

การตรวจสอบตำแหน่งจับวางของหัวอ่านเขียนข้อมูลบนภาตขนส่ง

Detecting HGA Orientation in Shipping Tray

นเรศ โภคทรัพย์¹ และ สุภัทรา ปลื้มกมล¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ติดต่อ: โทรศัพท์: 043 202 845, โทรสาร: 043 202 849

E-mail: nares_po@hotmail.com

supple@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละชุดประกอบไปด้วยหลายขั้นตอนเช่น การประกอบชุดย่อยต่าง ๆ เช่น ชุดหัวอ่านเขียน ชุดแผ่นเก็บข้อมูล แล้วจึงรวมชุดหัวอ่านเขียนเข้ากับชุดแผ่นเก็บข้อมูล จากนั้นจึงเชื่อมต่อเข้ากับชุดสัญญาณไฟฟ้าเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะบรรจุหีบห่อเพื่อนำไปใช้งานได้สะดวกขึ้น แต่ขั้นตอนการประกอบชุดหัวอ่านเขียนนั้น ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะจำเป็นต้องใช้หัวหยิบจับ (end effector) หยิบหัวอ่านเขียนจากภาตขนส่งจากกระบวนการประกอบหัวอ่านเขียน (HGA) มาประกอบเข้ากับแขนจับ (actuator) เป็นชุดหัวอ่านเขียน (HSA) ซึ่งการประกอบรวมชุดหัวอ่านเขียนและชุดแผ่นข้อมูลนี้ค่อนข้างซับซ้อนเพราะหากไม่สามารถจัดวางให้ตรงตำแหน่งตามที่กำหนด จะส่งผลเสียอย่างมากต่อการทำให้เกิดการลดลงของผลผลิตสุทธิ (yield) จากการประกอบชุดหัวอ่านเขียนคิดเป็นร้อยละ 2 หรือคิดเป็นมูลค่า 60,000 บาทต่อวันการผลิต ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์ (machine vision) มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตของหัวอ่านเขียน แบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันแปร (invariant moment) เพื่อสร้างแบบจำลองการตรวจสอบลักษณะการจัดวางที่ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียน เช่น การเอียงหรือการหมุน โดยการนำภาพหัวอ่านเขียนมาทำการปรับปรุงระดับความเทา ด้วยการปรับเทรสโฮลด์และกรองภาพเพื่อเอาจุดรบกวนออกด้วยเกาส์เซียนและประมวลผลภาพด้วยวิธีมอร์ฟอลอจิกคอล (morphological) เพื่อหาขอบรูปของภาพหัวอ่านเขียน จากนั้นสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตเพื่อดึงลักษณะเด่น ซึ่งพิจารณาในส่วนของการหมุน หรือเอียง (orientation) จากเดิมหัวหยิบจับจะหยิบจับหัวอ่านเขียนข้อมูลทั้งที่ได้ตำแหน่งและไม่ได้ตำแหน่งทั้งหมดบนภาตขนส่ง ซึ่งจะส่งผลเสียหายนต่อโครงสร้างของหัวอ่านเขียนข้อมูลอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ 7 invariant moment มาช่วยตรวจสอบคุณลักษณะของหัวอ่านเขียนทางเรขาคณิตไม่ว่าจะหมุนหรือเอียงไปก็ยังสามารถตรวจสอบลักษณะเด่นทางเรขาคณิตเพื่อระบุได้ว่าหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้นเป็นหัวอ่านเขียนข้อมูลเดิมได้ นอกจากนี้ยังสามารถระบุค่ามุมการจัดวางของหัวอ่านเขียนข้อมูลนี้ได้ทุกครั้งที่หมุนหรือเอียงไป หากแบบจำลองนี้ตรวจพบหัวอ่านเขียนข้อมูลที่มีการจัดวางที่เสี่ยงต่อความเสียหาย ก็จะส่งข้อมูลให้หัวหยิบจับยกเลิกการหยิบจับหัวอ่านเขียนข้อมูลตัวนั้น แบบจำลองนี้ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ที่จะช่วยกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีผลผลิตสุทธิมากยิ่งขึ้น

คำหลัก: หัวอ่านเขียนข้อมูล, จักรกลวิทัศน์, คุณสมบัติทางเรขาคณิตแบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันแปร, เกาส์เซียน, มอร์ฟอลอจิกคอล

Abstract

In the hard disk drive (HDD), the orientation of the head gimbal assembly (HGA) prior attach to the actuator arm is considerably. The orientation is subjected to achieve either detect in pick and place activity. This paper deals with machine vision technology that apply the invariant moment technique that using the geometric invariant feature extraction to produce the simulation to detect whether HGA is in a good orientation. Pre-processing of image acquisition perform on the HGA image from CCD camera. Intensity thresholding corresponding perform with Gaussian filtering in order to eliminate noise reduction, then, morphological operation perform the feature extraction of the HGA image. After image acquisition, invariant moment that has system for a scale, translation and orientation are calculated for each significant region in the input images. The calculated output will compare against the good orientation that are considered. Results show that, however, the invariant moment may not vary to several angle rotations with no significant different. In additional, the position can be obtained with good orientation. Finally, this novel method can improve the hard disk drive assembly process productivity and yield gain.

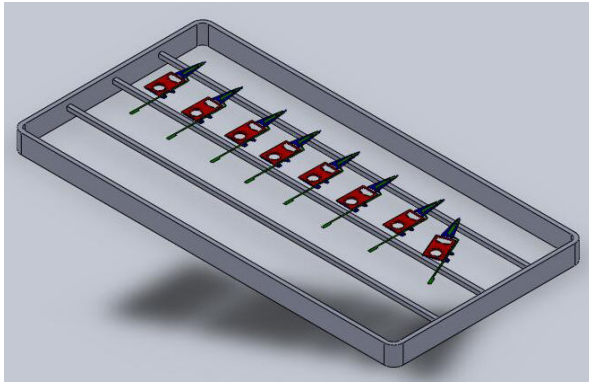
Keywords: head gimbal assembly, machine vision, invariant moment, Gaussian filtering, morphological

