



ระบบนับวัตถุอัตโนมัติด้วยเทมเพลตแมชชีนแบบฟาสนอร์มัลไลซ์คอร์เรลอร์เลชัน

Fast Normalized Cross Correlation for Real Time Automatic Counting

Objects System

นัศพชาณัน ชินปัญญชนะ^{1*} และ เตชรัฐสินธุ์ เพ็ญชัย²

¹ วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

110/1-4 ถ.ประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

*E-mail: nutchanun.cha@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

ผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีผลิตภัณฑ์เป็นเมล็ดพืช ขวด หรือ ตัวสลักเกลียว การนับวัตถุเหล่านี้ต้องใช้เวลามาก ทำให้ระบบนับวัตถุอัตโนมัติสำหรับโรงงานนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อลดความผิดพลาดของการนับด้วยมนุษย์ การใช้คนในการนับใช้เวลานานและอาจเกิดความผิดพลาดได้ ในยุคปัจจุบันของความต้องการที่เพิ่มขึ้นของกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ระบบนับวัตถุอัตโนมัติจึงกลายเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อช่วยลดแรงงานมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น อุปกรณ์เซ็นเซอร์ถูกนำมาใช้ในการนับจำนวนของผลิตภัณฑ์แบบอัตโนมัติบนสายพาน แต่การใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์นั้นง่ายสำหรับการนับวัตถุโดยทั่วไปที่ทึบแสง และมีการเว้นระยะห่างของวัตถุบนสายพานอย่างพอเหมาะไม่เรียงชิดกัน แต่อย่างไรก็ตามการนับวัตถุแบบเรียลไทม์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีการใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์นั้น ก็ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ยังมีข้อผิดพลาดในการนับ จึงมีการนำเสนองานวิจัยใช้หลักการทางภาพประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการนับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่บนสายพานแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทมเพลตแมชชีนแบบฟาสนอร์มัลไลซ์คอร์เรลอร์เลชันเพื่อทำการตรวจนับวัตถุ หลังจากได้ทำการทดลองได้ค่าความถูกต้องถึง 98.8%

คำสำคัญ: ระบบตรวจนับวัตถุอัตโนมัติ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เทมเพลตแมชชีน การประมวลผลภาพ

Received: October 19, 2016

Revised: July 11, 2017

Accepted: November 28, 2017

Abstract

Manufacturers produces a large quantity of objects like bottles, seeds, bolts. The counting of this objects takes a lot of time when a large order is received. Automatic counting system can be used for such type of bulk orders. This reduces the chances of human errors in counting. Using human labor has occurred for a long time but errors and mistakes happen. In the present age of increasing demand in productivity the factory process, counting automation technique is necessary to help people and increase efficiency in the workplace. A sensor device has been used to automatically counting the products on conveyor belts. That is simple for the generally opaque products. And the interval distance of the object is adequately aligned together. However, sensor devices are still limited. It cannot count all products. Therefore, we are applying the principles of image processing to help in counting objects on a conveyor belt moving in real time by using template matching with fast normalized cross correlation. The experimental results indicate that our proposed approach offers significant performance improvements in the automatic counting products, with the maximum of 98.8%.

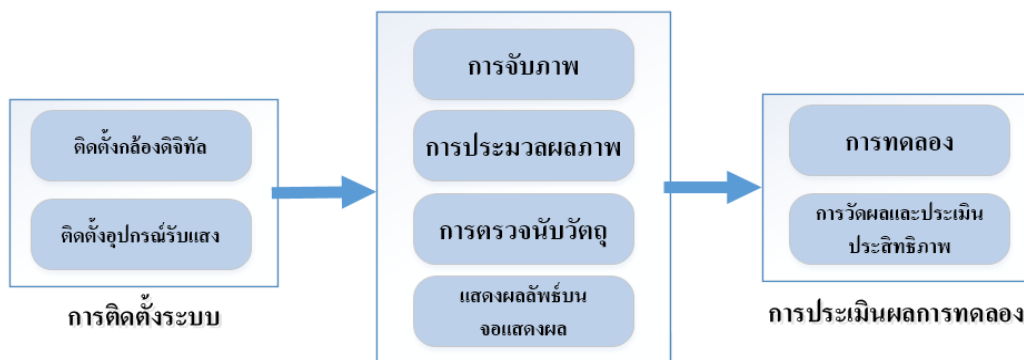
Keywords: Automatic counting objects system, Correlation-based template matching, Template Matching, Image Processing

1. บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมมีการผลิตสินค้าจำนวนมากในแต่ละวัน ส่วนมากผลิตภัณฑ์ถูกลำเลียงบนรางสายพานเพื่อบรรจุและส่งออกอย่างรวดเร็ว การนับจำนวนสินค้าที่เคลื่อนบนสายพานลำเลียง เพื่อจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้านั้นจึงเป็นอีกสิ่งที่จะต้องทำอย่างถี่ถ้วน การใช้แรงงานมนุษย์ในสายการผลิตตลอดเวลานั้นเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นและเกิดความผิดพลาดได้เมื่อมีการทำงานซ้ำ ๆ เป็นเวลานาน [1] [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการแก้ไขปัญหาของการตรวจนับวัตถุบนสายพานลำเลียง ด้วยการใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจนับวัตถุเคลื่อนที่บนรางสายพาน จากการบินถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล และสรุปได้ว่าการทำงานด้วยระบบตรวจนับวัตถุที่นำเสนอนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

โรงงานอุตสาหกรรมที่ยังคงมีการทำงานด้วยมนุษย์นั้นก็มีข้อจำกัดทางร่างกาย เช่น งานที่ต้องทำซ้ำเป็นระยะเวลานาน ๆ สมรรถภาพของร่างกายลดลง เมื่อล้า ขาดสมาธิ จนทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ และการทำงานที่ต้องใช้ดุลยพินิจในการตรวจสอบหรือตัดสินใจนั้นแต่ละบุคคลจะมีมาตรฐานสำหรับการตัดสินใจที่แตกต่างกัน สำหรับงานที่ต้องใช้ความเร็วหรืองานที่มีความเสี่ยงสูง การทำงานร่วมกับเครื่องจักรกลต่าง ๆ ทำให้เกิดความเสียหายทางด้านความปลอดภัย เช่น งานตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ งานคัดแยกผลิตภัณฑ์ งานควบคุมกระบวนการผลิต เป็นต้น

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์วิชั่นได้เข้ามามีบทบาทไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ คมนาคม อุตสาหกรรม เพื่อทำหน้าที่แทนการทำงานของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น และสามารถเข้าช่วยการทำงานของมนุษย์ เพื่อลดความผิดพลาดทำให้ได้



