

วิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบนภาพถ่ายของหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

Automatic Contaminant Detection Method on Air-Bearing Surface of Hard Disk Drive

สุเมธ นัฐสถาพร¹, จาตุรงค์ ดันดิบัณฑิต², ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์³, กุลฉัตร เสนิงศ์ ณ อยุธยา⁴, สราพงศ์ ชุมวงศ์, ชีรศักดิ์ สงวนมานะศักดิ์

^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, อ.คลองหลวง, จ.ปทุมธานี 12120 E-mail: ¹5110030185@student.tu.ac.th, ²ichartur@engr.tu.ac.th

³หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูล, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, อ.เมือง, จ.นครปฐม 73000 E-mail: piya@npru.ac.th

⁴สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, เขตทุ่งครุ, กรุงเทพมหานคร 10140 E-mail: acidjune@gmail.com

⁵บริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด, นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน, อ.บางปะอิน, จ.พระนครศรีอยุธยา 13160

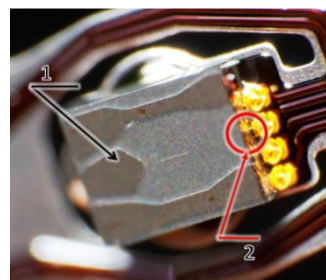
บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการตรวจหาสิ่งแปลกปลอม (contaminant) บน (ABS: air-bearing surface) ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะใช้สายตาของพนักงาน ซึ่งอาจมีความผิดพลาดเนื่องจากความเหนื่อยล้าหรือผลกระทบทางอารมณ์ได้ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS จากภาพถ่ายแบบอัตโนมัติ ซึ่งสิ่งแปลกปลอมจะถูกตรวจพบโดยพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างภาพ ABS ที่กำลังทำการวิเคราะห์กับภาพ ABS ดั้งเดิมที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอม (clean ABS) ซึ่งสร้างขึ้นเองจากภาพถ่ายของ ABS โดยนำมาผ่านกระบวนการปรับแต่งให้มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น แล้วทำการแปลงให้เป็นภาพขาวดำและตัดขอบของภาพให้เหลือเฉพาะบริเวณ ABS จากนั้นก็ทำการกำจัดสิ่งแปลกปลอมบนพื้นผิวและบนขอบของ ABS นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอนี้ยังสามารถใช้ตรวจหาจำนวน ขนาด และพื้นที่ของสิ่งแปลกปลอมบน ABS ได้ทั้งหมดจากการทดลองกับภาพถ่าย ABS ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จำนวน 1,000 ภาพ พบว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS ได้อย่างถูกต้องโดยมีความรวดเร็ว มากกว่าการตรวจสอบโดยใช้สายตาของพนักงาน

คำสำคัญ: การตรวจหาสิ่งแปลกปลอม, การประมวลผลภาพ, หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

Abstract

Nowadays, contaminant detection on the air-bearing surface (ABS) of hard disk drive relies on human eyes, which can easily cause errors because of fatigue or emotional effect. This paper proposes a method to automatically detect contaminants on the ABS. Contaminants are detected by looking at the difference between the being analyzed ABS image and the clean ABS image, which is directly estimated from its being analyzed ABS image. More specifically, a set of ABS gray scale images are captured. Then, each of which is cropped, sharpened, and converted to black and white images. Thus, the clean air-bearing surface is estimated by getting rid of contaminants on the surface and on the



รูปที่ 1 โครงสร้างของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ [1]

edges of ABS. In the proposed method can detect numbers, sizes, and areas of contaminants on ABS. Experimental results performed on 1,000 ABS images show that the proposed method can correctly detect contaminants on ABS much faster than using human eyes.

