

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ NI myRIO สำหรับตรวจสอบตำหนิผ้าถักชนิดรูขนาด เล็กอัตโนมัติในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Application of Embedded NI myRIO Device for an Automatic Defect Detection of Drop Stitches on Knitted Fabrics in the Textile Industry

รุ่งโรจน์ สุพงษ์วิบูลพันธ์^{1*} นที ทองอุ่น¹ และ มนูญ จิตต์ใจคำ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ แขวงทุ่งมหาเมฆ

เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

E-mail: s.rungrot77@gmail.com*

Rungrot Suphongwibunphan^{1*}, Natee Thong-un¹ and Manoon Jitjaicham²

¹Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's
University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok, 10800

²The Faculty of Textile Industry, Rajamangala University of Technology Krungthep, Thung Maha Mek,
Sathon, Bangkok, 10120

E-mail: s.rungrot77@gmail.com*

Received 25 Dec 2020; Revised 18 Feb 2021

Accepted 28 Jun 2021; Available online 29 Jun 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ NI myRIO สำหรับตรวจสอบตำหนิผ้าถัก ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอการตรวจสอบตำหนิผ้าเป็นขั้นตอนกระบวนการที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพของผ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO ร่วมกับโปรแกรม Labview และกล้อง Web Camera นำมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบการตรวจสอบตำหนิผ้าถักโดยเครื่องจะทำการม้วนผ้าจากนั้นผ้าจะไหลผ่านกล้องที่ได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ NI myRIO เมื่อผ้าไหลผ่านกล้องภาพจะถูกส่งมาประมวลผล และวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ NI myRIO ด้วยโปรแกรม Labview ภาพจะถูกปรับเปลี่ยนด้วยปริภูมิสีผ่านระบบแบบ HSL ทำให้เกิด Area Pixel เมื่อเจอตำหนิผ้าถักโดยใช้ Region of interest (ROI) ในการตรวจสอบตำหนิผ้าถัก โดยงานวิจัยนี้สามารถตรวจสอบตำหนิผ้าถักได้ 3 ตำหนิ คือ 1.รูขนาดเล็ก 2.ตำหนิหลุด 3. ลิ่นเบี้ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำหนิที่เกิดจากสิ่งปลอมหรือที่เรียกว่ารูขนาดเล็กที่ยากต่อการตรวจจับ พบว่าความสามารถตรวจสอบตำหนิผ้าขนาดเล็กได้อย่างถูกต้องที่ความเร็วของการม้วนผ้าที่ 3 หลาต่อนาทีที่ขนาดของตำหนิผ้าที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 5 มิลลิเมตรขึ้นไป และมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 84 สำหรับตำหนิเส้นเบี้ยวอยู่ที่ร้อยละ 100 และตำหนิตำหนิหลุดอยู่ที่ร้อยละ 100 หากนำการตรวจสอบตำหนิผ้าถักนี้ไปในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจะเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก

คำหลัก: NI myRIO, Region of interest (ROI), โปรแกรม Labview

Abstract

This research proposes an application of the NI myRIO device for the detection of knitted fabrics. In the textile industry, the fabric inspection is an important process in controlling the quality of the fabric. The NI myRIO microcontroller in conjunction with the LabVIEW program and the Web Camera is installed on an inspection machine, designed as a prototype. The machine rolls up knitted fabrics and then the fabrics moves through a detection area, in which the camera is connected to the NI myRIO device. Next, an image captured after a defect exists is sent to be processed and analyzed by the NI myRIO device. An area pixel is computed based on HSL system and interpreted for defect selection. This procedure is performed on Region of interest (ROI) to verify the defect. Three defects, examined in this research, consist of drop stitches, threads, and tongues. These are distorted from the testing and adjustment of the space through the image HSL system, it was found that the defects of 3 knitted fabrics can be accurately checked. The proposed method can be available to the textile industry.

Keywords: NI myRIO, Knitted fabrics, LabVIEW, Drop stitches, Region of Interest, Defect detection

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์มีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตประจำวันที่อำนวยความสะดวกสบายต่อการดำเนินชีวิต [1] ตัวอย่างของการนำตัวอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์อุปกรณ์ตรวจการเปิดปิดไฟในห้อง [2] ตัวประมวลผลการปรับสภาพอากาศอัตโนมัติตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป [3] NI myRIO เป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์รูปแบบอย่างหนึ่งที่เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instruments โดยควบคุมซอฟต์แวร์ผ่านโปรแกรม Labview ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนอินพุต/เอาต์พุตได้ตามความต้องการผู้ใช้งาน สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านบัสต่าง ๆ รวมถึงเซนเซอร์ภายนอกได้ด้วย ยังเป็นอุปกรณ์มีขนาดกระทัดรัดสามารถพกพาได้ง่าย มีช่องสัญญาณอินพุต เอาต์พุตหลายช่องสัญญาณ จึงทำให้ NI myRIO เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือประกอบการเรียนการสอน การทำงานวิจัยสำหรับนักศึกษา และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้หลากหลายแขนง ทั้งในแอปพลิเคชันด้านวิทยาศาสตร์ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เช่น การควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ หรือ การควบคุมระบบแบบสมองกลฝังตัว เป็นต้น

NI myRIO เป็นระบบแมชชีนมีบทบาทสำคัญในการผลิตออกแบบระบบอัตโนมัติด้วยการ

วิเคราะห์รูปร่าง สี การรับรู้การเคลื่อนไหวทางการถ่ายภาพ อ่านบาร์โค้ด หรือ ฉลากที่พิมพ์ เนื่องจากระบบนี้สามารถตรวจเช็คได้เที่ยงตรง และแม่นยำกว่าการใช้มนุษย์ตรวจสอบความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพได้สม่ำเสมอ ต่างจากสายตามนุษย์ที่อาจมีความเหนื่อยล้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดได้ นอกจากนี้ระบบนี้ยังสามารถตรวจเช็คคุณภาพชิ้นงานได้ตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของกระบวนการผลิต ซึ่งบางกระบวนการมนุษย์ไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้น ๆ ได้ ทำให้สามารถคัดแยกชิ้นงานที่เสียออกตั้งแต่เนิ่น ๆ ไม่ต้องปล่อยให้เสร็จสิ้น กระบวนการถึงจะมีการตรวจเช็ค เพราะถึงเวลานั้นชิ้นงานมีมูลค่าที่สูงทำให้สูญเสียต้นทุนการผลิต ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้มีการเริ่มนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิต และลดการสูญเสีย เช่น การนำมารีจิ้นผ้าที่ตบแต่งเสร็จแล้วโดยใช้กล้องที่ถูกประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry PI) [4-5] สำหรับบทความที่รวบรวมการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบตำหนิในแง่มุมต่าง ๆ ในแต่ละชนิดของผ้า [6] แต่ยังไม่มีการวิจัยขึ้นได้นำเสนอการใช้งาน NI myRIO ซึ่งเป็นเทคโนโลยีล่าสุดในการประมวลผลภาพของบริษัท National Instrument NI myRIO มีระบบที่ตั้งโปรแกรมได้ทั้งหมด Xilinx Zynq-7010 รวมถึง dual-core ARM®

