

การเปรียบเทียบเทคนิคการแบ่งส่วนภาพ สำหรับตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรพิมพ์

Comparison of Image Segmentation Techniques for PCB Quality Inspection

จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร*

Jakkrit Onshaunjit and Jakkree Srinonchat*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

39 Moo 1, Rangsit-Nakhornayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

*E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th, Telephone Number: +6689-777-5038

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการผลิตจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพในทุกขั้นตอนรวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เช่นกัน การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เป็นขั้นตอนแรกๆ ในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องทำการตรวจสอบคุณภาพอย่างละเอียดทำให้สามารถคัดแยกชิ้นงานที่เสียออกแต่เนิ่นๆ ไม่ต้องปล่อยให้เสร็จสิ้นกระบวนการจึงจะมีการตรวจเช็ค เพราะถึงเวลานั้นชิ้นงานจะมีมูลค่าที่สูงทำให้สูญเสียต้นทุนการผลิตมาก การตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลภาพแบบดิจิทัลเป็นวิธีการที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์เพราะสามารถช่วยให้ประเมินได้อย่างละเอียด เทียบตรง และรวดเร็วกว่า ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลที่ใช้คือการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งหากกระบวนการนี้มีความผิดพลาดจะทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดลงด้วย งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบเทคนิคการแบ่งส่วนภาพสำหรับงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งมีทั้งหมด 4 วิธีการดังนี้ 1) Global Thresholding 2) Adaptive Thresholding 3) K-means Clustering และ 4) Fuzzy C-means Clustering โดยภาพแผ่นวงจรพิมพ์จำนวน 500 ภาพ ถูกนำมาใช้ในการทดลองและใช้ตัวชี้วัด Intersection over Union, Accuracy, Precision, Recall และ Elapse Time ในการประเมินหาประสิทธิภาพของ 4 วิธีการข้างต้น ผลการทดลองพบว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means มีค่าความถูกต้องมากที่สุดคือ 98.54% รองลงมาคือวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means คือ 97.43% ถึงแม้ว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means จะมีค่าความถูกต้องมากที่สุด แต่ก็ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากเช่นกัน คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means ซึ่งมีความถูกต้องรองลงมาแต่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า โดยทำการแบ่งกลุ่มย่อยด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means จำนวน 2 รอบ ผลการวิจัยที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means ดังกล่าว จะได้ค่าความถูกต้องมากขึ้นอยู่ที่ 98.38% แต่ก็ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นอีกเล็กน้อย และเลือกใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means ที่ปรับปรุงขึ้นนี้เป็นวิธีการแบ่งส่วนภาพที่เหมาะสมกับการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ในงานวิจัยต่อไป

คำสำคัญ: การแบ่งส่วนภาพ, การประมวลผลภาพ, การตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรพิมพ์, เทรช โฮสต์, การจัดกลุ่ม

ABSTRACT

Quality processes control plays an important role not only in Electronics industry but also in the electronics piece parts manufacturing. Printed Circuit Board (PCB) fabrication is one of the beginning processes to produce the electronics piece parts that is required a sophisticated quality control inspection technique. This is to ensure that defective PCBs can be rejected in early stages which it is resulting in higher manufacturing cost than that beginning rejected PCB screening out. An automation of Printed Circuit Board's quality control inspection with a digital image processing technique is one of the introduced methods that it is not only solving that mentioned higher cost but also eliminating an inspection error from human eyes inspection method because it provides higher efficiency, accuracy and less time. One of steps in Digital Image Processing that plays an important role, and also determines the accuracy of PCB quality inspection is Image Segmentation. This research presents a comparison of different image segmentation techniques for PCB quality inspection, in which there are 4 methods as follows 1) Global Thresholding, 2) the Adaptive Thresholding, 3) K-means Clustering and 4) the Fuzzy C-means Clustering. There are a total of 500 images of PCB's that used as the input of this experiment. In this study, the Intersection over Union, Accuracy, Precision, Recall and Elapse Time parameters are used to evaluate the performance of those 4 methods mentioned above. The results show that the Fuzzy C-means Clustering and K-means Clustering methods provide the accuracy of 98.57 % and 97.43% respectively, in which they are better than other methods. Even though the Fuzzy C-means Clustering method gives the best accuracy but it takes much longer processing time than others. Therefore, an improving of K-means Clustering method that provides the second best in accuracy is initiated. In order to improve the accuracy of K-means Clustering method, a dividing of cluster with two iterations under K-means Clustering method is evaluated. The results show that mentioned improving method provides better accuracy of 98.38%, while processing time is slightly increased. Hence, Improve K-means clustering method is considered as an appropriated method for further study and analysis as well as to use for PCB's quality inspection in piece part electronics manufacturing.

Keywords: Image segmentation, Image processing, PCB Inspection, Threshold, Clustering

1. บทนำ

การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการแยกแยะและจดจำวัตถุต่างๆ โดยเฉพาะในระบบแมชชีนวิชัน (Machine Vision) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม แมชชีนวิชันหรืออาจเรียกว่าระบบวิชัน (Vision System) คือระบบที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการผลิต เนื่องจากระบบนี้สามารถตรวจเช็คได้เที่ยงตรงและแม่นยำกว่าการใช้คนตรวจสอบความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ และมีความละเอียดแม่นยำกว่าสายตามนุษย์ สามารถควบคุมคุณภาพได้สม่ำเสมอต่างจากสายตามนุษย์ที่อาจมีความเหนื่อยล้า เป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดได้ นอกจากนี้ระบบนี้ยังสามารถตรวจเช็คคุณภาพชิ้นงานได้ตั้งแต่ช่วงแรกๆ ของกระบวนการผลิต ซึ่งบางกระบวนการคนไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้นๆ ได้