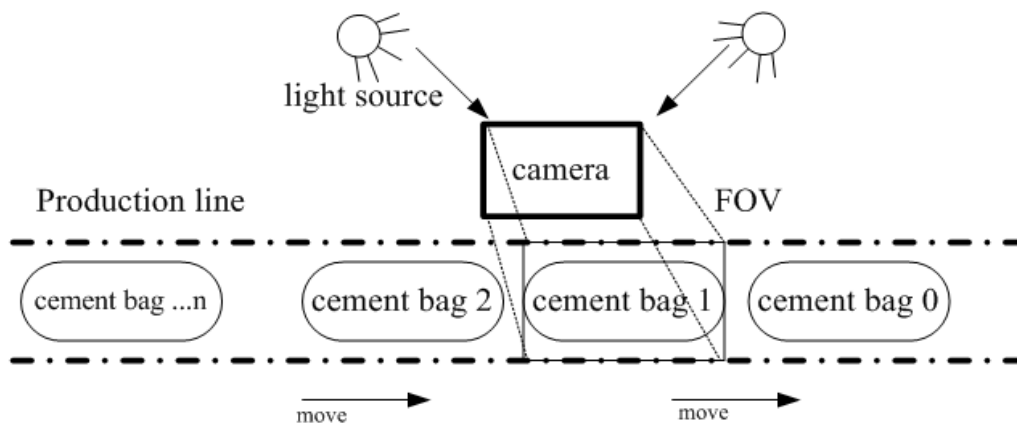
ระบบการตรวจนับวัตถุอัตโนมัติ
รูปที่ 1 ระบบตรวจนับวัตถุอัตโนมัติ

คอมพิวเตอร์วิชันจะเป็นการนำทฤษฎีทางการประมวลผลภาพ เข้ามาประยุกต์ใช้ด้วยอัลกอริทึมประกอบด้วยคำสั่งเพื่อกำหนดกฎเกณฑ์การทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาและเรียนรู้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ การทำงานของระบบจะใกล้เคียงกับการทำงานของมนุษย์ที่มีกลไกซับซ้อน เป็นอีกวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ของระบบงานอุตสาหกรรมได้

ระบบตรวจนับวัตถุเป็นระบบที่จำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีการผลิตสินค้าอย่างต่อเนื่องและจำนวนมากบนสายการผลิต สินค้าที่ถูกส่งออกจำหน่ายนั้นจะต้องถูกตรวจนับให้ครบถ้วนและอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์มากที่สุด ก่อนที่จะส่งออกไปจำหน่ายให้กับลูกค้า โดยทั่วไปมักใช้แรงงานมนุษย์เพื่อนับจำนวนสินค้าที่เคลื่อนบนสายพานที่ละมาก ๆ ทำให้เสียเวลา ต้องทำงานซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานาน ๆ และที่สำคัญสามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เมื่อมีการนับเป็นเวลานาน ๆ ดังนั้นจึงมีการนำอุปกรณ์การตรวจนับวัตถุเข้ามาใช้ช่วยงานมนุษย์ เพื่อให้การนับและการตรวจสอบจำนวนผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยหลายกลุ่มพยายามคิดค้นและทดลองเทคนิควิธีตรวจนับวัตถุในหลากหลายรูปแบบขึ้นกับอุปกรณ์และคุณลักษณะของวัตถุที่ใช้ในการตรวจนับ รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนเทคนิค เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ได้ โดยอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจจับวัตถุ ในรูปแบบของเซ็นเซอร์ (Sensor) เช่น อินฟราเรด (Infrared) อุลตราซาวด์ (Ultrasound) Heinrich Ruser [3] ได้ปรับปรุงการตรวจนับมนุษย์ด้วยการใช้เซ็นเซอร์ขนาดเล็กที่เป็น ไดโอดอะเรย์ (Diode array) ข้างละ 3 จุดรวมเป็น 6 จุดเพื่อใช้ในการตรวจจับ โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การกระทบกันของแสงบนวัตถุทางการประมวลผลภาพ ค่าความเข้มของแสง (Intensity) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้นับวัตถุ และการวิจัยที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดคือการรวมกันของเทคโนโลยี [4] [5] และ บริษัท Infodev Edi จำกัด [6] เป็นบริษัทสร้างระบบตรวจนับมนุษย์ที่มีจำนวนมาก เช่น ผู้โดยสารบนขบวนรถไฟ รถโดยสารประจำทาง [7] หรือที่ชุมชน ด้วยเทคโนโลยีของเซ็นเซอร์ (DA-400) ที่มีความหนา 13 mm. และสร้างวงจร (RS-485 RS-232) เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผล (Control unit) เพื่อตอบสนองความ



รูปที่ 2 การติดตั้งกล้องดิจิทัลและแหล่งกำเนิดแสง

ถูกต้องและความคงทนในการตรวจนับ แต่อย่างไรก็ตามการที่เซ็นเซอร์มีฝุ่นหรือมีความสกปรกบนตัวเซ็นเซอร์และจะเกิดผลกระทบต่อการตรวจนับวัตถุ และยังมีข้อจำกัดอีกหลายจุดที่ส่งผลให้การตรวจนับวัตถุ ยังคงคลาดเคลื่อน เช่น ตัวเซ็นเซอร์จะไวต่อการสั่นสะเทือนรวมทั้งการเปลี่ยนของแสง (แสงกระพริบแบบลับพลัน) หรือแสงไม่เพียงพอในการจับวัตถุ

1.2 การประมวลผลภาพกับระบบงานอุตสาหกรรม

กลุ่มนักวิจัยบางกลุ่มพยายามนำการประมวลผลภาพ (Image processing) เข้ามาช่วยในการตรวจนับวัตถุ เช่น กลุ่มของ Junlong Fang [8] ใช้วิธีการตรวจนับกลุ่มของแบคทีเรีย ด้วยการประมวลผลภาพด้วย ขนาด (Size) และสีในระบบ RGB และ Tsong-Yi Chen [9] ได้ตรวจนับมนุษย์ที่เดินผ่านประตู เช่นกัน โดยใช้กล้องวิดีโอแบบ Zenithal เพื่อทำการบันทึกและประมวลผลภาพ โดยการใช้การแมชชีน (Matching) ในรูปแบบ Bounding-boxes และเวกเตอร์ของสี (Color-vector) Ventseslav Draganov [10] ได้สร้างวงจรใหม่โดยที่ประกอบด้วย อุปกรณ์ Input conversion และ

Counting control indication เพื่อใช้ในการตรวจนับขวดแก้วแทนตัวเซ็นเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามได้จำกัดขนาดของขวดแก้วที่แน่นอนและจะตรวจจับขวดแก้วเมื่อขวดตั้งตรง P.P. Jonker [11] ได้ใช้การประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการตรวจนับขวด ในปริมาณมาก โดยใช้กล้องทั้งหมด 16 ตัวเพื่อถ่ายภาพอย่างต่อเนื่อง บริษัท Fuzhou Zero Automation Equipment จำกัด ได้สร้างเครื่อง ตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ที่แสดงผลการการนับบนหน้าจอด้วย Luminance LED ควบคุมด้วย ตัว น ของ ชิ ฟ ไมโครคอมพิวเตอร์ตัวเดียว (Single chip microcomputer) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความคงทนต่อการตรวจนับวัตถุมากกว่าการใช้ตัวเซ็นเซอร์ ด้วยความเร็วคงที่ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะที่มีการควบคุมใช้สร้างขึ้นมาสามารถตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ได้เท่านั้น