Cortex™ -A9 โปรเซสเซอร์แบบเรียลไทม์ และ FPGA ของ Artix-7 พร้อม I/O ที่ปรับแต่งได้ สามารถควบคุมคุณภาพได้สม่ำเสมอโดยใช้โมดูลพีซีซีลอจิกเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแยกสีภายใต้สภาพแสงที่แตกต่างกัน ระบบจะถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการผลิต

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้งาน NI myRIO ในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีการตรวจสอบตำหนิผ้าระหว่างกระบวนการทอผ้า ซึ่งการตรวจสอบตำหนิผ้าจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า เพราะปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ส่วนใหญ่โดยเฉพาะผ้าฝ้ายใช้แรงงานมนุษย์เป็นผู้ตรวจสอบในการตรวจสอบตำหนิผ้า ฉะนั้นการใช้แรงงานมนุษย์ทำการตรวจสอบผ้าตลอด 24 ชั่วโมงจากการเข้างานเป็นกะเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการความเมื่อยล้าจากทางสายตามนุษย์อาจนำไปสู่ข้อผิดพลาดเนื่องจากมนุษย์ไม่ใช่เครื่องจักร จึงเกิดการเมื่อยล้าของทางสายตาเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาตำหนิที่เป็นรูขนาดเล็ก ๆ (Drop stitches) ซึ่งเป็นตำหนิขนาดเล็กมากในบางครั้ง เมื่อสายตาผู้ตรวจที่ใช้งานเป็นเวลานานอาจจะเกิดการละเลยในการปล่อยให้ตำหนิเกิดขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้คุณภาพของผ้าลดลง และเป็นของเสียที่จำนวนเพิ่มมากขึ้น หากปล่อยให้มีของเสียเข้าสู่กระบวนการถัดไปโดยปราศจากการแจ้งเตือน จึงทำให้เป็นการเสียเวลาแก่แผนกตรวจสอบผลิตภัณฑ์ และเป็นต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงนำข้อดีของอุปกรณ์ NI myRIO มาใช้ในการตรวจสอบตำหนิผ้าในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งมีการเคลื่อนที่การตรวจสอบตำหนิผ้าเป็นอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจำเป็นต้องใช้ระบบตรวจสอบตำหนิผ้าอัตโนมัติ มาแทนมนุษย์ และยังเป็นแอปพลิเคชันใหม่ของ NI myRIO ซึ่งยังไม่ได้ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเท่าที่สืบค้นจากบทความวิจัยและวงการอุตสาหกรรมสิ่งทอการใช้ NI myRIO ยังไม่มีการนำเสนอ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในส่วนของการตรวจสอบคุณภาพของผ้าฝ้ายได้ดีอีกด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการวิจัย

2.1 ผ้าฝ้าย

ผ้า (Fabrics) คือ วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน



รูปที่ 1 ตัวอย่างของผ้าฝ้ายที่สมบูรณ์

สามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านั้นรวมกันแบ่งได้ 2 แบบคือ แบ่งตามลักษณะการถักทอ และแบ่งตามเนื้อผ้าหรือเส้นใย ผ้าฝ้ายหรือภาษาทั่วไปที่ใช้เรียกกันคือ ผ้ายัด เกิดจากการทอผ้าในลักษณะใช้เข็ม (needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดขัดกัน (interlocking loops) โดยจะมีเส้นที่อยู่แนวตั้ง (Wales) และเส้นที่อยู่ในแนวนอน (courses) เป็นเส้นด้ายร้อยกันไปมา การทอผ้าฝ้ายมีการขึ้นรูปเป็นแบบวงกลมโดยใช้เครื่องทอผ้าแบบวงกลม (Circular knitting machine) ซึ่งจะได้เสื้อที่ออกมาไม่มีรอยตัดด้านข้างตัวมีลักษณะเหมือนผ้าถุงหรือใส่รงที่ไม่มีรอยเย็บด้านข้าง สำหรับรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างผ้าชนิดผ้าถักหน้าเดียว (Single jersey) มีคุณลักษณะที่สมบูรณ์ของผ้าที่ทอออกมาโดยปราศจากตำหนิ โดยที่ผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างวิจัยของผ้าชนิดนี้มาเป็นกรณีศึกษาเนื่องจากเป็นผ้าที่มีการทออย่างแพร่หลายในโรงงานสิ่งทอทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

2.2 ตำหนิผ้าฝ้าย

ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพผ้าที่ผลิตออกมาคือ ตำหนิผ้า ที่เกิดจากกระบวนการทอผ้าที่ไม่สามารถทำความสะอาดได้ซึ่งมีได้หลายสาเหตุแต่ที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ พอจะจำแนกได้เป็นสามกรณีคือ ด้ายหลุด ลิ่นเบี้ยว และเป็นรูเล็ก [7] กรณีเป็นตำหนิเนื่องจากด้ายที่หลุดจากการนำเส้นด้ายสู่เข็มถัก

ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาจะเป็นลักษณะตามรูปที่ 2 นั้นคือลักษณะของรูจะมีขนาดกว้างผิดปกติและสามารถสังเกตได้ไม่ยาก ตาหนีแบบที่สองคือตาหนีที่เกิดจากเส้นของเข็มถักชำรุดเสียหายไม่สามารถทอผ้าได้ตามตำแหน่งที่ต้องการลักษณะของผ้า