ทำให้สามารถคัดแยกชิ้นงานที่เสียออกแต่เนิ่นๆ ไม่ต้องปล่อยให้เสร็จสิ้นกระบวนการถึงจะมีการตรวจเช็ค เพราะถึงเวลานั้นชิ้นงานมีมูลค่าที่สูงทำให้สูญเสียต้นทุนการผลิตและขั้นตอนแรกๆ ที่สำคัญในการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลก็คือการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

การแบ่งส่วนภาพเป็นกระบวนการที่ใช้แยกภาพออกเป็นหลายๆ ส่วน จุดมุ่งหมายของการจำแนกภาพก็เพื่อนำเสนอรูปภาพที่เห็นรายละเอียดชัดเจนขึ้น หรือเพื่อกำหนดขอบเขตบริเวณบนภาพที่สนใจ (Region of interest: ROI) นำไปวิเคราะห์ใช้งานอื่นๆ ทางด้านการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลต่อไป ในขั้นตอนการแบ่งส่วนอาจจะเลือกเจาะจงภาพวัตถุเลย หรือเลือกส่วนของภาพที่มีคุณสมบัติบางอย่างเหมือนกัน เช่น รูปร่าง สี หรือพื้นผิว ขึ้นอยู่กับว่าจะนำภาพไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบไหน เทคนิคการแบ่งส่วนภาพมีอยู่หลากหลาย

เทคนิค ในการดำเนินการวิจัยต้องเลือกเทคนิคให้เหมาะสมกับงานวิจัยนั้นๆ โดยเทคนิคต่างๆ เหล่านี้สามารถจำแนกประเภทได้พอสังเขปดังนี้ [1]

- Pixel (Threshold) - Based Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพ โดยดูจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว

- Edge (Boundary) - Based Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยอาศัยความไม่ต่อเนื่องของคุณสมบัติของพิกเซลบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลัง วิธีการนี้มุ่งที่ขอบของวัตถุเป็นหลัก ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปเส้นพรมแดนระหว่างพื้นที่ต่างๆ

- Area (Region) - Based Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของพิกเซลและความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่ โดยถ้าพิกเซลที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้จะได้พื้นที่ที่ต่อเนื่อง

- Physics - Based Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากลักษณะทางกายภาพของภาพ เช่น สัญญาณรบกวน, สี, พื้นผิว หรือไฮไลต์ของภาพ เป็นต้น

จากเทคนิคประเภทต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้มีการนำเทคนิคเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย มีทั้งงานวิจัยที่นำเทคนิคไปวิเคราะห์และใช้งานเฉพาะด้าน [2], [3] และงานวิจัยที่นำเทคนิคไปประยุกต์ดัดแปลงเป็นวิธีการใหม่เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพต่อไป [4]

ตัวอย่างของงานวิจัยที่ใช้การแบ่งส่วนภาพ แสดงดังต่อไปนี้

Chatklaw Jareanpon นำเสนอระบบการรู้จำวัตถุด้วยกล้องแบบ depth camera โดยใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-Nearest Neighbors และ Naïve Bayes สำหรับการตัดสินใจของหุ่นยนต์ ในงานวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้

กล้อง RGB และเซนเซอร์ Microsoft Kinect และพิจารณาเปรียบเทียบผลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบ [5]

Hong Yaoa และคณะ ได้ใช้วิธีการใหม่สำหรับการแบ่งส่วนภาพของภาพปลาออกจากภาพพื้นหลังที่ซับซ้อนกันเพื่อปรับปรุงความถูกต้องและความเสถียรของการแบ่งส่วนภาพ โดยใช้วิธีการของการแบ่งส่วนภาพแบบจัดกลุ่ม K-means และทำงานร่วมกับวิธีการ Mathematical Morphology เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองวิธีการนี้กับวิธีการ Canny edge detection, Otsu's method, level set segmentation, EM clustering segmentation และ K-means เดิม วิธีการใหม่นี้จะมีความถูกต้องและเสถียรภาพมากกว่า [6]

I. Kiruba Raji และ K. K. Thyagarajan ทำการวิเคราะห์เทคนิคการแบ่งส่วนภาพในการแยกใบสมุนไพรรอบจากพื้นหลังที่ซับซ้อนเพื่อการระบุสายพันธุ์ของใบไม้ ในงานวิจัยได้ทำการแบ่งส่วนของใบออกจากพื้นหลังโดยใช้ทั้งในส่วนของสี รูปร่าง และพื้นผิว จากการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ลักษณะรูปร่างมีสมรรถภาพในการแบ่งส่วนภาพใบไม้มากที่สุด และวิธีการ Chan-Vese ให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น โดยไม่มีผลกระทบกับ สี รูปร่าง และลักษณะอื่นๆ [7]

Phaichayon Kongchai และคณะ เสนอแนวคิดในการเตรียมความ สมดุลของข้อมูลก่อนทำการประมวลผลในระบบปฏิบัติการแบบขนาน เพื่อหารูปแบบการแบ่งจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means แบบขนาน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะเวลาของรูปแบบการแยกเท่าเทียมกันจะดีกว่ารูปแบบอื่น [10]

Pichet Wayalun, Natthariya Laopracha และ Saiyan Saiyod ทำการตัดแยกภาพโครโมโซม G-band ซึ่งอยู่ในพื้นฐานของวิธีการ Histogram Equalization, Adaptive Threshold, Flood-Fill, Canny Edge Detection และวิธีการ Axis-Aligned Bounding Boxes โดยเทคนิค HAFCA ซึ่งจะสามารถเพิ่มคุณภาพ

ภาพ และใช้วิธีการการเติมข้อมูลส่วนที่ขาดหายภายในภาพโครโมโซมได้ [11]

