สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วแบบความเร็วสูง โดยใช้เฟรมแกรบเบิ้ลด้วยการหาค่าเทรสโฮลอัตโนมัติ

HIGH SPEED GLASS BOTTLE PROPERTY CHECKING USING FRAME GRABBLE WITH AUTOMATIC THRESHOLD

T051835

บัญชา แกล้วกล้า
BUNCHA KLAEWKLA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9708-25-3

วน.
ว/2547
2547
ก.1
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 51835
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2547
b 11409086
i.....
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGH SPEED GLASS BOTTLE PROPERTY CHECKING USING FRAME GRABBLE WITH AUTOMATIC THRESHOLD

BUNCHA KLAEWKLA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-9708-25-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วแบบความเร็วสูงโดยใช้เฟรมแกรบเบิ้ลด้วยการหาค่าเทรสโฮลอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายบัญชา แกล้วกล้า
รหัสนักศึกษา	42061107
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้วมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วก่อนจะส่งถึงลูกค้า ซึ่งถ้ามีสิ่งแปลกปลอมอยู่ในขวดแก้วหรือขวดแก้วไม่ได้มาตรฐานอาจก่อจะให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคและส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของบริษัทผู้ผลิต บทความนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพดิจิตอลกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมภายในขวดแก้วและตรวจสอบคุณภาพของก้นขวดแก้วที่อยู่บนสายพานลำเลียงของอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้ว ซึ่งสามารถกำหนดค่าเทรสโฮลของข้อมูลภาพขวดแก้วได้โดยอัตโนมัติและสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่อยู่บนสายพานลำเลียงตามเวลาจริงด้วยความเร็วสูงเพื่อให้สามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ทันกับจำนวนของขวดแก้วที่ผลิตได้ในสายการผลิตซึ่งมีจำนวนมาก โดยนอกจากจะสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในขวดแล้วยังสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีเม็ดหิน (Various stones) ฟองอากาศ (Tear หรือ Blister) ไส้แก้ว (Birds wings) และคราบสกปรก (Grease spots) ที่อยู่ที่ก้นขวดแก้วได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	High Speed Glass Bottle Property Checking Using Frame Grabble With Automatic Threshold
Student	Mr. Buncha Klaewkla
Student ID.	42061107
Degree	Master Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

It is essential that in the production line, all glasses have to be examined whether it is an acceptable standard. The products are under standard might be harmful to the consumer, which it will have an effect on the company's reputation. This thesis presents the using of digital image processing in QC section. A large number of glasses on the conveyor will be automatically and actually checked at high speed level by the threshold of digital image processing. Additional to the oddities in the glassware, various of stones, blisters, bird wings and grease spots could be found, and will be rejected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือให้คำแนะนำตลอดจนให้คำปรึกษาในการค้นคว้าหาข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาวิทยานิพนธ์จากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่คอยเป็นกำลังใจและคอยดูแลผู้ทำวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และขอขอบคุณ นายชัยวัฒน์ เลาหพันธุ์ เพื่อนของผู้ทำวิจัยที่ให้คำปรึกษาแก่ผู้ทำวิจัยในการเขียนโปรแกรมภาษาวิสชวล-เบสิก จนผู้ทำวิจัยสามารถทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

บัญชา แกล้วกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... XIII

สารบัญรูปภาพ..... IX

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.2 เพราะเหตุใดปัญหานี้ถึงน่าสนใจ..... 2

1.3 มีการนำเสนอหลักการใหม่อย่างไร..... 3

1.4 การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม..... 3

บทที่ 2 เมตริกซ์และเวคเตอร์..... 5

2.1 เมตริกซ์..... 5

2.2 เวคเตอร์และเวคเตอร์สเปซ..... 7

2.2.1 เวคเตอร์..... 7

2.2.2 เวคเตอร์สเปซ..... 8

2.2.3 เวคเตอร์นอร์ม..... 10

บทที่ 3 ความน่าจะเป็นและตัวแปรเชิงสุ่ม..... 11

3.1 เซตและการกระทำของเซต..... 11

3.1.1 เซต..... 11

3.1.2 การกระทำของเซต..... 12

3.2 ความถี่สัมพันธ์และความน่าจะเป็น..... 13

3.3 ตัวแปรเชิงสุ่ม..... 16

3.4 ค่าคาดหวังและโมเมนท์..... 17

3.5 ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่นแบบปกติ..... 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 ตัวแปรเชิงสุ่มแบบหลายมิติ 19
3.7 ความหนาแน่นแบบปกติที่มีหลายตัวแปร 22

บทที่ 4 ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ 23
4.1 ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ของความหนาแน่นแบบปกติ 26
4.2 การกระจายแบบปกติสำหรับการจัดแบ่งกลุ่มของเบย์ 28
4.3 รูปแบบสมการทั่วไปของความหนาแน่นแบบปกติ 29

บทที่ 5 การจัดแบ่งกลุ่มแบบแม็กซิมั่มไลค์ลี่ฮูด 36
5.1 การจัดแบ่งกลุ่มโดยการวัดระยะทาง 39
5.2 อัลกอริทึ่มในการจัดกลุ่ม 41
5.2.1 การวัดด้วยความเหมือน 41
5.2.2 อัลกอริทึ่มในการจัดกลุ่มอย่างง่ายด้วยค่าเทรสโฮล 42
5.2.3 อัลกอริทึ่มในการจัดกลุ่มด้วยค่าระยะทางที่มากที่สุด 43
5.2.4 อัลกอริทึ่มในการจัดกลุ่มแบบ K-Mean 43
5.2.5 อัลกอริทึ่มในการจัดกลุ่มแบบ ISODATA 44

บทที่ 6 ระบบตรวจสอบด้วยความเร็วสูงและทำงานตามเวลาจริง 47
6.1 ค่าของเวลาในการทำงาน 48
6.2 ข้อมูลภาพ 51
6.3 สัญญาณตรวจจับ 52
6.4 ระบบตรวจจับจากภายนอก 52
6.5 ส่วนของการตรวจจับข้อมูลภาพ 53
6.6 การจับข้อมูลภาพ 54
6.7 หลักการทำงานของกล้องจับภาพ 54
6.8 กล้องจับภาพแบบ CCTV 54
6.9 กล้องจับภาพแบบความเร็วสูง 57
6.9.1 กล้องจับภาพแบบจับภาพเป็นบางส่วน 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.9.2 กล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัส....58
6.9.3 การเกิดภาพเบลอของข้อมูลภาพ....59
6.10 แหล่งกำเนิดแสง....60
6.11 ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์....61

บทที่ 7 การทำงานเฟรมแกรบเบิ้ล....62
7.1 การส่งข้อมูลภาพ....62
7.2 พื้นฐานการทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล....63
7.3 ตัวจับภาพที่ใช้หน่วยความจำแบบปิงปอง....64
7.4 การปรับปรุงการส่งข้อมูลภาพ....65
7.5 ขอบเขตของส่วนของข้อมูลภาพที่ต้องการ....67
7.6 ส่วนควบคุมอินพุทและเอาท์พุท....67
7.7 สัญญาณเวลาของพิกเซล....68
7.8. การคำนวณค่าของเวลาในการทำงาน....69
7.9 การทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล....71

บทที่ 8 อุปกรณ์และวิธีการ....74
8.1 ระบบการตรวจสอบขวดแก้ว....74
8.2 การทำงานของระบบตรวจสอบขวดแก้ว....78

บทที่ 9 การทดสอบระบบตรวจสอบขวดแก้ว....84
9.1 การทดสอบที่ 1....84
9.2 การทดสอบที่ 2....86
9.3 การทดสอบที่ 3....92

บทที่ 10 บทสรุปและวิจารณ์....98
10.1 บทสรุป....98
10.2 บทวิจารณ์....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง..... 100

ภาคผนวก บทความและผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ 104

ประวัติผู้เขียน..... 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 การรวมค่าของเวลาในการทำงาน..... 49
9.1 ค่าของเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขวดแก้วจากการทดสอบที่ 2..... 92
9.2 ค่าของเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขวดแก้วจากการทดสอบที่ 3..... 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

4.1 การกำหนดสมการฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ให้กับตัวแปรเพื่อใช้การตัดสินใจในการแบ่งกลุ่ม 29
4.2 ฟังก์ชั่นควอดาติกดิสไครมิแนนท์ เมื่อตัวแปรเป็นข้อมูลอิสระที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม..... 31
4.3 การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส..... 33
4.4 สมการควอดาติกดิสไครมิแนนท์ เมื่อตัวแปรมีค่าเมตริกซ์โควาเลียนซ์ แต่มีค่าความแปรปรวนที่ต่างกัน..... 34
5.1 ค่าเทรสโฮลระหว่างกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลไม่เท่ากัน..... 36
5.2 ค่าเทรสโฮลระหว่างกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลเท่ากัน..... 38
6.1 ค่าฟังก์ชั่นของ Soft real time และ Hard real time..... 48
6.2 เหตุการณ์ A..... 49
6.3 เหตุการณ์ B..... 50
6.4 การรวมเหตุการณ์ A และ B เข้าไว้ด้วนกัน..... 50
6.5 เหตุการณ์ C..... 51
6.6 การรวมเหตุการณ์ A, B และ C เข้าไว้ด้วนกัน..... 51
6.7 ค่าเวลาของการทำงานของ CCTV อย่างง่าย..... 55
6.8 ค่าของเวลาในการทำงาน ของการจับภาพของ CCTV..... 55
6.9 Interlace scanning..... 56
6.10 Interlace timing..... 57
6.11 ค่าเวลาของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัส 58
6.12 ค่าเวลาของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสที่สามารถรีเซตได้ 59
6.13 ค่าเวลาของกล้องที่ทำงานร่วมกับไฟแฟลซ์..... 60
6.14 ค่าเวลาของกล้องที่ทำงานร่วมกับชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์..... 61
7.1 เฟรมแกรบเบิ้ล..... 62
7.2 บล๊อคไดอะแกรมของเฟรมแกรบเบิ้ล..... 63
7.3 ค่าเวลาของตัวจับภาพอย่างง่าย..... 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.4 ตัวจับภาพแบบอาศัยการทำงานของหน่วยความจำแบบปิงปอง 65
7.5 ค่าเวลาของตัวจับภาพแบบอาศัยการทำงานของหน่วยความจำแบบปิงปอง..... 65
7.6 PCI bus transfer ค่าของเวลาในการทำงาน..... 66
7.7 บล็อกไดอะแกรมของเฟรมแกรบเบิ้ล..... 71
8.1 ตัวตรวจจับทางแสง เอนโคดเดอร์ และชุดสายพานนำขวดเข้าสู่ระบบตรวจสอบ..... 75
8.2 กล้องจับภาพ ไฟแฟลทซ์ และชุดสายพานคีบขวด..... 75
8.3 ชุดสายพานนำขวดออกจากระบบตรวจสอบ..... 76
8.4 ตัวดีดขวด..... 76
8.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบ..... 78
8.6 ลักษณะการแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบ..... 83
9.1 ลักษณะของขวดแก้วปกติ..... 85
9.2 ลักษณะของขวดที่มีเศษแก้วปะปน..... 85
9.3 ลักษณะของขวดที่มีฟองอากาศ..... 85
9.4 ลักษณะของขวดที่มีเม็ดหิน..... 86
9.5 ลักษณะของขวดที่เป็นไส้แก้ว..... 86
9.6 ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลของขวดแก้วจากการทดสอบที่ 2..... 87
9.7 ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลของขวดแก้วจากการทดสอบที่ 3..... 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในการผลิตขวดแก้วเริ่มต้นด้วยแท่งแก้วที่หนืด(gob) ผ่านการขึ้นรูปขวดแก้วด้วยแม่พิมพ์ (mould) และส่งผ่านแก้วที่ขึ้นรูปเป็นขวดแก้วในขณะยังร้อนมาตามสายพานลำเลียง เพื่อลำเลียงขวดแก้วขวดแก้วเข้าเตาอบเพื่อค่อยๆลดอุณหภูมิของขวดแก้วลงแล้วจึงบรรจุขวดแก้วลงบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งไปยังลูกค้า แต่ก่อนที่จะบรรจุหีบห่อและส่งขวดแก้วไปยังลูกค้าจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วก่อน เพราะหากมีสิ่งแปลกปลอมอยู่ในขวดแก้วหรือขวดแก้วไม่มีคุณภาพพอก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคและอาจจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตสินค้าและรวมไปถึงผู้ผลิตขวดแก้วอีกด้วย เนื่องจากขวดแก้วที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีหลายสี ดังเช่น ขวดสีชา สีเขียว และสีขาว เป็นต้น ซึ่งเป็นการยากที่จะใช้ตาของมนุษย์ในการตรวจสอบและเนื่องจากขวดแก้วอยู่บนสายการผลิตซึ่งมีความเร็วสูงมากและตาของมนุษย์เมื่อมองผ่านแสงไฟนานๆอาจจะเกิดความเมื่อยล้าได้และอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบขวดแก้วได้

บทความนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพดิจิตอล ซึ่งเป็นภาพระดับของสีเทา [7] กับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในขวดแก้วบนสายพานลำเลียงตามเวลาจริงด้วยความเร็วสูง โดยการติดตั้งกล้องอยู่ด้านบนของสายพานลำเลียงเหนือขวดแก้ว [9] ทำหน้าที่จับภาพของขวดแก้วแล้วส่งข้อมูลภาพขวดแก้วมายังส่วนประมวลผล ซึ่งสามารถกำหนดค่าเทรสโฮลของข้อมูลภาพขวดแก้ว โดยสามารถหาค่าเทรสโฮลของข้อมูลภาพของขวดแก้วได้โดยอัตโนมัติ โดยส่วนประมวลผลจะจัดแบ่งข้อมูลภาพของขวดแก้วที่ผ่านเข้ามาตามค่าเทรสโฮลที่กำหนดไว้แล้วตรวจสอบข้อมูลภาพขวดแก้วตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้และดีดขวดแก้วที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ออกจากสายพานลำเลียง สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตในอุตสาหกรรมและในระบบควบคุมจะต้อง (1) มีความแม่นยำสูง (2) มีความคล่องตัวในการใช้งาน (3) มีความเร็วในการตรวจสอบ และ (4) มีราคาต่ำ [5]

ในบทความนี้จะจัดแบ่งกลุ่มของข้อมูลของภาพขวดแก้วโดยใช้วิธีการจัดแบ่งกลุ่มแบบแม็กซิมั่มไลค์ลี่ฮูด (Maximum Likelihood) [3] [6] [21] [23] [34] ซึ่งสามารถจัดแบ่งข้อมูลได้ถูกต้องและรวดเร็ว โดยจะประมาณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มของข้อมูลภาพของขวดแก้วตัวอย่าง [1] [2] [3] จากนั้นจึงจัดแบ่งกลุ่มของข้อมูลของภาพขวดแก้วตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ซึ่งสมมุติให้การกระจายของข้อมูลของภาพขวดแก้วตัวอย่างเป็นการกระจายแบบปกติ [4] เพื่อที่จะหาค่าเทรสโฮล (Threshold) [19] ของข้อมูลของภาพขวดแก้วในแต่ละกลุ่มสำหรับการตรวจสอบภาพของข้อมูลของขวดแก้วขวดต่อๆไป [4] โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็นส่วนๆเพื่อที่จะกำหนดเงื่อนไขของการตรวจสอบขวดแก้วที่แตกต่างกันในแต่ละขอบเขตได้ ซึ่งจะสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องมาก

1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อประยุกต์การใช้งานการประมวลผลภาพดิจิตอลในการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้ว รวมถึงสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในขวดแก้วจากสายการผลิตด้วยความเร็วสูงและสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ตามเวลาจริง [5] โดยใช้กล้องจับภาพของขวดแก้วแล้วส่งข้อมูลของขวดแก้วไปประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) [9] [11] เพื่อที่จะแปลงสัญญาณภาพของขวดแก้วเป็นข้อมูลภาพแบบดิจิตอล [7] [12] [15] เพื่อคอมพิวเตอร์จะสามารถประมวลผลข้อมูลของขวดแก้วได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น และเพื่อที่จะสามารถประมวลผลข้อมูลภาพขวดแก้วให้ทันกับขวดแก้วที่ผลิตจากสายพานลำเลียงจำนวนมาก

ศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพดิจิตอล โดยใช้วิธีการจัดแบ่งกลุ่มแบบแม็คซิมั่มไลค์ลี่ฮูล (Maximum Likelihood Classification) โดยสมมุติให้การกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติและใช้ในการหาค่าเทรสโฮลที่จะใช้ในการแบ่งข้อมูลของภาพดิจิตอล [2] เพื่อที่จะสามารถจัดแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และยังศึกษาการจัดแบ่งกลุ่มของข้อมูลแบบง่ายๆรวมถึงการวัดระยะทางของข้อมูลอีกด้วย [14] [16]

ศึกษาถึงการทำงานของกล้องจับภาพและเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณภาพให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล และศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

1.2 เพราะเหตุใดปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

ในอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้วเราจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วก่อนที่จะบรรจุหีบห่อและส่งไปยังลูกค้า เพราะถ้าขวดแก้วไม่มีคุณภาพพอก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคและจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตขวดแก้วได้ ซึ่งการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในขวดแก้วนั้นก็เป็นการตรวจสอบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้ว เนื่องจากขวดแก้วที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีหลายสีดังเช่น ขวดสีชา สีเขียว และสีขาวเป็นต้น ซึ่งเป็นการยากที่จะใช้ตาของมนุษย์ในการตรวจสอบโดยไม่มีการจับต้องขวดแก้วเลยและเนื่องจากขวดแก้วอยู่บนสายการผลิตซึ่งมีความเร็วค่อนข้างสูงและตาของมนุษย์เมื่อมองผ่านแสงไฟนานๆ อาจจะเกิดความเมื่อยล้าได้และอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบขวดแก้วได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้วได้มีการนำเครื่องตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วมาใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบขวดแก้วในสายการผลิต แต่เครื่องตรวจสอบขวดแก้วที่นำมาใช้จำเป็นที่จะต้องใช้มนุษย์ในการตั้งค่าเทรสโฮลให้กับเครื่องตรวจสอบ ซึ่งในการติดตั้งระบบการตรวจสอบจะต้องทดสอบกับขวดตัวอย่างและต้องค่อยๆปรับค่าเทรสโฮลจนระบบสามารถตรวจเช็คความผิดพลาดของขวดตัวอย่างได้ซึ่งใช้เวลาอย่างมากในการติดตั้งและการตรวจสอบยังมีความผิดพลาดอย่างมากจึงจำเป็นที่จะต้องใช้มนุษย์ในการตรวจสอบขวดแก้วจากเครื่องตรวจสอบขวดแก้วอีกครั้ง และปัญหาอีกอย่างของการตรวจสอบขวดแก้วคือ เครื่องผลิตขวดแก้วในปัจจุบันสามารถผลิตขวดแก้วได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เครื่องตรวจสอบขวดแก้วต้องสามารถตรวจสอบขวดแก้วจำนวนมากบนสายพานลำเลียงที่มีความเร็วสูง

1.3 มีการนำเสนอหลักการใหม่อย่างไร

เราได้ประยุกต์ใช้หลักการของแม็คซิมั่มไลค์ลี่ฮูล (Maximum Likelihood) ในการประมวลผลของข้อมูลภาพของขวดแก้ว [34] โดยให้การกระจายของข้อมูลขวดแก้วเป็นแบบปกติเพื่อความรวดเร็วในการประมวลผลของข้อมูลขวดแก้วในการหาค่าเทรสโฮล ซึ่งได้ใช้หลักการนี้ในการหาค่าเทรสโฮลของแต่ละกลุ่มของข้อมูลขวดแก้วโดยอัตโนมัติเพื่อเป็นการลดเวลาในการติดตั้งระบบตรวจสอบลง โดยได้แบ่งข้อมูลของขวดแก้ว [18] ออกเป็นสามกลุ่มคือ ส่วนของเนื้อของขวดแก้ว ส่วนของลายขวดหรือกลีบส้มและคราบสกปรกในขวดแก้ว และส่วนของพื้นหลังและสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในขวดแก้ว เราจะหาค่าเทรสโฮลระหว่างกลุ่มแต่ละกลุ่มแล้วเก็บค่าเทรสโฮลของระหว่างข้อมูลแต่ละกลุ่มที่หาค่าได้ไว้เพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลขวดแก้วที่ต้องการตรวจสอบต่อไป และเราได้แบ่งขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็นสามส่วนคือ ขอบเขตของเนื้อแก้วส่วนใน ขอบเขตของเนื้อแก้วส่วนนอก และขอบเขตของลายกลีบส้ม และกำหนดเงื่อนไขที่แตกต่างกันให้กับแต่ละขอบเขต ทำให้การตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วมีความถูกต้องและรวดเร็ว โดยเราสามารถตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วได้โดยอัตโนมัติและสามารถตรวจสอบได้ตามเวลาจริง

1.4 การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

ในการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วในอุตสาหกรรมการผลิตจากเดิมนั้นเราจะใช้มนุษย์ในการตรวจสอบ โดยการใช้ตาตรวจสอบขวดแก้วที่อยู่บนสายพานลำเลียงมองผ่านฉากหลังที่สว่าง แต่เมื่อตาของมนุษย์เมื่อมองแสงสว่างนานๆอาจจะเกิดความเมื่อยล้าและขวดแก้วอยู่บนสายพานลำเลียงที่มีความเร็วสูงมากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบขวดแก้วได้ จึงได้มีการนำเครื่องตรวจสอบขวดแก้วโดยอัตโนมัติมาใช้ในการตรวจสอบขวดแก้วบนสายพานลำเลียงซึ่งใช้การประมวลผลจากภาพของขวดแก้ว โดยใช้มนุษย์ในการกะประมาณค่าเทรสโฮลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาพขวดแก้วซึ่งจะต้องใช้เวลาในการติดตั้งเครื่องสูงมากและแบ่งข้อมูลของขวดแก้วออกเป็นสองส่วน ซึ่งยังมีความผิดพลาดในการประมวลผลอยู่มาก และยังคงต้องใช้มนุษย์ในการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วจากต่อจากเครื่องตรวจสอบอีกครั้ง

เราได้ประยุกต์ใช้การแบ่งข้อมูลแบบแม็คซิมั่มไลค์ลี่ฮูล (Maximum Likelihood) แบ่งข้อมูลของขวดแก้วซึ่งสามารถหาค่าเทรสโฮลของข้อมูลโดยอัตโนมัติ ทำให้ลดเวลาในการติดตั้งระบบการตรวจสอบลงอย่างมาก และแบ่งข้อมูลของขวดแก้วออกเป็นสามคือ ส่วนของเนื้อของขวดแก้ว ส่วนของลายขวดหรือกลีบส้มและคราบสกปรกในขวดแก้ว และส่วนของพื้นหลังและสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในขวดแก้ว เพื่อเพิ่มความละเอียดในการตรวจสอบ จากนั้นจึงกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบให้กับภาพข้อมูลของขวดแก้วและกำหนดเงื่อนไขให้กับขอบเขตแต่ละขอบเขตเพื่อความถูกต้องและรวดเร็ว เราจะใช้ค่าเทรสโฮลที่หาได้นำมาแบ่งข้อมูลของภาพขวดแก้วที่วิ่งต่อเนื่องมาบนสายพานลำเลียง แล้วตรวจสอบในแต่ละขอบเขตว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขก็จะดีดขวดแก้วนั้นออกจากสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เมตริกซ์และเวคเตอร์