รูปที่ 2 ตาหนีต้ายหลุด



รูปที่ 3 ตาหนีเส้นเบี้ยว



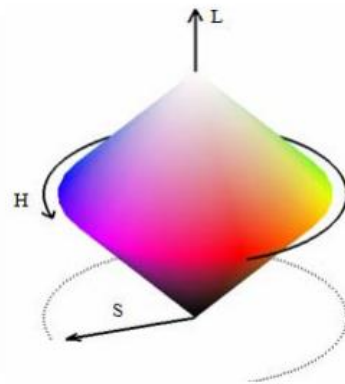
รูปที่ 4 ตาหนีรูขนาดเล็ก

เนื่องจากตาหนีประเภทขยุ ญ และรูที่มีขนาดกว้างพอสมควรที่ตาพนักงานผู้ตรวจสอบสามารถสังเกตได้ตามรูปที่ 3 สำหรับตาหนีกรณีสุดท้ายเป็นแบบรูขนาดเล็ก (Drop stitches) ที่เกิดจากเศษปมด้ายขนาดเล็ก (Slubs) หรือไขมัน (Wax) เข้าไปอุดตันตัวส่งเส้นด้าย (Feeder) ให้แก่เข็มถักผลที่ตามมาคือตาหนีของผ้าจะเป็นรูที่สังเกตยากเมื่อเทียบกับ

ตาหนีชนิดอื่น ๆ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4

2.3 การประมวลผลภาพสำหรับการตัดสีในใจ

จากที่ศึกษาวิธีการตรวจสอบตาหนีผ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันตามโรงงานสิ่งทอพบว่าใช้สายตาคนเป็นผู้ตัดสินตาหนีของผ้าที่เกิดขึ้นดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการตัดสินคุณภาพผ้าโดยวิธีประมวลผลภาพที่พิจารณาวัตถุที่สังเกตเป็นปริภูมิสี [8]



รูปที่ 5 แบบจำลองมิติสีแบบ HSL

ผ่านระบบสีแบบ HSL ประกอบด้วยมิติสีย่อยทั้งหมด 3 มิติสีย่อย ได้แก่มิติสีย่อย H (hue) แสดงความเข้มจางของสีมิติสีย่อย S (saturation) แสดงความอิ่มตัวของสี และมิติสีย่อย L (lightness) แสดงความสว่างสีตามรูปที่ 5 โดยการกำหนดให้มิติสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ และกำหนดให้ค่า max หมายถึงค่าที่มากที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B และค่า min หมายถึงค่าที่น้อยที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B มิติสี HSL สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) จากนั้นจะกำหนดขอบเขตที่เรียกว่า Spatial domain ซึ่งสามารถแทน image ด้วย $f(x,y)$ เมื่อ x และ y คือระยะทางในแนวนตั้ง และแกนนอนวัดจากจุด Origin การปรับปรุงภาพโดยใช้กระบวนการกระทำใน Spatial domain และให้ผลลัพธ์ออกมาใน Spatial domain สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2 [10-15]

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & \text{if max=min} \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{\text{max-min}} + 0^\circ & \text{if max=R and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{\text{max-min}} + 360^\circ & \text{if max=R and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B-R}{\text{max-min}} + 120^\circ & \text{if max=G} \\ 60^\circ \times \frac{R-G}{\text{max-min}} + 240^\circ & \text{if max=B} \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{if } L=0 \text{ or max=min} \\ \frac{\text{max-min}}{\text{max+min}} = \frac{\text{max-min}}{2L} & \text{if } 0 < L \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\text{max-min}}{2-(\text{max+min})} = \frac{\text{max-min}}{2-2L} & \text{if } L > \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$L = \frac{1}{2}(\text{max} + \text{min}) \quad (1)$$

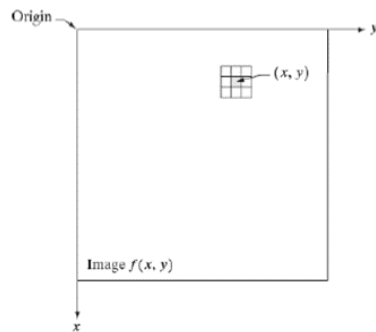
โดยที่ มิติสีย่อย H มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 360]$
มิติสีย่อย S และ L มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (2)$$

เมื่อ $f(x, y)$ คือ ภาพดั้งเดิม $g(x, y)$ คือ ภาพผลลัพธ์และ $T[\]$ คือ Function ที่ถูกกำหนดในพื้นที่รอบๆ จุด (x, y) Region of interest (ROI) คือบริเวณที่สนใจ อาจจะ เป็นบริเวณใดภายในภาพก็ได้ โดยการตีกรอบ ล้อมรอบบริเวณที่สนใจด้วยวงกลมกรอบสี่เหลี่ยม หรือกรอบรูปเหลี่ยมใด ๆ เพื่อนำภาพเฉพาะส่วน ดังกล่าวมาประมวลผล หรือเปลี่ยนแปลงภาพตาม ต้องการ โดยไม่มีผลกระทบกับส่วนอื่น ๆ ดังที่ได้ แสดงในรูปที่ 6

2.3 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาปัญหาในงาน อุตสาหกรรมสิ่งทอพบกระบวนการการควบคุม คุณภาพของผ้า นั้น ยังมีปัญหาดตรงขั้นตอนของการ ตรวจสอบตำหนิผ้า ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการนำ เทคโนโลยีประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในงาน อุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยการนำอุปกรณ์ NI myRIO มาช่วยในการวิเคราะห์ประมวลผลภาพ การหมุนม้วน ผ้าถัก จะใช้สายพานใส่กับตัวลูกกลิ้ง เพื่อให้ผ้าถัก นั้นไหลผ่านจุดตรวจสอบตำหนิผ้าส่วนตรงกลางนั้น



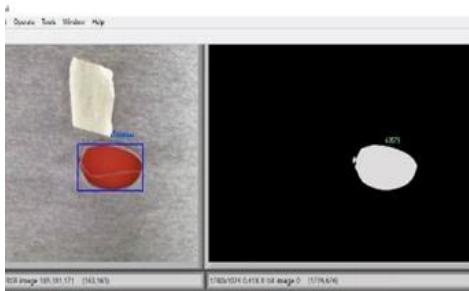
รูปที่ 6 พื้นที่สนใจ (x, y) ใดๆจากรูปภาพที่สังเกต $f(x, y)$



