รายงานการวิจัย

เรื่อง

ระบบตรวจนับวัตถุอัตโนมัติด้วยเทมเพลตแมชชิ่งแบบนอร์มัลไลซ์คอรีเลชัน

Automatic Counting Objects System by using Template Matching with Normalized Correlation

โดย

นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานผลการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2553

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ทั้งนี้เพราะได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุน และผลักดัน รวมถึงติดตามงานของผู้วิจัยอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร รองศาสตราจารย์ ดร.นุชรี เปรมชัยสวัสดิ์ และอีกหลายฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทดลองโปรแกรม บันทึกผลการทดลอง รวมทั้งผู้ที่ให้คำแนะนำทางด้านเทคนิคในการเขียนโปรแกรมติดต่อทางด้านฮาร์ดแวร์ อาจารย์เตชค์ฐสิณป์ เพียซ้าย และงานวิจัยนี้จะไม่สมบูรณ์ได้ หากไม่ได้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จากท่านอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำที่ดีและมุมมองที่ผู้วิจัยได้นำมาปรับปรุงให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้ หากงานวิจัยเล่มนี้มีข้อผิดพลาด ประการใดขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ

มกราคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญรูปภาพ	(4)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐาน	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 นิยามคำศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัย	6
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น	6
2.2 งานที่เกี่ยวข้อง	7
2.3 การติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน	12
2.4 การประมวลผลภาพดิจิทัล	20
2.5 การแสดงผลลัพธ์	32
บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย	345
3.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน	35
3.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	39
3.3 ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพ	47

บทที่ 4 ผลการทดลอง 49
4.1 การเตรียมระบบ 49
4.2 ผลการทดลอง 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 58
5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง 58
5.2 วิเคราะห์การทดลอง 60
5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 63

บรรณานุกรม 65
ประวัติผู้วิจัย 70

สารบัญตาราง

ตารางที่หน้า

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของกล้องดิจิทัล 13

2.2 ตารางเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสง 16

3.1 ตารางแสดงการวัดประสิทธิภาพ 47

4.1 แสดงผลการทดลองการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน 51

4.2 แสดงผลการทดลองการตรวจนับการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพานด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพแบบแทมเพลตแมชชิ่ง 53

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่ **หน้า**

2.1 แสดงการประมวลผลพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์วิชัน 11
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบวิชัน 11
2.3 แสดงการทำงานของ CCD 14
2.4 การติดตั้งกล้องรับภาพ 15
2.5 แสดงรูปแบบการให้แสงสว่าง 17
2.6 แสดงการให้แสงจากด้านหลังวัตถุ 17
2.7 แสดงการให้แสงในมุมเอียง 18
2.8 แสดงการให้แสงแบบวงกลม 18
2.9 แสดงการให้แสงแบบ Indirect Lighting 1 19
2.10 แสดงการให้แสงแบบ Indirect Lighting 2 19
2.11 แสดงการจัดเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบของอะเรย์ 20
2.12 การแสดงตำแหน่งของพิกเซลบนภาพดิจิทัลด้วยเมทริกซ์ 21
2.13 แบบจำลองของภาพ 21
2.14 แสดงการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลภาพดิจิทัล 22
2.15 การแปลงแบบกำหนดค่าแบ่ง 24
2.16 ตัวอย่างการแปลงภาพแบบกำหนดค่าแบ่ง 24
2.17 ตัวอย่างแสดงการทำภาพคมชัดด้วยการดึง (contrast stretching) 26
2.18 ตัวอย่างแสดงภาพ 4 รูปแบบ แสดงด้วยฮีลโตแกรม 27
2.19 แสดงผลลัพธ์ที่ได้สัญญาณจากพอร์ตของคอมพิวเตอร์ 33

3.1 ขั้นตอนการตรวจนับวัตถุบนระบบสายพาน 34
3.2 ข้อกำหนดรายละเอียดของกล้อง Basler Scout รุ่น scA780-54gm/gc 35
3.3 กล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm / scA780-54gc 36
3.4 แสดงรูปแบบสำหรับการติดตั้งกล้องรับภาพและแสงสว่าง 36
3.5 แสดงรายละเอียดของกล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm 37
3.6 แสดงตำแหน่งติดตั้งชุดกล้องดิจิทัลรับภาพที่ปลายรางสายพาน 38
3.7 แสดงระยะความสูงของกล้องรับภาพจากรางสายพาน 38
3.9 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนถุงปูนซีเมนต์ 40
3.10 แสดงการจับภาพของถุงปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี 41
3.11 แสดงการจับภาพของปูนซีเมนต์ 41
3.12 ถุงปูนซีเมนต์ในรูปแบบต่าง ๆที่พบในตลาดการค้า 42
3.13 รูปแบบของแทมเพลตถุงปูนซีเมนต์ 43
3.14 แสดงตัวอย่างแทมเพลตของเครื่องหมายการค้าบนถุงปูนซีเมนต์ 43
3.15 ตัวอย่างแทมเพลตที่มีการหมุน 90 องศา 44
3.16 แทมเพลตที่ได้จากการรวมภาพแทมเพลตในภาพที่ 3.15 45
3.17 แสดงแทมเพลตต้นฉบับทั้งหมด 45
3.18 แสดงการกำหนดกรอบสีเขียว(กรอบนอก)และกรอบสีแดง(กรอบเล็ก)สำหรับการนับ 46

4.1 แสดงความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน 52
4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการตรวจนับการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพานด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพแบบแทมเพลตแมชชิ่ง 54
4.3 แสดงการตรวจนับด้วยโปรแกรมที่มีแสงสว่างน้อยเกินไป 56
4.4 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้า 57
4.5 แสดงภาพถุงปูนที่แตก 57

5.1 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบปรกติต่อเนื่อง 59
5.2 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์หมายเลข 345 ที่มีถุงปูนถัดมาเคลื่อนที่ชิดกัน 61
5.3 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ 346 ที่มีการเคลื่อนที่เข้าแบบต่อเนื่องชิดถุงปูนถุงที่ 345 61
5.4 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์381ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบชิดกันแบบไม่สนิทจากถุงปูนถัดมา 61

5.5 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบทับซ้อนกันแต่สามารถตรวจจับได้ 62
5.6 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบต่อเนื่องที่ชิดไม่สนิท 62
5.7 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบทับซ้อน 62
5.8 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามามีผิวถุงไม่สะอาดแต่ยังสามารถตรวจสอบและนับได้ 63
5.9 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบซ้อนกันมากและมีบางถุงผิวไม่สะอาด 63

ชื่อเรื่อง : ระบบตรวจนับวัตถุอัตโนมัติด้วยเทมเพลตแมชชิ่งแบบนอร์มัลไลซ์คอรีเลชัน
ผู้วิจัย : นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ **สถาบัน** : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ปีที่พิมพ์ : พุทธศักราช 2554 **สถานที่พิมพ์** : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : ศูนย์วิจัยมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
จำนวนหน้าวิจัย : 73 หน้า **ลิขสิทธิ์** : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ เทมเพลตแมชชิ่ง

บทคัดย่อ

การตรวจนับผลิตภัณฑ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม มักจะนิยมใช้เครื่องมือเข้ามาช่วยในการทำงานแทนมนุษย์ เนื่องจากจำนวนของผลิตภัณฑ์นั้นมีจำนวนมากและมีการทำงานเป็นแบบเรียลไทม์ ดังนั้นการใช้แรงงานมนุษย์ในการตรวจนับอาจเกิดความผิดพลาดได้เพราะเป็นการทำงานแบบเดียวกันเป็นระยะเวานาน ๆได้ ดังนั้นได้มีใช้อุปกรณ์ที่เข้ามาช่วยใน ที่เป็นเซนเซอร์เพื่อใช้ในการนับจำนวนของผลิตภัณฑ์ แต่การใช้อุปกรณ์เซนเซอร์นั้นง่ายสำหรับการนับวัตถุโดยทั่วไปที่ทึบแสง และมีการเว้นระยะห่างของวัตถุบนสายพานอย่างพอเหมาะไม่เรียงชิดกัน แต่อย่างไรก็ตาม การนับวัตถุแบบเรียลไทม์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์นั้น ก็ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ยังมีข้อผิดพลาดในการนับผลิตภัณฑ์ จึงมีการนำเสนองานวิจัยใช้หลักการทางการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการนับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่บนสายพานแบบเรียลไทม์ โดยใช้แทมเพลตแมชชิ่งแบบนอร์มอลไลซ์คอร์รีเลชั่น เพื่อทำการตรวจนับวัตถุ หลังจากได้ทำการทดลองได้ค่าความถูกต้องถึง 98.4%

Title : Automatic Counting Objects System by using Template Matching with Normalized Correlation

Researcher : Nutchanun Chinpanthana **Institution** : Dhurakijpundit University.

Year of Publication : 2011 **Publisher** : Dhurakijpundit University.

Sources : Dhurakijpundit University Research Center.

Number of Pages : 73 Pages **Copyright** : Dhurakijpundit University.

Keyword : Image processing, template matching

Abstract

A counting equipment product in factory is necessary to help humans and increase efficiency in the workplace. The number of products are many and have been working in real time systems. Using human labor has occurred for a long times but errors and mistakes happen. A sensor device has been used to help 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 normalize correlation. The experimental results indicate that our proposed approach offers significant performance improvements in the automatic counting products, with the maximum of 98.4%

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตสินค้าปริมาณมากในแต่ละวัน ตัวสินค้าส่วนใหญ่จะถูกลำเลียงบนรางสายพานเพื่อลำเลียงสินค้าและบรรจุส่งออกไปอย่างรวดเร็ว การนับจำนวนสินค้าที่เคลื่อนที่นั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง รวมทั้งยังต้องมีจำแนกสินค้าด้วยว่าสินค้าตัวใดมีคุณภาพพอที่จะส่งออกไปและสินค้าตัวใดที่ไม่ผ่านคุณภาพจะถูกส่งกลับไปยังขบวนการผลิตใหม่ เพราะฉะนั้นในการที่จะใช้มนุษย์มานับวัตถุที่เคลื่อนผ่านสายพานได้ทีละมาก ๆ และกินเวลานานจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการนับอย่างแน่นอน จึงได้มีการนำอุปกรณ์การนับเข้ามาช่วยงานมนุษย์ให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ โดยที่วัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อให้การนับจำนวนของสินค้าถูกต้องแม่นยำมากกว่ามนุษย์

โดยทั่วไปเครื่องตรวจนับวัตถุ (Digital object counter) จะนิยมใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ (sensor) [C. Bruschini 1997] [J. K. Paik 2002] แบบอินฟราเรด (infrared) เพื่อตรวจนับวัตถุแบบอัตโนมัติ การทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ลักษณะนี้ใช้ ที่มีตัวส่งและตัวรับตั้งตรงข้ามกัน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้ามา จะทำการส่งสัญญาณเพื่อตรวจจับ มีหลายบริษัทที่ผลิตเครื่องตรวจนับจำนวนคนที่เคลื่อนที่ผ่านประตู (Infrared: Detector door monitor counter) [Rambir Singh 2005] เซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างดี แต่ไม่สามารถที่จะนับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านพร้อมกันได้ หรือวัตถุที่มีการทับซ้อนกัน สำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป บริษัทแบนเนอร์ เอ็นจิเนียริ่ง (Banner Engineering Corp.) ได้ผลิตอุปกรณ์ D10 Expert : Small Object Counter [Banner Engineering] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กด้วยออฟติกไฟเบอร์ (optic fiber) ด้วยความเร็ว 2 วินาทีต่อวัตถุ และ อุปกรณ์ QS30: Clear Object Sensor (Application: The World-Beam) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุที่มีลักษณะขุ่นมัว ไม่ทึบ เช่น ขวด แก้ว เป็นต้น ด้วยการ threshold วัตถุในความเร็ว 0.5 millisecond ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถควบคุมแสงและระดับความใสของวัตถุได้ แต่อย่างไรก็ตาม การที่เซนเซอร์มีฝุ่นหรือมีความสกปรกและจะเกิดผลกระทบต่อการตรวจจับวัตถุ แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ส่งผลให้การตรวจนับวัตถุที่ยังคงคลาดเคลื่อนอยู่หลายจุด ยกตัวอย่างเช่น ตัวเซนเซอร์จะไวต่อการสั่นสะเทือนรวมทั้งการเปลี่ยนของแสง (แสงกระพริบแบบฉับพลัน) หรือ

แสงไม่เพียงพอในการจับวัตถุ และจังหวะการสั่นของรางสายพานขณะวัตถุถูกลำเลียง หรือมีการเปลี่ยนทิศทางรางสายพานเพื่อวางวัตถุ (รวมถึงการเลื่อนรางสายพานถอยหลัง) ทำให้เกิดการกระตุก ซึ่งทำให้เซนเซอร์เกิดการทริก และนับในขณะไม่มีถุงปูนซีเมนต์ผ่าน การกระตุกของรางทำให้แสงไฟที่ส่องกระพริบ ซึ่งเซนเซอร์ ก็อาจเกิดการทริกนับอีกครั้ง ทำให้เกิดการนับที่มากกว่าจำนวนวัตถุที่มีจริง และที่สำคัญคือเซนเซอร์ ไม่สามารถตรวจสอบวัตถุ หรือสินค้าว่ามีคุณภาพเพียงพอในการจัดส่งหรือไม่ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึง นำเสนอการผสมผสานแนวคิดทางด้านประมวลผลภาพ (Image processing) กับทางวิศวกรรม (Engineering) เพื่อเข้ามาช่วยปรับปรุงให้ระบบการตรวจนับวัตถุให้มีความสมบูรณ์และถูกต้องแม่นยำ รวมไปถึงลดข้อจำกัดในการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมปัจจุบัน

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการแก้ไขปัญหาของการตรวจนับวัตถุ ด้วยการใช้ทฤษฎีทางการประมวลผลภาพเพื่อตรวจนับวัตถุเคลื่อนที่บนรางสายพาน โดยการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลที่มีคุณภาพเพียงพอ รวมทั้งมีการจัดแสงเพื่อให้ภาพที่ได้สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนถัดไปอย่างมีคุณภาพ ภาพดิจิทัลที่ได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการประมวลผลทางดิจิทัล ด้วยทฤษฎีที่เรียกว่าแทมเพลตแมชชิ่ง (Template matching) [R. Brunelli 2009][R.C. Gonzalez 2002] แบบนอร์มอลไลซ์คอรรีเลชั่น (Normalized correlation) [J.P.Lewis 1995] เพื่อทำการตรวจจับวัตถุ (Recognition) ว่าวัตถุที่เข้ามาเป็นวัตถุที่ต้องการหรือไม่ และวัตถุนั้นยังอยู่ในสภาพที่ดีหรือไม่ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ เมื่อได้คุณสมบัติครบจะมีการนับวัตถุนั้นและแสดงผลลัพธ์ออกทางจอภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.1. เพื่อค้นหาเทคนิคเพื่อนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้งานได้จริงในวงการอุตสาหกรรม
1.2. เพื่อสร้างเครื่องมือในการตรวจจับภาพเข้ามาประมวลผล
1.3. เพื่อสร้างโปรแกรมการนับวัตถุ
1.4. เพื่อพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ
1.5. เพื่อพัฒนาความรู้ความสามารถของนักวิจัยทางด้านสาขาการประมวลผลภาพ และสาขาวิศวกรรม

1.3 สมมติฐาน

งานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้ทฤษฎีทางด้านการประมวลผลภาพ ควบคู่กับความรู้ทางด้านวิศวกรรม สามารถแก้ไขปัญหารวมทั้งข้อผิดพลาดต่าง ๆที่เกิดจากการตรวจนับวัตถุที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

วัตถุที่สามารถตรวจนับจะต้องมีรูปแบบเดียวกัน หรือเป็นประเภทเดียวกัน ที่มีการสร้างต้นแบบไว้ โดยกำหนดความเร็วของรางสายพานไว้คงที่ รวมทั้งควบคุมความสว่างของตำแหน่งที่มีการจับภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผลต่อสังคม

1. สามารถนำทฤษฎีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมได้
2. พัฒนาความรู้ความสามารถด้านการประมวลผลภาพและด้านวิศวกรรม
3. พบแนวทางในการคิดค้นสิ่งใหม่ในการประยุกต์งานวิจัยเพื่อนำมาดัดแปลงใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

1.5.2 ผลต่อมหาวิทยาลัย

1. สร้างกลุ่มนักวิจัยที่เป็นลักษณะของสาขาทางด้าน Images Processing
2. สร้างชื่อเสียงให้กับมหาวิทยาลัย เมื่อมีบทความวิจัยลงในวารสารต่างประเทศ บทความวิจัยที่นำเสนอในการประชุมระดับชาติ และนานาชาติ
3. สามารถนำผลวิจัยมาเขียนบทความลงวารสารนานาชาติ และร่วมประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

1.5.3 ผลต่อกลุ่มผู้วิจัย

1. พบแนวทางในการคิดค้นสิ่งใหม่ ๆในการจัดกลุ่มและกระบวนการแปลความหมายของภาพ
2. สามารถนำผลวิจัยมาเขียนบทความลงวารสารนานาชาติ และร่วมประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

3. พัฒนาความรู้ใหม่ๆ หลักการแนวคิดใหม่ ประสบการณ์ในการผสมผสานทำงานในสาขาที่แตกต่างกัน

1.6 นิยามคำศัพท์

1. Image processing หมายถึง การประมวลผลภาพ การนำภาพมาผ่านกระบวนการเพื่อประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวีดิทัศน์ (วีดีโอ) และนำมาใช้งาน
2. Image Resolution ความละเอียดของภาพ ซึ่งวัดจากจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของภาพ เช่น พิกเซล/นิ้ว, พิกเซล/มิลลิเมตร เป็นต้น
3. Histogram กราฟแสดงโทนภาพดิจิตอล โดยมีความละเอียดในแนวนอน 256 ขั้น ตั้งแต่ช่วงโทนที่มืดสุดจนถึงสว่างที่สุด
4. Hardware ฮาร์ดแวร์ : ส่วนเครื่อง, ส่วนอุปกรณ์ หรือส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถเห็นหรือจับต้องได้ เช่น จอภาพ คีย์บอร์ด และเครื่องพิมพ์
5. Gray Scale อัตราส่วนสีเทา : อัตราส่วนของโทนสีเทา ซึ่งมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ ที่อยู่ระหว่างสีขาวกับสีดำ
6. Halftone Image การสร้างภาพให้มีระดับสีต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ด้วยการใช้จุดสีที่มีขนาดต่างกัน หรือมีความหนาแน่นของจุดต่างกัน
7. Digital Image รูปภาพดิจิตอล ประกอบขึ้นด้วยพิกเซลที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม จำนวนพิกเซลที่มากทำให้ภาพมีความคมชัดเมื่อขยายภาพให้มีขนาดใหญ่
8. Digital สัญญานอิเล็กทรอนิกส์ที่แสดงออกมาเป็นตัวเลข เช่น ระบบดิจิตอลในคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วยเลขฐาน 2 ได้แก่เลข 0 และเลข 1
9. Binary เลขฐานสอง หมายถึง ในระบบจำนวนเลขนี้ใช้เลขเพียง 2 ตัวเท่านั้น ได้แก่ เลข 0 และเลข 1 ซึ่งในคอมพิวเตอร์จะใช้เลขฐานสองเป็นหลัก
10. Bit บิต เป็นคำย่อของ Binary digit หน่วยข้อมูลเล็กที่สุด ที่สามารถเก็บตัวเลขฐานสอง (0 หรือ 1) ได้หนึ่งหลัก

11. Bitmap รูปภาพบนจอภาพที่เกิดจากการรวมตัวกันของ bit โดยตัวเลขแต่ละตัวในรูปภาพจะตอบสนองต่อพิกเซลจุดหนึ่ง ๆ บนจอภาพ ภาพที่เกิดจาก bit หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า bit image นี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์
12. Brightness ความแตกต่างของความสว่าง ระหว่างส่วนที่สว่างที่สุดกับส่วนที่มืดที่สุดของวัตถุ หรือภาพนั้น โดยมีช่วงของความกว้างจากค่าสีดำ(มืด) ถึงขาว(สว่าง) 255 ขั้น
13. Bandwidth นิยามของจำนวนข้อมูล ที่สามารถเดินทางระหว่างจุดสองจุดในช่วงเวลาจำเพาะ หรือในการสื่อสาร เรียกว่าความกว้างของช่วงคลื่น วัดจากช่วงของความถี่สูงที่สุดมาหาความถี่ต่ำที่สุดในช่วงความถี่ของคลื่นขนาดใดขนาดหนึ่ง
14. Analogue การเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางกายภาพของการทำงาน ที่เป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือมีค่าได้อย่างต่อเนื่องในช่วงใดช่วงหนึ่ง
15. 24 -bit color ในภาพสีแบบ RGB ที่แสดงสีได้ 8 บิต/สี หรือรวมทั้งหมด 24 บิต ต้องนำตัวเลขของพิกเซลทั้งหมดมาคูณกัน จึงจะทราบได้ว่าแสดงสีได้เท่าไหร่ คือ 256R x 256G x 256B เท่ากับ 16.7 ล้านสี ซึ่งกล้องดิจิตอลเกือบทั้งหมดในปัจจุบันแสดงสีได้ 24 บิต หรือ 16.7 ล้านสีนั่นเอง
16. Binary image หมายถึงภาพที่ประกอบขึ้นจากสีขาวและสีดำเป็นหลัก หรือเรียกอีกอย่างว่า Digital Image
17. Raw Image หมายถึงภาพที่ปรากฏขึ้นจริง หรือเรียกอีกอย่างว่า Analog Image

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

การนำทษฎีการประมวลผลภาพ (digital image processing) หรือคอมพิวเตอร์วิชัน (computer vision) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบงานต่างๆแทนมนุษย์ เนื่องจากการทำงานของมนุษย์นั้นมีข้อจำกัดทางร่างกายอยู่หลายส่วน เช่น งานที่ต้องทำซ้ำๆเป็นระยะเวลานานๆ สมรรถภาพของร่างกายอาจจะลดลง เมื่อยล้าหรือขาดสมาธิ จนทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ และสำหรับงานที่ต้องใช้ดุลพินิจในการตรวจสอบหรือตัดสินใจนั้น ในแต่ละบุคคลจะมีมาตรฐานสำหรับการตัดสินใจที่แตกต่างกัน ส่วนงานที่ต้องใช้ความเร็วหรืองานที่มีความเสี่ยงสูง การทำงานร่วมกับเครื่องจักรกลต่างๆจะทำให้เกิดความเสี่ยงทางด้านความปลอดภัย งานประเภทนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น งานตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ งานคัดแยกผลิตภัณฑ์ งานควบคุมกระบวนการผลิต เป็นต้น สำหรับงานประกอบเป็นชิ้นส่วนในหุ่นยนต์ เช่น ใช้บอกตำแหน่ง ระยะ หรือรูปร่างของวัตถุ เป็นงานที่มีการกระทำที่ซ้ำๆกันและเหมือนกันทุกวัน ซึ่งในงานเหล่านี้สามารถกำหนดกฎเกณฑ์เป็นมาตราฐาน ในการทำงานได้ เพราะฉะนั้นการนำเทคโนโยลีทางด้านการประมวลผลภาพ หรือคอมพิวเตอร์วิชั่นเข้ามาช่วยการทำงานของมนุษย์ เป็นอีกวิธีที่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการทำงานที่แม่นยำ ทนทาน พร้อมทั้งยังช่วยลดแรงงานของมนุษย์ลงได้

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์วิชันได้เข้ามามีบทบาทในทำงานของมนุษย์ เพิ่มมากขึ้นในหลากหลายสาขาและสามารถเข้าช่วยการทำงานของมนุษย์ให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ การคมนาคม หรือทางด้านอุตสาหกรรม คอมพิวเตอร์วิชัน เป็นการนำเอาทฤษฎีทางการประมวลผลภาพเข้ามาทำการประมวลผล ด้วยอัลกอริทึม (algorithm) ที่ถูกเขียนขึ้นเป็นโปรแกรมที่ประกอบด้วยคำสั่งเพื่อกำหนดกฎเกณฑ์การทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาและเรียนรู้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ การทำงานของระบบจะใกล้เคียงกับการทำงานของมนุษย์ที่มีกลไกซับซ้อน ทำให้สามารถวิเคราะห์และตัดสินใจ จนส่งผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น การจดจำวัตถุ โดยใช้คุณลักษณะขอวัตถุนั้น เช่น ขนาด (size) สี (color) หรือรูปร่าง (shape) สำหรับงานตรวจสอบการ