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากในอดีตถึงปัจจุบันได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่นับวันจะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การประกอบชุดหัวอ่านเขียนเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การนำเทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์ (machine vision) มาประยุกต์ใช้การผลิตเพื่อลดการสูญเสียประสิทธิภาพการผลิตได้ถูกนำมาใช้ [1] เนื่องจากการประกอบรวมชุดหัวอ่านเขียนและชุดแผ่นข้อมูลนี้ค่อนข้างซับซ้อน และการจัดวางจะต้องให้ตรงตำแหน่งตามที่กำหนด

ลักษณะการวางของหัวอ่านเขียนในถาดขนส่งจากขั้นตอนการประกอบหัวอ่านเขียน (HGA) ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องด้วยค่าความเผื่อ (tolerance) ของถาดขนส่งและการป้อนถาดขนส่งเข้าสู่ตำแหน่งการหยิบจับของขั้นตอนรวมชุดหัวอ่านเขียน (HSA) เป็นผลทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลในถาดขนส่งไม่อยู่ตำแหน่งพร้อมหยิบจับหรือการจัดวางที่ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การตรวจสอบตำแหน่งก่อนการหยิบจับหัวอ่านเขียนจึงเป็นสิ่งจำเป็น เทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญใน

การวิเคราะห์ด้วยเหตุผลเพื่อลดความผันแปรของกระบวนการผลิต [1] ด้วยการนำภาพหัวเขียนข้อมูลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตแบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันแปร (invariant moment) [2] โดยภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ (image processing) [3,4] เพื่อหาขอบรูปของภาพหัวอ่านเขียน (segmentation) ด้วยวิธีมอร์ฟอลอจิคอล (morphological) [5,6,7] จากนั้นสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตเพื่อดึงลักษณะเด่น [2] ซึ่งพิจารณาในส่วนของการหมุน หรือเอียง (orientation) เนื่องจากภาพหัวอ่านเขียนได้ถูกจำกัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของการเคลื่อนที่ (translation) และการเปลี่ยนอัตราส่วนของภาพ (scaling) ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงของการหมุนหรือเอียงของรูปจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการจัดวางที่ได้ตำแหน่งและไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนถาดขนส่ง



รูปที่ 1 ลักษณะการวางของหัวอ่านเขียนในถาดขนส่ง

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการประมวลผลภาพเพื่อหาขอบของภาพหัวอ่านเขียนด้วยวิธีมอร์ฟอโลจิกคอล นำไปสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตเพื่อตั้งลักษณะเด่น โดยนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการจัดวางที่ได้ตำแหน่งและไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนถาดขนส่ง

2. การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล

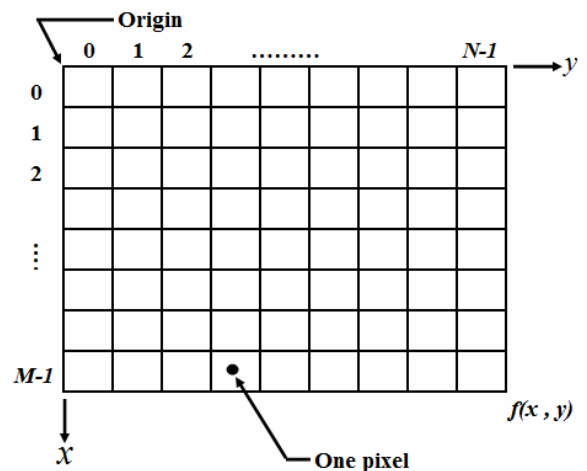
การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล เป็นกระบวนการที่ใช้ในการจัดการข้อมูลที่เป็นรูปภาพต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพและการวิเคราะห์รูปภาพโดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ เช่น กระบวนการทางเซต เพื่อให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ในงานวิจัยใช้รูปแบบของภาพเป็นแบบบิตแมพ ซึ่งเป็นรูปแบบของภาพที่ไม่มีการบีบอัด [4] ให้อยู่ในลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าหรือดิจิทัล เพื่อที่จะนำข้อมูลไปทำการปรับปรุงภาพต่อไป

2.1 การเสนอภาพเชิงดิจิทัล

ในภาพเชิงดิจิทัลทั่วไปจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชัน 2 มิติหรือ 2D ก็คือ $f(x, y)$ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $M \times N$ (M คือ แถวและ N คือ หลัก) [4] ค่าฟังก์ชัน $f(x, y)$ แสดงค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่ง (x, y) โดยที่ค่าของ (x, y) เป็นค่าแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete)

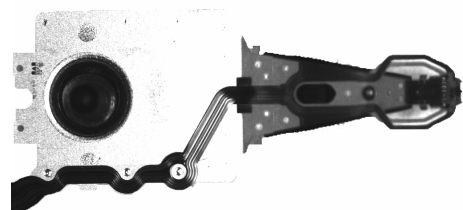
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาพเชิงดิจิทัลจะประกอบไปด้วยค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่ง

ส่วนประกอบนี้เรียกว่า พิกเซล (pixel) ดังแสดงในรูปที่ 2 แสดงการเสนอภาพเชิงดิจิทัล



รูปที่ 2 การเสนอภาพเชิงดิจิทัลรูปแบบ $f(x, y)$

ค่าความเข้มของแสงในภาพโทนสีเดียวซึ่งจะเรียกว่า ระดับความเทา (gray scale) ดังนั้นภาพโทนสีเดียวจะเรียกว่า ภาพโมโนโครม (monochrome image) หรือ ภาพอินเทนซิตี (intensity image) ซึ่งจำนวนระดับความเทาจะบ่งบอกถึงความละเอียดของภาพ ถ้าภาพมีความละเอียดเท่ากับ 1 บิต ($2^1 = 2$) จะมีภาพอยู่ 2 ระดับ คือ สีดำและสีขาว ซึ่งจะเรียกว่า ภาพไบนารี (binary image) ส่วนภาพโมโนโครมจะมีความละเอียดเท่ากับ 8 บิต



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 (ก) แสดงภาพโมโนโครมของหัวอ่านเขียน และ (ข) แสดงภาพไบนารีของหัวอ่านเขียน

2.2 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

การปรับปรุงภาพเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพเชิงดิจิทัล วัตถุประสงค์หลักก็คือ การประมวลผลภาพต้นแบบให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกว่า ซึ่งกระบวนการปรับปรุงภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการปรับเปลี่ยนความเทา (gray level transformation) การปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกัน (histogram equalization) การกรองภาพ (filtering) เป็นต้น [4]

