

การนับกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการคำนวณผลต่างระหว่างสมาชิกที่อยู่ติดกันจากข้อมูลไบนารี

Corrugated Paper Counting by Calculating Differences Between Adjacent Elements on Binary Data

กิตติพร รอดไม้ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

skittiporn_r@mail.rmutt.ac.th chatchai.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการนับจำนวนชั้นกระดาษลูกฟูกแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะของภาพขาวดำของขอบวัตถุตามแนวแกนตั้ง หรือ แกน Y ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการแยกส่วนภาพด้วยค่าขีดแบ่ง การปรับปรุงภาพด้วยคณิตสณฐานวิทยา และตัวกรองคอนโวลูชันสำหรับตรวจนับจำนวนของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เรียงเสมอกันทั้งกองและที่มีบางส่วนวางเหลื่อมไม่เสมอกัน โดยตำแหน่งส่วนที่เหลื่อมจะถูกกำหนดให้เป็นบริเวณที่สนใจ (ROI) และใช้กระบวนการเช่นเดิมทำในบริเวณดังกล่าว จากผลการทดลองภาพของแผ่นกระดาษที่เรียงเสมอกันทั้งกองและที่มีบางส่วนวางเหลื่อมห่างออกจากระยะโฟกัสไม่เกิน 3 เซนติเมตรสามารถนับจำนวนได้ถูกต้อง 100 % ส่วนกรณีการเหลื่อมห่างออกจากระยะโฟกัสเกิน 3 เซนติเมตร ผลการนับจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นที่เหลื่อม

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การวิเคราะห์วัตถุ, คณิตสณฐานวิทยา

Abstract

This paper proposes an automatic method for counting the number of corrugated cardboard layers using a black and white image state change detection technique of object edges along the vertical or Y axis. The proposed method consists of a thresholded image segmentation step, morphological image enhancement, and a convolutional filter for counting the number of corrugated sheets that are evenly placed throughout the stack and the number of sheets that are unevenly placed. The location of the overlapped part is defined as a region of interest (ROI) and the same process is applied to that region. From the experimental results, the images of corrugated cardboard sheets that are arranged evenly throughout the pile and some of them are placed at a distance of no more than 3 centimeters from the focus can be counted with 100% accuracy. If the distance is more than 3 centimeters away from the focus, the counting result will have an error depending on the number of overlapping sheets.

Keywords: Image processing, object analysis, morphology

1. บทนำ

งานวิจัยของ Singh และ Saha [1] สะท้อนให้เห็นว่า E-Commerce ผลักดันการขยายตัวของโลจิสติกส์และระบบพัสดุ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (Distribution Packaging) โดยเฉพาะทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกเป็นที่นิยมด้วยเหตุผลด้านความแข็งแรง ต้นทุนและการใช้เชื้อเพลิง ส่งผลให้ปริมาณการใช้และการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยความต้องการดังกล่าวนำไปสู่ความจำเป็นของเครื่องมือตรวจนับที่รวดเร็วและแม่นยำ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการพัฒนานับจำนวนชั้นกระดาษลูกฟูกแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