ทำงานของระบบนั้นส่วนมากจะเปรียบเทียบกับการทำงานโดยใช้มนุษย์ หรือใช้ดุลยพินิจของมนุษย์เป็นผู้ตัดสินว่าผลลัพธ์ที่ได้มานั้นที่ถูกต้องหรือไม่

2.2 งานที่เกี่ยวข้อง

ระบบตรวจนับวัตถุเป็นระบบที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีการผลิตสินค้าอย่างต่อเนื่องและจำนวนมากบนสายการผลิต สินค้าที่ถูกส่งออกจำหน่ายนั้นจะต้องถูกตรวจนับให้ครบถ้วนและอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์มากที่สุด ก่อนที่จะส่งออกไปจำหน่ายให้กับลูกค้า เพราะฉะนั้นต้องมีจำแนกสินค้าว่าสินค้าตัวใดมีคุณภาพพอที่จะจัดส่ง และสินค้าใดที่ไม่ผ่านคุณภาพจะถูกส่งกลับไปยังขบวนการผลิตใหม่ โดยปกติใช้มนุษย์ทำการนับจำนวนสินค้าที่เคลื่อนผ่านสายพานได้ทีละมากๆ ทำให้เสียเวลา เปลืองทรัพยากรแรงงานที่ต้องทำงานซ้ำๆกันเป็นเวลานานๆ และที่สำคัญสามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เมื่อมีการนับเป็นเวลานานๆ จึงได้มีการนำอุปกรณ์การนับเข้ามาช่วยงานมนุษย์ให้เป็นไปอย่างอัติโนมัติ โดยที่วัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อให้การนับจำนวนของสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ

นักวิจัยหลายกลุ่มที่พยายามคิดค้นและทดลองเทคนิควิธีตรวจนับวัตถุหลากหลายรูปแบบ ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับคุณลักษณะของวัตถุที่ใช้ในการตรวจจับ รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนเทคนิคเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ได้ โดยอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจจับวัตถุ ในรูปแบบของเซนเซอร์ (sensor) เช่น อินฟราเรด (infrared) อุลตราซาวด์ (ultrasound) หรือ Ground penetration radar [J. K. Paik 2002][C. Bruschini 1997] ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่แตกต่างกัน แต่จะมีการส่งผลลัพธ์ออกไปในรูปของสัญญาณ (signal) การตอบกลับ เซนเซอร์แบบอินฟราเรด กำลังเป็นที่นิยมมากสำหรับการตรวจนับวัตถุแบบอัตโนมัติ ลักษณะการทำงานจะใช้ ตัวส่งและตัวรับตั้งตรงข้ามกัน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้ามา จะทำการส่งสัญญาณกลับไปทันทีเพื่อตรวจจับ อุปกรณ์เซนเซอร์จะมีลักษณะการใช้งานที่ค่อนข้างง่ายแต่ยังมีข้อผิดพลาดหลายจุด และนักวิจัยบางกลุ่มได้พยายามแก้ไขข้อผิดพลาดของตัวเซนเซอร์ด้วยการสร้างวงจรใหม่เพิ่มเติมเข้าไป แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ยังคงมีข้อจำกัด

ในบางกรณี และปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีของการประมวลผลภาพ เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์และตรวจนับวัตถุซึ่งผลของการทำงานขึ้นอยู่กับรูปแบบเทคนิคการนำไปใช้ ดังจะกล่าวรายละเอียดไว้ดังนี้

อุปกรณ์เซนเซอร์ แบบอินฟราเรด ถูกนำมาใช้ในการตรวจนับมนุษย์เมื่อผ่านประตู (Infrared: Detector door monitor counter) [Rambir Singh 2005] เซนเซอร์สามารถทำงานได้ ดีเมื่อเคลื่อนผ่านทีละหนึ่งคน และไม่ได้มีการจำกัดความเร็วในการเคลื่อนผ่าน แต่ไม่สามารถที่จะตรวจนับเมื่อมนุษย์เคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์พร้อมๆกัน หรือมีลักษณะซ้อนกัน หรือเคลื่อนที่ผ่านเป็นกลุ่ม ไม่สามารถตรวจนับได้อย่างถูกต้อง ยังมีบริษัทที่แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น จากการซ้อนกันของวัตถุเกิดขึ้น Heinrich Ruser [Heinrich Ruser 2005] ได้ปรับปรุงการตรวจจับมนุษย์ด้วยการใช้เซนเซอร์ขนาดเล็กที่เป็น ไดโอดอะเรย์ (diode array) ข้างละ 3 จุดรวมเป็น 6 จุดเพื่อใช้ในการตรวจจับ โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การกระทบกันของแสงบนวัตถุทางการประมวลผลภาพ ค่าความเข้มของแสง (intensity) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้นับวัตถุ และการวิจัยที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดคือการรวมกันของเทคโนโลยี Thomas J. Kimpel 1998] [T. J. Kimpel2003] และ บริษัท Infodev [Infodev] เพื่อทำการตรวจนับมนุษย์ที่มีจำนวนมาก เช่น ผู้โดยสารบนขบวนรถไฟ รถโดยสารประจำทาง หรือที่ชุมชน ด้วยเทคโนโลยีของเซนเซอร์ (DA-400) ที่มีความหนา 13 mm. และสร้างวงจร (RS-485 RS-232) เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผล (control unit) เพื่อตอบสนองความถูกต้องและความคงทนในการตรวจนับ รวมถึงการใช้อุปกรณ์ต่างๆเพื่อการติดต่อสื่อสารระยะไกล (GPS antenna)

สำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป บริษัทแบนเนอร์ เอ็นจิเนียริ่ง (Banner Engineering Corp.) ได้ผลิตอุปกรณ์ D10 Expert : Small Object Counter [Banner] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กด้วยออฟติกไฟเบอร์ (optic fiber) ด้วยความเร็ว 2 วินาทีต่อวัตถุ และ อุปกรณ์ QS30: Clear Object Sensor (Application: The World-Beam) [Banner] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุที่มีลักษณะขุ่นมัว ไม่ทึบ เช่น ขวด แก้ว เป็นต้น ด้วยการใช้ threshold กับวัตถุในความเร็ว 0.5 millisecond ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถควบคุมแสงและระดับความใสของวัตถุได้ แต่อย่างไรก็ตาม การที่เซนเซอร์มีฝุ่นหรือมีความสกปรกบนตัวเซนเซอร์และจะเกิดผลกระทบต่อการตรวจนับวัตถุ และยังมี

ข้อจำกัดอีกหลายจุดที่ส่งผลให้การตรวจนับวัตถุ ยังคงคลาดเคลื่อน เช่น ตัวเซนเซอร์จะไวต่อการสั่นสะเทือนรวมทั้งการเปลี่ยนของแสง (แสงกระพริบแบบฉับพลัน) หรือแสงไม่เพียงพอในการจับวัตถุ มีนักวิจัย Ventseslav Draganov [Ventseslav Draganov 2007] ได้สร้างวงจรใหม่โดยที่ประกอบด้วย อุปกรณ์ Input conversion และ Counting control indication เพื่อใช้ในการตรวจนับขวดแก้วแทนตัวเซนเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามได้จำกัดขนาดของขวดแก้วที่แน่นอนและจะตรวจจับขวดแก้วได้นั้นจะต้องตั้งตรงเสมอ และยังมีการดัดแปลงเพิ่มอุปกรณ์ในการตรวจนับให้ดีขึ้น P.P. Jonker [P.P. Jonker 1992] ได้ใช้การประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการตรวจนับขวด ในปริมาณมาก โดยใช้กล้องทั้งหมด 16 ตัวเพื่อถ่ายภาพอย่างต่อเนื่อง

กลุ่มนักวิจัยบางกลุ่มพยายามนำการประมวลผลภาพ (image processing) เข้ามาช่วยในการตรวจนับวัตถุ เช่น กลุ่มของ Junlong Fang [Junlong Fang 2009] ใช้วิธีการตรวจนับกลุ่มของแบคทีเรียด้วยการประมวลผลภาพด้วย ขนาด (size) และสีในระบบ RGB และ Tsong-Yi Chen [Tsong-Yi Chen 2009] ได้ตรวจนับมนุษย์ที่เดินผ่านประตู เช่นกัน โดยใช้กล้องวีดีโอแบบ zenithal เพื่อทำการบันทึกและประมวลผลภาพโดยการใช้การแมชชิ่ง (matching) ในรูปแบบ bounding-boxes และเวกเตอร์ของสี (color-vector) แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดของลักษณะรูปแบบของท่าทางและความเร็วในการเดินผ่านประตู สำหรับกลุ่มของ Chao-Ho Chen [Chao-Ho Chen]ได้พยายามตรวจนับ จำนวนมนุษย์ที่เคลื่อนที่ผ่านประตูด้วยกล้อง โดยใช้การประมวลผลภาพในรูปแบบของการจดจำรูปแบบ (pattern) ของมนุษย์ ด้วยฮีสโตแกรม (Histogram) ของค่าความเข้มของ Hue ในระบบสีแบบ HSV (Hue Saturation Value) [R.C. Gonzalez 2002] ซึ่งในการจดจำรูปแบบของมนุษย์นั้นสามารถที่จะนับมนุษย์ที่เกิดการซ้อมเหลื่อมกันได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ตามลักษณะการสร้างเทคนิคของการนำการประมวลผลภาพเข้ามาใช้ จะต้องปรับให้เหมาะสมกับวัตถุที่ต้องการตรวจนับเสมอ

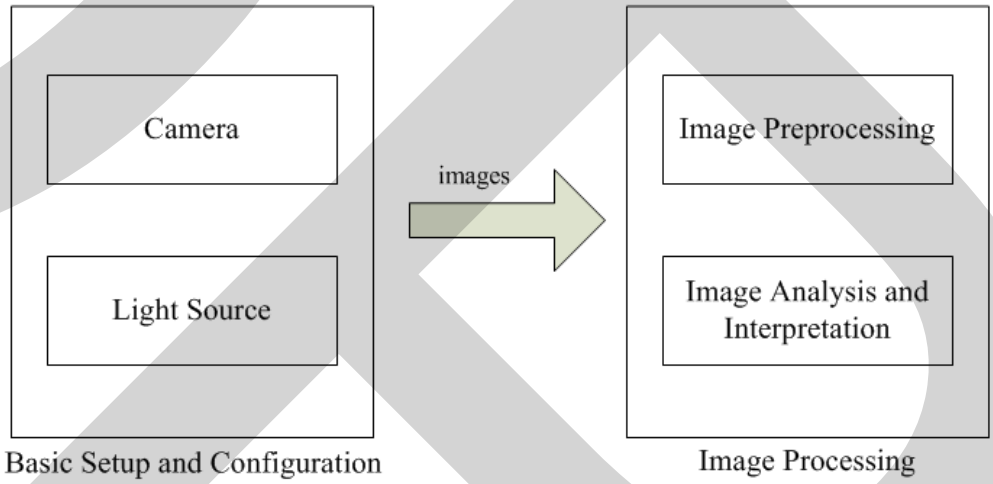
สรุปได้ว่าในการนำเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถใช้เพราะลักษณะของเซนเซอร์นั้นยังคงมีข้อดีที่สามารถตรวจนับการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว แต่ยังต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีระบบอื่นๆ ควบคู่ไปเพื่อลดข้อผิดพลาดของเซนเซอร์ และทำให้การทำงานของระบบโดยรวมดียิ่งขึ้น นักวิจัยบางกลุ่มได้สร้างวงจรหรือระบบเพื่อรองรับการทำงาน และบางกลุ่มได้นำการประมวลผลภาพเข้ามา

พิจารณาร่วม สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการนำการประมวลผลภาพ เพื่อมาประยุกต์ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเคลื่อนที่ของสายพาน เพื่อตรวจนับวัตถุที่เป็นถุงปูนซีเมนต์ เพราะฉะนั้นการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถรับแรงสั่นของรางขณะวัตถุถูกลำเลียง และเกิดแรงส่งจากการเปลี่ยนทิศทางของรางสายพาน (รวมถึงการเลื่อนรางสายพานถอยหลัง) ทำให้เกิดการกระตุกของรางสายพานในบางครั้ง ถ้ามีการใช้เซนเซอร์เกิดการทริกคือเป็นการนับวัตถุในขณะไม่มีวัตถุผ่าน ทำให้เกิดการนับที่มากกว่าจำนวนวัตถุที่มีจริง และเซนเซอร์ ไม่สามารถตรวจสอบวัตถุ ว่ามีคุณภาพเพียงพอในการจัดส่งหรือไม่ รวมทั้งเมื่อถุงปูนซีเมนต์มีการทับซ้อนกันของถุงปูนซีเมนต์ ตัวเซนเซอร์จะตรวจนับเป็นเพียงถุงเดียวที่เคลื่อนที่ผ่าน เป็นการนับที่ทำให้ผลการนับน้อยกว่าจำนวนจริงที่มีอยู่ ทำให้เกิดปัญหาการนับจำนวนถุงที่ผิดพลาด นำเสนอการผสมผสานแนวคิดทางด้านประมวลผลภาพ (Image processing) กับทางวิศวกรรม (Engineering) เพื่อเข้ามาช่วยปรับปรุงให้ระบบการตรวจนับวัตถุให้มีความสมบูรณ์และถูกต้องแม่นยำ รวมไปถึงลดข้อจำกัดในการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

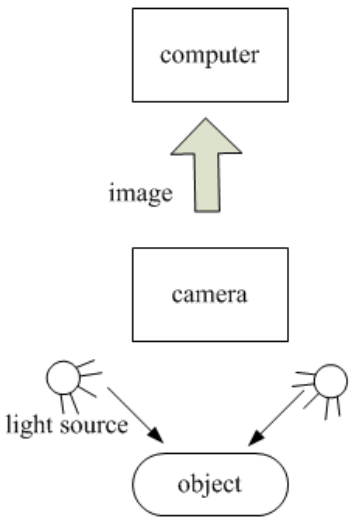
บริษัท Fuzhou Zero Automation Equipment [Fuzhou Zero] สร้างเครื่องตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ที่แสดงผลการการนับบนหน้าจอด้วย Luminance LED ควบคุมด้วยส่วนของชิฟไมโครคอมพิวเตอร์ตัวเดียว (single chip microcomputer) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศจีน ทำให้เกิดความคงทนต่อการตรวจนับวัตถุมากกว่าการใช้ตัวเซนเซอร์ ด้วยความเร็วคงที่ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะที่มีการควบคุมใช้สร้างขึ้นมานั้น สามารถตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถตรวจสอบว่าถุงปูนซีเมนต์มีคุณภาพเพียงพอที่จะส่งออกไปหรือไม่ ในบางครั้งถุงปูนซีเมนต์มีรอยแตก หรือเกิดการเรียงซ้อนกันของถุงปูนซีเมนต์ อุปกรณ์ชนิดนี้จะไม่สามารถที่จะตรวจสอบ

สำหรับการแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการตรวจนับวัตถุ ด้วยการผสมผสานเทคนิคของคอมพิวเตอร์วิชัน โดยนำทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล มาใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจนับวัตถุ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัตถุ คือถุงปูนซีเมนต์ เพื่อเป็นตัวอย่างในการตรวจนับ โดยที่ถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่บนรางสายพาน ในรูปแบบที่มีความเร็วคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเพื่อทำการตรวจนับเป็น กล้องดิจิทัลสำหรับการบันทึกภาพ และมีอุปกรณ์ให้

แสงสว่าง เมื่อบันทึกภาพแล้วนั้นจะนำภาพที่ได้ ผ่านกระบวนการประมวลผลทางดิจิทัล ด้วยทฤษฎีที่เรียกว่า แทมเพลตแมชชิ่ง (template matching) แบบนอร์มอลไลซ์คอรรีเลชั่น (normalized correlation) เพื่อทำการการรู้จำถุงปูนซีเมนต์ (recognition) ว่าถุงปูนซีเมนต์ที่เข้ามาเป็นถุงที่มีคุณภาพที่ต้องการหรือไม่ เมื่อได้คุณสมบัติครบจะมีการนับถุงปูนนั้นและแสดงผลลัพธ์ออกทางจอภาพ



ภาพที่ 2.1 แสดงการประมวลผลพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์วิชัน



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบวิชัน

กระบวนการประมวลผลของระบบตรวจนับวัตถุ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

- การติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน (basic setup and configuration)
- การประมวลผลภาพ (image processing)

2.3 การติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน

กระบวนการตรวจนับวัตถุ ด้วยการผสมผสานเทคนิคจากการประมวลผลภาพ (image processing) นั้นจะต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆที่เพิ่มเข้ามาโดยเฉพาะกล้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน (basic setup and configuration) จะประกอบด้วยอุปกรณ์กล้อง และแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะต้องมีการกำหนดคุณลักษณะเบื้องต้น ให้อยู่ภายในมาตราฐานที่ทำให้ภาพที่รับเข้ามานั้นมีคุณภาพเพียงพอที่สามารถนำมาประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากภาพที่ 2.2 แสดงถึงขั้นตอนการบันทึกภาพดิจิทัลมีวัตถุ (object) ด้วยกล้อง (camera) ถูกบันทึกไว้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (computer) เพื่อนำภาพเข้าสู่กระบวนการประมวลผล ด้วยโปรแกรมที่มีอัลกอริทึมสำหรับการตรวจนับวัตถุ สำหรับในงานวิจัยนี้จะนำภาพดิจิทัลเข้าสู่กระบวนการด้วยการบันทึกภาพด้วยกล้องวีดีโอ และเพื่อความสมบูรณ์ของการบันทึกภาพ และการทำให้ภาพมีความชัดเจนมากที่สุดจะต้องมีการกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆของอุปกรณ์ที่ใช้ รวมทั้งการควบคุมและติดตั้งอุปกรณ์ทุกชิ้นดังนี้

2.3.1 กล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัล (camera) มี 2 ประเภทคือ กล้องที่ใช้บันทึกภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) และ กล้องที่ใช้บันทึกภาพวีดิทัศน์ (วีดิโอ) การเลือกประเภทของกล้องจะต้องขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ซึ่งรูปแบบของภาพดิจิทัล (image formation) เพื่อการนำไปใช้สำหรับระบบตรวจนับวัตถุ ด้วยการประมวลผลภาพ วัตถุภายในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการเคลื่อนที่อยู่บนรางสายพานตลอดเวลาเพราะฉะนั้นกล้องที่เหมาะสมสำหรับการบันทึกภาพ ที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุตลอดเวลาควรจะถูกบันทึกภาพวีดิทัศน์ (วีดิโอ) คือกล้องแบบวีดีโอ (video) และนำภาพที่ได้เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลภาพต่อไป

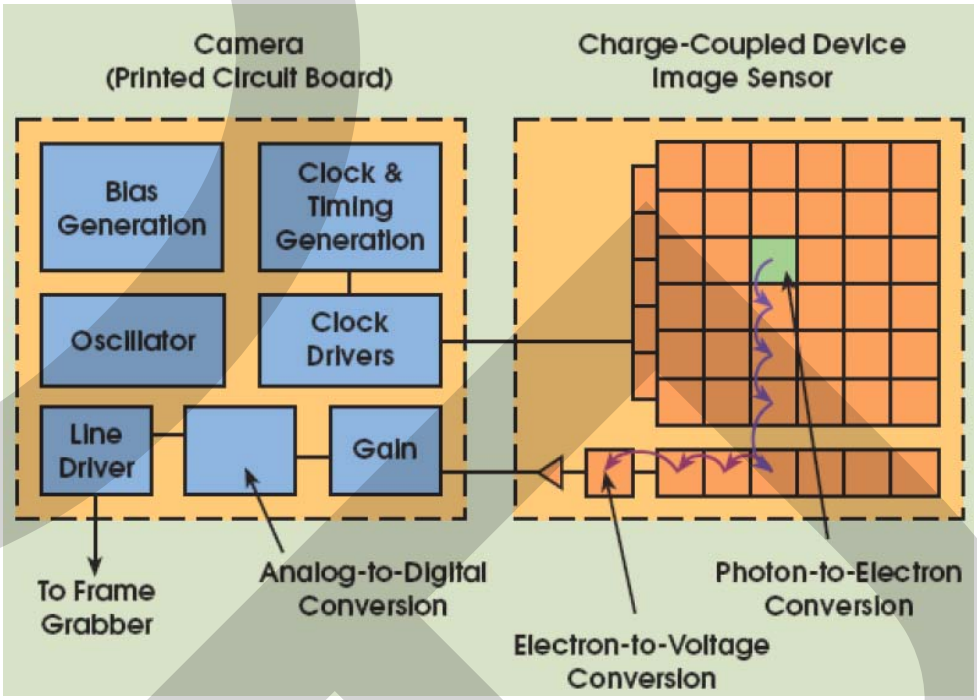
ประเภทของคุณสมบัติ	รายละเอียด
ความละเอียดภาพ (Resolution)	$780(H) \times 580(V)$pixels
อัตราเฟรม (Frame rate)	≥ 30 fps
การเชื่อมต่อเอาท์พุต (Interface)	Gigabit Ethernet Card (Intel chip)
รูปแบบภาพเอาท์พุต (Format)	สี
ส่วนเชื่อมต่อเลนส์	C-mount

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของกล้องดิจิทัล

- คุณสมบัติกล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลที่เลือกใช้ในงานตรวจนับวัตถุของระบบวิชั่นจะเป็นกล้องแบบ Charge Coupled Device (CCD) [M.F. Tompsett 1970] [M.F. Tompsett 1971][W.S. Boyle 1970][Oliver R. Hainaut 2009] คุณสมบัติคือเป็นตัวรับแสงอย่างเดียว และจะส่งค่าที่ได้ออกมาให้วงจรที่มีหน้าที่แปลงสัญญาณ โดยปัจจุบันได้มีการแบ่งประเภทของ CCD จากชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ ตำแหน่งของหน่วยความจำชั่วคราว (register) และวิธีการโย้กย้ายข้อมูลชั่วคราว สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ Frame Transfer (FT) Interline Transfer (IF) และ Frame Interline Transfer (FIT) ส่วนที่รับแสงของ CCD จะมีขนาดที่ใหญ่ จะทำให้มีความได้เปรียบในการรับภาพเข้ามาจึงเหมาะแก่การนำมาทำเป็นเซนเซอร์ ดังแสดงการทำงาน ในภาพที่ 2.3 การทำงานของ CCD จะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อก (analog) ส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (digital) คุณสมบัติของกล้องดิจิทัลพื้นฐาน ที่จำเป็นสำหรับใช้ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ควรจะมีข้อกำหนดรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1 ส่วนเลนส์ (lens) ที่ใช้จะเป็นเลนส์ประเภท Closed-Circuit TeleVision (CCTV) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ใช้กับกล้อง CCD เช่นกัน ความสัมพันธ์ในการเลือกขนาดของเลนส์และขนาดของกล้องมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเลือกใช้เพื่อที่จะให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุด ความสัมพันธ์ของขนาด CCD Element ภายในกล้องและขนาดของเลนส์ จะสามารถพิจารณาได้จากสมการ

