

การสร้างภาพพื้นผิวแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์

สรารุช แซ่ตั้ง^{1*} ปราโมทย์ วาดเขียน² และ จีรสุดา โกษียาภรณ์²

บทคัดย่อ

ในบทความนี้จะนำเสนอ เทคนิคการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยการยิงลำแสงเลเซอร์เพื่อไปสแกนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งใช้หลักการสะท้อนและกระเจิงของแสงโดยใช้เลเซอร์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมา และทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจะนำไฟล์ดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างของรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยวิธีไอเกนเฟส (Eigenface) ทำการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับฐานข้อมูลด้วยวิธีหาระยะห่างแบบยูคลิเดียน (Euclidean Distance) หาค่าความเหมือนของภาพด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ (Normalized Cross-Correlation) ภาพที่ได้จากการค้นคืนจะมีการวิเคราะห์สาเหตุของรอยขีดข่วนต่างๆไว้แล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการวินิจฉัยหาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูลแผ่นนั้นๆต่อไป

คำสำคัญ: รอยขีดข่วน , แผ่นเก็บข้อมูล , เลเซอร์ , การประมวลผลภาพ

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: s2690302@kmitl.ac.th รับเมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2555 ตอบรับเมื่อ 12 มิถุนายน 2555

The media surface image construction with technique of reflecting of laser beam

Sarawut Saetung^{1*} Paramote Wardkein² and Jeerasuda Koseeyaporn²

Abstract

This article presents a technique of image construction for the media surface by using reflecting laser beam. The intensity of the reflected and scattered laser beam from media will be detected, and stored as a data file in a computer. After that the stored data will be taken to construct the image of media surface in order to demonstrate the shape of the scratches that occurred on the media surface. In addition, the obtained image is employed in the process of the eigenfaces technique. This technique will retrieve the relevant images from the image database based on euclidean distance criterion where the similarity between the inspected image and the retrieved image is identified by normalized cross-correlation. The retrieved image and the obtained information can be used to diagnosis the cause of the damage on the media surface.

Keywords: scratch, media, laser, surface image

¹ Data Storage Technology, College of Data Storage Technology Innovations, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

² Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

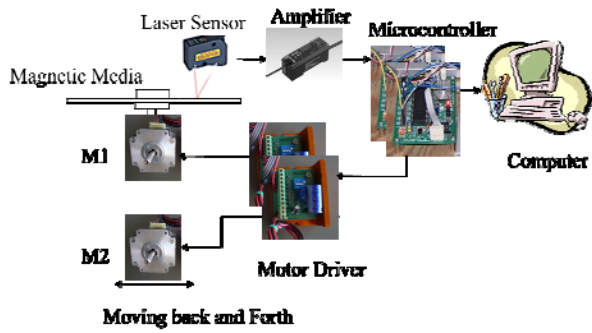
* Corresponding author, E-mail: s2690302@kmitl.ac.th Received 16 February 2012 ; Accepted 12 June 2012

1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วน เช่น ตัวควบคุมการเคลื่อนไหวย (Actuator), มอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor), หัวอ่าน-เขียน (Slider) และแผ่นเก็บข้อมูล (Platters) โดยที่แผ่นเก็บข้อมูลจะประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ ด้วยกันหลายชั้น เช่น Substrate, Adhesion layer, Soft Underlayer, CoPtCr-Oxide และ Overcoat layer เป็นต้น [1] และพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลจะมีความเรียบสูงมาก อีกทั้งยังมีความมันวาวสะท้อนแสงได้ดี [2] จากหลักการสะท้อนของแสงจึงได้ว่า แสงจะสะท้อนได้ดีที่พื้นผิวที่มีความมันวาวและเรียบ ทำให้ได้ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนมีค่ามาก ในทางกลับกันแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวที่มีความมันวาน้อย หรือพื้นผิวที่ขรุขระ จะทำให้ได้ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยเนื่องจากการกระเจิงของแสง ด้วยหลักการที่ได้กล่าวมานี้ จึงเป็นที่มาของการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลโดยใช้หลักการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ ซึ่งที่ผ่านมา มีวิธีการต่างๆ มากมายที่ใช้ในการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เช่น Scanning electron microscopy (SEM) ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ส่งกราดไปยังผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบเพื่อให้ได้ลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ [3] , Atomic force microscopy (AFM) เป็นเครื่องมือที่จะใช้วัสดุปลายแหลมที่มีความเล็กระดับนาโนเมตร ลากไปบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจหารอยขีดข่วนของพื้นผิวนั้น [3], Optical system for detecting surface defect ใช้การยิงและสะท้อนกลับของลำแสงเลเซอร์ในการตรวจหารอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูล [4], Defect inspection method of magnetic disk ที่ใช้การดูค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนขีดหัวอ่าน-เขียนที่ทำหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างแผ่นกับหัวอ่าน-เขียนให้มีค่าคงที่ โดยจะพิจารณาว่าถ้ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มากหรือน้อยกว่าค่าปรกติในปริมาณมากๆ นั้นหมายความว่าในบริเวณนั้นๆ มีรอยขีดข่วนหรือมีความผิดปกติที่แผ่นเก็บข้อมูล [5] และ Infrared cameras to observe the magnetic media scratches ที่ใช้กล้องอินฟราเรดในการตรวจหาความร้อนที่เปลี่ยนแปลงที่แผ่นเก็บข้อมูล หลังจากป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเก็บข้อมูล เพราะใน

บริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความร้อนมากกว่าในบริเวณอื่นๆ เนื่องจากในบริเวณที่มีรอยขีดข่วนจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่าในบริเวณที่ไม่มีรอยขีดข่วน ทำให้สามารถแยกได้ว่าในบริเวณใดมีรอยขีดข่วนหรือไม่ [6] เป็นต้น แต่เทคนิคต่างๆ เหล่านี้ใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนมาก, มีราคาสูง และความละเอียดของภาพรอยขีดข่วนที่ได้สูงเกินความจำเป็น อีกทั้งยังต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ภาพของรอยขีดข่วนที่ได้ ซึ่งเป็นการยากและเสียเวลาในการค้นหาข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบประกอบการวินิจฉัย

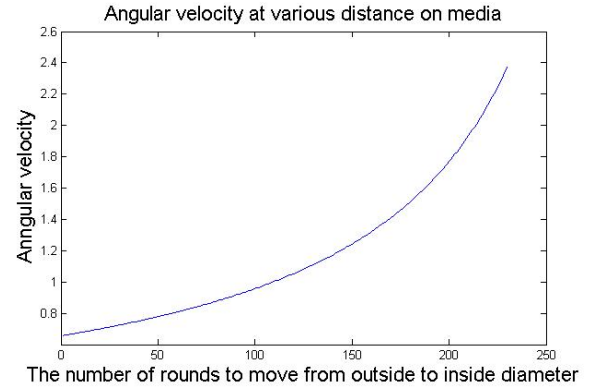
ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อมาจาก การตรวจจברรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลโดยการสแกนด้วยเลเซอร์ [7] ในบทความนี้จะเป็นการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลและประมวลผลภาพที่ได้เพื่อใช้ในวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของภาพที่ได้ (Principal Component Analysis : PCA) [8,9] และนำไปเปรียบเทียบกับภาพที่มีในฐานข้อมูล (Image Recognition) เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทและสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นเก็บข้อมูล ตัวเครื่องมีหลักการทำงานดังนี้คือ ลำแสงเลเซอร์จะถูกยิงไปยังแผ่นเก็บข้อมูลที่หมุนอยู่บนมอเตอร์ และจะมีมอเตอร์อีกชุดทำหน้าที่เลื่อนแผ่นเพื่อให้ได้กระบวนการในการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลทั้งแผ่น จากนั้นลำแสงเลเซอร์จะถูกรับด้วยตัวรับสัญญาณเลเซอร์โดยที่ในบริเวณที่เกิดรอยขีดข่วนจะเกิดการกระเจิงของแสงทำให้ความเข้มของลำแสงเลเซอร์ลดลง ซึ่งสัญญาณที่ได้จากเลเซอร์เช่นเซอร์ดังกล่าวนี้ จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและส่งข้อมูลที่ได้ออกไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลต่อไป ตัวเครื่องประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ ระบบแกนขับเคลื่อน, เลเซอร์เซ็นเซอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์แสดงผลในรูปแบบที่ 1



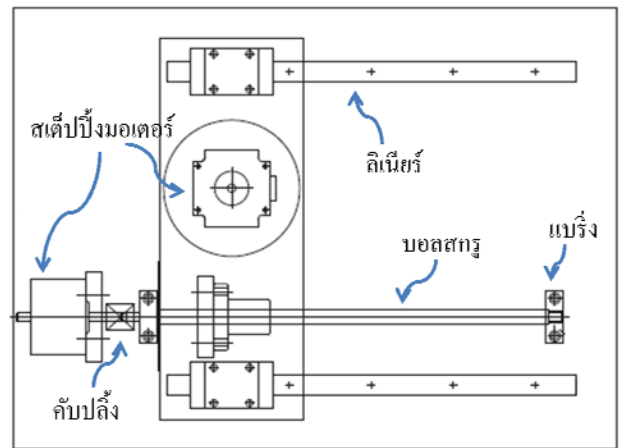
รูปที่ 1 ส่วนต่างๆของระบบที่นำเสนอ

2. วิธีการทดลอง

ในบทความนี้ได้เลือกใช้เลเซอร์เซ็นเซอร์ยี่ห้อ Keyence รุ่น LV-H37 ที่ให้ลำแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร และมีขนาดลำแสง (Beam spot) ที่เล็กที่สุดคือ 50 ไมครอน ที่ระยะห่างจากหัวยิงเลเซอร์ 70 มิลลิเมตร โดยใช้ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) ยี่ห้อ Keyence รุ่น LV-21A โดยตั้งค่าโหมดที่ใช้งานเป็น โหมดการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (Intensity mode) ในการทดลองนี้ใช้แผ่นเก็บข้อมูลขนาด 3.5 นิ้ว ยี่ห้อซีเกท (Seagate) รุ่น Barracuda ความจุ 80 GB แผ่นเก็บข้อมูลจะถูกสร้างรอยขีดข่วนเป็นรูปร่างต่างๆ เมื่อวัดขนาดรอยขีดข่วนด้วยเครื่องสไมร์ท-สโคป (Smart Scope) จะได้ขนาดโดยเฉลี่ยของรอยขีดข่วนประมาณ 60.73 ไมครอน และจะทำการหมุนแผ่นด้วยความเร็วเชิงมุม 0.6576 เรเดียนต่อวินาที ที่วงนอกสุด และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกๆรอบของการสแกน ซึ่งจะได้ความเร็วเชิงมุมที่วงในสุดคือ 2.375 เรเดียนต่อวินาที ดังแสดงกราฟความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการสแกนแผ่นเก็บข้อมูลดังรูปที่ 2, ระบบขับเคลื่อนที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สเต็ปป์มอเตอร์ , บอลสกรู และ ลิเนียร์ ส่วนในรูปที่ 4 แสดงเครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น



รูปที่ 2 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมที่ใช้ในการสแกนที่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูลของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