2.2.1 Low pass filtering

ในงานวิจัยนี้การกรองภาพถูกเลือกใช้ในการปรับปรุงภาพเนื่องจากการกรองภาพสามารถกำจัดสิ่งรบกวน [15] และตัดรายละเอียดบางส่วนที่ไม่ต้องการออกไปได้ ภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลดังรูปที่ 3(ก) ที่ได้ทำการถ่ายภาพด้วยกล้อง CCD ถูกนำเข้าสู่การปรับปรุงภาพด้วยวิธีการกรองสิ่งรบกวน (noise filtering) เพื่อเตรียมภาพให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการและกำจัดจุดหรือเส้นที่ไม่ต้องการออกไป

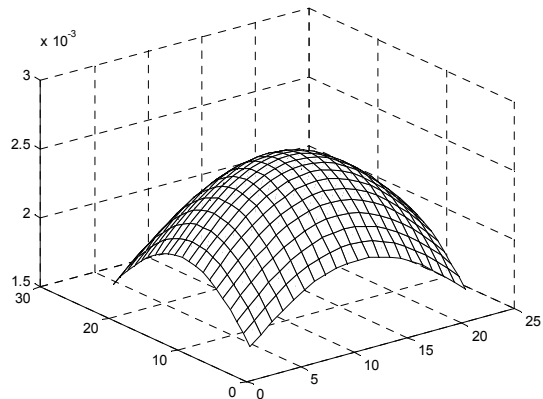
การกรองสิ่งรบกวนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เกาส์เซียนฟิลเตอร์ริง (Gaussian filtering) [15] เพื่อนำมาทำเรียบ (smoothing) กับภาพหัวอ่านเขียน ซึ่งข้อดีของการทำเรียบด้วยเกาส์เซียน คือสามารถกำจัดการเปลี่ยนแปลงของการลดลงตามเวลาของข้อมูลแบบขั้นบันได ซึ่งในลักษณะนี้กลุ่มของข้อมูลที่อยู่ติดกันจะลดลงอย่างต่อเนื่องและไม่กระเพื่อม (ripple) โดยมีการกระจายตัวตามรูปแบบดังสมการที่ 1

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

โดยที่ $G(x, y)$ คือ ฟังก์ชันเกาส์เซียนที่มีการกระจายตัวในฟังก์ชัน 2 มิติ (x, y) โดยมีพารามิเตอร์ σ เป็นตัวควบคุมการกระจายตัวหรือแฟคเตอร์การกระจาย (spread factor) ของฟังก์ชันเกาส์เซียน และจากสมการที่ 1 สามารถแสดงฟังก์ชันเกาส์เซียนที่มีการกระจายตัวได้ดังรูปที่ 4

กระบวนการทำเกาส์เซียนฟิลเตอร์ริงจะนำเอาการกระจายตัวในฟังก์ชัน 2 มิตินี้ไปทำคอนโวลูชัน (convolution) [4,9] กับภาพหัวอ่านเขียน ซึ่ง

ปฏิบัติการคอนโวลูชันจะกระทำในทิศทางแกน x ของภาพ และหลังจากนั้นก็กระทำในทิศทางแกน y ของภาพเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4 แสดงฟังก์ชันเกาส์เซียนที่ $\sigma=15$

ผลลัพธ์ของกระบวนการทำ low pass filtering โดยใช้เกาส์เซียน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลผ่านการทำ low pass filtering

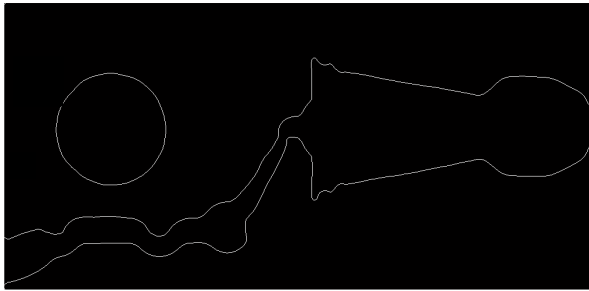
ผลของการทำ low pass filtering โดยใช้เกาส์เซียน จะทำให้จุดที่ไม่ต้องการสามารถลบออกได้และต่อเส้นที่ขาดไม่ต่อเนื่องได้ดีขึ้น

2.2.2 Morphological

กระบวนการ morphological เป็นการประมวลผลภาพ โดยใช้การถ่ายเทหรือเปลี่ยนรูปของรูปภาพหรือวัตถุ เช่น การทำให้บาง การทำให้หนา และการเติมให้เต็ม ด้วยการกระทำบนพื้นฐานของเซต [6,7] ซึ่งเป็นการแยกบริเวณวัตถุออกจากพื้นหลังของภาพหรือเป็นหาขอบของภาพอีกวิธีหนึ่ง

ภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ได้จากการทำ low pass filtering จะผ่านกระบวนการ morphological โดย

เลือกใช้ตัวปฏิบัติการชนิด removing ซึ่งข้อดีก็คือสามารถกำจัดพิกเซลภายในที่ไม่ต้องการออกได้หรืออีกทำนองหนึ่งก็คือสามารถกำจัดรายละเอียดที่ซับซ้อนหรือไม่จำเป็นออกไปได้ อีกทั้งยังเป็นการลดจำนวนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภาพลงได้ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลผ่านการทำ morphological

ภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ผ่านการ morphological แล้วนั้นจะได้เส้นรอบรูปในส่วนที่เป็นพื้นผิวสีเข้มหรือดำ โดยจะปรากฏเป็นขอบของหัวอ่านเขียน จะสังเกตเห็นว่าสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการจะถูกกำจัดออกไปหรืออาจมีส่วนน้อยบ้างยังคงเหลืออยู่ ซึ่งสามารถดำเนินการกำจัดได้ในขั้นตอนของการทำ low pass filtering ได้

3. การสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตแบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันแปร (Invariant Moment)

ในงานวิจัยนี้ได้นำค่า invariant moment มาทำการหาค่าคุณสมบัติทางเรขาคณิต[10,11] ซึ่งค่าของ invariant moment จะมีลักษณะที่ไม่ผันแปรไปตามลักษณะการหมุน, การเอียง และการย่อหรือขยาย นอกจากนั้น การหมุนของภาพอาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ อย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงจำนวนของพิกเซลและการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกเซลของภาพอาจเป็นผลทำให้คุณสมบัติทางเรขาคณิตผันแปรตามการหมุนหรือย่อขยายได้ [10]