การนับชั้นกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากงานของ ฮิตัวซุรุ คิริอุมารัตน์ และ ทวีพล ชือสัตย์ [2] ซึ่งเสนอระบบประมวลผลภาพเชิงพานอรามา โดยอาศัยค่าเฉลี่ยระยะช่วงลอนกระดาษในแต่ละชั้นเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนชั้นกระดาษ ถัดมา มีนา รัตนกร และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล [3] ได้พัฒนาวิธีการนับกระดาษด้วยการตรวจหาโครงสร้างลอนกระดาษโดยการวิเคราะห์ (Blob Analysis) บนด้านลอนกระดาษ เพื่อระบุตำแหน่งลอนกระดาษและกำหนดเกณฑ์การเปลี่ยนชั้นกระดาษ จากระยะห่างระหว่างลอนกระดาษ และต่อมาอรุณพล พลานนท์ และ วีระศักดิ์ ชื่นตา [4] ประยุกต์การฉายภาพพร้อมกับการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ โดยใช้จำนวนยอดคลื่นของสัญญาณเป็นตัวแทนจำนวนชั้นกระดาษ และงานวิจัยของ Ufuk Cebeci และ Fatih Aslan [5] ใช้การปรับปรุงภาพให้แสดงโครงสร้างลอนกระดาษให้เด่นชัดในภาพขาวดำ (Binary Image) และดำเนินการนับบริเวณขอบสีขาวซึ่งเป็นลอนกระดาษ ต่อมา Chatchai Suppitaksakul และ Meena Rattakorn [6] ได้นำแนวคิดการตรวจพื้นที่ลอนกระดาษ [3] ร่วมกับการนับบนด้านรอยตัดของกระดาษ โดยใช้การวิเคราะห์ First Order บนภาพขาวดำใช้การพิจารณาการเปลี่ยนจากดำเป็นขาวเป็นจำนวนกระดาษ และกิตติพร รอดไม้ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล [7] ได้นำเสนอการนับด้วยเทคนิคการสร้างเส้นจากจุดภาพของลอนลูกฟูก โดยทำการนับจากเส้นที่สร้างจากลอนกระดาษ และประเมินช่วงที่นับกระดาษไม่ได้ อันเกิดจากความเสียหายของลอนกระดาษ หรือภาพไม่อยู่ในระยะโฟกัสจากการคำนวณทางสถิติ

อย่างไรก็ตามวิธีการ [7] ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากเส้นที่สร้าง จะมีความหนาเท่าความสูงของลอนกระดาษที่สูงสุดในชั้น ซึ่งไม่ได้เป็นความหนาของชั้นกระดาษจริง ทำให้ได้ค่าทางสถิติที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลการนับกระดาษผิดพลาดตามไปด้วย

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงการนับกระดาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะของภาพขาวดำ ตามแนวแกน Y โดยกำหนดให้การเปลี่ยนจากค่า 0 เป็น 1 เป็นจุดเริ่มต้นขอบกระดาศ และจาก 1 เป็น 0 เป็นจุดสิ้นสุดขอบกระดาศ เมื่อตรวจพบครบทั้งจุดเริ่มต้นขอบกระดาศ และจุดสิ้นสุดขอบกระดาศ จะนับเป็น 1 ชั้น สำหรับกรณีที่ภาพไม่สามารถมองเห็นลอนกระดาศ เนื่องจากขอบกระดาศลูกฟูกไม่อยู่ในระยะโฟกัส หรือลอนลูกฟูกมีความเสียหาย จะใช้วิธีการปรับค่าขีดแบ่ง แบบอัตโนมัติภายในพื้นที่ที่เกิดปัญหา เพื่อให้สามารถมองเห็นลอนกระดาศได้ และนำมาใช้การตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะของภาพขาวดำอีกครั้ง วิธีนี้จะลดความผิดพลาดในการนับกระดาศจากกระบวนการตีเส้นและการคาดการณ์ทางสถิติ เนื่องได้ทำการนับกระดาศจากลอนกระดาศบนภาพจริง โดยจำนวนลอนกระดาศสมบูรณ์ในแต่ละชั้นจะต้องมีค่ามากกว่า 30% ของจำนวนลอนกระดาศในชั้นที่มีความสมบูรณ์สูงสุด และมีความหนาแน่นมากกว่า 4 จุดภาพ โดยระยะกระดาศอยู่ห่างออกจากระยะโฟกัสไม่เกิน 3 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถมองเห็นลอนกระดาศได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแยกบริเวณรูปภาพ (Image Segmentation)

Image Segmentation คือการแบ่งภาพออกเป็น ส่วน (Regions) ตามคุณสมบัติ เช่น ความเข้ม, สี และ Texture เพื่อแยกวัตถุ (Object) ออกจากพื้นหลัง (Background) โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) โดยอาศัยความแตกต่างของค่าความเข้มในภาพระดับเทา (Grayscale) เพื่อแบ่งจุดภาพ หรือ พิกเซล (Pixel) ออกเป็นวัตถุ และพื้นหลัง ดังสมการ (1) [8]

$$S(x,y) = \begin{cases} 1, I(x,y) \geq T(\text{foreground / object}) \\ 0, I(x,y) < T(\text{background}) \end{cases} \quad (1)$$