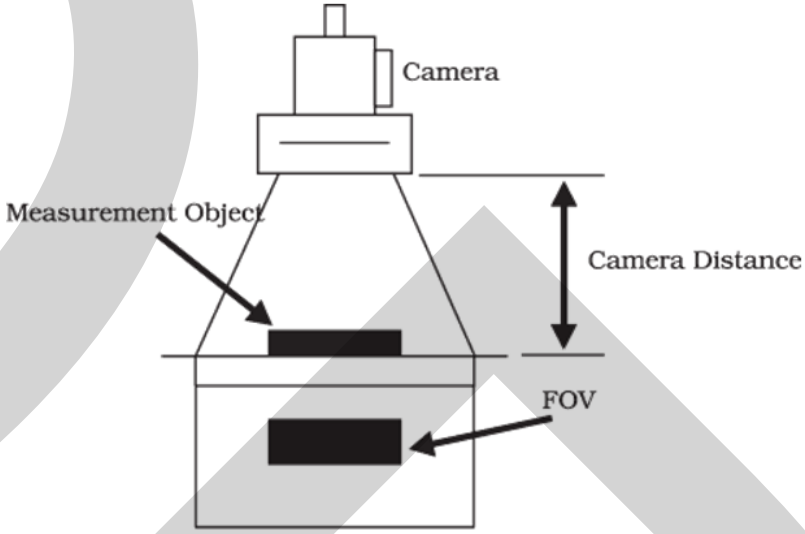
Lens Format Size >= CCD Sensor Size



ภาพที่ 2.3 แสดงการทำงานของ CCD

- การติดตั้งกล้องรับภาพ

ก่อนเริ่มทำการติดตั้งกล้องรับภาพ จะต้องมีการกำหนดระยะติดตั้งกล้อง (camera distance) คือ ระยะความสูงจากกล้องถึงชิ้นงานหรือวัตถุ (measurement object) ที่ทำการตรวจนับ และ ขอบเขตของกล้อง (Field Of View: FOV) หมายถึงขอบเขตที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้อย่างชัดเจน ซึ่ง FOV และระยะติดตั้งกล้องรับภาพ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงค่อนข้างมาก ขณะที่วัตถุหรือถุงปูนซีเมนต์ที่อยู่บนรางส่งสายพาน จะมีการเคลื่อนที่ผ่านกล้องตรวจรับภาพ ซึ่งมีการจับภาพอย่างต่อเนื่อง โดยที่ภาพที่รับเข้ามาต้องได้รูปร่างของวัตถุที่สมบูรณ์ คือต้องมีการจัดตำแหน่งการตั้งของกล้อง เพื่อให้ภาพที่บันทึกนั้นสามารถนำเข้ามาประมวลผลได้ จากภาพที่ 2.4 แสดงถึงสิ่งที่กำหนดในการติดตั้งกล้องรับภาพการคือ ขนาดของ FOV ระยะความสูงจากกล้องถึงชิ้นงาน (camera distance) และ ความละเอียดของภาพที่ต้องการ (resolution image) จะต้องมีการจัดตำแหน่งของวัตถุที่วางควรจะอยู่ในระยะใดจึงจะทำให้กล้องนั้นจับภาพวัตถุได้อย่างสมบูรณ์และสามารถนำเข้าสู่การประมวลผลได้ แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรคำนึงอีกอย่างคือความแปรปรวนของแสงสว่าง ที่ส่งผลกระทบต่อการจับภาพจากกล้อง ดังที่จะกล่าวต่อไป



ภาพที่ 2.4 การติดตั้งกล้องรับภาพ

2.3.2 วิธีการให้แสงสว่าง

สิ่งที่ต้องคำนึงถัดไปเกี่ยวกับการได้มาของรูปภาพ (image acquisition) การนำภาพเข้ามาสู่ระบบจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของภาพค่อนข้างมาก ภาพควรจะมีความชัดเจนเห็นวัตถุเด่นชัดเพื่อการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าภาพไม่สมบูรณ์หรือขาดคุณสมบัติไป คือ ภาพไม่ชัดเจน มัวหรือ มีค่าความเข้มของแสง (intensity) ที่ใกล้เคียงกันมาก จนไม่สามารถแยกแยะวัตถุบนภาพได้หรือแยกได้แต่อาจจะต้องมีการผ่านกรรมวิธีหลายขั้นตอนจนเกินไปถึงจะนำเข้ามาประมวลผลได้ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการประมวลผล เพราะฉะนั้นจึงควรตัดสิ่งที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในการทดลอง

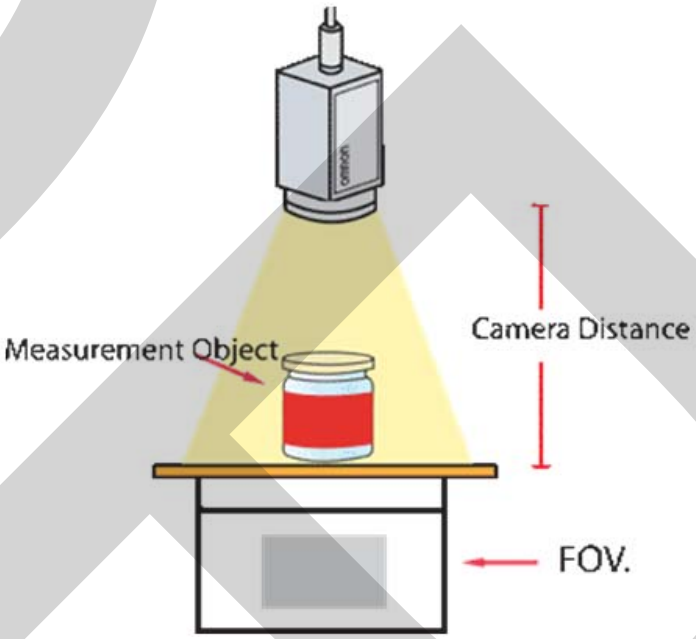
แหล่งกำเนิดแสง	คุณสมบัติ	ข้อจำกัด
Halogen	ค่าแสงที่คงที่	มีความร้อน
Fluorescent	แสงนวลปกติ	ต้องการความถี่สูง มีการแกว่งของแสง
Light-emitting diode (LED)	ให้ความหนาแน่นแสงคงที่ อายุการใช้งานนาน มีขนาดเล็ก	ปริมาณแสงที่ปรับได้มีค่าน้อย ไม่เหมาะกับการใช้งานที่กินพื้นที่บริเวณกว้าง แสงจะไม่เพียงพอ
Laser	ให้แสงที่มีความเข้มสูง แสงมีลักษณะเป็น Linear	ราคาค่อนข้างสูง จัดเตรียมระบบที่ซับซ้อนยุ่งยาก
Strobe (Xenon)	ให้แสงใกล้เคียงธรรมชาติ ใช้เวลาในการแผ่แสงสั้น	มีอายุการใช้งานสั้น มีการแกว่งของแสง

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสง

เพราะฉะนั้นการควบคุมแสงสว่าง เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการบันทึกภาพเพื่อทำการประมวลผลทางด้านวิชั่น จึงมีการสร้างแหล่งกำเนิดแสงสว่าง (light source) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้เกิดความชัดเจนและรักษาเงื่อนไขในการรับภาพให้คงที่ตลอดเวลาไม่ว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แหล่งกำเนิดแสงที่มีใช้งานในระบบวิชั่น มีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังจะเปรียบเทียบให้เห็นจากตารางที่ 2.2

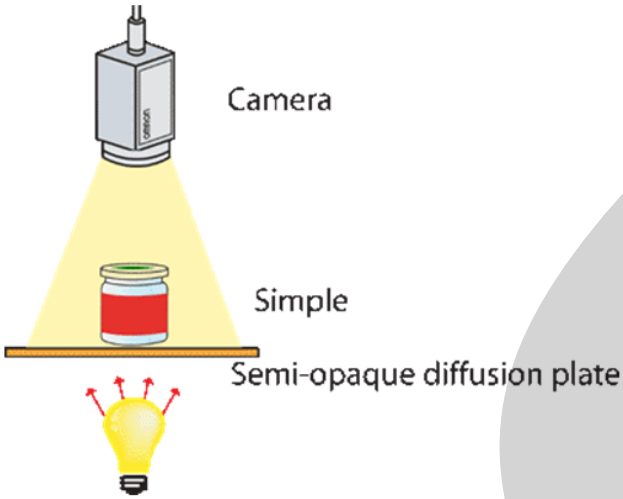
สำหรับในการทดลองนี้ได้มีการควบคุมแสงสว่างเพื่อให้พอเหมาะกับการบันทึกภาพ และภาพที่ได้มานั้นต้องมีประสิทธิภาพ และสามารถนำภาพที่รับเข้ามา พร้อมที่จะนำไปทำการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป เทคนิคการให้แสงแก่วัตถุที่ทำการวัดสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำภาพไปใช้และ ชนิดของวัตถุที่ทำการตรวจจับ [Omron Electronics] ดังแสดงการวิธีการให้แสงดังไปนี้ การให้แสงจากด้านหลัง (back lighting) การบังคับแสงให้ไปทิศทางเดียว (polarized overhead lighting) การให้แสงในมุมเอียง (oblique lighting) การให้แสงแบบวงกลม(ring lighting) การให้แสงแบบ Indirect Lighting 1 (back lighting) การให้แส่งแบบ Indirect Lighting 2 (reflected lighting)

- การให้แสงจากด้านหลัง (back lighting) เหมาะกับการวัดรูปร่าง หรือขนาดของวัตถุ (เห็นเป็นเงา) โดยที่จะมีแหล่งกำเนิดแสงที่มีพื้นผิวเรียบ ทำให้เกิดความคมชัดของขอบชัดเจน



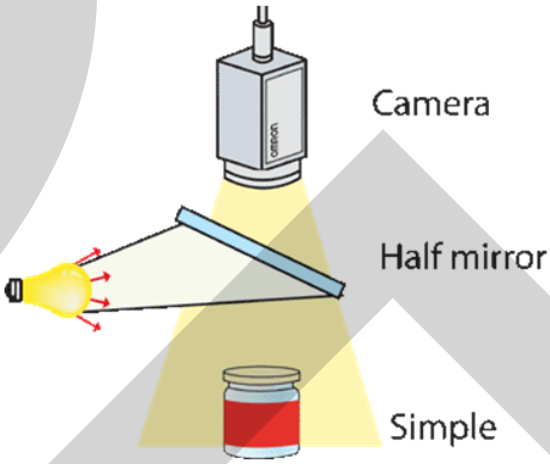
ภาพที่ 2.5 แสดงรูปแบบการให้แสงสว่าง

- การบังคับแสงให้ไปทิศทางเดียว (polarized overhead lighting) สำหรับวัตถุที่มีลักษณะเป็นหลุมหรือรู



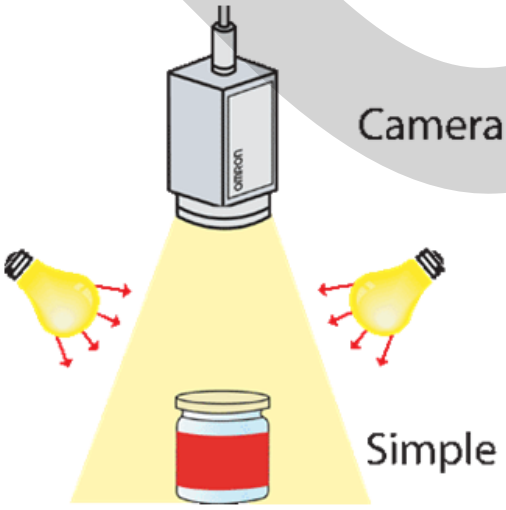
ภาพที่ 2.6 แสดงการให้แสงจากด้านหลังวัตถุ

- การให้แสงในมุมเอียง (oblique lighting) สำหรับวัตถุที่มีผิวเห็นมันเงา



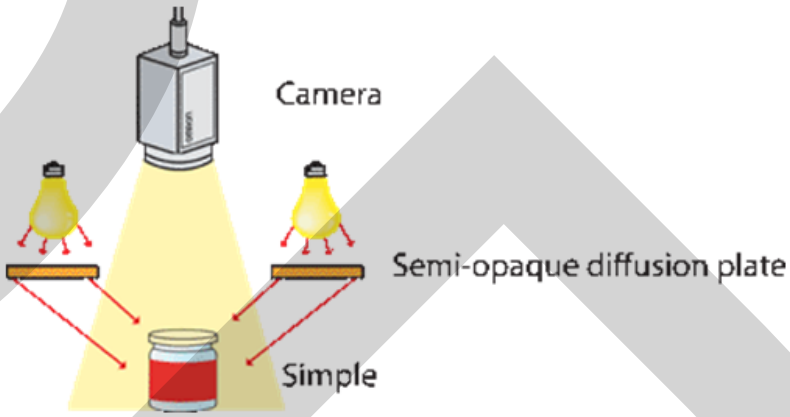
ภาพที่ 2.7 แสดงการให้แสงในมุมเอียง

- การให้แสงแบบวงกลม (ring lighting) สำหรับวัตถุที่ไม่เป็นมันเงา



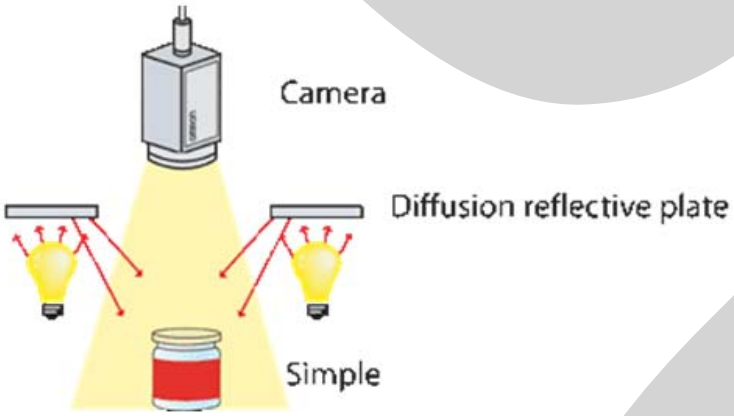
ภาพที่ 2.8 แสดงการให้แสงแบบวงกลม

- การให้แสงแบบ Indirect Lighting 1 (back lighting) สำหรับวัตถุที่มีพื้นผิวเป็นโลหะ



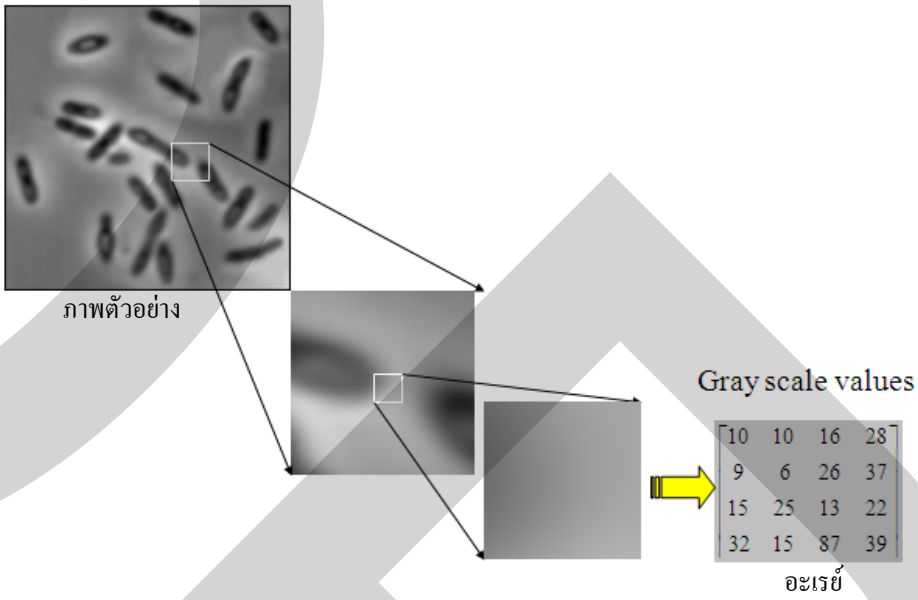
ภาพที่ 2.9 แสดงการให้แสงแบบ Indirect Lighting 1

- การให้แส่งแบบ Indirect Lighting 2 (reflected lighting) สำหรับวัตถุผิวโลหะที่มีการสะท้อน



ภาพที่ 2.10 แสดงการให้แสงแบบ Indirect Lighting 2

จากเทคนิคการให้แสงที่กล่าวมาเป็นเพียงตัวอย่างบางส่วนเท่านั้น ยังมีเทคนิคการให้แสงแก่วัตถุอีกหลายวิธี ทั้งนี้วัตถุประสงค์ก็เพื่อให้ได้ภาพของวัตถุที่ต้องการทำการวัดมีความชัดเจนและทำให้การประมวลของ controller นั้นไม่มีข้อผิดพลาด



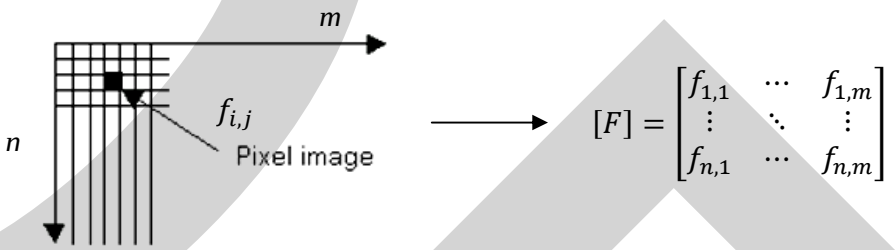
ภาพที่ 2.11 แสดงการจัดเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบของอะเรย์

2.4 การประมวลผลภาพดิจิทัล

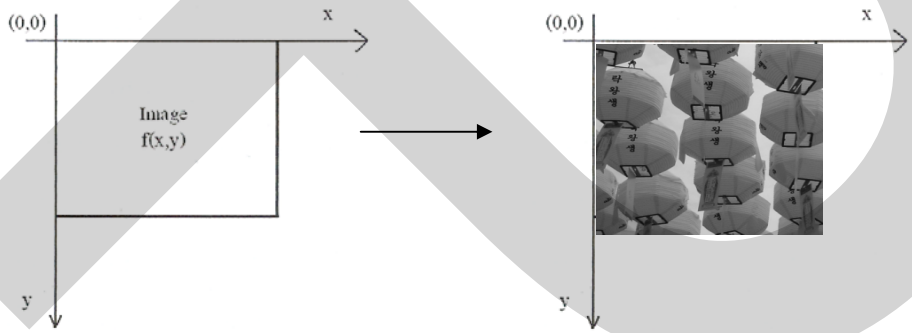
หลังจากที่มีการรับภาพจากกล้องเข้ามาผ่านอุปกรณ์รับภาพ ซึ่งภาพที่รับเข้ามาจากกล้อง CCD จะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อก (analog) จะถูกแปลงสัญญาณภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (digital) [นัศพ์ชาณัณ 2553] [R.C. Gonzalez 2002] และทำการจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ ในรูปของตัวแปรแบบอะเรย์(array) ดังแสดงในภาพที่ 2.11 โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงค่าความเข้มของแสง (intensity) ของแต่ละจุดของแต่ละจุดของภาพที่เรียกว่าพิกเซล (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพดังแสดงในภาพที่ 2.12

เมื่อนำภาพมาแสดงในรูปของ 2 มิติ ตามแนวแกน x และ y สามารถเขียนในรูปของฟังชันก์ของภาพสามารถแสดงในรูปชอง $i = f(x, y)$ ในรูปของ 2 มิติ โดย i หมายถึง ความสว่างหรือความเข้มของแสง และ (x, y) เป็นพิกัดในแบบจำลองของภาพ (image model) ค่าของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ดังกล่าวเป็นค่าความเข้ม ซึ่งเปลี่ยนไปตามตำแหน่งหรือพิกัดแบบจำลองภาพ ค่าความเข้มของแสงนี้เป็นค่าดิจิทัลหรือเชิงตัวเลข ดังนั้น เมื่อแสดงเป็นตัวเลขของค่าความเข้มในแต่ละพิกเซลเรียงกันทั้งภาพจะเห็นว่าเป็นเมทริกซ์ สิ่งที่แบบจำลองต่างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ จุดกำเนิด (Coordinate Origin) ที่ตำแหน่ง (0,0) ซึ่งอยู่ที่จุดซ้ายบนสุดของสเกลต่างจากจุดกำเนิดของ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ที่จุดซ้ายล่างสุด ดังนั้นการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ในการประมวลภาพ จำเป็นต้องเปลี่ยนจุดกำเนิดให้ถูกต้องด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.13



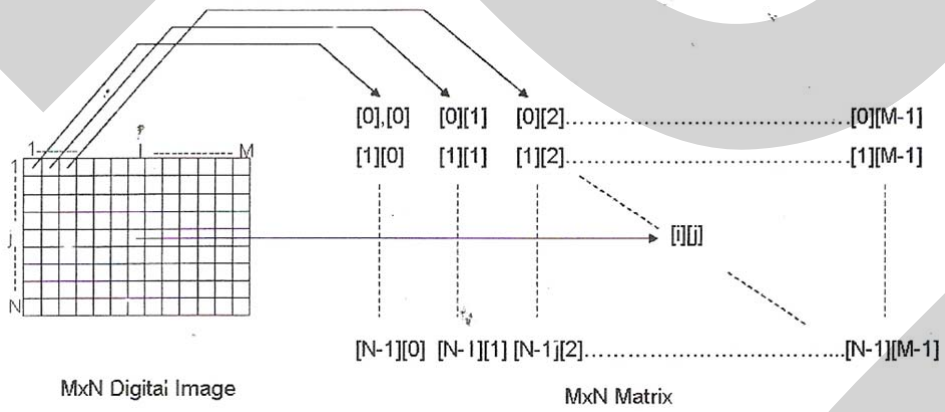
ภาพที่ 2.12 การแสดงตำแหน่งของพิกเซลบนภาพดิจิทัลด้วยเมทริกซ์



ภาพที่ 2.13 แบบจำลองของภาพ

ในหน่วยความจำ จะทำการจัดเนื้อที่ในการเก็บภาพ สามารถคำนวณได้จาก $m \times n \times b$ เมื่อ b เป็นจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า b มีค่าเท่ากับ 8 บิตเราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า m และ n จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640×480, 800×600 และ 1024×768 จุด เป็นต้น การกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดเพียง 30×50 จุด ก็พอซึ่งความละเอียดนั้นจะขึ้นกับงานที่จะใช้ ในบางงานจะใช้ความละเอียดถึง 1000×1000 จุด ก็ยังไม่พอ จากภาพที่ 2.13 สมมุติให้ภาพแทนเป็นตัวแปรชื่อ x เป็นตัวแปรแบบอะเรย์ขนาด $m \times n$ (m แทน แถว และ n แทน คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $m \times n$ จุด และ ค่าของความเข้มของแสง (ค่าความสว่าง) ของจุดภาพในแถวที่ 5

คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของข้อมูล x เป็นรูปของ (5,4) จะเห็นว่าใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอะเรย์ ดังแสดงการเรียงตัวของข้อมูลบนอะเรย์ในภาพที่ 2.14 และการกำหนดความละเอียดของภาพ (image resolution) จากการกำหนดขนาดของพิกเซลตัวอย่างเช่น 1 ไมครอนต่อพิกเซล (μm/pix) 1 มิลลิเมตรต่อพิกเซล (mm/pix) เป็นต้น ในงานที่ต้องการทราบตำแหน่งหรือขนาดของวัตถุที่วัดเป็นค่าจริง เราสามารถที่จะคำนวณได้จาก Resolution = Field of vision in Y direction (mm) / Number of pixels in Y direction (484 Pixel) โดยปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่างๆ จะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐาน จะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสีเหลี่ยมจัตุรัสเช่น ในบางระบบอาจจะใช้ความละเอียดในการแสดง เท่ากับ 640×580 ซึ่งจะทำ ให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูง เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้น จะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น 1 บิต = 21 จะได้ 4 สี 2 บิต = 22 จะได้ 4 สี 4 บิต = 24 จะได้ 16 สี 8 บิต = 28 จะได้ 256 สี 16 บิต = 216 จะได้ 65536 สี เป็นต้น



ภาพที่ 2.14 แสดงการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลภาพดิจิทัล

จากคุณลักษณะของภาพดิจิทัลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) เริ่มจากการเก็บข้อมูลภาพเป็นแบบ เมตริกซ์ ที่มีถึง 3 ระนาบ (dimension) ดังนั้นการประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับในงานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งก่อนที่จะมีการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป ดังนั้นจึงได้มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