ในรูปแบบของภาพสองมิติ ค่าโมเมนต์ (m) ที่ลำดับ (p,q) ใดๆ ของรูปภาพที่มีฟังก์ชัน $f(x,y)$ โดยที่ขนาดของภาพมีขนาดเป็น $M \times N$ พิกเซล สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^p y^q f(x,y) \quad (2)$$

โดยที่ p และ q เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นค่าลบ เช่น $p, q = 0, 1, 2, \dots$

ในการทำนองเดียวกัน โมเมนต์จุดศูนย์กลาง (central moment) สามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x,y) \quad (3)$$

โดยที่ $p + q > 1$

จากสมการที่ 3 จุดศูนย์กลางของภาพ (centroid) ซึ่งก็คือพิกัด $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ สามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (4)$$

ซึ่งคุณลักษณะของ invariant moment ได้ผ่านการพิสูจน์และนิยามกันอย่างแพร่หลายโดย Hu [11] โดยได้จาก 2nd order moment และ 3rd order moment จะมีค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการคำนวณนิยมใช้ค่า moment ใน 3 อันดับต้น ดังต่อไปนี้

$$M_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (5)$$

$$M_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (6)$$

$$M_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$M_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (8)$$

$$M_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (9)$$

$$M_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (10)$$

$$M_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (11)$$

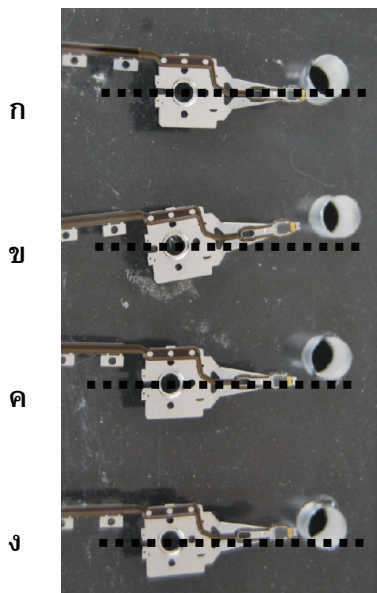
โดยที่คุณลักษณะทั้ง 7 ของ invariant moment จะเป็นคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงของการย่อ การขยาย การเคลื่อนย้ายและการหมุน

4. วิธีทำการวิจัย

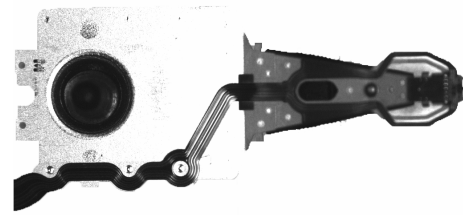
ขั้นตอนในการทำวิจัยนี้เริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างข้อมูลภาพ การปรับปรุงภาพ การแยกบริเวณภาพและวิเคราะห์ภาพ และการสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตได้ดังนี้

4.1 การเก็บตัวอย่างข้อมูลภาพ (Data Aquisition)

ถ่ายภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลจริงจากกล้อง CCD ที่มีขนาดความละเอียดของภาพที่ 1024x768 พิกเซล ให้ระยะห่างระหว่างกล้อง CCD และพื้นที่วางหัวอ่านเขียนข้อมูลทีระยะ 30 เซนติเมตร ทำการถ่ายภาพหัวอ่านเขียนข้อมูล ดังรูปที่ 7 จำนวน 1 รูปแบบผลิตภัณฑ์ โดยมีจำนวนภาพรูปแบบทั้งหมด 20 ภาพ และเป็นลักษณะจัดวางที่ได้ตำแหน่ง ดังรูปที่ 8 ให้จัดวางหัวอ่านเขียนข้อมูลให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน โดยใช้หมุดสีดำยึดหัวอ่านเขียนข้อมูล และให้วางทำมุม 0 องศาในแนวแกนนอนซึ่งเป็นตำแหน่งอ้างอิงของลักษณะจัดวางที่ได้ตำแหน่ง และใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในงานวิจัยนี้ด้วย



รูปที่ 7 (ก,ข,ง) แสดงหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ไม่อยู่แนวศูนย์องศา และ(ค) แสดงหัวอ่านเขียนข้อมูลที่อยู่แนวศูนย์องศา



รูปที่ 8 แสดงภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

4.2 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

เมื่อได้ภาพจากกล้อง CCD แล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการกรองสิ่งรบกวน (noise filtering) ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อเตรียมภาพให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการและกำจัดจุดหรือเส้นที่ไม่ต้องการออกไป ขั้นตอนนี้ก่อนจะทำการปรับปรุงภาพ จะทำการตัด (crop) ภาพต้นแบบที่มีขนาด 1024x768 พิกเซล ให้เป็นภาพที่มีขนาด 1024x500 พิกเซล เพื่อให้ขนาดของภาพเล็กลงซึ่งเป็นการลดพื้นที่หน่วยความจำในการประมวลผลและนำพื้นที่ของภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ต้องการใช้งานมาเท่านั้น ภาพที่ crop แล้วจะนำมาทำการแยกกลุ่มทั้งหมด 4 กลุ่ม โดยให้มีการหมุนตามแนวองศาในแนวนอนโดยเริ่มต้นที่ศูนย์องศา จากนั้นเปลี่ยนองศาที่ -5 องศา, -0.5 องศา, 0.5 องศาและ 5 องศา ตามลำดับ รวมตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมด 5 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ภาพ รวมเป็น 100 ภาพ จากนั้นนำภาพทั้งหมดมาทำ low pass filtering โดยการสร้างเกาส์เซียนมาสก์ขนาด 21x21 พิกเซล โดยที่ σ เป็นค่าแฟคเตอร์การกระจายเป็น 15 และจากขั้นตอนการปรับปรุงภาพ จะได้ภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่มีลักษณะการหมุนตามแนวองศาในแนวนอน คือ -5 องศา, -0.5 องศา, 0 องศา, 0.5 องศาและ 5 องศา ที่ผ่านการกรองด้วยเกาส์เซียนแล้วตามลำดับ

จากรูปที่ 9 ภาพที่ผ่านการกรองด้วยเกาส์เซียนหรือ low pass filtered image จะถูกเก็บเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการหาลักษณะเด่นทางเรขาคณิตต่อไป

