

ค้นหาและคืนค่าตำแหน่งที่เสียหายบนรูปภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม โดยใช้เครื่องจักรเรียนรู้เอ็กซ์ตรีม

Damage Locating and Imputing of Atomic Force Microscope Image by Extreme Learning Machine

ขวัญฟ้า มหาสิทธิ์ (Kwuanfa Mahasith)* และ คำนธ์ สุนติ (Khamron Sunat)*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจหาตำแหน่งที่ผิดพลาดและกู้คืนข้อมูลบนภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมเกิดจากการสแกนตำแหน่งของชิ้นงานตามแนวสแกนและบันทึกผลตามแนวเส้นสแกนนั้น ความเสียหายที่เกิดจากการสแกนจะเกิดตามแนวเส้นสแกนด้วย แต่ก็มีบางตำแหน่งที่เกิดความเสียหายในรูปแบบที่แตกต่างไป ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจหาตำแหน่งที่ผิดพลาดของรูปภาพตามแนวเส้นสแกนที่ไม่จำเป็นการเกิดค่าผิดพลาดตลอดทั้งแนวเส้นสแกน โดยใช้วิธีการ Dual Threshold Median Filtering เพื่อสร้างข้อมูลเรียนรู้และนำเข้าตัวแบบการเรียนรู้เครื่องจักรเรียนรู้เอ็กซ์ตรีมเพื่อใช้ตรวจหาตำแหน่งที่เสียหายบนรูปภาพ และใช้วิธีการ Fast Digital Image Inpainting สำหรับการกู้คืนรูปภาพ

ผลของงานวิจัยมีความสามารถในการค้นพบตำแหน่งเสียหายได้มากกว่าร้อยละ 63 และการกู้คืนตำแหน่งที่เสียหายไม่กระทบกับบริเวณอื่นของรูปภาพ

คำสำคัญ: กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม การค้นหาตำแหน่งผิดพลาดของรูปภาพ เครื่องจักรเรียนรู้เอ็กซ์ตรีม

Abstract

This paper presents a method for locating and imputing the damage on Atomic Force Microscopy (AFM) image. In imaging, the surface topography of the sample is

* ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* Department of Computer Science, Faculty of Science, Khon Kaen University.

constructed by mapping the motion of the probe tip which directly corresponds to the sample surface and its position along the scan lines. However, the combination of the dragging motion of the tip across the surface and the adhesive force between tip and sample surface potentially cause the damage to the sample and also other unspecified causes. Hence, Dual Threshold Median Filtering was employed in preparing the data, and it consequently was imported to the Extreme Learning Machine to determine the positions of the damage in the AFM image. And the image was recovered using Fast Digital Image Inpainting.

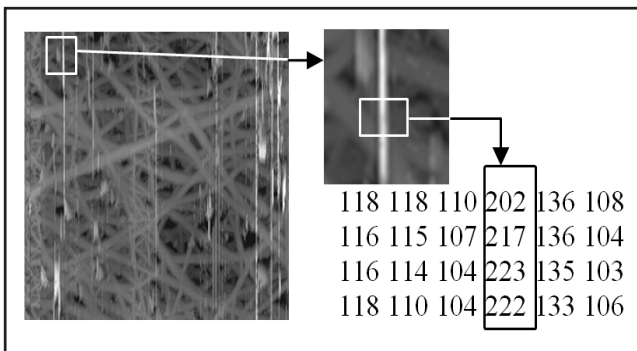
The proposed algorithms had detected more than 63 percent of the damage locations, and the recovery of the damage did not effect on other areas of the image.

Keywords: Atomic Force Microscope, Locating Damage on Image, Extreme Learning Machine.

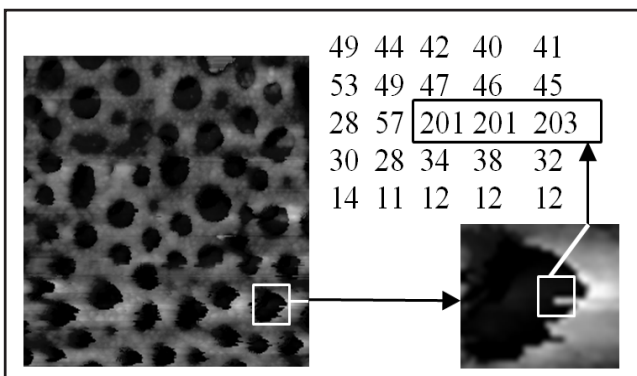
1. บทนำ

เครื่องถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) [1], [2] เป็นเครื่องมือที่อาศัยความสัมพันธ์ของแรงอะตอมระหว่างพื้นผิวของวัสดุกับหัววัดสัญญาณ ซึ่งอาศัยแรงผลักคือแรงวัลเดอร์วาลส์ระหว่างวัสดุกับหัววัดของเครื่องมือ พื้นผิวของวัสดุมีผลต่อสัญญาณการวัดของเครื่องมือเป็นอย่างมาก ถ้าพื้นที่ผิวใดของวัสดุมีค่าแตกต่างกันมากก็จะส่งผลต่อการประมวลผลสัญญาณของการวัดด้วยการเกิดค่าผิดพลาด