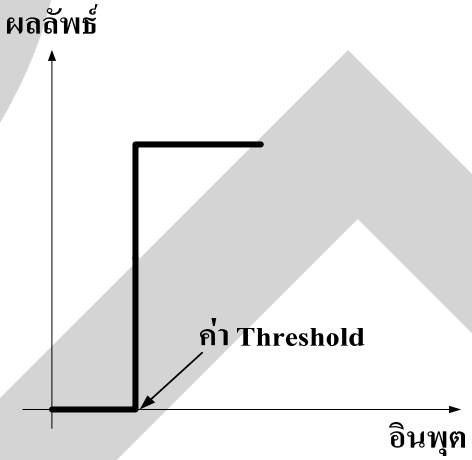
2.4.1 การประมวลภาพเบื้องต้น

สำหรับขั้นตอนการประมวลภาพเบื้องต้น (image preprocessing) ในรูปแบบของการหาบริเวณที่ต้องการในรูปแบบอัติโนมัติ ยังคงเป็นงานวิจัยที่ยังหาข้อยุติไม่ได้ โดยเฉพาะที่เป็นลักษณะของ ระบบเรียลไทม์ (real time) ด้วยแล้วนั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณของอัลกอริทึม (computational cost of algorithm) ที่เป็นสิ่งที่จำเป็นค่อนข้างมาก สำหรับระบบเรียลไทม์ ที่มีการแปรเปลี่ยนรูปแบบของพื้นหลัง (modeling of background) จะทำให้เกิดกระบวนการในการสกัดวัตถุที่ต้องการขึ้นมา ซึ่งเทคนิคที่เรียกว่า Gaussians Mixture Model [C. Stauffer, and W. Eric 2000] เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างประสบความสำเร็จมากแต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีพื้นหลังที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะฉะนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นยังคงเกิดขึ้นเมื่อพื้นหลังมีการแปรเปลี่ยนและยังคงเป็นปัญหาที่ยังคงต้องมีการแก้ไข ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงข้ามในส่วนการวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนของพื้นหลังที่ไม่คงที่ และได้มีการนำเทคนิคของฮีสโตแกรม (Histogram matching) [F.Porikli2005][D.Comaniciu2003][D. Comaniciu2000] ที่ไม่ได้มีการนำส่วนของพื้นหลังเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อทำการเปรียบเทียบแต่อย่างไรก็ตาม ด้วยคุณลักษณะของเทคนิคฮีสโตแกรมไม่สามารถที่จะรองรับตำแหน่งของพิกเซล (pixel location) ทำให้ยังคงมีปัญหาเมื่อมีวัตถุที่ทับซ้อนกันจนไม่สามารถที่จะประมวลผลได้อย่างถูกต้อง เทคนิคสหสัมพันธ์ (Correlation) [A.J. Lipton 1998][S. Wong 2005] จะมีการทำงานที่ไม่สูญเสียในข้อมูลส่วนของสเปเชียลทำให้สามารถทดแทนวิธีการของฮีสโตแกรมได้ และได้มีการใช้เทคนิคสหสัมพันธ์เพื่อทำการหาขอบของวัตถุซึ่งวิธีการนี้ถูกเรียกว่า Edge-Enhanced Normalized Correlation (EENC) [Javed Ahmed 2008] เพื่อทำการแก้ไขปัญหาต่าง ๆที่เกิดจากการหาวัตถุที่เกิดจากการทับซ้อนการ หรือมีปัญหาจากสัญญาณรบกวน หรือวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางจากการหมุน เป็นต้น และการใช้เทคนิค EENC สามารถทำงานได้ดีสำหรับการแมชชิ่งส่วนของพื้นที่ (matching region) พร้อมทั้งยังเป็นแทมเพลต (template) ที่ใช้ทำงานได้อย่างรวดเร็ว

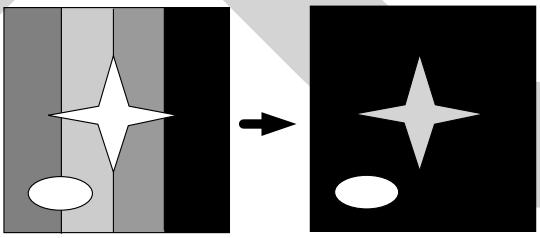
- การแปลงแบบสองระดับ

การแปลงค่าความเข้มที่มีค่าน้อยกว่าค่าแบ่ง (Thresholding value หรือ Threshold value) [นัศพ์ ชาณัณ 2553] [R.C. Gonzalez 2002] จะถูกแปลงเป็น 0 ในขณะที่ค่าความเข้มที่มีค่าเท่ากับและ

มากกว่าค่าแบ่งจะถูกแปลงเป็นค่าที่แสดงความสว่างอย่างชัดเจน เช่น 255 เป็นต้น โดยที่ค่าแบ่งหรือ threshold นั้นจะถูกกำหนดเองตามความเหมาะสม ก็ได้ขึ้นกับความต้องการ



ภาพที่ 2.15 การแปลงแบบกำหนดค่าแบ่ง



ภาพที่ 2.16 ตัวอย่างการแปลงภาพแบบกำหนดค่าแบ่ง

ตัวอย่าง การแปลงภาพเป็นภาพ 2 สีหรือภาพ 2 ค่า (Binarization) แสดงในภาพที่ 2.15 ซึ่งค่าระดับสีเทาที่มีค่าต่ำกว่าค่าแบ่ง (Thresholding value) จะถูกแปลงเป็น 0 ซึ่งแสดงความความมืดและค่าที่สูงกว่าค่าแบ่งจะถูกแปลงเป็นค่าสูงค่าหนึ่งที่แสดงความสว่าง จากภาพที่ 2.16 ในรูปซ้ายมือเนื่องจากความเข้มในภาพดาวและวงรีไม่สว่างชัดนัก แต่มีค่าความสว่างมากกว่าค่าแบ่งจึงถูกแปลงเป็นค่าความสว่างสูงสุดตามการแปลง ในขณะที่ภาพหลังมีหลาย ๆแถบและมีความสว่างน้อยกว่าค่าแบ่งก็ถูกแปลงเป็นสีมืด จากการใช้การแปลงตามแผนภูมินี้ทำให้ภาพกลายเป็นภาพ 2 ค่า และเพิ่มความเป็นไปได้ในการที่ตามนุษย์สามารถแยกภาพหน้าออกจากภาพหลังได้

- ฮีสโตแกรม

โดยปกติการปรับปรุงข้อมูลภาพให้ชัดเจน เหมาะสมกับงานเฉพาะทางด้านต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการหลายชนิดตามแต่ประเภทของปัญหาของภาพนั้น ๆ เช่น วิธีการเน้นความคมชัด ซึ่งเป็นการปรับความแตกต่างความสว่างระหว่างภาพหน้า (foreground) กับภาพหลัง (background) การปรับขอบของภาพให้มีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งมีเทคนิคต่าง ๆในการทำให้ภาพชัดขึ้น วิธีการปรับปรุงภาพที่เหมาะสำหรับงานอย่างหนึ่งไม่จำเป็นต้องเหมาะสมกับงานอีกอย่างหนึ่งเสมอไป การปรับปรุงภาพ (image enhancement) นั้นมักจะใช้ค่าความเข้มของแสง ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าค่าของ intensity บนภาพมาทำการคำนวณ โดยข้อมูลของภาพจะตั้งอยู่บนระนาบของพิกเซลที่ประกอบขึ้นเป็นภาพดิจิทัล สามารถระบุตำแหน่งของพิกเซลในความหมายของระยะทางในการกำหนดตำแหน่งในระนาบพื้นที่ เราสามารถแทน ภาพดิจิทัล ด้วย f(x,y) เมื่อ x และ y คือระยะทางในแนวแกนตั้งและแกนนอนวัดจากจุดเริ่มต้น เพราะฉะนั้นในการปรับปรุงภาพโดยใช้กระบวนการที่กระทำในระนาบพื้นที่ (spatial domain) และให้ผลลัพธ์ออกมาในระนาบพื้นที่

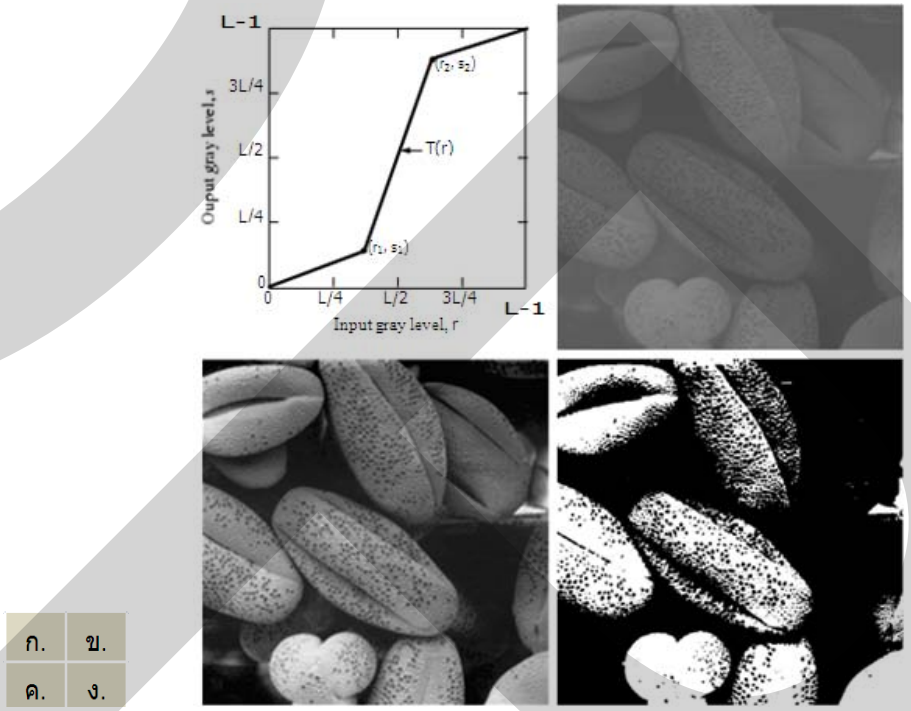
$$g(x,y) = T\left[f(x,y) \right]$$

โดยที่ f(x,y) คือภาพตั้งต้น g(x,y) คือภาพผลลัพธ์ และ T[ ] คือ ฟังก์ชันที่ถูกกำหนดในพื้นที่รอบจุด (x,y)

ฮีสโตแกรม (histogram) [นัศพ์ชาณัณ 2553] [R.C. Gonzalez 2002] เป็นกระบวนการที่หาค่าความเข้มของแสงของภาพแบบพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพเบื้องต้นได้ จากภาพที่ 2.15 [R.C. Gonzalez 2002] แสดงภาพที่มีวัตถุของภาพแบบเดียวกัน แต่มีคุณลักษณะของความสว่างของภาพที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ฮีสโตแกรมที่ต่างกัน โดยภาพที่นำเข้ามานั้นเป็นภาพที่มีส่วนของความเข้มแสงในบริเวณที่เป็นสีเทาค่อนข้างสูง (ฮีสโตแกรมเกาะเป็นกลุ่มบริเวณกลางภาพ) จากรูปแบบของการแปลงในภาพที่ 2.17 ก. จะเห็นว่าในส่วนของบริเวณของกราฟจะทำการดึงภาพอินพุตจากจุด r1 ถึง r2 ไปภาพผลลัพธ์เป็นจุด s1 ถึง s2 ซึ่งสังเกตว่าระยะห่างของค่า s จะมีค่ามากกว่าค่า r ซึ่งทำให้ภาพที่ได้มีค่าความสว่างที่เป็นสีเทา ลดน้อยลงและเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าอื่นมากขึ้นจึงทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นอย่างเด่นชัด

จากภาพที่ 2.18 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของฮีสโตแกรมกับรูปภาพซึ่งจะเห็นว่า ฮีสโตแกรมสามารถที่จะบอกถึงค่าความสว่างได้เป็นอย่างดี รวมทั้งลักษณะของการ contrast ของภาพด้วยจาก

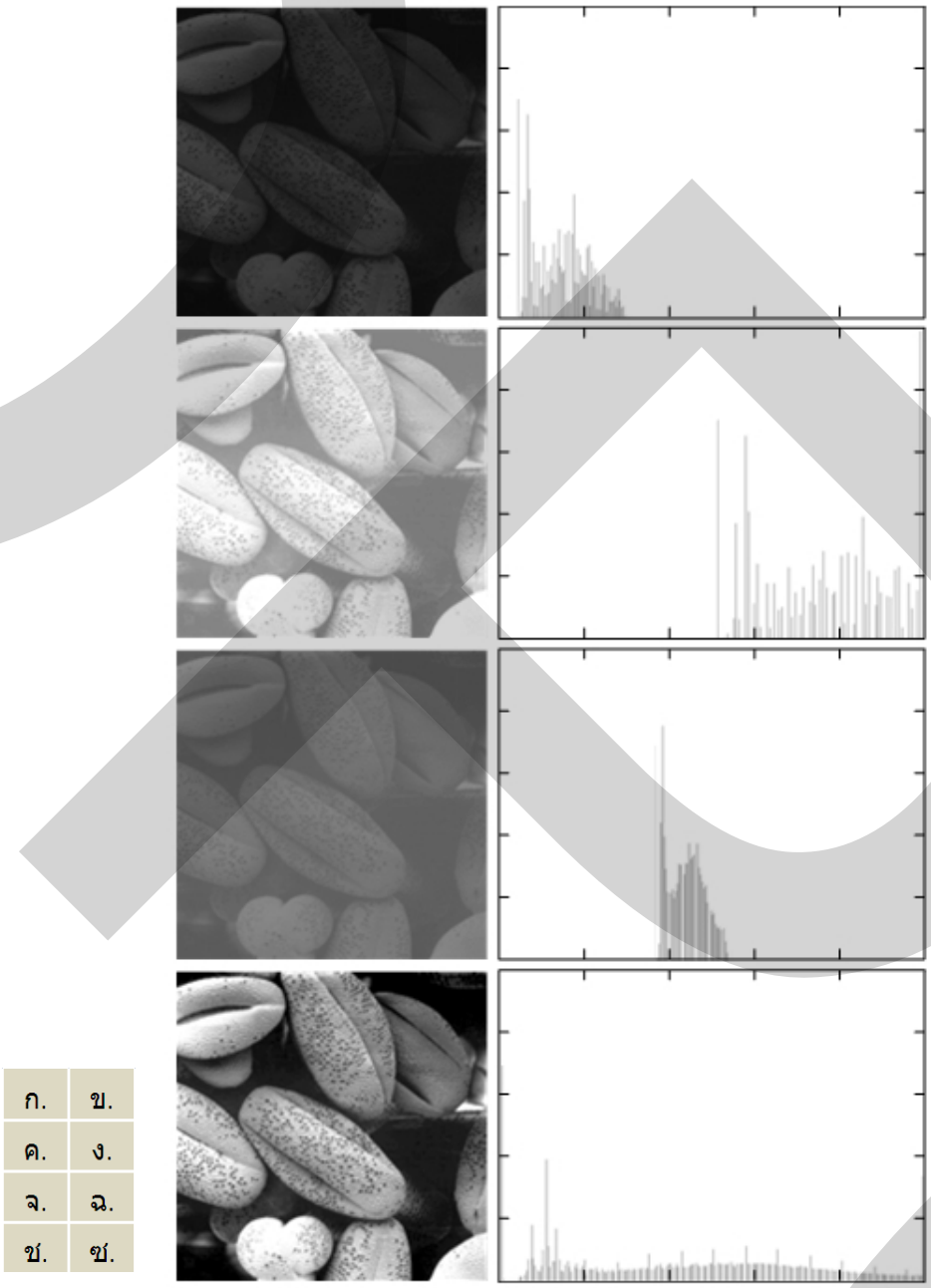
ภาพที่ 2.18 ก. ภาพต้นฉบับจะมีสีที่ค่อนข้างดำ ทำให้เมื่อสร้างฮีลโตแกรมค่าของความสว่างของสีเอียงไปทางซ้าย ในทางกลับกันภาพที่ 2.18 ค.



ก. ข.
ค. ง.

ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างแสดงการทำภาพคมชัดด้วยการดึง (contrast stretching) (ก) รูปแบบของการแปลง (ข) ภาพตัวอย่างที่มีความคมชัดน้อยมาก (low contrast) (ค) ผลลัพธ์ของการแปลงภาพ (ง) ผลลัพธ์เมื่อผ่านการทำ threshold[1]

[1] Original image courtesy of Dr.Roger Heady.



ก.	ข.
ค.	ง.
จ.	ฉ.
ช.	ซ.

ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างแสดงภาพ 4 รูปแบบ แสดงด้วยฮีลโตแกรม (ก) ภาพที่มืด (ข) ฮีลโตแกรมของจะกองอยู่ไปทางซ้าย (ค) ภาพที่สว่าง (ง) ฮีลโตแกรมของภาพจะกองอยู่ทางขวา (จ) ภาพมี contrast ต่ำ (ฉ) ฮีลโตแกรมของภาพจะจับกลุ่มกันในช่วงแคบๆ (ช) ภาพมี contrast สูง (ซ) ฮีลโตแกรมของภาพจะกระจายในช่วงกว้าง

ภาพต้นฉบับจะมีสีที่ค่อนข้างขาว ทำให้เมื่อสร้างฮีลโตแกรมค่าของความสว่างของสีเอียงไปทางขวา และภาพที่ 2.18 จ. เป็นภาพที่มีค่า contrast ต่ำคือภาพนั้นจะมีกลุ่มของค่าความสว่างที่เป็นสีเทาเป็นส่วนใหญ่ เมื่อแสดงด้วยฮีลโตแกรมทำให้เกาะกลุ่มกันที่ตรงกลาง แต่ถ้าภาพนั้นเป็นภาพที่ชัดเจน คือมี contrast สูงแสดงว่าภาพเมื่อมีการทำฮีลโตแกรมแล้วจะเกิดการกระจาย แสดงว่าค่าความเข้มของแสงมีการกระจายอย่างทั่วถึงเกือบทุกค่าความเข้มแสง ดังแสดงในภาพที่ 2.18 ช. ทำให้ภาพที่ถูกแปลงออกมาแล้วคมชัดเจนยิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่อภาพที่นำเข้ามาในระบบ แล้วยังต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้ภาพนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น การแปลงภาพโดยใช้ฮีลโตแกรมเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถทำได้ เช่น การใช้การแปลงฮีสโตแกรมเพื่อการปรับฮีสโตแกรมให้เสมอภาค (histogram flatting) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องหาขอบเขตการกระจายของค่าระดับสีเทาแต่เน้นการขยายความคมชัด (contrast) ให้มีมากขึ้น

- การลดขนาดและมิติของภาพ

ส่วนใหญ่การหาความเหมือน (similarity measure) [R.O. Duda 1973] กับภาพระดับเทา (gray-level images) จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Normalized Correlation Coefficient (NCC) [P.J. Burt 1982] เป็นการทำการ นอร์มอลไลซ์ (normalized) เพื่อลดความซ้ำซ้อนด้วยการดึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของพิกเซลจากภาพให้อยู่ภายในช่วง 0 ถึง 255 การเปลี่ยนแปลงระดับสีจาก RGB เป็นระดับเทา (gray level) เพื่อลดระยะเวลาในการประมวลผลสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการใช้เวลารวดเร็ว โดยทั่วไปภาพจะมีขนาด 320×240 (มีค่าเป็น 76,800) เพราะฉะนั้นเมื่อเป็นภาพสีจะประกอบด้วย 3 ระนาบ $3 \times 76{,}800$ (มีค่าเป็น 230,400) ทุกภาพจะภูกประมวลผลแบบเรียลไทม์ เพราะฉะนั้นการลดขนาดและมิติของภาพลงจะทำให้การประมวลผลนั้นเร็วยิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นจะมีการลดขนาดของภาพเป็นภาพระดับเทา ซึ่ง

$$y = (0.212671)r + (0.71516)g + (0.072169)b \qquad (1)$$

โดยกำหนดให้ y เป็นค่าพิกเซลระดับเทา (gray level value of the pixel) ค่าพิกเซลภายในจากภาพที่รับเข้ามาจะประกอบด้วย 3 ค่า คือ r (red), g (green), และ b (blue) ตามลำดับ โดยที่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 และทำการ down-sampling ในลำดับที่ 1 5 และ 9

และทำให้ แถว และคอลัมม์ถูกข้ามไป เพราะฉะนั้นจะทำให้ภาพมีการลดขนาดลงเป็น 80×60 ทำให้ภาพที่มีขนาด 230,400 จะเหลือเพียง 4,800

2.4.2 การวิเคราะห์ภาพ

การวิเคราะห์ภาพ (image analysis) สำหรับการประมวลผลภาพในงานวิจัยนี้จะเป็นการตรวจหาวัตถุ (object) ที่ถูกแทนด้วยจุด (point) ในรูปทรง (geometric shape) เช่น สี่เหลี่ยม วงรี เป็นต้น ในบางครั้งรูปทรงของวัตถุอาจเปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้าง เช่น โครงร่างกระดูก (skeletal model) [R.C. Gonzalez 2002] [R.C. Gonzalez 2004] ซึ่งพื้นฐานของการแทนลักษณะรูปทรงของวัตถุทางด้านการประมวลผลภาพจะมีได้หลากหลายวิธี เช่น probability density, multi-view model, template เป็นต้น ลักษณะของ probability density นั้นจะแสดงสิ่งที่เห็นคุณลักษณะของวัตถุ เช่น สี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากบริเวณของภาพ ด้วยโมเดลของรูปทรง (shape model) เช่น interior region, contour เป็นต้น สำหรับ multi-view model จะถูกจำกัดด้วย มุมมองจากหลายตำแหน่งซึ่งจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลมาก ส่วนการใช้เทมเพลต จะเป็นเพียงหนึ่งมุมมองซึ่งค่อนข้างจะเหมาะกับการค้นหา

เพราะฉะนั้นเทมเพลตเป็นวิธีการพื้นฐานสำหรับการค้นหา รูปทรงวัตถุบนภาพระดับเทา ซึ่งเทมเพลตจะแทนค่าข้อมูลที่ถูกกำหนดขึ้นจากผู้ใช้งาน และสำหรับวิธีการเปรียบเทียบเทมเพลตจะใช้วิธีการสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือเรียกได้ว่า correlation-based template matching

- Correlation Metrics

ลักษณะของ Correlation metric จะเป็นการกำหนดค่าความเหมือนกันของเทมเพลตของวัตถุที่สนใจ ซึ่งถ้าค่าของ correlation ยิ่งน้อยจะหมายถึงมีความใกล้เคียงกับวัตถุที่สนใจยิ่งมาก กำหนดคุณลักษณะไว้ดังนี้ หน้าต่างที่ใช้ในการค้นหา (search window) จะเป็นระดับเทา กำหนดให้เมตริกซ์ เทมเพลตเป็น t มีขนาด $K \times L$ ขนาดของหน้าต่างของเมตริกซ์เป็น w มีขนาด $M \times N$ โดยที่ Kและ L เป็นเลขจำนวนคี่และความสัมพันธ์ของขนาดของเมตริกซ์ t ที่เป็นเทมเพลตต้องมีขนาดที่เล็กหรือเท่ากับขนาดเมตริกซ์ของ w เสมอ สามารถเขียนได้เป็น $K \leq M \times L \leq N$ สำหรับเมตริกซ์ที่ใช้ในการทำงานของเทคนิค Correlation ในที่นี้จะใช้เมตริกซ์ทั้งหมด 4 ชนิดด้วยกันดังนี้ Standard Correlation (SC) Phase Correlation (PC) Normalized Correlation (NC) และ Normalized Correlation Coefficient (NCC)

- Standard Correlation

Standard Correlation (SC) แบบ 2 มิติ [S. Blackman 1999][R. C. Gonzalez 2002] จะเป็นสเปเชียลโดเมน (Spatial Domain) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$c(m,n) = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} s(m+i, n+j) \cdot t(i,j) \quad (2)$$

เมื่อ $c(m,n)$ เป็นค่าสมาชิกภายในเมตริกซ์ ของ correlation surface ที่แถว m คอลัมม์ n เมื่อกำหนดให้ $m = 0,1,2, \ldots M-K$ และ $n = 0,1,2, \ldots, N-1$ เมตริกซ์ SC สามารถคำนวณในรูปแบบของโดเมนความถี่ได้ดังนี้

$$c = real[idft(S.T^*)] \quad (3)$$

เมื่อ S และ T เป็น 2 มิติของ Discrete Fourier Transform (DFTs) ของ s และ t กำหนดให้เครื่องหมาย $*$ แทนคอนจูเกต (conjugate) ด้วยโอเปอร์เรเตอร์ ดอท (dot : ".") ที่เป็นการคูณกันแบบ element-by-element และ $idft(.)$ แทน ส่วนกลับ 2 มิติของ DFT และ $real(.)$ เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการสกัดจำนวนจริงของค่าเมตริกซ์เชิงซ้อน (real part of complex matrix) สำหรับส่วนค่าจำนวนจริงที่ถูกสกัดขึ้นมานั้นจากส่วนของเมตริกซ์ที่ซับซอนซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อ s และ t มีค่าเป็นจำนวนจริงสัญญาณ 2 มิติ โดยที่ค่าของ s และ t จะต้องมีการประมาณ zero padded ก่อนั้จะมีการแปลงค่าจาก true (linear) correlation เป็น circular correlation เนื่องจากจะมีการทวนสัญญาณด้วย Discrete Fourier Transform ดังนั้นขนาดเล็กที่สุดของ zero padded ของภาพจะเป็น $P \times Q$, เมื่อ $P = M + K - 1$ และ $Q = N + L - 1$ ค่าของเมตริกซ์ correlation surface c, จะมีค่าสูงสุดคือ c_{max}, บนพื้นผิว ณ ตำแหน่งพื้นผิวที่สามารถเขียนแทนได้เป็น (m_{tl}, n_{tl}) เป็นการกำหนดตำแหน่งของสูงสุดทางมุมซ้ายเป็นค่า best match rectangular (BMR)