Keyword: Contaminant detection, image processing, air-bearing surface

1. บทนำ

สไลเดอร์ (slider) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพราะเป็นที่ติดตั้งของหัวอ่าน/เขียน (read/write head) และ ABS (air-bearing surface) รูปที่ 1 แสดงสไลเดอร์ซึ่งประกอบไปด้วย ABS (หมายเลข 1) และบริเวณหัวอ่านเขียน (หมายเลข 2) โดย ABS มีหน้าที่ทำให้เกิดแรงยกตัวของสไลเดอร์ในขณะที่สไลด์บนพื้นผิวของสื่อบันทึกและก่อให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะเพิ่มเข้าไปในสัญญาณอ่านกลับ (read-back signal) ซึ่งส่งผลให้เส้นเชื่อมฐาน (baseline) ของสัญญาณอ่านกลับมีค่าเปลี่ยนไป โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะนี้ทั่วไปเรียกกันว่า “สัญญาณ TA [2]” ซึ่งส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดจำนวนมาก เมื่อนำสัญญาณอ่านกลับนี้ไปถอดรหัสข้อมูล [2]

สิ่งแปลกปลอมบน ABS ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต ได้แก่ เศษกวาดฝุ่นละออง สี และเศษโลหะ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ลดลง ดังนั้นการตรวจหาสิ่ง

แปลกปลอมที่เกิดขึ้นบน ABS จึงเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิต ปัจจุบัน ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ของ บริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด จะใช้พนักงานในการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมผ่านกล้องจุลทรรศน์ และทำการคัดแยก ABS ที่มีสิ่งแปลกปลอมออก เพื่อนำไปทำความสะอาดและนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากพนักงานเมื่อปฏิบัติหน้าที่ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจเกิดความเหนื่อยล้า อีกทั้งอาจมีปัจจัยทางอารมณ์และจิตใจ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานลดลงและเกิดผลกระทบต่อการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS อย่างอัตโนมัติที่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

นักวิจัยหลายคน ได้ทำการพัฒนาวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมหรือสิ่งผิดปกติแบบอัตโนมัติทั้งบนลายผ้า [3-4] และบนทางรถไฟ [5] ตัวอย่างเช่น Kumar [3] นำเสนอการตรวจหาจุดบกพร่องบนลายผ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิค 3 ประเภทคือ เทคนิคการเก็บสถิติของลายผ้าแต่ละชนิดโดยใช้การประมวลผลภาพด้วยรูปร่าง และโครงร่างของภาพชนิดต่างๆ, เทคนิคการตรวจสอบสเปกตรัมโดยอาศัยวิธีการแปลง (transform) ชนิดต่างๆ, และเทคนิคการสร้างโมเดล นอกจากนี้ Cui และคณะ [4] นำเสนอการตรวจสอบข้อบกพร่องบนผ้า โดยแบ่งภาพออกเป็นสามส่วนเล็กๆ แล้วใช้เทคนิคสหสัมพันธ์ (auto-correlation) และใช้ Fisher classifier ในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมของผ้าสุดท้าย Jie และคณะ [5] นำเสนอการตรวจหาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนทางรถไฟ โดยใช้เทคนิคทางสถิติจากค่าฮิสโตแกรมและการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้ อย่างไรก็ตามจากการค้นคว้าพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการพัฒนาวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS ของอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ในงานวิจัยนี้คณะผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS โดยใช้การประมวลผลภาพด้วยรูปร่าง และโครงร่างของภาพแบบต่างๆ เทคนิคการคัดแยกขนาดของสิ่งแปลกปลอมกับขอบ และฟังก์ชันกรองแบบเกาส์เซียนแบบเฉลี่ยกึ่งกลาง

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยหัวข้อที่ 2 อธิบายการประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่าง หัวข้อที่ 3 อธิบายกระบวนการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS หัวข้อที่ 4 แสดงผลการทดลอง และสุดท้ายหัวข้อที่ 5 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความนี้

2. การประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพ

การประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพ [6] เป็นกระบวนการพื้นฐานอย่างหนึ่งของการประมวลผลภาพสำหรับการตัดต่อหรือแต่งเติมส่วนของรูปภาพ เช่น ขอบโครงของภาพ ซึ่งพื้นฐานของกระบวนการทางรูปโครงร่างภาพจะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีของเซต (set theory) โดยเซตในทางรูปโครงร่างภาพ คือ การแทนรูปร่างหรือรูปทรงของวัตถุในภาพซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 กระบวนการทางตรรกของภาพขาวดำ