รูปที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ NI myRIO และกล้อง

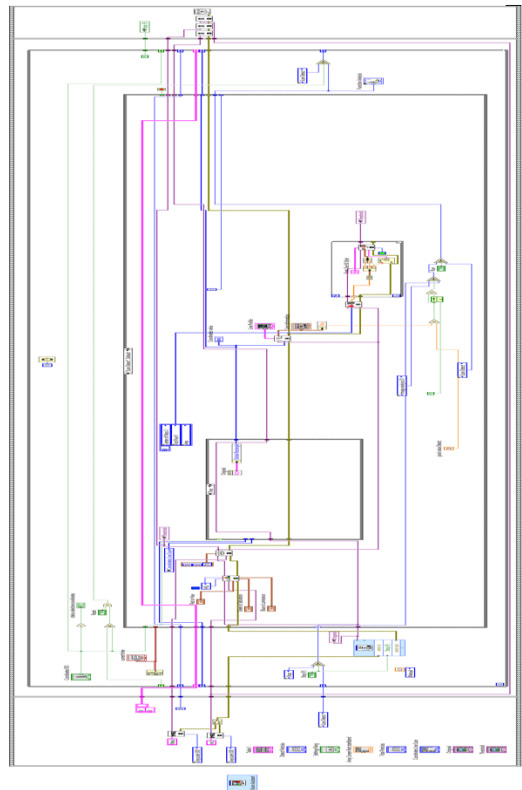


รูปที่ 8 เครื่องทดสอบการตรวจสอบตำหนิผ้าถัก

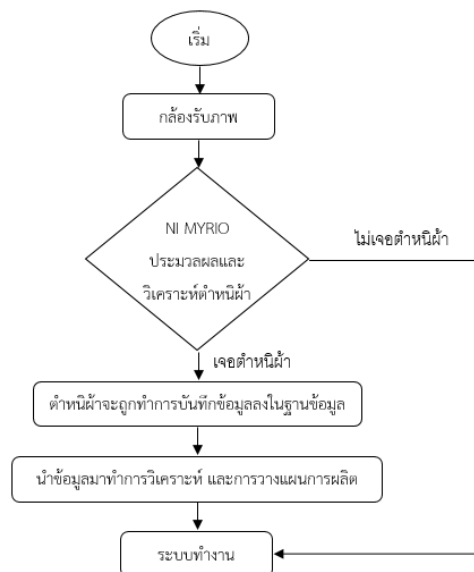


รูปที่ 9 ตำแหน่งของตำหนิที่ตรวจจับได้

ลักษณะคล้ายกล่องสี่เหลี่ยมทำด้วยอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยจะใช้แผ่นอะคริลิกในการเป็น shell ข้างบนใต้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ NI myRIO และกล้อง ส่วนด้านล่างจะเป็นแผ่นอะคริลิกสีแดง เมื่อเวลาเจอตำหนิผ้า จะทำให้เห็นว่าผ้า นั้นเกิดตำหนิได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเครื่องจะทำการม้วนผ้าจากนั้นผ้าจะทำไหลผ่านกล้องที่ได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ NI myRIO ดังรูปที่ 7 เมื่อผ้าไหลผ่านกล้องภาพจะถูกส่งมาประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ NI myRIO ด้วยโปรแกรม Labview งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างผ้าที่มีตำหนิประเภทรูขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการผลิตของโรงงานถักผ้ามาเป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 ตัวอย่าง โดยการตรวจสอบแต่ละตำหนิ รูปที่ 8 คือเครื่องทดสอบการตรวจหาตำหนิผ้าต้นแบบที่มีกล้องติดไว้ที่บริเวณทางด้านของตัวเครื่อง และมีไฟส่องสว่างลงไปบนผืนผ้าโดยความเร็วในการปล่อยผ้าผ่านกล้องจะมีระดับความเร็วอยู่ที่ 1-5 หลาต่อนาที จากนั้น Region of interest ถูกนำมาใช้ร่วมในการตรวจสอบตำหนิผ้าถัก โดยทำการตีเป็นเส้นตรงจะอยู่ประมาณช่วงตรงกลางของภาพแล้วประมวลผลตามรูปที่ 9 ในโปรแกรมแล้ว

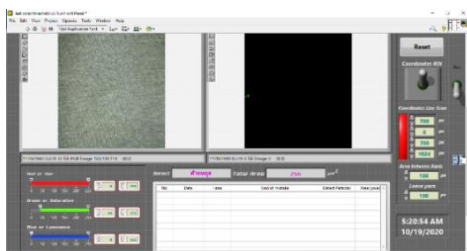


รูปที่ 10 โปรแกรมที่ใช้ประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบตำหนิผ้าถัก



รูปที่ 11 ขั้นตอนกระบวนการตรวจสอบตำหนิผ้าถัก

นำมาทำการปรับเปลี่ยนภาพด้วยปริภูมิสีผ่านระบบสีแบบ HSL ด้วยการปรับ Red or Hue, Green or Saturation, Blue or Lightness ในการปรับเพื่อทำให้เกิด Area Pixel (px) เมื่อเจอตำหนิของผ้า จากนั้นจะทำการอาศัยการอ่านค่าของ Area Pixel โดยการใช้ค่าของ Area Pixel ในการระบุตำหนิของผ้า การปรับระบบสี HSL แบบ manual โดยการใช้การปรับผ่านหน้าต่างการแสดงผลผ่าน Front Panel มีการให้ปรับอยู่ทั้งสามอย่าง Red or Hue, Green or Saturation, Blue or Lightness ด้วยมีการสเกลการปรับเริ่มจาก 0 ถึง 255 นอกจากนี้ในระบบจะมีการบันทึกข้อมูลลงในส่วนของหน้าต่างการแสดงผลผ่าน Front Panel ด้วยการระบุวันเวลาตำหนิผ้าที่พบมีขนาดของ Area Pixel รูปที่ 10 คือโปรแกรม Labview ที่ถูกเขียนเพื่อควบคุมการประมวลผลภาพขั้นตอนการตรวจสอบตำหนิผ้าของเครื่องต้นแบบที่นำเสนอมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) การเริ่มเมื่อเปิดโปรแกรม Labview 2) กดคำสั่ง Run โปรแกรม Labview จะเริ่มทำงานด้วยกล้อง 3) กล้องทำการรับภาพเพื่อส่งภาพไปปรับภาพให้เป็นระบบสีแบบ HSL [12] ภาพจะกลายเป็นสีดำหากผ้าไม่มีตำหนิ