ของรูปภาพ [3] ที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยเครื่อง AFM มีปัจจัยมาจากหลายประการ เช่น ความเร็วในการสแกน ซึ่งจะสัมพันธ์กับความถี่ของการสแกน ขนาดหรือระดับของการถ่ายภาพ ความละเอียดของรูปภาพยังปรับให้ละเอียดมากขึ้นยิ่งใช้เวลาและขนาดของข้อมูลของรูปภาพมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังมีผลจากอายุการใช้งานของหัววัด และความแม่นยำของการเก็บค่าข้อมูลจากตำแหน่งอ้างอิง (PSPD) [1] ด้วยเช่นกัน สุดท้ายผลลัพธ์ของข้อมูลที่เกิดจากการถ่ายภาพจะถูกนำมาสร้างเป็นรูปภาพ [2] ที่มีข้อมูลขนาด 3 มิติซึ่งรวมตำแหน่งและความสูงของบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานบริเวณที่ถ่ายภาพ เมื่อสัญญาณที่รับเข้ามาเพื่อสร้างเป็นรูปภาพเกิดผิดพลาด ข้อมูลที่นำมาสร้างเป็นภาพก็จะผิดพลาดตามไปด้วย อาจจะมีค่ามากที่สุด น้อยที่สุดมากกว่า หรือน้อยกว่า ระดับข้อมูลจริงของรูปภาพได้เนื่องจากวิธีการสแกนตำแหน่งของเครื่อง AFM นั้นเป็นการสแกนทีละตำแหน่งตามแนวสแกนของรูปภาพ การเกิดค่าผิดพลาดบนรูปภาพจึงไม่จำเพาะรูปแบบข้อมูลที่เสียหาย แต่ข้อมูลมีโอกาสสูญหายหรือแสดงผลข้อมูลผิดพลาดผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งอื่น ๆ ของภาพด้วย สามารถแสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ด้วย AFM : TiO₂



ภาพที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ด้วย AFM : Cromer 40%

จากภาพที่ 1 เป็นการถ่ายภาพ ด้วย AFM โดยการสแกนตามแนวแกนตั้ง (y-scan) ขนาด 256x256 pixel ความผิดพลาดเกิดจากสัญญาณที่รับมาจากการสแกนมีความผิดพลาดทำให้ข้อมูลแนวแกนตั้งเกิดค่าผิดพลาดขึ้นมาตลอดทั้งแนวการสแกน แตกต่างจากสัญญาณของตำแหน่งรอบข้าง เช่นกันกับภาพที่ 2 เป็นการถ่ายภาพในแนวนอน (x-scan) ซึ่งเกิดความผิดพลาดในเส้นตามแนวสแกน ทำให้รูปร่างที่ควรจะเป็นของพื้นผิววัสดุที่ถ่ายได้สูญหายหรือผิดเพี้ยนไป [3]

ภาพที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง AFM เป็นการเก็บข้อมูลโดยรวมขนาด 3 มิติของข้อมูลบนพื้นผิวชิ้นงานเอาไว้ สัญญาณที่รับเข้ามามีทั้งข้อมูลที่เสียหายและข้อมูลที่ใช้งานได้ รวมอยู่ด้วยกันทำให้ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นที่จุดใดบ้าง ในกรณีที่แก้ปัญหาคือครอบคลุมตลอดทั้งรูปภาพ ข้อมูลดั้งเดิมของรูปภาพก็จะถูกเปลี่ยนค่าไปทั้งหมด เพื่อให้รูปภาพที่ถูกแก้ไขยังคงคุณสมบัติและข้อมูลรูปภาพที่ถ่ายได้จากเครื่องถ่ายภาพจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม เอาไว้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการค้นหาตำแหน่งที่เกิดการเสียหายหรือสูญหายไปของข้อมูลบนรูปภาพที่ถ่ายได้จากเครื่อง AFM และกู้คืนรูปภาพในตำแหน่งที่เสียหายนั้นโดยไม่มีผลกับตำแหน่งอื่นที่ไม่เกิดความเสียหายบนภาพ

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

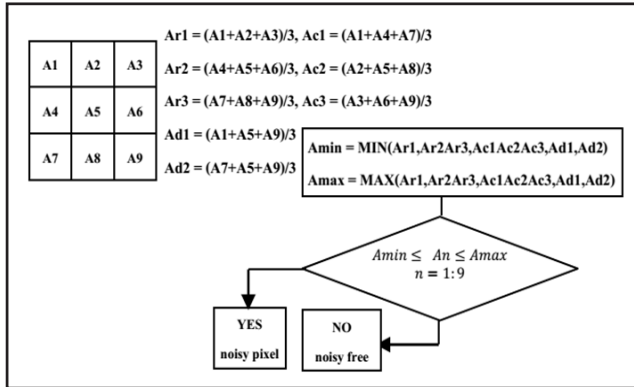
2.1 การประเมินผลโดยสายตาของผู้สังเกต คือ วิธีการประเมินชิ้นงาน หรือประเมินผลงานทางงานวิจัย มักใช้ประกอบผลของงานวิจัย ซึ่งอาศัยทักษะการสังเกตของบุคคล ผู้สังเกต หรือผู้วิจัย โดยอาศัยความเชี่ยวชาญ ประสบการณ์ และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจ

2.2 Dual Threshold Median Filtering [4] เป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าระดับสีตำแหน่งตรงกลางของขนาดรูปภาพ โดยในงานวิจัยใช้ข้อมูลขนาด 3x3 ถ้ามีค่าระดับข้อมูลอยู่ระหว่างค่าเฉลี่ยมากที่สุด และน้อยสุดของค่าข้อมูลรอบข้างถือว่าเป็นตำแหน่งข้อมูลปกติ แต่ถ้าวัดค่าข้อมูลตรงกลางมากกว่า หรือน้อยกว่าช่วงค่าเฉลี่ยของค่าระดับข้อมูลรอบจุดพิจารณา ถือว่าเป็นค่าผิดพลาดที่ค้นพบได้ อธิบายวิธีการได้ดังภาพที่ 3

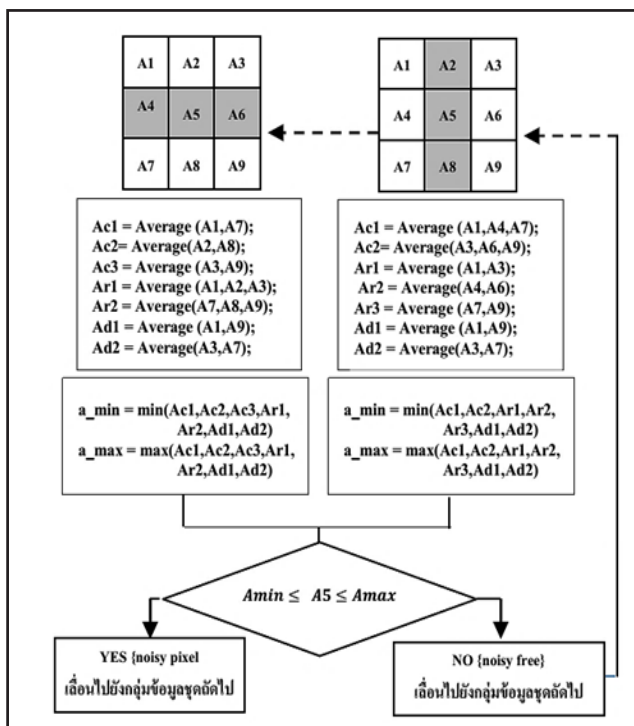
Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุงเป็นการปรับปรุงวิธีการโดยพิจารณาจากลักษณะการเก็บข้อมูล



ที่ถ่ายจากเครื่อง AFM ค่าระดับข้อมูลที่อยู่ในแนวทิศทางเดียวกันกับทิศทางที่กำลังพิจารณาไม่ถูกนำมาประมวลผลค่าเฉลี่ยด้วย [4], [5], [6] สามารถอธิบายลักษณะการดำเนินการได้ดังภาพที่ 4



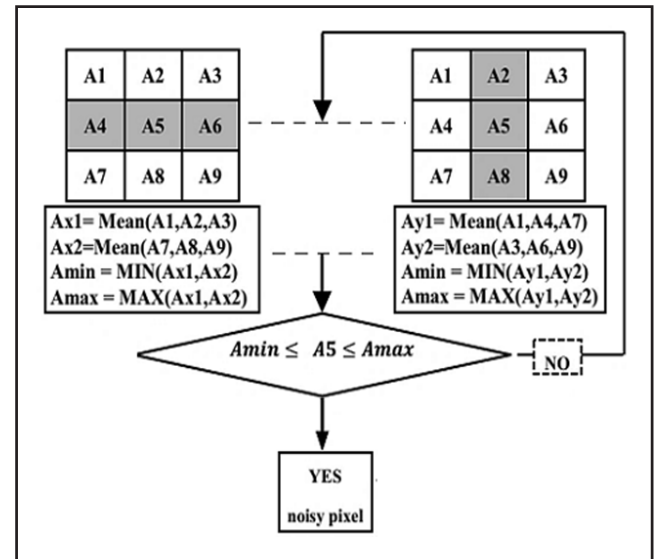
ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานจากวิธีการ Dual Threshold Median Filtering [4]



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานจากวิธีการ Dual Threshold Median Filtering ที่ปรับปรุงแล้ว