กระบวนการทางตรรกพื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพคือ AND, OR และ NOT ซึ่งเป็นการกระทำที่จุดภาพต่อจุดภาพของภาพสองภาพขึ้นไป ยกเว้นกรณีของ NOT เป็นการกระทำต่อจุดภาพสำหรับภาพเดียว [6]

2.2 การขยายขอบภาพ (Dilation)

การขยายขอบภาพเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับเปลี่ยนจุดภาพที่มีค่าเป็น 0 ที่ติดกับจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ให้มีค่าเป็น 1 โดยกำหนดให้เซต A และ B คือเซตของ z^2 (สมมติให้ z^2 เป็นเซตของจุดที่มีค่า 1 ในภาพขาวดำ) ซึ่งการดำเนินการขยายขอบภาพของ A โดย B แทนด้วยสัญลักษณ์ $A \oplus B$ ซึ่งมีนิยามตามสมการที่ (1)

$$A \oplus B = \{z | [(B)_z \cap A] \subseteq A\} \quad (1)$$

เมื่อ A คือภาพที่ต้องการประมวลผลและ B คือองค์ประกอบโครงสร้างหรือเรียกว่า “structuring element” และ z คือเซตข้อมูลจุดภาพ

2.3 การกัดกร่อนขอบภาพ (Erosion)

การกัดกร่อนขอบภาพเป็นกระบวนการที่ใช้เปลี่ยนจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ที่ติดกับจุดภาพที่มีค่าเป็น 0 ให้มีค่าเป็น 0 โดยกำหนดให้เซต A และ B คือเซตของ z^2 (สมมติให้ z^2 เป็นเซตของจุดที่มีค่า 1 ในภาพขาวดำกัดกร่อนขอบภาพ) ซึ่งการดำเนินการกัดกร่อนขอบภาพของ A โดย B แทนด้วยสัญลักษณ์ $A \ominus B$ ซึ่งมีนิยามตามสมการที่ (2)

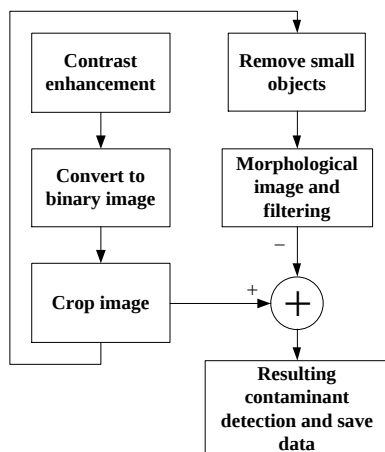
$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (2)$$

2.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)

การปรับปรุงคุณภาพของภาพเป็นกระบวนการที่ทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้นเพื่อทำให้คุณลักษณะของภาพ เช่น ความมืดความสว่างขอบของวัตถุในภาพปรากฏชัดเจนขึ้น รวมทั้งกำจัดสิ่งรบกวน การปรับปรุงภาพด้วยการกรองแบบเฉลี่ยกึ่งกลาง (median filter) เป็นการกรองข้อมูลภาพโดยใช้การสังขวนเวลาเชิงเวลา (spatial convolution) ซึ่งมีค่าน้ำหนักเป็น 1 เท่ากันตลอดซึ่งหลังจากทำการการสังขวนแล้ว นำผลลัพธ์มาทำการเฉลี่ยโดยเลือกค่ากึ่งกลางซึ่งการกรองแบบเฉลี่ยกึ่งกลางเป็นการกรองในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ข้อดีของการปรับปรุงภาพด้วยการกรองแบบเฉลี่ยกึ่งกลางคือสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนแบบ Salt-Pepper และสัญญาณรบกวนแบบ Laplacian ได้ดี [6]