รูปที่ 12 หน้าต่างการแสดงผลผ่าน Front Panel

4) เมื่อเจอผ้าที่เป็นตำหนิภาพจะมีจุดสีขาวตามลักษณะของตำหนินั้น ๆ เครื่องยังคงตรวจสอบตำหนิจนกว่าผ้าที่มีตำหนิจะผ่านเส้นของระบบ Region of interest เมื่อผ้าไหลมาถึงเส้นตรวจสอบ ระบบโปรแกรมจะทำการรีเซตประมวลผลในระบบว่าผ้าดีกันี้ว่ามีตำหนิเกิดขึ้นตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ 5) เมื่อเจอผ้าดีกัที่มีตำหนิระบบจะทำการบันทึกข้อมูลลงในระบบ โดยจะทำการระบุเวลาวันเดือนปีในการ

ตรวจสอบที่เจอตำหนิผ้าดีกั 6) เครื่องทดสอบการตรวจสอบตำหนิผ้าดีกั จะทำงานไปเรื่อย ๆ จนกว่าผ้าดีกัจะหมดม้วน โดยสรุปเป็นภาพรวมได้ในรูปที่ 11 โดยที่ตัวอย่างของผ้าที่ได้นำมาวิจัยออกแบบเครื่องตรวจจับตำหนิผ้าชนิดที่เป็นรูขนาดเล็กมีลักษณะดังรูปที่ 13 โดยเป็นตำหนิผ้าที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลของการทดลองโปรแกรมจำลองระบบการตรวจสอบตำหนิผ้าดีกั จะมีหน้าการใช้งาน (Front panel) ดังรูปที่ 12 ภายใน Front panel ประกอบด้วยหน้าจอของผ้าที่ต้องการตรวจสอบ และมีฟังก์ชันการปรับสีความเข้มของภาพ การแสดงผลการทดลองของตำหนิผ้า Front Panel มีการกำหนดคำสั่งเงื่อนไขในระบบโปรแกรมที่ตั้งไว้ เมื่อผ้าดีกัที่มีตำหนิผ่านเส้นตรวจสอบ ROI แล้ว ถ้ามีขนาด Area Pixel ที่มีขนาดมากกว่า 1 พิกเซลจะให้มีการระบุไว้ว่าเป็นตำหนิผ้าดีกัเกิดขึ้นดังรูปที่ 14 เพื่อต้องการทดสอบการตรวจจับเพื่อที่จะสร้างระดับการตรวจจับตำหนิ ผู้วิจัยจึงวัดซ้ำในแต่ละตัวอย่างของตำหนิผ้าดีกัเพื่อหาค่า



(ก)



(ข)



(ค)

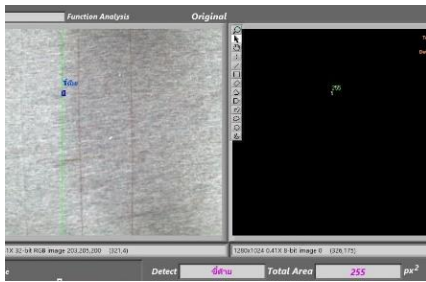


(ง)

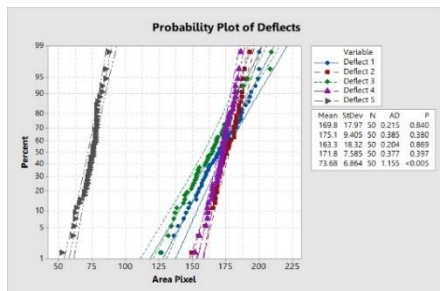


(จ)

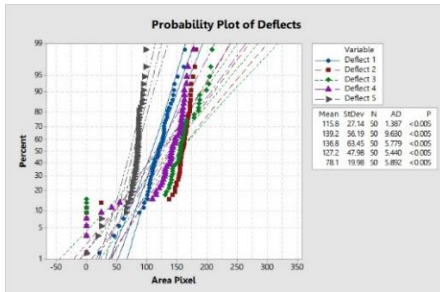
รูปที่ 13 ตาหมาแมวที่เกิดจากอุปสรรคขวางการส่งเส้นด้ายให้เข็มถักมีลักษณะเป็นรูขนาดเล็ก



รูปที่ 14 การแสดงผลของตำหนิผ้าฝ้ายที่เป็นรูขนาดเล็ก

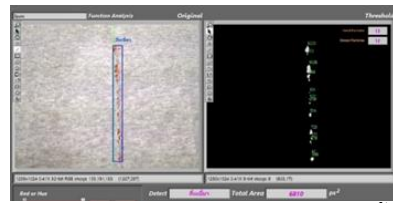


รูปที่ 15 การกระจายตัวของค่าพิทเซลล์ที่ตรวจจับได้ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของม้วนผ้า



รูปที่ 16 การกระจายตัวของค่าพิทเซลล์ที่ตรวจจับได้ที่มีการม้วนผ้าด้วยความเร็ว 5 หลาต่อนาที

แนวโน้มนำเข้าสู่ค่ากลางของพื้นที่ตำหนิที่เกิดขึ้นโดยมีการวัดซ้ำเป็นจำนวน 50 ครั้ง ดังรูปที่ 15 กรณีแรกกำหนดให้ม้วนผ้าไม่มีการเคลื่อนที่ จากการสังเกตค่าที่อ่านได้พบว่าการกระจายตัวของค่าพื้นที่ของตำหนิมีค่าการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) ยกเว้นตำหนิที่ 5 โดยที่ค่ากลางของแต่ละตำหนิจากตัวอย่างที่ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 169.8, 175.1, 163.3, 171.8 และ 73.68 ตามลำดับ จากนั้นเพิ่มความเร็วม้วนผ้าเป็น 5 หลาต่อนาที



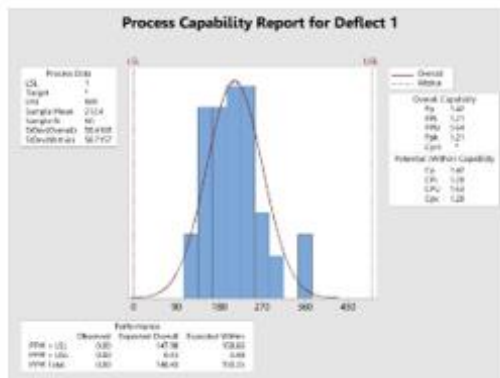
รูปที่ 17 การแสดงผลของตำหนิผ้าฝ้ายกลั่นเบี้ยว