Preeti Panwar, Girdhar Gopal และ Rakesh Kumar ทำการเปรียบเทียบการแบ่งส่วนภาพของภาพสีด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means และวิธีการของ thresholding โดยดูผลการเปรียบเทียบจากพารามิเตอร์ต่างๆ ของการแบ่งส่วนภาพ เช่น Mean Square Error (MSE), Peak Signal-to-noise Ratio (PSNR) และ Signal-to-noise Ratio (SNR) จากการทดลองกับภาพสีจำนวน 4 ภาพ [13]

Put Panuwanchakorn และ Janjira Payakpate แสดงผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการแบ่งส่วนภาพกับภาพกล้วยไม้ โดยได้นำเทคนิคการแบ่งส่วนภาพทั้งหมด 6 เทคนิคมาทดสอบผ่าน โปรแกรม MATLAB R2008B ผลลัพธ์ที่ได้คือ เทคนิคการแบ่งส่วนภาพด้วยการขีดแบ่ง (Threshold-based Image Segmentation) และ เทคนิคการแบ่งส่วนภาพด้วยเส้นขอบ (Laplacian of Gaussian Image Segmentation) สามารถแสดงการแยกพื้นหลังของภาพออกจากส่วนตัวดอกกล้วยไม้ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเทคนิคการแบ่งส่วนภาพทั้งสองเทคนิคจะถูกนำไปใช้ในการพัฒนาต่อไป [14]

Saravanan M, Kalaivani B และ Geethamani R ใช้การแบ่งส่วนภาพของภาพถ่ายเอกซเรย์เต้านมด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means และวิธีการ thresholding เปรียบเทียบจากพารามิเตอร์ต่างๆ ของการแบ่งส่วนภาพ เช่น Mean Square Error (MSE), Peak Signal-to-noise Ratio (PSNR) [15]

Shiv Ram Dubey และคณะ เสนองานวิจัยที่ทำการตรวจจับส่วนของผลไม้ที่เน่าเสีย โดยใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means จากคุณลักษณะทางสีและพื้นที่ ในการทดลองได้ใช้กรณีศึกษาเป็นแอปเปิ้ลและประเมินผลจากการตรวจจับแอปเปิ้ลที่เน่าเสีย จากผลการทดลองทำให้เห็นการพัฒนาประสิทธิภาพของวิธีการแบ่งส่วนภาพผลไม้ส่วนที่เน่าเสีย ทั้งในส่วนของความแม่นยำและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล [18]

Sittichok Aunkaew, Thanate Khaorapong และ Montri Karnjanadecha ได้ออกแบบเครื่องมือตรวจสอบราชาวบนผิวเนื้อยางแผ่น ซึ่งได้จำแนกยางแผ่นที่มีราชาวออกจากออกจากรายยางแผ่นดี โดยใช้การประยุกต์หลักการทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพสินค้าทางการเกษตรที่มีปริมาณมากๆ และยากต่อการจำแนกแทนการใช้สายตามนุษย์ที่มีความจำกัดในการทำงานนานๆ ผลจากการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือตรวจสอบราชาวบนผิวเนื้อยางแผ่น สามารถจำแนกยางแผ่นได้ถูกต้องดีมาประมาณ 97.50% และความเร็วในการตรวจสอบได้เร็วมากใกล้เคียงกับการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ จึงทำให้สามารถนำเทคนิควิธีนี้ไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องตรวจสอบและคัดแยกยางแผ่นอัตโนมัติต่อไปได้ [19]

Zeynel Cebeci และ Figen Yildiz ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ของอัลกอริทึม K-means และอัลกอริทึม Fuzzy C-means ในการหากลุ่มย่อยของข้อมูลที่มีรูปร่างโครงสร้างของกลุ่มย่อย ที่แตกต่างกันออกไป [21]

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยในการตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรพิมพ์ ได้รวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

Jithendra P R Nayak และคณะ ได้คิดค้นอัลกอริทึมสำหรับระบบตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) โดยทำการตรวจจับข้อบกพร่องโดยใช้ภาพที่เป็นธรรมชาติ วิธีการนี้จะระบุข้อบกพร่องก่อนที่จะถึงขั้นตอนการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นแผ่นวงจรพิมพ์จะได้รับการแก้ไขใหม่อีกครั้ง และถ้าปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบเพิ่มอีก จะทำให้สามารถตรวจจับข้อบกพร่องของแผ่นวงจรพิมพ์ได้แม้กระทั่งจากภาพที่มีคุณภาพต่ำ [8]

M. Moganti และ F. Ercal ทำการสำรวจอัลกอริทึมสำหรับตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) อัตโนมัติ โดยในการสำรวจครั้งนี้จะมุ่งเน้นกลยุทธ์ในการวิเคราะห์ภาพและตรวจจับความผิดพลาดเป็นหลัก นอกจากนี้ยังรวมไปถึงเทคนิคใหม่ๆ ที่เพิ่งเกิดขึ้นด้วย [9]

Pratiksha R. Masalkar และ Prabha S. Kasliwal ได้เสนอแนะวิธีการระบุข้อบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (bare PCB) จำนวน 3 วิธีการ ได้แก่ 1) วิธีการ template matching จะทำการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพเทมเพลตโดยตรง 2) วิธีการ image subtraction จะสนใจในการตรวจสอบเฉพาะภาพแผ่นวงจรพิมพ์ที่น่าจะบกพร่องเมื่อเทียบกับภาพอ้างอิง และ 3) วิธีการ image morphology ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างภาพที่ทำการตรวจสอบกับภาพเทมเพลต [12]