2.3 Mean Filtering คล้ายกับวิธีการก่อนหน้านี้ที่กล่าวมาแล้วแต่เป็นวิธีการ เปรียบเทียบข้อมูลตามขอบเขตค่าเฉลี่ยของระดับข้อมูล โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยตำแหน่งด้านบน และด้านล่าง หรือค่าระดับข้อมูลเฉลี่ยตำแหน่งด้านซ้าย และด้านขวา การพิจารณาถ้าค่าข้อมูลตำแหน่งตรงกลางอยู่ในช่วงค่า

เฉลี่ยไม่ถือว่าเป็นค่าผิดพลาด แต่ถ้าอยู่นอกเหนือขอบเขตถือว่าเป็นค่าผิดพลาด [6], [7] ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานจากวิธีการ Mean Filtering

2.4 Mean Line Pattern เป็นวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติตามแนวสแกน โดยอาศัยลักษณะการสแกนของเครื่อง AFM โดยยกตัวอย่างการทำงานตามแนวสแกนนอนดังภาพที่ 6

Algorithm: Mean Line Pattern

- นำเข้ารูปภาพมิติข้อมูลขนาด $m \times n$
- หาค่าเฉลี่ยข้อมูลตามแถวที่ 1 ถึง m ของรูปภาพ
 $A_{i:m} = \text{round}(\text{mean}(\text{image}_{i,1:n})_{i:m})$ (1)
- หาค่ากลางของข้อมูลตามแถวที่ 1 ถึง m ของรูปภาพ
 $B_{i:m} = \text{round}(\text{median}(\text{image}_{i,1:n})_{i:m})$ (2)
- หาผลต่างระหว่างชุดข้อมูลชุดที่ 2 และ 3
 $C_{i:m} = A_{i:m} - B_{i:m}$ (3)
- ในกรณีที่ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าเป็น 0 จะพิจารณาผลว่าเป็นค่าผิดพลาดหรือเสียหายตลอดทั้งแนวรูปภาพ แต่ในกรณีที่ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าอื่นๆ จะมองว่าไม่ใช่ตำแหน่งผิดพลาด

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการ Mean Line Pattern โดยพิจารณาตามแนวสแกนแนวนอน

2.5 Extreme learning machine: ELM [10] เป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ซึ่งมีโหนดซ่อนชั้นเดียว (Single-hidden Layer Feed Forward Networks: SLFNs) โดยวิธีการ ELM ไม่วนรอบกลับมาเพื่อปรับน้ำหนักของค่ากลางใหม่ ค่าน้ำหนักของโหนดซ่อน

(มีได้หลายโหนด) สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ Inverts Matrix และวิธี ELM มีความเร็วสูงกว่าวิธีการเรียนรู้แบบอื่นๆ

2.6 Fast Digital Image Inpainting [9] เป็นวิธีการดั้งเดิมที่มีความสามารถในการซ่อมแซมรูปภาพที่เกิดความเสียหายโดยระบุตำแหน่งที่เสียหายและใช้ชุดข้อมูลขนาด 3x3 คุณเข้าในแต่ละส่วนของภาพเพื่อใช้ในการประเมินผลตำแหน่งที่ต้องการซ่อมแซมโดยใช้ ผลรวมของข้อมูลที่ได้รับการคูณข้อมูลที่ใส่แสดงข้อมูลดังภาพที่ 7

a	b	a
b	0	b
a	b	a

c	c	c
c	0	c
c	c	c

ภาพที่ 7 มิติชุดข้อมูลที่ใช้ Fast Digital Image Inpainting
กำหนด $a = 0.073235$; $b = 0.176765$; $c = 0.125$

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

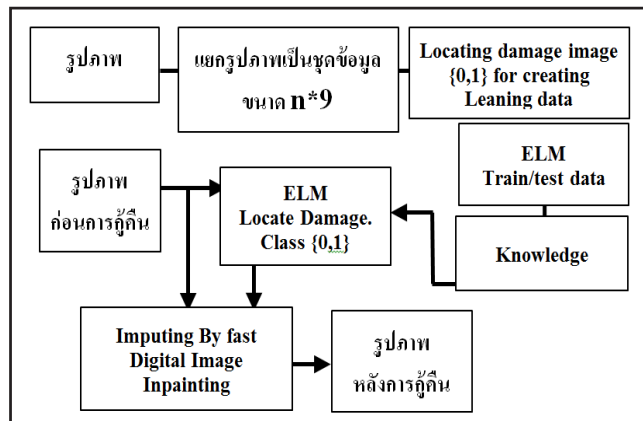
3.1 การสร้างข้อมูลสำหรับเป็นข้อมูลการเรียนรู้

ในงานวิจัยได้ใช้วิธีการ Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุง และเปรียบเทียบกับวิธีการ Mean Filtering เพื่อใช้ในการสร้างกลุ่มให้กับข้อมูลสำหรับข้อมูลเรียนรู้ โดยทั้งนี้ผลที่ได้จากวิธีการจะสามารถจัดกลุ่มของข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มค่าผิดพลาด ระบุให้เป็นค่า 1 และกลุ่มที่ไม่ใช่ค่าผิดพลาดให้เป็นค่า 0 (จำแนกกลุ่ม)