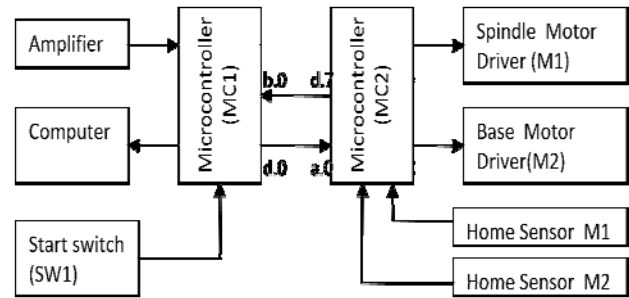


รูปที่ 3 ระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบ

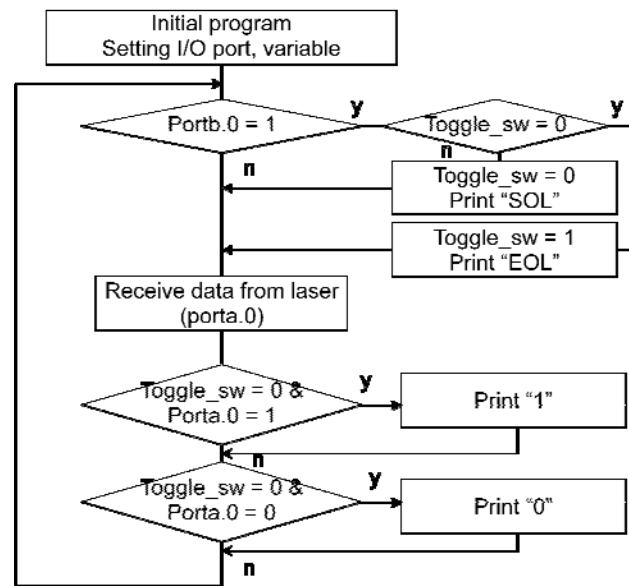


รูปที่ 4 เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

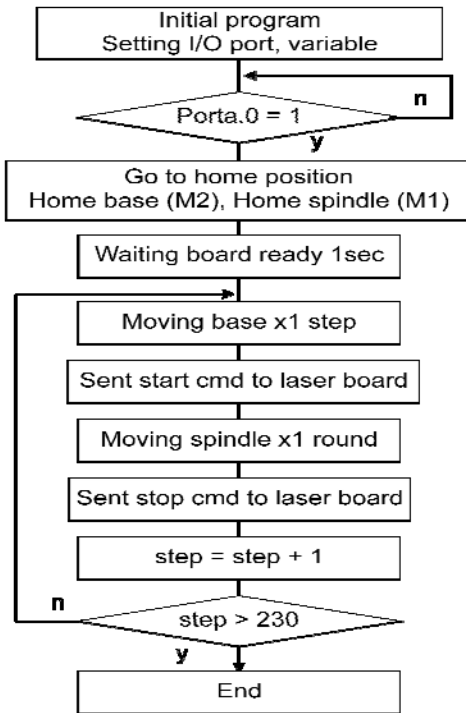
ส่วนควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สองตัว คือ MC1 และ MC2 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F452 และใช้คริสตัลความถี่ 20 MHz ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5, มีหลักการทำงานดังนี้คือ แสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกจากเลเซอร์เซ็นเซอร์ไปยังแผ่นเก็บข้อมูล ที่ถูกยึดอยู่บนฐานที่อยู่บนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุน (Spindle Motor, M1) จากนั้นแสงจะสะท้อนกลับไปยังตัวรับแสงเลเซอร์ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกประมวลผลที่แอมพลิไฟเออร์ของชุดเลเซอร์เซ็นเซอร์ โดยใช้โหมดตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง (Intensity mode) สัญญาณที่ออกจากแอมพลิไฟเออร์จะมีลักษณะเป็นสัญญาณ ON และ OFF โดยจะทำการตั้งค่าให้มีเอาต์พุตเป็น OFF เมื่อความเข้มของแสงที่ได้รับมีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มของแสงที่ได้รับปรกติ และสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกส่งไปยัง MC1 ถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น OFF แสดงว่าในตำแหน่งนั้นๆ มีรอยขีดข่วน ในทางกลับกันถ้าสัญญาณที่ส่งออกไปเป็น ON แสดงว่าในบริเวณนั้นๆ ไม่มีรอยขีดข่วน จากนั้น MC1 จะเปลี่ยนสัญญาณ OFF ให้เป็นค่า "1" และเปลี่ยนสัญญาณ ON ให้เป็นค่า "0" เพื่อส่งค่านี้ไปเก็บเป็นข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ในแต่ละรอบของการหมุนของมอเตอร์ M1 สัญญาณที่ออกจาก MC1 จะส่งเฮดเดอร์ (Header) เป็น "SOL" (Start Of Line) ตามด้วยข้อมูลที่ต้องการส่งและสิ้นสุดการส่งข้อมูลด้วย "EOL" (End Of Line) ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานในรูปที่ 6, โดยในบทความนี้จะทำการสแกนทั้งหมด 230 วงรอบและสแกนด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 98.175 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเมื่อสแกนครบแต่ละวงรอบแล้วจะทำการเลื่อนแกนเป็นระยะทาง 150 ไมครอน ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC2 ในรูปที่ 7