ปัญหาหลักของ SC คือมีความไวของแสง เนื่องจากจะต้องมีการกำหนดค่า c_{max}, บนภาพที่จะต้องหา ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะขึ้นกับขนาดและข้อมูลภายในภาพ และจะไม่ถูกปรับค่าให้อยู่ภายในขอบเขตของ $[-1.0, 1.0]$

- Phase Correlation

Phase Correlation (PC) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า Symmetric phase-only matched filter (SPOMF) [S. Wong2005][G. X. Ritter 1996] [Q. Chen1994] สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$c = real\left[idft\left(\frac{S}{|S|}\cdot\frac{T^*}{|T|}\right)\right] \quad (4)$$

เมื่อ $|.|$ เป็นโอเปอร์เรเตอร์ที่คำนวณค่า ขนาดของค่าจำนวนเชิงซ้อน (magnitude of complex number) ของทุก ๆอินพุตเมตริกซ์ การหารและการคูณจะเป็นการทำโอเปอร์เรชันแบบ element-by-element และ PC จะทำลดความซับซ้อนของข้อมูลด้วยการทรานสฟอร์มสัมประสิทธิ์ (transform coefficient) ไปเป็นหน่วยของ magnitude เพื่อทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะขึ้นกับค่าข้อมูลของ phase เท่านั้น ทำให้ค่าของข้อมูลที่ยากในการเปลี่ยนแปลงบนค่าความเข้มของแสง ส่วนนี้จะทำให้มีความสูงของเส้นสามารถทำให้เกิดการแมซบนตำแหน่งได้ดี รวมทั้งสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บนพื้นผิวจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามจะมีค่าเปลี่ยนแปลงง่ายกว่า SC เมื่อเกิดสัญญาณรบกวน

- Normalized Correlation

สำหรับเทคนิคของ SC และ PC ยังคงมีข้อจำกัด [J. Ahmed2008] [S. Wong2005] นักวิจัยบางกลุ่มได้เสนอ Normalized Correlation (NC) คือ การลดความซับซ้อนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เขียนสมการได้ดังนี้

$$c(m,n) = \frac{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1} s(m+i,n+j)\cdot t(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1} s^2(m+i,n+j)}\sqrt{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1} t^2(i,j)}}, \quad (4)$$

ค่าตัวเลขของ NC จะเป็นค่ามาตราฐานมากกว่าค่าตัวเลขของ SC การลดความซับซ้อนของข้อมูลด้วยการใช้รากที่สอง (square-root) ของพลังงานที่เป็นพื้นที่หลัก (candidate region) เป็นพื้นที่ อยู่มุมบนซ้าย ณ ตำแหน่งที่ (m,n) ของภาพที่ค้นหาได้ และเทมเพลต เมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะมี 2 ฟีเจอร์หลัก คือ ฟีเจอร์จะมีความไวต่อเปลี่ยนแปลงของค่าแสงสว่าง น้อยกว่า SC และ ค่าฟีเจอร์จะถูกลดความซับซ้อนในช่วง $[0.0,1.0]$ ดังนั้นความเป็นไปได้ของการตัดสินใจจะ

ขึ้นอยู่กับการอัพเดทเทมเพลต แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยวิธีการนี้ยังคงมีความคงทนมากกว่า SC หรือ PC

- Normalized Correlation Coefficient (NCC)

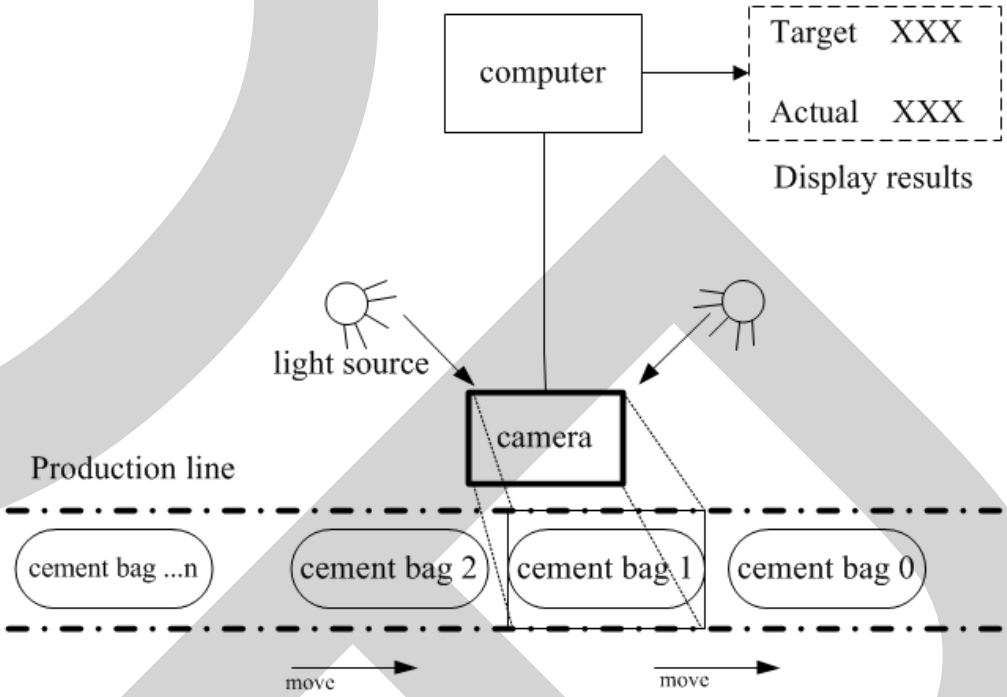
ส่วนใหญ่การหาตำแหน่งของวัตถุจะใช้ เมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ [S. Blackman 1999][R. C. Gonzalez 2002] [J. P. Lewis 1995][R. C. Gonzalez 2004] จะคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงมากกว่า NC และ ค่าฟีเจอร์จะถูกลดความซับซ้อนในช่วง [0.0,1.0] สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$c(m,n) = \frac{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1}[s(m+i,n+j)-\mu_s][t(i,j)-\mu_t]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1}[s(m+i,n+j)-\mu_s]^2}\sqrt{\sum_{i=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{L-1}[t(i,j)-\mu_t]^2}} \quad (5)$$

เมื่อ μ_t และ μ_s แทนค่ากลางของความเข้มแสง ของ candidate region เป็นพื้นที่ ที่อยู่มุมบนซ้าย ณ ตำแหน่งที่ (m,n) ของภาพที่ค้นหาได้ และค่ากลางของความเข้มแสงของเทมเพลต แต่อย่างไรก็ตาม เมตริกซ์นี้ยังมีข้อเสียอยู่ 2 ข้อ การกำหนดค่าความเข้มแสงของ s และ t จะต้องไม่เป็นค่าคงที่แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อาจจะเป็นค่าที่ไม่จำกัดหรือไม่ได้ระบุค่าแน่นอน ซึ่งปัญหาในสิ่งนี้จะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงและไม่สามารถที่จะกำหนดความแน่นอนได้ สำหรับข้อเสียถัดไปคือการทำงานในส่วนของการคำนวณทางสเปเชียลโดเมนจะยากกว่า NC

2.5 การแสดงผลลัพธ์

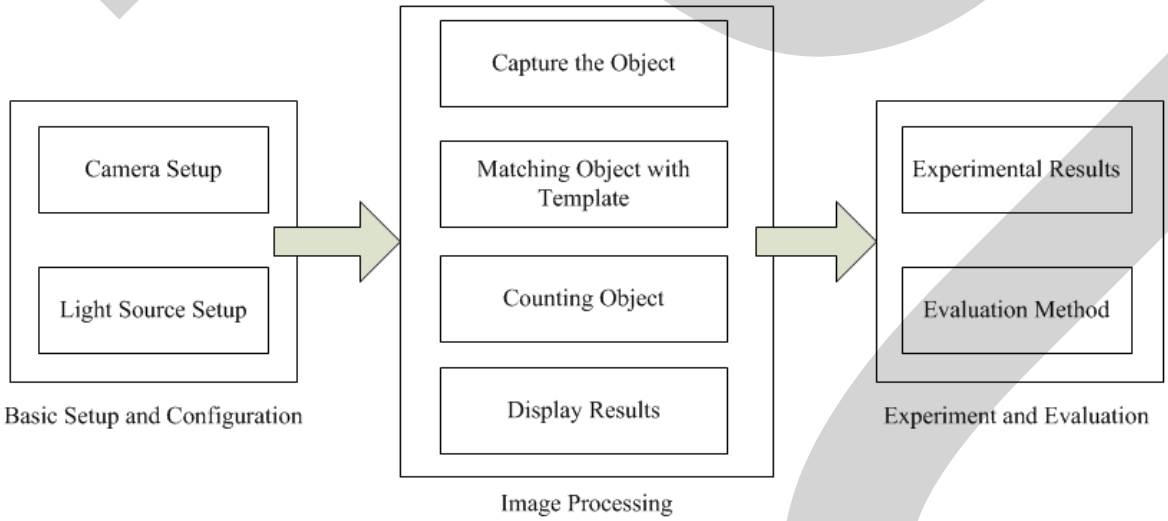
ระบบตรวจนับวัตถุสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เป็นระบบที่จำเป็นต้องมีการแสดงผลลัพธ์ทางจอภาพ ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อทางด้านอุปกรณ์ภายนอก (Output) กับระบบประมวลผล เมื่อระบบประมวลผลทำการตรวจจับและวิเคราะห์นับถุงปูนได้ ก็จะส่งสัญญาณพัลส์ไปทริก (Trig) ที่บอร์ดแสดงผลในช่องแสดงผลชื่อ Actual และการกำหนดเป้าหมายการนับในช่องแสดงผลชื่อ Target สามารถกำหนดค่าได้จากโปรแกรมกำหนดค่าของบอร์ดแสดงผลเดิมคือ Civic Target การแสดงผลการนับจากการประมวลผลภาพจะส่งสัญญาณจากการวิเคราะห์ภาพ โดยถ้าการวิเคราะห์พบภาพที่ตั้งไว้ จะส่งสัญญาณออกทางพอร์ต RS-232 ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อบอร์ดและบอร์ดจะนำผลของสัญญาณการนับค่า ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 แสดงผลลัพธ์ที่ได้สัญญาณจากพอร์ตของคอมพิวเตอร์

บทที่ 3
ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนการตรวจนับวัตถุบนรางสายพาน ภายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นระบบที่ต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์รับภาพเข้าและแสดงผลลัพธ์ทางอุปกรณ์แสดงผล จึงทำให้จะต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการทดสอบ โดยเฉพาะการจัดเตรียมการจัดเก็บข้อมูลภาพ ภาพเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในการประมวลผลทางด้าน Image Processing ซึ่งถ้าข้อมูลภาพที่รับเข้ามามีข้อผิดพลาด จะทำให้กระทบกับการวิเคราะห์การตรวจนับวัตถุในขั้นตอนถัดไปมี เพราะฉะนั้นการเก็บข้อมูลภาพที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเป็นข้อมูลเบื้องต้น เป็นสิ่งที่จำเป็นในระบบ ในงานวิจัยจึงได้มีการแบ่งขั้นตอนวิธีการดำเนินงานเป็น 3 ส่วนหลักดังนี้ ขั้นตอนการเตรียมและการติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน (basic setup and configuration) ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (image processing) และ ขั้นตอนการทดลองและวัดประสิทธิภาพ (experiment and evaluation) โดยขั้นตอนทั้งหมดถูกแสดงไว้ในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการตรวจนับวัตถุบนระบบสายพาน

3.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและการติดตั้งส่วนประกอบพื้นฐาน

สำหรับระบบตรวจนับวัตถุ ด้วยการประมวลผลภาพจะต้องมีอุปกรณ์หลักคือ กล้องดิจิทัล ทำหน้าที่รับภาพดิจิทัลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ภาพที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลภาพ เพื่อวิเคราะห์ โดยทั่วไปกล้องดิจิทัลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับใช้ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น จากรายละเอียดคุณสมบัติของกล้องพื้นฐานในบทที่ 2 นั้น กล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm/gc เป็นผลิตภัณฑ์ของ Basler Vision Technology วางจำหน่ายโดยบริษัท Aegis Electronic Group [Aegis Electronic Group] แสดงในภาพที่ 3.2 เป็นกล้องที่มีคุณสมบัติเข้ากับลักษณะขั้นพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 782 × 582 พิกเซล ใช้การติดต่อด้วย Firewire ieee1394b มีขนาดหน้าเลนส์เป็น ½ นิ้ว และมีอัตราของเฟรม 55 เฟรมต่อวินาที สามารถรองรับความยาวของสายเคเบิ้ลได้ 100 เมตร โดยสรุปแล้วนั้นกล้องรุ่น scA780-54gm/gc มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้รับภาพเพื่อการประมวลผล ดังแสดงคุณสมบัติและรายละเอียดของกล้อง ในภาพที่ 3.3 และ ในภาพที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบและคุณลักษณะกล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm / scA780-54gc

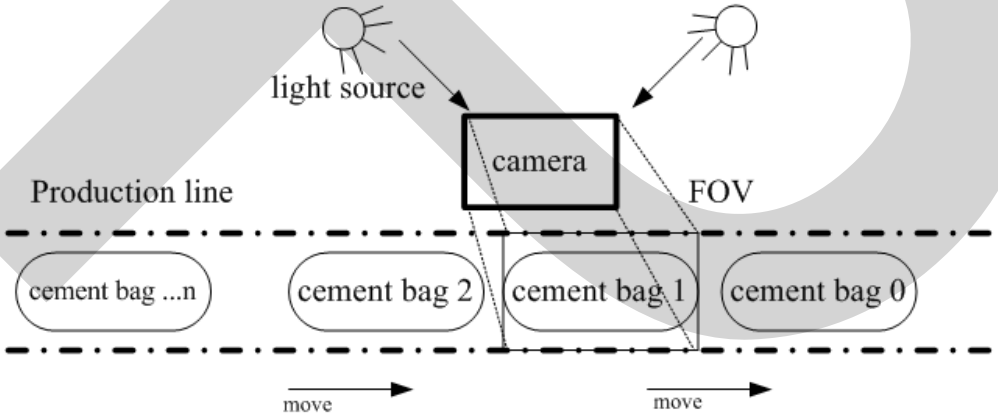
Sensor Size *(H x V pixels)*	**Sensor Type**	**Sensor Technology**	**Optical Size**	**Pixel Size** *(in µm)*	**Max. Frame Rate** *(at full resolution)*	**Typical Power Consumption at 12V**	**Weight** *(typical)*
782 x 582	Sony ICX415	Progressive Scan CCD	1/2"	8.3 x 8.3	55	3 W	150 g

Mono / Color	Yes / Yes
Video Output Type (Interface)	Gigabit Ethernet (GigE Vision compatible)
Video Output Format	Mono 8: 8 bits/pixel x YUV 4:2:2: (YUYV): 16 bits/pixel average Raw 8: 8 bits/pixel (R, G, or B) x Raw 16: 12 bits/pixel (R, G, or B) x scA750-60fm / fc (8 bits / pixels only)
Synchronization	Via external trigger, or free run
Exposure Control	Programmable via GigE Vision (camera API)
Power Requirements	12 – 24V; via Hirose 12-pin connector (max. 10 meter cable lengths)
Lens Mount	C-mount; CS-mount (optional)
Housing Size (L x W x H)	73.7 mm x 44 mm x 29 mm (without lens adaptor)
Housing Size 90° (L x W x H)	41.8 mm x 44 mm x 97 mm (includes lens adaptor)
Conformity	CE, FCC, GigE Vision, ROHS, IP 30
I/O Ports	2 opto-isolated input ports, 4 opto-isolated output ports
Software Driver	Basler pylon (Basler filter and performance driver), GigE Vision compliant
GenxCam Compatible	Yes

**Specifications are subject to change without notice*

ภาพที่ 3.2 ข้อกำหนดรายละเอียดของกล้อง Basler Scout รุ่น scA780-54gm/gc

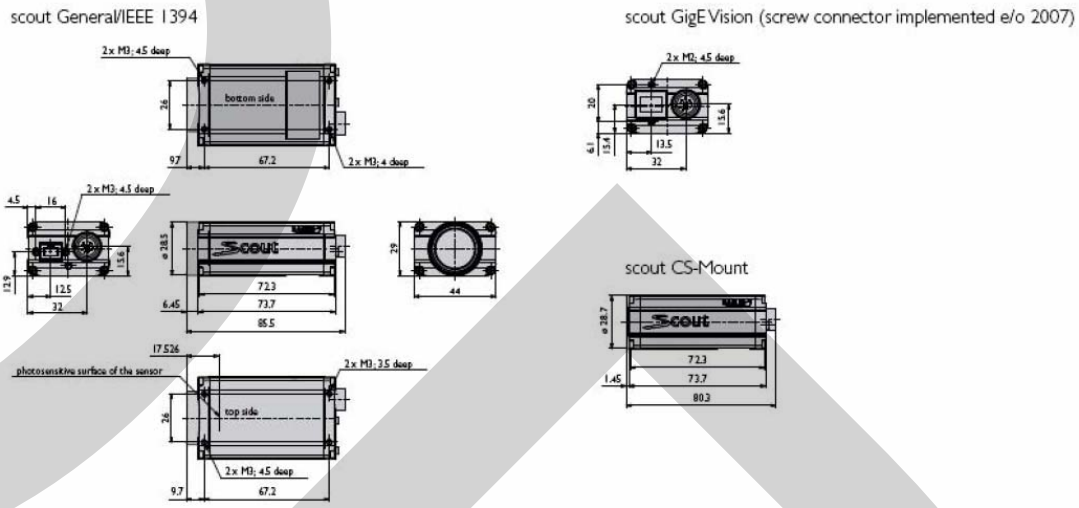
ภาพที่ 3.3 กล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm / scA780-54gc[1]

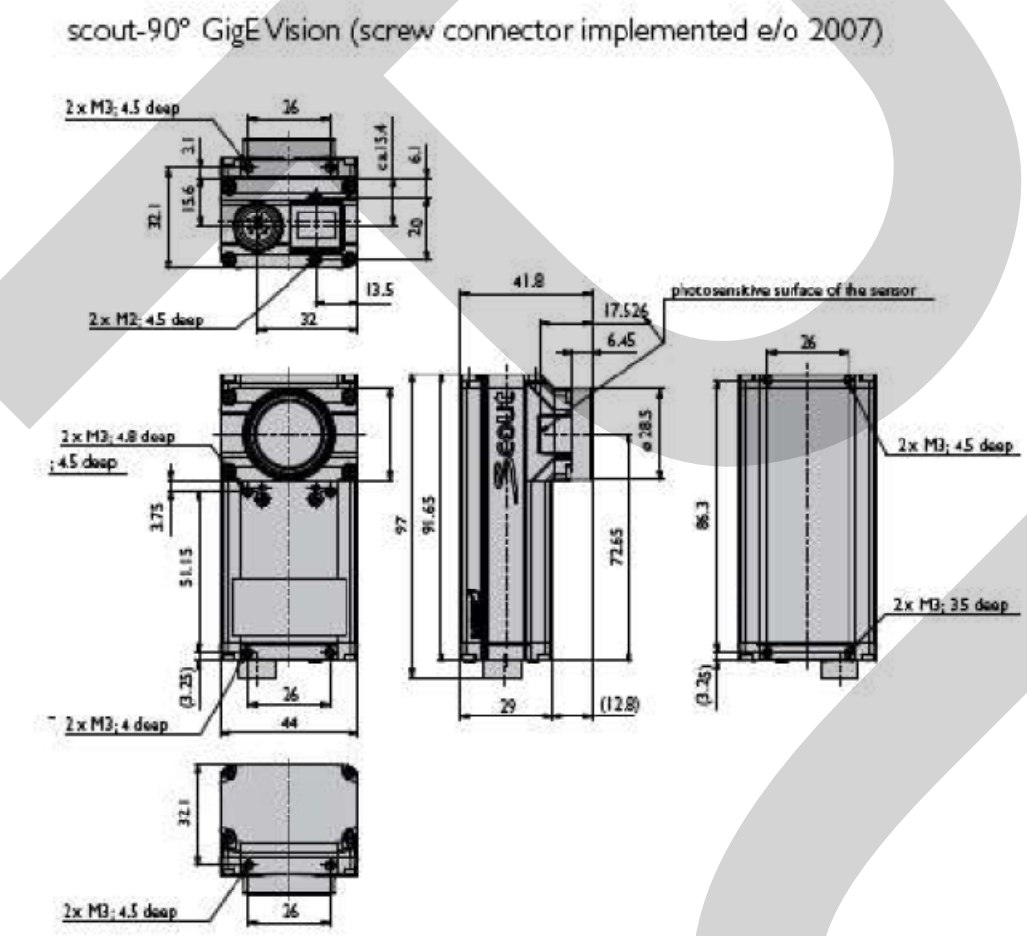


ภาพที่ 3.4 แสดงรูปแบบสำหรับการติดตั้งกล้องรับภาพและแสงสว่าง

สำหรับการวางตำแหน่งของกล้องจะถูกติดตั้งลงในตำแหน่งที่ถุงปูนซีเมนต์ที่กำลังจะมีการเคลื่อนที่สุดรางสายพาน และติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงว่างควบคู่กันเพื่อให้การจับภาพที่ชัดเจนขณะที่มีการเคลื่อนที่ของสายพาน ดังแสดงในภาพที่ 3.4

[1] http://www.aegis-elec.com/products/basler_cameras.html

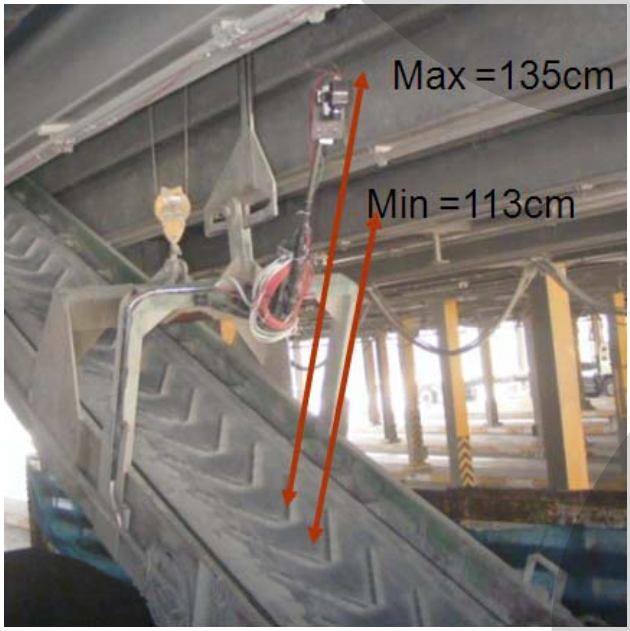




ภาพที่ 3.5 แสดงรายละเอียดของกล้อง Basler scout รุ่น scA780-54gm[2]

[2] http://www.aegis-elec.com

ภาพที่ 3.6 แสดงตำแหน่งติดตั้งชุดกล้องดิจิทัลรับภาพที่ปลายรางสายพาน



ภาพที่ 3.7 แสดงระยะความสูงของกล้องรับภาพจากรางสายพาน

จากภาพที่ 3.6 และ 3.7 แสดงถึงการติดตั้งกล้องในสถานที่จริงสำหรับระยะการติดตั้งกล้องและได้กำหนดความสูงสำหรับการจับภาพวัตถุถึงตัวกล้องไว้ที่ระยะประมาณ 120 เซนติเมตร เพื่อป้องกันความสูงของกล้องไปชนกับเพดานของรางสายพาน