2.1 เมตริกซ์

กำหนดเมตริกซ์ A มีขนาดเท่ากับ m×n ซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกที่เป็นตัวเลขหรือสัญลักษณ์อยู่ภายในวงเล็บ โดยที่ m แทนจำนวนสมาชิกในแนวแกนตั้งและ n แทนจำนวนสมาชิกในแนวแกนนอน ซึ่ง m และ n จะแสดงถึงขนาดหรือมิติของเมตริกซ์ และเราจะเรียกเมตริกซ์ A ว่ามีมิติขนาด m×n โดยสามารถเขียนสัญลักษณ์ของเมตริกซ์ A มีขนาดเท่ากับ m×n ได้ดังนี้

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

ซึ่ง a_{ij} แทนสมาชิกตัวที่ (i, j)

ถ้า m มีค่าเท่ากับ n จะเรียกเมตริกซ์ A ว่าเมตริกซ์จัตุรัส (Square matrix) ถ้าเมตริกซ์ A เป็นเมตริกซ์จัตุรัส (Square matrix) และ $a_{ij} = 0$ สำหรับทุกๆ $i \neq j$ และ a_{ii} ทุกตัวมีค่าไม่เท่ากับศูนย์แล้วจะเรียกเมตริกซ์นี้ว่าไดอะกอนอล (Diagonal) ซึ่งเมตริกซ์ไดอะกอนอล (Diagonal matrix) ก็คือเมตริกซ์จัตุรัส (Square matrix) ที่มีสมาชิกที่ไม่ได้อยู่บนเส้นทแยงมุมมีค่าเท่ากับศูนย์ เมตริกซ์จัตุรัส (Square matrix) ที่มีทุกสมาชิกที่อยู่บนเส้นทแยงมุมมีค่าเท่ากับ 1 จะเรียกว่าเมตริกซ์หนึ่งหน่วย (Identity matrix) และจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ I ส่วนเมตริกซ์ที่มีสมาชิกทุกตัวมีค่าเท่ากับ 0 จะเรียกว่าเมตริกซ์ศูนย์ (Zero หรือ Null matrix) และจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ 0 แทรกซ์ (Trace) ของเมตริกซ์ (ไม่จำเป็นต้องเป็น Diagonal) จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ tr(A) คือผลรวมของทุกๆสมาชิกที่อยู่บนเส้นทแยงมุมของเมตริกซ์ A เมตริกซ์ A และเมตริกซ์ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อจำนวนแถวและหลักของเมตริกซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากันและสมาชิกของเมตริกซ์ที่ $a_{ij} = b_{ij}$

การทรานสโพส (Transpose) ของเมตริกซ์ A ที่มีขนาดเท่ากับ m×n จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ A^T คือเมตริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับ n × m และมีการสลับกันของแถวและหลักระหว่างสมาชิกของเมตริกซ์ นั่นคือแถวแรกของเมตริกซ์ A จะกลายเป็นหลักแรกของเมตริกซ์ A^T และแถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สองของเมตริกซ์ A จะกลายเป็นหลักที่สองของเมตริกซ์ A^T ซึ่ง $A^T = [a_{ij}^T]$ เมื่อ $a_{ij}^T = a_{ji}$ และจะเรียกเมตริกซ์ที่ $A = A^T$ ว่าเมตริกซ์สมมาตร (Symmetric matrix) ซึ่งเมตริกซ์จะต้องเป็นเมตริกซ์จัตุรัส สมาชิกที่อยู่ในตำแหน่ง (i, j) จะต้องเท่ากับสมาชิกที่อยู่ในตำแหน่ง (j, i) นั่นคือ $a_{ij} = a_{ji}$ และจะเรียกเมตริกซ์ A ว่า Skew-symmetric matrix ถ้า $A = -A^T$ ซึ่งสมาชิกที่อยู่ในตำแหน่ง (i, j) จะต้องเท่ากับจำนวนตรงข้ามของสมาชิกที่อยู่ในตำแหน่ง (j, i) จะได้ $a_{ii} = -a_{ii}$ นั่นคือ $a_{ii} = 0$ สมาชิกที่อยู่บนเส้นทแยงมุมมีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งหมด

จะเรียกเมตริกซ์ B ที่ทำให้ BA = I และ AB = I ว่า อินเวอร์สของ A จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ A^{-1} นั่นคือ $B = A^{-1}$ และ $AA^{-1} = A^{-1}A = I$ ถ้าเมตริกซ์ A มีอินเวอร์สจะเรียกเมตริกซ์ A ว่าไม่เป็นซิงกูล่าร์ (Nonsingular) แต่ถ้าเมตริกซ์ A ไม่มีอินเวอร์สจะเรียกเมตริกซ์ A ว่าเป็นซิงกูล่าร์ (Singular)

ดีเทอร์มีแนนท์ (Determinant) ของเมตริกซ์ A ที่มีขนาด n × n สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย det A หรือ $|A|$ โดยที่ $\det A = \Sigma(\pm)a_{1j_1}a_{2j_2}\ldots a_{nj_n}$ ซึ่ง $j_1, j_2, \ldots, j_n$ คือการจัดลำดับของสมาชิกในเซต $S = \{1, 2, \ldots, n\}$ ส่วนเครื่องหมายข้างหน้าจะเป็นบวกหรือลบจะขึ้นอยู่กับ $j_1, j_2, \ldots, j_n$ ว่าเป็นการจัดลำดับคู่หรือคี่ ถ้าเป็นการจัดลำดับคู่เครื่องหมายจะเป็นบวกแต่ถ้าเป็นการจัดลำดับคี่เครื่องหมายจะเป็นลบ การทรานสโพส (Transpose) จะไม่ทำให้ดีเทอร์มีแนนท์ (Determinant) ของเมตริกซ์ A เปลี่ยนไป นั่นคือ $\det A^T = \det A$

กำหนดให้เมตริกซ์ A เป็นเมตริกซ์จัตุรัสขนาด m × m แล้ว (i, j)-minor ของเมตริกซ์ A สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย M_{ij} ซึ่งก็คือดีเทอร์มีแนนท์ (Determinant) ของเมตริกซ์ที่มีขนาด (m – 1) × (m – 1) โดยการตัดสมาชิกแถวที่ i และสมาชิกหลักที่ j ออก และ (i, j)-cofactor ของเมตริกซ์ A สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย C_{ij} ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(-1)^{i+j} M_{ij}$ ดีเทอร์มีแนนท์ (Determinant) ของเมตริกซ์ $[\alpha]$ ที่มีขนาด (1 × 1) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย $\det[\alpha]$ โดยที่ $\det[\alpha] = \alpha$ และจากที่กล่าวมาแล้วจะได้ความสัมพันธ์

$$\det(A) = \sum_{j=1}^{m} a_{1j}C_{1j} \qquad (2.2)$$

นั่นคือดีเทอร์มีแนนท์ (Determinant) ของเมตริกซ์จัตุรัสคือผลรวมของผลคูณของสมาชิกที่อยู่ในแถวแรกของเมตริกซ์และแถวแรกของโคแฟคเตอร์

การกระทำของเมตริกซ์ กำหนดให้ c เป็นจำนวนจริงหรือจำนวนเชิงซ้อนหรือที่เรียกกันว่าสเกล่าร์ การคูณกันของสเกล่าร์ c และเมตริกซ์ A สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย cA ซึ่งคือการคูณกันของสมาชิกทุกตัวของเมตริกซ์ A ด้วยค่า c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเมตริกซ์ A และเมตริกซ์ B เป็นเมตริกซ์ที่มีขนาดเท่ากัน การบวกกันของเมตริกซ์ A และเมตริกซ์ B สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย A + B คือการรวมกันของสมาชิกของเมตริกซ์ทั้งสองที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน และในทำนองเดียวกันการลบกันของเมตริกซ์ A และเมตริกซ์ B สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย A – B คือการลบกันของสมาชิกของเมตริกซ์ทั้งสองที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

การคูณกันของเมตริกซ์ A และเมตริกซ์ B โดยที่เมตริกซ์ A มีขนาดเท่ากับ m × m และเมตริกซ์ B มีขนาดเท่ากับ p × q สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย AB แล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นเมตริกซ์ C ที่มีขนาดเท่ากับ m × q โดยที่

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \ldots + a_{in}b_{pj} \tag{2.3}$$

สำหรับ i = 1, 2, ..., m และ j = 1, 2, ..., q และเมตริกซ์สองเมตริกซ์จะสามารถคูณกันได้ก็ต่อเมื่อค่าของ n และค่าของ p จะต้องมีค่าเท่ากัน

2.2 เวคเตอร์และเวคเตอร์สเปซ

2.2.1 เวคเตอร์

กำหนดเมตริกซ์ขนาดหนึ่งหลัก (Column matrix) หรือ เวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลัก (Column vector) ซึ่งมีขนาด m × 1 พิจารณาข้อมูลขนาดสองมิติ (Euclidean) อยู่บนตำแหน่ง (x, y) สามารถเขียนโคออดิเนทในรูปของเวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลัก (Column vector) ได้เป็น

$$u = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

ในกรณีของข้อมูลขนาดสามมิติจะได้เวคเตอร์เป็น (x, y, z) และในกรณีของข้อมูลขนาด m มิติ สามารถเขียนสาการเวคเตอร์ได้เป็น

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสมการอยู่ในรูปของเวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลัก (Column vector) การกระทำทางคณิตศาสตร์ระหว่างเวคเตอร์สามารถกระทำได้เช่นเดียวกับการกระทำของเมตริกซ์ ผลคูณของเวคเตอร์และสเกล่าร์คือการคูณระหว่างสมาชิกทุกตัวของเวคเตอร์ด้วยค่าสเกลล่า ผลรวมระหว่างเวคเตอร์ x และเวคเตอร์ y สามารถทำได้โดยการรวมระหว่างค่าสมาชิกแต่ละค่าเข้าด้วยกันและการลบกันระหว่างเวคเตอร์ก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน

2.2.2 เวคเตอร์สเปซ

กำหนดให้ V เป็นเซตที่ไม่ใช่เซตว่าง โดยสมาชิกของเซต V สามารถกระทำการบวกเวคเตอร์สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย $\oplus$ และสามารถกระทำการคูณด้วยสเกล่าร์สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย $\otimes$ จะเรียกเวคเตอร์ V ว่าเวคเตอร์สเปซ (Vector space) ถ้าเวคเตอร์ V มีคุณสมบัติดังนี้

1. $\alpha \oplus \beta$ จะต้องอยู่ในเซต V สำหรับทุกๆสมาชิกใน α และ β ใน V
2. $\alpha \oplus \beta = \beta \oplus \alpha$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α และ β ใน V
3. $\alpha \oplus (\beta \oplus \gamma) = (\alpha \oplus \beta) \oplus \gamma$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α, β และ γ ใน V
4. ใน V จะต้องมีสมาชิก θ เพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่ง $\alpha \oplus \theta = \alpha = \theta \oplus \alpha$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α ใน V
5. สำหรับแต่ละ α ใน V จะต้องมี $-\alpha$ ใน V เพียงตัวเดียวเท่านั้น
   ซึ่ง $\alpha \oplus (-\alpha) = \theta = (-\alpha) \oplus \alpha$
6. $c \otimes \alpha$ จะต้องอยู่ในเซต V สำหรับทุกๆสมาชิกใน α ใน V
7. $c \oplus (\alpha \oplus \beta) = (c \otimes \alpha) \oplus (c \otimes \beta)$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α และ β ใน V
8. $(c + d) \otimes \alpha = (c \otimes \alpha) \oplus (d \otimes \alpha)$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α ใน V
9. $c \otimes (d \otimes \alpha) = (cd) \otimes \alpha$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α ใน V
10. $1 \otimes \alpha = \alpha = \alpha \otimes 1$ สำหรับทุกๆสมาชิกใน α ใน V

พิจารณาเวคเตอร์สเปซของเวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลัก (Column vector) ที่มีขนาด $m \times 1$ ซึ่งสามารถกระทำการบวกด้วยเวคเตอร์และการคูณด้วยสเกล่าร์ได้เหมือนกับการกระทำของเมตริกซ์ สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนสเปซด้วย $\Re^m$ และสามารถเขียนเวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลัก (Column vector) ใน $\Re^m$ ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \qquad (2.6)$$

พิจารณาเวคเตอร์สเปซ V_0 และ V ซึ่งแต่ละสมาชิกของเวคเตอร์ V_0 อยู่ในเวคเตอร์ V นั่นคือ เวคเตอร์ V_0 เป็นสับเซตของเวคเตอร์ V และการกระทำบนเวคเตอร์ V_0 สามารถกระทำได้เช่นเดียวกับเวคเตอร์ V แล้วจะเรียกเวคเตอร์ V_0 เป็นสับสเปซ (Subspace) ของเวคเตอร์ V

กำหนดให้ $S = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$ เป็นเซตของเวคเตอร์ในเวคเตอร์สเปซ V จะเรียกเวคเตอร์ α ใน V ว่าเป็นการรวมเชิงเส้น (Linear combination) ของเวคเตอร์ในเซต S ถ้ามีจำนวนจริง $v_1, v_2, \ldots, v_n$ ที่ทำให้

$$\alpha = v_1\alpha_1 + v_2\alpha_2 + \ldots + v_n\alpha_n \qquad (2.7)$$

เซต S สแปนเวคเตอร์สเปซ V (S Span V) หรือเวคเตอร์สเปซ V ถูกสแปนโดยเซต S ถ้าทุกๆ เวคเตอร์ใน V สามารถเขียนเป็นการรวมเชิงเส้น (Linear combination) ของเวคเตอร์ในเซต S ได้ ถ้าเซต S เป็นเซตที่ไม่มีเวคเตอร์ศูนย์ซึ่งสแปนเวคเตอร์สเปซ V และมี α_i ซึ่งสามารถเขียนเป็นการรวมเชิงเส้น (Linear combination) ของเวคเตอร์ชุดหน้าคือ $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{n-1}$ แล้วเซต $\{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{n-1}, \alpha_{n+1}, \ldots, \alpha_n\}$ จะสแปน เวคเตอร์สเปซ V ด้วย

จะเรียกเซต S ว่าเป็นข้อมูลอิสระแบบเชิงเส้น (Linearly independent) ถ้ามีจำนวนจริง $v_1, v_2, \ldots, v_n$ ที่ทำให้

$$v_1\alpha_1 + v_2\alpha_2 + \ldots + v_n\alpha_n = \theta \qquad (2.8)$$

ให้ S_1 และ S_2 เป็นสับเซตของเวคเตอร์สเปซ V และ S_1 เป็นสับเซตของ S_2 แล้วจะได้ว่า ถ้า S_1 เป็นข้อมูลอิสระแบบเชิงเส้น (Linearly independent) แล้ว S_2 จะเป็นข้อมูลอิสระแบบเชิงเส้น (Linearly independent) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เวคเตอร์นอร์ม (Vector norms)

เวคเตอร์นอร์ม (Vector norm) บนเวคเตอร์สเปซ V คือฟังก์ชั่นที่สมาชิกทุกสมาชิกของเวคเตอร์ v ไม่มีสมาชิกที่มีค่าเป็นศูนย์ในเวคเตอร์สเปซ V ซึ่งจะเรียกว่านอร์มของ v สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย $\|v\|$ โดยเวคเตอร์นอร์มจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. $\|v\| > 0$ สำหรับ $v \neq 0$ ซึ่ง $\|0\| = 0$
2. $\|cv\| = |c|\|v\|$ สำหรับค่าสเกล่าร์ c และเวคเตอร์ v
3. $\|u + v\| \leq \|u\| + \|v\|$

เวคเตอร์นอร์มที่ใช้ในการประมวลผลภาพดิจิตอลคือเวคเตอร์นอร์มขนาดสองมิติ (2-norm) สำหรับเวคเตอร์ x ใน $\Re^m$ สามารถเขียนสเปซได้เป็น

$$\|x\| = \left[x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_m^2\right]^{1/2} \tag{2.9}$$

สมการนี้ก็คือสมการระยะทางของยูคลีเดียน (Euclidean distance) จากจุดศูนย์กลางถึงจุด x และสมการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่ายูคลีเดียนนอร์ม (Euclidean norm) สามารถเขียนสมการของนอร์มได้เป็น

$$\|x\| = \left[x^T x\right]^{1/2} \tag{2.10}$$

โดยที่

$$\left\|x^T y\right\| \leq \|x\|\|y\|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความน่าจะเป็นและตัวแปรเชิงสุ่ม (Probability and Random variable)

3.1 เซตและการกระทำของเซต

3.1.1 เซต

เซตคือกลุ่มของข้อมูล ซึ่งแต่ละข้อมูลในเซตจะอ้างอิงถึงสมาชิกของเซต โดยจะใช้อักษรตัวใหญ่แทนเซต เช่น A, B, และ C เป็นต้น และจะใช้อักษรตัวเล็กแทนสมาชิกของเซต เช่น a, b, และ c สามารถใช้สัญลักษณ์แทนข้อมูล a เป็นสมาชิกของเซต A ได้โดย

$$a \in A \tag{3.1}$$

ถ้า a ไม่เป็นสมาชิกของเซต A จะได้

$$a \notin A \tag{3.2}$$

เซตสามารถแสดงรายละเอียดโดยการแสดงสมาชิกทุกตัว ตัวอย่างเช่น เซต I เป็นเซตของจำนวนเต็มทุกตัว เซต B เป็นเซตของจำนวนเต็มห้าตัวแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$B = \{1, 2, 3, 4, 5\} \tag{3.3}$$

เซตของจำนวนเต็มที่มีค่าน้อยกว่า 10 สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$C = \{c \notin | c < 10\} \tag{3.4}$$

อ่านว่า C เป็นเซตของสมาชิกซึ่งแต่ละสมาชิกของเซตมีค่าน้อยกว่า 10 เงื่อนไข "โดยที่" สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ "|" และสมาชิกของเซตจะแสดงอยู่ภายในเครื่องหมายปีกกา ส่วนเซตที่ไม่มีสมาชิกจะเรียกว่า เซตว่าง สามารถเขียนแทนโดยใช้สัญลักษณ์ ϕ

เซต A และเซต B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของทั้งสองเซตเหมือนกันสามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = B \tag{3.5}$$

เซต A และเซต B จะไม่เท่ากันก็ต่อเมื่อสมาชิกของทั้งสองเซตไม่เหมือนกันสามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A \neq B \tag{3.6}$$

ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต B เป็นสมาชิกของเซต A จะเรียกว่าเซต B เป็นสับเซตของเซต A

$$B \subseteq A \tag{3.7}$$

และถ้าเซต A มีจำนวนสมาชิกมากกว่าเซต B จะเรียกว่าเซต B เป็นสับเซตแท้ของเซต A สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$B \subset A \tag{3.8}$$

พิจารณาเซตยูนิเวอร์แซล (universal set) สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย U โดยกำหนดให้เป็นเซตของสมาชิกทุกตัว ตัวอย่างเช่นการทดลองโยนเหรียญโดยมีโอกาสที่จะเป็นไปได้อยู่สองกรณี คือ หัวหรือก้อย กำหนดให้ H แทนกรณีที่ออกหัวและ T แทนกรณีที่ออกก้อย เซตยูนิเวอร์แซล (universal set) ของกรณีนี้คือ $\{H, T\}$ เซตยูนิเวอร์แซล (universal set) ที่เกิดขึ้นบ่อยเราจะเรียกว่า เซตของการสุ่ม (Sample space) สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย S ในทำนองเดียวกันสำหรับทุกๆเซต A จะได้ $\phi \subseteq A \subseteq S$ และสำหรับสมาชิก a จะได้ $a \notin S$ และ $a \notin \phi$

3.1.2 การกระทำของเซต

การกระทำของเซตมีความสัมพันธ์กับทฤษฎีความน่าจะเป็นโดยตรง ซึ่งการยูเนี่ยน (Union) ของเซต A และเซต B สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A \cup B \tag{3.10}$$

คือเซตของสมาชิกที่อยู่ในเซต A หรือเซต B หรือทั้งสอง สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A \cup B = \left\{ z \middle| z \in A \text{ or } z \in B \right\} \tag{3.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันการอินเตอร์เซคชั่น (Intersection) ของเซต A และเซต B สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A \cap B \tag{3.12}$$

คือเซตของสมาชิกที่อยู่ในทั้งเซต A และเซต B สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A \cap B = \left\{ z \middle| z \in A \text{ and } z \in B \right\} \tag{3.14}$$

ถ้าเซตทั้งสองเซตไม่มีสมาชิกที่เหมือนกันเลยจะเรียกว่า Disjoint หรือ Mutually exclusive สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย $A \cap B = \phi$

คอมพลีเมนท์ของเซต A สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A^c = \left\{ z | z \notin A \right\} \tag{3.15}$$

$(A^c)^c$=A บางครั้งสามารถใช้สัญลักษณ์ $\overline{A}$

ผลต่างระหว่างเซต A และเซต B สามารถใช้สัญลักษณ์ A-B แทนซึ่งหมายถึงเซตที่มีสมาชิกอยู่ใน A แต่ไม่อยู่ใน A สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย

$$A - B = \left\{ z \middle| z \in A, z \notin B \right\} \tag{3.16}$$

หรือสามารถเขียนได้อีกอย่างหนึ่งว่า $(A - B) = A \cap B^c$

3.2 ความถี่สัมพันธ์และความน่าจะเป็น (Relative frequency and probability)

การทดลองเชิงสุ่ม เป็นการทดลองที่ไม่สามารถคาดเดาถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่นการทดลองโยนเหรียญโดยมีโอกาสที่จะออกหัว (H) และมีโอกาสอีกครึ่งหนึ่งที่จะออกก้อย (T) กำหนดให้ n แทนจำนวนครั้งของการโยนเหรียญ n_H แทนจำนวนครั้งที่มีโอกาสที่จะออกหัว และ n_Lแทนจำนวนครั้งที่มีโอกาสที่จะออกก้อย จะได้

$$n_H + n_L = n \tag{3.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หารสมาการทั้งสองข้างด้วย n จะได้

$$\frac{n_H}{n}+\frac{n_T}{n}=1 \qquad (3.18)$$

เรียกเทอมของ n_H/n ว่าความถี่สัมพันธ์ของกรณีที่ออกหัวและ n_T/n คือความถี่สัมพันธ์ของกรณีที่ออกก้อย ถ้าทำการทดลองโยนเหรียญหลายๆครั้งจะสามารถหาค่าความถี่สัมพันธ์ได้และจะเรียกค่านี้ว่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย $P(\text{เหตุการณ์})$ จะได้ $P(H)$ และ $P(L)$ สำหรับกรณีนี้ $P(H)=P(T)=1/2$ จากตัวอย่างในการทดลองโยนเหรียญ กำหนดให้ D แทนสถานการณ์ที่จะออกหัวหรือก้อยและ E แทนสถานการณ์ที่จะไม่ออกหัวหรือก้อย จะได้ $P(D)=1$ และ $P(E)=0$