กำหนดให้ $I(x,y)$: ภาพระดับเทา (grayscale image)
 T : ค่าขีดแบ่ง (threshold)

2.2 คณิตศาสตร์ฐานวิทยา (Mathematical Morphology)

ชุดเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์และประมวลผลภาพ โดยใช้รูปทรงเรขาคณิต (Structuring Element: SE) เพื่อจัดการกับรูปร่างของวัตถุในภาพแบบไบนารี โดย Morphological Closing คือการขยายวัตถุ (Dilation) แล้วตามด้วยการหดกลับ (Erosion) เพื่อเติมช่องว่างเล็กเชื่อมจุดหรือเส้นที่เกือบติดกัน ทำให้เส้นขอบวัตถุเรียบขึ้น ดังสมการ (2) [8]

$$\begin{aligned} \text{Dilation: } A \oplus B &= \{z \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \\ \text{Erosion: } A \ominus B &= \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \\ \text{Closing: } A \bullet B &= \{(A \oplus B) \ominus B\} \end{aligned} \quad (2)$$

กำหนดให้ A : เซตของของจุดภาพ
 B : Structuring element (SE)

2.3 ตัวกรองคอนโวลูชัน (Convolutional Filter)

ตัวกรองคอนโวลูชัน (Convolution Filtering) เป็นการประมวลผลภาพโดยการนำเคอร์เนล (Kernel) มาทำการคอนโวลูชันกับภาพอินพุต เพื่อแปลงค่าพิกเซลในภาพใหม่ตามบริเวณรอบตัวพิกเซลนั้น เพื่อลดสัญญาณรบกวน (Noise) เพื่อเน้นขอบ หรือรายละเอียดในภาพ ดังสมการ (3) [8]

$$(I * K)[i,j] = \sum_m \sum_n I[i-m, j-n] \cdot K[m,n] \quad (3)$$

โดย I : ภาพต้นฉบับ, K : ฟิลเตอร์ (Kernel), $(I * K)$: ภาพผลลัพธ์จากการ Convolution, i,j : ตำแหน่งพิกเซลในภาพผลลัพธ์ และ m,n : ตำแหน่งพิกเซลในฟิลเตอร์

หมายเหตุ การดำเนินการคือการคูณสมาชิกที่ตรงกันระหว่างฟิลเตอร์ที่เลื่อนไปทับกับส่วนของภาพ แล้วนำผลคูณทั้งหมดมาบวกกัน

2.4 การวิเคราะห์วัตถุ (Object Analysis)

ในการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) โดยมีเป้าหมายในการการระบุ แยกแยะ และทำความเข้าใจ คุณลักษณะของวัตถุที่สนใจ โดยมีขั้นตอนสำคัญคือการกำหนดป้ายกำกับ (Labeling) เพื่อระบุว่ามีพิกเซลใดอยู่ในวัตถุเดียวกัน (Connected Component Labeling) ภายใต้เงื่อนไขการเชื่อมต่อ 4-connectivity หรือ 8-connectivity และการหาคุณลักษณะของแต่ละวัตถุ (Feature Extraction) เช่น พื้นที่ (Area), จุดกึ่งกลาง (Centroid), กรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ Bounding Box ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังสมการ (4) [8]

$$\begin{aligned} 4\text{-connectivity: } N_4(x,y) &= \left\{ \begin{aligned} &(x+1,y), (x-1,y), \\ &(x,y+1), (x,y-1) \end{aligned} \right\} \\ 8\text{-connectivity: } N_8(x,y) &= N_4(x,y) \cup \left\{ \begin{aligned} &(x+1,y+1), (x+1,y-1), \\ &(x-1,y+1), (x-1,y-1) \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