Sharat Chandra Bhardwaj ได้ใช้อัลกอริทึม AOI สำหรับระบบตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) โดยทำการตรวจจับข้อบกพร่องของรูเจาะที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการผลิต มีเป้าหมายหลักเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมให้ระบบตรวจสอบน่าเชื่อถือและรวดเร็วยิ่งขึ้น ในกระบวนการตรวจสอบประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการวัดและขั้นตอนการตรวจจับ [17]

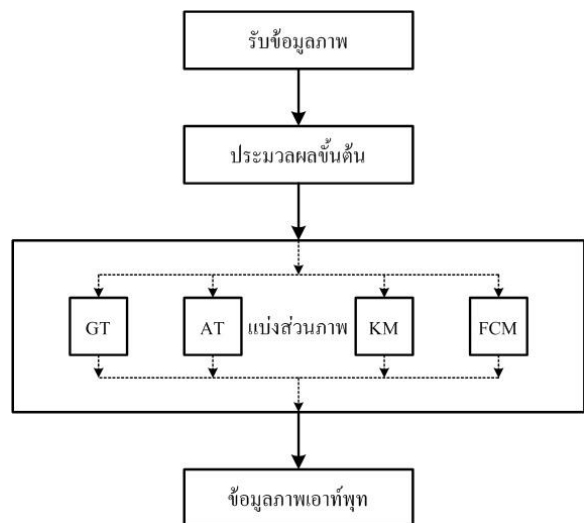
Snehal Rane, Vartika Rai และ Sukeshna Awate ได้จัดหาเทคนิคการตรวจจับข้อบกพร่องที่มีราคาถูกลงและครอบคลุมทุกเงื่อนไข ด้วยวิธีการเปรียบเทียบภาพ PCB มาตรฐานกับภาพ PCB ที่ต้องการตรวจสอบ โดยใช้อัลกอริทึมความแตกต่างอย่างง่ายที่สามารถตรวจจับพื้นที่ที่เป็นข้อบกพร่องได้ [20]

สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาวิธีการต่างๆ ในการแบ่งส่วนภาพ จากนั้นจะทำการทดลองแบ่งส่วนภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB) แบบด้านเดียวที่มีหลายสีหลายขนาด โดยทำการแบ่งส่วนของ PCB ที่เป็นลายวงจรออกจากส่วนของ PCB ที่เป็นพื้นหลังด้วยวิธีการ Global Thresholding (GT), Adaptive Thresholding (AT), K-means Clustering (KM) และ Fuzzy C-means Clustering (FCM) จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาตัวชี้วัดต่างๆ ในการแบ่งส่วนภาพ ได้แก่ค่า Intersection over Union (IoU), Accuracy, Precision, Recall และ Elapse

Time เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมนำไปใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สำหรับกระบวนการในการดำเนินงานจะเป็นการเขียนโปรแกรมประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรในปัจจุบัน บนเครื่องคอมพิวเตอร์ Laptop Acer Swift 3 ซึ่งมีชิปประมวลผลเป็น Intel Core i5-7200U ที่มีความเร็วในการประมวลผลอยู่ที่ 2.5 GHz หน่วยความจำขนาด 8GB และใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 10 โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 1 สามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้ ในส่วนรับข้อมูลภาพ (Input Image) เป็นการนำข้อมูลภาพที่ต้องการเข้าสู่โปรแกรม โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ภาพของแผ่นวงจรพิมพ์แบบด้านเดียวจำนวน 500 ภาพ โดยเป็นภาพแบบ JPEG 24 Bit depth ภาพของแผ่น PCB จะมีหลายสีหลายขนาด ในส่วนประมวลผลขั้นต้น (Pre-processing) จะทำการเลือกข้อมูลภาพเฉพาะในส่วนที่ต้องการและปรับขนาดของภาพให้เป็น 500x500 พิกเซล ปรับปรุงคุณภาพของ

ภาพที่รับเข้ามาให้ชัดเจนขึ้น ลดสัญญาณรบกวน รวมไปถึงการแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) โดยให้ $Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ และในส่วนการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) จะทำการแยกข้อมูลภาพที่ต้องการและข้อมูลภาพที่ไม่ต้องการออกจากกัน สุดท้ายจะได้ข้อมูลภาพเอาต์พุต (Output Image) ในส่วนที่เป็นลายวงจรรและในส่วนของพื้นหลังแยกออกจากกันเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

โดยในส่วนของการแบ่งส่วนภาพ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการแบ่งส่วนภาพทั้งหมด 4 วิธีการ ซึ่งทั้ง 4 วิธีการนี้เป็นการแบ่งส่วนภาพแบบ Pixel - Based Segmentation ที่นิยมใช้ในหมู่นักวิจัยเริ่มต้น เป็นวิธีการพื้นฐานที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และเหมาะกับภาพวิจัยที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก ได้แก่วิธีการ Global Thresholding (GT), Adaptive Thresholding (AT), K-means Clustering (KM) และวิธีการ Fuzzy C-means Clustering (FCM) เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยรายละเอียดขั้นตอนของแต่ละวิธีการแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.1 Global Thresholding Segmentation

วิธีการ Global Thresholding เป็นเทคนิคที่ใช้ค่าเทรชโสด์ (Threshold) เพียงค่าเดียวเพื่อแบ่งส่วนของภาพให้ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้สมการที่ 1

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(x,y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่ x, y

T คือ ค่าเทรชโสด์

ค่าเทรชโสด์ควรเลือกค่าที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (Peaks) 2 จุดจากฮิสโตแกรมของภาพ ถ้าค่าระดับเทา (Gray level) ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่าเทรชโสด์จะกำหนดให้เป็น 1 แต่ถ้าค่าระดับเทาของพิกเซลนั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโสด์จะกำหนดให้เป็น 0 ทำเช่นนี้จนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพ Binary