คุณสมบัติที่สำคัญของ P สำหรับเหตุการณ์ A คือ

$$0\le P(A)\le 1$$

$$p(S)=1$$

$$P(S^c)=0$$

พิจารณากรณีที่เป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ A หรือเหตุการณ์ B หรือทั้งสองเหตุการณ์ซึ่งก็คือการยูเนี่ยน (union) ของเซต A และเซต สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย $A\cup B$ ซึ่งมีความหมายเหมือนกับ $A+B$ ในทำนองเดียวกันการที่จะเกิดเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย $A\cap B$ ซึ่งมีความหมายเหมือนกับ AB

จะทำการทดสอบเป็นจำนวน n ครั้ง โดยกำหนดให้ n_1 แทนจำนวนครั้งที่จะเกิดเหตุการณ์ A, n_2 แทนจำนวนครั้งที่จะเกิดเหตุการณ์ B, n_3 แทนจำนวนครั้งที่จะเกิดเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B, n_4 แทนจำนวนครั้งที่จะเกิดเหตุการณ์ A หรือเหตุการณ์ B จะได้ $n_1+n_2+n_3+n_4=n$ ซึ่งจะได้

$$\frac{n_A}{n}=\frac{n_1+n_3}{n}$$

$$\frac{n_B}{n}=\frac{n_2+n_3}{n}$$

$$\frac{n_{AB}}{n}=\frac{n_3}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\frac{n_{A\cup B}}{n} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{n}$$
$$= \frac{(n_1 + n_3) + (n_2 + n_3) - n_3}{n}$$
$$= \frac{n_A}{n} + \frac{n_B}{n} - \frac{n_{AB}}{n}$$

จะได้

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(AB) \qquad (3.19)$$

ถ้าเซต A และเซต B เป็น mutually exclusive จะได้ AB = 0 และ $P(AB) = 0$
ความถี่สัมพันธ์ที่จะเกิดเหตุการณ์ A และส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ B สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\frac{n_{A/B}}{n} = \frac{\frac{n_{AB}}{n}}{\frac{n_B}{n}}$$
$$= \frac{n_3}{n_2 + n_3}$$

สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขได้เป็น $P(A/B)$ สัญลักษณ์ "/" คือ เงื่อนไขของการเกิดเหตุการณ์ (Conditional occurrence) เรียก $P(A/B)$ ว่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A และก่อให้เกิดเหตุการณ์ B ในทำนองเดียวกันความถี่สัมพันธ์ที่จะเกิดเหตุการณ์ A และส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ B สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{n_{B/A}}{n} = \frac{\frac{n_{AB}}{n}}{\frac{n_A}{n}}$$

$$= \frac{n_3}{n_1 + n_3}$$

เรียก $P(B/A)$ ว่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B และก่อให้เกิดเหตุการณ์ A และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของทั้งสองกรณีได้ดังนี้

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \tag{3.20}$$

และ

$$P(AB) = P(A)P(B|A) = P(B)P(A|B) \tag{3.21}$$

ในทำนองเดียวกันสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$P(B|A) = \frac{P(B|A)P(B)}{P(A)} \tag{3.22}$$

ซึ่งก็คือทฤษฎีของเบย์ (Bayes's theorem) เป็นทฤษฎีของนักคณิตศาสตร์ชื่อว่า โทมัส เบย์ (Thomas Bayes)

3.3 ตัวแปรเชิงสุ่ม (Random variable)

ตัวแปรเชิงสุ่มเป็นค่าที่ไม่สามารถจะคาดเดาล่วงหน้าได้ ซึ่งค่าตัวแปรเชิงสุ่ม x เป็นฟังก์ชั่นของค่าจำนวนจริงซึ่งอยู่บนสถานการณ์ของแซมเปิลสเปซ (Sample space) S หรือจะได้ว่าในแต่ละเหตุการณ์ใน S จะมีจำนวนจริงซึ่งใช้แทนค่าของตัวแปรเชิงสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.4 ค่าคาดหวังและโมเมนท์ (Expected value and Moments)

ค่าคาดหวังของฟังก์ชั่น $g(x)$ ของตัวแปรเชิงสุ่มแบบต่อเนื่องสามารถเขียนเป็นสมการได้โดย

$$E[g(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)\, p(x)\, dx \qquad (3.23)$$

สำหรับกรณีของตัวแปรเชิงสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องสามารถเขียนเป็นสมการได้โดย

$$E[g(x)] = \sum_{i=1}^{N} g(x_i) P(x_i) \qquad (3.24)$$

ค่าคาดหวังเป็นการกระทำที่ใช้มากที่สุดเมื่อกระทำกับตัวแปรเชิงสุ่ม ตัวอย่างเช่นค่าคาดหวังของตัวแปรเชิงสุ่ม x สามารถหาค่าได้โดย $g(x) = x$

$$E[x] = \bar{x} = m = \int_{-\infty}^{\infty} x p(x)\, dx \qquad (3.25)$$

เมื่อ x เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง

$$E[x] = \bar{x} = m = \sum_{i=1}^{N} x_i P(x_i) \qquad (3.26)$$

เมื่อ x เป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง

ค่าคาดหวังของ x จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย $\bar{x}$ และ m

ค่าความแปรปรวนของค่าตัวแปรเชิงสุ่ม สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย σ^2 สามารถหาค่าได้โดย $g(x) = x^2$ จะได้

$$\sigma^2 = E[x^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x)\, dx \qquad (3.27)$$

ในกรณีของตัวแปรเชิงสุ่มแบบต่อเนื่อง

$$\sigma^2 = E[x^2] = \sum_{i=1}^{N} x_i^2 P(x_i) \qquad (3.28)$$

ในกรณีของตัวแปรเชิงสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51835

ค่าความแปรปรวนของตัวแปรเชิงสุ่มสามารถหาค่าได้จากค่าเฉลี่ย จะได้

$$\sigma^2 = E\left[(x-m)^2\right] = \int_{-\infty}^{\infty}(x-m)^2 p(x)\,dx \qquad (3.29)$$

และ

$$\sigma^2 = E\left[(x-m)^2\right] = \sum_{i=1}^{N}\left(x_i - m\right)^2 P\left(x_i\right) \qquad (3.30)$$

สำหรับตัวแปรเชิงสุ่มแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องตามลำดับ และจะเรียกรากที่สองของค่าความแปรปรวนว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถใช้สัญลักษณ์แทนโดย σ กำหนดโมเมนท์ศูนย์กลาง (Central moment) ที่ n ของตัวแปรเชิงสุ่มแบบต่อเนื่องโดย $g(x) = (x-m)^n$ ได้เป็น

$$\mu_n = E\left[(x-m)^n\right] = \int_{-\infty}^{\infty}(x-m)^n p(x)\,dx \qquad (3.31)$$

และ

$$\mu_n = E\left[(x-m)^n\right] = \sum_{i=1}^{N}\left(x_i - m\right)^n P\left(x_i\right) \qquad (3.32)$$

สำหรับตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง

3.5 ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่นแบบปกติ (The Gaussian probability density function)

จะเรียกตัวแปรเชิงสุ่มว่าตัวแปรที่มีการกระจายแบบปกติ (Gaussian) ถ้าความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (Probability density) [2] อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(x-m)^2/\sigma^2} \qquad (3.33)$$

ฟังก์ชั่นของการกระจายแบบสะสม (Cumulative distribution function) ของการกระจายแบบปกติ (Gaussian distribution) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} p(x)dx$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{x} e^{-(x-m)^2/\sigma^2} dx \quad (3.34)$$

3.6 ตัวแปรเชิงสุ่มแบบหลายมิติ (Several random variables)

จากหัวข้อที่แล้วได้แสดงสมการการกระจายของตัวแปรเชิงสุ่มแบบหนึ่งมิติ และจะพิจารณาสมการการกระจายตัวแปรเชิงสุ่มแบบหลายมิติ โดยจะพิจารณาในกรณีของตัวแปรเชิงสุ่มแบบ n มิติ กำหนดตัวแปรแบบสุ่มเป็น $x_1, x_2, \ldots, x_n$ จะได้เวคเตอร์ตัวแปรเชิงสุ่ม x

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

จะได้ฟังก์ชั่นของการกระจายแบบสะสม (Cumulative distribution function) เป็น

$$F(a) = F(a_1, a_2, \ldots, a_n)$$
$$= P\{x_1 \le a_1, x_2 \le a_2, \ldots, x_n \le a_n\} \quad (3.36)$$

การใช้วิธีการของเวคเตอร์มีความยุ่งยากมาก สามารถใช้วิธีของ cdf ของเวคเตอร์ตัวแปรเชิงสุ่มอย่างง่ายได้เป็น $F(x)$ ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของเวคเตอร์ตัวแปรเชิงสุ่ม ในกรณีของตัวแปรแบบหนึ่งมิติ ค่าฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (Probability density) สามารถหาได้จาก cdf ดังนี้

$$P(x) = p(x_1, x_2, \ldots, x_n) \quad (3.36)$$
$$= \frac{\partial^n F(x_1, x_2, \ldots, x_n)}{\partial x_1 \partial x_2 \ldots \partial x_n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าความหนาแน่นแบบหลายตัวแปร (Multivariable density) ค่าคาดหวังของฟังก์ชั่น x สามารถแสดงได้โดย

$$E[g(x)] = E\left[g\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)\right]$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\ldots\int_{-\infty}^{\infty} g\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)p\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)dx_1dx_2\ldots dx_n \quad (3.37)$$

โมเมนท์ร่วมกัน (joint moment) ของลำดับ kq ระหว่างตัวแปร x_i และ x_j คือ

$$\eta_{kq}(i,j) = E\left[x_i^k x_j^q\right] = \int_{-\infty}^{\infty} x_i^k x_j^q p\left(x_i, x_j\right)dx_i dx_j \quad (3.38)$$

จะได้ โมเมนท์ร่วมกัน (Joint moment) เป็น

$$\eta_{kq} = E\left[x^k y^q\right] = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} x^k y^q p(x,y)dxdy \quad (3.39)$$

โมเมนท์ (Moment) $\eta_{11} = E[xy]$ เรียกว่าลำดับสัมพันธ์ (Correlation) ของ x และ y ซึ่งลำดับสัมพันธ์ (Correlation) เป็นหลักสำคัญในการประเมินผลภาพดิจิตอล โดยใช้สัญลักษณ์ R_{xy} แทน จะได้

$$R_{xy} = \eta_{11} = E[xy] = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} xyp(x,y)dxdy \quad (3.40)$$

ถ้าเป็นเงื่อนไข

$$R(x,y) = E[x]E[y]$$

แล้วจะเรียกตัวแปรแบบสุ่มทั้งสองค่านี้ว่าไม่เป็นลำดับสัมพันธ์ (Uncorrelated) และถ้า x และ y เป็นตัวแปรอิสระแล้ว $p(x,y) = p(x)p(y)$ จะได้

$$R_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \int_{-\infty}^{\infty} yp(y)dy = E[x]E[y] \quad (3.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้โมเมนท์ศูนย์กลางร่วมกัน (Joint central moment) ของลำดับ kq ของตัวแปรแบบสุ่ม x และ y เป็น

$$\mu_{xy} = E\left[(x-m_x)^k (y-m_y)^q\right] = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}(x-m_x)^k (y-m_y)^q dxdy \tag{3.42}$$

เมื่อ $m_x = E[x]$ และ $m_y = E[y]$ เป็นค่าเฉลี่ยของ x และ y สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\mu_{20} = E\left[(x-m_x)^2\right]$$

และ

$$\mu_{02} = E\left[(y-m_y)^2\right]$$

และค่าความแปรปรวนของ x และ y สามารถเขียนแทนด้วย μ_{11} จะได้

$$\mu_{11} = E\left[(x-m_x)(y-m_y)\right] = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}(x-m_x)(y-m_y)p(x,y)dxdy \tag{3.43}$$

ซึ่งเรียกว่าโควาเรียนซ์ (Covariance) ของ x และ y ในกรณีของลำดับสัมพันธ์ (Uncorrelated) จะใช้สัญลักษณ์แทนโควาเรียนซ์ (Covariance) ด้วย C_{xy} และกำหนดให้ $m_x = E[x]$ และ $m_y = E[y]$ จะได้

$$\begin{aligned} C_{xy} &= E[xy] - m_y E[x] - m_x E[y] + m_x m_y \\ &= E[xy] - E[x]E[y] \\ &= R_{xy} - E[x]E[y] \end{aligned} \tag{3.44}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่าค่าโควาเรียนซ์ (Covariance) จะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าค่าตัวแปรแบบสุ่มไม่เป็นลำดับสัมพันธ์ (Uncorrelated) หรือเป็นตัวแปรอิสระ

ถ้าหารค่าของโควาเรียนซ์ (Covariance) ด้วยรากที่สองของผลคูณของโควาเรียนซ์ (Covariance) จะได้

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\mu_{11}}{\sqrt{\mu_{20}\mu_{02}}} \\ &= \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \\ &= E\left[\frac{(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x \sigma_y}\right]\end{aligned} \tag{3.45}$$

เรียกค่าของ γ ว่าสัมประสิทธ์ของลำดับสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของตัวแปรแบบสุ่ม x และ y ซึ่งค่าของสัมประสิทธ์ของลำดับสัมพันธ์ (Correlation coefficient) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-1 \leq \gamma \leq 1$

3.7 ความหนาแน่นแบบปกติที่มีหลายตัวแปร (The multivariate Gaussian density)

ในฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (Probability density) ที่มีตัวแปรแบบสุ่มมากกว่าหนึ่งตัว จะพิจารณาด้วยฟังก์ชั่นความหนาแน่นแบบปกติที่มีหลายตัวแปร (Multivariate gaussian density) สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}|C|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(x-m)^T C^{-1}(x-m)]} \tag{3.46}$$

เมื่อ n คือมิติของเวคเตอร์แบบสุ่ม x, C คือค่าเมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix), $|C|$ คือค่าดีเทอมิแนนท์ (Determinant) ของงเมตริกซ์ C, m คือเวคเตอร์ค่าเฉลี่ย (Mean vector) และ T คือการทรานสโฟส (Transposition) ของเมตริกซ์

สามารถหาค่าเวคเตอร์ค่าเฉลี่ย (Mean vector) ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = E[x] = \begin{bmatrix} E[x_1] \\ E[x_2] \\ \vdots \\ E[x_n] \end{bmatrix} \tag{3.47}$$

สามารถหาเมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix) ได้จาก

$$C = E\left[(x-m)(x-m)^T\right] \tag{3.48}$$

C เป็นโควาเรียนซ์ (Covariance) ของ x จะได้

$$c_{ij} = C_{x_i x_j} = E\left[(x_i - m_i)(x_j - m_j)\right] \tag{3.49}$$

โดย x_i เป็นส่วนประกอบที่ i ของ x และ m_i เป็นส่วนประกอบที่ i ของ m

เมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix) เป็นค่าจำนวนจริงและสมมาตร ส่วนประกอบในเส้นทแยงมุมหลักของ C เป็นค่าความแปรปรวนของส่วนประกอบของ x ดังเช่น $c_{ii} = \sigma_{x_i}^2$ เมื่อทุกส่วนประกอบทุกตัวของ x ไม่เป็นลำดับสัมพันธ์ (uncorrelated) และเป็นตัวแปรอิสระ, $c_{ij} = 0$ และเมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix) จะกลายเป็นเมตริกซ์แบบไดอะกอนอล (Diagonal matrix) ถ้าค่าความแปรปรวนทุกค่ามีค่าเท่ากันแล้วเมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix) จะเป็นสัดส่วนกับเมตริกซ์หนึ่งหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function)

ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) คือ ฟังก์ชั่นของตัวแปร x ที่สามารถนำไปสู่กฎของการแบ่งกลุ่ม ตัวอย่างเช่นปัญหาการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่ม ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) คือฟังก์ชั่นของ

$$\begin{aligned} d(x) < k \text{ แล้ว } x \in \omega_1 \\ d(x) > k \text{ แล้ว } x \in \omega_2 \end{aligned} \qquad (4.1)$$

โดยที่ k คือ ค่าเทรสโฮล ส่วนในกรณีที่ค่าฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) มีค่าเท่ากับค่า k ค่าของ Pattern x อาจจะถูกจัดให้อยู่กลุ่มใดก็ได้ ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) สำหรับการจัดแบ่งกลุ่มของกลุ่มสองกลุ่มได้ดังนี้

$$d(x) = \frac{p(x|\omega_1)}{p(x|\omega_2)} \qquad (4.2)$$

โดยที่ $k = p(\omega_2) / p(\omega_1)$

ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์แบบเชิงเส้น (Linear discriminant function)

พิจารณาตัวประกอบแบบเชิงเส้นของตัวประกอบของ $x = (x_1, \ldots, x_n)^T$

$$d(x) = \omega^T x + \omega_0 = \sum_{i=1}^{n} \omega_i x_i + \omega_0 \qquad (4.3)$$

ซึ่งก็คือฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์แบบเชิงเส้น (Linear discriminant function) สามารถอธิบายได้โดยการใช้เวคเตอร์นำหนัก (Weight vector, ω) และนำหนักของค่าเทรสโฮล (Threshold weight, ω_0) สมการข้างบนคือสมการของไฮเปอร์แพลน (Hyperplane) ในรูปของ ω และระยะทางของ $|\omega_0| / |\omega|$ จากจุดศูนย์กลางฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) ของค่าข้อมูล x คือการวัดค่าระทางตั้งฉากจากไฮเปอร์แพลน (Hyperplane) ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Linear discriminant function) ที่สำคัญคือการจัดแบ่งกลุ่มด้วยระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุด (Minimum-distance classification) หรือกฎของ Nearest-neighbor

จากกฎการตัดสินใจของเบย์ (Bayes decision rule)

$$p(\omega_j|x)=\frac{p(x|\omega_j)p(\omega_j)}{p(x)}$$
$$R(\alpha_i|x)=\sum_{j=1}^{c}\lambda(\alpha_i|\omega_j)p(\omega_j|x) \qquad (4.4)$$

Maximum posterior probability สำหรับ x ถ้า $p(\omega_1|x)>p(\omega_2|x)$ แล้ว x จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม ω_1 ถ้าไม่ก็จะจัดให้อยู่ใน ω_2

จาก Maximum likelihood ถ้า $R(\alpha_1|x)<R(\alpha_2|x)$ แล้วจะตัดสินใจเลือก ω_i นั่นคือ

$$\frac{p(x|\omega_1)}{p(x|\omega_2)}>\frac{\lambda_{12}-\lambda_{22}P(\omega_2)}{\lambda_{21}-\lambda_{11}P(\omega_1)} \qquad (4.5)$$

ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function)

จะกำหนดให้ Feature vector x อยู่ในกลุ่ม ω_i ถ้า $d_i(x)>d_j(x)$

จากความหนาแน่นปกติแบบหลายตัวแปร (Multivariate normal density)

$$p(x)=\frac{1}{(2\pi)^{n/2}|\Sigma|^{1/2}}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma^{-1}(x-\mu_i)\right] \qquad (4.6)$$

x คือ เวคเตอร์ขนาดหนึ่งหลักที่มีขนาด n มิติ

μ_i คือ เวคเตอร์ค่าเฉลี่ยขนาด n มิติ

Σ คือ เมตริกซ์โควาเรียนซ์ขนาด n×n

$|\Sigma|$ คือ ดีเทอมิแนนท์ของเมตริกซ์โควาเรียนซ์ขนาด n×n

Σ^{-1} คือ อินเวอร์สของเมตริกซ์โควาเรียนซ์ขนาด n×n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \cdots & \sigma_{1n}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1}^2 & \cdots & \sigma_{nn}^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x-\mu_i)^T(x-\mu_i)$

ถ้า n = 1 แล้วจะได้

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(x-\mu_i)^2}{\sigma^2}\right] \qquad (4.7)$$

4.1 ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ของความหนาแน่นแบบปกติ

จากความหนาแน่นปกติแบบหลายตัวแปร (Multivariate normal density)

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}|\Sigma|^{1/2}}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma^{-1}(x-\mu_i)\right] \qquad (4.8)$$

$$\begin{aligned} d_i(x) &= \ln\left[p(x|\omega_i)\right]\ln P(\omega_i) \\ &= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) - \frac{n}{2}\ln(2\pi) - \frac{1}{2}\ln|\Sigma_i| + \ln P(\omega_i) \\ &= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\ln|\Sigma_i| + \ln P(\omega_i) \end{aligned} \qquad (4.9)$$

ซึ่งสามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็นแต่ละกรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 $\Sigma_j = \sigma^2 I$

โดยที่ข้อมูลเป็นข้อมูลสถิติแบบอิสระและมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน

โดยที่ $\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sigma^2 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|\Sigma| = \sigma^{2n}$$

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{\sigma^2} \end{bmatrix}$$

จะได้ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์แบบเชิงเส้น (Linear discriminant function) เป็น

$$d_i(x) = -\frac{\|x-\mu_i\|^2}{2\sigma^2} + \ln[P(\omega_i)]$$

$$= \frac{x^T x - 2\mu_i^T x + \mu_i^T \mu_i}{2\sigma^2} + \ln[P(\omega_i)]$$

จะได้

$$d_i(x) = \frac{\mu_i^T}{\sigma^2} x + \frac{\mu_i^T \mu_i}{2\sigma^2} + \ln[P(\omega_i)] \qquad (4.10)$$

ซึ่งในเทอมของ $\|x-\mu_i\|$ ก็คือการวัดระยะทางแบบยูคลีเดียน (Euclidean distance)

ถ้าในแต่ละกลุ่มมีค่า $P(\omega_i)$ เท่ากันทุกกลุ่มค่าฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) ก็คือระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุดระหว่างค่า x และค่า Mean vector ของกลุ่ม c จะได้การจัดแบ่งกลุ่มแบบการวัดระทางที่น้อยที่สุด (Minimum-distance classifier)

$$d_i(x) = \frac{\|x-\mu_i\|^2}{2\sigma^2} \qquad (4.11)$$

กรณีที่ 2 $\Sigma_i = \Sigma$

ข้อมูลในแต่ละกลุ่มข้อมูลเป็นมีลักษณะเหมือนกันแต่ไม่ใช่สเกล่าร์ของเมตริกซ์ขนาดหนึ่งหน่วยจะได้ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์แบบเชิงเส้น (Linear discriminant function) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_i(x) = \ln[p(x|\mu_i)] + \ln[P(\omega_i)]$$
$$= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) + \ln[P(\omega_i)] \quad (4.12)$$
$$= \mu_i^T(\Sigma^{-1})^T x - \frac{1}{2}\mu_i^T \Sigma^{-1}\mu_i + \ln[P(\omega_i)]$$