3.2 การดำเนินการกับ ELM และกู้คืนรูปภาพ

ข้อมูลเรียนรู้จะถูกนำเข้าตัวแบบการเรียนรู้ ELM พร้อมกับกลุ่มชุดข้อมูลที่ได้จากวิธีการ Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุงแล้ว ในงานวิจัยใช้วิธีการนำเข้าข้อมูลแบบ 10-fold เพื่อให้ข้อมูลสามารถแบ่งได้ทั้งข้อมูลเรียนรู้และข้อมูลทดสอบ โดยใช้ Sigmoid Function-Kernel สำหรับ ELM และทดสอบประสิทธิภาพโหนดซ่อนตั้งแต่ 5 ถึง 100 โหนด นำผลที่ได้จากตัวแบบ ELM เพื่อมาทดสอบใช้กับรูปภาพทดสอบอื่น และกู้คืนด้วยวิธีการ Fast Digital Image Inpainting

3.3 ฟังก์ชันการดำเนินการ



ภาพที่ 8 ฟังก์ชันการดำเนินการโดยรวม

4. ผลการดำเนินงาน

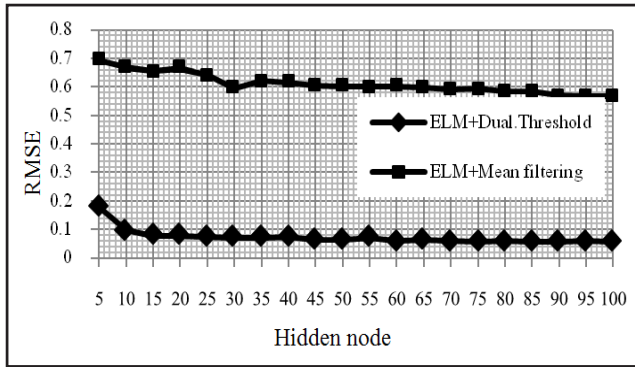
4.1 การทดสอบกับข้อมูลเรียนรู้

จากการทดลอง การเปรียบเทียบผลของการทดสอบวิธีการในงานวิจัย โดยใช้วิธี Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุง และวิธี Mean Filtering สร้างข้อมูลเรียนรู้สามารถค้นหาตำแหน่งค่าผิดพลาดได้มากกว่าค่าที่จำลองขึ้น แสดงผลการดำเนินการดังตารางที่ 11

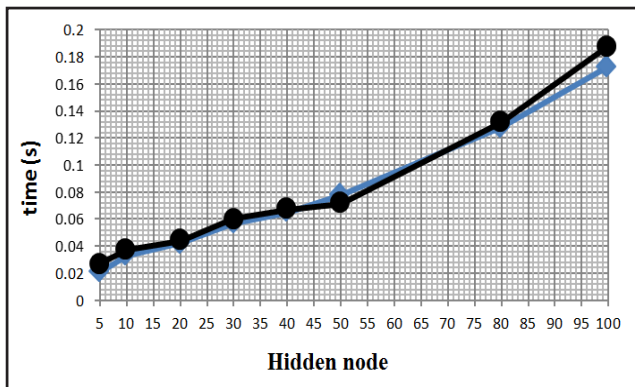
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการสร้างข้อมูลเรียนรู้

ตัวอย่างทดสอบ	ตำแหน่งจำลอง	ตำแหน่งที่พบ	
		Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุง	Mean Filtering
ตัวอย่างที่ 1	2512	13977	37340
ตัวอย่างที่ 2	2188	18608	43580
ตัวอย่างที่ 3	2151	10562	30791
ตัวอย่างที่ 4	3483	10390	35016

จากภาพที่ 9 เมื่อนำข้อมูลเรียนรู้เข้าตัวแบบ ELM โดยเปลี่ยนโหนดซ่อนตั้งแต่ 5 โหนดจนถึง 100 โหนด ผลของวิธีการทดสอบการนำเข้าข้อมูลด้วยวิธีการ Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุงได้ค่า RMSE น้อยกว่าผลจากวิธีการ Mean Filtering เมื่อเปรียบเทียบกับรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่สูงมากกว่า แสดงดังกราฟจากภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบข้อมูลเรียนรู้นำเข้าตัวแบบ ELM



ภาพที่ 10 เวลาในการทดสอบข้อมูลเรียนรู้นำเข้าตัวแบบ ELM

จากภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการดำเนินการ แม้ว่าการเพิ่มจำนวนโหนดซ่อนมากจะทำให้ค่า RMSE มีค่าน้อยลงซึ่งแสดงถึงความสามารถในการทำนายที่แม่นยำมากขึ้นแต่ก็ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งสามารถดูได้จากกราฟภาพที่ 10

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบข้อมูลกับ ELM + Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุง

ตัวอย่างทดสอบ	ตำแหน่งจำลอง	ตำแหน่งที่พบ ELM + Dual Threshold Median Filtering แบบปรับปรุง			
		20-node		100-node	
		T	F	T	F
ตัวอย่างที่ 1	2512	1605	907	1956	1754
ตัวอย่างที่ 2	2188	1355	833	1696	1813
ตัวอย่างที่ 3	2151	1397	754	1642	1855
ตัวอย่างที่ 4	3483	2129	1354	2537	1806

จากตารางที่ 2 ผลทดสอบโดยใช้โหนดซ่อน 20 โหนดสามารถทำนายความถูกต้องตามตำแหน่งที่จำลองขึ้นประมาณ 63% และทำนายผิดพลาดประมาณ 37% ในทำนองเดียวกันเมื่อทดสอบกับ โหนดซ่อน 100 โหนดสามารถทำนายตรงตามตำแหน่งประมาณ 76% แต่ทำนายผลผิดพลาด ประมาณ 47% เมื่อเทียบกับตำแหน่งที่ค้นพบ ทั้งนี้ในการดำเนินการวิธีการ ELM กรณีมีโหนดซ่อนมาก ยิ่งใช้เวลาทำงานมากตามไปด้วย แม้ในการทดสอบค่าความถูกต้องจะมากกว่า แต่ก็ใช้เวลาในการประมวลผลมาก

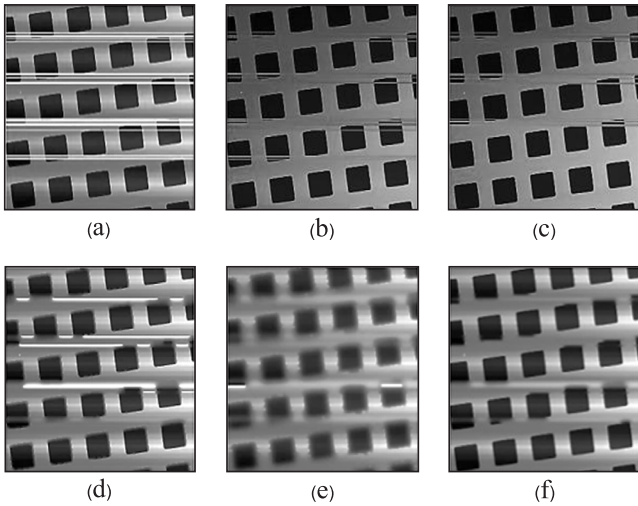
ตารางที่ 3 แสดงผลการกู้คืนรูปภาพเมื่อทดสอบกับวิธีการอื่น

วิธีการ	ทดสอบข้อมูล			
	ตัวอย่างที่ 5		ตัวอย่างที่ 6	
	RMS	ตรวจพบ	RMS	ตรวจพบ
ELM + Dual Threshold.	9.32	7158	3.98	7657
ELM+ Mean filtering.	14.74	39465	7.833	45782
Mean line pattern	3.16	5120	-	-
VSNR [10]	12.09	-	30.78	-
Destrip by fft. [11]	11.01	-	29.55	-
TV model [12]	13.25	22360	5.62	6247
TV-H1 model [12]	c	10255	9.34	8152
LCIS inpainting [12]	13.75	-	9.25	-

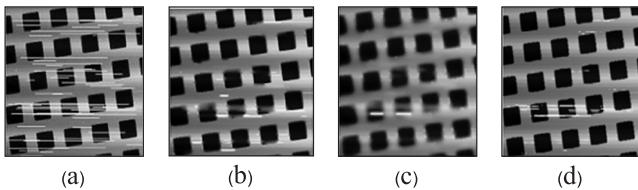
4.2 ผลการนำความรู้ทดสอบกับรูปภาพตัวอย่างอื่น

จากตารางที่ 3 สำหรับตัวอย่างชุดที่ 5 ผู้วิจัยใช้ตัวแบบจำลองค่าผิดพลาดตลอดแนวเส้นสแกน ผลของวิธี Mean Line Pattern เมื่อเทียบกับต้นฉบับรูปภาพให้ค่า RMSE = 3.16 แต่ในกรณีตัวอย่างชุดที่ 6 ตัวแบบจำลองตามแนวเส้นสแกนแต่ไม่เป็นรูปแบบเดียวกันตลอดทั้งเส้น ทำให้วิธีการ Mean Line Pattern ไม่สามารถตรวจสอบค่าผิดพลาดได้ แสดงผลดังภาพที่ 11

งานวิจัยได้คัดเลือกตัวอย่าง 2 ชุด เพื่อใช้ในการทดสอบงานวิจัย ผลการทดสอบตัวอย่างที่ 1 ขึ้นงาน Cromer 40% มีลักษณะเกิดการสูญหายของข้อมูลดังภาพที่ 13-(a),(d) ลักษณะของโครงสร้างรูปร่างช่องตาข่ายของชิ้นงานควรจะเป็นรูปแบบวงกลม ขนาด 3 - 10 ไมโครเมตรซึ่งพื้นผิวส่วนใหญ่เสียหายไม่มาก แต่ข้อมูลบางส่วนมีการสูญหาย และ