ขั้นตอนของ Global Thresholding แสดงได้ดังนี้

1. กำหนดค่าเทรชโสด์แบบอัตโนมัติด้วย Otsu's Threshold [16]

2. กำหนดให้ข้อมูลที่มีค่ามากกว่า T ให้มีค่าเป็น 1 นอกเหนือจากนั้นให้มีค่าเป็น 0

ขั้นตอนของการกำหนดค่าเทรชโสด์แบบอัตโนมัติแสดงได้ดังนี้

1. กำหนดค่าเทรชโสด์เริ่มต้น (T_0) นิยมใช้ค่าเฉลี่ย หรือค่ากลางระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุด

2. แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มโดยใช้เทรชโสด์ T_0 กำหนดให้เป็น G_1 และ G_2

3. หาค่าเฉลี่ยของ G_1 กำหนดให้เป็น u_1 และหาค่าเฉลี่ยของ G_2 กำหนดให้เป็น u_2

4. คำนวณหาค่าเทรชโสด์ใหม่ $T = (u_1 + u_2) / 2$

5. ทำซ้ำข้อ 2-4 จนค่า T มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่า T ก่อนหน้านี้น้อยมากตามที่ต้องการ

2.2 Adaptive Thresholding Segmentation

วิธีการ Adaptive Threshold เป็นเทคนิคการหาค่าเทรชโสด์ที่ปรับค่าตามข้อมูลที่อยู่ในวินโดว (window) เทคนิคนี้เหมาะกับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ โดยแต่ละบริเวณจะใช้เทรชโสด์ที่ต่างกัน ค่าเทรชโสด์ที่ได้เกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลภายใต้ Moving window ที่มีขนาด $M \times N$ และหาค่าเทรชโสด์เช่นนี้กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกัน จนกระทั่งได้กำหนดค่าเทรชโสด์ครบในทุกวินโดวส์ ถ้าค่าระดับเทาของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่าเทรชโสด์ของวินโดวส์นั้นจะกำหนดให้เป็น 1 แต่ถ้าค่าระดับเทาของพิกเซลนั้นน้อยกว่าค่าเทรชโสด์ของวินโดวส์นั้นจะกำหนดให้เป็น 0 ทำเช่นนี้จนครบทุกวินโดวส์ จะได้ผลลัพธ์เป็นภาพ Binary

ขั้นตอนของ Adaptive Thresholding [14] แสดงได้ดังนี้

1. กำหนดขนาดของวินโดวส์ตามที่ต้องการ แบ่งข้อมูลภาพออกเป็นภาพย่อยตามขนาดของวินโดวส์

2. กำหนดค่าเทรชโสด์ของภาพย่อยด้วย Otsu's Threshold

3. กำหนดให้ข้อมูลที่มีค่ามากกว่าค่า T ให้มีค่าเป็น 1 นอกเหนือจากนั้นให้มีค่าเป็น 0

4. ทำซ้ำข้อ 2-3 ไปจนครบทุกภาพย่อย

2.3 K-means Clustering Segmentation

วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย (Cluster) โดยจัดให้ข้อมูลที่เหมือนกันอยู่ด้วยกัน ผู้ใช้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม หรือจำนวนกลุ่มย่อยที่ต้องการด้วยตัวเอง พร้อมทั้งกำหนดค่าเซนทรอยด์ (Centroid) เริ่มต้นของแต่ละกลุ่มย่อย และนำแต่ละข้อมูลจัดเข้ากลุ่มย่อยโดยดูระยะห่างจากค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มย่อย จากนั้นใช้การหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มย่อยใหม่ เพื่อกำหนดค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มย่อยใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปจนข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนกลุ่มย่อยอีก การกำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นของแต่ละกลุ่มจะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากค่าเซนทรอยด์จะเป็นตัวกำหนดว่าข้อมูลควรจะอยู่ในกลุ่มย่อยใด ถ้าการกำหนดค่าเซนทรอยด์ออกมาต่างกันผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มข้อมูลก็จะต่างกันด้วย และในการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means จะใช้ค่าระยะห่างรวมซึ่งเป็น Loss function ที่ต้องการ Minimize ในการทำ Clustering ซึ่งสามารถหาได้ด้วยสมการ Euclidean distance ดังแสดงในสมการที่ 2

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (2)$$

โดยที่ J คือ ค่าระยะห่างรวมซึ่งเป็น Loss function ที่ต้องการ Minimize ในการทำ Clustering

k คือ จำนวนกลุ่มย่อย

$x_i^{(j)}$ คือ ข้อมูลที่ตำแหน่งที่ i ในกลุ่มที่ j

c_j คือ ค่าเซนทรอยด์ของกลุ่มที่ j

n คือ จำนวนข้อมูล

ขั้นตอนของวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เป็นดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มย่อยให้เป็น K กลุ่ม

2. กำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นของแต่ละกลุ่มย่อยด้วยวิธีที่เหมาะสม เพราะตำแหน่งเซนทรอยด์เริ่มต้นที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายแตกต่างกันด้วย

3. นำข้อมูลจัดเข้ากลุ่มย่อย โดยดูระยะห่างจากค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มย่อย

4. หาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มย่อย และกำหนดให้เป็นค่าเซนทรอยด์ใหม่ของกลุ่มย่อยนั้น

5. ทำซ้ำข้อ 2-3 จนทุกข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนกลุ่มย่อยอีก