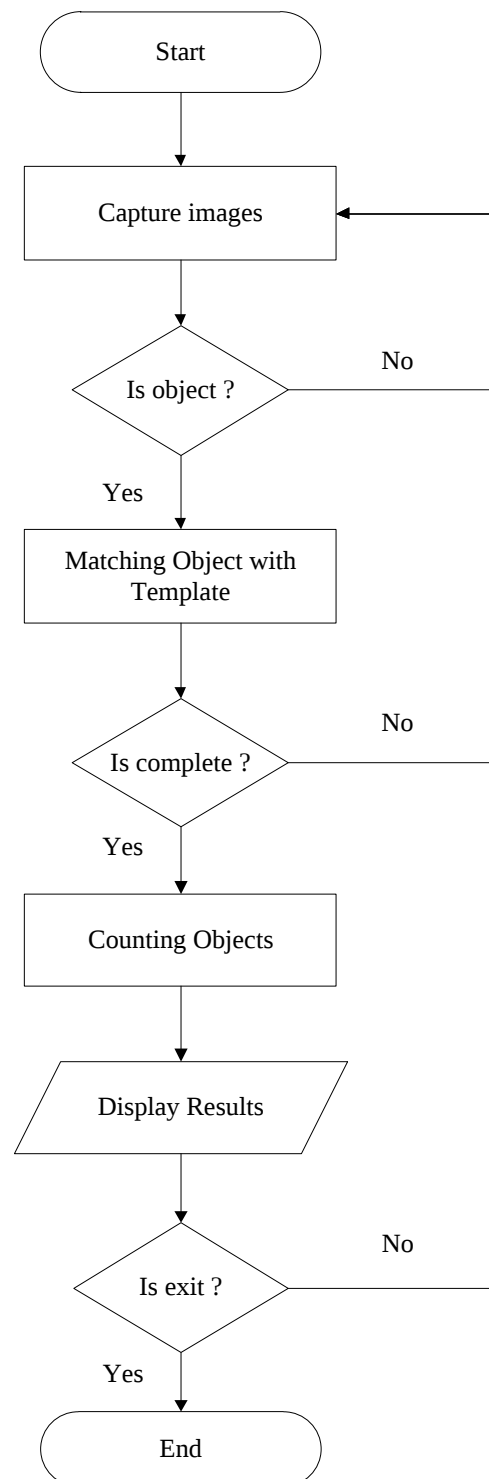
การใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถรับแรงสั่นของรางขณะวัตถุถูกลำเลียงและเกิดแรงส่งจากการเปลี่ยนทิศทางของรางสายพาน รวมถึงการเลื่อนรางสายพานถอยหลังทำให้เกิดการกระตุกของรางสายพานในบางครั้งถ้ามีการใช้เซ็นเซอร์เกิดการทรिकคือการนับวัตถุ

ในขณะที่ไม่มีวัตถุผ่าน ผลที่ได้คือการนับที่มากกว่าจำนวนวัตถุที่มีจริง และเซ็นเซอร์ ไม่สามารถตรวจสอบวัตถุ ว่ามีคุณภาพเพียงพอในการเรียงซ้อนกันของถุงปูนซีเมนต์ อุปกรณ์ชนิดนี้จะไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ รวมทั้งเมื่อถุงปูนซีเมนต์มีการทับซ้อนกันของถุงปูนซีเมนต์ อุปกรณ์เซ็นเซอร์จะตรวจนับเพียงถุงเดียวที่เคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ เป็นการนับที่ทำให้ผลการนับน้อยกว่าจำนวนจริงที่มีอยู่ ทำให้เกิดปัญหาการนับจำนวนถุงที่ผิดพลาด สำหรับการแก้ไขปัญหาที่กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจนับวัตถุ ด้วยการผสมผสานเทคนิคของการประมวลผลภาพดิจิทัลเข้ามาใช้แก้ปัญหา ที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจนับวัตถุ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัตถุ คือถุงปูนซีเมนต์ โดยจะใช้ถุงปูนซีเมนต์จะเคลื่อนที่บนรางสายพาน ในรูปแบบที่มีความเร็วคงที่ และทำการบันทึกภาพด้วยกล้องผ่านกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล ด้วยทฤษฎีที่เรียกว่าค้นแบบแมชชีน (Template matching) [12] [13] แบบนอร์มอลไลซ์คอร์เรเลชัน (Normalized correlation) [14] ฟาสนอร์มัลไลซ์คอร์เรเลชัน (Fast Normalized Cross Correlation) และ แบบนอร์มัลไลซ์คอร์เรเลชัน (Normalized Cross Correlation) เพื่อทำการตรวจนับวัตถุ เมื่อได้คุณสมบัติครบจะมีการนับถุงปูนซีเมนต์นั้นและแสดงผลลัพธ์ออกทางจอภาพ

2. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

การตรวจนับวัตถุบนรางสายพานภายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นระบบที่ต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์รับภาพเข้าและแสดงผลลัพธ์ทางอุปกรณ์แสดงผล จึงทำให้จะต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ เพื่อให้เหมาะสมกับงาน

ที่ต้องการทดลอง โดยเฉพาะการจัดเตรียมการจัดเก็บข้อมูลภาพ ภาพเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งถ้าข้อมูลภาพที่รับเข้ามามีข้อผิดพลาด ในงานวิจัยจึงได้มีการแบ่งขั้นตอน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการนับวัตถุอัตโนมัติ

เป็น ½ นิ้ว และมีอัตราของเฟรม 55 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 4 ตัวอย่างต้นแบบเครื่องหมายการค้า หมุนทุก 90 องศา

วิธีการดำเนินงานเป็น 3 ส่วนหลักดังนี้ ขั้นตอนการติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน (Basic setup and configuration) ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Image processing) และ ขั้นตอนการทดลองและวัดประสิทธิภาพ (Experiment and evaluation) แสดงรายละเอียดในรูปที่ 1.

2.1 การติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน

การตรวจนับวัตถุนบนสายพานลำเลียง จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ให้พร้อม ดังนั้นการติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน รวมทั้งกล้องและแหล่งกำเนิดแสง เป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐาน กล้องดิจิทัลที่เลือกใช้งานตรวจนับวัตถุของระบบวิชันจะเป็นกล้องแบบ Charge Coupled Device (CCD) [15] [16] จะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล คุณสมบัติของกล้องดิจิทัลพื้นฐาน ที่จำเป็นสำหรับการประมวลผลภาพเบื้องต้น

สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกกล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm/gc ผลิตภัณฑ์ของ Basler Vision Technology บริษัท Aegis Electronic Group [Aegis Electronic Group] เป็นกล้องที่มีคุณสมบัติเข้ากับลักษณะขั้นพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้งานได้ โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 782×582 พิกเซล ใช้การติดต่อด้วย Firewire IEEE1394b มีขนาดหน้าเลนส์