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม

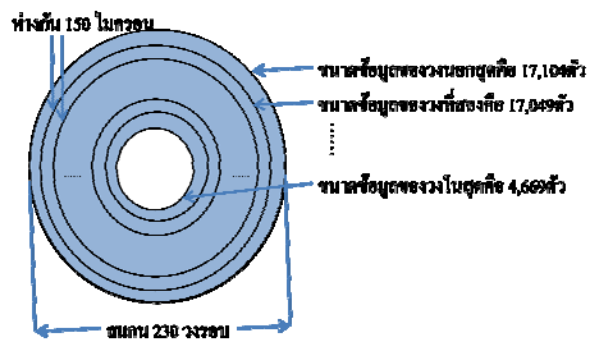


รูปที่ 6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC1

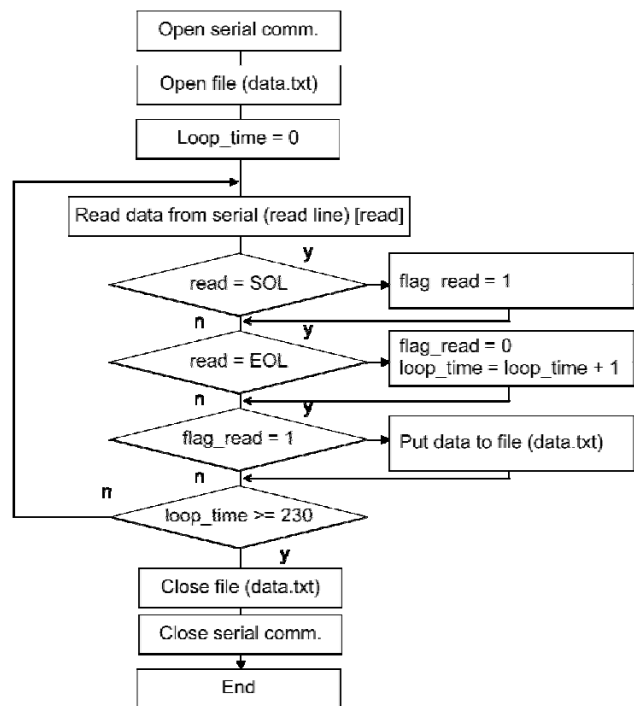


รูปที่ 7 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของ MC2

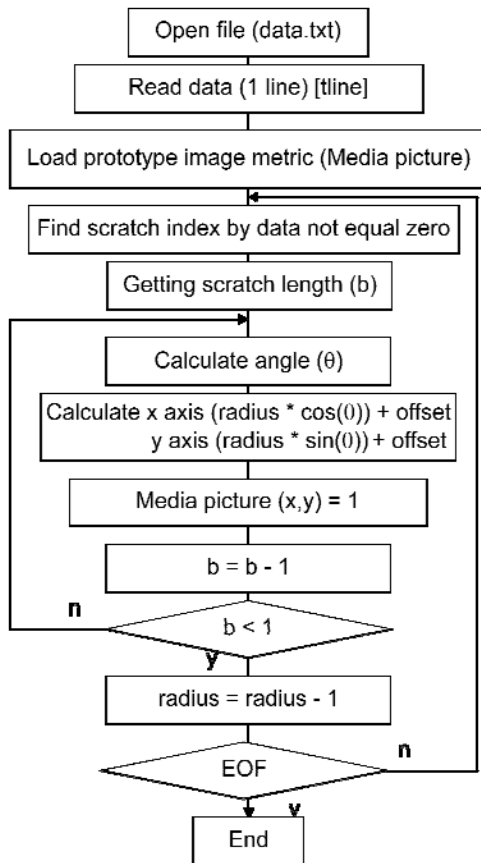
จะได้ว่าข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ได้รับที่วงรอบนอกสุดจะได้จำนวนข้อมูลจำนวนมากที่สุดคือ 17,104 ตัว และที่รอบถัดมาได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 17,049 ตัว และจำนวนข้อมูลจะลดลงเรื่อยๆ และจำนวนข้อมูลที่วิ่งในสุดคือ 4,669 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 8, คอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลที่มาจาก MC1 ผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที โปรแกรมจะทำการตรวจจับหาสัญลักษณ์ “SOL” จากนั้นจะนำข้อมูลที่มาหลังจากสัญลักษณ์ SOL มาเก็บไว้ในไฟล์ที่ชื่อว่า data.txt และจะสิ้นสุดการรับข้อมูลในแฉวนั้นๆเมื่อพบสัญลักษณ์ EOL จากนั้นขึ้นบรรทัดใหม่เพื่อรอรับข้อมูลต่อไปจนกระทั่งครบทั้ง 230 ครั้ง ดังแสดงด้วยโฟลว์ชาร์ตการทำงานในรูปที่ 9, หลังจากที่ทำกรสแกนแผ่นเก็บข้อมูลครบทั้งแผ่นแล้วจะทำการอ่านข้อมูลในแต่ละแถวที่อยู่ในไฟล์ data.txt เพื่อนำไปสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 10



รูปที่ 8 การสแกนเพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 9 โฟลว์ชาร์ตในส่วนการรับข้อมูลที่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 10 โพลีชาร์ตในส่วนการแปลงข้อมูลจาก data.txt ไปเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล

ภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลจะถูกสร้างมาจากเมตริกซ์ Media picture ที่มีการใส่ข้อมูลรอยขีดข่วนเสร็จแล้ว จากนั้นนำไปฟิล์ภาพที่ได้มาประมวลผลภาพ โดยใช้หลักการไอเกนเฟส (Eigenfaces) [10-14] ที่จะใช้วิธีการลดมิติของภาพเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเรียนรู้ และ ขั้นตอนรู้จำ

ขั้นตอนเรียนรู้

จะนำรูปตัวอย่างทั้งหมดจำนวน M ภาพ ขนาด $N \times N$ พิกเซล (X_1, X_2, \dots, X_M) ไปแปลงเป็นเวกเตอร์ $\underline{x}_1, \underline{x}_2, \dots, \underline{x}_M$ (โดยที่ \underline{x}_M เป็นคอลัมน์เวกเตอร์ขนาด $N^2 \times 1$ พิกเซล) โดยทำการแปลงจากแต่ละแถวแนวนอนมาเป็นแถวแนวตั้ง ซึ่งจะทำทุกๆภาพ ดังแสดงในรูปที่ 11

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix}_{N \times N} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{11} \\ \vdots \\ x_{1N} \\ \vdots \\ x_{N1} \\ \vdots \\ x_{NN} \end{bmatrix}_{N^2 \times 1} = \underline{x}_i$$