หมายเหตุ 4-connectivity พิกเซล (x,y) เชื่อมกับพิกเซลรอบ 4 ทิศทาง
8-connectivity พิกเซล (x,y) เชื่อมกับพิกเซลรอบ 8 ทิศทาง

3. อัลกอริทึมการนับกระดาศลูกฟูก

อัลกอริทึมหรือขั้นตอน ในการนับกระดาศลูกฟูกมี ดังนี้ 1. แปลงภาพระดับเทา เป็นภาพระดับขาวดำด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง 2. ปรับปรุงภาพภาพ โดยใช้คณิตศาสตร์ฐานวิทยาและตัวกรองคอนโวลูชัน 3. กรองวัตถุที่เป็นลอนกระดาศด้วยการวิเคราะห์วัตถุ 4. ทำการนับกระดาศจากลอนที่สมบูรณ์ 5. ทำนับกระดาศจากบริเวณภาพลอนที่ไม่สมบูรณ์ และ 6 รวมจำนวนการนับกระดาศจากขั้นตอนที่ 4 และ 5 โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 1

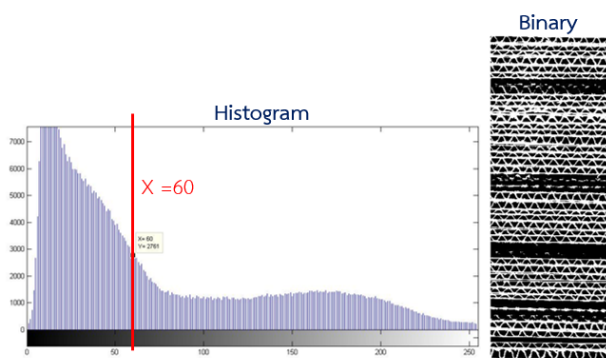


รูปที่ 1 แสดงอัลกอริทึมการนับจำนวนกระดาศจากด้านลอนลูกฟูก

โดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพที่ได้จากกล้องสแกนเส้น (Line Scan) ความละเอียด 1221 X 444 จุดภาพ รับภาพด้านลอนลูกฟูก โดยมีระยะโฟกัสวัดจากเลนส์ของกล้องถึงกองกระดาษ 600 มิลลิเมตร

3.1 การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

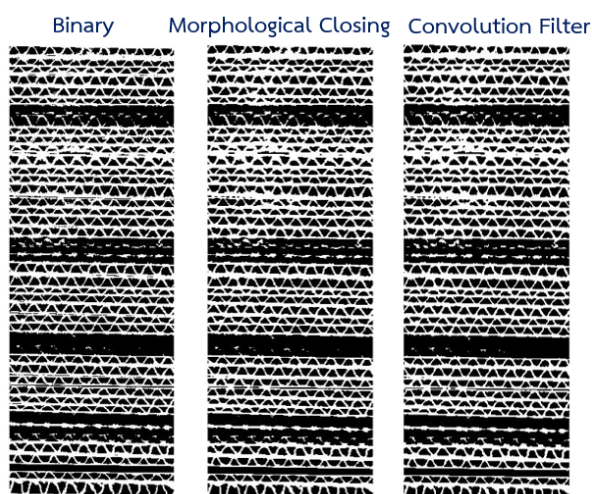
ภาพกระดาษลูกฟูกที่ได้จากกล้องจะเป็นภาพระดับเทามีค่าความเข้ม 0-255 เพื่อง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์การทำให้เป็นภาพระดับขาวดำ จะลดจำนวนข้อมูลเหลือเพียง 0 และ 1 โดยใช้ฮิสโตแกรม (Histogram) ของภาพระดับเทาและเลือกค่าขีดแบ่งที่ 60 และได้ภาพขาวดำแสดงผลการทำงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการทำให้เป็นภาพระดับขาวดำ (Binary)