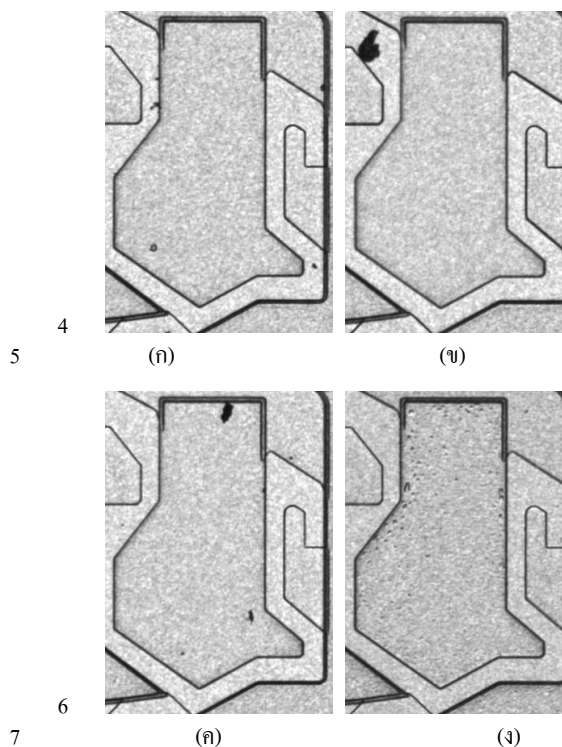
3. วิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

รูปที่ 2 แสดงวิธีการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 2 กระบวนการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS

- 3.1 ส่วนของการพัฒนาซอฟต์แวร์เริ่มจากการปรับภาพให้มีความคมชัดมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้ขอบของภาพที่มีความชัดเจน และยังสามารถลดความผิดพลาดจากการแปลงภาพโทนเทาให้เป็นภาพขาวดำ
- 3.2 แปลงภาพจากภาพต้นแบบซึ่งเป็นภาพโทนเทาโดยมีค่าตั้งแต่ 0-255 เป็นภาพขาวดำ โดยค่าขีดแบ่งซึ่งได้จากการทดลองหาค่าที่เหมาะสมสำหรับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ถ้าค่าของฟังก์ชันมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งให้แทนค่าด้วยหนึ่ง และศูนย์ในทางตรงกันข้าม
- 3.3 ตัดภาพให้เหลือเพียงส่วนของ ABS เนื่องจากกระบวนการถ่ายภาพ ABS จะถ่ายภาพ ABS ที่ละภาพจากบาร์ ABS ซึ่งประกอบด้วย ABS จำนวน 54 หัว ผลคือ ภาพแต่ละภาพจะมีส่วนของ ABS ข้างเคียงทั้งด้านซ้ายและด้านขวาดิมด้วย การตัดภาพจึงมีส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยใช้ตำแหน่ง poletip หรือบริเวณติดตั้งหัวอ่าน/เขียน เป็นจุดอ้างอิงของภาพ ABS แต่ละภาพ หลังจากนั้นทำการตัดภาพตามขนาดของ ABS ซึ่งสามารถใช้ในการตัดภาพได้ทั้งภาพที่เป็นภาพโทนเทาและภาพขาวดำ เมื่อได้ภาพในส่วนที่เป็น ABS แต่ละตัวแล้วทำการนับจำนวนพิกเซลเพื่อทำการคำนวณพื้นที่เทียบกับขนาด ABSจริงได้เป็นพื้นที่พิกเซล เพื่อใช้ในการคำนวณพื้นที่ของสิ่งแปลกปลอมในขั้นตอนต่อไป
- 3.4 กำจัดสิ่งแปลกปลอมบนพื้นผิว ในขั้นตอนนี้อาศัยการคัดแยกขนาดเม็ดสิ่งแปลกปลอมในแต่ละจุดโดยกำหนดค่าขีดแบ่งซึ่งสามารถกำจัดจุดสิ่งแปลกปลอมที่อยู่บนพื้นผิวได้ทั้งหมดยกเว้นสิ่งแปลกปลอมที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดทับอยู่บนเส้นขอบ ABS
- 3.5 กำจัดจุดบนขอบของ ABS โดยอาศัยวิธีการประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพแบบต่างๆร่วมกับตัวกรองขนาดของโครงร่างของภาพ เมื่อจบกระบวนการในขั้นตอนนี้จะได้ขอบของ ABS ที่ปราศจากสิ่งแปลกปลอม