รูปที่ 11 การแปลงภาพมาเป็นเวกเตอร์

จากนั้นทำการหาเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (\underline{m}) ของภาพตามสมการ

$$\underline{m} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \underline{x}_i \tag{1}$$

นำแต่ละเวกเตอร์ภาพมาลบด้วยค่าเฉลี่ยจะได้

$$\tilde{\underline{x}}_i = \underline{x}_i - \underline{m} \tag{2}$$

แล้วทำการหาค่าเมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix : C) ด้วยสมการ

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \tilde{\underline{x}}_i \tilde{\underline{x}}_i^T = AA^T \tag{3}$$

C เป็นเมตริกซ์ขนาด $N^2 \times N^2$, M คือจำนวนของเวกเตอร์ภาพเรียนรู้ และ $A = [\tilde{\underline{x}}_1 \tilde{\underline{x}}_2 \dots \tilde{\underline{x}}_M]$ เป็นเมตริกซ์ขนาด $N^2 \times M$ ซึ่งเมื่อการจัดสมการใหม่จะได้

$$AA^T \underline{v}_i = \lambda_i \underline{v}_i \tag{4}$$

โดย \underline{v}_i และ λ_i เป็นไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) และไอเกนแวลู (Eigenvalue) ของ C ตามลำดับ แต่การคำนวณเมตริกซ์ AA^T ที่มีขนาด $N^2 \times N^2$ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีขนาดใหญ่มาก จึงพิจารณา $A^T A$ ที่มีขนาดเมตริกซ์เป็น

$M \times M$ โดยที่ \underline{u}_i เป็นไอเจนเวกเตอร์และ η_i เป็นไอเจนแวลลิว

$$A^T A \underline{u}_i = \eta_i \underline{u}_i \quad (5)$$

จากนั้นทำการคูณด้วย A ทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$AA^T A \underline{u}_i = \eta_i A \underline{u}_i \quad (6)$$

จากคุณสมบัติของเมตริกซ์ จะได้ว่าไอเจนแวลลิวของ AA^T จะเท่ากับกับไอเจนแวลลิวของ $A^T A$, ($\lambda_i = \eta_i$) และจากสมการที่ (4) และ (6) จะได้ความสัมพันธ์ของไอเจนเวกเตอร์คือ $\underline{v}_i = A \underline{u}_i$ ลดขนาดของเมตริกซ์ \underline{u}_i ได้โดยการตัดคอลัมน์ที่มีค่าไอเจนแวลลิวในคอลัมน์นั้นๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ออก เนื่องจากค่าไอเจนแวลลิวที่น้อย จะแสดงถึงส่วนที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของภาพนั่นเอง ซึ่งจะเหลือ $\hat{\underline{u}}_i$ ทั้งหมด K คอลัมน์ ดังสมการ

$$\hat{\underline{u}}_i = \underline{u}_i \quad ; \eta_i > 0 \quad (7)$$

และจะได้ไอเจนเฟสคือ

$$\hat{\underline{v}}_i = A \hat{\underline{u}}_i \quad (8)$$

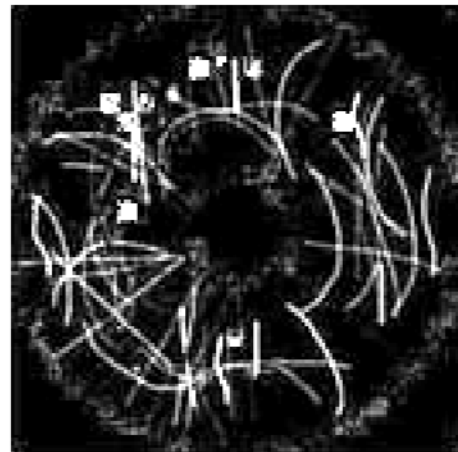
ดังแสดงตัวอย่างไอเจนเฟสของภาพต้นแบบในรูปที่ 12, จากนั้นทำการหาไอเจนเวกเตอร์ปรับปรกติ (Normalized Eigenvector) จะได้ $\|\hat{\underline{v}}_i\| = 1$ และหาค่าน้ำหนักพื้นฐานเพื่อแทนภาพต้นแบบแต่ละภาพตามสมการ

$$\hat{\underline{x}}_i = \sum_{j=1}^K \omega_i(j) \hat{\underline{v}}_j \quad (9)$$

$$\omega_i(j) = \hat{\underline{v}}_j^T \hat{\underline{x}}_i \quad (10)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, M$ ซึ่งเวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของภาพต้นแบบ \underline{x}_i คือ

$$\underline{\omega}_i = \begin{bmatrix} \omega_i(1) \\ \omega_i(2) \\ \vdots \\ \omega_i(K) \end{bmatrix} \quad (11)$$



รูปที่ 12 ตัวอย่างไอเจนเฟสของภาพต้นแบบ

ขั้นตอนรู้จำ

ทำโดยนำภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่ต้องการทดสอบ มาทำให้เป็นเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ \underline{x}_{test} และมาลบด้วยค่าเฉลี่ยของชุดภาพต้นแบบจะได้

$$\tilde{\underline{x}}_{test} = \underline{x}_{test} - \underline{m} \quad (12)$$

จากนั้น คำนวณหาค่าน้ำหนักด้วยสมการ

$$\omega_{test}(i) = \hat{\underline{v}}_i^T \tilde{\underline{x}}_{test} \quad (13)$$

