนกว่าวิธี 2.1 สมการที่ใช้เป็นดังต่อไปนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MAX}(N(PFM_k))\} \quad (5)$$

$$PFM_k = \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=1}^M [(f(n,m) - f(n+1,m))^2 + (f(n,m) - f(n,m+1))^2] \quad (6)$$

2.4 Laplacian Gradient Magnitude Variance (LAP VAR)

วิธีนี้เป็นวิธีการกระจายของค่าความเข้มแสงในทุกทิศทาง จึงใช้ 2 ทฤษฎีเข้ามาช่วยคือ ส่วนแรกคำนวณจากวิธีอนุพันธ์อันดับสองในหัวข้อ 2.2 ถัดมานำค่าข้อมูลที่ได้มาทำการวัดความแปรปรวนด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MAX}(N(LPVFM_k))\} \quad (7)$$

$$LPVFM_k = \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=2}^M [\nabla L(n,m)_k - \overline{\nabla L(n,m)_k}]^2 \quad (8)$$

$$\overline{\nabla L(n,m)_k} = \frac{1}{(N-2)(M-2)} \sum_{n=2}^{N-1} \sum_{m=2}^M \nabla L(n,m)_k \quad (9)$$

2.5 วิธีการวัดความคมชัดของภาพบนพื้นฐานของการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Transform)

สำหรับวิธีในหัวข้อ 2.5 และ 2.6 เป็นวิธีการวัดความคมชัดของภาพโดยอาศัยพื้นฐานในเรื่ององค์ประกอบความถี่ของภาพเข้ามาช่วยพิจารณา โดยทำการแปลงข้อมูลภาพจากโดเมนตำแหน่งให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Transform) ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นค่าเชิงซ้อนและการวัดความคมชัดของภาพจึงคำนวณจากส่วนจริงและจินตภาพดังสมการต่อไปนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MAX}(N(FFM_k))\} \quad (10)$$

$$FFM_k = \frac{1}{n} \sum [(real^2 + img^2) \times \tan^{-1}(img/real)] \quad (11)$$

2.6 วิธีใช้การแปลงฟูเรียร์แบบ 1 มิติและความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation)

วิธีนี้เป็นการนำวิธีการแปลงฟูเรียร์มารวมกับการหาความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน โดยแปลงภาพให้อยู่ในโดเมนความถี่และจากนั้นใช้ความสัมพันธ์แบบเพียร์สันทำการวัดไฟกัสของภาพซึ่งความสัมพันธ์ของเพียร์สัน เริ่มขึ้นทำการแปลงภาพให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยการคำนวณจะคำนวณเพียงบางส่วนของภาพจำนวน Q เวกเตอร์ $V_q, q=1,2,\dots,Q$ โดยระยะห่างของแต่ละเวกเตอร์มีขนาดเลดต้า(Δ) ดังนั้นจำนวนของเวกเตอร์ Q จะเท่ากับ $(N/\Delta)+1$ และเวกเตอร์ V_q สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_q = f((q-1)\Delta + 1, y_0, \dots, y_M)_k \quad (12)$$

นำเวกเตอร์ทั้งหมดมาคำนวณหาฟูเรียร์สปรกตรัมจะได้ $|H_1(f)|^2 \cdot |H_2(f)|^2 \dots |H_q(f)|^2$ ตามลำดับ ค่าที่ได้จะเป็นตัวแทนของแต่ละภาพเพื่อนำมาวัดด้วยสมการความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ความสัมพันธ์แบบเพียร์สันถูกนำมาช่วยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภาพ เนื่องจากภาพที่ถูกเลือกให้เป็นภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่เบลอที่สุด ทำให้ได้ว่าภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดจะมีความสัมพันธ์กับภาพที่อ้างอิงน้อยที่สุด ดังสมการต่อไปนี้

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } \text{MIN}(N(r_k))\} \quad (13)$$

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\left[\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right) \right]^{1/2}} \quad (14)$$

3. วิธีการวัดความคมชัดของภาพที่นำเสนอบนพื้นฐานขององค์ประกอบทางความถี่ (FFT Vector)

บทความนี้ต้องการนำเสนอวิธีที่เร็วและมีความถูกต้องในการหาภาพเซลล์มะเร็งที่มีความคมชัดที่สุด โดยภาพที่ได้จากกล้องนั้นจะอยู่ในโดเมนของเวลา เราจึงต้องการแปลงภาพเหล่านั้นให้อยู่ในโดเมนของความถี่โดยใช้การแปลงสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ และเพื่อลดเวลาในการประมวลผลเราจะนำมาพิจารณาแค่บางส่วนของภาพเหมือนวิธี 2.6 จะพบว่าเราได้คำนวณทั้งภาพ ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์(Δ)ที่เราต้องการ หากเซลล์(Δ)มีค่าน้อย เราจะมีปริมาณเวกเตอร์ย่อยและผลลัพธ์ค่อนข้างจะแม่นยำ แต่ถ้าหากเราให้เซลล์(Δ)มีค่ามาก เราจะมีเวกเตอร์ใการคำนวณที่น้อยลง ความถูกต้องก็จะน้อยลงแต่จะใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยลง

ภาพที่มีความคมชัดจะมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจุดสว่าง (Intensity Value) ของขอบภาพ เช่นการเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำ หรือสีดำเป็นสีขาวอย่างฉับพลัน ซึ่งนั่นหมายความว่ามีความถี่ (Spatial Frequency) ของค่าข้อมูลจุดสว่างของภาพบริเวณนั้นสูง และในทางกลับกันภาพที่มีลักษณะเบลอจะมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจุดสว่างของขอบภาพอย่างช้าๆ ซึ่งหมายถึงว่าภาพในบริเวณนั้นๆ มีความถี่ต่ำ[6] และจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าภาพที่มีความคมชัดมากจะมีผลรวมของค่าความถี่ที่มากด้วยเช่นกัน ดังสมการ

$$CPFM_k = \sum |H(f)|^2 \tag{15}$$

จากคุณสมบัติเบื้องต้นขององค์ประกอบทางความถี่ของภาพทำให้ได้ว่าเมื่อนำฟูรีเยร์สเปกตรัมที่คำนวณได้มาหาผลรวม ภาพที่มีความคมชัดจะต้องเป็นภาพที่มีค่าผลรวมมากที่สุดด้วย

$$f_{BF} = \{f_k \text{ where } MAX(N(CPFM_k))\} \tag{16}$$

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

สำหรับวิธีการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ ใช้การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีข้อได้ไฟท์สที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับวิธีข้อได้ไฟท์สอื่นๆอีก 6 วิธี โดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพของเซลล์มะเร็งที่ถ่าย ณ ตำแหน่งต่างๆกันเป็นจำนวน 61 ภาพ มีขนาด 2880X 3600 พิกเซล และทำการลดขนาดของภาพ 2 วิธีคือ Resize ด้วยขนาด 0.5, 0.25 และ 0.125 และCrop ภาพด้วยขนาด 1024X1024, 512X512, 256X256 และ 128X128 พิกเซล

ในขั้นตอนการทดสอบนั้น เราได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบความเร็วและผลลัพธ์ของวิธีที่นำเสนอกับวิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR, Fourier Transform และ Pearson Correlation ด้วยภาพที่ถูกลดขนาดจากการ Resize และการ Crop ด้วยขนาดต่างๆกัน ผลการทดลองได้บ่งชี้ว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้มันให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในแง่ของความเร็ว เนื่องจากสามารถเลือกภาพที่มี

ความคมชัดมากที่สุดได้อย่างถูกต้อง และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งทั้ง 2 ตารางผลการทดลองของวิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR และ Pearson Correlation ได้ให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดตั้งแต่แสดงด้วยตัวอักษร “F” แต่วิธี FFT Vector ได้ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง 100% และแสดงเวลาที่น้อยกว่าอย่างชัดเจนทั้งวิธี Resize และ Crop และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่าการลดขนาดของภาพด้วยวิธีการ Crop ภาพจะใช้เวลาที่น้อยกว่า อันเนื่องมาจากมาจากความถี่ของภาพของภาพ Resize และการ Crop ภาพนั่นเอง

เมื่อพิจารณาอัลกอริทึมของวิธีทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าวิธี BOD, LAP, POG, LAP VAR จะเป็นวิธีที่คล้ายกันเนื่องจากเป็นวิธีที่ถูกประยุกต์มาจากการหาขอบภาพ โดยสมการคำนวณในวิธี BOD มีสมการที่ไม่ซับซ้อนและพิจารณาเฉพาะในแนวแกน x เท่านั้น จึงใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด และเมื่อนำวิธี BOD มาเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆกับวิธี Fourier Transform, Pearson Correlation และ FFT Vector จะพบว่าวิธี Fourier Transform, Pearson Correlation และ FFT Vector ใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่า เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแปลงสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าเกรเดียนท์

สำหรับวิธี Fourier Transform, Pearson Correlation และ FFT Vector วิธีที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดคือ วิธีที่นำเสนอ (FFT Vector) เนื่องจาก วิธีที่นำเสนอไม่ได้คำนวณทุกพิกเซลตามจำนวนเหมือนวิธี Fourier Transform แต่จะเลือกออกมาเฉพาะบางแถวเพื่อเป็นตัวแทนของภาพทั้งหมด ซึ่งวิธี Pearson Correlation และ FFT Vector จะใช้วิธีเดียวกัน ดังนั้นส่วนที่สองของการทดลองคือการทดสอบหาค่าเซลล์(Δ)ที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะวิธี Pearson Correlation และ FFT Vector ดังตารางที่ 3 ซึ่งจากผลการทดลองของวิธีที่นำเสนอให้ผลในการหาภาพที่ชัดที่สุดได้อย่างถูกต้องและใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม ดังแสดงผลในตารางที่ 3 พบว่าเมื่อค่าเซลล์(Δ)มีค่าเพิ่มขึ้น (จำนวนแถว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาในวิธีการข้อได้ไฟท์สทั้ง 7 วิธี ในภาพที่มีการ Resize ด้วยขนาดต่างๆกัน