ซึ่งในเทอมของ $(x-\mu_i)^T \Sigma_i^T (x-\mu_i)$ ก็คือการวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance)

กรณีที่ 3 Σ_i = ไม่มีกฎเกณฑ์

ข้อมูลในแต่ละกลุ่มมีเมตริกซ์ของค่าโควาเรียนซ์ (Covariance matrix) ที่แตกต่างกัน

$$d_i(x) = \ln[p(x|\omega_i)] + \ln[P(\omega_i)]$$
$$= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1} - \frac{1}{2}\ln|\Sigma_i| + \ln[P(\omega_i)]$$
$$= -\frac{1}{2}x^T \Sigma_i^{-1} x + \mu_i^T(\Sigma_i^{-1})^T x - \frac{1}{2}\mu_i^T \Sigma_i^{-1}\mu_i - \frac{1}{2}\ln|\Sigma_i| + \ln[P(\omega_i)]$$

(4.13)

4.2 การกระจายแบบปกติสำหรับการจัดแบ่งกลุ่มของเบย์ (Bayes classifiers for normally distributes classes)

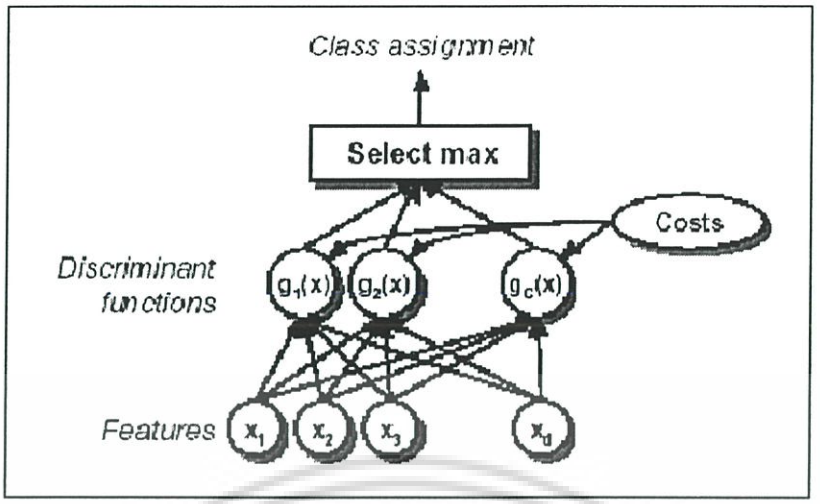
จากกฎการตัดสินใจความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดสามารถเขียนเป็นสมการในเทอมของฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function)

เลือก ω_i ถ้า $d_i(x) > d_j(x)$ โดยที่ $j \neq i$

ซึ่ง $d_i(x) = P(\omega_i|x)$

สำหรับกลุ่มที่เป็นการกระจายแบบปกติ สามารถลดรูปสมการฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) ให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกำหนดสมการฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ให้กับตัวแปรเพื่อใช้การตัดสินใจในการจัดแบ่งกลุ่ม

4.3 รูปแบบสมการทั่วไปของความหนาแน่นแบบปกติ

สามารถเขียนสมการทั่วไปของความหนาแน่นปกติแบบหลายตัวแปร (Multivariate normal density) ได้ดังนี้

$$f_x(x)\frac{1}{(2\pi)^{n/2}|\Sigma|^{1/2}}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu)^T\Sigma^{-1}(x-\mu)\right] \qquad (4.14)$$

จากกฎของเบย์สามารถเขียนสมการฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ ใหม่ได้เป็น

$$d_i(x)=P(\omega_i|x)=\frac{P(x|\omega_i)P(\omega_i)}{P(x)}=\frac{1}{(2\pi)^{n/2}|\Sigma_i|^{1/2}}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i)\right]$$
$$P(\omega_i)\frac{1}{P(x)} \qquad (4.15)$$

ตัดเทอมของค่าคงที่ออกจะได้

$$d_i(x)=|\Sigma_i|^{-1/2}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i)\right]P(\omega_i) \qquad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่ล็อกการิทึมในสมการจะได้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log(\Sigma_i) + \log(P(\omega_i)) \qquad (4.17)$$

ซึ่งจะเรียกสมการนี้ว่าฟังก์ชั่นแบบควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function)

กรณีที่ 1 $\Sigma_i = \sigma^2 I$

กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรเป็นข้อมูลอิสระที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม สามารถเขียนสมการฟังก์ชั่นแบบควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function) ได้เป็น

$$\begin{aligned} d_i(x) &= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T(\sigma^2 I)^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log(\sigma^2 I) + \log(P(\omega_i)) \\ &= -\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu_i)^T(x-\mu_i) - \frac{1}{2}N\log(\sigma^2) + \log(P(\omega_i)) \\ &= -\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu_i)^T(x-\mu_i) + \log(P(\omega_i)) \\ &= -\frac{1}{2\sigma^2}(x^T x - 2\mu_i^T x + \mu_i^T \mu_i) + \log(P(\omega_i)) \end{aligned}$$

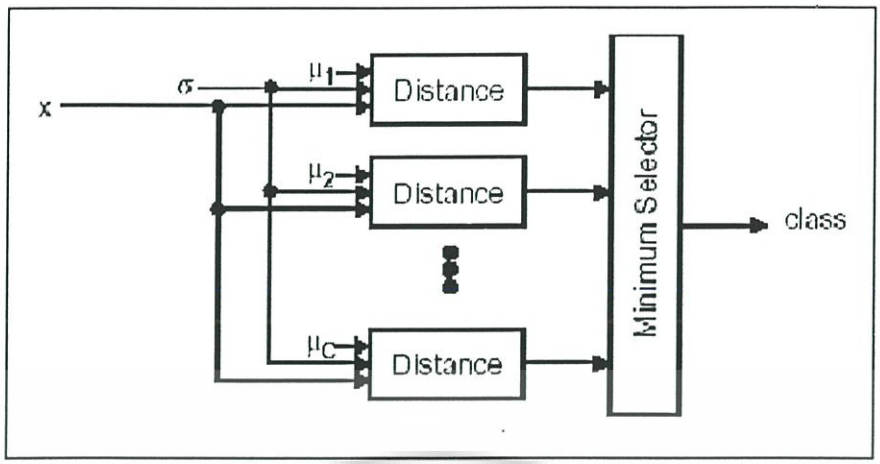
สามารตัดเทอมของ $x^T x$ ซึ่งเป็นค่าคงที่จะได้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2\sigma^2}(-2\mu_i^T x + \mu_i^T \mu_i) + \log(P(\omega_i))$$

ซึ่ง
$$\begin{cases} w_i = \dfrac{\mu_i}{\sigma^2} \\ w_{i0} = -\dfrac{1}{2\sigma^2}\mu_i^T \mu_i + \log(P(\omega_i)) \end{cases} \qquad (4.18)$$

เมื่อดิสไครมิแนนท์เป็นเชิงเส้นขอบเขตของการตัดสินใจจะเป็นไฮเปอร์แพลน (hyper-planes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ฟังก์ชั่นควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function) เมื่อตัวแปรเป็นข้อมูลอิสระที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม

ถ้า

$$d_i(x) = -\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu_i)^T(x-\mu_i) \qquad (4.19)$$

จะเรียกสมการนี้ว่าการวัดระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุด (Minimum-distance) หรือการจัดแบ่งกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยที่มีค่าใกล้กันมากที่สุด (Nearest mean classifier) และความน่าจะเป็นแบบคงที่ของแต่ละกลุ่ม จะเป็นไฮเปอร์สเฟียร์ (Hyper-spheres)

กรณีที่ 2 $\Sigma_i = \Sigma\left(\Sigma \text{diagonal}\right)$

กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรมีค่าเมตริกซ์โควาเรียนซ์ (Covariance matrix) แต่มีค่าความแปรปรวนที่ต่างกัน สามารถเขียนสมการควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function) ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log(\Sigma_i) + \log(P(\omega_i))$$

$$= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \begin{bmatrix} \sigma_1^{-2} & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_N^{-2} \end{bmatrix} (x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log\left(\begin{bmatrix} \sigma_1^{-2} & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_N^{-2} \end{bmatrix}\right) + \log(P(\omega_i))$$

$$= -\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N} \frac{(x[k]-\mu_i[k]^2)}{\sigma_k^2} - \frac{1}{2}\log\prod_{k=1}^{N}\sigma_k^2 + \log(P(\omega_i))$$

$$= -\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N} \frac{x[k^2] - 2x[k]\mu_i[k] + \mu_i[k]^2}{\sigma_k^2} - \frac{1}{2}\log\prod_{k=1}^{N}\sigma_k^2 + \log(P(\omega_i))$$

สามารตัดเทอมของ $x[k]^2$ ซึ่งเป็นค่าคงที่จะได้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N} \frac{2x[k]\mu_i[k] + \mu_i[k]^2}{\sigma_k^2} - \frac{1}{2}\log\prod_{k=1}^{N}\sigma_k^2 + \log(P(\omega_i)) \qquad (4.20)$$

เมื่อดิสไครมิแนนท์เป็นเชิงเส้นขอบเขตของการตัดสินใจ $d_i(x) = d_j(x)$ จะเป็นไฮเปอร์แพลน (Hyper-planes) และความน่าจะเป็นแบบคงที่ (Constant probability) ของแต่ละกลุ่ม จะเป็น Hyper-ellipses aligned ด้วย Feature axis

กรณีที่ 3 $\Sigma_i = \Sigma(\Sigma_{non-diagonal})$

กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรมีค่าเมตริกซ์โควาเรียนซ์ (Covariance matrix) แต่ไม่เป็นไดอะกอนอล สามารถเขียนสมการควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function) ได้เป็น

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log(\Sigma_i) + \log(P(\omega_i))$$

$$= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma^{-1}(x-\mu_i) - \frac{1}{2}\log(\Sigma) + \log(P(\omega_i))$$

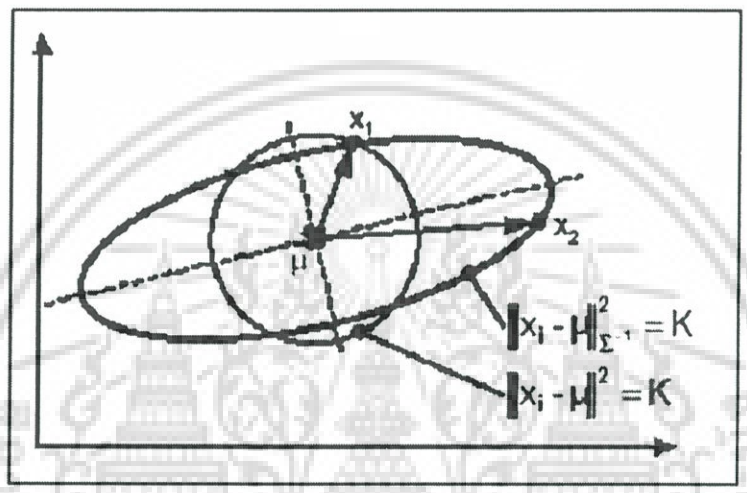
สามารตัดเทอมของ $\log|\Sigma|$ ซึ่งเป็นค่าคงที่จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-\mu_i) + \log(P(\omega_i)) \quad (4.21)$$

จะเรียกสมการนี้ว่าการวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance)

$$\|x-y\|^2_{\Sigma^{-1}} = (x-y)^T \Sigma^{-1}(x-y) \quad (4.22)$$



รูปที่ 4.3 การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance)

การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance) เป็นเวคเตอร์ระยะทางซึ่งใช้ Σ^{-1} norm สำหรับในกรณีที่เป็นเมตริกซ์โควาเรียนซ์แบบหนึ่งหน่วย (Identity covariance matrix, $\Sigma=I$) การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance) จะกลายเป็นการวัดระยะทางแบบยูคลีเดียน (Euclidean distance)

สมการควอดราติกในดิสไครมิแนนท์เป็น

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma^{-1}(x-\mu_i) + \log(P(\omega_i))$$

$$= -\frac{1}{2}(x^T\Sigma^{-1}x - 2\mu_i^T\Sigma^{-1}x + \mu_i^T\Sigma^{-1}\mu_i) + \log(P(\omega_i))$$

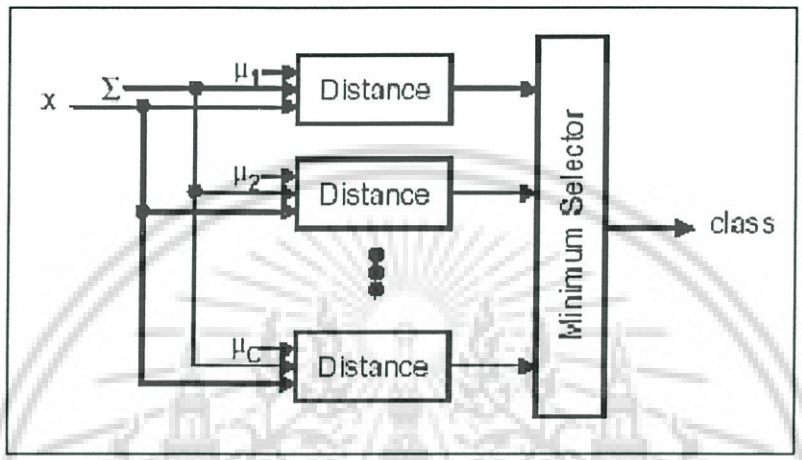
สามารตัดเทอมของ $x^T\Sigma^{-1}x$ ซึ่งเป็นค่าคงที่จะได้

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_i(x) = w_i^T x + w_{i0}$$

$$\text{ซึ่ง} \begin{cases} w_i = \Sigma^{-1}\mu_i \\ w_{i0} = -\frac{1}{2}\mu_i^T\Sigma^{-1}\mu_i + \log P(\omega_i) \end{cases} \quad (4.23)$$



รูปที่ 4.4 สมการควอดาติกดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant function) เมื่อตัวแปรมีค่าเมตริกซ์โควาเรียนซ์ (Covariance matrix) แต่มีค่าความแปรปรวนที่ต่างกัน

ถ้าดิสไครมิแนนท์นี้เป็นเชิงเส้นขอบเขตของการตัดสินใจจะเป็นไฮเปอร์แพลน (Hyper-planes) และความน่าจะเป็นแบบคงที่จะเป็น hyper-ellipses aligned ด้วย eigenvector ของ Σ จะได้

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma^{-1}(x-\mu_i) \quad (4.24)$$

ซึ่งก็คือการจัดแบ่งกลุ่มด้วยการวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Minimum (Mahalanobis) distance classifier)

กรณีที่ 4 $\Sigma_i = \sigma_i^2 I$

ในกรณีนี้แต่ละกลุ่มจะมีค่าเมตริกซ์โควาเรียนซ์ (Covariance matrix) ต่างกัน ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ เมตริกซ์ขนาดหนึ่งหน่วย

จะได้สมการควอดราติกในดิสไครมิแนนท์ (Quadratic discriminant)

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ยกเว้นได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} d_i(x) &= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i)-\frac{1}{2}\log(\Sigma_i)+\log(P(\omega_i)) \\ &= -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\sigma_i^2(x-\mu_i)-\frac{1}{2}N\log(\sigma_i^2)+\log(P(\omega_i)) \end{aligned} \quad (4.25)$$

ขอบเขตของการตัดสินใจจะเป็น hyper-ellipses และความน่าจะเป็นแบบคงที่เป็น hyper-spheres aligned ด้วย feature axis

กรณีที่ 5 $\Sigma_i \neq \Sigma_j$ ซึ่งเป็นกรณีทั่วไป

$$d_i(x) = -\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T\Sigma_i^{-1}(x-\mu_i)-\frac{1}{2}\log(\Sigma_i)+\log(P(\omega_i)) \quad (4.26)$$

สามารถเขียนในรูปแบบของควอดราติกได้เป็น

$$d_i(x) = x^T W_i x + w_i^T x + w_{i0}$$

$$\text{ซึ่ง} \begin{cases} W_i = -\frac{1}{2}\Sigma_i^{-1} \\ w_i = \Sigma_i^{-1}\mu_i \\ w_{i0} = -\frac{1}{2}\mu_i^T\Sigma_i^{-1}\mu_i - \frac{1}{2}\log(\Sigma_i)+\log(P(\omega_i)) \end{cases} \quad (4.27)$$

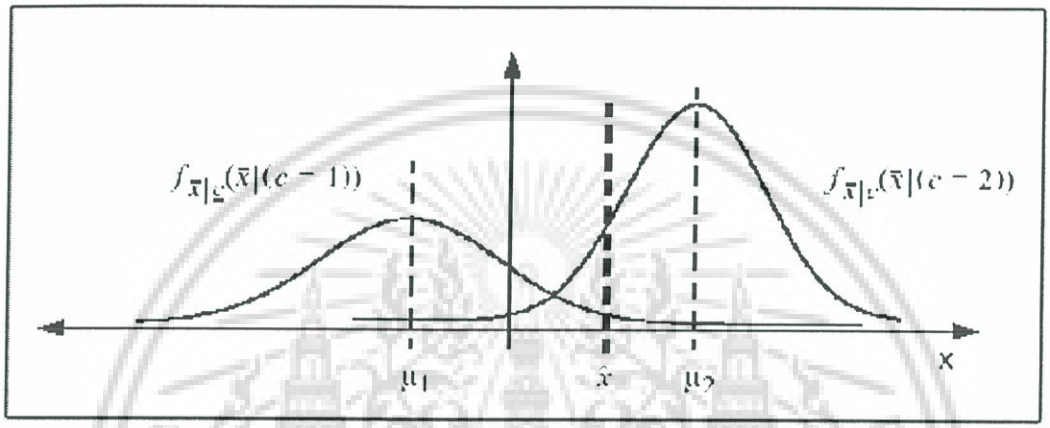
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การจัดแบ่งกลุ่มแบบแม็กซิมั่มไลค์ลี่ฮูด

(Maximum likelihood classification)

พิจารณาปัญหาของการกำหนดการจัดแบงกลุ่มของข้อมูลสองกลุ่ม



รูปที่ 5.1 ค่าเทรสโฮลระหว่างกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลไม่เท่ากัน

การตัดสินใจในการกำหนดขอบเขตของข้อมูลโดยการใช้ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Condition probability) ที่มีค่าสูงที่สุด

$$c^* = \underset{c}{\arg\max} P\left[(c=\hat{c})\middle|(\bar{x}=\hat{\bar{x}})\right] \qquad (5.1)$$

อย่างไรก็ตามไม่สามารถที่จะหาค่าความน่าจะเป็นได้โดยตรงจากข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม ดังนั้น พิจารณา

$$c^* = \underset{c}{\arg\max} P\left[(\bar{x}=\hat{\bar{x}})\middle|(c=\bar{c})\right] \qquad (5.2)$$

กำหนดให้

$$P\left[(c=\hat{c})\middle|(\bar{x}=\hat{\bar{x}})\right] = \frac{P\left[(c=\hat{c}),(\bar{x}=\hat{\bar{x}})\right]}{P(\bar{x}=\hat{\bar{x}})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$P\left[\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\middle|\left(c=\bar{c}\right)\right]=\frac{P\left[\left(c=\hat{c}\right),\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\right]}{P\left(c=\hat{c}\right)}$$

จะได้

$$P\left[\left(c=\hat{c}\right)\middle|\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\right]=\frac{P\left[\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\middle|\left(c=\hat{c}\right)\right]P\left(c=\hat{c}\right)}{P\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)} \quad (5.3)$$

และ

$$\begin{aligned} c^{*} &= \underset{c}{\arg\max}\, P\left[\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\middle|\left(c=\hat{c}\right)\right] \\ &= \underset{c}{\arg\max}\left[P\left(\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\middle|\left(c=\hat{c}\right)\right)P\left(c=\hat{c}\right)\right] \end{aligned} \quad (5.4)$$

ถ้า Class probability มีค่าเท่ากัน จะได้

$$c^{*}=\underset{c}{\arg\max}\left[P\left(\left(\bar{x}=\hat{\bar{x}}\right)\middle|\left(c=\hat{c}\right)\right)\right] \quad (5.5)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ซึ่งใช้ในการตัดสินใจในการที่จะเกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่าการวัดแบบไลค์ลี่ฮูล (Likelihood measure) กฎการตัดสินใจที่มีความเหมาะสมมากที่สุดของการเกิดเหตุการณ์เรียกว่า การตัดสินใจแบบแม็คซิมั่มไลค์ลี่ฮูล (Maximum likelihood decision)

ในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนไม่จำกัด จะใช้การกระจายแบบต่อเนื่องที่เหมือนกัน (Analogous continuous distribution) ซึ่งใช้ในการกำหนดการกระจายปกติแบบหลายตัวแปร (Multivariate Gaussian distribution)

$$\begin{aligned} f_{\bar{x}|c}\left(x_1,\ldots,x_N|c\right) &= f_{\bar{x}|c}\left(\hat{\bar{x}}|\hat{c}\right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\left|C_{\bar{x}|c}\right|}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\hat{\bar{x}}-\mu_{\bar{x}|c}\right)^{T}\underline{C}_{\bar{x}|c}^{-1}\left(\hat{\bar{x}}-\mu_{\hat{\bar{x}}|c}\right)\right] \end{aligned} \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่ล็อคการิทึ่มในสมการ จะได้

$$c^* = \arg\min_c \left[\left(\hat{\bar{x}} - \mu_{\bar{x}|c} \right)^T \underline{C}_{\bar{x}|c}^{-1} \left(\hat{\bar{x}} - \mu_{\hat{\bar{x}}|c} \right) + \ln\left(\left| \underline{C}_{\bar{x}|c}^{-1} \right| \right) \right] \tag{5.7}$$

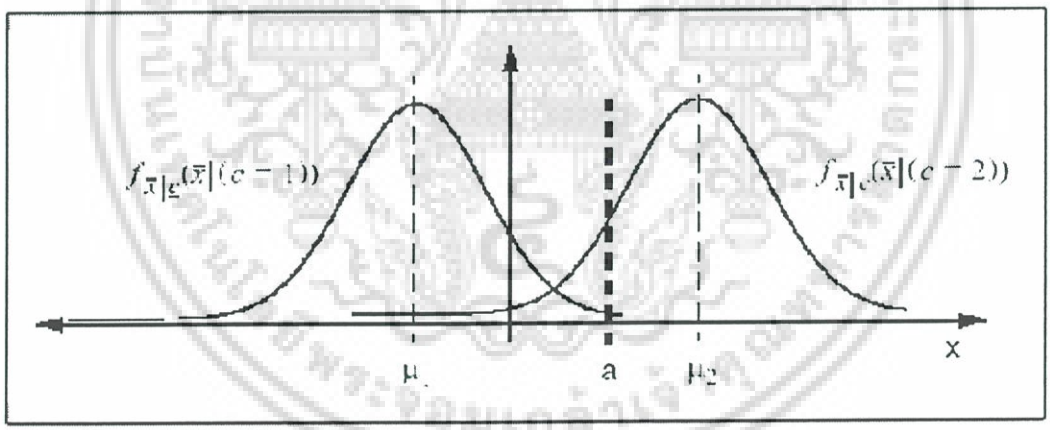
สามารถกำหนดวิธีการวัดระยะทาง จะได้

$$d_{ml}\left(\bar{x}, \bar{\mu}_{\bar{x}|c} \right) = \left(\hat{\bar{x}} - \bar{\mu}_{\bar{x}|c} \right)^T \underline{C}_{\hat{\bar{x}}|c}^{-1} \left(\hat{\bar{x}} - \bar{\mu}_{\hat{\bar{x}}|c} \right) + \ln\left(\left| \underline{C}_{\bar{x}|c}^{-1} \right| \right) \tag{5.8}$$