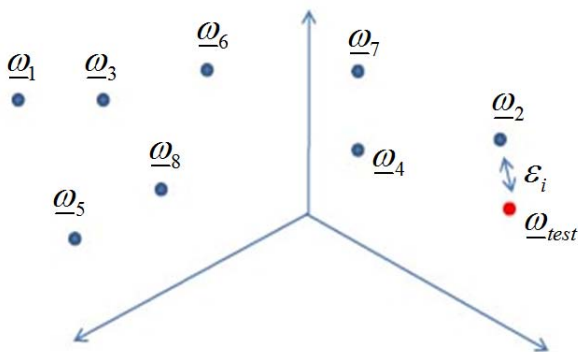
โดย $i = 1, 2, \dots, k$ จะได้เวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของภาพที่ต้องการหา คือ

$$\underline{\omega}_{test} = \begin{bmatrix} \omega_{test}(1) \\ \omega_{test}(2) \\ \vdots \\ \omega_{test}(K) \end{bmatrix} \quad (14)$$

จากนั้นทำการหาระยะห่างแบบยูคลิดีเซียน (Euclidean Distance) ระหว่างภาพที่ต้องการหาคู่กับกลุ่มภาพต้นแบบ

$$\varepsilon_i = d(\underline{\tilde{x}}_{test}, \underline{x}_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^{N^2} (\tilde{x}_{test}(k) - x_i(k))^2} \quad (15)$$

โดย $i = 1, 2, \dots, M$ และทำการตัดสินใจว่าภาพที่ต้องการทดสอบกับภาพใดในกลุ่มภาพต้นแบบในคลังข้อมูลภาพมากที่สุดโดยดูจากค่า ε_i ที่น้อยที่สุดเพื่อใช้ในการเลือกภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลออกมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่าน้ำหนักพื้นฐานของแต่ละภาพ และการตัดสินใจเลือกภาพที่ใกล้เคียงที่สุดจากคลังข้อมูลโดยการหาค่า ε_i ที่น้อยที่สุด

ความเหมือนกันของภาพ

เมื่อได้ภาพต้นแบบที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการทดสอบมากที่สุดแล้วจะทำการหาค่าความเหมือนกันของภาพที่ต้องการหาคู่กับภาพต้นแบบที่เลือกมาจากคลังข้อมูลด้วย

วิธีการหาสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ (Normalized Cross-Correlation) ดังสมการ

$$NCC(X_{test}, X_k) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_{test}(i, j) - \bar{X}_{test}][X_k(i, j) - \bar{X}_k]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_{test}(i, j) - \bar{X}_{test}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_k(i, j) - \bar{X}_k]^2}} \quad (16)$$

$X_{test}(i, j)$ และ $X_k(i, j)$ คือค่าความสว่างของพิกเซลที่ (i, j) ในภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับโดยที่ X_{test} คือภาพที่นำมาทดสอบ และ X_k คือภาพต้นแบบ และ $\bar{X}_{test}, \bar{X}_k$ คือค่าเฉลี่ยของความสว่างของพิกเซลในเวกเตอร์ภาพ X_{test} และ X_k ตามลำดับ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

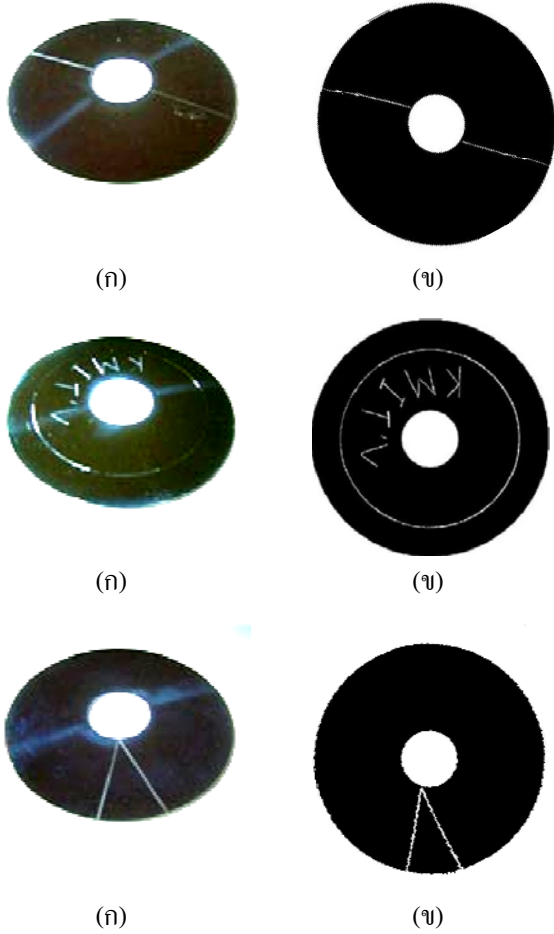
$$\bar{X}_{test} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{test}(i, j) \quad (17)$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_k(i, j) \quad (18)$$

ค่าที่ได้ของ NCC จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ถ้าค่า NCC มีค่าเข้าใกล้ 1 จะหมายความว่าภาพทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความคล้ายกันมากขึ้นเท่านั้น

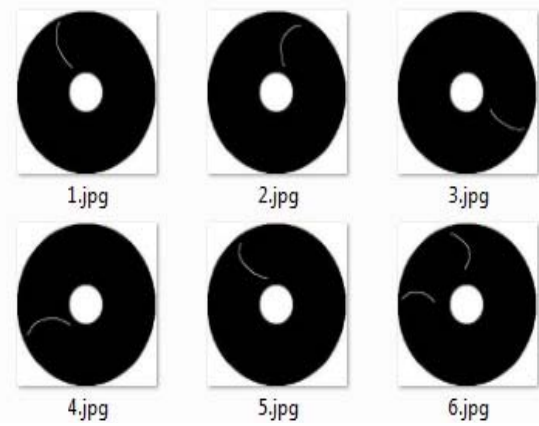
3. ผลการทดลอง

ในบทความนี้จะทำการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ มาเก็บเป็นไฟล์ data.txt ไว้ในคอมพิวเตอร์จากนั้นจึงนำไฟล์ดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 14