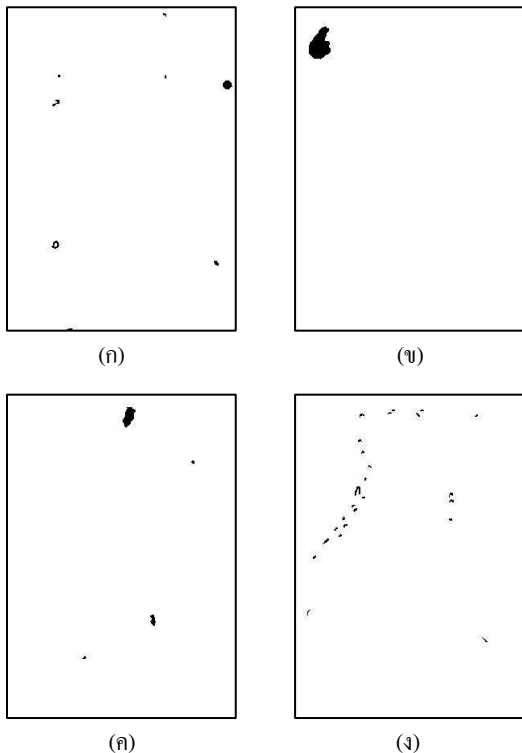


รูปที่ 3 ส่วนของภาพ ABS จำนวน 4 หัวที่ทำการวิเคราะห์

- 8.1 นำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.5 มาลบกับภาพต้นฉบับซึ่งเป็นแบบขาวดำผลก็คือ จุดสิ่งแปลกปลอม แต่เนื่องจากผลที่ได้มีสัญญาณรบกวน จึงนำผลที่ได้มาผ่านฟิวเตอร์การกรองแบบเฉลี่ยกึ่งกลาง (median filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนบนพื้นผิว [6]
- 8.2 นับจุดสิ่งแปลกปลอม หาตำแหน่ง คำนวณพื้นที่ของแต่ละจุด และทำการหาพื้นที่รวมทั้งหมดของสิ่งแปลกปลอม จากนั้นทำการบันทึกค่าที่ได้ในรูปแบบของ text file เพื่อสามารถนำข้อมูลนี้ไปพิจารณาในการทำซ้ำในส่วนของการประมวลผลความสะอาด ABS สุดท้ายทำการแสดงผลและบันทึกภาพผลการตรวจหา

4. ผลการทดลอง

เนื่องจากภาพ ABS ที่ใช้ในการทดลองได้จากบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นความลับของบริษัท ดังนั้นในการแสดงผล จึงจำเป็นต้องแสดงภาพเพียงบางส่วนของ ABS มาแสดง โดยการทดลองนี้จะทำการทดสอบกับภาพ ABS จำนวน 1,000 ภาพ รูปที่ 3 แสดงภาพต้นฉบับที่ถ่ายจากบริษัทโดยใช้เครื่องถ่ายภาพอัตโนมัติซึ่งมีอัตราขยาย 10 เท่าโดยใช้เลนส์แบบ telecentric เข้าสู่กระบวนการแปลงภาพจากภาพที่เป็นแบบโทนเทาให้เป็นภาพแบบขาวดำ จากนั้นผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่พื้นผิว และบนขอบของ ABS โดยรูปที่ 4 แสดงผลการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS และรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าต่างๆของสิ่งแปลกปลอมซึ่งสามารถระบุตำแหน่งสิ่ง