Resize	1	0.5	0.25	0.125
	2880x3600	1440x1800	720x900	360x450
BOD	7872	F	F	F
LAP	F	3975	F	F
POG	F	5534	925	F
LAP VAR	F	F	F	F
FFT	180	200	113	88
Pearson	23.62	161	106	88.49
FFT Vector	23.17	160	105	88.17

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาในวิธีการออโต้โฟกัสทั้ง 7 วิธี ในภาพที่มีการ Crop ด้วยขนาดต่างกัน

Crop	1024x1024	512x512	256x256	128x128
BOD	F	F	F	34
LAP	F	F	117	45
POG	F	F	F	F
LAP VAR	3353	854	227	72
FFT	F	F	F	F
Pearson	23.61	23	22.43	22
FFT Vector	23.47	22	22.03	21

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาที่ได้จากวิธี FFT Vector และ วิธี Pearson

ขนาดของเซลล์(Δ)	FFT Vector	Pearson
1	254.55	256.22
100	23.42	23.98
200	23.16	23.24
500	22.74	22.77
800	22.79	22.83
1000	22.66	22.85
1500	22.70	22.92
2000	22.51	22.60

ที่จะนำมาคำนวณ (ของลง) เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะน้อยลง แต่ยังคงผลลัพธ์ที่ถูกต้อง สำหรับในวิธีที่ FFT Vector นั้น นำคุณสมบัติเรื่ององค์ประกอบทางความถี่ของภาพเข้ามาช่วยพิจารณาจึงไม่จำเป็นต้องนำไปวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์แบบเบียร์สันอีก

5. สรุป

จากผลการทดลองหาภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดหรือวิธีการทำออโต้โฟกัสด้วยการนำเอาคุณสมบัติทางด้านความถี่ของภาพมาเป็นตัวชี้วัดนั้นถือว่าประสบผลสำเร็จอย่างยิ่ง โดยการใช้ทฤษฎีการแปลงฟูเรียร์มาช่วยในการคำนวณองค์ประกอบทางความถี่ ซึ่งค่าองค์ประกอบทางความถี่ที่ได้จากการคำนวณนั้นมีความแตกต่างที่มีความสัมพันธ์กัน โดยภาพที่มีความคมชัดมากจะมีผลรวมของความถี่สูงกว่าภาพที่มีความคมชัดน้อยกว่า และเพื่อลดเวลาในการประมวลผลลงไปเราจะคำนวณเพียงแค่บางส่วนของภาพเท่านั้น แต่ยังคงให้ผลลัพธ์ที่

ถูกต้อง 100% และในส่วนของเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆอีก 6 วิธีนั้นวิธีที่ได้นำเสนอให้ผลที่ดีกว่าเนื่องจากใช้วิธีที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องคำนวณทั้งภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย และได้รับการสนับสนุนภาพข้อมูลทางการแพทย์และเซลล์มะเร็งด้านมาจาก ผศ. ปรีดีจิต บุญยพיתินน์ ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชลิต ทรัพย์พิงค์, พรชัย พุกนันทน์, และสมชัย หลิมศิริโรจน์, "การตัดแยกภาพเซลล์มะเร็งด้านแบบอัตโนมัติโดยใช้ GLOBAL THRESHOLDING AND MORPHOLOGICAL OPERATIONS," การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, สงขลา, 21-22 พฤษภาคม 2552, หน้า 204-209.
- [2] M. A. Bueno-Ibarra, J. Álvarez-Borrego, L. Achot และ M. C. Chávez-Sánchez, "Fast autofocus algorithm for automated microscopes", *Optical Engineering*, vol. 6, pp. 063601, 2005.
- [3] N. K. C. Nathaniel, A. N. Poo และ M. H. Ang, "Practical issues in pixel-based autofocus for machine vision", *PROC IEEE INT CONF ROB AUTOM*, pp. 2791-2796, 2001.
- [4] F. R. Boddeke, L. J. van Vliet, H. Netten, and I. T. Young, "Autofocusing in microscopy based on the OTF and sampling," *Bioimaging*, vol. 2, no. 4, pp. 193-203, 1994.
- [5] N. Jun, "Auto-Focus Algorithm for Moving Target Image," in *Fifth International Conference on Image and Graphics, 2009. ICIG '09, 2009*, pp. 728-732.
- [6] ผศ.ดร.อรดีตร จิตดีโสภักดิ์, *Digital Image Processing*, (2552) พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท สววงกิจ พรินท์ แอนด์ มีเดีย.



นางสาวกัญญา อนุคุณกาญจน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์