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

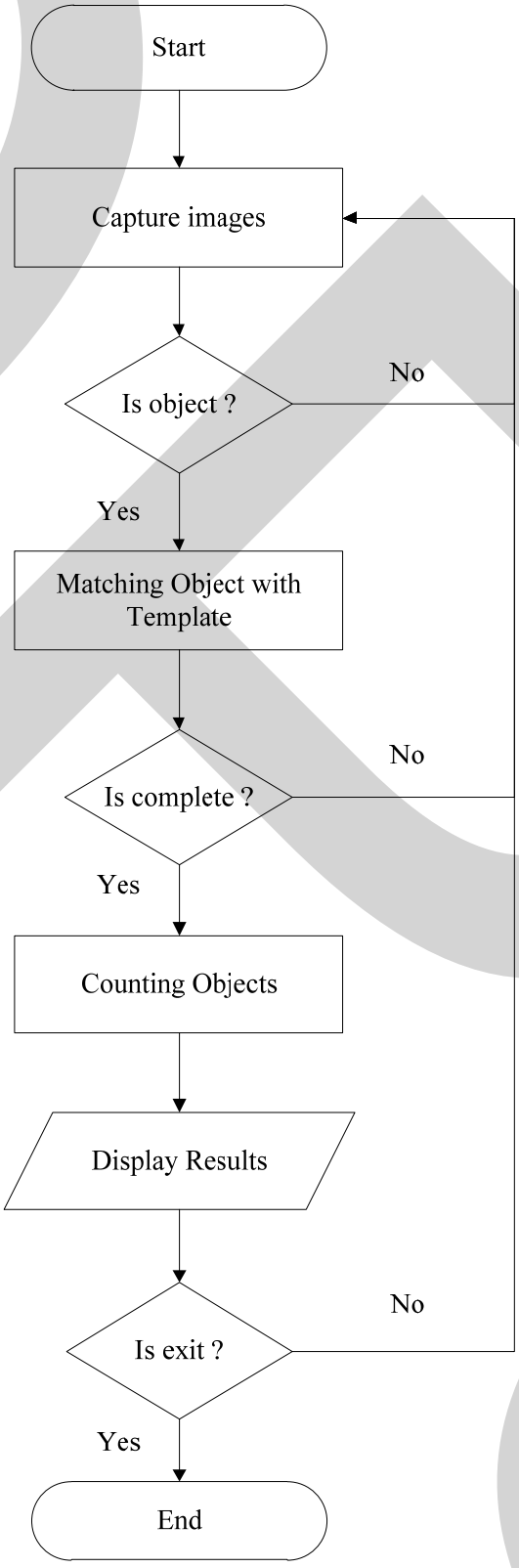
เมื่อได้ทำการติดตั้งกล้องและแหล่งกำเนิดแสงเรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นขั้นตอนการประมวลผลภาพ (data image processing) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่จะมาแทนตัวเซ็นเซอร์ ที่เกิดปัญหาในการนับที่ผิดพลาด เมื่อมีการเคลื่อนที่ซ้อนกันของถุงปูนซีเมนต์หรือ มีฝุ่นหนา และรวมถึงการนับที่ผิดพลาดจากการสั่นสะเทือนของรางสายพาน เพราะฉะนั้นการที่จะใช้โปรแกรมทางการประมวลผลภาพจะเริ่มจากการรับภาพด้วยกล้องและนำภาพเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลภาพและตรวจสอบวัตถุด้วยอัลกอริทึมพร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการนับที่หน้าจอ ได้แบ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดเป็น 4 กระบวนการดังแสดงในแผนภาพที่ 3.9 จะประกอบด้วย

3.2.1 การจับภาพ

3.2.2 การแมชชิ่งวัตถุด้วยแทมเพลต

3.2.3 การนับวัตถุ

3.2.4 การแสดงผลลัพธ์



ภาพที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนถุงปูนซีเมนต์

3.2.1 การตรวจจับภาพ

เมื่อมีการจับภาพ (capture objects) ของกล้องเกิดขึ้นจะได้ภาพหลาย ๆภาพที่เรียกว่าเฟรม (frame) ที่เข้ามาอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะแบบ real time เพราะฉะนั้นเมื่อมีถุงปูนซีเมนต์เคลื่อนที่ผ่านกล้องจะเริ่มมีการประมวลผลภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3.10 เป็นภาพที่มีวัตถุที่สมบูรณ์ และ ภาพที่ 3.11 แสดงการจับภาพที่มีวัตถุไม่สมบูรณ์ในเฟรมที่ 12 และเฟรมที่ 14 จะไม่สามารถนำภาพมาใช้ในการประมวลผลได้ สำหรับการประมวลผลในแบบ video processing ภาพที่จะได้จะเข้ามาเป็นเฟรมแบบต่อเนื่องกัน และจะทำการตรวจจับถุงปูนซีเมนต์โดยการใช้ภาพที่เป็นเครื่องหมายการค้าของถุงปูนซีเมนต์ในแต่ละชนิดโดยกำหนดเป็นภาพเป็นต้นฉบับสำหรับตรวจนับจำนวนถุงปูนซีเมนต์

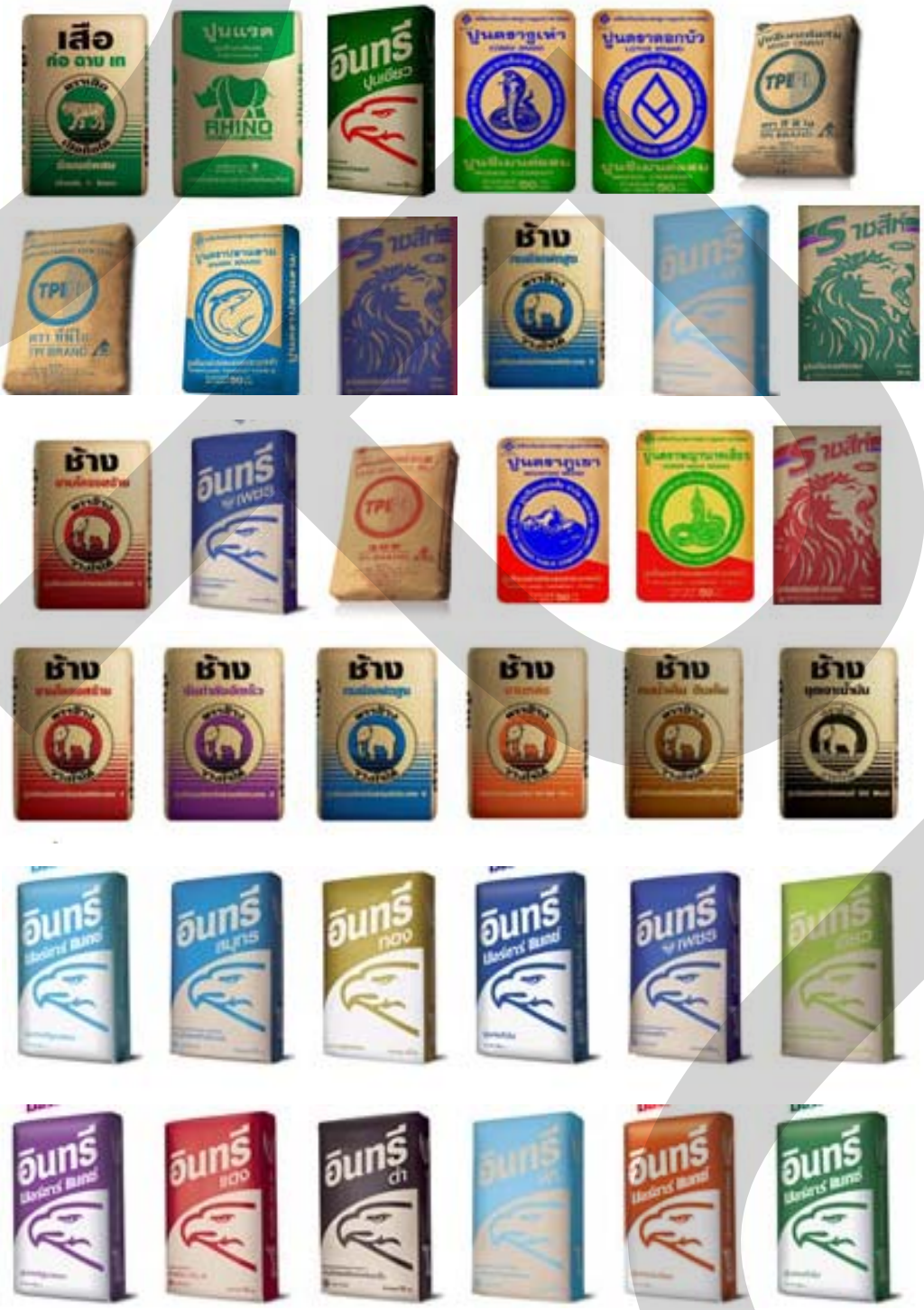
ภาพที่ 3.10 แสดงการจับภาพของถุงปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี

ภาพที่ 3.11 แสดงการจับภาพของปูนซีเมนต์

3.2.2 การแมชชิ่งวัตถุด้วยแทมเพลต

หลังจากที่มีการติดตั้งกล้องรับภาพและแหล่งกำเนิดแสงเรียบร้อยแล้วจะเริ่มเข้าสู่การโปรแกรมการประมวลผลภาพ โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า การแมชชิ่งวัตถุด้วยแทมเพลต (matching objects with template) เป็นการใช้ Normalized Correlation ที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในการหาความ

เหมือนกันระหว่างวัตถุที่เคลื่อนที่เข้ามาและเทมแพลต ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตราฐานหรือตัวต้นแบบที่ทำการเปรียบเทียบก่อน การกำหนดคุณลักษณะของแทมเพลตดังนี้



ภาพที่ 3.12 ถุงปูนซีเมนต์ในรูปแบบต่าง ๆที่พบในตลาดการค้า

ภาพที่ 3.13 รูปแบบของแทมเพลตถุงปูนซีเมนต์

- การกำหนดรูปแบบของวัตถุ

การจับภาพ (capture images) จากกล้องโดยที่ภาพที่รับเข้ามาจะต้องมีวัตถุที่ต้องการตรวจนับ และวัตถุนั้นต้องมีความสมบูรณ์ สมบูรณ์ในที่นี้หมายถึงความสมบูรณ์ของทั้งภาพและวัตถุภายในภาพ และจะมีวิธีการใดที่จะทดสอบความถูกต้องของวัตถุได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของวัตถุที่ให้ในการตรวจนับก่อน เมื่อกล่าวถึงวัตถุแล้วนั้นวัตถุในงานวิจัยนี้เป็นถุงปูนซีเมนต์ ซึ่ง ถุงปูนซีเมนต์นั้นจะมีหลากหลายบริษัทที่มีการกำหนดตรา หรือเครื่องหมายการค้าที่หลากหลาย

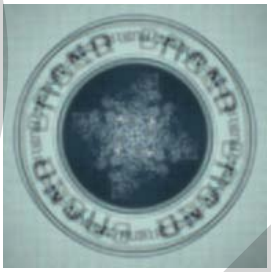
ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างแทมเพลตของเครื่องหมายการค้าบนถุงปูนซีเมนต์

- การกำหนดรูปแบบของแทมเพลต

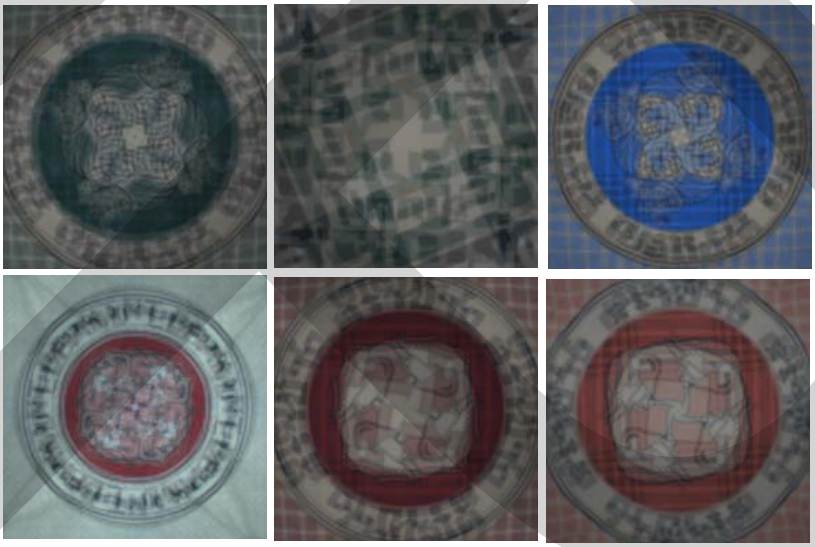
จากภาพที่ 3.12 แสดงจะเห็นถึงความหลากหลายของถุงปูนซีเมนต์ที่พบตามท้องตลาด รูปแบบของภาพที่ใช้เป็นตราเครื่องหมายการค้าบนหน้าถุงที่แตกต่างกัน จะมีผลอย่างยิ่งในการเขียนโปรแกรมสำหรับการตรวจจับ ที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำกระบวนทดลองทางด้าน image processing ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของลวดลายของถุงปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้เป็นต้นแบบ เรียกว่า แทมเพลต (template) เพื่อใช้ในการตรวจนับตามแทมเพลตที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นถุงปูนซีเมนต์ที่นอกเหนือจากแทมเพลต หรือวัตถุอื่นที่ไม่ใช่แทมเพลต จะไม่ถูกนับ เพราะฉะนั้นได้กำหนดรูปทรงของถุงปูนซีเมนต์ไว้ดังแสดงในภาพที่ 3.13 และแทมเพลตที่ใช้สำหรับการตรวจนับในโปรแกรมไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.14 จะมีการผสมผสานของภาพที่มีรูปแบบสมบูรณ์ชัดเจนและไม่ชัดเจนบางส่วนรวมเข้าด้วยกันเพื่อเป็นแทมเพลต แต่อย่างไรก็ตามแทมเพลต ข้างต้นยังไม่ทนทาน (robust) ต่อการวิเคราะห์และประมวลผลภาพเท่าที่ควร เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วนั้นการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์ หรือลักษณะการวางถุงปูนซีเมนต์บนรางอาจไม่คงที่ มีการเอียง หรือหมุน ซึ่งไม่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สามารถการวิเคราะห์และประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพจึงได้ปรับการหมุนของตราถุงปูนให้มีมุมต่างกันทุก ๆ 90 องศาดังแสดงในภาพที่ 3.15

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ภาพต้นฉบับเพียงแทมเพลตเดียวจึงนำภาพต้นฉบับในภาพที่ 3.14 ที่ทำการหมุน 90 องศา เพื่อเพิ่มความทนทานในการประมวลผลภาพให้แม่นยำมากขึ้น และนำภาพนั้นมารวมกันเป็นภาพเดียวเพื่อสร้างเป็นแทมเพลตขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.17

ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างแทมเพลตที่มีการหมุน 90 องศา



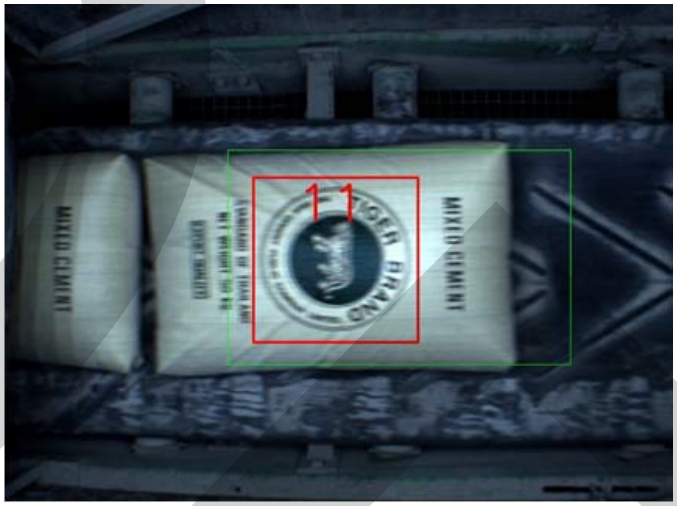
ภาพที่ 3.16 แทมเพลตที่ได้จากการรวมภาพแทมเพลตในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.17 แสดงแทมเพลตต้นฉบับทั้งหมด

- ทดสอบความสมบูรณ์ของวัตถุ

เมื่อการทำงานของโปรแกรม ภาพจะถูกจับด้วยกล้องดิจิทัล และบริเวณการประมวลผลจะถูกกำหนดเป็นกรอบขึ้นเพื่อใช้สำหรับการประมวลผล และจะนำบริเวณที่อยู่ภายในกรอบ (สีเขียว) ดังแสดงในภาพที่ 3.18 มาทำการประมวลผล และข้อมูลภายในกรอบจะถูกทำการ normalized correlation และเมื่อภาพต้นฉบับค้นหาภายในกรอบสีเขียวและพบว่าวัตถุคือถุงปูนซีเมนต์มีความเหมือนกับภาพต้นฉบับหรือแทมเพลต ก็จะส่งผลที่ได้ไปวิเคราะห์ว่าสูงกว่าค่าการตัดสินใจ (threshold) หรือไม่ (รายละเอียดในบทที่ 2) ถ้าใช่ก็จะทำการส่งผลไปนับและตีกรอบการนับสีแดงดังภาพที่ 3.18 และถ้าไม่ใช่จะข้ามไปและจะนำภาพอื่นจากกล้องที่จับได้มาตรวจหาแทมเพลตต่อไป



ภาพที่ 3.18 แสดงการกำหนดกรอบสีเขียว(กรอบนอก)และกรอบสีแดง(กรอบเล็ก)สำหรับการนับ

3.2.3 การนับวัตถุ

การนับวัตถุ (counting objects) เมื่อถุงปูนซีเมนต์ผ่านการตรวจด้วยค่า threshold และมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้แล้วโปรแกรมก็จะส่งผลไปนับจำนวนถุงปูนซีเมนต์ และจะมีการตรวจสอบต่อไปว่าจบการนับหรือไม่ ถ้ายังคงมีอยู่จะทำการตรวจนับต่อไปโดยจะทำการตรวจสอบถุงปูนซีเมนต์ที่เคลื่อนเข้าตามค่าที่กำหนดไว้

3.2.4 การแสดงผลลัพธ์

หลังจากที่มีการตรวจสอบถุงปูนซีเมนต์ที่เข้ามานั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับแทมเพลต จะทำการนับจำนวนและทำการแสดงผลลัพธ์ (display results) โดยส่งสัญญาณการนับออกพอร์ตด้านหลังของเครื่องคอมพิวเตอร์ไปที่บอร์ดแสดงผลเพื่อแสดงค่าการนับ

3.3 ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพ (evaluation) เป็นขั้นตอนสุดท้าย เพื่อทำการตรวจสอบวิธีการที่ทำการทดลองมาข้างต้นว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใดเมื่อนำมาใช้งานจริง จะเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะการนำวิธีการที่นำเสนอไปข้างต้นมาใช้งานได้นั้นจะต้องสอดคล้องกับความต้องการ จึงต้องมีการทดสอบศักยภาพการนำไปใช้ สถาปัตยกรรมที่ใช้ตัววัดความสำเร็จหลังการนำไปใช้หากนำไปใช้แล้วไม่ประสบผลสำเร็จต้องย้อนกลับไปเริ่มกระบวนการแรกใหม่ จึงต้องมีการประเมินผลก่อนการใช้งาน ในการประเมินนั้นกระทำได้โดยการวัดประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มภาพมักจะถูกพิจารณาเป็นค่าของความถูกต้อง (accuracy) [R.O. Duda 1973] ของแต่ละกลุ่มข้อมูลซึ่งจะประกอบด้วย การวัดค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก ค่าความถูกต้อง และ F-measure โดยยกตัวอย่างของค่าที่เกิดขึ้นจากตารางที่ 3.1

		ค่าทำนาย (predicted)	
		ปฏิเสธ (false/negative)	ยอมรับ (true/positive)
ค่าความจริง (actual)	ปฏิเสธ (negative)	a	b
	ยอมรับ (positive)	c	d
ค่าความถูกต้อง (Accuracy)		Acc	

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการวัดประสิทธิภาพ

- ค่าความแม่นยำ (false positive rate / Precision: Pr) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพทั้งหมดที่ทำการค้นหามาได้

$$\Pr = \frac{a}{(a+b)}, a+b>0$$

- ค่าความระลึก (true positive rate / Recall: Re) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพที่ถูกต้องทั้งหมด

$$\mathrm{Re} = \frac{a}{(a+c)}, a+c>0$$

- ค่าความถูกต้อง (Accuracy: Acc) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องทั้งหมดจากจำนวนภาพที่มีอยู่

$$Acc = \frac{(a+d)}{(a+b+c+d)}$$

- ค่า F-measure เป็นการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความแม่นยำในเชิงฮาร์โมนิค (harmonic) เหมาะสำหรับฐานข้อมูลสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่มาก และมักจะไม่ทราบว่าข้อมูลภาพที่ถูกต้องทั้งหมดมีอยู่เท่าใด ทำให้ต้องทำการประมาณโดยใช้การสุ่มตัวอย่าง (sampling) ตามหลักทางสถิติหรือด้วยวิธีอื่นด้วย โดยทั่วไปจะเป็นการหาค่า F-measure ซึ่งแสดงสูตรได้ดังนี้

$$F = \frac{2(\mathrm{Pr}\cdot \mathrm{Re})}{(\mathrm{Pr}+\mathrm{Re})}$$

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ ด้วยการผสมผสานแนวคิดทางด้านประมวลผลภาพ (Image processing) กับทางวิศวกรรม (Engineering) เพื่อเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา ที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่บนรางสายพานในรูปแบบที่มีความเร็วคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเพื่อทำการตรวจนับเป็น กล้องดิจิทัลสำหรับการบันทึกภาพ และมีอุปกรณ์ให้แสงสว่าง เมื่อบันทึกภาพแล้วนั้นจะนำภาพที่ได้ ผ่านกระบวนการประมวลผลทางดิจิทัล ด้วยทฤษฎีที่เรียกว่า แทมเพลตแมชชิ่ง (template matching) แบบนอร์มัลไลซ์คอรีเลชัน (normalized correlation) สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการทดลองด้วยการเปรียบเทียบกับการทำงานของมนุษย์ (human) ตัวเซนเซอร์ (sensor) และวิธีการทางด้านการประมวลผลภาพคือการใช้เทมเพลตแมชชิ่งสำหรับการค้นหา รูปทรงวัตถุบนภาพระดับเทา โดยจะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทมเพลตจะใช้วิธีการสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยกันทั้งหมด 3 วิธีดังนี้ Standard Correlation (SC) Normalized Correlation (NC) และ Normalized Correlation Coefficient (NCC)

4.1 การเตรียมระบบ

เนื่องจากการทดลองเพื่อดารตรวจนับถุงปูนซีเมนต์นั้นมีการติดต่อกันกับอุปกรณ์กลายส่วน ดังนั้นการจัดเตรียมสำหรับการทดลองในแต่ละครั้งเพื่อให้เกิดมาตราฐานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเตรียมการทดลองมีดังนี้

- กล้องดิจิทัล (camera) สำหรับการบันทึกภาพ ที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุตลอดเวลาควรจะถูกบันทึกภาพวีดิทัศน์ (วีดิโอ) คือกล้องแบบวีดีโอ (video) แบบ Closed-Circuit TeleVision (CCTV) โดยที่ การกำหนดระยะติดตั้งกล้อง (camera distance) จากกล้องถึงชิ้นงานหรือวัตถุ (measurement object) ที่ทำการตรวจนับ และ ขอบเขตของกล้อง (Field Of View: FOV) ที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้อย่างชัดเจน เพื่อนำมาใช้ในงานต่อไป

- ค่าความเข้มของแสง (intensity) ที่สามารถรับได้ หมายถึงสามารถนำภาพเข้ามาประมวลผลได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการปรับ
- การวิเคราะห์ภาพ (image analysis) ด้วยวิธี template matching โดยใช้การทำงานของเทคนิค Correlation สำหรับการทดลองได้เปรียบเทียบการทำงานทั้งหมด 3 วิธีดังนี้ Standard Correlation (SC) Phase Correlation (PC) Normalized Correlation (NC) และ Normalized Correlation Coefficient (NCC)
- แสดงผลลัพธ์ทางจอภาพ ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อทางด้านอุปกรณ์ภายนอก (Output) กับระบบประมวลผล เมื่อระบบประมวลผลทำการตรวจจับและวิเคราะห์นับถุงปูนได้ ก็จะส่งสัญญาณพัลส์ไปทริก (Trig) ที่บอร์ดแสดงผล