รูปที่ 4 สิ่งแปลกปลอมบน ABS ทั้ง 4 หัวที่ตรวจพบโดยวิธีการที่นำเสนอ

19_NumPixel - Notepad					
File	Edit	Format	View	Help	
Point	Pixels	Area(um ²)	X Axis	Y Axis	
1	22	29.98164956	76	206	
2	18	24.53044055	78	139	
3	9	12.26522027	237	717	
4	49	66.77731037	390	295	
5	32	43.60967208	391	118	
6	9	12.26522027	394	85	
7	19	25.8932428	407	400	
8	15	20.44203379	509	517	
9	11	14.99082478	525	9	
10	8	10.90241802	526	86	
11	26	35.43285857	588	317	
12	98	133.5546207	602	96	
13	10	13.62802253	608	490	

รูปที่ 5 รายละเอียดของสิ่งแปลกปลอม

แปลกปลอมบนภาพ รวมทั้งพื้นที่ของจุดต่างๆ มีหน่วยเป็นตารางไมโครเมตร (μm^2)

ผลทดลองในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงผลของการตรวจหาสิ่งแปลกปลอม ซึ่งในรูปที่ 4(ก) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของสิ่งแปลกปลอมที่ฝังอยู่ในขอบของภาพ และบนพื้นผิว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็ก บนขอบนั้นเมื่อผ่านกระบวนการที่พัฒนาขึ้นมา สามารถตรวจหาสิ่งแปลกปลอมได้อย่างถูกต้อง รูปที่ 4(ข) และ 4(ค) แสดงลักษณะของสิ่งแปลกปลอมมีขนาดใหญ่และทับซ้อนอยู่บนเส้นขอบของภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสิ่งแปลกปลอมที่ได้ตรวจหา มีขนาดและลักษณะที่เหมือนจริง และตำแหน่งที่ถูกต้อง และรูปที่ 4(ง) แสดงสิ่งแปลกปลอมมีลักษณะกระจายไปตามบริเวณขอบของ ABS และ มีขนาดเล็ก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจหา

สิ่งแปลกปลอมซึ่งฝังตัวอยู่บนขอบของ ABS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองกับภาพอื่นๆ ได้ ผลการเปรียบเทียบการตรวจหาสิ่งแปลกปลอม โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการตรวจสอบโดยสายตาของผู้ชำนาญแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจหาสิ่งแปลกปลอมได้อย่างถูกต้องอีกทั้งมีความรวดเร็วกว่า

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบน ABS จากภาพถ่ายแบบอัตโนมัติ ซึ่งสิ่งแปลกปลอมถูกตรวจจับโดยพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างภาพหัวอ่านที่กำลังทำการวิเคราะห์กับภาพหัวอ่านต้นแบบที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมซึ่งถูกสร้างขึ้นจากภาพถ่ายหัวอ่านที่กำลังทำการวิเคราะห์เอง ผลการทดลองกับภาพหัวอ่านจำนวน 1,000 ภาพพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหาสิ่งแปลกปลอมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามการสร้างขอบภาพ ABS ตามขั้นตอนที่กล่าวมานั้นจำเป็นจะต้องมีความคลอบคลุมกับลักษณะของสิ่งแปลกปลอมทุกชนิด เปอร์เซ็นต์ในการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมอาจลดลงเนื่องจากการสร้างขอบเพื่อใช้กับภาพที่มีสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดใหญ่และเล็กอยู่บนขอบภาพเดียวกัน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีตรวจหาสิ่งแปลกปลอมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นกับภาพ ABS ดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.ireference.ca/search/Hard%20disk%20drive/>
- [2] S. E. Stupp, M. A. Baldwinson, P. McEwen, T. M. Crawford, and C. T. Roger, "Thermal asperity trends," *IEEE Trans. Magn.*, vol.35, no. 2, pp. 752-757, Mar. 1999.
- [3] A. Kumar, "Computer-vision-based fabric defect detection: a survey", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 348-363, 2008.
- [4] B. Cui, H. Liu, and T. Xue, "Application of a new image recognition technology in fabric defect detection", *Future BioMedical Information Engineering*, pp.67-70, 2008.
- [5] L. Jie, L. Siwei, L. Qingyong, Z. Hanqing and R. Shengwei, "Real-time rail head surface defect detection: a deometrical approach", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp.769-774, 2009.
- [6] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing second edition", 2002