สามารถรองรับความยาวของสายเคเบิลได้ 100 เมตร การติดตั้งกล้องรับภาพ จะต้องมีการกำหนดระยะติดตั้งกล้อง (Camera distance) คือระยะความสูงจากกล้องถึงชิ้นงานหรือวัตถุ (Measurement object) ที่ทำการตรวจนับ และ ขอบเขตของกล้อง (Field Of View: FOV) ที่กล้องสามารถมองเห็นวัตถุได้อย่างชัดเจน FOV และ ระยะติดตั้งกล้องรับภาพเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงขณะที่ถูกปูนซีเมนต์เคลื่อนที่บนรางส่งสายพาน ผ่านกล้องตรวจรับภาพ ที่มีการจับภาพอย่างต่อเนื่อง โดยภาพที่รับเข้ามาต้องได้รูปร่างของวัตถุที่สมบูรณ์ เพื่อให้ภาพที่บันทึกนั้นสามารถนำมาประมวลผลได้ จากรูปที่ 2 แสดงถึงสิ่งที่กำหนดในการติดตั้งกล้องรับภาพการคือ ขนาดของ FOV ระยะความสูงจากกล้อง ถึงชิ้นงาน (Camera distance) และความละเอียดของภาพที่ต้องการ

2.2 การได้มาของรูปภาพ

การได้มาของรูปภาพดิจิทัล (Image acquisition) เป็นการนำภาพเข้ามาสู่ระบบซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดเกี่ยวกับคุณภาพที่ได้มาของภาพ ภาพควรมีความชัดเจนเห็นวัตถุเด่นชัดเพื่อนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าภาพไม่สมบูรณ์หรือขาดคุณสมบัติ เช่น ภาพไม่ชัดเจน เบลอ มัว หรือ มีค่าความเข้มของแสง (Intensity) ที่ใกล้เคียงกันมาก จนไม่สามารถแยกแยะวัตถุนบนภาพได้ จะทำให้เสียเวลาในการประมวลผล

เพราะฉะนั้นการควบคุมแสงสว่าง เป็นสิ่งที่จำเป็น สำหรับการบันทึกภาพเพื่อทำการประมวลผลภาพ จึงมีการสร้างแหล่งกำเนิดแสงสว่าง (Light source) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้เกิดความชัดเจนและรักษาเงื่อนไข ในการรับภาพให้คงที่ตลอดเวลาไม่ว่าสภาวะ แวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร สำหรับในการ ทดลองนี้ได้มีการควบคุมแสงสว่างเพื่อให้สว่าง พอเพียงกับการบันทึกภาพดิจิทัล และภาพที่ได้มา นั้นต้องมีประสิทธิภาพ พร้อมที่จะนำไปทำการ ประมวลผลในขั้นตอนต่อไป เทคนิคการให้แสงแก่ วัตถุที่ทำการวัดสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์การนำภาพไปใช้ และชนิดของวัตถุ ลักษณะของการบังคับแสงให้ไปทิศทางเดียว (Polarized overhead lighting) แสดงในรูปที่ 2 เป็น การตำแหน่งการวางกล้องและแหล่งกำเนิดแสงเพื่อ ควบคุมแสงสว่างขณะที่มีการจับภาพดิจิทัล

3. ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

เมื่อทำการติดตั้งกล้องดิจิทัลและ แหล่งกำเนิดแสงเรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นขั้นตอน การประมวลผลภาพ (Image processing) เพื่อนับ จำนวนวัตถุที่เคลื่อนผ่านบนสายพาน เริ่มจากการ รับภาพด้วยกล้องดิจิทัลและนำภาพเข้าสู่ขั้นตอน การประมวลผลภาพและตรวจสอบวัตถุด้วย อัลกอริทึมพร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการนับที่ หน้าจอ แบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ การจับ ภาพดิจิทัล การประมวลผลเพื่อนับวัตถุอัตโนมัติ และการแสดงผลนับจำนวนวัตถุ แสดงรายละเอียด ขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 3

3.1 การจับภาพดิจิทัล

การจับภาพดิจิทัล (Capture images) เกิด จากภาพดิจิทัลหลาย ๆ ภาพที่เข้ามาเรียงติดต่อกัน เรียกว่าเฟรม (Frame) ในลักษณะการทำงานแบบ

ทันเวลา (Real time) เพราะฉะนั้นเมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ ผ่านกล้องจะเริ่มมีการประมวลผลภาพ ดังแสดงใน รูปที่ 2 เป็นภาพที่มีวัตถุในทีนี้กำหนดเป็นถุง ปูนซีเมนต์ (cement bag) เคลื่อนผ่านกล้องดิจิทัล และถูกบันทึกภาพในสภาวะที่มีแสงพอเพียงเพื่อใช้ ในการประมวลผลภาพต่อไป สำหรับการ ประมวลผลในแบบวิดีโอ (video processing) ภาพที่ จะได้จะเข้ามาเป็นเฟรมแบบต่อเนื่องกัน และ ตรวจจับถุงปูนซีเมนต์โดยการใช่ว่าภาพที่เป็น เครื่องหมายการค้าของถุงปูนซีเมนต์ในแต่ละชนิด โดยกำหนดเป็นภาพเป็นต้นฉบับสำหรับตรวจนับ จำนวนถุงปูนซีเมนต์ แสดงเครื่องหมายการค้าในรูป ที่ 4

3.2 การประมวลผลภาพเพื่อนับวัตถุอัตโนมัติ

สำหรับการประมวลผลเพื่อทำการนับวัตถุ หรือนับถุงปูนซีเมนต์บนสายพานนั้นในการทดลอง นี้จะใช้การประมวลผลภาพหลายวิธีเพื่อทำการ ทดสอบว่าวิธีการใดที่สามารถนำมาใช้ในการนับ วัตถุ (counting objects) ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวรายละเอียดในส่วนถัดไป โดยจะพิจารณาจาก ถุงปูนซีเมนต์ผ่านการตรวจด้วยค่าแบ่ง (threshold) และมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้แล้วโปรแกรมก็จะ ส่งผลไปนับจำนวนถุงปูนซีเมนต์ และจะมีการ ตรวจสอบต่อไปว่าจบการนับหรือไม่ ถ้ายังคงมีอยู่ จะทำการตรวจนับต่อไปโดยจะทำการตรวจสอบถุง ปูนซีเมนต์ที่เคลื่อนเข้าตามค่าที่กำหนดไว้

3.3 การแสดงผลลัพธ์

หลังจากที่มีการตรวจสอบความถูกต้อง ของภาพที่เข้ามานั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับต้นแบบที่ กำหนดไว้ จะทำการนับจำนวนและทำการแสดง จำนวนผลลัพธ์ (display results) โดยส่งสัญญาณ การนับออกพอร์ตด้านหลังของเครื่องคอมพิวเตอร์ ไปที่บอร์ดแสดงผลเพื่อแสดงค่าการนับต่อไป

4. วิธีการตรวจนับวัตถุอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) เพื่อประมวลผลในการตรวจนับวัตถุที่ถูกแทนด้วยจุดในรูปทรง เช่น สี่เหลี่ยม วงรี เป็นต้น บางครั้งรูปทรงของวัตถุอาจเปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้าง [13] เป็นพื้นฐานของการแทนลักษณะรูปทรงของวัตถุทางด้านการประมวลผลภาพ สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้เลือกวัตถุต้นแบบเป็นถุงปูนซีเมนต์ที่มีการกำหนดต้นแบบเป็นเครื่องหมายการค้าแสดงตัวอย่างต้นแบบในรูปที่ 4