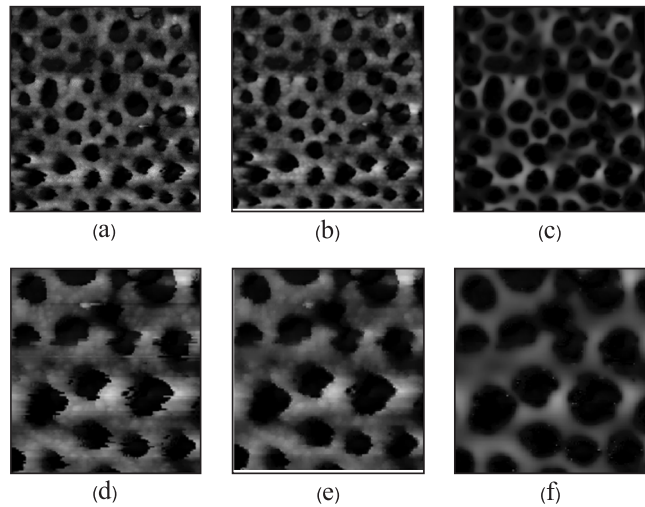
ภาพที่ 11 ผลการกู้คืนภาพตัวอย่างชุดที่ 5. (a) ต้นฉบับรูปภาพ ตัวอย่างทดสอบ (b) ทดสอบด้วยวิธีการ VSNR [10] (c) ทดสอบด้วยวิธีการ Destrip by ffr.[11] (d) ELM + Dual Threshold Median Filtering. ปรับปรุงแล้ว (e) ELM + Mean Filtering. (f) Mean Line Pattern.



ภาพที่ 12 ผลการกู้คืนภาพตัวอย่างชุดที่ 6 ด้วย Fast Digital Image Inpainting (a) รูปภาพตัวอย่างทดสอบ (b) ELM + Dual Threshold Median Filtering. ปรับปรุงแล้ว (c) ELM + Mean Filtering. (d) TV Model.

ผิดเพี้ยนไปบริเวณขอบของช่องตาราง เมื่อนำมาทดสอบกับวิธีที่เสนอในงานวิจัย ได้ผลดังรูปที่ 13-(e) ผลการดำเนินการจะถูกแก้ไขเฉพาะจุด ไม่กระทบกับบริเวณอื่นของภาพ แต่เมื่อทดสอบกับวิธี TV model ผลการกู้คืนสังเกตได้อย่างชัดเจน พื้นผิวถูกปรับให้เบลอไปทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกับวิธีที่เสนอในงานวิจัยสำหรับตัวอย่างที่ 6 สามารถค้นหา และกู้คืนตำแหน่งค่าเสียหายได้ดีกว่าวิธีการอื่น ซึ่งให้ค่า RMSE = 3.98

4.3 ผลการทดสอบกับรูปภาพที่ถ่ายได้จาก AFM

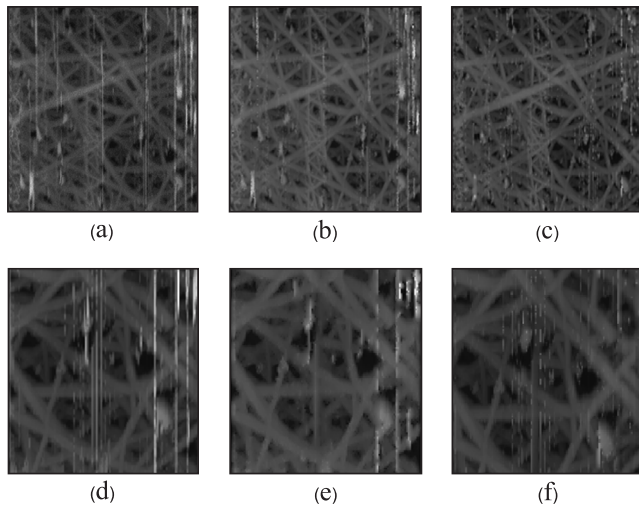


ภาพที่ 13 ผลการทดสอบรูปภาพ Cromer 40% ที่ถ่ายได้จากเครื่อง AFM (a) ต้นฉบับ ขนาดภาพ 50x50 um (b) ผลวิธีที่เสนอในงานวิจัย (c) TV model. (d) ต้นฉบับ ขนาดภาพ 20x20 um (e) และ (f) แสดงผลวิธีที่เสนอในงานวิจัย และ TV Model ตามลำดับ

สำหรับในภาพที่ 14 ใช้ตัวอย่าง TiO_2 หลังอบด้วยความร้อนสูง ภาพที่ 14-(d) แสดงลักษณะชิ้นงานต่อ TiO_2 ขนาดโดยประมาณ ในช่วง 3 - 5 ไมโครเมตรซ้อนทับกันอยู่ ทั้งนี้เห็นได้ชัดว่าวิธีการที่เสนอในงานวิจัยสามารถกู้คืนรูปภาพที่เกิดความเสียหาย หรือข้อมูลสูญหาย จากการสังเกตผลของงานวิจัยสามารถกู้คืนได้ในช่วงประมาณ 60 - 70 % เช่นเดียวกับ TV Model ที่เหมาะกับการหาขอบหรือเส้นตามแนวตั้งของรูปภาพดังภาพที่ 14-(e), (f) เมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ 14-(d)