2.4 Fuzzy C-means Clustering Segmentation

วิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means เป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย เช่นเดียวกับวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เพียงแต่ข้อมูลของวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means จะต้องสังกัดกลุ่มย่อยใดกลุ่มย่อยหนึ่งเท่านั้น จึงไม่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน (Correlation) ในส่วนของวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means ข้อมูลจะมีโอกาสเป็นสมาชิกของหลายกลุ่มย่อย แต่จะมีค่าการเป็นสมาชิกด้วยน้ำหนักที่แตกต่างกันไป โดยค่าการเป็นสมาชิกหาได้ตามสมการที่ 3

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{q=1}^k \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_q\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (3)$$

ค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มย่อย สามารถหาได้ตามสมการที่ 4

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i u_{ij}^m)}{\sum_{i=1}^n (u_{ij}^m)} \quad (4)$$

ค่าระยะห่างรวมซึ่งเป็น Loss function ที่ต้องการ Minimize ในการทำ Clustering ซึ่งสามารถหาได้ด้วยสมการที่ 5

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n u_{ij}^m \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (5)$$

โดยที่ J คือ ค่าระยะห่างรวมซึ่งเป็น Loss function ที่ต้องการ Minimize ในการทำ Clustering

u_{ij} คือ ค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูล

k คือ จำนวนกลุ่มย่อย

$x_i^{(j)}$ คือ ข้อมูลที่ตำแหน่งที่ i ในกลุ่มที่ j

c_j คือ ค่าเซนทรอยด์ของกลุ่มที่ j

n คือ จำนวนข้อมูล

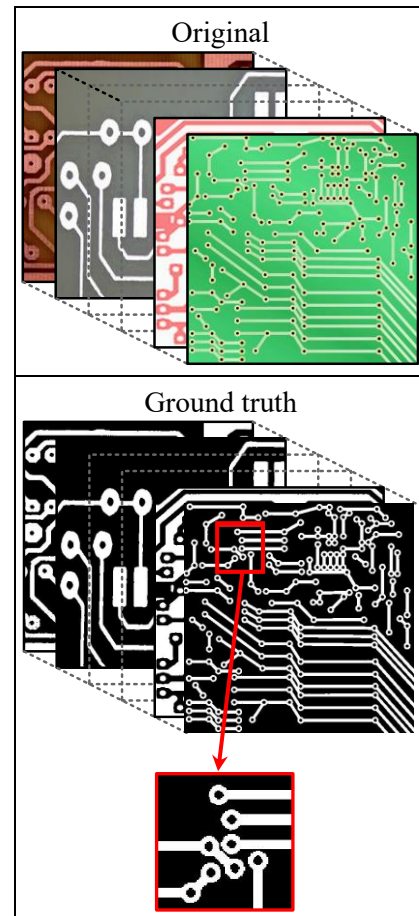
m คือ จำนวนจริงใดๆ ที่มากกว่า 1

ขั้นตอนของวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means แสดงได้ดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มย่อยให้เป็น K กลุ่ม
2. กำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นของแต่ละกลุ่มย่อย ด้วยวิธีที่เหมาะสม
3. นำข้อมูลจัดเข้ากลุ่มย่อย โดยดูระยะห่างจากค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มย่อย
4. หาค่าการเป็นสมาชิกของแต่ละข้อมูลในทุกกลุ่มย่อย
5. หาค่าเซนทรอยด์ใหม่ของแต่ละกลุ่มย่อย
6. นำข้อมูลจัดเข้ากลุ่มย่อยใหม่
7. ทำซ้ำข้อ 3-5 จนค่าการเป็นสมาชิกของแต่ละข้อมูลสัมฤทธิ์ผลตามที่ต้องการ

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาและทดลองด้วยวิธีการต่างๆ ที่ผ่านมา ทดลองกับภาพของ PCB แบบด้านเดียวจำนวน 500 ภาพ ทำให้ได้ภาพเอาต์พุตจากแต่ละวิธีการแตกต่างกันออกไป โดยตัวอย่างผลการทดลอง แสดงให้เห็นในรูปที่ 2 และตารางที่ 1



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทดลอง

	Ground truth	GT	AT	KM	FCM
E.g. 01					
E.g. 02					
E.g. 03					
E.g. 04					

จากรูปที่ 2 และตารางที่ 1 แสดงให้เห็นทั้งภาพที่เป็นภาพต้นฉบับ (Original), ภาพที่แบ่งส่วนด้วยสายตา หรือเรียกว่า Ground truth โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

mspaint ของ Windows 10, ภาพที่แบ่งส่วนด้วยวิธีการ Global Thresholding โดยใช้ค่าเทรชโฮลด์จาก Otsu's method, ภาพที่แบ่งส่วนด้วยวิธีการ Adaptive Thresholding ภายใต้ Moving window ที่มีขนาด 100x100 และใช้ค่าเทรชโฮลด์จาก Otsu's method เช่นกัน, ภาพที่แบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ K-means Clustering โดยกำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นทั้งสองเป็นกึ่งกลางของค่าต่ำสุดกับค่าเฉลี่ยและกึ่งกลางของค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุด และรูปสุดท้ายเป็นภาพที่แบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means โดยใช้สัมประสิทธิ์ $m = 2$ ทำการกำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นทั้งสองเป็นกึ่งกลางของค่าต่ำสุดกับค่าเฉลี่ยและกึ่งกลางของค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดเช่นเดียวกับวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means และกำหนดให้สมาชิกของแต่ละข้อมูลสัมฤทธิ์ผลเมื่อค่าเซนทรอยด์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 10^{-3}

ใน ส่วน ของ ตัวชี้วัด ที่จะ ใช้ ในการ ประเมิน ประสิทธิภาพของเทคนิคในการแบ่งส่วนภาพทั้ง 4 วิธีการ ที่ได้ทำการทดลอง ได้แก่