สำหรับการการใช้ต้นแบบ เป็นวิธีการพื้นฐานสำหรับการวัดค่าความคล้ายของวัตถุที่มีรูปทรงวัตถุบนภาพระดับเทา ด้วยการแทนค่าข้อมูลที่ถูกกำหนดขึ้นจากผู้ใช้งานมีวิธีการเปรียบเทียบรูปแบบ และสำหรับวิธีการเปรียบเทียบต้นแบบจะมีได้หลากหลายวิธี ทั่วไปจะเลือกวิธีที่สามารถเปรียบเทียบและรวดเร็วพอที่จะแสดงผลลัพธ์บนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่ได้ทันเวลาได้แสดงวิธีการไว้ดังนี้

4.1 การวัดระยะทางแบบยุคลิด

การวัดระยะทางแบบยุคลิด หรือ ระยะห่างระหว่างจุด (Euclidean Distance :ED) เป็นการวัดความเหมือนกันของวัตถุจากค่าความแตกต่างกันของตำแหน่งจุดบนระนาบของเทมเพลต $t(u, v)$ กับภาพวัตถุ $f(x, y)$ ใด ๆ เขียนเป็นสูตรการวัดระยะห่างระหว่างจุด $\varepsilon_{f,t}^2(u, v)$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} &= \sum_{x,y} [f(x, y) - t(x - u, y - v)]^2 \\ &= \sum_{x,y} [f^2(x, y) \\ &\quad - 2f(x, y)t(x - u, y - v) + t^2(x - u, y - v)] \end{aligned}$$

จะเห็นว่าเทอมของ $\sum t^2(x - u, y - v)$

เป็นค่าคงที่ ดังนั้นสามารถประมาณค่าของการวัดระยะห่างระหว่างจุดหรือ $\varepsilon_{f,t}^2(u, v)$ ได้เป็นค่าคอร์สคอร์ริเลชัน (Cross correlation :CC) เทอมที่มีค่าเป็น

$$c(u, v) = \sum_{x,y} f(x, y)t(x - u, y - v) \quad (1)$$

ซึ่งเป็นสูตรการวัดความคล้ายกันของภาพด้วยการใช้คุณลักษณะภาพประกอบ

4.2 การวัดด้วยนอร์มัลไลซ์คอร์สคอร์ริเลชัน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ คอร์ริเลชันเทมเพลต (Correlation-based template matching) [17] [13] เป็นลักษณะของเมตริกซ์คอร์ริเลชัน (Correlation metric) ที่เป็นการกำหนดค่าความเหมือนกันของเทมเพลตของวัตถุที่สนใจ ซึ่งถ้าค่าของสหสัมพันธ์ยิ่งน้อยจะหมายถึงมีความใกล้เคียงกับวัตถุที่สนใจยิ่งมาก สำหรับเมตริกซ์ที่ใช้ในการทำงานของเทคนิคสหสัมพันธ์ในที่นี้จะใช้เมตริกซ์ทั้งหมด

มีนักวิจัยบางกลุ่ม [17] [18] คอร์สคอร์ริเลชัน (Normalized Cross Correlation : NCC) เพื่อทำการลดความซับซ้อนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อกำหนดให้ตัวแปร f เป็นภาพ 2 มิติ เขียนเป็น $f(x, y)$ กำหนดให้ค่าความเข้มของภาพ f มีขนาด $M_x \times M_y$ ที่ตำแหน่ง (x, y) , $x \in \{0, \dots, M_x - 1\}$, $y \in \{0, \dots, M_y - 1\}$ และกำหนดให้แพตเทิร์นถูกแทนด้วยเทมเพลต t ที่มีขนาด $N_x \times N_y$ โดยปกติจะมีการคำนวณตำแหน่งด้วย (u_{pos}, v_{pos}) ของต้นแบบบนภาพ f ที่มีการคำนวณค่า γ ของ NCC ที่ตำแหน่ง (u, v) สำหรับ f และเทมเพลต t จะเคลื่อนไปในระยะทาง u ชั้นในทิศทาง x และเคลื่อนไปในระยะทาง v ชั้นในทิศทาง y สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\gamma = \frac{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v})(t(x-u, y-v) - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v})^2 \sum_{x,y} (t(x-u, y-v) - \bar{t})^2}} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) $\bar{f}_{u,v}$ กำหนดเป็นค่าเฉลี่ยของ $f(x, y)$ ภายในพื้นที่ของเทมเพลต t เคลื่อนไปยังตำแหน่ง (u, v) สามารถคำนวณด้วยสมการ

$$\bar{f}_{u,v} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=u}^{u+N_x-1} \sum_{y=v}^{v+N_y-1} f(x, y) \quad (3)$$

เนื่องจากการนอร์มัลไลซ์ $\gamma(u, v)$ จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของความสว่างและความเข้มของภาพ จะทำให้มีความสัมพันธ์กันกับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน เนื่องจากการนอร์มัลไลซ์ของสมการที่ (2) สามารถทำการคำนวณตำแหน่งของแพตเทิร์น จะมีความทนทานมากกว่าการใช้วิธีการวัดค่าความคล้ายทั่วไป

4.3 การวัดด้วยฟาสนอร์มัลไลซ์ครอสคอร์เรเลชัน

Lewis 1995 ได้นำเสนอวิธีการใหม่ที่ทำให้การปรับปรุง เรียกว่า ฟาสนอร์มัลไลซ์ครอสคอร์เรเลชัน (Fast Normalized Cross Correlation : FNCC) [20][21] โดยเริ่มจากการคำนวณอย่างง่ายของค่าสัมประสิทธิ์แบบไขว้ ที่เกิดจากการหาตารางรวมของ $s(u, v)$ และ $s^2(u, v)$ ของภาพฟังก์ชัน $f(x, y)$ มีค่าพลังงานเป็น $f^2(x, y)$ ค่าฟังก์ชันของผลรวมตารางของภาพจะสามารถเขียน ได้ดังสมการ

$$s(u, v) = f(u, v) + s(u-1, v) + s(u, v-1) - s(u-1, v-1) \quad (4)$$

จากสมการข้างต้นของผลรวมตารางสามารถเขียนสมการใหม่เป็นพลังงานของภาพได้ดังนี้

$$s^2(u, v) = f^2(u, v) + s^2(u-1, v) + s^2(u, v-1) - s^2(u-1, v-1) \quad (5)$$

กำหนดให้ $s(u, v) = s^2(u, v) = 0$ เมื่อ $u, v < 0$ จากอัลกอริทึมสามารถคำนวณหาค่าเศษส่วนจาก ฟังก์ชันของภาพทั้งหมดหรือจากการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อย $f(x, y)$ เมื่อผลรวมตารางถูกคำนวณจากการแบ่งออกเป็นส่วนย่อยที่มีขนาดของเทมเพลตเป็น N_x, N_y จากสมการที่ (3) สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\sum_{x=u}^{u+N_x-1} \sum_{y=v}^{v+N_y-1} f(x, y) = s(u+N_x-1, v+N_y-1) - s(u-1, v+N_y-1) - s(u+N_x-1, v-1) + s(u-1, v-1) \quad (6)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถเขียนเป็นการคำนวณของผลรวมตารางของ $s(u, v)$ ในสมการ (4) (5) และ

$$\sum_x \sum_y f(x, y - \bar{f}_{u,v})^2 = \sum_x \sum_y f^2(x, y) - 2 \bar{f}_{u,v} \sum_x \sum_y f(x, y) + \sum_x \sum_y \bar{f}_{u,v}^2 \quad (7)$$