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ผลที่ได้วิธีที่เสนอในงานวิจัยมีความสามารถในการตรวจหาตำแหน่งที่ผิดพลาดบนรูปภาพได้โดยตรง ซึ่งครอบคลุมการทำงานทั้งในกรณีที่ค่าเสียหายตามแนวเส้นสแกน แนวนอน และแนวตั้ง หรือตำแหน่งที่ข้อมูลเกิดการสูญหาย ความสามารถในการค้นหาและกู้คืน



ภาพที่ 14 ผลการทดสอบรูปภาพ TiO_2 ที่ถ่ายได้จากเครื่อง AFM ขนาดภาพ $50 \times 50 \mu m$ (a) ต้นฉบับ ขนาดภาพ $50 \times 50 \mu m$ (b) ผลวิธีที่เสนอในงานวิจัย (c) TV Model. (d) ต้นฉบับ ขนาดภาพ $20 \times 20 \mu m$ (e) แสดงผลวิธีที่เสนอในงานวิจัย และ (f) TV Model ที่กู้คืนด้วย Fast Inpainting.

ข้อมูลได้มากกว่า 63% เมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบ และในการกู้คืนนั้นเป็นการกู้คืนเฉพาะตำแหน่ง ไม่มีผลกับตำแหน่งอื่นๆ ของรูปภาพที่ถูกดำเนินการ ทำให้รูปภาพที่ได้นั้นยังคงความถูกต้องและคงค่าดั้งเดิมของรูปภาพไว้ สามารถนำภาพที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป

แนวทางการศึกษาต่อ สำหรับงานวิจัยผลของการตรวจหาตำแหน่งที่เสียหายใกล้เคียงกัน ความถูกต้องของการกู้คืนในงานวิจัยเกิดผิดเพี้ยนไปบางตำแหน่ง เนื่องจากการใช้วิธีการดั้งเดิมในการกู้คืนข้อมูล หากมีการนำวิธีการอื่นที่มีความสามารถปรับแก้จุดสี และกู้คืนความคมชัดของตำแหน่งที่เสียหายได้ในเงื่อนไขดังกล่าว จะทำให้รูปภาพที่เสียหายนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้นไปอีก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Rodgers. "Application of the atomic force microscope to integrated circuit reliability and failure analysis." *29th Annual Proceedings Reliability Physics Symposium 1991*, pp. 250-254, 1991.
- [2] G. Binnig, C. F. Quate, and C. Gerber. "Atomic force microscope." *Physical review letters*, Vol. 56, No. 9, pp. 930, 1986.
- [3] B. P. Dinte, G. S. Watson, J. F. Dobson, and S. Myhra. "Artefacts in non-contact mode force microscopy: the role of adsorbed moisture." *Ultramicroscopy*, Vol. 63, No.2, pp. 115-124, 1996.
- [4] V. Gupta and M. Shandilya. "Image de-noising by dual threshold median filtering for random valued impulse noise." *3rd Nirma University International Conference on Engineering NUiCONE-2012*, pp. 1-5, 2012.
- [5] X. Han and Q. Wang "An Adaptive Median Filtering Algorithm for Range Image." *2012 Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO 2012)*, pp.1-3, 2012.
- [6] Z. Sun and S. Chen. "Modifying NL-means to a universal filter." *Optics Communications*, Vol.285, No.24, pp. 4918-4926, 2012.
- [7] Á. Pardo. "Non Local Image Denoising Using Image Adapted Neighborhoods." *14th Iberoamerican Conference on Pattern Recognition, (CIARP 2009)*, pp. 277-284, 2010.
- [8] G. B. Huang, Q. Y. Zhu, and C. K. Siew. "Extreme learning machine: theory and applications." *Neurocomputing*, Vol. 70, No. 1, pp. 489-501, 2006.
- [9] M. Richard, M. Manuel Oliveira, B. Brian, and Y. S. Chang. "Fast digital image inpainting." *Proceedings of the IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP 2001)*. pp.106-107, 2001.
- [10] J. Fehrenbach, P. Weiss, and C. Lorenzo. "Variational algorithms to remove stationary noise. Applications to microscopy imaging." *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.21, No.10. pp.4420-4430, October 2012.
- [11] S.-w. W. Chen and J. L. Pellequer. "DeStripe: frequency-based algorithm for removing stripe noises from AFM images." *BMC Struct. Biol.*, Vol. 11, pp.7, 2011.
- [12] Chen, Alex, and et al. "Enhancement and recovery in atomic force microscopy images." *Excursions in Harmonic Analysis*, Vol. 2. Birkhäuser Boston, pp. 311-332, 2013.