1. ค่า Intersection over Union ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ที่ทับซ้อน (Area of Overlap) ระหว่างบริเวณที่ทำนาย (Prediction Area) กับบริเวณค่าความจริง (Ground truth Area)หารด้วยพื้นที่รวมทั้งหมด (Area of Union) ระหว่างบริเวณที่ทำนายกับบริเวณค่าความจริง ดังแสดงในสมการที่ 6

$$IoU = \frac{\text{Ground Truth} \cap \text{Prediction}}{\text{Ground Truth} \cup \text{Prediction}} \quad (6)$$

2. ความถูกต้อง (Accuracy) คือความใกล้เคียงของค่าจริงที่ตรวจพบกับค่าที่ตรวจพบทั้งหมด สามารถหาได้ตามสมการที่ 7

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP) + (TN)}{(TP) + (FP) + (TN) + (FN)} \quad (7)$$

เมื่อ TP คือค่าจริงเป็นบวก แสดงว่าส่วนที่เป็นลายวงจรถูกตรวจพบว่าเป็นลายวงจร, TN คือค่าจริงเป็นลบ

แสดงว่าส่วนที่ไม่ได้เป็นลายวงจรถูกตรวจพบว่าได้เป็นลายวงจร, FP คือค่าเท็จเป็นบวก แสดงว่าส่วนที่ไม่ได้เป็นลายวงจรถูกตรวจพบว่าเป็นลายวงจร และ FN คือค่าเท็จเป็นลบ แสดงว่าส่วนที่เป็นลายวงจรถูกตรวจพบว่าได้เป็นลายวงจร

3. ความแม่นยำ (Precision) คือความใกล้เคียงของภาพวัตถุที่ตรวจพบจริงกับภาพวัตถุจริงทั้งหมด สามารถหาได้ตามสมการที่ 8

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

4. ความไว (Sensitivity หรือ Recall) คือสัดส่วนของภาพวัตถุที่ตรวจพบจริงกับภาพวัตถุที่ตรวจพบทั้งหมด สามารถหาได้ตามสมการที่ 9

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

5. เวลาที่ใช้ (Elapse Time) ในการประมวลผลทั้งหมด

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพทั้ง 4 วิธีการกับค่าที่ได้จาก Ground truth นำไปสู่ผลการประเมินประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพ โดยทำการทดลองกับภาพตัวอย่างจำนวน 500 ภาพ และทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวชี้วัด แสดงในตารางที่ 2 และคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละตัวชี้วัด แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การประเมินเทคนิคในการแบ่งส่วนภาพ

Methods	IoU	Pre. (%)	Rec. (%)	Acc. (%)	Elapse Time (S)
GT	0.9561	97.65	93.60	95.61	1.26
AT	0.9456	97.10	92.78	94.46	1.02
KM	0.9743	98.80	96.36	97.43	2.05
FCM	0.9854	99.22	97.72	98.54	10.46

ตารางที่ 3 ค่า SD ของแต่ละตัวชี้วัดในตารางที่ 2

Methods	IoU	Pre.	Rec.	Acc.	Elapse Time
GT	1.1042	0.4031	5.2612	1.1042	2.245
AT	0.9808	0.2728	4.4746	0.9808	3.246
KM	1.0398	0.0125	4.5880	1.0398	2.873
FCM	1.2814	0.076	1.9225	1.2814	4.562

จากตารางที่ 2 พบว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means มีค่า Intersection over Union เฉลี่ยมากกว่าวิธีการอื่นๆ คือ 0.9854 และค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดอื่นๆ ก็มากที่สุดเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means มีค่าความถูกต้องมากที่สุด คือ 98.54% รองลงมาคือวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means คือ 97.43% แต่ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล วิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means ใช้เวลามากกว่าวิธีการอื่นๆ อยู่หลายเท่า สาเหตุเนื่องจากความยุ่งยากและการกระทำซ้ำหลายรอบตามขั้นตอนของวิธีการ

จากผลการวิจัยที่ได้ ถึงแม้ว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means จะมีค่าความถูกต้องมากที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผลมากเช่นกัน คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means ซึ่งมีความถูกต้องรองลงมาแต่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า โดยทำการแบ่งกลุ่มย่อยด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means จำนวน 2 รอบ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ทำการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 3 กลุ่มย่อย กำหนดค่าเซนทรอยด์เริ่มต้นของแต่ละกลุ่มย่อยด้วยการแบ่งข้อมูลจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดออกเป็น 4 ส่วน ให้กลุ่มย่อยที่มีค่าของข้อมูลต่ำเป็น K1, กลุ่มย่อยที่มีค่าของข้อมูลกลางๆ เป็น K2 และกลุ่มย่อยที่มีค่าของข้อมูลสูงเป็น K3

2. ทำการแบ่งข้อมูล K2 ซึ่งเป็นกลุ่มย่อยที่มีค่าของข้อมูลกลางๆ ออกเป็น 2 กลุ่มย่อย และกำหนดให้กลุ่มย่อย

ที่มีค่าของข้อมูลต่ำกว่าเป็น K2a และกลุ่มย่อยที่มีค่าของข้อมูลสูงกว่าเป็น K2b

3. นำข้อมูลในกลุ่มย่อย K2a ไปรวมกับกลุ่มย่อย K1 และนำข้อมูลในกลุ่มย่อย k2b ไปรวมกับกลุ่มย่อย K3

4. ข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ตามที่ต้องการ




ผลการวิจัยที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means ดังกล่าว จะได้ค่าความถูกต้องมากขึ้น แต่ก็ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นอีกเล็กน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เดิม และวิธีการจัดกลุ่มแบบ Fuzzy C-means จะเห็นผลลัพธ์ที่ความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการในการแบ่งส่วนภาพด้วยตัวชี้วัด ได้แก่ Intersection over Union, Precision, Recall, Accuracy และ Elapse Time โดยใช้ตัวอย่างของภาพแผ่นวงจรพิมพ์ และใช้วิธีการทั้งหมด 4 วิธีการ ได้แก่ วิธีการ Global Thresholding, Adaptive Thresholding, K-means Clustering และ Fuzzy C-means Clustering