จากการคำนวณสมการ (7) ที่มีการใช้เครื่องหมายผลรวมสองครั้งหมายถึงการคำนวณพื้นที่ของเทมเพลตซึ่งหมายถึง $u < x < N_x - 1$ และ $v < y < N_y - 1$ เมื่อ

$$\sum_x \sum_y \bar{f}_{u,v}^2 = N_x N_y \left(\frac{1}{N_x N_y} \sum_x \sum_y f(x, y) \right)^2 \quad (8)$$

จากสมการที่ (7) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\sum_x \sum_y f(x, y - \bar{f}_{u,v})^2 = \sum_x \sum_y f^2(x, y) - \frac{1}{N_x N_y} \left(\sum_x \sum_y f(x, y) \right)^2 \quad (9)$$

จากการคำนวณด้านบนสามารถเขียนใหม่สำหรับสัมประสิทธิ์ของ ได้ดังนี้

$$N(u, v) = \sum_x \sum_y f(x, y) t'(x-u, y-v) - \bar{f}_{u,v} \sum_x \sum_y t'(x-u, y-v) \quad (10)$$

เมื่อฟังก์ชันเทมเพลต $t'(x-u, y-v) = t(x-y, y-v) - \bar{t}$ และค่าของ $t'(x, y)$ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และทำให้ผลรวมเป็นศูนย์ด้วย ดังนั้นในเทอมของ $\bar{f}_{u,v} \sum_x \sum_y t'(x-u, y-v)$ จึงมีค่าเป็นศูนย์สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$N(u, v) = \sum_x \sum_y f(x, y) t'(x-u, y-v) \quad (11)$$

เมื่อ $t'(x, y)$ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และทำให้ผลรวมเป็นผลรวมของค่าน้ำหนักของ K เขียนค่าประมาณ $\tilde{t}(x, y)$ ของเทมเพลตฟังก์ชันได้

$$\tilde{t}(x, y) = \sum_{i=1}^K k_i t_i(x, y) \quad (12)$$

การวัดประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไขว้ Normalized cross-correlation สามารถคำนวณได้ด้วยค่าประมาณนี้ ฟังก์ชันพื้นฐาน $t_i(x, y)$ เป็นค่าคงที่เป็น 1 สำหรับภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมของ $x_l^i \leq x \leq x_u^i \wedge y_l^i \leq y \leq y_u^i$ และนอกเหนือจากนั้นจะมีค่าเป็น 0 ดังนั้น x_l^i และ x_u^i เป็นค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งมีค่าคงที่เป็น 1 แกน x สำหรับ y_l^i และ y_u^i เป็นค่าในแกน y และการประมาณคุณภาพของ $\tilde{t}(x, y)$ ที่มีค่าเทมเพลตฟังก์ชัน $t'(x, y)$ เฉลี่ยเริ่มต้นเป็น 0 ซึ่งจะขึ้นกับฟังก์ชันพื้นฐาน และค่าสูงสุดต่ำสุด x_l^i, x_u^i และ y_l^i, y_u^i และจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่นำมาใช้เขียนเป็นสมการผลรวมของเทมเพลตฟังก์ชันของ สามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\tilde{N}(u, v) = \sum_{i=1}^K k_i \sum_{x=x_l^i+u}^{x_u^i+u} \sum_{y=y_l^i+u}^{y_u^i+u} f(x, y) \quad (13)$$

เมื่อ K แทนจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานและ k_i แทนสัมประสิทธิ์สำหรับฟังก์ชันพื้นฐาน i , x_l^i และ y_l^i แทนค่าต่ำสุดของฟังก์ชันพื้นฐาน i และ x_u^i และ y_u^i แทนค่าสูงสุด เนื่องจากฟังก์ชันพื้นฐาน

$t_i(x, y)$ เป็นค่าคงที่ 1 หรือ 0 ซึ่งผลจากการคำนวณ ผลรวมตารางผ่านฟังก์ชันภาพจะสามารถคำนวณและเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\sum_{x=x_l^i}^{x_u^i} \sum_{y=y_l^i}^{y_u^i} f(x, y) = s(x_u^i, y_u^i) - s(x_u^i, y_l^i - 1) - s(x_l^i - 1, y_u^i) + s(x_l^i - 1, y_l^i - 1) \quad (14)$$

จำนวนของการคำนวณในการประมาณค่าขึ้นกับจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้จะไม่ขึ้นกับขนาด ดังนั้นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ $\tilde{t}(u, v)$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\tilde{N}(u, v)}{(\sum_{x,y} (f(x, y) - \bar{f}_{u,v})^2 \sum_{x,y} (t(x-u, y-v) - \bar{t})^2)^{1/2}} \quad (15)$$

5. การวัดประสิทธิภาพและผลการทดลอง

การวัดประสิทธิภาพ (Evaluation) เป็นการตรวจสอบวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใดเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ จึงต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละวิธีการประกอบด้วยการวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance :ED) ฟาสต์นอร์มัลไลซ์ครอสคอร์เรชัน (Fast Normalized Cross Correlation : FNCC) และ แบบนอร์มัลไลซ์ครอสคอร์เรชัน (Normalized Cross Correlation : NCC) และทำการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ และการตรวจนับด้วยมนุษย์

5.1 การควบคุมปัจจัยภายนอก

สำหรับการทดลองมีการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลองไว้ดังนี้

- การควบคุมความเร็วของการสายพานลำเลียง จะมีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน ถ้ามี

ความเร็วมากอาจทำให้ถุงปูนซีเมนต์ติดบนรางสายพานจนทำให้ต้องเกิดการหยุดชะงักของสายพาน

- การวางถุงปูนซีเมนต์บนสายพานจะต้องคำนึงถึงระยะห่างของถุงปูนซีเมนต์ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการจับภาพเข้าประมวลผลที่มีลักษณะเป็นเรียลไทม์
- การให้แสงสว่างเพียงพอ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการจับภาพที่จะต้องชัดเจนเพื่อนำภาพนั้นเข้าประมวลผล

เมื่อทำการควบคุมลักษณะภายนอกแล้วอาจจะเกิดความผิดพลาดในการทดลองได้อีก สำหรับการบันทึกผลการทดลองจะเก็บความผิดพลาดที่เกิดขึ้นควบคู่ไปกับการทดลอง โดยที่โปรแกรมจะมีการนับเฉพาะในส่วนของถุงปูนที่มีการเคลื่อนออกจากรางสายพานและมีคุณภาพดีคือไม่แตก สามารถนำไปใช้ได้เท่านั้น