วิธีการ / มุม	-5 องศา	-0.5 องศา	0 องศา	0.5 องศา	5 องศา
เกาส์เซียน ฟิลเตอร์รีจ					
มอर्फอโลจิคอล					

รูปที่ 9 แสดงภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ผ่านมาวิธีการปรับปรุงภาพที่มุมต่างๆ

4.3 การแยกบริเวณภาพและวิเคราะห์ภาพ (Image Segmentation and Image Analysis)

เมื่อได้ภาพหัวอ่านเขียนที่ผ่านการทำ low pass filtering แล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการแยกบริเวณภาพ หรือการหาขอบของภาพของภาพหัวอ่านเขียน ในขั้นตอนนี้ภาพหัวอ่านเขียนที่ผ่านการกรองด้วยเกาส์เซียนจะถูกทำให้เป็นภาพไบนารี จากนั้นจะผ่านกระบวนการ morphological โดยเลือกใช้ตัวปฏิบัติการชนิดต่างๆ บนโปรแกรม MATLAB เช่น bwareaopen เป็นการกำจัดลักษณะรูเล็กๆของรูปภาพที่มีค่าพิกเซลเป็นศูนย์หรือสีขาวออก dilate เป็นการกระทำทำให้ภาพใหญ่ขึ้นโดยการเปิดช่องและ remove เป็นการกำจัดพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งการหาขอบของภาพนี้จะถูกสกัดออกมาจากภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกบริเวณวัตถุเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

จากรูปที่ 9 ภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงจุดสำคัญที่ต้องการ เช่น ตำแหน่งรูหลัก ส่วนของแขนสปริงและส่วนของแถบสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถบ่งบอกลักษณะของหัวอ่านเขียนข้อมูลได้

4.4 การสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิต (Invariant Moment)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการสกัดหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตของภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ผ่านมาการดึงลักษณะเด่นออกมาแล้วเพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนถาด

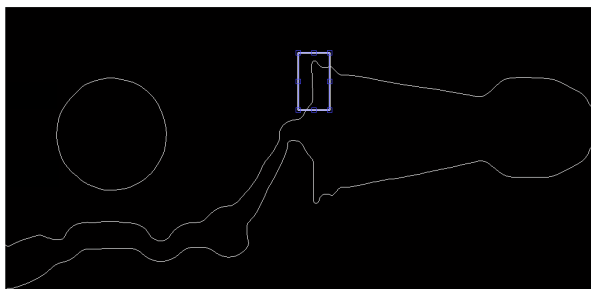
ขนส่ง ในขั้นตอนนี้จะทำค่า invariant moment มาใช้ในการทดสอบการหมุนเอียงของหัวอ่านเขียนเมื่อแปรผันไปตามองศาที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานได้คือ เมื่อองศาการหมุนเปลี่ยนไปลักษณะของหัวอ่านเขียนยังคงรูปร่างลักษณะเดิมหรือไม่

ในงานวิจัยนี้ทำการเก็บค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่าก็คือ M1-M7 ซึ่งเป็นค่าที่เด่นชัดและเพียงพอในการพิจารณาการหมุนเอียงได้ [13] จากการวัดค่าทั้งหมดของ M1-M7 ซึ่งได้มีการกำหนดค่าองศาที่แตกต่างกัน คือ -5 องศา, -0.5 องศา, 0.5 องศาและ 5 องศา ตามลำดับ

จากรูปที่ 9 ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์ลักษณะการจัดวางที่ได้ตำแหน่งและ ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนข้อมูล โดยการตรวจสอบการลาดเอียง (skew) ในแนวองศาโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนรูปของฮัฟ (Hough transform)

4.5 การตรวจสอบการลาดเอียงโดยการเปลี่ยนรูปของฮัฟ (Skew Detection by Hough Transform)

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบมุมลาดเอียงของหัวอ่านเขียนข้อมูล โดยการตรวจสอบมุมลาดเอียง (skew) ในแนวองศา จะใช้เทคนิคการเปลี่ยนรูปของฮัฟ [4,14] ในการหาเส้นตรงในจุดที่ต้องการทราบมุมลาดเอียง ทำได้โดยการ crop ตำแหน่งที่ต้องการหา มุมลาดเอียงบนภาพหัวอ่านเขียนที่ได้จากภาพที่ 10 ในแต่ละองศาที่เปลี่ยนไป ดังแสดงตารางที่ 1



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งหามุมลาดเอียงบนภาพหัวอ่านเขียน

จากตำแหน่งที่ต้องการหามุมลาดเอียงบนภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลจากภาพที่ 10 นำมาคำนวณ Hough transform บนใช้ฟังก์ชัน hough บนโปรแกรม MATLAB

5. ผลการทดสอบ

ค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า ก็คือ M1-M7 ทั้งหมด 5 กลุ่มคือ -5 องศา, -0.5 องศา, 0.5 องศา และ 5 องศา ตามลำดับ แต่ละกลุ่มมีจำนวน 20 ตัวอย่างภาพนำมาเขียนกราฟ จะได้กราฟของค่า invariant moment ทั้ง 5 ค่า ดังรูปที่ 11 โดยจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มของการกระจายไปในทิศทางเดียวกัน แต่ยังมีกระจายเนื่องจากการปรับมุมองศาทั้ง 5 กลุ่ม เพื่อทดสอบการกระจายดังกล่าว จึงได้นำการทดสอบทางสถิติมาเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า โดยทำการวัดค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงตารางที่ 1 โดยนำค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) [16] เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ invariant moment ทั้ง 7 ค่าที่มีค่าองศาต่างกัน จำนวน 5 กลุ่ม

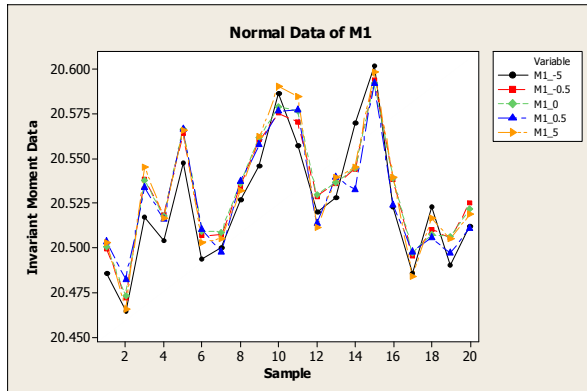
และแต่ละกลุ่มมี 20 ตัวอย่างข้อมูล โดยตั้งสมมติฐานได้คือ