4.2 ผลการทดลอง

สำหรับการทดสอบการประมวลผลภาพที่ใช้ในการตรวจนับถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่บนสายพานนั้นค่อยข้างจะมีความซับซ้อนในการทดลอง เนื่องจากในการทดลองนั้นต้องมีการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตรวจนับของโปรแกรมหลายส่วน เช่น

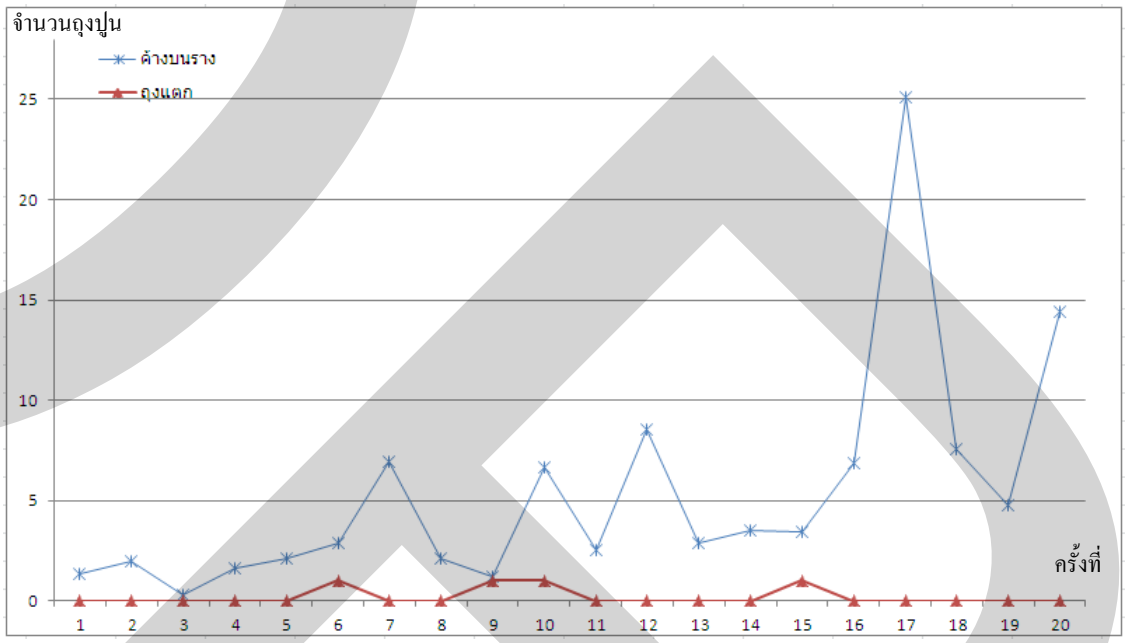
- ความเร็วของการสายพานลำเลียง จะมีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน ถ้ามีความเร็วมากอาจทำให้ถุงปูนซีเมนต์ติดบนรางสายพานจนทำให้ต้องเกิดการหยุดชะงักของสายพาน
- การวางถุงปูนซีเมนต์บนสายพานจะต้องคำนึงถึงระยะห่างของถุงปูนซีเมนต์ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการจับภาพเข้าประมวลผล ที่มีลักษณะเป็นเรียลไทม์
- การให้แสงสว่างเพียงพอ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการจับภาพที่จะต้องชัดเจนเพื่อนำภาพนั้นเข้าประมวลผล

ถ้าไม่มีการควบคุมลักษณะภายนอกแล้วอาจมีเกิดผลกระทบทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองได้ สำหรับการบันทึกผลการทดลองจะเก็บความผิดพลาดที่เกิดขึ้นควบคู่ไปกับการทดลอง โดยที่โปรแกรมจะมีการนับเฉพาะในส่วนของถุงปูนที่มีการเคลื่อนออกจากรางสายพานและมีคุณภาพดีคือไม่แตก สามารถนำไปใช้ได้เท่านั้น ดังแสดงการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงการตรวจนับการเคลื่อนที่ของถุงปูนบนสายพาน ทั้งหมด 20 ครั้งโดยที่แต่ละครั้งมีจำนวนถุงปูนซีเมนต์ตั้งแต่ 100 ถุง

จนถึง 2000 ถุงตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งของการเคลื่อนที่จะมีการแตกของถุงปูนและเกิดการค้างของถุงปูนซีเมนต์บนสายพานดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

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

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน

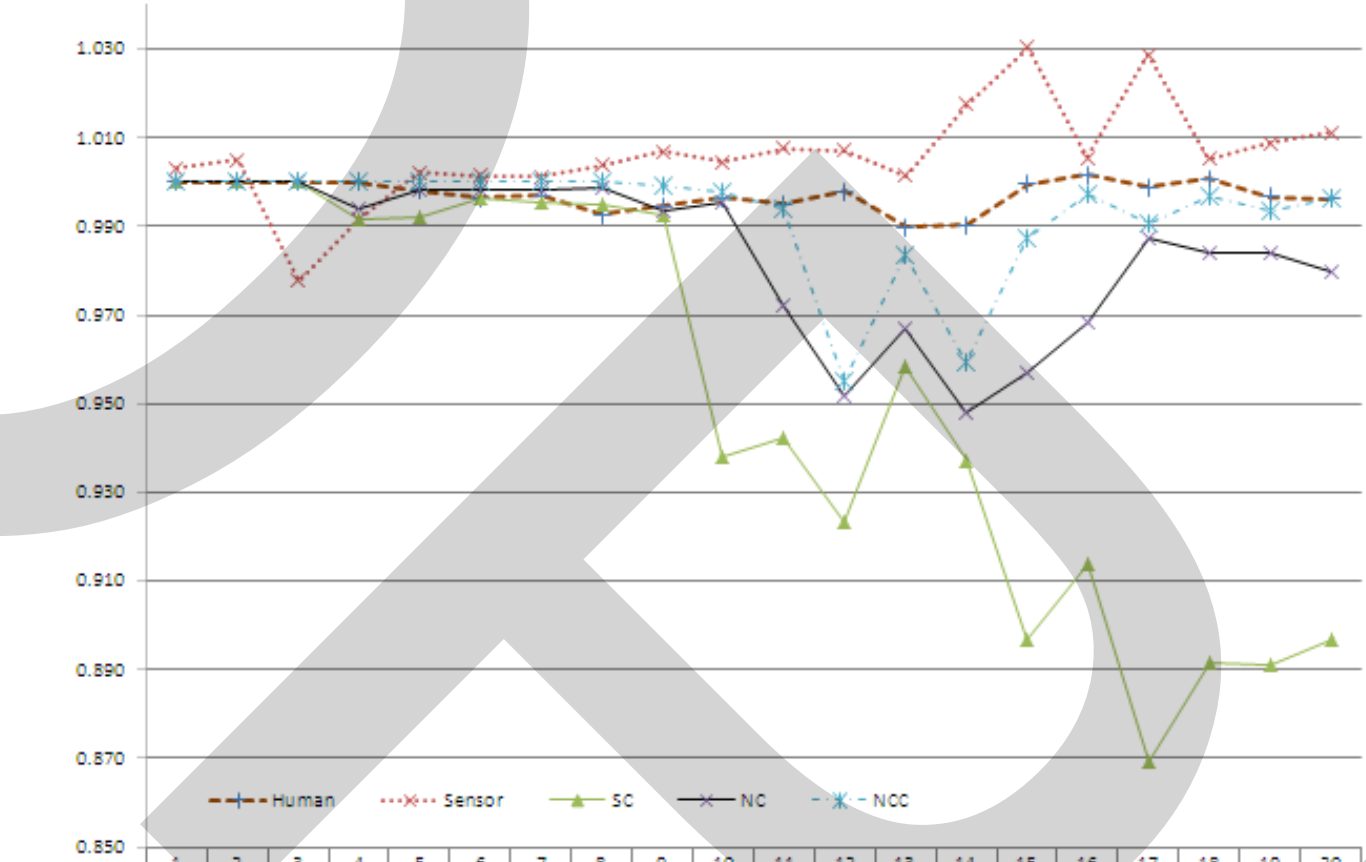


ภาพที่ 4.1 แสดงความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน

จากภาพที่ 4.1 แสดงความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่บนรางสายพาน จากการทดลองจะเห็นว่าจำนวนครั้งของการที่ถุงปูนจะติดบนรางสายพานจะมีการแปรผันกันตามจำนวนครั้ง เมื่อมีการทดลองมากครั้งขึ้นและมีจำนวนถุงปูนซีเมนต์ที่ติดบนรางสายพานเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่า ครั้งที่ 17 จำนวนถุงปูนซีเมนต์ 1700 ถุง เกิดการติดของถุงปูนบนรางสายพานมากถึง 25 ครั้ง และ ครั้งที่ 20 มีการติดของถุงปูนถึง 14 ครั้ง ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของถุงปูนถึง 2000 ถุง แต่อย่างไรก็ตามจำนวนถุงที่แตกบนรางสายพานยังไม่มากนัก สูงสุดเพียงแค่ 1 ถุง โดยที่ความถี่ของการแตกนั้น ทั่วไปไม่เฉพาะเจาะจง

No.	Accuracy (%)				
	Human	**Sensor**	**SC**	**NC**	**NCC**
1	100.0	100.3	100.0	100.0	100.0
2	100.0	100.5	100.0	100.0	100.0
3	100.0	97.8	100.0	100.0	100.0
4	100.0	99.2	99.2	99.4	100.0
5	99.8	100.2	99.2	99.8	100.0
6	99.6	100.1	99.6	99.8	100.0
7	99.7	100.1	99.6	99.8	100.0
8	99.3	100.4	99.5	99.9	100.0
9	99.5	100.7	99.2	99.4	99.9
10	99.7	100.5	93.8	99.6	99.8
11	99.5	100.8	94.2	97.2	99.4
12	99.8	100.7	92.3	95.2	95.5
13	99.0	100.1	95.8	96.7	98.4
14	99.0	101.8	93.7	94.8	96.0
15	100.0	103.0	89.7	95.7	98.8
16	100.2	100.6	91.4	96.9	99.7
17	99.9	102.9	86.9	98.8	99.1
18	100.1	100.5	89.2	98.4	99.7
19	99.7	100.9	89.1	98.4	99.4
20	99.6	101.1	89.7	98.0	99.6
Average	**99.7**	**100.6**	**95.1**	**98.4**	**99.3**

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการตรวจนับการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพานด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพแบบแทมเพลตแมชชิ่ง



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Human	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.996	0.997	0.993	0.995	0.997	0.995	0.998	0.990	0.990	1.000	1.002	0.999	1.001	0.997	0.996
Sensor	1.003	1.005	0.978	0.992	1.002	1.001	1.001	1.004	1.007	1.005	1.008	1.007	1.001	1.018	1.030	1.006	1.029	1.005	1.009	1.011
SC	1.000	1.000	1.000	0.992	0.992	0.996	0.996	0.995	0.992	0.938	0.942	0.923	0.958	0.937	0.897	0.914	0.869	0.892	0.891	0.897
NC	1.000	1.000	1.000	0.994	0.998	0.998	0.998	0.999	0.994	0.996	0.972	0.952	0.967	0.948	0.957	0.969	0.988	0.984	0.984	0.980
NCC	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.994	0.955	0.984	0.960	0.988	0.997	0.991	0.997	0.994	0.996

ภาพที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการตรวจนับการเคลื่อนถุงปูนซีเมนต์บนสายพาน ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพแบบแทมเพลตแมชชิ่ง

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองจำนวน 20 ครั้งของการประมวลผลการทดลองอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจาก 100 ถุงที่เคลื่อนบนสายพาน ผ่านการนับด้วยมนุษย์ และผ่านเครื่องเซ็นเซอร์ รวมทั้งผ่านกระบวนการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมแบบแมชชิ่ง ซึ่งจะเห็นว่าการนับถุงปูนแบบเดิมคือตัวเซ็นเซอร์นั้นจะเกิดความผิดพลาดค่อนข้างมาก ถึง 0.6% แต่ว่าการนับของมนุษย์นั้นผิดพลาด

เพียง 0.3% หรือมีความถูกต้องถึง 99.7% จากการทดลองด้วย 20 ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อได้มีการนำวิธีการประมวลผลภาพเข้ามาปรับใช้เพื่อทำการตรวจนับถุงปูน โดยมีการเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี แล้วนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการ SC จะมีความถูกต้องเพียง 95.1% แต่วิธีการ NC และ NCC นั้นจะมีความถูกต้องถึง 98.4% 99.3% ตามลำดับ

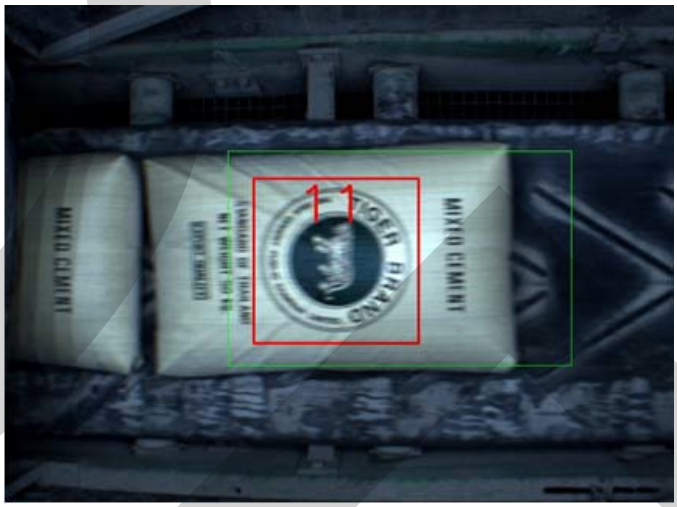
แต่เมื่อนำการทดลองด้วยโปรแกรมเทียบกับระบบเซนเซอร์แบบเดิมที่มักจะมีการนับค่าเกินจริง บ่อยครั้ง และไม่สามารถควบคุมการนับหรือไม่นับค่าได้เลย จากการทดลองในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า 5 ครั้งแรกที่มีการบันทึกผลการทดลองนั้น ได้ทดลองนับถุงปูน 100 ถึง 500 ถุงซึ่งมีจำนวนค่อนข้างน้อย จะเห็นว่าความผิดพลาดของเซนเซอร์มีจำนวนมากถึง 0.4% แต่มนุษย์ และ NCC ได้ค่าความถูกต้องถึง 100% ซึ่งเป็นการบอกว่าจำนวนที่เกิดความผิดพลาดของการนับด้วยตัวเซนเซอร์ขณะที่ยังมีจำนวนน้อย และความผิดพลาดจะเกิดมากขึ้นเมื่อมีจำนวนของถุงปูนซีเมนต์มากขึ้น การทดลองมีระยะเวลานานขึ้น ในทางกลับกันการเคลื่อนที่เข้ามาของถุงปูนซีเมนต์เมื่อมีการเพิ่มมากขึ้นทำให้การตรวจนับเริ่มมีทำให้มีค่าความถูกต้องที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น

จากภาพที่ 4.2 ที่แสดงกราฟของผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่าความสามารถของการตรวจนับเริ่มลดลงเมื่อมีจำนวนของถุงปูนเคลื่อนที่ผ่านอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน คือประมาณ 1000 ถุงขึ้นไป ในจำนวนครั้งที่ 11 ค่าความถูกต้องได้ลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนของการตรวจนับด้วยการประมวลผลภาพ แต่ความสามารถของมนุษย์ยังคงรักษาค่าความถูกต้องได้อย่างต่อเนื่องแต่เมื่อถึงจำนวนครั้งที่ 15 ค่าความถูกต้องกลับมากกว่า 100% ซึ่งแสดงว่าอาจจะมีการนับผิดพลาด นับจำนวนถุงปูนซีเมนต์เกินอย่างแน่นอน แต่อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการประมวลผลด้วยภาพนั้นยังคง ประมาณ 99.7%อย่างต่อเนื่อง ซึ่งในความเป็นจริง อาจจะขึ้นกับความสามารถของแต่ละบุคคล หรือความมีสมาธิในการจดจ่อต้องการนับด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ยังไม่ได้คำนึงถึง

เมื่อสังเกตแล้วความถูกต้องของกระบวนการประมวลผลภาพ นั้นมีความใกล้เคียงกับการตรวจนับด้วยมนุษย์ค่อนข้างมาก แต่ยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่า การประมวลผลภาพนั้นขาดความแม่นยำ เนื่องจากวิธีการนับของมนุษย์นั้นบางครั้งยังมีการนับขาดหรือนับเกินอยู่หรือยังเกิดจากความเหนื่อยล้า ซึ่งในการทดลองนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงปัจจัยดังกล่าว รวมทั้งการที่เกิดความผิดพลาดของการทดลองอีกปัจจัยหนึ่งคือ

- เมื่อมีการติดขัดของรางสายพาน หรือ ถุงปูนซีเมนต์ไม่เคลื่อนนั้น พนักงานได้นำถุงปูนซีเมนต์ขึ้นรางแบบกลับด้าน จากด้านหน้าเป็นด้านหลัง จึงทำให้เครื่องหรือโปรแกรมการตรวจนับไม่สามารถที่จะตรวจนับได้ เนื่องจากไม่สามารถตรวจหาเครื่องหมาย ตราบนถุง จึงเป็นความผิดพลาดของการทดลองในส่วนหนึ่ง
- การที่พนักงานหยุดรางสายพานขณะที่มีถุงปูนค้างอยู่ ทำให้เครื่องตรวจนับจำนวนถุงเดิม คือเกิดการนับซ้ำเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้
- การตรวจจับภาพขณะที่มีความสว่างน้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถตรวจหาเครื่องหมายบนถุงปูนซีเมนต์ได้ เป็นต้น

ภาพที่ 4.3 แสดงการตรวจนับด้วยโปรแกรมที่มีแสงสว่างน้อยเกินไป



ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้า

ภาพที่ 4.5 แสดงภาพถุงปูนที่แตก

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

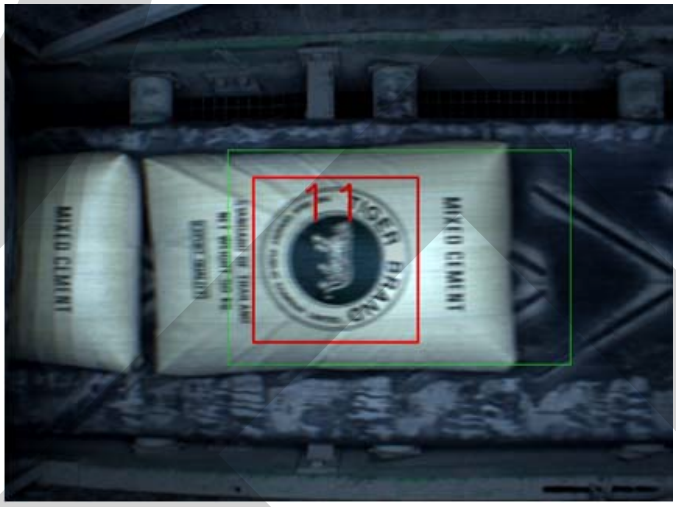
บทนี้ได้ทำการสรุปผลการทดลอง และข้อจำกัดของระบบ ข้อเสนอแนะอื่น ๆ รวมถึงชี้แจงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง และสิ่งที่ควรจะปรับปรุงเพิ่มเติม เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดและแนวทางการทำวิจัยต่อในเรื่องของการตรวจนับวัตถุด้วยการประมวลผลภาพ แบบแทมเพลตแมชชิ่ง ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ปัจจุบันได้มีนักวิจัยให้ความสนใจอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้านทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและด้านอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เป็นต้น

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอหัวข้อวิจัย ในการนำเทคนิคของการประมวลผลภาพเข้ามาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีการผลิตสินค้าจำนวนมากในแต่ละวัน ทำให้ไม่สามารถจะใช้มนุษย์มานับวัตถุที่เคลื่อนผ่านสายพานได้ทีละมากๆ เพราะฉะนั้นการนับสินค้าจะต้องเป็นไปอย่างอัตโนมัติ และผลลัพธ์จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่ามนุษย์ ทำให้ต้องหาเครื่องมือเข้ามาทำหน้าที่ตรวจนับสินค้าที่มีความสามารถเทียบเท่ามนุษย์แต่มีความคงทนในการตรวจนับมากกว่าและ มีความผิดพลาดที่น้อยกว่า จึงได้นำเสนอการแก้ไขปัญหาของการตรวจนับวัตถุ ด้วยการใช้ทฤษฎีทางการประมวลผลภาพเพื่อตรวจนับวัตถุเคลื่อนที่บนรางสายพาน โดยการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลและนำภาพดิจิทัลมาผ่านกระบวนการประมวลผลทางดิจิทัล ทฤษฎีที่ถูกนำมาใช้เรียกว่าแทมเพลตแมชชิ่ง (Template matching) เพื่อทำการตรวจจับวัตถุ (Recognition) ว่าวัตถุที่เข้ามาเป็นวัตถุที่ต้องการจึงทำการนับหรือไม่ ถ้าวัตถุนั้นตรงกันกับแทมเพลตจะแสดงผลลัพธ์การนับนั้นทางจอภาพ ดังผลสรุปจากการทดลองดังนี้

จากขั้นตอนการทดลองในบทที่ 4 ในตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่า การทำงานของการตรวจจับด้วยตัวเซ็นเซอร์นั้นมีความผิดพลาดถึง 0.6 % ในส่วนนี้การหาข้อผิดพลาดได้ค่อนข้างลำบากเนื่องการการทริกของตัวเซ็นเซอร์นั้นสามารถตรวจนับได้ทุกเมื่อมีการสั่นสะเทือนของรางสายพานหรือ สายพานเกิดการกระตุกสั่น เป็นการนับทริกทันที แต่จะไม่ทำการนับเมื่อตัวเซ็นเซอร์มีฝุ่นหนา หรือ เมื่อถุงปูนเคลื่อนผ่านเข้าซ้อนกันดังในภาพตัวอย่างด้านล่าง จะไม่เกิดการนับเช่นกัน เพราะฉะนั้นจึงเป็นการยากในการตรวจสอบความผิดพลาดของการนับ ว่าผิดพลาด ณ จุดใด แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของการประมวลผลภาพ ซึ่งได้ทำการทดลอง 3 วิธีการด้วยกันคือ Standard

Correlation (SC) Normalized Correlation (NC) และ Normalized Correlation Coefficient (NCC) ดังแสดงผลการทดลองในบทที่ 4



ภาพที่ 5.1 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบปรกติต่อเนื่อง

จากการทดลองจะเห็นว่า SC จะให้ค่าความถูกต้องที่น้อยที่สุด แต่เมื่อเทียบกับ NC และ NCC แล้วได้มีการปรับสูตรการคำนวณด้วยการลดความซับซ้อนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าที่สมบูรณ์มากขึ้น ด้วยการใช้รากที่สอง (square-root) ของพลังงานที่เป็นพื้นที่หลัก (candidate region) เป็นการสร้างเทมเพลต เมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวในบทที่ 2 จึงทำให้ได้รับค่าความถูกต้องถึง 98.4% และ 99.3% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการนับด้วยมนุษย์แล้วนั้นการนับด้วยมนุษย์ยังมีความผิดพลาดค่อนข้างน้อยซึ่งเพียงแค่ 0.3% เท่านั้นถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการทำด้วยโปรแกรม หรือตัวเซ็นเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามการนับด้วยมนุษย์ยังมีเครื่องมือที่ใช้สามารถจดจำนวนนับลงในกระดาษได้แต่ ยังสามารถรู้ถึงถุงที่แตก และการหยุดการเคลื่อนของรางสายพานได้ จึงมีความแปรปรวนของค่าความถูกต้องได้ค่อนข้างมาก

แต่เมื่อนำการทดลองด้วยโปรแกรมการประมวลผลภาพแบบแทมเพลตแมชชิ่งแล้วมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยโดยเฉพาะรูปแบบของค่าสัมประสิทธิแบบ NCC แล้วนั้นมีความถูกต้องถึง 99.3% ผิดพลาดเพียง 0.7% เทียบกับระบบเซ็นเซอร์แบบเดิมที่มักจะมีการนับค่าเกินจริง บ่อยครั้ง