ถ้าทุกๆกลุ่มมีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนเท่ากันแล้วจะสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$d_M\left(\bar{x}, \bar{\mu}_{\bar{x}|c} \right) = \left(\hat{\bar{x}} - \bar{\mu}_{\bar{x}|c} \right)^T \underline{C}_{\bar{x}|c}^{-1} \left(\hat{\bar{x}} - \bar{\mu}_{\hat{\bar{x}}|c} \right) \tag{5.9}$$

ในกรณีของข้อมูลหนึ่งมิติที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน



รูปที่ 5.2 ค่าเทรสโฮลระหว่างกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลเท่ากัน

สามารถใช้กฎการตัดสินใจในการตั้งค่าเทรสโฮลเพื่อใช้ในการจัดแบ่งขอบเขตของกลุ่มของข้อมูลได้เป็น

$$a = \left(\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right) + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P(c=2)}{P(c=1)} \right) \tag{5.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้

ถ้า $x < a \quad x \in (c = 1)$

ถ้าไม่ $x > a \quad x \in (c = 2)$

5.1 การจัดแบ่งกลุ่มโดยการวัดระยะทาง (Distance based classification)

การจัดแบ่งกลุ่มด้วยระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum Distance Classification (MD))

กำหนดให้ x คือ ตัวแปรซึ่งเป็นอินพุทของการจัดกลุ่มและ μ_i คือลักษณะของแต่ละกลุ่ม โดยที่ i = 1, 2, ..., n ซึ่ง

$$\mu_i = \{\mu_{i1}, \mu_{i2}, \ldots, \mu_{in}\}$$

สามารถคำนวณหาค่าระระทางแบบยูคลีเดียน (Euclidean distance) ระหว่าง x และ μ_i โดยที่ i = 1, 2, ..., n

$$\begin{aligned} D_i &= D(x, \mu_i) = \|x - \mu_i\| \\ &= \sqrt{(x - \mu_i)^T (x - \mu_i)} \end{aligned} \tag{5.11}$$

จะกำหนดให้ x อยู่ในกลุ่มที่ c_i ถ้า $D_i < D_j$ โดยที่ $j \neq i$

จากฟังก์ชั่นการตัดสินใจ (Decision function) และ ขอบเขตการตัดสินใจ (Decision boundary) $d_i(x)$ จะได้

$$\begin{aligned} D_i^2 &= \|x - \mu_i\|^2 = (x - \mu_i)^T (x - \mu_i) \\ &= x^T x + \mu_i^T \mu_i - x^T \mu_i - \mu_i^T x \end{aligned}$$

สามารถตัดเทอม $x^T x$ ได้เพราะเป็นเทอมอิสระ จะได้

$$d_i(x) = 2\left(x^T \mu_i - \frac{1}{2} \mu_i^T \mu_i \right) \tag{5.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\underset{1\le i\le n}{\text{Min}} D_i = \underset{1\le i\le n}{\text{Max}}\, d_i(x) \qquad (5.13)$$

สามารถเขียนกฎการจัดแบ่งกลุ่มใหม่ได้เป็น

กำหนดให้ x อยู่ในกลุ่ม c_i ถ้า $d_i(x) > d_j(x)$ โดยที่ $j \neq i$

ดังนั้น $d_i(x) = x^T\mu_i - \frac{1}{2}(\mu_i^T\mu_i)$ ก็คือ ฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function) ที่ได้มาจาก Minimum distance classification โดยสามารถเขียนเป็นรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$d_i(x) = w_i^T x - w_{n+1} \qquad (5.14)$$

โดยที่

$$w_i = \mu_i$$

$$w_{i+1} = -\frac{1}{2}\mu_i^T\mu_i$$

สามารถเขียนขอบเขตการตัดสินใจ (Decision boundary) ระหว่างกลุ่ม c_i ได้เป็น

$$d_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) \qquad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อัลกอริทึมในการจัดกลุ่ม (Clustering algorithms)

5.2.1 การวัดด้วยความเหมือน (Similarity measures)

ผลลัพธ์ของการจัดแบ่งกลุ่มมีความอ่อนไหวมากในการที่จะเลือกการวัดค่าความเหมือนกันของสมาชิก

1. การวัดระยะทางแบบยูคลีเดียน (Euclidean distance)

$$d(x,y)=\|x-y\|=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}=\sqrt{(x,y)^T(x,y)}$$

2. การวัดระยะทางแบบมินโคว์สกีเมตริกซ์ (Minkowski metric) หรือ p-norm

$$d(x,y)=\|x-y\|^P=\sqrt[P]{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^P}$$

3. การวัดระยะทางแบบการวัดน้ำหนัก (Weighted distance)

$$d_w^2(x,y)=(x-y)^T W(x-y)$$

ถ้า W มีค่าเป็นบวกและมีความสมมาตรแล้ว $W = T^TT$ จะได้

$$\begin{aligned} d_w^2(x,y) &= (x-y)^T T^T T(x-y) \\ &= (\tilde{X}-\tilde{Y})^T(\tilde{X}-\tilde{Y}) \\ &= d^2(\tilde{X}-\tilde{Y}) \end{aligned}$$

โดยที่

$$\tilde{X}=TX$$

$$\tilde{Y}=TY$$

4. การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance)

การวัดระยะทางแบบมาฮาลาโนบีส (Mahalanobis distance) ระหว่าง x และ c_i สามารถหาค่าได้จาก

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(x,m)=(x-m)^{T}C^{-1}(x-m)$$

โดยที่ m คือเวคเตอร์ค่าเฉลี่ย (Mean vector) และ C คือเมตริกซ์โควาเลียน (Covariance metrix) ในกรณีของข้อมูลขนาดหนึ่งมิติสามารถลดรูปแบบของการวัดระยะห่างได้เป็น

$$D(x,m)=\frac{x-m}{\sigma^{2}}$$

5. การวัดมุม (Angle) $S(x,y)$

$$S(x,y)=\frac{x^{T}y}{\|x\|\|y\|}$$

ซึ่งก็คือค่าโคไซน์ระหว่างมุม x และ y

6. การวัดระยะทางแบบโทนิโมโต (Tonimoto distance)

$$T(x,y)=\frac{x^{T}y}{x^{T}x+y^{T}y-x^{T}y}$$

สำหรับค่า x และ y ที่เป็นค่าเลขฐานสอง

7. ลำดับ (Correlation)

$$\phi_{x,y}(\ell)=\sum_{k=0}^{n-\ell}x(k+\ell)y(\ell)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 อัลกอริทึมในการจัดกลุ่มอย่างง่ายด้วยค่าเทรสโฮล (Sample clustering algorithm (Threshold based))

กำหนดให้ $\{x_1, x_2,\ldots, x_n\}$ คือเซตของข้อมูลที่ยังไม่ถูกจัดแบ่งกลุ่ม

1. เลือกวิธีการวัดความเหมือนกันของข้อมูล
2. เลือกค่าเทรสโฮล (Threshold, T)
3. กำหนดให้ $\mu_1 = x_1$
4. คำนวณหาค่า $D(x_2,\mu_1)$ ถ้า $D(x_2,\mu_1) < T$ จะได้ x_2 อยู่ในกลุ่ม c_1 ถ้าไม่จะได้ $\mu_2 = x_2$
5. ถ้า μ_1 และ μ_2 ถูกตั้งค่าแล้ว จะคำนวณหาค่า $D(x_3,\mu_1)$ และ $D(x_3,\mu_2)$
6. ถ้า $D(x_3,\mu_1)$ และ $D(x_3,\mu_2)$ มีค่ามากกว่า T แล้ว $\mu_3 = x_3$ แล้วถ้า $D(x_3,\mu_1) < D(x_3,\mu_2)$จะได้ x_3 อยู่ในกลุ่ม c_1 ถ้าไม่ x_3 อยู่ในกลุ่ม c_2 ทำซ้ำจนกระทั่งข้อมูลทุกตัวถูกจัดเข้ากลุ่มจนครบแล้ว

5.2.3 อัลกอริทึมในการจัดกลุ่มด้วยค่าระยะทางที่มากที่สุด (Maximum clustering algorithm)

กำหนดให้ $\{x_1, x_2,\ldots, x_n\}$ คือเซตของข้อมูลที่ยังไม่ถูกจัดแบ่งกลุ่ม

1. เลือกวิธีการวัดความเหมือนกันของข้อมูล
2. กำหนดให้ $\mu_1 = x_1$ และกำหนดให้ $N_c = 1$ (จำนวนของกลุ่ม)
3. คำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลทั้งหมด
4. หาข้อมูลที่อยู่ห่างจาก x_1 มากที่สุด และกำหนดให้เป็น μ_2 แล้วตั้งค่า $N_c = 2$
5. คำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างทุกๆข้อมูลกับ $\mu_1,\ldots,\mu_{N_c}$

   คำนวณหาค่า $d_i = \underset{1\le j\le N_c}{\text{Min}} \left\| x_i - \mu_j \right\|$ สำหรับทุกๆ $i = 1,2,\ldots,N$

   คำนวณหาค่า $\underset{1\le i\le N}{\text{Max}}\{d_i\} = d_k$
6. ถ้า $d_k > K\left(\left\|\mu_i - \mu_j\right\|\right)$, $i,j = 1,2,\ldots,N_c$, $i \neq j$

   แล้ว $N_c = N_c+1$

   $\mu_{N_c} = x_k$

   ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5

   ถ้าไม่ ให้จัดข้อมูลที่เหลืออยู่เข้าในกลุ่มที่อยู่ใกล้ที่สุด

   หยุดทำงาน

$\left(\left\|\mu_i - \mu_j\right\|\right)$ คือค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มและอาจจะมีค่าน้อยที่สุดของระยะห่างระหว่างกลุ่มหรือค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มเฉลี่ย ส่วนค่าของ K คือฟังก์ชั่นที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเอง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 อัลกอริทึมในการจัดกลุ่มแบบ K-Mean (K-Mean clustering algorithm)

กำหนดให้ K คือจำนวนของกลุ่มของข้อมูล

F คือ ผลรวมของระยะทางยกกำลังสองของทุกข้อมูลในกลุ่มกับค่าเฉลี่ยของกลุ่ม

กำหนดให้ $F_i = \left\| x_j - \mu_i \right\|^2$ เป็นตัวชี้ของการกระทำสำหรับกลุ่มที่ i กับข้อมูล N_i จะได้ $F = \sum_{i=1}^{K} F_i$

กำหนดให้ $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ เป็นเซตข้อมูล N ข้อมูล

1. เลือกค่า K เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มเริ่มต้น $\mu_1^{(1)}, \mu_2^{(1)}, \ldots, \mu_k^{(1)}$
2. กระทำซ้ำเป็นจำนวน j ครั้ง

   กำหนดตัวอย่าง $\{x_i\}_{i=1}^{N}$ ถึง K กลุ่ม โดยการใช้กฎการจัดแบ่งกลุ่มด้วยระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum distance classification)

   x จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม m ถ้า

   $\left\| x - \mu_m^j \right\|^2 < \left\| x - \mu_p^j \right\|^2$ โดยที่ $p \neq m$ และ P, m = 1, 2, ..., K
3. หาค่าศูนย์กลางของการจัดกลุ่มใหม่ $\mu_i^{(j)}$ เมื่อ i = 1, 2, ..., K ด้วยผลรวมของระยะทางยกกำลังสองของข้อมูลทุกข้อมูลในกลุ่มกับค่าศูนย์กลางของการจัดกลุ่มใหม่ $\mu_i^{(j+1)}$ ที่มีค่าน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น $F_i^{(j+1)} \leq F_i^j$ ซึ่ง

   $F_i^{j+1} = \sum_{\mu \in \text{cluster} C_i^{(j)}} \left\| x - \mu_i^{j+1} \right\|^2$ ซึ่ง i = 1, 2, ..., K
4. ถ้า $\mu_i^{(j+1)} = \mu_i^j$ ซึ่ง i = 1, 2, ..., K

   ทำจนกระทั่งเสร็จการประมวลผล หรือกลับไปที่ในขั้นตอนที่สอง

5.2.5 อัลกอริทึมในการจัดกลุ่มแบบ ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

วิธีนี้จะมีลักษณะการประมวลผลคล้ายกับ K-Mean โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นดังนี้

N_c คือจำนวนของกลุ่มที่ต้องการจะจัดแบ่ง

$\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_{N_c}$ คือค่าศูนย์กลางของกลุ่ม

T คือ ค่าเทรสโฮลของจำนวนที่น้อยที่สุดของข้อมูลในกลุ่ม

D คือ ค่าเทรสโฮลของระยะทางระหว่างกลุ่ม

σ_{jmax} คือ ค่าเทรสโฮลของค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด

θ คือ ค่า Lumping parameter หรือจำนวนที่มีค่ามากที่สุดของกลุ่มที่สามารถรวมกันได้

N_D คือ ค่า Upper bound ของจำนวนของกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระจายตัวอย่าง N ไปตามกลุ่มที่มีขนาด N_c โดยการใช้วิธีกฎการจัดแบ่งกลุ่มด้วยระยะทางที่น้อยที่สุด (เหมือนกับกรณีของ K-Mean)
2. ลดค่าของกลุ่มที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรสโฮล

   $N_c = N_c - 1$
3. หาค่าศูนย์กลางของกลุ่มใหม่ (เหมือนกับกรณีของ K-Mean)

   $\mu_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in c_j} x$ โดยที่ j = 1, 2, ..., N_c
4. แบ่งกลุ่ม โดยการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของค่าตัวอย่างในกลุ่ม c_j ถึง μ_j

   $D_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in c_j} \|x - \mu_j\|$ โดยที่ j = 1, 2, ..., N_c

   คำนวณหาค่าระยะทางเฉลี่ยทั้งหมดของตัวอย่างจากค่าศูนย์กลางของกลุ่ม

   $D = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_c} N_j D_j$

   คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

   $\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{x \in c_j} \left(x_{ik} - x_{ij}\right)^2}$ โดยที่ i = 1, 2, ..., n และ j = 1, 2, ..., N_c

   ซึ่ง n คือมิติของ Pattern space และ ค่าความแปรปรวนตามโคออดิเนทที่ i ของสมาชิกของ c_j

   คำนวณค่า $\max_{1 \le j \le N_c} \{\sigma_{ij}\} = \sigma_{jmax}$

   ถ้า $\sigma_{jmax} = \sigma_{max}, D_j > D, N_c < \frac{N_D}{2}$ จะแบ่งกลุ่ม c_j ออกเป็นสองกลุ่มด้วยค่าศูนย์กลาง โดย

   $\mu_j^+ = \mu_j + \gamma_j$

   $\mu_j^- = \mu_j - \gamma_j$

   ซึ่ง $\gamma_j \propto \sigma_{jmax}$

   $N_c = N_c + 1$
5. รวมกลุ่ม แล้วคำนวณหาค่าของระยะทางในแต่ละกลุ่ม

   $D_{ij} = \|\mu_i - \mu_j\|$ โดยที่ i = 1, 2, ..., N_c-1 และ j = i+1, ..., N_c

   ถ้า $D_{ij} < D$ จะรวม c_i และ c_j เข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_i^* = \frac{1}{N_c + N_j}\left[N_i\mu_i + N_j\mu_j\right]$$

$$N_c = N_c - 1$$

ทำจนสามารถรวมกลุ่มที่ θ เข้าไว้ด้วยกัน

ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนกลุ่มของสมาชิกสองรอบของการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ระบบตรวจสอบด้วยความเร็วสูงและทำงานตามเวลาจริง

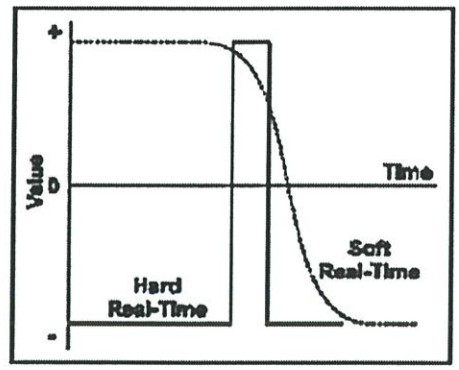
เมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไปตามสายพานลำเลียงจะถูกตัวตรวจจับ (Sensor) ตรวจจับการมาถึงของผลิตภัณฑ์ และตัวตรวจจับ (Sensor) จะส่งสัญญาณไปยังระบบตรวจสอบซึ่งระบบตรวจสอบ จะทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์และดีดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ออกจากสายพานลำเลียง ซึ่งจะสามารถทำได้ในทุกๆความเร็วของสายพานลำเลียงและสามารถทำได้ตามเวลาจริง [8] [10]

ความหมายของคำว่าความเร็วสูง โดยทั่วไปจะนึกถึงเวลาที่สั้นที่สุดที่ใช้ในระหว่างการตรวจจับผลิตภัณฑ์ของตัวตรวจจับ (Sensor) และการประมวลผลของระบบตรวจสอบ แต่ยังมีความหมายที่ดีกว่านั้นก็คือ ระบบตรวจสอบสามารถตรวจจับข้อมูลภาพของผลิตภัณฑ์ได้ด้วยความเร็วสูงและต่อเนื่อง และสามารถประมวลผลข้อมูลภาพของผลิตภัณฑ์ได้ด้วยความเร็วสูง ส่วนอีกความหมายหนึ่งของระบบตรวจสอบซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมก็คือระบบตรวจสอบสามารถทำงานได้เร็วกว่ากระบวนการอื่นๆในสายการผลิตซึ่งถูกจำกัดโดยความเร็วของกระบวนการผลิต

ส่วนความหมายของคำว่าตามเวลาจริงไม่ได้หมายถึงระบบตรวจสอบสามารถทำงานด้วยความเร็วสูง แต่หมายถึงระบบตรวจสอบสามารถตอบสนองต่อเวลาเมื่อเมื่อผลิตภัณฑ์มาถึงและสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์นั้นได้ทันเวลา โดยสามารถเห็นลักษณะการทำงานของระบบตรวจสอบจากเส้นเวลา (Timing) ของระบบตรวจสอบ การทำงานของระบบตรวจสอบจะเก็บข้อมูลภาพของผลิตภัณฑ์ไว้จนกระทั่งระบบตรวจสอบสามารถตัดสินใจว่าจะดีดผลิตภัณฑ์นั้นออกจากสายพานลำเลียงหรือไม่ ยังมีค่าบางค่าที่ระบบตรวจสอบใช้ในการตัดสินใจด้วยเวลาที่แน่นอนดังนั้นมันจึงไม่ใช่ส่วนที่ช้าที่สุดของกระบวนการประมวลผล ถ้าระบบตรวจสอบสามารถทำงานได้เร็วกว่าค่าเวลานี้และค่าของเวลานี้จะถูกจำกัดโดยความเร็วของสายการผลิต ถ้าระบบตรวจสอบสามารถทำงานได้ทันกับค่าเวลานี้แต่บางครั้งอาจจะจะทำงานได้ช้ากว่าเล็กน้อยค่านี้อาจจะถูกทำให้ลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อระบบตรวจสอบทำงานได้ช้ากว่าค่าเฉลี่ยมันจะกลายเป็นคอขวด และค่านี้จะลาดเอียงลงไปทางด้านลบซึ่งระบบนี้จะเรียกว่าค่าเวลาจริงแบบอ่อน (Soft real-time)

ตัวอย่างของระบบตรวจสอบที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ฟังก์ชั่นค่านี้จะมีค่าสูงเมื่อมีการส่งสัญญาณการตัดสินใจดีดผลิตภัณฑ์ออกจาสายพานลำเลียงในขณะที่ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านตัวดีด ถ้าระบบตรวจสอบส่งสัญญาณให้ดีดผลิตภัณฑ์เร็วกว่าหรือช้ากว่าการมาถึงของผลิตภัณฑ์ค่านี้จะมีค่าเป็นลบซึ่งระบบนี้จะเรียกว่าค่าเวลาจริงแบบแข็ง (Hard real-time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ค่าฟังก์ชั่นของ Soft real time และ Hard real time

เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกตัวตรวจจับ (Sensor) ตรวจจับระบบตรวจสอบจะตัดสินใจว่าจะดีดหรือไม่ดีดผลิตภัณฑ์ออกจากสายพานลำเลียง ในทางเทคนิคเวลาระหว่างเหตุการณ์และการตอบสนองของเหตุการณ์ซึ่งจะเรียกว่า ค่าของเวลาในการทำงาน ลักษณะที่สำคัญของระบบที่ทำงานตามเวลาจริงก็คือมีการกำหนดค่าของเวลาในการทำงาน ซึ่งการตอบสนองจะเกิดขึ้นที่เวลาที่สามารถทำนายได้หลังจากการเกิดเหตุการณ์

ความเร็วของระบบและการกำหนดค่าของเวลาในการทำงาน จะมีผลกระทบอย่างมากต่อวิศวกรในการที่จะพัฒนาการออกแบบระบบตรวจสอบ เพื่อที่จะนำไปสู่ระบบความเร็วสูงจะต้องเข้าใจส่วนประกอบต่างๆของระบบ ส่วนในกรณีของการทำงานตามเวลาจริงนั้นยังต้องพิจารณาค่าของเวลาในการทำงาน อีกด้วย

6.1 ค่าของเวลาในการทำงาน

ค่าของเวลาในการทำงาน คือค่าของเวลาระหว่างการเริ่มต้นของการทำงานจนกระทั่งได้ผลของการทำงาน โดยระบบจะมีเวลาของการทำงานทั้งหมด จากตัวตรวจจับ (Sensor) การมาถึงของผลิตภัณฑ์ส่งสัญญาณเอาท์พุทออกมาและระบบตรวจสอบจะเก็บจำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในแบบต่อเนื่อง ค่าของเวลาในการทำงานแต่ละค่าในระบบตรวจสอบจะมีค่าตั้งแต่หลายๆนาโนวินาทีไปจนถึงหลายๆวินาที ค่าของเวลาในการทำงานของระบบจะประกอบไปด้วยค่าของเวลาในการทำงานของแต่ละกระบวนการของระบบ โดยจะแสดงกราฟตัวอย่างในรูปที่ 2-6 ซึ่งจะมีเหตุการณ์ 3 เหตุการณ์คือ เหตุการณ์ A, เหตุการณ์ B และเหตุการณ์ C โดยแต่ละเหตุการณ์จะมีค่าของเวลาในการทำงานของมันเองและมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งค่าของเวลาในการทำงานจะเป็นค่าฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของเวลาที่ใช้ในเหตุการณ์นั้น นั่นคือถ้ารู้ค่าฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของแต่ละค่าของเวลาในการทำงานจะสามารถหาผลรวมของฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นได้