H_0 : ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ invariant moment ทั้ง 7 ค่า ที่มีค่าองศาต่างกัน ไม่มีความผันแปร

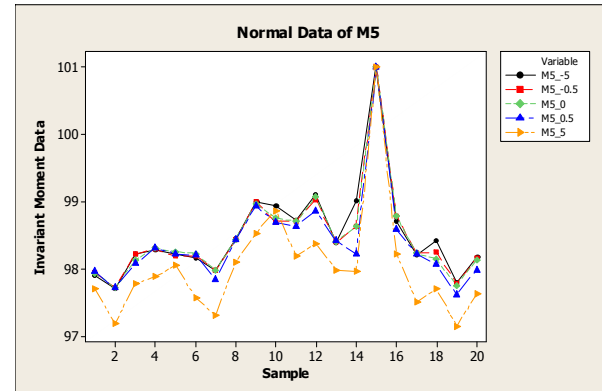
H_1 : ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ invariant moment ทั้ง 7 ค่า ที่มีค่าองศาต่างกัน มีความผันแปร (20)

ในการกำหนดสมมติฐานนี้ ซึ่งในการทดสอบ H_0 คือสมมติฐานหลัก ซึ่งก็คือค่าองศาที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่อค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า และ H_1 คือสมมติฐานอื่น ซึ่งก็คือค่าองศาที่เปลี่ยนไปซึ่งมีผลต่อค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่านั้นเอง โดยที่ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นด้วยระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งผลของการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 6

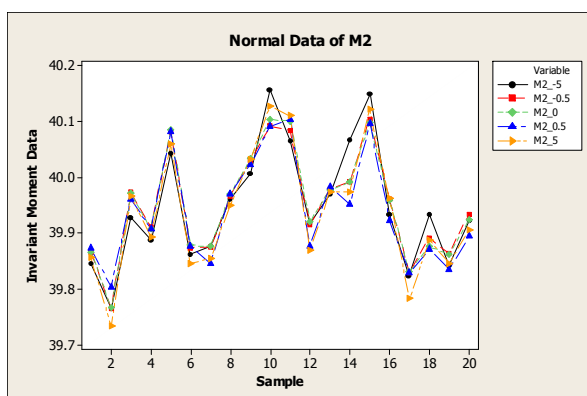
ข้อดีของการใช้ ANOVA เพื่อต้องการทดสอบความเชื่อมั่นของข้อมูล 7 invariant moment ว่ายังอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการหรือไม่ สามารถหาความแปรปรวนโดยรวม และสามารถแยกออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ คือค่า invariant moment ของภาพที่ได้รับการควบคุม คือ ค่าองศาที่ - 5 องศา, -0.5 องศา, 0.5 องศาและ 5 องศาและความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม ก็คือรีพีทเทเบิลิตี้ เช่น การวัดซ้ำแต่ละองศาจำนวน 20 ครั้ง แล้วพิจารณาความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่เมื่อเทียบกับผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างการทดสอบ



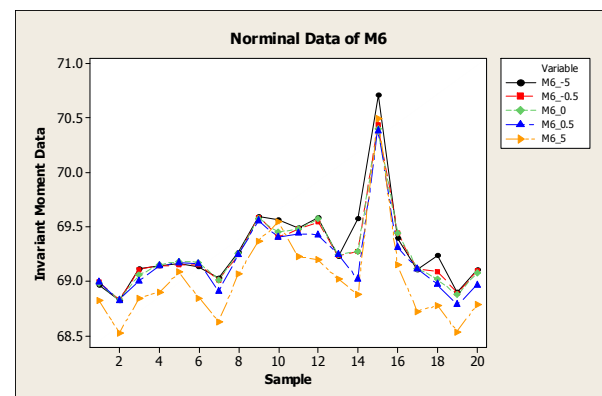
(ก)



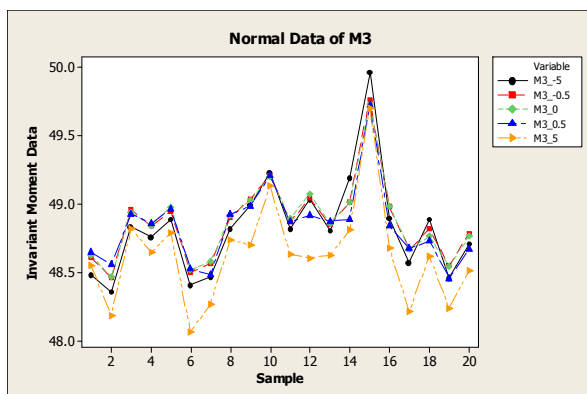
(จ)



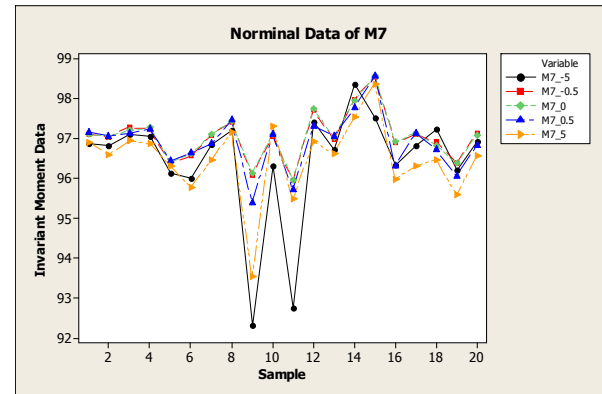
(ข)



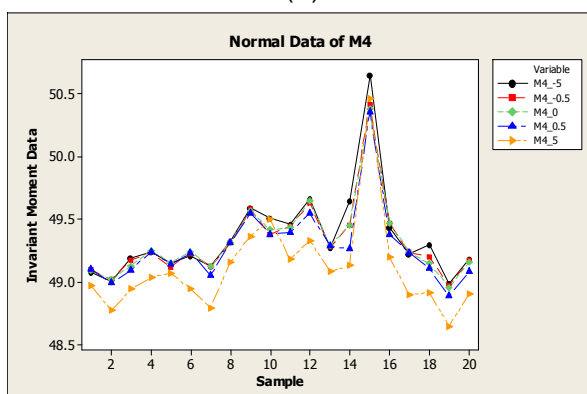
(ฉ)