และไม่สามารถควบคุมการนับหรือไม่นับค่าได้เลย ดังที่กล่าวในบทที่ 4 แต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการปรับปรุงรูปแบบของการทดลองในส่วนของการใช้เทมเพลตแมชชิ่ง ค่อนข้างมากดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

5.2 วิเคราะห์การทดลอง

ตามความผิดพลาดของการนับด้วยโปรแกรมการประมวลผลภาพนั้นมีความไม่สมบูรณ์ต้องมีการปรับอีกหลายส่วน รวมทั้งควบคุมตัวแปรที่ทำให้ค่าของการทดลองผิดพลาดอีกด้วย ยังสามารถถูกพิจารณาได้ 2 รูปแบบด้วยกันคือ

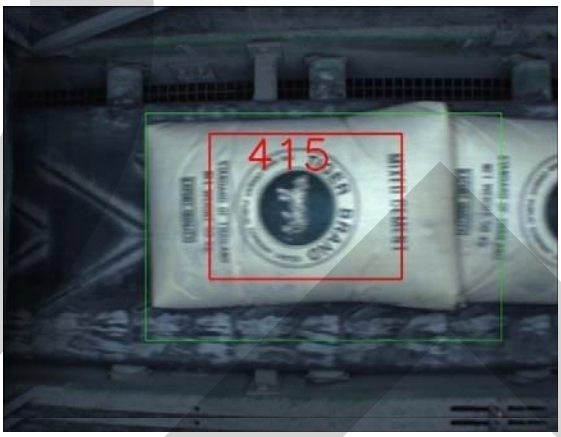
- ความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยภายนอก นั้นสามารถที่จะควบคุมได้แต่ค่อนข้างลำบากเนื่องจากพนักงานแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ต้องมีการจัดเตรียมในส่วนของการทำงานใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการทดลอง การเตรียมถุงปูนเพื่อให้มีการเคลื่อนเข้าสายพานใหม่ รวมทั้งความถี่ในการเรียงเข้ามา ในบางครั้งอาจต้องมีการติดตั้งในส่วนของระบบใหม่ เมื่อมีสายพานหยุดชะงัก การนับใหม่หรือนับค้างไว้ รวมทั้งการนับถุงและการเคลื่อนโดนตัวเซ็นเซอร์ขณะที่มีการนับการทดลองอยู่ เป็นต้น รวมทั้งแสงไฟที่เกิดขึ้นเมื่อมีการตรวจนับด้วยโปรแกรมทำให้ภาพที่ได้เกิดความผิดเพี้ยนไป และฝุ่นในโรงงานเป็นส่วนที่ทำให้การจับภาพไม่ได้มาตราฐาน

- ความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยภายในส่วนโปรแกรม ในส่วนของโปรแกรมที่เป็นปัญหาค่อนข้างมากคือความเร็วในการจับภาพที่ส่งเข้ามาเพื่อทำการประมวลผลแบบ real time และระยะห่างของถุงปูน ที่เข้ามาทำให้การจับภาพและประมวลผลไม่มีความสอดคล้องกัน รวมทั้งตำแหน่งการเคลื่อนที่ของถุงปูนที่เข้ามาทำให้การจับภาพผิดพลาดได้ ต้องมีการปรับปรุงในส่วนของโปรแกรมให้เกิดความยืดหยุ่นมากขึ้น ดังภาพที่แสดงต่อไปนี่เป็นภาพที่ถูกบันทึกไว้ขณะทดลอง

ภาพที่ 5.2 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์หมายเลข 345 ที่มีถุงปูนถัดมาเคลื่อนที่ชิดกัน

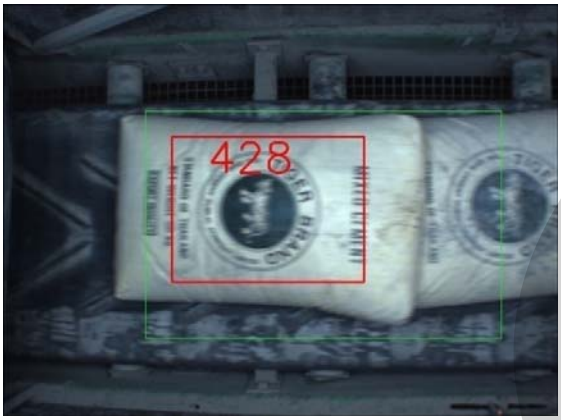
ภาพที่ 5.3 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ 346ที่มีการเคลื่อนที่เข้าแบบต่อเนื่องชิดถุงปูนถุงที่ 345

ภาพที่ 5.4 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์381ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบชิดกันแบบไม่สนิทจากถุงปูนถัดมา

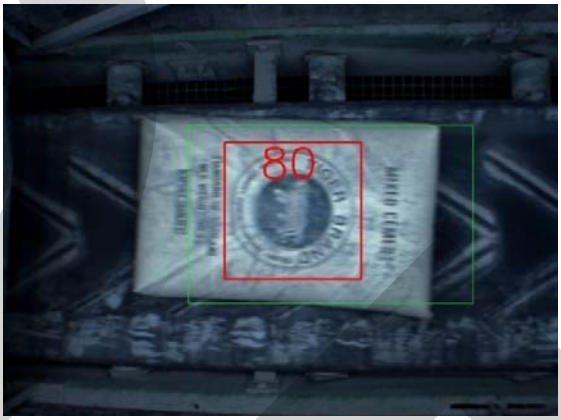


ภาพที่ 5.5 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบทับซ้อนกันแต่สามารถตรวจจับได้

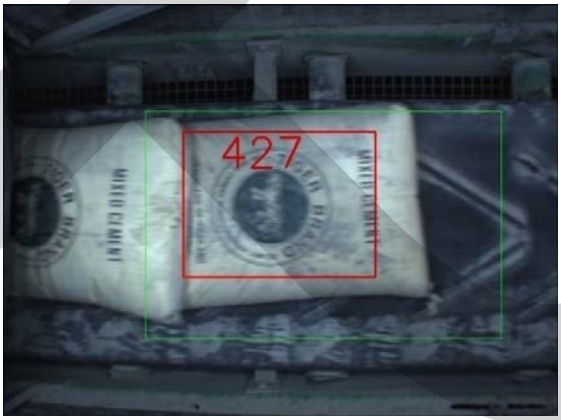
ภาพที่ 5.6 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบต่อเนื่องที่ชิดไม่สนิท



ภาพที่ 5.7 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบทับซ้อน



ภาพที่ 5.8 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามามีผิวถุงไม่สะอาดแต่ยังสามารถตรวจสอบและนับได้



ภาพที่ 5.9 แสดงภาพถุงปูนซีเมนต์ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาแบบซ้อนกันมากและมีบางถุงผิวไม่สะอาด

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

สำหรับการทำวิจัยในส่วนของการตรวจนับวัตถุในครั้งนี้ได้ให้ประโยชน์ต้อผู้ทำวิจัยอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของการใช้งานได้จริงแต่ยังไม่ได้สมบูรณ์เท่าที่ควร ต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบงานและอุปกรณ์หลายส่วนโดยเฉพาะในส่วนของการรับภาพเข้าเพื่อใช้ในการประมวลผล แต่อย่างไรก็ตามการให้แสงไฟที่พอเพียงสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการประมวลผล รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆต้องเสริมเพื่อที่จะทำให้มีประสิทธิภาพพอเพียง เช่นกล้องที่ใช้ในการจับภาพ และอุปกรณ์แสดงผล เป็นต้น

สิ่งต่าง ๆที่เจ้าหน้าที่ควรจะชี้แจงสำหรับการนับถุงหน้ากล้องให้พนักงงานเข้าใจระบบงานเบื้องต้นในกรณีเมื่อมีการนับถุงปูนขาด

กรณีที่ 1 นับขาด เนื่องจากปูนอยู่ตำแหน่งหน้ากล้อง ระบบนับแล้วแต่คนยกสังเกตว่าระบบยังไม่น่านับ ทำให้คนสังเกตการณ์เข้าใจว่าระบบนับขาด

กรณีที่ 2 นับขาด เนื่องจากสภาพถุงปูนไม่ปกติ สภาพถุงปูนไม่ปกติเนื่องมาจากการปล่อยปูนต่อเนื่องและทำให้ปูนติดหรือค้างที่สายพานข้างบนทำให้พนักงานที่ดูแลด้านบนทำการแก้ไขการติดค้างของถุงปูนด้วยการยกปูนมาเรียงใหม่เอง และหรือบางครั้งยกทับกองกันมาทำให้ระบบนับถุงปูนไม่นับและไม่คุ้นเคยสภาพถุงปูนดังกล่าวทำให้นับไม่ได้ (สภาพปกติ หมายถึง ถุงปูนไม่สกปรก, ถุงปูนไม่แตก, ถุงปูนไม่ถูกพลิก (ไม่เห็นด้านหลัง), ถุงปูนไม่เฉียงและเกือบขวางราง เป็นต้น) ดังนั้นสภาพถุงปูนไม่ปกติเช่น

- ถุงปูนแตก (ระบบไม่ได้แก้ปัญหาการนับถุงแตก) แก้ไขได้โดยให้คนยกช่วยตรวจนับ
- ถุงปูนสกปรก เช่น มีผงปูนเลอะบนหน้าถุงเนื่องจากการแตกที่ปลายบนถุง เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่ระบบนับได้ แก้ไขได้โดยมีหรือเพิ่มระบบทำความสะอาดผิวถุงปูน
- ถุงปูนถูกเรียงใหม่ หรือถุงปูนถูงพลิกเป็นด้านหลัง จะเกิดเฉพาะตอนที่ปูนติดรางด้านบน แก้ไขได้โดยแจ้งให้เจ้าหน้าที่ช่วยเรียงให้เหมือนปกติเพื่อให้ระบบนับได้
- ถุงปูนถูกกองทับกัน เนื่องจากเจ้าหน้าที่ยกถุงปูนไม่ติดค้างรางบน แก้ไขได้โดยแจ้งให้เจ้าหน้าที่ช่วยเรียงให้เหมือนปกติเพื่อให้ระบบนับได้
- ถุงปูนเอียงเฉียงราง ทำให้การเปรียบเทียบการนับไม่เหมือนกับต้นฉบับ แก้ไขโดยเพิ่มภาพต้นฉบับเปรียบเทียบเพื่อให้สามารถได้

ถุงปูนที่แตกทำให้ผงปูนอาจเลอะในถุงปูนถัดไปได้ และการแก้ไขถุงปูนคารางด้านบนควรแจ้งให้เจ้าหน้าทราบ รวมถึงการทำงานของระบบนับให้คนยกรับทราบ เพื่อให้เข้าใจข้อจำกัด เพื่อนำไปแก้ไขปัญหา

บรรณานุกรม

นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ, เอกสารประกอบการสอนวิชา การประมวลผลภาพ (Image processing), มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2552.

A.J. Lipton, H. Fujiyoshi, R.S. Patil “Moving Target Classification and Tracking from Real-time Video,” *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 1998.

Aegis Electronic Group, Inc. 1465 N. Fiesta Blvd. Suite 101 Gilbert, AZ 85233-1002. http://www.aegis-elec.com.

Banner Engineering Corporate, 9714 Tenth Avenue North Minneapolis, Minnesota 55441, http://www.bannerengineering.com

C. Bruschini, “A Survey of Current Sensor Technology Research for the Detection,” Gros of Landmines, *Int. Proceedings Workshop SusDem '97*, Zagreb, 1997.

C. Kuglin and D. Hines, “The Phase Correlation Image Alignment Method,” *International Conference on Cybernetics and Society*, 1975, pp. 163-165.

C. Stauffer, and W. Eric, “Learning Patterns of Activity Using Real-Time Tracking,” *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 8.,Aug 2000, pp. 747-757.

Chao-Ho Chen, “Method for counting people passing through a gate,” North America Intellectual Property Corporation Merrifield, VA US. Patent Application 20080212099.

D. Comaniciu, R. Visvanathan, P. Meer, “Kernel based object tracking”. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell*, 25(5) , 2003, pp. 564–575.

D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, “Real-time tracking of non rigid objects using mean shift”. *Proceedings on Computer Vision and Pattern Recognition*, Hilton Head, vol. 1, 2000, pp. 142–149.

E. H. Adelson, C. H. Anderson, J. R. Bergen, P. J. Burt and J. M. Ogden, Pyramid methods in image processing . http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub_pdfs/RCA84.pdf

ElectroKits, http://www.electrokits.com.

F. Jurie and M. Dhome. Real time robust template matching. In British Machine Vision Conference, 2002, pp.123–131.

F. Porikli, “Integral histogram a fast way to extract histograms in cartesian spaces,” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005.

Fuzhou Zero Automation Equipment Co.,Ltd, WL99 Bagged Cement Counter Fuzhou, Rm 2003, Building 11, Pacific City, Guanhai Road, Cangshan Zone Fujian, China. http://www.zeroautomation.com

G. X. Ritter and J. N. Wilson, *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*, CRC Press, Boca Raton, Fl., 1996.

Heinrich Ruser, “Object recognition with a smart low-cost active infrared sensor array,” *1st International Conference on Sensing Technology*, Palmerston North, New Zealand, November, 2005.

Infodev Electronic Designers International , “Automatic Passenger Counting (APC) for subways, trains, trams and train stations,” Canada. www.infodev.ca

J. K. Paik, C. P. Lee, and M. A. Abidi, "Image Processing-Based Mine Detection Techniques Using Multiple Sensors: A Review." Subsurface Sensing Technologies and Applications: An International Journal, Vol. 3, No. 3, pp. 153-202, July 2002.

J. Ahmed, M. N. Jafri, M. Shah, and M. Akbar, “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.

J. P. Lewis, “Fast Normalized Cross-Correlation”, Industrial Light & Magic, 1995.

James G. Strathman, “Tri-Met’s Experience With Automatic Passenger Counter and Automatic Vehicle Location Systems”, Center for Urban Studies School of Urban Studies and Planning, Portland State University September, 2002.

Javed Ahmed, M. N. Jafri, J. Ahmad, and Muhammad I. Khan, “Design and Implementation of a Neural Network for Real-Time Object Tracking,” *World Academy of Science*, Engineering and Technology, Vol. 6, 2005.

Javed Ahmed, M. N. Jafri, Mubarak Shah,Muhammad Akbar, “Real-time edge-enhanced dynamic correlation and predictive open-loop car-following control for robust tracking,” *Machine Vision and Applications*, Vol. 19 , Issue 1 January 2008, pp. 1-25.

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*, Volume 2, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Volume 294. ISBN 978-1-4419-0210-8. Springer-Verlag US, 2009, pp. 1061.

Li, Yuhai, L. Jian, T. Jinwen, X. Honbo. “A fast rotated template matching based on point feature.” Proceedings of the SPIE 6043 MIPPR 2005: SAR and Multispectral Image Processing, 2005, pp.453-459.

Muhammad Imran Khan, Javed Ahmed, Ahmad Ali and Asif Masood , “Robust Edge-Enhanced Fragment Based Normalized Correlation Tracking in Cluttered and Occluded Imagery,” Signal Processing, *Image Processing and Pattern Recognition*, Springer Berlin Heidelberg, Vol. 61, 2009, pp. 169-176.

M. F. Tompsett, G. F. Amelio, and G. E. Smith, "Charge Coupled 8-bit Shift Register," Applied Physics Lettersfrom 17, August 1970, pp. 111–115. doi:10.1063/1.1653327.

M. F. Amelio Tompsett, G.F. Bertram, W.J., Jr. Buckley, R.R. McNamara, W.J. Mikkelsen, J.C., Jr. Sealer, D.A. (). "Charge-coupled imaging devices: Experimental results". IEEE Transactions on Electron Devices 18 , Vol. 11, November 1971, pp. 992–996. doi:10.1109/T-ED.1971.17321. ISSN 0018-9383.

M. Nixon and A. Aguado, “Feature Extraction and Image Processing,” Newnes, Oxford, 2002.

Oliver R. Hainaut, “Basic CCD image processing,” December 2006. http://www.sc.eso.org/~ohainaut/ccd.

Oliver R. Hainaut, “Signal, Noise and Detection,” June 2005. http://www.eso.org/~ohainaut/ccd/sn.html.

Oliver R. Hainaut, “Retouching of astronomical data for the production of outreach images,” May, 2009. http://www.eso.org/~ohainaut/images/imageProc.html.

Omron Electronics Co.,Ltd. http://www.plceasy.com/Lesson/newvision.asp

P. J. Burt, C. Yen, X. Xu, ``Local Correlation Measures for Motion Analysis: a Comparitive Study", IEEE Conf. Pattern Recognition Image Processing 1982, pp. 269-274.

P. P. Jonker, 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. on1992.

Q. Chen, M. Defrise, and F. Deconinck, "Symmetric Phase-Only Matched Filtering of Fourier-Mellin Transforms for Image Registration and Recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.16, December, 1994.

Rambir Singh, "Infrared Object Counter", *Circuit Ideas*, Issue: January 2005, pp. 78.

R. Brunelli, Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice, Wiley, ISBN 978-0-470-51706-2, 2009

R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., 2002.

R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digtal Image Processing Using MATLAB*, Pearson Education Pte. Ltd., 2004.

R. O. Duda and P. E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis, New York: Wiley, 1973.

S. Blackman and R. Popoli, *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, Artech House, Boston, 1999, pp. 309-313

S. Wong, "Advanced Correlation Tracking of Objects in Cluttered Imagery," *Proceedings of SPIE*, Vol.5810, 2005.

T. J. Kimpel, J. G. Strathman, D. Griffin, S. Callas, R. L. Gerhart, T. J. Kimpel, J. G. Strathman, D. Griffin S. Callas, and R. L. Gerhart, " 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.

Thomas J. Kimpel, James G. Strathman, David Griffin, Steve Callas , Richard L. Gerhart, "Automatic Passenger Counter Evaluation: Implications for National Transit Database Reporting," Journal Trasportatuib Research Record, Washington, DC; National Academy Press; 1998 pages 93-100.

Tsong-Yi Chen , Thou-Ho (Chao-Ho) Chen and Da-Jinn Wang, A Cost-Effecetive 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.

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.

Wang, Ching Yang, "Edge Detection Using Template Matching (Image Processing, Threshold Logic, Analysis, Filters)". Duke University, 1985, 288 pages; AAT 8523046.

W. S. Boyle and G. E. Smith, “Charge Coupled Semiconductor Devices,” Bell Sys. Tech. J. 49 Vol. 4, April 1970, pp. 587–593.

ประวัติผู้วิจัย

อาจารย์นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ

สถิติประยุกต์ (คอมพิวเตอร์) สถาบัณบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ปัจจุบัน
อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาการจัดการเว็บเซอร์วิส
คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาการสื่อสารข้อมูลและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รางวัลและเกียรติประวัติ

ได้รับทุนการศึกษาประเภทเรียนดี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย พ.ศ. 2534 – 2537
ได้รับปริญญาตรีเกียรตินิยมอันดับ 1 จาก มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ประสบการณ์งานสอน

อาจารย์ประจำ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

- วิชาวิชาการพัฒนาและเขียนโปรแกรมบนเว็บ (2550-2553) (Tool: html, java script)
- วิชาพื้นฐานสื่อประสมเชิงโต้ตอบ (2/2553) (Tool: Adobe Photoshop, Illustrator , Flash CS3-5)
- วิชาธุรกิจอิเล็กทรอนิกส์ (1/2553) (Tool: Ms. Office, Dreamwaver)
- วิชาสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ (2550-2552) (Tool: Ms. Office)
- วิชาธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น (2/2552) (Tool: Ms. Office , Dreamwaver)

– วิชาการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น (2/2550) (Tool: Java program)

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

- วิชาการประมวลผลภาพ (Image processing) (2/2552) (Tool: Matlab program)
- วิชาโครงงาน (IT project)

  ระบบวิเคราะห์เปรียบเทียบสเปคเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม (Specification and Comparative Analysis for Computer) 2553

  ระบบวิเคราะห์งบรายได้-รายค่าใช้จ่าย ส่วนบุคคล (Analysis Personal Statement of income and Expenditure) 2553

  โครงงาน ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกอาชีพ (Online Career and Education Planning System) 2552

  โครงงาน ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกทัวร์ที่เหมาะสมกับลูกค้า (Intelligent Expert Tour System) 2552

  โครงงาน ระบบวิเคราะห์ดูแลสุขภาพ (Health Care System Analysis) 2551

  โครงการ ฐานข้อมูลเพื่อเรียกดูเส้นทางในเขตหลักสี่ (Route browsing database for Laksi) 2551

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะบริหารธุรกิจ

- วิชาการจัดการฐานข้อมูล (Database management system) (2542-2543)
- วิชาการเขียนโปรแกรมภาษา ซี (1/2542) (Tool: C program)
- วิชาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (2/2541)
- วิชาคอมพิวเตอร์เบื้องต้น (Introduction to computer) (1/2541)

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

– วิชาโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) (1/2541) (Tool: Borland Turbo C Programming language)

อาจารย์พิเศษ

- มหาวิทยาลัยศรีปทุม บรรยายและปฏิบัติการ วิชาโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) (Tool: C++ program)
- มหาวิทยาลัยเกริก บรรยาย วิชาคลังข้อมูล (Data warehouse)
- วิทยาลัยภาคกลาง จ.นครสวรรค์ บรรยาย วิชาความปลอดภัยข้อมูล (Computer Security)

งานวิจัยที่สนใจ

สนใจงานวิจัยทางด้านการค้นคืนความหมายภาพ (Image retrieval) ทั้งภาพธรรมชาติทั่วไป (natural images) และ ภาพที่เป็นส่วนบุคคล (personal images) ในหัวข้อเกี่ยวกับ การค้นคืน human activity หรือในหัวข้อการแปลความหมายภาพ (semantic human image) โดยเจาะจงทางด้านการใช้ท่าทางของมนุษย์เพื่อแสดงถึงความหมายของภาพ รวมทั้งการจำแนกภาพต่าง ๆเป็นกลุ่ม (Image classification) และการประยุกต์หลักการประมวลผลภาพ เพื่อนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม ได้จริง

หนังสือ

การสื่อสารข้อมูลและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (96304: Data Communications and Networking), มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553. (หน่วยที่3 ตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล, หน่วยที่ 10 โพรโทคอลประยุกต์)

ผลงานทางวิชาการ

N. Chinpanthana, Integrating Qualitative Features with Feature Selection for Semantic Image Classification,International Conference on Management technology and applications (ICMTA2010), Singapore,10-12 Sept.,2010.

N. Chinpanthana and T. Phiasai., Multi-Layer Perception Networks for Semantic Image Classification with Structural Skeleton Framework, International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communications, Pattaya, Thailand,July., 2010.

N. Chinpanthana, Extracting Features with Structural Skeleton Framework for Semantic Image Classification by using Supporting Vector Machine, The 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Chengdu, China, 20-22 Aug.,2010.

N. Chinpanthana, Semantic Semantic Salient Images Based on Similarity Matching with Conceptual Graph, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications , Jeju, Korea 2009.

นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ, *การจำแนกความหมายของภาพจากวัตถุโดยใช้หลักการโครงสร้างสเกตรีตรอน,* มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2552.

S. Chinpanchana, S. Maneewongvatana, and B. Thipakorn, "Semantic Human Image Classification Based on Energy Action Model with Essential Reference points," Int. Symposium on Communications and Information Technologies, 16-19 Oct, Sydney, AUS, 2007.

S. Chinpanchana, S. Maneewongvatana, and B. Thipakorn, "High-Level Semantic Image Classification by Using Energy Expenditure," 2007 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Bangkok, November 1-2, 2007, Bangkok, Thailand.

S. Chinpanchana, "Semantic Human Action Classification Based on Energy-Action Model ",Tencon 2006 IEEE Region 10 , Hongkong, China, 2006.

S. Chinpanchana, S. Maneewongvatana, and B. Thipakorn, “Semantic Personal Image Classification by Energy Expenditure,” Int. Symposium on Communications and Information Technologies, Beijing, China, 2005.

S. Chinpanchana, S. Maneewongvatana and B. Thipakorn, “Semantic Personal Image Pattern Classification Based on Human Body,” Asia Information Retrieval Symposium, Beijing, China, Oct. 2004.

S. Chinpanchana and B. Thipakorn, “Semantic Classification of Personal Images Based on Human Action and Associate Bayesian Rule,” International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, Sendai, Japan, 2004.