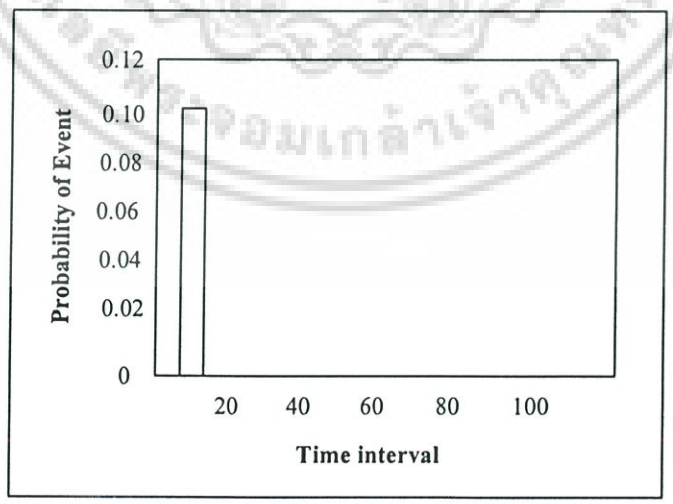
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบที่ทำงานตามเวลาจริงผู้ออกแบบระบบจะไม่สามารถรู้ค่าของเวลาในการทำงานที่แน่นอนของแต่ละเหตุการณ์แต่จะประมาณค่าของเวลาในการทำงานได้จากค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดจากแต่ละค่าของเวลาในการทำงานย่อยๆ ดังตารางข้างล่าง

ตาราง 6.1 การรวมค่าของเวลาในการทำงาน

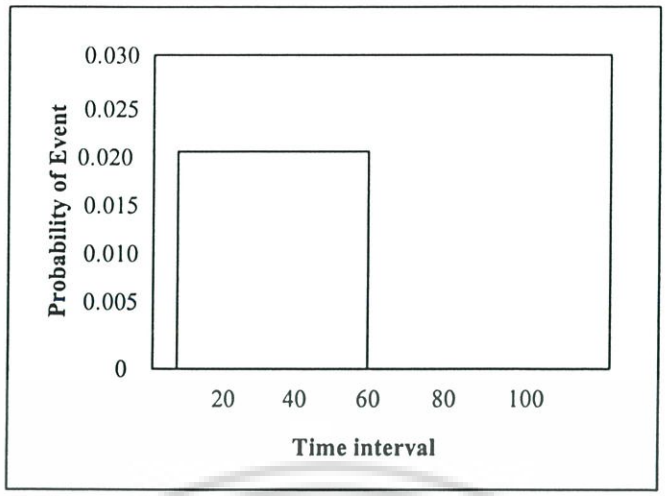
เหตุการณ์	ค่าของเวลาในการทำงาน	
	ค่าที่น้อยที่สุด	ค่าที่มากที่สุด
A	3	12
B	8	57
C	17	35
Total	28	104

ในการออกแบบระบบตามเวลาจริงค่าของเวลาในการทำงาน ไม่ได้หมายถึงเพียงค่าของเวลาในการทำงานที่เปลี่ยนแปลงที่มีค่าเล็กน้อยในการเปรียบเทียบเส้นของเวลา ได้อธิบายการลดค่าของเวลาในการทำงานลงและช่วงของค่าของเวลาในการทำงานในแต่ละส่วนของระบบ สามารถลดค่าของเวลาในการทำงานโดยการซิงโครไนซ์ (Synchronize) ซ้ำในการส่งข้อมูล การซิงโครไนซ์ (Synchronize) ซ้ำมาจากไปป์ไลน์ซึ่งจะลดช่วงของค่าของเวลาในการทำงานโดยการอ้างอิงกับเวลา

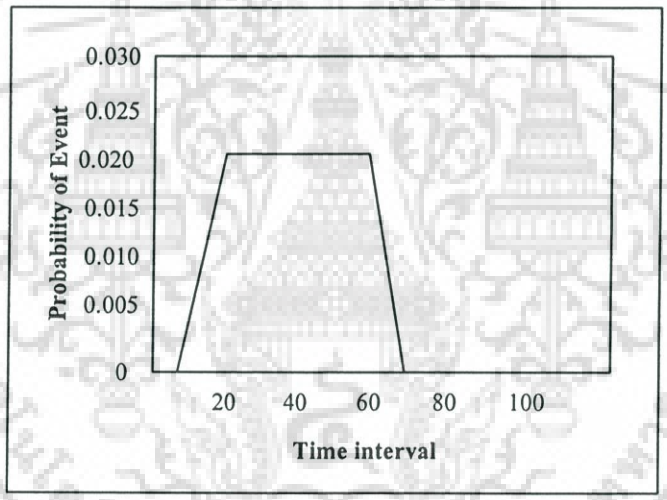


รูปที่ 6.2 เหตุการณ์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

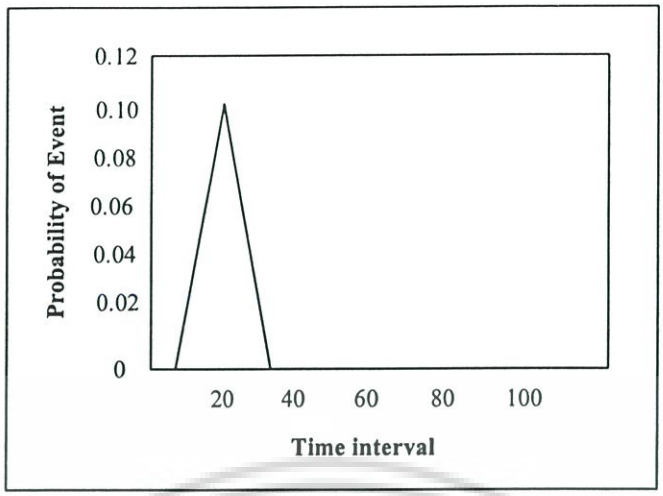


รูปที่ 6.3 เหตุการณ์ B

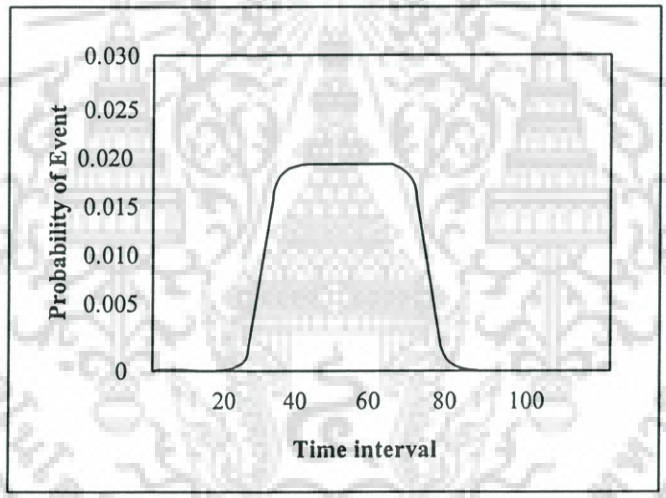


รูปที่ 6.4 การรวมเหตุการณ์ A และ B เข้าไว้ด้วนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 เหตุการณ์ C



รูปที่ 6.6 การรวมเหตุการณ์ A, B และ C เข้าไว้ด้วนกัน

6.2 ข้อมูลภาพ

มีส่วนที่สำคัญอยู่สามส่วนสำหรับการจับภาพแบบตามเวลาจริงคือ สัญญาณจากตัวตรวจจับ (Sensor) สำหรับการเริ่มกระบวนการ การจับข้อมูลของภาพโดยกล้องกล้องจับภาพและการส่งข้อมูลของภาพจากกล้องไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) และส่งข้อมูลจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ไปยังส่วนประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 สัญญาณตรวจจับ

ในการออกแบบระบบตรวจสอบ ตัวตรวจจับ (Sensor) การมาถึงของผลิตภัณฑ์จะส่งสัญญาณไปยังระบบตรวจสอบให้จับภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามจากการออกแบบระบบตรวจสอบเมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่จะต้องจับภาพจะเกิดความแตกต่างของเวลาระหว่างการมาถึงของผลิตภัณฑ์และการส่งสัญญาณการมาถึงของผลิตภัณฑ์ไปยังระบบตรวจสอบซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาเป็นหลายๆนาโนวินาทีไปจนถึงหลายๆมิลลิวินาที

ในการตรวจจับการมาถึงของผลิตภัณฑ์ของระบบตรวจสอบจะมีหลักการที่สำคัญอยู่สองหลักการ แบบแรกเป็นการใช้อุปกรณ์ภายนอกเป็นตัวตรวจจับ (Sensor) การมาถึงของผลิตภัณฑ์อย่างเช่นตัวตรวจจับแบบแสง (Photo sensor) โดยจะส่งสัญญาณออกไปยังระบบตรวจสอบเมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นที่ของการจับภาพ และแบบที่สองคือใช้ระบบตรวจจับภาพทำการจับภาพผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องบนสายพานลำเลียงและจับภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์อยู่บนพื้นที่ที่จะจับภาพ

6.4 ระบบตรวจจับจากภายนอก

โดยส่วนใหญ่ของการตรวจจับการมาถึงของผลิตภัณฑ์ของระบบตรวจสอบจะใช้ตัวตรวจจับแบบแสง (Photo sensor) หรืออุปกรณ์ภายนอกอื่นๆในการตรวจจับเมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่มาถึงพื้นที่ของการจับภาพ นอกจากนี้ระบบตรวจสอบบางระบบตรวจสอบยังใช้ระบบควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller, PLC) ในการจับการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บนตารางดัชนี (Index table) และส่งสัญญาณการมาถึงของผลิตภัณฑ์ไปยังระบบตรวจสอบหลังจากที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในพื้นที่ตรวจสอบ

ส่วนที่สำคัญของระบบตรวจจับแบบภายนอกคือ ค่าหน่วงเวลาและค่าเวลาที่เปลี่ยนแปลงในตัวตรวจจับแบบแสง (Photo sensor) ค่าหน่วงเวลาหรือค่าของเวลาในการทำงานอาจจะมีค่าอยู่ระหว่างหลายๆไมโครวินาทีไปจนถึงหลายๆมิลลิวินาที โดยค่านี้จะมีค่าไม่แน่นอนอาจจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งมิลลิวินาทีหรือมีค่าน้อยเพียงสองถึงสามไมโครวินาที ส่วนในกรณีของระบบควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller, PLC) และตารางดัชนี (Index table) สัญญาณที่ส่งออกจาก PLC จะมีค่าที่ไม่แน่นอน โดยทั่วไปแล้วค่าความหน่วงเวลาของระบบควบคุมแบบโปรแกรมได้จะถูกกำหนดโดยเวลาของการตรวจสอบ (Scan time) ซึ่งก็คือเวลาที่ PLC ใช้ในการตรวจสอบสัญญาณอินพุททุกๆสัญญาณ การกำหนดค่าสถานะใหม่ และแก้ไขค่าเอาท์พุททุกๆเอาท์พุทใหม่ โดยเวลาของการตรวจสอบ (Scan time) จะขึ้นอยู่กับความเร็วของ PLC จำนวนของอินพุทของ PLC จำนวนของเอาท์พุทของ PLC และความซับซ้อนของตรรกะ โดยทั่วไป PLC จะใช้เวลาในการตรวจสอบ (Scan time) ประมาณ 3 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบตรวจสอบรับสัญญาณจากตัวตรวจจับแบบภายนอก ระบบตรวจสอบจะตอบสนองโดยการให้กล้องเริ่มจับภาพของผลิตภัณฑ์รวมไปถึงระบบควบคุมชัตเตอร์ (Shutter) และเริ่มการทำงานของตัวกำเนิดแสง (Strobe light)

เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวจะใช้ซอฟท์แวร์ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับภายนอก แต่บางตัวก็สามารถรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ (sensor) ภายนอกได้โดยตรง เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่ใช้ซอฟท์แวร์ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ (sensor) ภายนอกสามารถทำได้โดยวิธีโพลลิ่ง (Polling) หรือการขัดจังหวะ (Interrupt) สำหรับวิธีโพลลิ่ง (Polling) ซอฟท์แวร์จะทำการตรวจสอบอินพุทเป็นระยะๆเพื่อตรวจสอบการมาถึงของสัญญาณภายนอก ค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่าน้อยที่สุดคือเวลาที่ส่วนประมวลผลอ่านข้อมูลจากพอร์ทอินพุทเพื่อตรวจสอบสัญญาณตรวจจับจากภายนอกและสั่งให้เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เริ่มการรับข้อมูลภาพ ส่วนค่าของเวลาในการทำงานที่มีค่ามากที่สุดคือค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่าน้อยที่สุดรวมกับค่าที่มากที่สุดของการที่ส่วนประมวลผลตรวจสอบสัญญาณตรวจจับจากภายนอกจากพอร์ทอินพุท ค่าเวลาที่มากที่สุดนี้รวมถึงเวลาที่ซอฟทแวร์อ่านพอร์ทของอินพุทซ้ำ กรทำงานของระบบและค่าหน่วงเวลาของการทำงานของส่วนประมวลผลด้วย

สำหรับวิธีการขัดจังหวะ (Interrupt) ค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่าน้อยที่สุดคือเวลาที่ส่วนประมวลผลจดจำการขัดจังหวะ (Interrupt) ควบคุมการส่งสัญญาณในการเรียกโปรแกรมย่อยในการขัดจังหวะ (Interrupt) และส่งสัญญาณไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เพื่อให้กล้องทำงานและเริ่มต้นรับข้อมูลภาพ ส่วนค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่ามากที่สุดคือค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่าน้อยที่สุดรวมกับค่าหน่วงเวลาของคอมพิวเตอร์

เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะทำหน้าที่รับและประมวลผลสัญญาณการตรวจจับจากภาพภายนอกโดยตรงและเริ่มต้นการรับข้อมูลภาพด้วยค่าของเวลาในการทำงาน ที่มีค่าน้อยมาก ค่าของการหน่วงเวลาอาจจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งไมโครวินาที เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวสามารถส่งสัญญาณการขัดจังหวะ (Interrupt) ไปยังส่วนประมวลผลเมื่อเริ่มต้นการจับข้อมูลภาพจนกระทั่งสิ้นสุดการจับข้อมูลภาพ

6.5 ส่วนของการตรวจจับข้อมูลภาพ

ในบางสถานการณ์ระบบตรวจสอบจะทำการพิจารณาข้อมูลของภาพที่ตรวจจับจากภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้ามา ในกรณีนี้จะใช้ซอฟทแวร์ในการจับข้อมูลของภาพและหลังจากที่รับข้อมูลของภาพไว้แล้วบางกระบวนของการประมวลผลภาพจะทำงานเมื่อมีภาพผ่านเข้ามา ในบางส่วนของเทคนิคนี้บางภาพจะถูกใช้ในการตรวจจับและเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับภาพที่เก็บไว้ ในกรณีนี้ภาพใหม่จะถูกตรวจจับโดยคำสั่งของซอฟทแวร์และวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของเวลาในการทำงานของการตรวจจับภาพจะเท่ากับค่าของเวลาในการทำงานของการเก็บข้อมูลภาพ การส่งข้อมูลภาพไปยังระบบตรวจสอบ และการเริ่มการประมวลผลข้อมูลภาพบางข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์จะไม่มีค่าของเวลาในการทำงาน ที่ใช้ในการจับภาพ

6.6 การจับข้อมูลภาพ

ในส่วนนี้กล้องจะจับภาพผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ของการจับภาพซึ่งจะรับข้อมูลภาพโดยเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ซึ่งจะทำงานด้วยความเร็วสูงและทำงานตามเวลาจริง โดยการจับข้อมูลภาพของวัตถุจะสิ้นสุดเมื่อข้อมูลของภาพถูกส่งไปยังส่วนประมวลผล

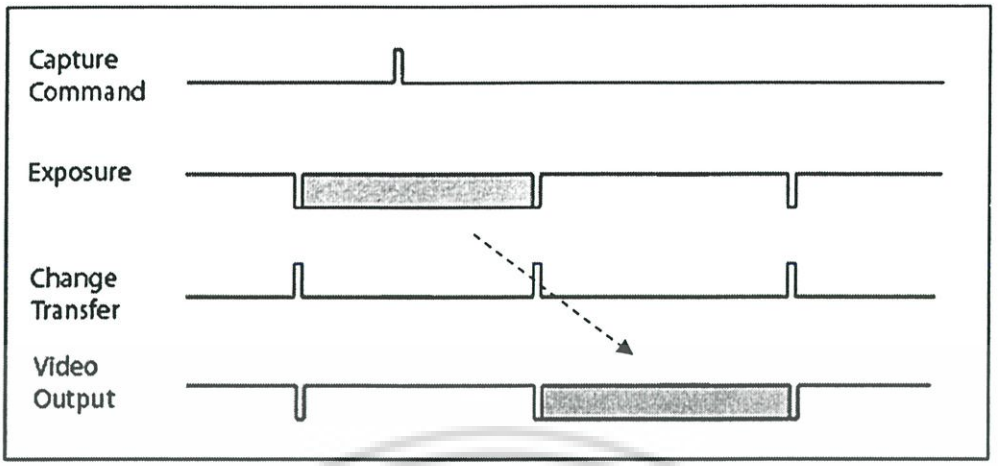
6.7 หลักการทำงานของกล้องจับภาพ

กล้องจับภาพเป็นส่วนหนึ่งของระบบการตรวจสอบ โดยทั่วไปกล้องโทรทัศน์จะถูกนำมาใช้ในเครื่องตรวจสอบแต่จะมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วและการทำงานตามเวลาจริงของระบบตรวจสอบ จึงมีการนำกล้องจับภาพที่มีเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาใช้งานซึ่งสามารถทำงานด้วยความเร็วสูงและสามารถทำงานด้วยเวลาจริง ในส่วนต่อไปจะอธิบายลักษณะของกล้องโทรทัศน์และข้อจำกัดของกล้องจับภาพที่มีผลกระทบจากการทำงานด้วยความเร็วสูงและการทำงานตามเวลาจริง โดยจะพิจารณาถึงการติดต่อกับกล้องจับภาพและเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

6.8 กล้องจับภาพแบบ CCTV

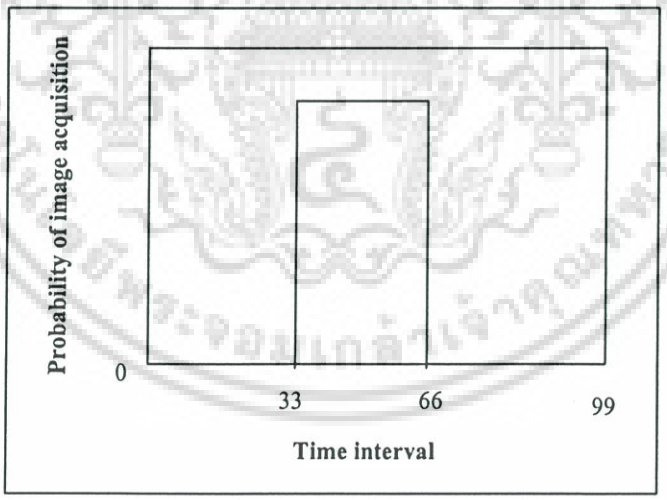
กล้องจับภาพที่สามารถทำงานด้วยความเร็วสูงและการทำงานตามเวลาจริง พิจารณากล้อง CCTV ที่ใช้ในเครื่องตรวจสอบสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของค่าเวลาในรูปที่ 6.7 ซึ่งแสดงการทำงานของกล้องจับภาพ พื้นฐานของการจับภาพเริ่มต้นจากระบบตรวจสอบรับสัญญาณการมาถึงของผลิตภัณฑ์และรับข้อมูลของภาพจากกล้องจับภาพ กล้อง CCTV สามารถทำงานอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่กล้องจับภาพทำงานตรงกับเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ในระบบตรวจจับโดยจะแสดงภาพละส่งสัญญาณภาพออกมา ดังนั้นตัวตรวจจับ(sensor) จะทำงานตรงกับการตรวจจับของกล้องจับภาพ ระบบตรวจสอบจะคอยสัญญาณเป็นเวลานาน 0 ถึง 33 มิลลิวินาทีก่อนที่ข้อมูลภาพที่ตรวจจับโดยกล้องจับภาพเก็บไว้ในรีจีสเตอร์และส่งสัญญาณภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณภาพจากกล้องจับภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) รวมกับเวลา 33 มิลลิวินาทีเป็นเวลาของการจับข้อมูลของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 ค่า Timing การทำงานของ CCTV อย่างง่าย

ในการตัดค่าของเวลาในการทำงาน ของสัญญาณการตรวจจับ (Trigger) จะพิจารณาที่ค่าของเวลาในการทำงานของระบบตรวจสอบในการจับข้อมูลภาพรวมกับค่าของเวลาในการทำงานของการจับภาพและของการส่งข้อมูลภาพ ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.8

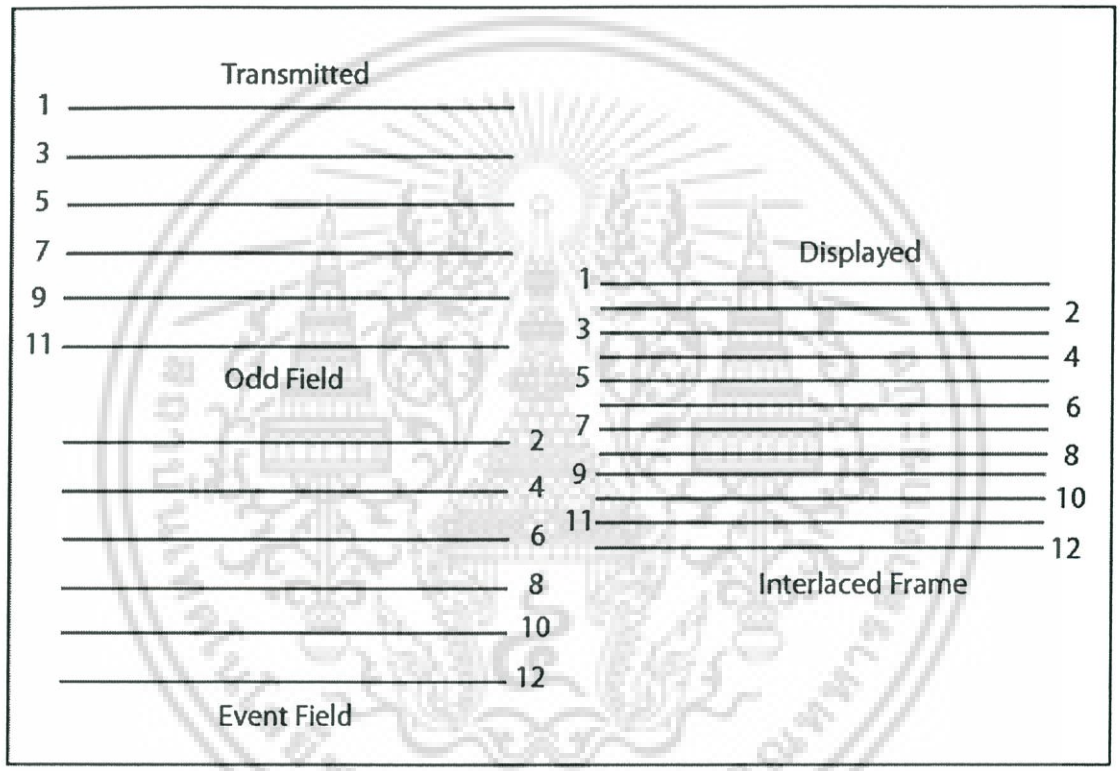


รูปที่ 6.8 ค่า ค่าของเวลาในการทำงาน ของการจับภาพของ CCTV

จากพื้นฐานของกล้อง CCTV ในระบบการตรวจสอบจะใช้เวลาประมาณ 33 ถึง 66 มิลลิวินาทีสำหรับการจับข้อมูลภาพในเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) แต่ยังไม่รวมค่าของเวลาในการทำงานของสัญญาณการตรวจจับ (Trigger) และค่าของเวลาในการทำงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลภาพจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ไปยังส่วนประมวลผล