3.2 การปรับปรุงภาพขาวดำ

โดยในขั้นตอนการทำงานนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนการทำงานย่อยได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การทำให้ลักษณะเด่นของลอนกระดาษลูกฟูกมีความชัดเจนมากที่สุดโดยใช้ คณิตศาสตร์ฐานวิทยา Closing เติมช่องว่างเล็กๆ ของภาพลอนกระดาษ และเชื่อมจุดหรือเส้นที่เกือบติดกันเพื่อทำให้เส้นขอบลอนเรียบขึ้น โดยวัตถุยังขนาดเท่าเดิม โดยเลือกใช้ Structure Element ขนาด 3X3 และขั้นตอนย่อยที่ 2 คือการลบสัญญาณรบกวนของภาพให้แสดงรายละเอียดของภาพให้ชัดเจนที่สุด โดยการใช้ตัวกรองคอนโวลูชันขนาด 3x3 ในการกรอง แสดงผลการทำงานดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการปรับปรุงภาพ

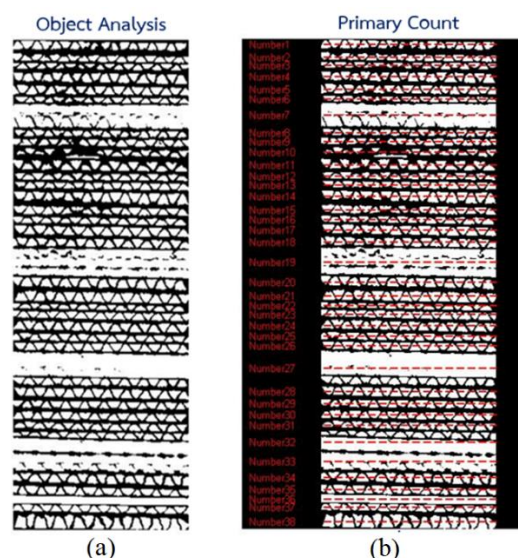
3.3 การวิเคราะห์วัตถุ (Object Analysis)

เมื่อได้ภาพระดับขาวดำที่ผ่านการปรับปรุงภาพแล้วระดับหนึ่ง นำภาพดังกล่าวมากลับสี (Invert) เพื่อให้ลอนกระดาษเป็นสีขาว และส่วนพื้นหลังเป็นสีดำ เพื่อนำลอนกระดาษมาทำการกำหนดป้ายกำกับเป็นวัตถุที่สนใจ และทำการหาคุณลักษณะของลอนกระดาษ โดยต้องการลอนกระดาษที่มีเงื่อนไข ความกว้างมากกว่า 10 จุดภาพ แต่ไม่เกิน 500 จุดภาพ ส่วนความสูงมากกว่า 7 จุดภาพ เป็นเงื่อนไขต่ำสุด เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ใช่ลอนกระดาษออกไป แสดงผลการทำงานตามรูปที่ 4 (a)

3.4 การนับกระดาษจากลอนที่สมบูรณ์จากในขั้นตอน 3.3 ได้

ภาพที่มีลอนกระดาษตามต้องการแล้ว

โดยลอนกระดาษเป็นสีขาว และมีพื้นหลังเป็นสีดำ ให้ทำการรวมค่าพิกเซล สีขาวในแต่ละชั้นลอนกระดาษ และกำหนดเงื่อนไขในการนับให้ชั้นกระดาษ โดยชั้นกระดาษที่ทำการนับจะต้องมีจำนวนค่าพิกเซลสีขาวมากกว่า 30% ของชั้นที่มีค่าพิกเซลสีขาวสูงสุด จากนั้นทำการตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะของภาพขาวดำ ตามแนวแกน Y โดยกำหนดให้การเปลี่ยนจากค่า 0 เป็น 1 เป็นจุดเริ่มต้นขอบกระดาษ และ 1 เป็น 0 เป็นจุดสิ้นสุดขอบกระดาษ เมื่อตรวจพบครบทั้งเริ่มต้นขอบกระดาษและจุดสิ้นสุด ขอบกระดาษ จะนับเป็นกระดาษ 1 ชั้น และเมื่อทำการตรวจจบ การเปลี่ยนแปลงตลอดกองกระดาษ จะทำให้สามารถนับจำนวนกระดาษได้ แสดงผลการทำงานดังรูปที่ 4 (b)