5.2 การทดลองระบบการเคลื่อนที่บนสายพาน

เมื่อมีการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้วลองทดสอบการเคลื่อนที่ของถุงปูนบนสายพานตามปกติ ว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลกระทบ ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงการตรวจนับการเคลื่อนที่ของถุงปูนบนสายพานทั้งหมด 20 ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งมีจำนวนถุงปูนซีเมนต์ตั้งแต่ 100 ถุง จนถึง 2,000 ถุงตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งของการเคลื่อนที่จะมีการแตกของถุงปูนและเกิดการค้างของถุงปูนซีเมนต์บนสายพานดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงถึงความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่บนรางสายพาน จากการทดลองจะเห็นว่าจำนวนครั้งของการที่ถุงปูนจะติดบนรางสายพานจะมีการแปรผันกันตามจำนวนครั้ง เมื่อมีการทดลองมากครั้งขึ้นและมีจำนวนถุง

ปูนซีเมนต์ที่ติดบนรางสายพานเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่า ครั้งที่ 17 จำนวนถุงปูนซีเมนต์ 1700 ถุง เกิดการติดของถุงปูนบนรางสายพานมากถึง 25 ครั้ง และ ครั้งที่ 20 มีการติดของถุงปูนถึง 14 ครั้ง ดังนั้นในการทดลองสำหรับระบบการตรวจนับวัตถุบนสายพานด้วยการประมวลผลภาพซึ่งจะต้องทำงานควบคู่พร้อมกับโปรแกรมคำนวณดังนั้น ในการทดลองถัดไปจึงกำหนดการปล่อยถุงปูนเพียงครั้งละ 500 ถุงแบบต่อเนื่องเท่านั้น

ตารางที่ 1 การตรวจนับการเคลื่อนที่ของถุงปูนบนสายพาน

ครั้งที่	ถุงเคลื่อนเข้าราง	ถุงเคลื่อนออกจากราง	ถุงค้างบนราง	ถุงแตก
1	100	99	1	0
2	200	198	2	0
3	300	300	0	0
4	400	398	2	0
5	500	498	2	0
6	600	597	3	1
7	700	693	7	0
8	800	798	2	0
9	900	899	1	1
10	1000	993	7	1
11	1100	1097	3	0
12	1200	1191	9	0
13	1300	1297	3	0
14	1400	1397	3	0
15	1500	1497	3	1
16	1600	1593	7	0
17	1700	1675	25	0
18	1800	1792	8	0
19	1900	1895	5	0
20	2000	1986	14	0

การนับถุงปูนแบบเดิมคือ อุปกรณ์เซ็นเซอร์นั้นจะ

5.3 การทดลองระบบตรวจนับ



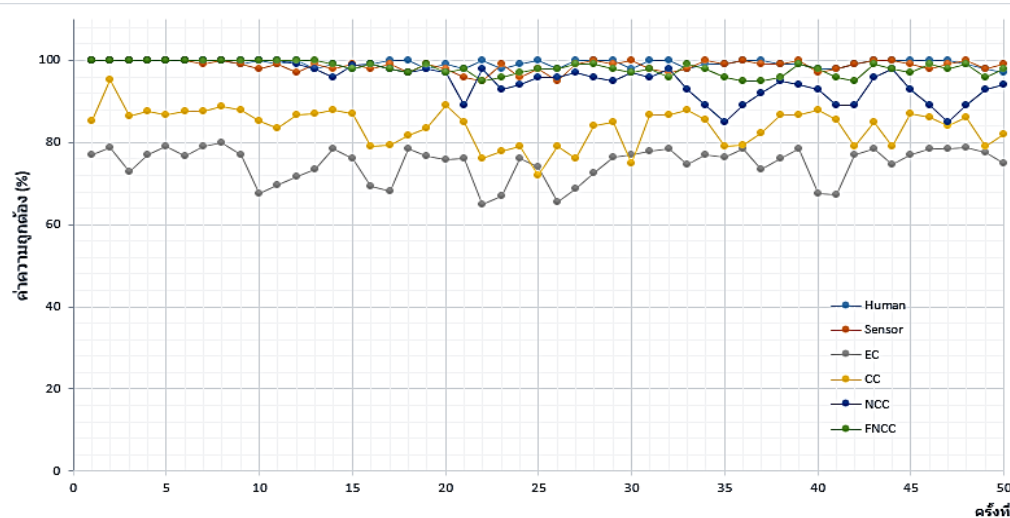
รูปที่ 5 ตัวอย่างการจับภาพการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์บนสายพานลำเลียง

เมื่อมีการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้วลองทดสอบการเคลื่อนที่ของถุงปูนบนสายพานตามปกติ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ระบบตรวจนับวัตถุด้วยโปรแกรมเทมเพลตแมชชีน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มทำการทดลอง 20, 30, 40 และ 50 ครั้งตามลำดับ แต่ละครั้งจะทำการปล่อยถุงปูนบนรางต่อเนื่องกัน 500 ถุง เพื่อควบคุมความถูกต้องและป้องกันการค้างบนสายพาน และเพื่อแสดงให้เห็นถึงความคงที่ของการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการเสถียรของตัวโปรแกรม และตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์รวมทั้ง ร่างกายของมนุษย์ด้วย ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวัดค่าความถูกต้องเฉลี่ยของเครื่องมือวัดการตรวจนับวัตถุแบบ ED, NCC, FNCC, Sensor และ Human จะเห็นว่า

ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของทั้ง 4 กลุ่ม จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้โปรแกรมด้วยตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์มีความแปรปรวนเมื่อเปรียบเทียบกับการนับของมนุษย์ การนับด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ผิดพลาดถึง 3.9% แต่การนับด้วยมนุษย์นั้นผิดพลาดเพียง 0.6% อุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบเดิมที่มักจะมีการนับค่าเกินจริง บ่อยครั้ง และไม่สามารถควบคุมการนับหรือไม่นับค่าได้ เลยถ้ามีฝุ่นจับตัวเซ็นเซอร์มากจะเป็นปัญหามากสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทปูนซีเมนต์ จากตารางที่ 2 การใช้โปรแกรมเทมเพลตเมื่อเปรียบกันทั้ง 4 วิธีการจะเห็นว่า EC จะมีค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ และเมื่อมีการใช้ FNCC จะได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงถึง 98.8% แสดงรูปตัวอย่างการจับภาพเมื่อถุงปูนเคลื่อนที่แสดงในรูปที่

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวัดค่าความถูกต้องเฉลี่ยของเครื่องมือวัดการตรวจนับวัตถุแบบต่าง ๆ (%)

จำนวนครั้ง	ประสิทธิภาพของการวัดค่าความถูกต้องเฉลี่ย (%)					
	Human	Sensor	EC	CC	NCC	FNCC
20	99.6	99.4	75.3	86.0	98.0	99.2
30	99.5	86.8	80.8	84.6	97.2	98.8
40	99.2	99.0	80.2	84.6	96.1	98.5
50	99.4	99.1	75.6	84.5	95.6	98.5
ความถูกต้องเฉลี่ย	99.4	96.1	78.0	84.9	96.8	98.8