ดังรูปที่ 16 พบว่าพื้นที่การตรวจจับพิทเซลล์มีค่าลดลงเนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นซึ่งค่ากลางของตัวอย่างตำหนิมีค่าเท่ากับ 115.8, 139.2, 136.8, 127.2 และ 78.1 ซึ่งเมื่อสังเกตการณ์กระจายตัวของค่าที่วัดออกมาพบว่าทุกตำหนิมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นปกติ เพราะค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.005 ต่อไปหากเปรียบเทียบกับภาพที่เกิดจากตำหนิที่เกิดจากลื่นเบี้ยวพบว่าพื้นที่ตำหนิที่ตรวจจับได้ต่ำสุดราว ๆ 500 ลักษณะของตำหนิแบบลื่นเบี้ยวจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ๆ ดังรูปที่ 17 ส่วนลักษณะที่เป็นตำหนิแบบด้ายหลุดก็ยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนมีขนาดเท่ากับ 2000 โดยเฉลี่ยดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 9 จากผลการทดลองที่สังเกตได้พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถแยกความแตกต่างของตำหนิได้

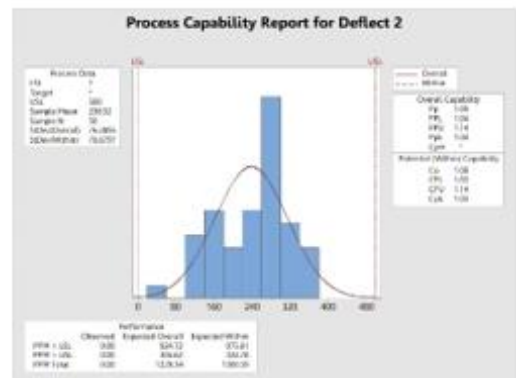
ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานของพื้นที่พิทเซลล์ของตำหนิแบบรูขนาดเล็กที่ใช้ในการตรวจจับในการตรวจจับเฉพาะตำหนิที่สนใจนั้นคือเป็นรูขนาดเล็กที่มีช่วงการประเมิน (Specification Limit) อยู่ประมาณที่ 1 – 500 เนื่องจากการที่ผ้าฝ้ายปราศจากตำหนิค่าพื้นที่ของพิทเซลล์ที่ตรวจจับได้จะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ค่าสูงสุดผู้วิจัยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 500 ซึ่งเป็นค่าพื้นที่พิทเซลล์สูงสุดที่อาจจะตีความว่าเป็นตำหนิที่เกิดจากลื่นเบี้ยวได้

ขั้นตอนต่อไปคือการประเมินความสามารถของวิธีการตรวจสอบตำหนิผ้าที่นำเสนอโดยกำหนดให้เครื่องตรวจผ้ามีความเร็วการม้วนผ้าอยู่ที่ 3 หลาต่อนาทีที่ช่วงเวลาแตกต่างกันเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น เครื่องมือทางสถิติที่เรียกว่าค่า Process Capability Index หรือที่เราเรียกกันว่า Cp ดังสมการที่ 3

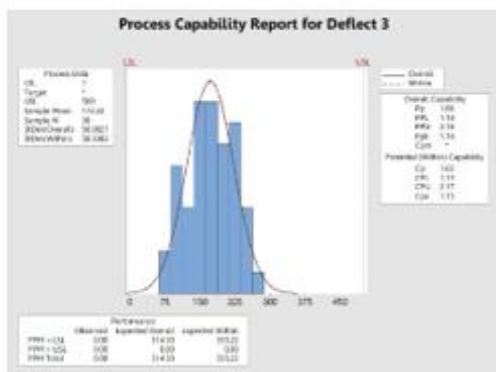
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{It}} \quad (3)$$



(ก)



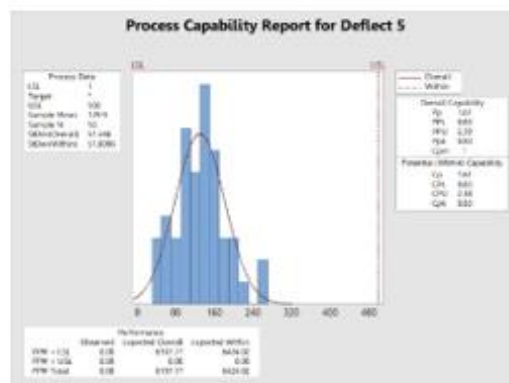
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 18 การประเมินความสามารถของวิธีที่ได้นำเสนอที่ระดับการผันผวนค่ามีความเร็วสูงสุด 3 หลาต่อวินาที

ค่า USL และ LSL มีค่าเท่ากับ 500 และ 1 ตามลำดับสมการที่ 3 อธิบายได้ว่าการกำหนดช่วงข้อมูลที่มีขนาด 3 เท่าทั้งด้านบวกและลบจากค่าเฉลี่ยซึ่งคิดเป็น 99.73% ของข้อมูลทั้งหมด จึงได้นำช่วงดังกล่าวไปเทียบกับขอบเขตที่ใช้ในการตรวจจับตำหนิผ้าชนิดนี้แล้วนำไปประเมินความสามารถที่เกิดขึ้น สำหรับการเลือกม้วนผ้าที่ความเร็ว 3 หลาต่อนาทีเนื่องจากความเร็วที่ผ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 หลาต่อนาทีนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบแล้วมีผลการวัดมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากบริเวณที่เป็นตำหนิเกิดขึ้นแต่การอ่านค่าพื้นที่ของพิกเซลมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากว่าการอ่านค่าพื้นที่ของพิกเซลจากตำหนิที่มีค่าเป็นทศนิยมตั้งแต่ $0 < px < 1$ แต่การแสดงผลทำได้แค่จำนวนเต็มดังนั้นจึงเป็นสาเหตุค่าที่วัดได้เท่ากับ 0 ทั้งที่ตรวจจับตำหนิได้ เพื่อให้การวัดมีความถูกต้องมากขึ้นผู้วิจัยจึงลดความเร็วของเครื่องม้วนผ้าลงแล้วสังเกตค่าที่วัดได้ ความเร็วที่มีความเหมาะสมคืออยู่ที่ 3 หลาต่อนาที รูปที่ 18 แสดงถึงการประเมินความสามารถของวิธีการวัดที่นำเสนอโดยใช้ค่า Cp และ Cpk เป็นตัวพิจารณาโดยแบ่งระดับความสามารถของกระบวนการตามตารางที่ 1 [16] การแสดงค่าความสามารถของกระบวนการที่ประเมินจากการทดสอบ ตำหนิที่นำมาทดสอบเมื่อทำการวัดเป็นจำนวน 50 ครั้ง โดยให้ตำหนิหมุนผ่านเครื่องม้วนผ้าตามจำนวนรอบที่ทดสอบ รอยตำหนิแรกดังรูปที่ 13 (ก) ค่า Cp เท่ากับ 1.42 หมายความว่าได้ว่าการกระบวนการอยู่ในระดับดี รอยตำหนิที่สองมีลักษณะดังรูปที่ 13