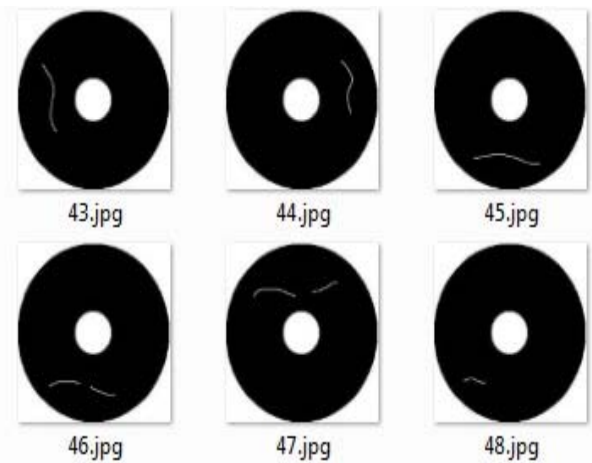


รูปที่ 14 ตัวอย่างรอยขีดข่วนบนแผ่นเก็บข้อมูลโดย (ก) ภาพจริงของแผ่น, (ข) ภาพพื้นผิวที่สร้างขึ้น

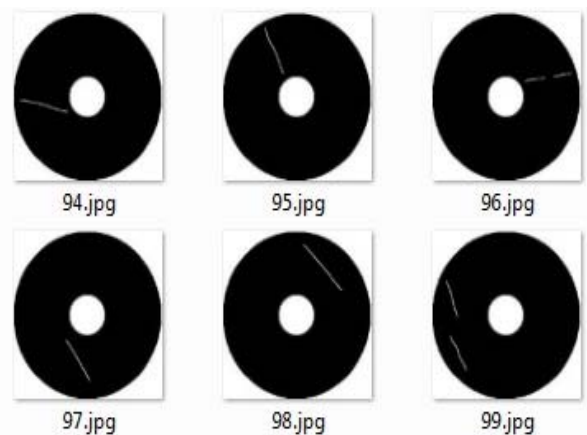
นำรูปที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยวิธีโอเคนเฟส และ หาระยะห่างขลุคิเดียนตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ทราบว่าภาพที่นำมาประมวลผลนั้นมีความคล้ายคลึงกับภาพใดในฐานข้อมูลมากที่สุด ในการทดลองนี้ใช้ภาพฐานข้อมูลทั้งหมด 136 ภาพ แบ่งตามรูปแบบของรอยขีดข่วนออกเป็น 8 กลุ่มของภาพ คือ ทรงโค้ง, เส้นผ่านศูนย์กลาง, คลื่น, จุด, KMIL, เส้นตรง, ตัววี และไม่มีรอยขีดข่วน แต่ละภาพที่ใช้มีความละเอียดเท่ากันคือ 200 x 200 พิกเซล ตัวอย่างภาพบางส่วนของฐานข้อมูลแสดงในรูปที่ 15-17 ในการวัดความเหมือนกันของภาพที่นำมาประมวลผลกับภาพในฐานข้อมูล จะใช้วิธีหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ดังแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมในรูปที่ 18 และจากการทดลองด้วยภาพที่เตรียมไว้จำนวน 30 ภาพพบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ดี ยังไม่พบข้อผิดพลาดแต่อย่างใด



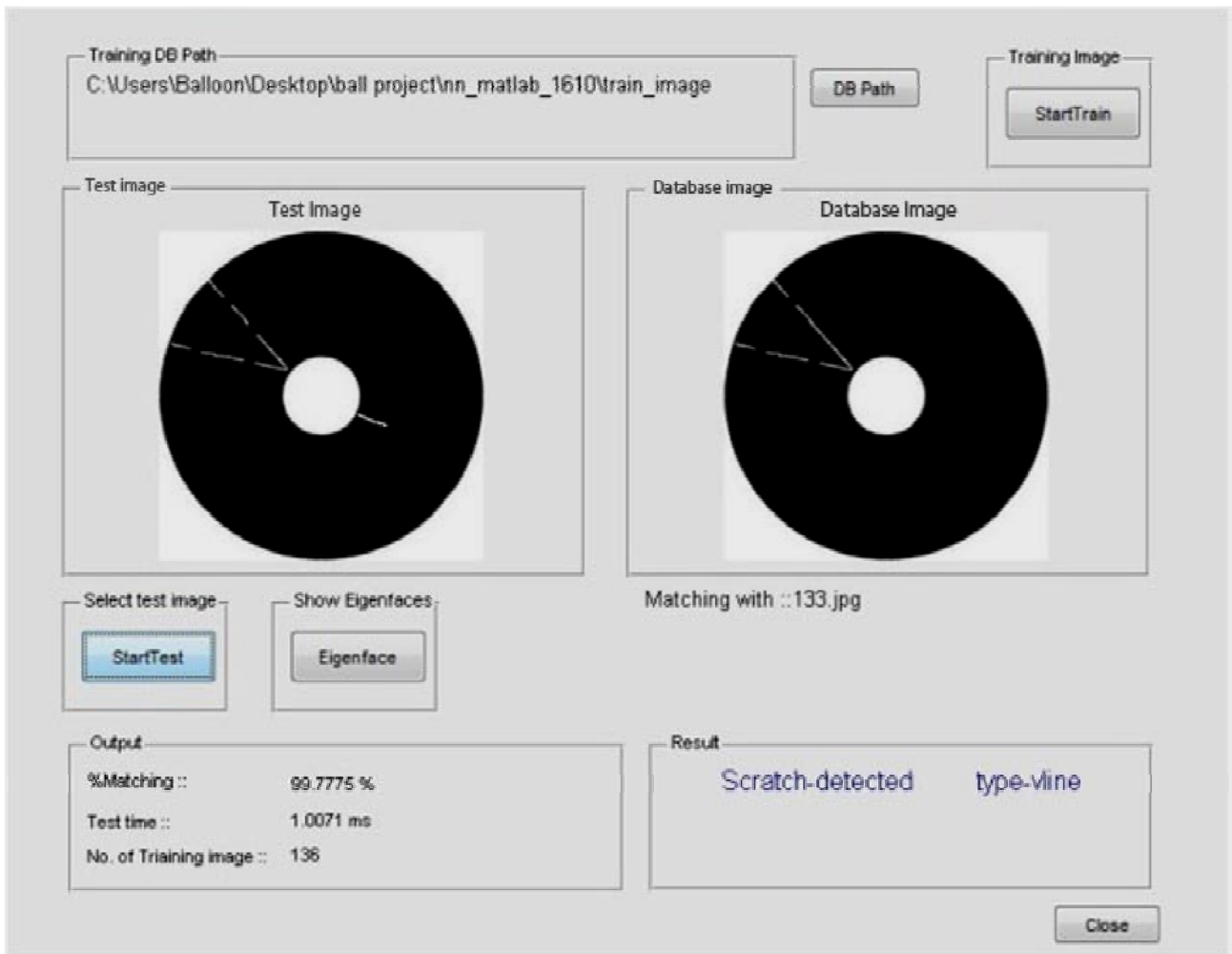
รูปที่ 15 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปแบบทรงโค้ง