แต่จากผลการวิจัยพบว่าค่าความถูกต้องของแต่ละวิธีการจะแปรผันผกผันกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องมากขึ้นแต่ใช้เวลาในการประมวลผลไม่มากนัก และเลือกใช้เป็นวิธีการแบ่งส่วนภาพที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ต่อไป ผลการวิจัยที่ได้จากวิธีการที่ปรับปรุงเมื่อเทียบกับวิธีการ K-means Clustering และวิธีการ Fuzzy C-means Clustering แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงวิธีการ

Methods	KM	Improve	FCM
Results			
IoU	0.9743	0.9838	0.9854
Pre. (%)	98.80	99.04	99.22
Rec. (%)	96.36	97.31	97.72
Acc. (%)	97.43	98.38	98.54
Time (s)	2.05	3.12	10.46

ในส่วนของงานวิจัยต่อจากนี้จะเป็นการนำภาพเฉพาะที่เป็นส่วนของลายวงจรที่ได้จากขั้นตอนการแบ่ง

ส่วนภาพในงานวิจัยนี้ ไปทำการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการร่วมสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ โดยมีรหัสโครงการ NRMS: 256101A1650018 และขอขอบคุณทีมงานนักวิจัยห้องปฏิบัติการและวิจัยด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] McAndrew, A., Wang, J-H. and Tseng, C-S. Introduction to Digital Image Processing with MATLAB. Asia Edition: Taiwan, Cengage Learning Asia Pte Ltd (Taiwan Branch), 2010.
- [2] Chansri, C. and Srinonchat, J. Hand Gesture Recognition for Thai Sign Language in Complex Background Using Fusion of Depth and Color Video. *Procedia Computer Science*, 2016; 86: 257-260.
- [3] Sopasoap, S. and Srinonchat, J. Facial Space Detection and Eyes Surrounded Object Detective Technique on Color Image YCbCr and HSV. 5th International Electrical Engineering Congress, March 8-10, Pattaya, Thailand, 2017; 671-674.
- [4] Mohammed, H. R., Alnoamani, H. H. and Jalil, A. A. Z. Improve Fuzzy C-Means Algorithm for Image Segmentation. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2016; 5(6): 7-10.
- [5] Jareanpon, C. Object Recognition System by Depth Camera Using K-Nearest Neighbors and Naïve Bayes Classification for Robot. *Naresuan Phayao Journal*, 2016; 9(1): 22-24.
- [6] Yaoa, H., Duana, Q., Li, D. and Wang, J. An Improved K-Means Clustering Algorithm for Fish Image Segmentation. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013; 58(3-4): 790-798.
- [7] Kiruba, Raji, I. and Thyagarajan, K. K. An Analysis of Segmentation Techniques to Identify Herbal Leaves from Complex Background. *Procedia Computer Science*. 2015; 48: 589-599.
- [8] Nayak, J. P. R., Anitha, K., Parameshachari, B. D., Banu, R. and Rashmi, P. PCB Fault Detection Using Image Processing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017; 225: 1-7.
- [9] Moganti, M. and Ercal, F. Automatic PCB inspection Algorithms: A Survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 1996; 63(2): 287-313.
- [10] Kongchai, P., Chujai, P., Hiranrat, W., Kerdprasop, N. and Kerdprasop, K. Data Pre-Processing for Parallel K-Means Clustering. *Naresuan Phayao Journal*, 2013; 6(3): 227-230.
- [11] Wayalun, P., Laopracha, N. and Saiyod, S. Automatic Chromosome G-band Segmentation from Background Images. *KKU Research Journal*, 2014; 9(4): 526-538.
- [12] Masalkar, P. R. and Kasliwal, P. S. Study of the Image Processing algorithms for defect detection of PCBs. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 2017; 4(6): 606-612.
- [13] Panwar, P., Gopal, G. and Kumar, R. Image Segmentation using K-means clustering and Thresholding. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2016; 3(5): 1787-1793.

- [14] Panuwantichakorn, P. and Payakpate, J. Using Image Segmentation Technique on the Image of Orchids Paphiopedilum Native Species of Thailand. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University. Special Issue*, 2014; 277-284.
- [15] Saravanan, M., Kalaivani, B. and Geethamani, R. Image Segmentation Using K-means clustering Based Thresholding Algorithm. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 2017; 5(2): 173-183.
- [16] Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979; 9(1): 62-66.
- [17] Bhardwaj, S. C. Machine Vision Algorithm for PCB Parameters Inspection. National Conference on Future Aspects of Artificial intelligence in Industrial Automation, 2012; 2: 20-24.
- [18] Dubey, S.R., Dixit, P., Singh, N. and Gupta, J.P. Infected Fruit Part Detection using K-Means Clustering Segmentation Technique. *International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia*, 2013; 2(2): 65-72.
- [19] Aunkaew, S., Khaorapapong, T. and Karnjanadecha, M. A Study of Inspection of White Mould on Surface Rubber Sheets Using Image Processing. *Thaksin University Journal*, 2007; 10(2): 50-61.
- [20] Rane, S., Rai, V. and Awate, S. PCB Fault Detection using Embedded Image Processing. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2016; 5(3): 559-563.
- [21] Cebeci, Z. and Yildiz, F. Comparison of K-Means and Fuzzy C-Means Algorithms on Different Cluster Structures. *Journal of Agricultural Informatics*, 2015; 6(3): 13-23.