ตารางที่ 1 ระดับความสามารถของกระบวนการวัด

Cp	การประเมิน
$2.00 \leq Cp$	ดีเลิศ
$1.67 \leq Cp < 2.00$	ดีมาก
$1.33 \leq Cp < 1.67$	ดี
$1.00 < Cp < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq Cp < 1.00$	แย่
$Cp < 0.67$	แย่มาก

No	Date	Time	Kind of mistake	Detect Particles	Area (pixel)
4	10/13/2020	23:25:39	ด้านนอก	3	59613
5	10/13/2020	23:25:45	ด้านนอก	3	59599
6	10/13/2020	23:25:50	ด้านใน	2	106
7	10/13/2020	23:26:6	ด้านใน	2	59308
8	10/13/2020	23:26:14	ด้านใน	1	59252
9	10/13/2020	23:26:15	ด้านใน	2	223
10	10/13/2020	23:26:16	ด้านใน	2	59534
11	10/13/2020	23:26:22	ด้านนอก	2	59586
12	10/13/2020	23:26:27	ด้านนอก	3	59628

รูปที่ 19 การบันทึกข้อมูลลงในส่วนของ Front Panel

(ข) มีค่า Cp เท่ากับ 1.08 อยู่ในระดับพอใช้ รอยตำหนิที่สามในรูป 13 (ค) มีค่า Cp เท่ากับ 1.65 อยู่ในระดับดี รอยตำหนิที่สี่ดังรูปที่ 13 (ง) มีค่า Cp เท่ากับ 1.36 อยู่ในระดับดี รอยตำหนิที่ 5 ดังรูปที่ 13 (จ) มีค่า Cp เท่ากับ 1.61 อยู่ในระดับดี การประเมินความสามารถของเครื่องตรวจสอบตำหนิได้ใช้ตัวแปรที่เรียกว่า Cpk ซึ่งมีค่าดังสมการที่ 4 และค่ากึ่งกลางของค่า px ที่กำหนดขอบเขต $(USL - LSL)/2$ คือ 249.5 ในรูปที่ 13 (ก) ค่า Cpk = 1.20 น้อยกว่าค่า Cp = 1.42 ซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากค่ากึ่งกลางมาทางขวาเล็กน้อยและค่า Cpk ถูกประเมิน

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_{st}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_{st}} \right] \quad (4)$$

ว่าพอใช้ สำหรับตำหนิในรูปที่ 13 (ข) Cpk = 1.03 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า Cp = 1.06 ซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณของค่ากึ่งกลางของความต้องการและ Cpk ถูกประเมินว่าพอใช้ รูปที่ 13 (ค) Cpk = 1.13 ซึ่งค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากกึ่งกลางมาทางซ้ายและค่า Cpk ถูกประเมินว่าพอใช้ รูปที่ 13 (ง) Cpk = 0.99 และถูกประเมินว่าแย่ รูปที่ 13 (จ) Cpk = 0.83 และถูกประเมินว่าแย่ เมื่อประเมินความสามารถของเครื่องตรวจสอบตำหนิผ้าด้วยจำนวนของพิกเซล (px) ของการประมวลผลภาพของวิธีวิจัยที่นำเสนอต้องมีจำนวนน้อยสุดอยู่ที่ประมาณ px = 150 พิกเซลจึงจะทำให้ความสามารถของเครื่องตรวจสอบตำหนิผ้าอยู่ที่พอใช้และเมื่อวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของตำหนิอยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิเมตร

กระบวนการวัดสามารถถูกเพิ่มประสิทธิภาพแบ่งได้สองกรณี กรณีแรกคือการขยายช่วงการประเมินให้ px มากกว่า 500 เพื่อใช้ในการตรวจจับตำหนิประเภทนี้ แต่ผลที่ตามมาคือเมื่อนำไปใช้งานจริงที่ต้องนำไปประมวลผลประเภทอื่นนอกจากตำหนิประเภทรูขนาดเล็ก เช่น ตำหนิจากเส้นด้ายเบี้ยว เนื่องจาก px จะทับซ้อนกันและไม่สามารถวินิจฉัยได้ถูกต้อง กรณีที่สองคือการลดขนาดความแปรปรวนในการวัดซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ใช่เรื่องง่ายในการวัดในแต่ละครั้งที่ให้มีค่าเท่ากันตลอดทุก ๆ ครั้งเนื่องจากปัจจัยภายนอกที่ อาจทำให้ค่าการวัดค่า px มีความคลาดเคลื่อนไม่ว่าจะเป็นความเร็วที่ผ้าเคลื่อนที่บริเวณวัดและที่สำคัญมากคือแสงสว่างจากสถานะแวดล้อมนั้น เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยากจึงเป็นผลทำให้การวัดมีความคลาดเคลื่อน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความแปรปรวนการวัดเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก ดังนั้นจึงมากำหนดความสามารถในการวัดโดยการปรับช่วงการประเมินโดยช่วงการประเมินที่ผ่านการประเมินคือค่า px อยู่ที่ 1 – 500 ที่ระดับความเร็วการเคลื่อนที่ของผ้าคือ 3 หลาต่อนาที

การทดสอบสุดท้ายคือแยกตำหนิของผ้าโดยการคละกันของตำหนิผ้าดักตามรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 4 จากการแยกตำหนิของผ้าดักสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งดำเนินการตรวจสอบทั้งหมด 50 ครั้งจากการทดสอบการแยกตำหนิพบว่าตำหนิด้วยหลอดพบว่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 100 เพราะขนาดของตำหนิมีขนาดใหญ่มากกว่า 2000 พิกเซลซึ่งง่ายต่อตรวจสอบ ส่วนตำหนิแบบเส้นเบี้ยวที่มีค่าพิกเซลมากกว่า 500 แต่น้อยกว่า 1500 พบว่าไม่มีความผิดพลาด สำหรับตำหนิขี้ด้ายที่เป็นตำหนิผ้าขนาดเล็กมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 84 เนื่องจากตำหนิผ้าขนาดเล็กจะมีการประเมินว่าไม่พบตำหนิเพราะมีขนาดเล็กยากต่อการเจอตำหนิ