รูปที่ 16 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปคลื่น



รูปที่ 17 ตัวอย่างฐานข้อมูลรูปเส้นตรง



รูปที่ 18 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำ

4. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์โดยมีเป้าหมายในการสร้างภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูล เพื่อนำมาประมวลผลด้วยวิธีไอเกนเฟส ที่เป็นการลดมิติและดึงคุณลักษณะสำคัญจากภาพ แต่มีข้อจำกัดคือ ภาพที่นำมาประมวลผลจะต้องมีขนาดเท่ากับภาพในฐานข้อมูล การเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญเพื่อการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลจะทำได้โดยการหาระยะห่างยูคลิเดียน แต่การวัดระยะห่างด้วยวิธีนี้มีข้อควรระวังคือ ค่าที่คำนวณได้ไม่สนใจความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน อาจมีบางภาพที่ไม่เกี่ยวข้องกันแต่มีความสัมพันธ์กันสูงได้ ผลการสืบค้นที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

อย่างน้อยเพียงได้นั้นสามารถดูได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ของความเหมือนที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีสหสัมพันธ์ไขว้ปรับปรกติ ซึ่งจะได้ว่ายิ่งค่าที่ได้เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์มากเท่าใด แสดงว่าภาพที่นำมาทดสอบนั้นมีความเหมือนกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลมากเท่านั้น แต่การที่จะให้ผลการสืบค้นมีความถูกต้องมากขึ้น จำเป็นจะต้องมีภาพพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลที่มีรอยขีดข่วนแบบต่างๆอยู่ในฐานข้อมูลในปริมาณมากตามไปด้วย ซึ่งในอนาคตจะได้ทำการเพิ่มเติมฐานข้อมูลให้มากขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล (DSTAR), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL), ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) ภายใต้ทุนหมายเลข HDD - 01 - 53 - 01M และผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด สำหรับการจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆสำหรับงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. M. Mate, B. K. Yen, D. C. Miller, M. F. Toney, M. Scarpulla, and I. E. Frommer, "New methodologies for measuring film thickness, coverage and topography", IEEE Transactions on Magnetics, 36, 2000, pp. 110-114.
- [2] T. Kasai, C. Dowell and A. Somanchi, "Application of laser assisted defect detection system for chemical mechanical planarization (CMP) slurry development in rigid disk polishing", International Publisher of Science, Technology and Medicine, 18, 2007, pp. 1582-1590.
- [3] W. Johannes , B. Christian , E. Heinz-Ludwig , E. Dirk, H. Johanna, R. Hologer , S. Christoph, W. Michael and W. Andreas, "Applied surface analysis in magnetic storage technology", Applied Surface science 2001, pp. 167-180.
- [4] T. Ishiguro and H. Nakajima, "Optical system for detecting surface defects, a disk tester and a disk method", United States Patent, US 6330059 B1, 11 Dec 2001.
- [5] Y. Uji, F. Harako, M. Shimada and R. Miura, "Defect inspection method of magnetic disk, device therefore, and magnetic disk drive device", United States Patent, US 7636217 B2, 22 Dec 2009.
- [6] Y. Todtong, N. Suwannata, P. Rakpongsiri, D. Sompongse and A. Siritaratiwat, "Observation of scratch on magnetic media by using thermal infrared camera", The Asia-Pacific Magnetic Recording Conference 2009.
- [7] P. Panpho, W. Panpaisarn , J. Koseeyaporn, P. Wardkein, "Hard disk media scratch detection by laser scanning", International Data Storage Technology Conference 2010, July 30- August 1, 2010.
- [8] D. Valentin, H. Abdi, B. Edelman and A. J. O'Toole, "Principal component and neural network analyses of face images: what can be generalized in gender classification ?", Journal of Mathematical Psychology, 42, December 1997.
- [9] P. J. B. Hancock, V. Bruce and A. M. Burton, "Testing principal component representations for faces", Proceedings of 4th Neural Computation and Psychology Workshop, 1997.
- [10] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition", Journal of Cognitive Neuroscience, 3, 1991, pp. 71-86.
- [11] M. Turk and A. Pentland, "Face recognition using eigenfaces", Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1991, pp. 586-591.
- [12] A. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner, "View-based and modular eigenfaces for face recognition", Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94), 1994.
- [13] P. Belhumeur, J. Hespanha, D. Kriegman, "Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, pp. 711-720.
- [14] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips and A. Rosenfeld, "Face recognition", A literature survey, ACM Computing Surveys, 2003, pp. 399-458.