รูปที่ 4 (a) แสดงการวิเคราะห์วัตถุ (Object Analysis) และ (b) แสดงการนับกระดาษกรณีลอนสมบูรณ์ทั้งกองกระดาษ

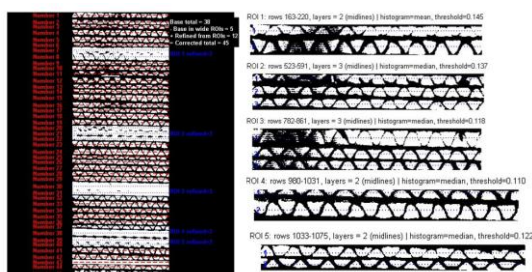
3.5 การนับกระดาษจากลอนที่ไม่สมบูรณ์

จาก 3.4 ถ้าพบว่ามีช่วงลอนกระดาษสีขาวที่ไม่สามารถนับจำนวนได้ เนื่องจากจากลอนกระดาษดังกล่าวอยู่หลังระยะโฟกัสหลายชั้นติดกัน จากการหาจุดเริ่มต้นขอบกระดาษ และจุดสิ้นสุดขอบกระดาษทำให้ทราบถึงความหนาของลอนกระดาษทุกชั้น ดังนั้นความหนาของชั้นกระดาษที่มี

ความกว้างผิวดปกติ ถูกนำมาเป็นเงื่อนไขในการกำหนดบริเวณที่สนใจ (Region of Interest, ROI) โดยจะต้องมีความกว้างมากกว่า 2 เท่าของ ค่ามัธยฐาน (Median) ใน 80% ของชั้นความหนาที่เรียงกันจากน้อยไปมาก เมื่อได้ชั้นที่มีความกว้างผิวดปกติ ให้ทำการตัดชั้นดังกล่าวมาย้อนดู ค่าฮิสโตแกรมในภาพระดับเทา และใช้วิธีหาค่ามัธยฐานของค่าความเข้มใน ภาพระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปมาก เพื่อนำมาหาค่าขีดแบ่ง หลังปรับปรุงจะได้ภาพที่มองเห็นลอนชัดเจนขึ้น จึงสามารถกลับมาใช้การ ตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะของภาพขาวดำในการนับกระดาษต่อไปได้ สามารถแสดงการทำงานตามรูปที่ 5 และแสดงผลการทำงานตามรูปที่ 6



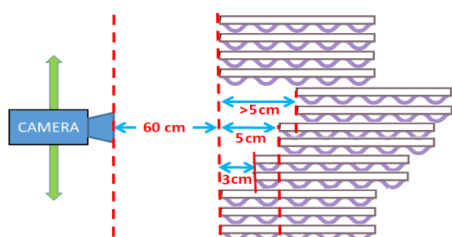
รูปที่ 5 แสดงผลการทำนํานับกระดาษจากลอนที่ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 6 แสดงผลการนับกระดาษจากลอนที่ไม่สมบูรณ์

4. ผลการทดลอง

ภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C ปั่นกัน รวมจำนวน 45 แผ่น ติดตั้งกล้องมีระยะโฟกัส วัดจากเลนส์ของกล้องถึง กองกระดาษหลักเท่ากับ 60 เซนติเมตร โดยทดสอบกับภาพกองกระดาษที่มีขอบกระดาษเสมอกันทั้งกอง และภาพกองกระดาษที่มีการเหลื่อมลอย เข้าไปจากกองกระดาษหลักซึ่งห่างออกจากระยะโฟกัส 3 - 5 เซนติเมตร และมากกว่า 5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการทดสอบกองกระดาษที่ระยะต่างๆ

ในกรณีวางกระดาษเรียงชิดเท่ากันทั้งกองที่ระยะโฟกัส 60 เซนติเมตร สามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง 100% ส่วนกรณีกองกระดาษมี กระดาษจำนวน 1-11 แผ่น วางเหลื่อมลอยห่างจากระยะโฟกัส 3 เซนติเมตร ยังสามารถนับได้ถูกต้อง ในกรณีกองกระดาษมีกระดาษ เหลื่อมลอยห่างจากระยะโฟกัส 5 เซนติเมตร พบว่าสามารถนับถูกต้องได้จำนวน 8 แผ่น และกรณีมีการเหลื่อมมากกว่า 5 เซนติเมตร ไม่สามารถสามารถนับได้ ถูกต้องทั้งกอง ดังผลการทดลองตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการนับกระดาษที่วางเหลื่อมลอยห่างจากระยะโฟกัสต่างๆ