ตารางที่ 2 ร้อยละความถูกต้องของการตรวจจับตำหนิผ้าดักทั้ง 3 ชนิด

ชนิดของตำหนิผ้าดัก	ร้อยละความถูกต้อง
ตำหนิด้วยหลอด	100
ตำหนิเส้นเบี้ยว	100
ตำหนิขนาดเล็ก	84

นอกจากการระบุตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนผ้าแล้วการแสดงผลการทดลองการบันทึกข้อมูลลงในส่วนของหน้าต่างผ่าน Front Panel นำมาเป็นฐานข้อมูลให้แก่โรงงานทอผ้าถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังนั้นวิธีที่นำเสนอจึงผนวกการเก็บข้อมูลตำหนิในทุกๆ ครั้งที่ตรวจจับได้โดยมีการกำหนดค่าส่งเงื่อนไขในระบบโปรแกรมที่ถูกออกแบบไว้ เมื่อผ้าดักที่มีตำหนิผ่านเส้นตรวจสอบ ROI แล้ว คือระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ วัน/เดือน/ปี เวลา ระบุชนิดของตำหนิผ้า และ Area Pixel ของตำหนิผ้าดังรูปที่ 19 ข้อมูลที่บันทึกได้มีประโยชน์อย่างมากในแง่ของการแจ้งเตือนพนักงานผลิตให้ทราบล่วงหน้าก่อนที่ผืนผ้าดังกล่าวจะถูกนำไปจำหน่ายและบอกให้ทราบถึงชนิดของตำหนิที่เกิดขึ้นเพื่อให้พนักงานซ่อมบำรุงนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปตรวจเช็คหาสาเหตุได้ง่ายขึ้น เพราะวิธีการที่นำเสนอได้ระบุไว้แล้วข้างต้นว่าตำหนิผ้าลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นจากสาเหตุใด จากแต่ก่อนต้องอาศัยพนักงานที่มีประสบการณ์ในการวินิจฉัยสาเหตุของความบกพร่องเครื่องจักรจากตำหนิผ้า

4. สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้แก้ปัญหาของการตรวจจับตำหนิผ้าดักขนาดเล็กที่เกิดจากเศษสิ่งสกปรกอุดตันเส้นทางส่งด้ายที่ยากต่อการใช้สายตาคนตรวจจับเป็นเวลานาน ๆ เนื่องจากการล่าของสายตา ด้วยเหตุนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ NI myRIO สำหรับตรวจสอบตำหนิผ้าดักในอุตสาหกรรมสิ่งทอร่วมกับโปรแกรม Labview และกล้อง Web Camera นำมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบการตรวจสอบตำหนิผ้าดักพบว่าสามารถทำการตรวจสอบตำหนิผ้าขนาดเล็กอย่างได้ถูกต้องที่ความเร็วของการม้วนผ้าที่ 3 หลา

ต่อนาทีที่ขนาดของตำหนิผ้าที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 5 มิลลิเมตรขึ้นไปและมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 84 สำหรับตำหนิเส้นเบี่ยงอยู่ที่ร้อยละ 100 และตำหนิด้ายหลุดอยู่ที่ร้อยละ 100 นอกจากนี้ยังเพิ่มความสามารถของเครื่องโดยการบันทึกผลตำหนิที่ตรวจจับได้ลงในฐานข้อมูลจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอย่างมากและช่วยลดต้นทุนจากการจ้างแรงงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ถูกสนับสนุนทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติหมายเลขทุน FDA-CO-2563-11926-TH

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานสมัยการทอ พระประแดง สมุทรปราการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกตุกาญจน์ ไชยจันทร์. (2558) การจำแนกภาพแบบโปรแกรมโดยใช้การประมวลผลภาพร่วมกับซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์] นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] นวพร ธนะสาร. (2561) การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบเส้นด้ายในการผลิตกึ่งแข็ง. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการระบบ]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [3] รังสิมันต์ แดงไทย, สรวิทย์ เจริญวิทย์จร, อิศราณวัฒน์ ฉวี. (2560) ระบบสกาตาสำหรับสายพานลำเลียง. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า] ชลบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] Vladimir Gorbunov, Vladislav Bobkov, Nyan Win Htet, Evgeny Ionov, AutomatedControl System of Fabrics Parameters that Uses Computer Vision. 978-1-5386-4340-

2/18/\$31.00©2018 IEEE

- [5] CHUNLEI LI, GUANGSHUAI GAO, Fabric Defect Detection Based on Biological Vision Modeling. 2169-3536 2018 IEEE.
- [6] Kazim Hanbay, Muhammed Fatih Talu, Fabric defect detection systems and methods—A systematic literature review, © 2016 Elsevier GmbH. All rights reserved
- [7] M. A. Taher, M. M. Rahman, M. A. Jahangir, M. S. Mia, Ashaduzzaman, Study on Different Types of Knitting Faults, Causes and Remedies of Knit Fabrics, International Journal of Textile Science 2016, 5(6): 119-131 DOI: 10.5923/j.textile.20160506.01
- [8] Labview.Avaliable: [https:// www.ni.com/ en-th/shop/labview.html](https://www.ni.com/en-th/shop/labview.html)
- [9] Ainur Rafiq, Muhamad Yusuf, Pujono. (2018). Implementation of Digital Image Processing Using NI myRIO and Arduino Mega 2560 as Controller On Rover Bogie Robot. 2018 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST).
- [10] Mohammed S. Sayed. (2016) Robust Fabric Defect Detection Algorithm Using Entropy Filtering and Minimum Error Thresholding. 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 16-19 October 2016
- [11] Gorbunov Vladimir, Bobrikov Dmitriy, Thet Naing Win, Ionov Evgen. The Vision System in the Weaving Loom Industry. 978-1-5090-4865-6/17/\$31.00 ©2017 IEEE
- [12] Image Enhancement in the Spatial Domain, Available:<http://www.it.nrru.ac.th/krit/411304/Chapter03.pdf>
- [13] Nantawoot, drpoolsak ,The development of simulation Program for learning of Model-based PositionControl using LabVIEW with

NI-myRIO microcontroller, 10th National
Conference on Technical Education

- [14] Librec. Computer vision and its application
in detecting fabric defects. 2018Elsevier Ltd.

All rights reserved

- [15] Imageprocessing.
Available:http://www.elfit.sru.ac.th/ravi_ut/file.php/1/PP-Image.pdf

- [16] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, สถิติสำหรับวิศวกร
(ภาคปฏิบัติ), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-
ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2561.