(ค)



(ช)



(ง)

รูปที่ 11 ข้อมูลการวัดค่า invariant moment (ก)
ค่า M1 (ข) ค่า M2 (ค) ค่า M3 (ง) ค่า M4 (จ) ค่า M5
(ฉ) ค่า M6 และ (ช) ค่า M7

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า (หน่วย : พิกเซล log ฐานสิบ)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
	ที่ -5 องศา						
	ค่าเฉลี่ย	20.5240	39.9478	48.8268	49.3629	98.5231	69.3057
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0355	0.1062	0.3649	0.3621	0.7135	0.4053
	ที่ -0.5 องศา						
	ค่าเฉลี่ย	20.5312	39.9494	48.8669	49.3281	98.4873	69.2625
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0307	0.0949	0.2937	0.3098	0.6949	0.3468
	ที่ 0 องศา						
	ค่าเฉลี่ย	20.5321	39.9500	48.8682	49.3245	98.4842	69.2580
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0312	0.0972	0.2881	0.3076	0.7020	0.3464
	ที่ 0.5 องศา						
	ค่าเฉลี่ย	20.5285	39.9400	48.8339	49.2826	98.4048	69.2035
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0312	0.0965	0.2842	0.3067	0.7078	0.3513
	ที่ 5 องศา						
	ค่าเฉลี่ย	20.5315	39.9378	48.8254	49.1165	98.0417	69.0203
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0356	0.1112	0.3642	0.3793	0.8227	0.4390

ตารางที่ 2 ANOVA ของ invariant moment ที่ 1

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	0.00089	0.00022	0.21
รีพีทะบิลิตี้	95	0.10292	0.00108	
ทั้งหมด	99	0.10381		

ตารางที่ 3 ANOVA ของ invariant moment ที่ 2

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	0.0026	0.0006	0.06
รีพีทะบิลิตี้	95	0.9769	0.0103	
ทั้งหมด	99	0.9795		

ตารางที่ 4 ANOVA ของ invariant moment ที่ 3

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	0.828	0.207	2.01
รีพีทะบิลิตี้	95	9.8	0.103	
ทั้งหมด	99	10.628		

ตารางที่ 5 ANOVA ของ invariant moment ที่ 4

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	0.757	0.189	1.69
รีพีทะบิลิตี้	95	10.634	0.112	
ทั้งหมด	99	11.391		

ตารางที่ 6 ANOVA ของ invariant moment ที่ 5

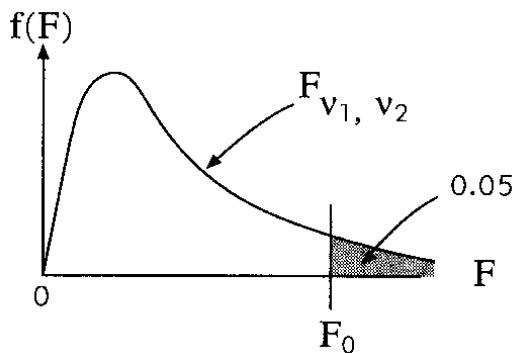
แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	3.152	0.788	1.48
รีพีทะบิลิตี้	95	50.588	0.533	
ทั้งหมด	99	53.74		

ตารางที่ 7 ANOVA ของ invariant moment ที่ 6

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	1.005	0.251	1.74
รีพีทะบิลิตี้	95	13.693	0.144	
ทั้งหมด	99	14.698		

ตารางที่ 8 ANOVA ของ invariant moment ที่ 7

แหล่งความผันแปร	DF	SS	Ms	F
ทรีตเมนต์	4	7.022	1.756	2.05
รีพีทะบิลิตี้	95	81.253	0.855	
ทั้งหมด	99	88.275		



รูปที่ 12 กราฟการแจกแจงของ F

จากผลของการทดสอบจากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาจากตารางในแนวนอน จะพบว่าแหล่งความผันแปรทั้งหมดสามารถแยกได้คือ 1.ทริตเมนต์ ซึ่งก็คือค่า invariant moment ของภาพที่ได้รับการควบคุมและ 2. รีพีทเทบิลิตี้คือความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม โดยที่ SS คือ sum of square หรือค่าผลต่างของค่า invariant moment ในรูปผลต่างกำลังสอง ซึ่งเป็นความแตกต่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ และ DF (degree of freedom) หรือ องศาอิสระของข้อมูลซึ่งจำนวนข้อมูลมากพอที่จะอนุมานค่าเฉลี่ยได้ หากมีการปรับทริตเมนต์ให้มากขึ้น ค่า DF ก็จะมีมากขึ้นตามลำดับ Ms หรือ mean square คือค่าความแปรปรวนของทริตเมนต์และรีพีทเทบิลิตี้ ซึ่งเป็นการประมาณค่าความแปรปรวนได้ในทำนองเดียวกันจะนำค่า Ms นี้ไปทำการประมาณค่าการแจกแจง F ได้

เพื่อที่จะหาขอบเขตการตัดสินใจว่า ค่าแจกแจง F ที่ได้นั้นจะสามารถยอมรับได้หรือไม่ได้

$$F_0 > F_{\alpha; v_1, v_2} \quad (21)$$

จากรูปที่ 12 แสดงขอบเขตของ F_0 ซึ่งหากค่า F จากตาราง ANOVA ตกอยู่ด้านขวาของ F_0 ก็จะมีผลให้ยอมรับสมมติฐาน H_0 โดยที่ F_0 คือ ความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากสมการที่ 21

โดยที่ $\alpha = 0.05$

$$v_1 = 4, v_2 = 95$$

α คือ ค่าระดับความมีนัยสำคัญหรือที่ความเชื่อมั่นที่ 95%

v_1 คือ ค่าองศาอิสระของทริตเมนต์

v_2 คือ ค่าองศาอิสระของรีพีทเทบิลิตี้

จากการแจกแจงแบบ F [16] สามารถหาค่า F_0 ได้คือ

$$F_{0.05; 4, 95} = 2.45 \quad (22)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าของ F จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 6 มีค่าน้อยกว่าค่า F จากสมการที่ 22 ดังนี้ $2.45 > 0.21, 0.06, 2.01, 1.69, 1.48, 1.74$ และ 2.05 จึงยอมรับ H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าองศาที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่อค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า