ระยะห่างจากกล้อง ที่มากกว่าระยะโฟกัส	จำนวนชั้นกระดาษที่ไม่อยู่ในระยะโฟกัส (แผ่น)						
	1	2	4	6	8	9	11
3 cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5 cm	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
มากกว่า 5 cm	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

หมายเหตุ : ✓ คือนับจำนวนกระดาษได้ถูกต้องทั้งกอง ✗ คือนับจำนวนกระดาษได้ไม่ถูกต้อง

จากตารางที่ 1 พบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถนับจำนวนกระดาษ ได้อย่างแม่นยำเมื่อระยะห่างจากโฟกัสไม่เกิน 3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ยัง สามารถเห็นโครงลอนกระดาษได้ชัดเจน แต่เมื่อระยะห่างมากขึ้น โดยเฉพาะ เกิน 5 เซนติเมตร ความแม่นยำจะลดลงเนื่องจากภาพเบลอเกินกว่าที่เทคนิค จะประมวลผลได้เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ [7] แนวทางในงานนี้มีข้อ ได้เปรียบจากการใช้การปรับค่าขีดแบ่งเฉพาะจุด ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อน และสามารถต่อยอดให้รองรับกรณีที่กระดาษอยู่หน้าระยะโฟกัสได้ในอนาคต

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้การ ตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะของภาพขาวดำร่วมกับการปรับปรุงภาพและ การวิเคราะห์วัตถุ ซึ่งสามารถตรวจนับได้อย่างแม่นยำในช่วงระยะที่ยัง มองเห็นลอนกระดาษได้ชัดเจน โดยเฉพาะกรณีห่างจากระยะโฟกัสไม่เกิน 3 เซนติเมตร ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแนวทางที่เสนอในการ ประยุกต์ใช้กับระบบตรวจสอบคุณภาพในสายการผลิต และควรพัฒนาต่อ ยอดเพื่อรองรับกรณีภาพเบลอ เนื่องจากกองกระดาษอยู่ด้านหน้าระยะโฟกัส

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Singh and K. Saha, "Ecommerce Retail: Challenges and Opportunities for CPG Related Distribution Packaging," in *Proc. 21st IAPRI World Packaging Conference*, Zhuhai, China, 2018.
- [2] วิฑูริย์ ศิริอมรรัตน์, ทวีพล ชื้อสตัย, "การนับแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยระบบการประมวลผลภาพแบบพาโนรามา" King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
- [3] มินา รัตนกร, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, "การตรวจหาพื้นที่ลอนของ กระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ", *EECON-35* 2555
- [4] อรรถพล พลานนท์, วีระศักดิ์ ชื่นตา, "การนับจำนวนห่อกระดาษ ด้วยวิธีฉายภาพแบบปรับปรุงสัญญาณจากอนุกรมฟูเรียร์" *The 5th NPRU National Academic Conference*, 2013
- [5] Ufuk Cebeci, Fatih Aslan, Metin Celik and Halil Aydin, "Developing a New Counting Approach for the Corrugated Boards and Its Industrial Application by Using Image Processing Algorithm" Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- [6] Chatchai Suppitaksakul, Meena Rattakorn, "Machine Vision System for Counting the Number of Corrugated Cardboard" *Proceedings of the International Electrical Engineering Congress 2014*
- [7] กิตติพร รอดไม้, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, "การนับกระดาษลูกฟูก ด้วยเทคนิคการสร้างเส้นจากจุดภาพลอนลูกฟูก" *EECON-45* 2565
- [8] Refale C. Gonzale and Richard E. Woods, *Digital Image Processing Second edition*, Prentice Hall, 2002