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบผลการทดลองการตรวจนับการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดลองที่เปรียบเทียบการตรวจนับวัตถุอัตโนมัติ 5 วิธีการซึ่งกำหนดให้มีการปล่อยถุงปูนต่อเนื่อง 500 ถุงและทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานทั้งหมด 50 ครั้ง จากรูปแสดงให้เห็นว่า การใช้โปรแกรมเทมเพลตแมชชีนด้วยวิธีการ ED NCC และ FNCC ได้ความถูกต้องถึง 75.6% 84.5% 95.6% และ 98.5% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของอุปกรณ์เซ็นเซอร์และความคงทนของมนุษย์แล้วนั้นจะค่อนข้างมีความแปรผัน แต่เมื่อเฉลี่ยค่าความถูกต้องแล้วมนุษย์ได้ค่าความถูกต้องถึง 99.4% และตรวจจับด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์มีความถูกต้องถึง 99.1% จากการทดลองสามารถบอกได้ว่าจำนวนที่เกิดความผิดพลาดของการนับด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ขณะที่ยังมีจำนวนน้อยและความผิดพลาดจะเกิดมากขึ้นเมื่อมีจำนวนของถุงปูนซีเมนต์มากขึ้น และการทดลองมีระยะเวลาสั้นขึ้น แต่ในทางกลับกันการเคลื่อนที่เข้ามาของถุงปูนซีเมนต์เมื่อมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทำให้การตรวจนับเริ่มมีทำให้มีค่าความถูกต้องที่ลดลงหรือการเคลื่อนทับกันของถุงปูน แต่มนุษย์สามารถ

แยกแยะนับจำนวนได้ ส่วนอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไม่สามารถแยกได้และการเว้นช่วงของการทดลองในแต่ละครั้งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการนับของมนุษย์และส่วนโปรแกรมที่นับด้วยและอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เมื่อสังเกตแล้วความถูกต้องของกระบวนการประมวลผลภาพ นั้นมีความใกล้เคียงกับการตรวจนับด้วยมนุษย์ค่อนข้างมาก แต่ยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่า การประมวลผลภาพนั้นขาดความแม่นยำ เนื่องจากวิธีการนับของมนุษย์นั้นบางครั้งยังมีการนับขาดหรือนับเกินอยู่หรือยังเกิดจากความเหนื่อยล้า ซึ่งในการทดลองนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงปัจจัยดังกล่าวรวมทั้งการที่เกิดความผิดพลาดของการทดลองอีกปัจจัยหนึ่งคือ เมื่อมีการติดขัดของรางสายพาน หรือถุงปูนซีเมนต์ไม่เคลื่อนนั้น พนักงานได้นำถุงปูนซีเมนต์ขึ้นรางแบบกลับด้าน จากด้านหน้าเป็นด้านหลัง จึงทำให้เครื่องหรือโปรแกรมการตรวจนับไม่สามารถที่จะตรวจนับได้ เนื่องจากไม่สามารถตรวจหาเครื่องหมายการค้าบนถุง จึงเป็นความผิดพลาดของการทดลองในส่วนหนึ่ง

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจนับวัตถุแบบอัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลภาพเข้ามาเพื่อตรวจนับจำนวนวัตถุที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียงด้วยวิธีเทมเพลตแมชชีนแบบฟาสต์ลอกรีสคอร์เลชัน จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมประมวลผลภาพที่มีการตรวจนับด้วยวิธีเทมเพลตแมชชีนแบบฟาสต์ลอกรีสคอร์เลชันสามารถนำเข้ามาใช้งานแทนมนุษย์ได้ซึ่งมีความถูกต้องในการตรวจนับมากถึง 98.8% โดยที่การทดลองนี้มีการควบคุมความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามยังต้องมีการปรับปรุงโปรแกรมและวิธีการแมชชีนเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานอย่างต่อเนื่องและคงทนเพื่อสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อติเรก จันตะคุณ, วินัย ใจกล้า, “เทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์สำหรับวงจรรวม”, วารสารวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยสยาม, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, 2554, 70-80.
- [2] Patawee Phiphatsomporn, Pisut Pongchairerks, “Double Assembly Line Balancing Algorithms on Real-world Instances of Producing Digital Rice Cookers and Digital Hot Pots,” The Science and Technology RMUTT Journal, Vol.5, No. 2, 2015.
- [3] Heinrich Ruser, “Object recognition with a smart low-cost active infrared sensor array,” 1 st International Conference on Sensing Technology, Palmerston North, New Zealand, November, 2005.
- [4] Thomas J. Kimpel, and et.al, “Automatic Passenger Counter Evaluation: Implications for National Transit Database Reporting,” Journal Transportation Research Record, Washington, DC; National Academy Press; 1998 pp. 93-100.
- [5] T. J. Kimpel, and et. al., “Automatic Passenger Counter Evaluation: Implication for National Transit Database Reporting,” Transit: Planning and Development, Management and Performance, Marketing and Fare Policy, and Intermodal Transfer Facilities, 2003, pp. 93-100.
- [6] <http://www.infodev.ca/about-us/> ค้นคืนเมื่อ 29 มิ.ย. 2559.
- [7] P. Lengvenis and et.al, Application of Computer Vision Systems for Passenger Counting in Public Transport,” Elektronika IR Elektrotechnika, Vol.19 No.3, 2013.
- [8] Junlong Fang, Wenzhe Li and Guoxin Wang, “Experimental Study for Automatic Colony Counting System Based on Image Processing,” Computer and Computing Technologies in Agriculture II, Vol. 2, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Volume 294, Springer-Verlag US, 2009, pp. 1061.
- [9] Tsong-Yi Chen , and et.al, A Cost-Effective People-Counter for Passing Through a Gate based on Image Processing,” International Journal of

- Innovative Computing Information and Control (ICIC), Vol. 5, Number 3, March 2009.
- [10] Ventseslav Draganov, Georgi Toshkov, Dimcho Draganov, Daniela Toshkova, "Device for Counting of the Glass Bottles on The Conveyor Belt," International Journal Information Technologies and Knowledge, Vol.1, 2007.
- [11] P. P. Jonker and J.J Gerbrands, "Image processing hardware for counting massive object streams," Pattern Recognition, International Conference 11th Architectures for Vision and Pattern Recognition, Proceedings., IAPR Vol. IV, 1992.
- [12] R. Brunelli, Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice, Wiley, 2009.
- [13] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [14] J. P. Lewis, "Fast Normalized Cross-Correlation", Industrial Light & Magic, 1995.
- [15] M. F. Amelio Tompsett, and et.al., "Charge-coupled imaging devices: Experimental results". IEEE Transactions on Electron Devices 18 , Vol. 11, November 1971, pp. 992–996.
- [16] Oliver R. Hainaut, "Retouching of astronomical data for the production of outreach images," May, 2009.
- [17] S. Blackman, R. Popoli, Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, Boston, 1999, pp. 309-313
- [18] S. Wong, "Advanced Correlation Tracking of Objects in Cluttered Imagery," Proceedings of SPIE, Vol.5810, 2005.
- [19] J. Ahmed, and et.al, "Real-Time Edge-Enhanced Dynamic Correlation and Predictive Open-Loop Car Following Control for Robust Tracking," Machine Vision and Applications Journal, Vol. 19, No. 1, pp. 1–25, January 2008.
- [20] Jianwen lu, Elisa e. Konofagou, A Fast Normalized Cross-Correlation Calculation Method for Motion Estimation, IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, 57, 6, 2010.
- [21] A. j. H. Hii, and et.al, "Fast normalized cross correlation for motion tracking using basis functions," Compute Methods Programs Biomed., Vol. 82, No. 2, pp. 144–156, 2006.