เมื่อทดสอบการหามุมลาดเอียงในแนวองศา โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนรูปของฮัฟ ในการหาเส้นตรงในจุดที่ต้องการทราบมุมลาดเอียงตามตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อองศาเปลี่ยนไปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า invariant moment ทั้ง 7 ค่า ยังคงไม่มีการผันแปรด้วยเช่นเดียวกัน

6. สรุปผลการทดลอง

ในการสร้างแบบจำลองการตรวจสอบลักษณะการจัดวางที่ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนนั้น เนื่องจากระบวนการประกอบจะมีปัจจัยของความเผื่อ (tolerance) ที่มีอิทธิพลต่อถาดชนส่งและการป้อนถาดชนส่งเข้าสู่ตำแหน่งการหยิบจับของหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตแบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันแปรและระบุงศาของหัวอ่านเขียนด้วยการเปลี่ยนรูปโดยฮัฟได้ การสกัดภาพเพื่อหาลักษณะเด่นได้ดีนั้น สอดคล้องกับการปรับปรุงภาพด้วยการปรับค่าการกระจายบนฟังก์ชัน low pass filter ที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่าการกระจายเป็น 15 เพื่อขจัดสิ่งรบกวนออกไปให้มากที่สุด และการสกัดลักษณะเด่นของภาพด้วย morphological โดยใช้ remove operator เช่นเดียวกัน การระบุถึง

องศาของหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้น ในงานวิจัยได้ใช้ Hough transform เนื่องจากเป็นตัวดำเนินการที่กระทำบนพิกเซลของภาพและการระบุถึงองศาที่แม่นยำ

แบบจำลองการตรวจสอบลักษณะการจัดวางที่ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของภาพถ่ายของหัวอ่านเขียนข้อมูลที่มีลักษณะของแสงที่แตกต่างกันมากที่ตกกระทบบนหัวอ่านเขียนเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของหัวอ่านเขียนเองซึ่งมีผลทำให้จุดรบกวนที่ต้องการกำจัดออกไปยังคงอยู่ จะส่งผลให้การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตผิดพลาดได้ อีกข้อจำกัดหนึ่งก็คือความละเอียดของภาพที่ได้จากกล้อง CCD มีความละเอียดน้อยเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อการปรับปรุงภาพหัวอ่านเขียนให้มีประสิทธิภาพที่ดีก่อนการวิเคราะห์ได้

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตแบบโมเมนต์ที่ไม่มีการผันและระบุงองศาของหัวอ่านเขียนข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองการตรวจสอบลักษณะการจัดวางที่ไม่ได้ตำแหน่งของหัวอ่านเขียนข้อมูล เพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้น หากแบบจำลองได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องก็จะสามารถใช้เป็นเครื่องมือในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำมากยิ่งขึ้น และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] J. Y. Chang and J. Y. Shen. (2008). Machine Vision Assistance for Flex Cable-Actuator Comb Manufacturing in Hard Disk Drives, in *Mechatronics and Machine Vision in Practice*,

2008. *M2VIP 2008. 15th International Conference on*, 2008, pp. 195-200.

[2] G. R. Kishor, D. P. Mital, and W. L. Goh. (1995). Rotation invariant perimeter and invariant compactness for texture elements, in *Electronic Technology Directions to the Year 2000*, 1995. Proceedings., 1995, pp. 205-210.

[3] A. Sim, B. Parvin, and P. Keagy. (1995). Invariant representation and hierarchical network for inspection of nuts from X-ray images, in *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, 1995, pp. 738-743 vol.2.

[4] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. (2010). *Digital Image Processing 3rd*, Prentice Hall.

[5] X. Jianning. (2008). Shape matching using morphological structural shape components, in *Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on*, 2008, pp. 2596-2599.

[6] S. H. I. Putera and Z. Ibrahim. (2010). Printed circuit board defect detection using mathematical morphology and MATLAB image processing tools, in *Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference on*, 2010, pp. V5-359-V5-363.

[7] L. Chao, Z. Lindu, and S. Shengnan. (2010). An adaptive morphological edge detection algorithm based on image fusion, in *Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress on*, 2010, pp. 1072-1076.

[8] Settawit Keeratichaiset and Sartra Wongthanavas. (2009). Geometric invariant logo recognition using distance to centroid feature extraction, paper presented in *the 35th congress on science and technology of Thailand 2009*, Chonburi, Thailand.

- [9] J. M. Ramirez, E. M. Flores, J. Martinez-Carballido, R. Enriquez, V. Alarcon-Aquino, and D. Baez-Lopez. (2010). An FPGA-based architecture for linear and morphological image filtering, in *Electronics, Communications and Computer (CONIELECOMP)*, 2010 20th International Conference on, 2010, pp. 90-95.
- [10] H. Zhihu and L. Jinsong. (2010). Analysis of Hu's moment invariants on image scaling and rotation, in *Computer Engineering and Technology (ICCET)*, 2010 2nd International Conference on, 2010, pp. V7-476-V7-480.
- [11] H. Ming-Kuei. (1962). Visual pattern recognition by moment invariants, *Information Theory, IRE Transactions on*, vol. 8, pp. 179-187, 1962.
- [12] J. Flusser and T. Suk. (2006.) Rotation Moment Invariants for Recognition of Symmetric Objects. Image Processing, *IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 3784-3790, 2006.
- [13] S. Paschalakis and P. Lee. (1999) Pattern recognition in grey level images using moment based invariant features, in *Image Processing And Its Applications*, 1999. Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 465), 1999, pp. 245-249 vol.1.
- [14] R.C. Gonzalez, R.E. Woods and S.L. Eddins. (2004). *Digital Image Processing using MATLAB*, 1st Edition, New Jersey, Prentice Hall.
- [15] K. Thongyoun, A. Seantorn, S. Kaitwanidvilai and S. Kanprachar. (2010). Design of A Gaussian Filter bases on Particle Swarm Optimization for Automatic Visual Inspection System, in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientist (IMECS)*, 2010, vol2, March 17-19, 2010.
- [16] Mark J. Kiemele, Stephen R. Schmidt, Ronald J. Berdine. (1999). Basic Statistics Tools for continuous improvement. 4th , *Air Academy Press*, 1999.