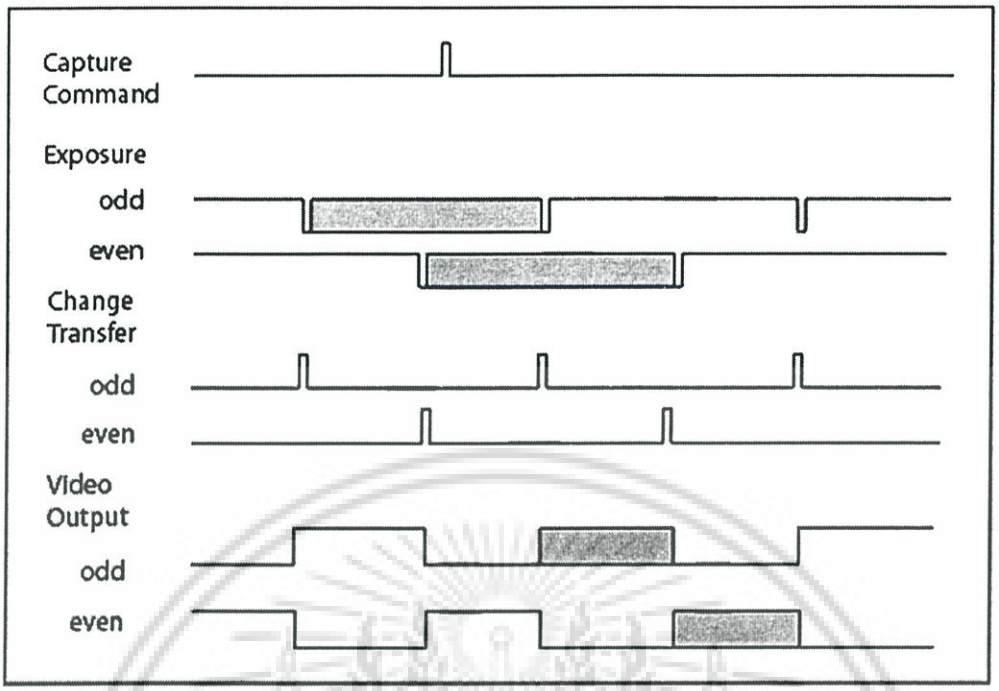
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงของค่าของเวลาในการทำงานของกล้อง CCTV ในระบบของเครื่องตรวจสอบสามารถลดลงได้ครึ่งหนึ่งเมื่อเข้าใจถึงการส่งสัญญาณภาพของกล้อง CCTV และการทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) โดยกล้อง CCTV จะจับภาพและส่งสัญญาณภาพสองส่วนไขว้กัน ส่วนแรกจะประกอบไปด้วยเส้นสัญญาณ (Scan line) ที่เป็นเลขคี่และส่วนที่สองจะประกอบไปด้วยเส้นสัญญาณ (Scan line) ที่เป็นเลขคู่ ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.9 และในรูปที่ 6.10 แสดงค่าเวลาของการจับภาพและการส่งข้อมูลภาพ



รูปที่ 6.9 Interlace scanning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 Interlace timing

6.9 กล้องจับภาพแบบความเร็วสูง

ในการนำกล้องจับภาพมาใช้เพื่อให้ระบบตรวจสอบสามารถทำงานได้เร็วขึ้นและสามารถทำงานได้ตามเวลาจริง ซึ่งจะสามารถลดค่าของเวลาในการทำงานของระบบตรวจสอบลงได้ โดยกล้องจับภาพสามารถจับภาพได้ด้วยความเร็ว 60 เฟรมต่อวินาทีและสามารถลดค่าเวลาของการทำงานลงได้ระหว่าง 17 ถึง 33 มิลลิวินาที แต่การทำงานของกล้องจับภาพความเร็วสูงนี้จะไม่สามารถเข้ากันได้กับมาตรฐานของโทรทัศน์โดยทั่วไปซึ่งใช้การสแกนข้อมูลภาพที่ต่างกันออกไป ดังเช่น กล้องจับภาพแบบ Progressive scan ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

กล้องจับภาพความเร็วสูงแบบพิเศษที่นำมาใช้ในเครื่องตรวจสอบสามารถส่งข้อมูลของภาพได้หลายๆภาพโดยการส่งข้อมูลแบบขนาน ซึ่งจะสามารถส่งข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก จึงมาความจำเป็นที่จะต้องใช้เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่สามารถรับข้อมูลภาพได้จากหลายแหล่งและนำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงใหม่ในหน่วยความจำ

6.9.1 กล้องจับภาพแบบจับภาพเป็นบางส่วน (Partial scanning camera)

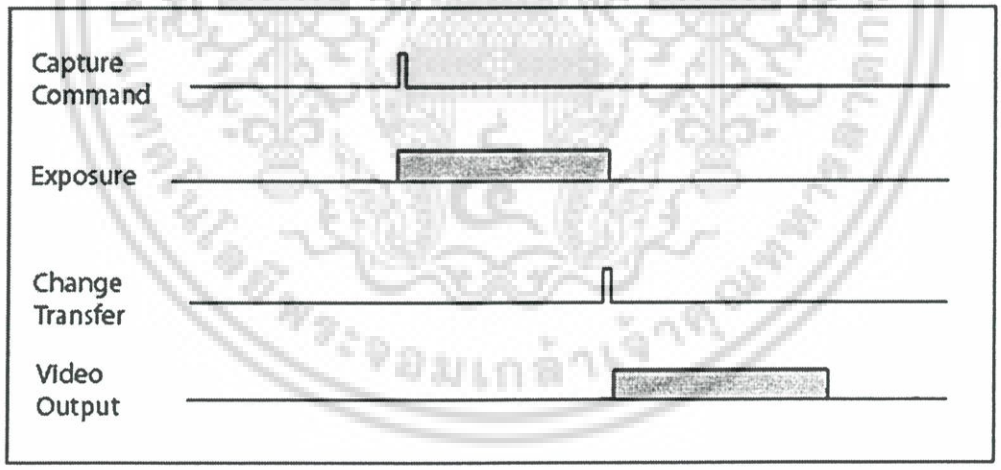
อีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มความเร็วในการจับภาพโดยการใช้กล้องที่สามารถสแกนภาพเป็นส่วนๆ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของการสแกนภาพแล้วส่งข้อมูลภาพออกไป ตัวอย่างเช่น สแกนในแถวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

101 ถึง 200 เป็นต้น ข้อมูลในแถวของการสแกนที่เหลืออยู่จะถูกตัดทิ้งและไม่ส่งไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

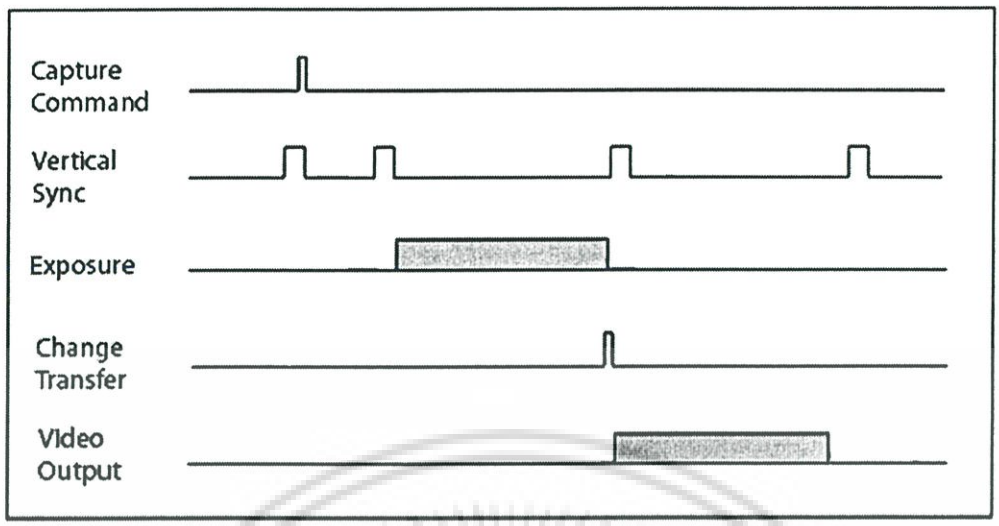
6.9.2 กล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัส

อีกวิธีหนึ่งที่จะสามารถลดค่าของเวลาในการทำงานลงก็คือการใช้กล้องแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous camera) หรือกล้องแบบอะซิงโครนัสที่สามารถรีเซตได้ (Asynchronously resettable camera) โดยกล้องจับภาพจะจับภาพและส่งข้อมูลภาพเรียงกันไปตามลำดับ กล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสจะเริ่มทำการจับภาพตั้งแต่ได้รับสัญญาณการตรวจจับจากภายนอกเข้ามาจนกระทั่งเริ่มการส่งข้อมูลภาพออกไป การทำงานของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสจะทำงานหลังจากที่ได้รับสัญญาณให้เริ่มต้นทำงาน กล้องจับภาพจะเริ่มทำการจับภาพและจะเริ่มสแกนภาพเข้ามาโดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นของเส้นสัญญาณภาพ แล้วส่งข้อมูลภาพที่ได้ไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) รูปที่ 6.11 แสดงไดอะแกรมของค่าเวลาการทำงานของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัส และในรูปที่ 6.12 แสดงไดอะแกรมของค่าเวลาการทำงานของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสที่สามารถรีเซตได้ (Asynchronously resettable camera)



รูปที่ 6.11 ค่าเวลาของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous camera)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 ค่าเวลาของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสที่สามารถรีเซตได้ (Asynchronously resettable camera)

สำหรับค่าของเวลาในการทำงานของกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเวลาที่ใช้ในการจับภาพ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป (สามารถตัดทิ้งได้) และเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เนื่องจากกล้องความเร็วสูงมีการทำงานที่ไม่เหมือนกับกล้อง CCTV ค่าของเวลาในการทำงานจึงขึ้นอยู่กับกล้องแบบสามารถจับภาพบางส่วนได้ (Particular camera) และวิธีการใช้งาน

6.9.3 การเกิดภาพเบลอของข้อมูลภาพ

ถ้าในกล้องจับภาพไม่สามารถจับภาพได้ทันกับความเร็วของผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดภาพเบลอขึ้นได้ ความเบลอของภาพจะขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนไหวของผลิตภัณฑ์ ขนาดของพื้นที่ในการจับภาพ และเวลาในการจับภาพ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$B = V_P \times T_E \times N_P / FOV \qquad (6.1)$$

โดยที่

B คือ ค่าความเบลอของภาพ

V_P คือ ความเร็วของวัตถุที่จะจับภาพ

FOV คือ ขนาดของพื้นที่ที่จะจับภาพในแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุ

T_E คือ เวลาในการจับภาพมีหน่วยเป็นวินาที

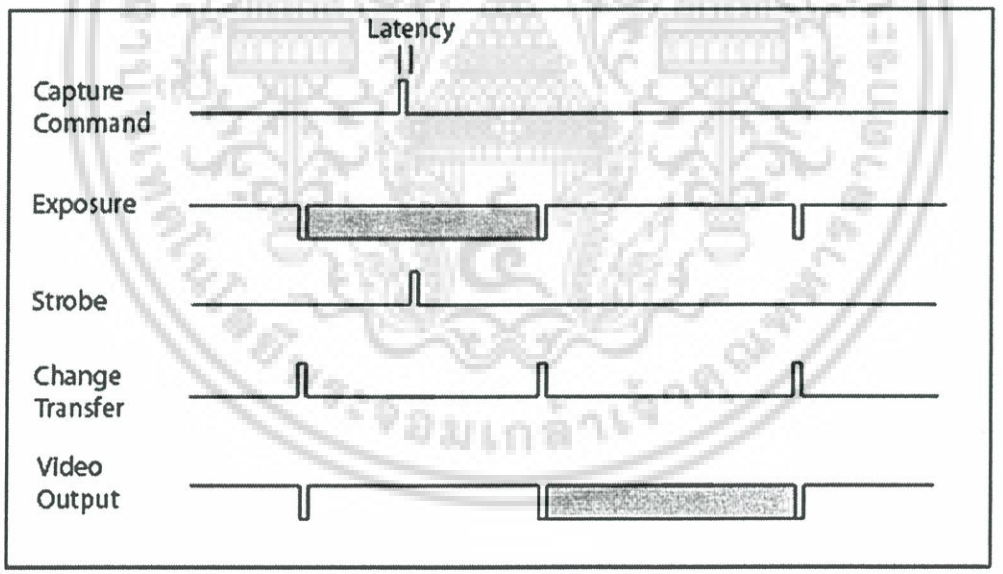
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N_p คือ จำนวนของพิกเซลใน FOV

ในทางปฏิบัติการลดการเบลอของภาพจะต้องลดความเร็วของวัตถุที่จะจับภาพลงหรือลดเวลาในการจับภาพลง ในระบบที่ทำงานตามเวลาจริงและทำงานด้วยความเร็วสูงสามารถที่จะลดเวลาในการจับภาพลงได้โดยกล้องจับภาพที่มีชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์หรือใช้ไฟแฟลซ์ในการหยุดภาพของวัตถุ

6.10 แหล่งกำเนิดแสง (Strobe illumination)

ไฟแฟลซ์ (Strobe light) แบ่งออกเป็นสองประเภทคือไฟแบบซีนอน (Xenon strobe) และไฟแบบพลัสแอลอีดี (Pulse LED light) ซึ่งใช้ในการหยุดภาพของวัตถุ ไฟแบบซีนอน (Xenon strobe) ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 250 นาโนวินาทีถึง 8 มิลลิวินาที ส่วนไฟแบบพลัสแอลอีดี (Pulse LED light) จะใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า 1 ไมโครวินาที แต่ Light pulse โดยทั่วไปใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 5 ไมโครวินาที โดยสามารถแสดงการทำงานของไฟแฟลซ์ (Strobe light) ได้ดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 ค่าเวลาของกล้องที่ทำงานร่วมกับไฟแฟลซ์ (Strobe light)

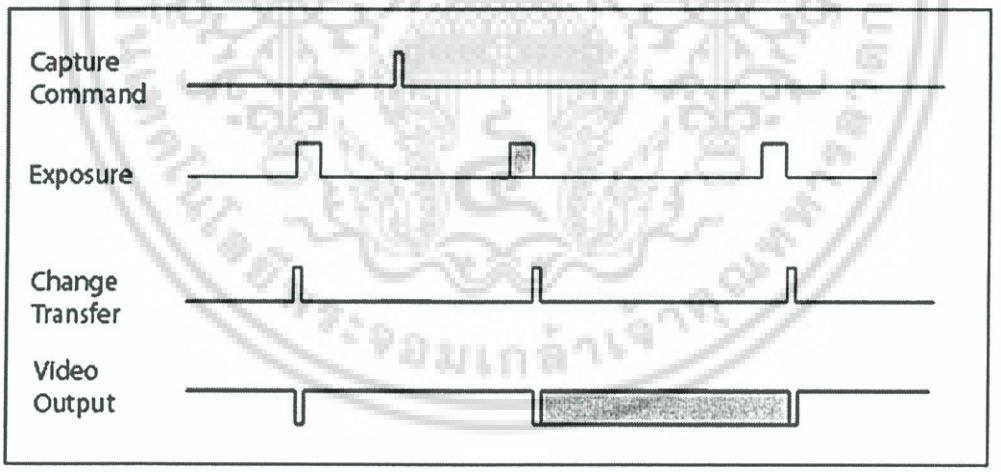
ยังมีค่าหน่วงเวลาหรือค่าของเวลาในการทำงานระหว่างสัญญาณคำสั่งของการจับภาพ (Capture command signal) และเวลาในการทำงานของไฟแฟลซ์ (Strobe light) ค่าของเวลาในการทำงานนี้สามารถหาค่าได้จากผลรวมของค่าหน่วงเวลาระหว่างการจับภาพและการทำงานของไฟแฟลซ์ (Strobe light) รวมกับค่าหน่วงเวลาระหว่างการรับคำสั่งของไฟแฟลซ์ (Strobe light) ใน

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานและการทำงานของไฟแฟลซ์ (Strobe light) ไฟแฟลซ์และระบบควบคุมการทำงานของมันที่ทำให้ค่าของเวลาในการทำงานเปลี่ยนแปลงจะเรียกว่าจิตเตอร์ (Jitter) โดยทั่วไปค่าเวลาของจิตเตอร์ (Jitter) ของไฟแบบซีนอน (Xenon strobe) และ Pulse light นี้จะมีค่าเท่ากัน

6.11 ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์

ส่วนของการรับภาพในส่วนจับภาพของกล้องจะรีเซ็ตที่จุดสิ้นสุดของช่วงของการจับภาพแล้วส่งข้อมูลของภาพที่จับได้ไปยังรีจิสเตอร์ของเอาท์พุท สามารถลดเวลาที่ใช้ในการรีเซ็ตของส่วนรับภาพนี้ได้ก่อนที่จะส่งข้อมูลของภาพที่จับได้ไปยังรีจิสเตอร์ของเอาท์พุท สามารถแสดงค่าเวลาของการทำงานสำหรับกล้องแบบโปรเกรสซีส-สแกน (Progressive scan) ที่ใช้ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์ได้ในรูปที่ 16 ค่าความเร็วในการทำงานสูงสุดที่ใช้ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์จะขึ้นอยู่กับกล้อง โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 20 ไมโครวินาที แต่บางตัวสามารถทำงานด้วยความเร็วต่ำกว่า 1.25 ไมโครวินาที ขึ้นอยู่กับการออกแบบของกล้อง ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์จะถูกควบคุมโดยวงจรอิเลคโทรนิกส์ภายในกล้องหรืออาจจะถูกควบคุมการทำงานโดยสัญญาณควบคุมจากระบบตรวจสอบ



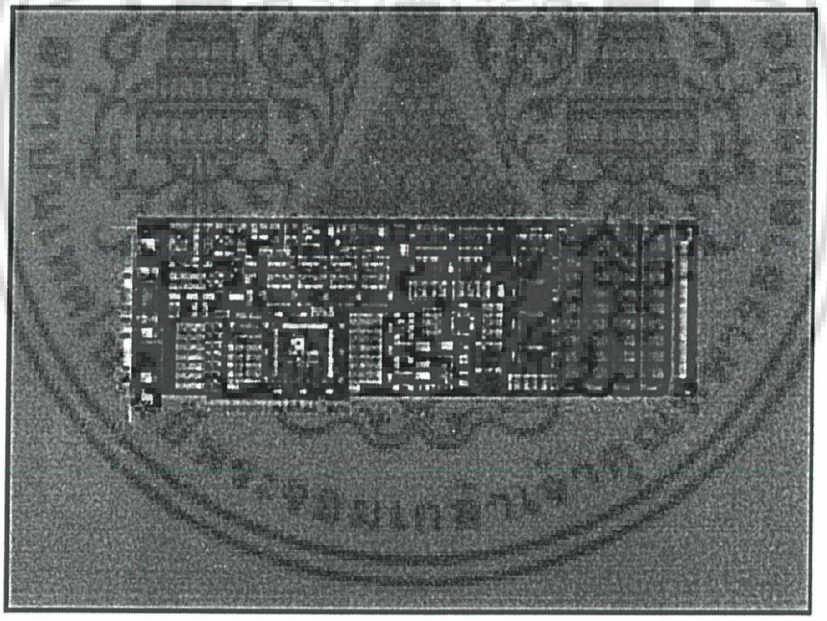
รูปที่ 6.14 ค่าเวลาของกล้องที่ทำงานร่วมกับชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์ (Electronic Shutter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล

โดยพื้นฐานของระบบตรวจสอบแล้วเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะเชื่อมต่ออยู่ระหว่างกล้องและคอมพิวเตอร์ ซึ่งเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะทำหน้าที่รับข้อมูลภาพจากกล้องแล้วส่งข้อมูลภาพออกไปยังคอมพิวเตอร์โดยสามารถทำงานด้วยความเร็วสูงและสามารถทำงานได้ตามเวลาจริง เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) สามารถทำงานได้กับทั้งกล้องแบบโปรเกรสซีส-สแกน (Progressive scan), กล้องแบบอะซิงโครนัสและกล้องแบบจับภาพเป็นบางส่วนได้ (Partial scan) ในการ์ดของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทที่ใช้ในการติดต่อกับกล้อง รับสัญญาณจากตัวตรวจจับภายนอก และสัญญาณจากไฟแฟลช์



รูปที่ 7.1 เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

7.1 การส่งข้อมูลภาพ

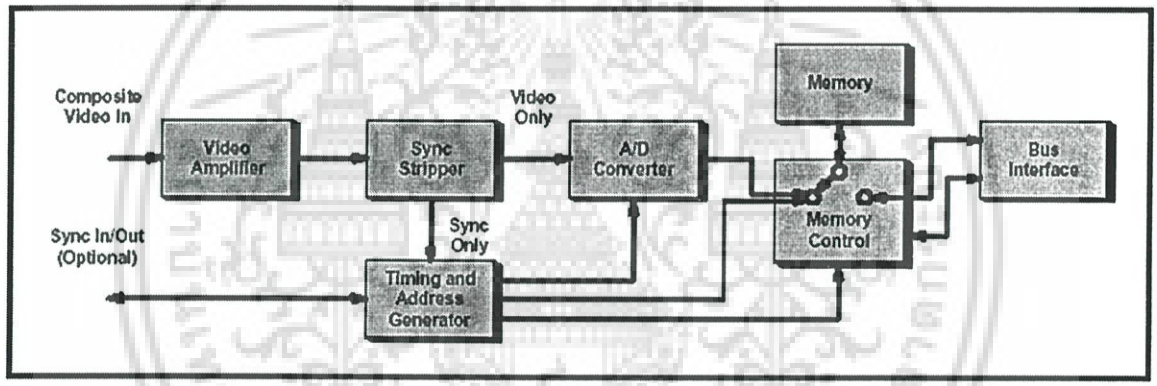
ระบบตรวจสอบในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้หน่วยความจำร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางบัส PCI เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลภาพได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 พื้นฐานการทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล

หลักการโดยทั่วไปที่ทำให้เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) สามารถส่งข้อมูลภาพออกไปยังส่วนประมวลผลด้วยความเร็วสูงและสามารถทำงานได้ตามเวลาจริงนั้น จะมาพิจารณากันที่การทำงานแบบพื้นฐานของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่ทำงานร่วมกับกล้อง CCTV ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 7.2

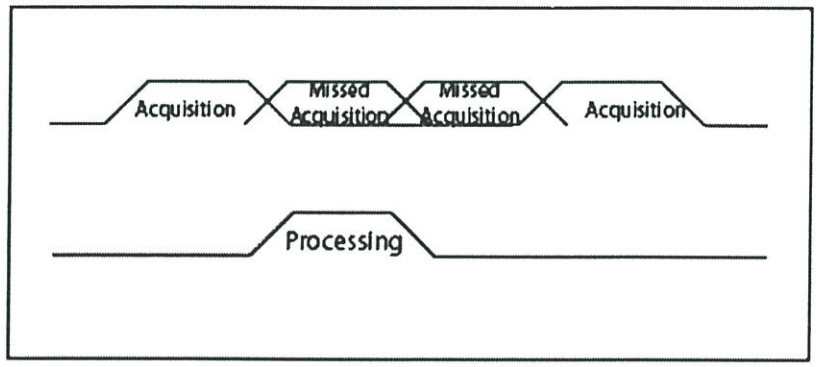
เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะรับสัญญาณภาพแต่ละส่วน แล้วจะแยกสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ออกจากกัน จากนั้นสัญญาณภาพจะถูกดิจิไตซ์แล้วส่งเข้าไปเก็บอยู่ในหน่วยความจำของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เมื่อได้ภาพจนครบเฟรมแล้ว หน่วยความจำจะทำการเชื่อมต่อกับบัสของคอมพิวเตอร์ จากนั้นเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ก็จะส่งข้อมูลภาพทั้งหมดไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางบัสของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7.2 บล๊อคไดอะแกรมของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

ค่าของเวลาในการทำงาน คือ ค่าที่ส่วนประมวลผลใช้ในการรับข้อมูลของภาพ โดยส่วนประมวลผลสามารถประมวลผลข้อมูลภาพได้ครั้งละหนึ่งข้อมูลเท่านั้น นั่นคือสำหรับในการจับภาพของกล้อง CCTV ข้อมูลภาพบางข้อมูลอาจจะไม่ทันได้ถูกประมวลผลซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถรับข้อมูลภาพและความสามารถในการประมวลผลของส่วนประมวลผล เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) มีความสามารถรับข้อมูลภาพและประมวลผลข้อมูลภาพนั้นโดยใช้เวลาเพียง 67 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่รับข้อมูลภาพ 15 ข้อมูลภาพต่อวินาที ในทางปฏิบัติสามารถรับข้อมูลภาพ 7.5 ข้อมูลภาพต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

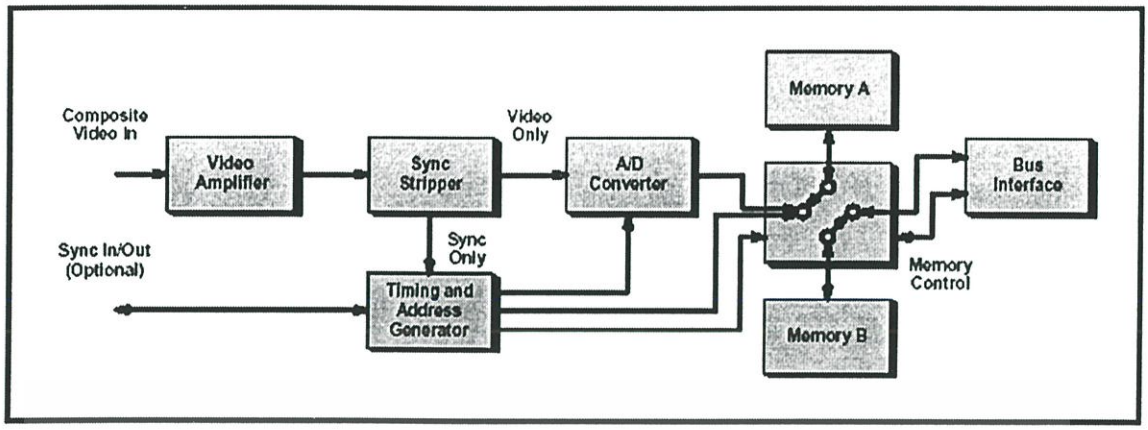


รูปที่ 7.3 ค่าเวลาของตัวจับภาพอย่างง่าย

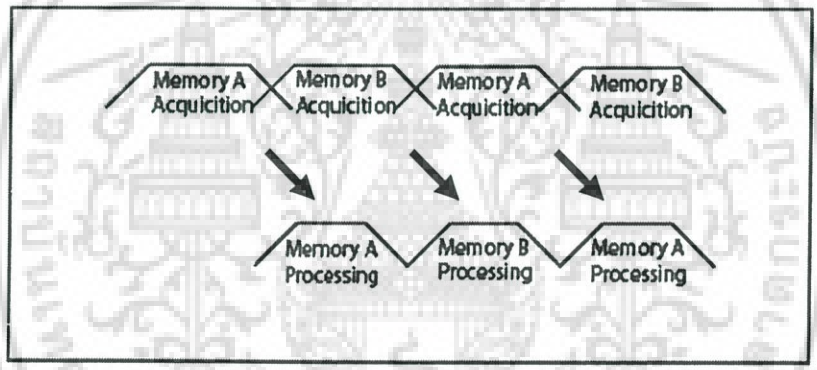
7.3 ตัวจับภาพที่ใช้หน่วยความจำแบบปิงปอง (Ping-pong memory)

มีการประยุกต์ใช้หน่วยความจำแบบปิงปองบนเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานให้กับเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) โดยที่เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะมีหน่วยความจำอยู่สองส่วนดังที่แสดงในรูปที่ 7.4 โดยหน่วยความจำแรกจะทำหน้าที่รับข้อมูลภาพที่เข้ามาและหน่วยความจำอีกส่วนจะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับบัสของคอมพิวเตอร์ โดยที่หน่วยความจำทั้งสองจะสลับหน้าที่กันทำงานในการรับข้อมูลภาพและการเชื่อมต่อกับบัสของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะสามารถทำงานเหลื่อมเวลากันได้ระหว่างการรับข้อมูลภาพและการเชื่อมต่อกับบัสของคอมพิวเตอร์ดังที่ได้แสดงค่าเวลาของการทำงานในรูปที่ 7.5 เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่ใช้เทคนิคหน่วยความจำแบบปิงปองนี้สามารถรับข้อมูลภาพและประมวลผลภาพได้ 30 ข้อมูลภาพต่อวินาที ในทางปฏิบัติสามารถรับข้อมูลภาพ 15 ข้อมูลภาพต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 ตัวจับภาพแบบอาศัยการทำงานของหน่วยความจำแบบปิงปอง (Frame grabble with Ping-pong memory)



รูปที่ 7.5 ค่าเวลาของตัวจับภาพแบบอาศัยการทำงานของหน่วยความจำแบบปิงปอง

7.4 การปรับปรุงการส่งข้อมูลภาพ

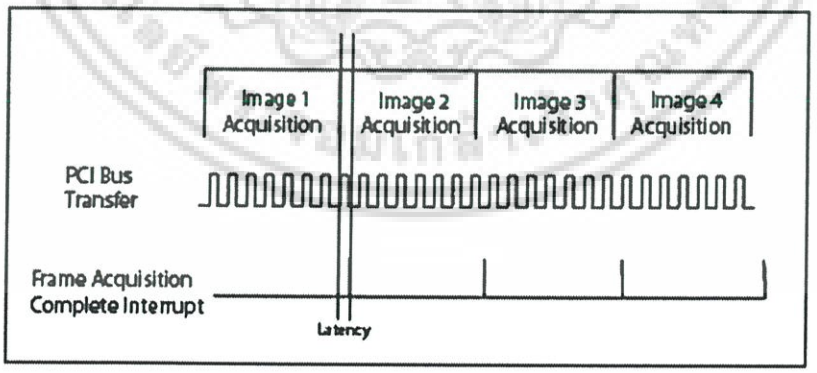
ความเร็วในการส่งข้อมูลภาพจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ไปยังส่วนประมวลผลโดยผ่านทางบัสของคอมพิวเตอร์มีใช้กันมานานแล้ว ในปัจจุบันการส่งข้อมูลภาพระหว่างเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) และส่วนประมวลผลสามารถทำกันผ่านทางบัส PCI หรือคอมแพล็ค PCI ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วสามารถส่งข้อมูลกันได้ด้วยความเร็ว 132 เมกกะไบท์ต่อวินาที แต่ในทางปฏิบัติสามารถส่งข้อมูลกันได้ด้วยความเร็วสูงสุดเพียง 100 เมกกะไบท์ต่อวินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชิปเซตของเมนบอร์ดและส่วนประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์และการส่งข้อมูลของอุปกรณ์อื่นๆที่ทำกันบนบัส โดยในการออกแบบระบบตรวจสอบผู้ออกแบบจะต้องเลือกใช้ชิปเซตที่เหมาะสมและเลือกการจัดการกับคอมพิวเตอร์เพื่อให้มีการส่งข้อมูลของอุปกรณ์อื่นบนบัสให้มีน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่บัสแบบ PCI มีความเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับบัสของคอมพิวเตอร์แบบเก่า แต่ก็ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบัสแบบโพเทนเชียลและก็ช้ากว่ามากๆเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยความจำที่อยู่ภายในส่วนประมวลผลกลาง ในการที่จะทำให้ค่าของเวลาในการทำงานของการเข้าถึงหน่วยความจำลดลงระบบตรวจสอบที่มีความเร็วสูงจะต้องสามารถส่งข้อมูลจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ออกไปยังหน่วยความจำหลักได้ในขณะที่ส่วนประมวลผลกลางควบคุมการรับส่งข้อมูล วิธีที่สามารถรับส่งข้อมูลทำได้ง่ายกว่าและรวดเร็วก็คือการต่อเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) เข้ากับ PCI แบบ bus master ซึ่งสามารถจัดการการส่งข้อมูลด้วยตัวมันเอง

เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ที่ใช้ Bus master ไม่มีความจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำแบบปิงปอง โดยจะตัดหน่วยความจำของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) แบบเดิมออกและหันมาใช้หน่วยความจำแบบพอร์ทคู่หรือ FIFO ในการเก็บข้อมูลของภาพที่อยู่ในบัส โดยหน่วยความจำของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บข้อมูลของภาพที่อาจจะถูกหน่วงเวลาในขณะที่คอยการส่งข้อมูลจากบัส

เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะขอขัดจังหวะการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางเพื่อที่จะส่งข้อมูลของภาพเข้าไปในส่วนประมวลผลกลางและเริ่มการประมวลผลข้อมูลภาพ ค่าของเวลาในการทำงานของการรับส่งข้อมูลคือค่าหน่วงเวลาระหว่างการสิ้นสุดการส่งข้อมูลของกล้องและการขัดจังหวะของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)



รูปที่ 7.6 PCI bus transfer ค่าของเวลาในการทำงาน

และสุดท้ายระบบหน่วยความจำแบบความเร็วสูงของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะพัฒนาไปสู่สล๊อต AGP (Accelerated graphics processing) โดยที่บอร์ดจะติดต่อโดยตรงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำชั่วคราวของระบบและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมาก ไม่จำเป็นที่จะต้องมีหน่วยความจำบนบอร์ดหรือไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำแบบ FIFO ค่าของเวลาในการทำงานในการจับข้อมูลภาพของบอร์ดแบบ AGP จะเท่ากับค่าของเวลาในการทำงานของการขัดจังหวะในตอนสุดท้ายของข้อมูลภาพจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

7.5 ขอบเขตของส่วนของข้อมูลภาพที่ต้องการ

เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวสามารถที่จะตั้งโปรแกรมในการกำหนดขอบเขตของการจับภาพได้ และข้อมูลของภาพที่อยู่ในขอบเขตจะถูกส่งไปตามบัสเพื่อเข้าสู่หน่วยความจำของส่วนประมวลผล ตัวอย่างเช่น ถ้าข้อมูลภาพมีความละเอียดขนาด 640×480 ใช้เวลาในการส่งข้อมูล 4 มิลลิวินาที แต่ถ้าตั้งค่า ROI ที่มีขนาด 320×240 จะสามารถลดเวลาในการส่งข้อมูลลงได้หนึ่งในสี่ส่วน

7.6 ส่วนควบคุมอินพุทและเอาท์พุท

ฟังก์ชั่นพื้นฐานของการส่งข้อมูลภาพได้มีการนำเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) มาใช้ในระบบที่ทำงานด้วยความเร็วสูงและสามารถทำงานตามเวลาจริง และส่งสัญญาณที่รับเข้ามาออกทางเอาท์พุทเพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป โดยเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะประกอบไปด้วยการทำงานของฮาร์ดแวร์มากกว่าการทำงานของซอร์ฟแวร์ ซึ่งเป็นวงจรอิเลคโทรนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของค่าเวลาของกล้องจับภาพและวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานอื่นๆ และเฟรมแกรบเบิ้ล(Frame grabble) บางตัวยังมีวงจรอิเลคโทรนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทอีกด้วย การทำงานของระบบจะทำงานตามสัญญาณตรวจจับจากภายนอกและสัญญาณจากกล้องจับภาพที่เข้ามา จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาสร้างสัญญาณควบคุมและสัญญาณของพิกเซล

โดยปกติแล้วระบบตรวจสอบจะรับสัญญาณการตรวจจับจากภายนอกเพื่อใช้เป็นสัญญาณให้เริ่มการจับภาพข้อมูล ในการกระบวนการนี้เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวมีค่าของเวลาในการทำงานน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งไปได้ ถ้าใช้ระบบตรวจจับใช้กล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสหรือกล้องจับภาพแบบอะซิงโครนัสที่สามารถรีเซตได้ (Asynchronously resettable camera) จะต้องมีสัญญาณเอาท์พุทจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ออกไปยังกล้องจับภาพเพื่อเริ่มการจับภาพ

ถ้าใช้ระบบตรวจจับร่วมกับการทำงานของไฟแฟลซ์ (Strobe light) หรือไฟพลัสแอลอีดี (Pulsed LED light) จะเกิดค่าของเวลาในการทำงานในระหว่างเวลาในการจับภาพของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับภาพ และข้อมูลภาพที่ได้อาจจะมีความผิดพลาด ในเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวจะ ซิงโครไนซ์ กับกล้องจับภาพทำให้ได้สัญญาณของข้อมูลภาพในเวลาที่ถูกต้อง

7.7 สัญญาณเวลาของพิกเซล

สัญญาณเวลาของพิกเซลเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบตรวจสอบมีความเร็วสูง โดยสัญญาณเวลาของพิกเซลจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือสัญญาณเวลาแบบคอมมอน (Common clock) ซึ่งเป็นสัญญาณของการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องจับภาพและเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) หรือเป็นสัญญาณเวลาที่เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ส่งกลับมาจากสัญญาณซิงโครไนซ์ โดยสัญญาณเวลาแบบคอมมอนพิกเซล (Common pixel clock) ที่ได้มาจากกล้องจับภาพและเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะนำมาสร้างสัญญาณเวลาของพิกเซลและส่งต่อไปยังอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะใช้สัญญาณซิงโครไนซ์ของกล้องจับภาพในการควบคุมวงจรอิเลคโทรนิกส์เพื่อที่จะสร้างสัญญาณสัญญาณเวลาของพิกเซลขึ้นใหม่ เทคนิคในการใช้งานสัญญาณเวลาแบบคอมมอน (Common clock) โดยทั่วไป กล้องจับภาพจะส่งสัญญาณไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะมีการส่งสัญญาณข้อมูลภาพและสัญญาณความถี่ของเวลาภายในสายสัญญาณเส้นเดียวกัน โดยไม่มีความผิดพลาดของเฟสระหว่างสัญญาณข้อมูลภาพและสัญญาณความถี่ของเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความหน่วงเวลาของสายสัญญาณ ในบางกรณีเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะสร้างสัญญาณความถี่ของเวลาแล้วส่งไปยังกล้องจับภาพและกล้องจับภาพก็จะส่งสัญญาณความถี่ของเวลากลับมายังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) โดยส่งสัญญาณความถี่ของเวลาที่ส่งจากกล้องจับภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะทำหน้าที่ชดเชยค่าความหน่วงเวลาของสายสัญญาณ ค่าหน่วยเวลาของสัญญาณจะมีค่าประมาณ 1.5 นาโนวินาทีต่อความยาวของสายสัญญาณหนึ่งฟุตซึ่งยังไม่รวมค่าหน่วงเวลาภายในวงจรอิเลคโทรนิกส์ ส่วนที่สองคือคล็อกจิสเตอร์ (Clock jitter) ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับสัญญาณของสัญญาณความถี่ของเวลาของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ให้สัมพันธ์กับสัญญาณเวลาของพิกเซล (Pixel clock) ในกล้องจับภาพ โดยคล็อกจิสเตอร์ (Clock jitter) จะมีค่าความถี่อยู่ระหว่าง 3 หรือ -3 ถึง 10 หรือ -10 นาโนวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.8. การคำนวณค่าของเวลาในการทำงาน

1. การตรวจจับส่วนของภาพ

ค่าของเวลาในการทำงานของการตรวจจับส่วนของภาพ คือค่าเวลาระหว่างเมื่อวัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่จะจับภาพและเมื่อระบบตรวจสอบรับสัญญาณตรวจจับจากภายนอก

2. คำสั่งของการจับข้อมูลภาพ

ค่าของเวลาในการทำงานของคำสั่งของการจับข้อมูลภาพ คือค่าเวลาระหว่างเมื่อระบบตรวจสอบรับสัญญาณตรวจจับจากภายนอกและกล้องเริ่มการจับข้อมูลภาพ

3. สัญญาณทริกเกอร์ (Strobe/Shutter trigger)

ค่าของเวลาในการทำงานของสัญญาณทริกเกอร์ (Strobe/Shutter trigger) คือค่าเวลาระหว่างเมื่อกล้องเริ่มการจับข้อมูลภาพและเมื่อมีสัญญาณจากไฟแฟลซ์ (Strobe light) หรือชัตเตอร์อิเลคโทรนิกส์ทำงาน บางระบบอาจจะไม่ใช้ฟังก์ชั่นนี้ดังนั้นค่าของเวลาในการทำงานจะมีค่าเป็นศูนย์

4. เวลาในการจับภาพ (Exposure time)

ค่าของเวลาในการทำงานของเวลาในการจับภาพ (Exposure time) คือค่าเวลาระหว่างการสร้างสัญญาณแสง ซึ่งถูกควบคุมโดยเวลาในการจับภาพของกล้องจับภาพ ถ้าระบบตรวจจับใช้พลัสไลท์ (Pulse light) คล้ายกับไฟแฟลทซ์ (Strobe light) ค่าของเวลาในการทำงานจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของเวลาในการทำงานของ Strobe light แต่ถ้าระบบตรวจจับมีการใช้ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์และพลัสไลท์ (Pulse light) ค่าของเวลาในการทำงานจะเท่ากับค่าเวลาระหว่างที่ชัตเตอร์แบบอิเลคโทรนิกส์เปิดทำงานและเวลาที่พลัสไลท์ (Pulse light) ทำงาน

5. การส่งสัญญาณของข้อมูลภาพ

ค่าของเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณภาพ คือเวลาในการส่งข้อมูลภาพจากกล้องจับภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ถ้าขนาดของข้อมูลมีขนาดที่เท่ากันเวลาในการส่งข้อมูลภาพจะมีค่าเท่ากันด้วย ดังนั้นค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าของเวลาในการทำงานจะมีค่าเท่ากัน

6. การส่งข้อมูลภาพไปยังส่วนประมวลผลกลาง

คือค่าของเวลาระหว่างเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลภาพจากกล้องจับภาพไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จนถึงเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ไปยังส่วนประมวลผล เฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) บางตัวจะมีบัฟเฟอร์ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลภาพไว้ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลภาพไปยังส่วนประมวลผลหลังจากที่รับข้อมูลภาพมาจากกล้องจับภาพ ทำใช้ใช้เวลาในการส่งข้อมูลภาพไปยังส่วนประมวลผลสั้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การประมวลผลข้อมูลภาพ

เวลาในการประมวลผล คือเวลาระหว่างเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลภาพมายังส่วนประมวลผลจนถึงการประมวลผลของภาพนั้นสิ้นสุดลง โดยทั่วไปแล้วส่วนประมวลผลจะคอยจนกระทั่งเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ส่งข้อมูลภาพมายังส่วนประมวลผลสิ้นสุดลงแล้วก่อนที่จะเริ่มต้นการประมวลผลภาพ ค่าของเวลาในการทำงานจะขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลภาพและการประมวลผลของส่วนประมวลผล

8. การซิงโครไนซ์ซ้ำ

การซิงโครไนซ์ซ้ำ คือการตรวจสอบความถูกต้องของค่าของเวลาในการทำงานที่แตกต่างกันซึ่งสามารถทำได้โดยฐานเวลาของการทำงานตามเวลาจริงที่กำหนดไว้และคำนวณหาค่าหน่วงเวลาที่มีค่าต่ำที่สุดโดยเปรียบเทียบกับค่าของฐานเวลาของการทำงานตามเวลาจริง เมื่อการประมวลผลของข้อมูลภาพสิ้นสุดลง โดยทั่วไปแล้วค่าฐานเวลาของข้อมูลภาพจะเริ่มจับเวลาเมื่อสามารถจับข้อมูลภาพได้แล้ว หรือเมื่อข้อมูลภาพถูกส่งจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ไปยังส่วนประมวลผลเรียบร้อยแล้ว

ค่าการซิงโครไนซ์ซ้ำจะแตกต่างจากค่าอื่นๆคือ ค่าที่มีค่าสูงที่สุดของมันคือมีค่าเท่ากับศูนย์และค่าที่มีค่าต่ำที่สุดจะมีค่ามากกว่าศูนย์ ค่าเวลาของการซิงโครไนซ์ซ้ำคือค่าของเวลาในการทำงานทั้งหมดของตั้งแต่การกำหนดค่าฐานเวลาไปจนถึงการประมวลผลข้อมูลภาพ เมื่อสามารถหาค่าที่สูงที่สุดและค่าที่ต่ำที่สุดได้แล้ว จะได้ค่าการซิงโครไนซ์ซ้ำจะเท่ากับผลต่างระหว่างค่าที่มีค่าสูงที่สุดและค่าที่มีค่าต่ำที่สุดแล้วหารด้วยช่วงของค่าของฐานเวลา

9. ฐานเวลา

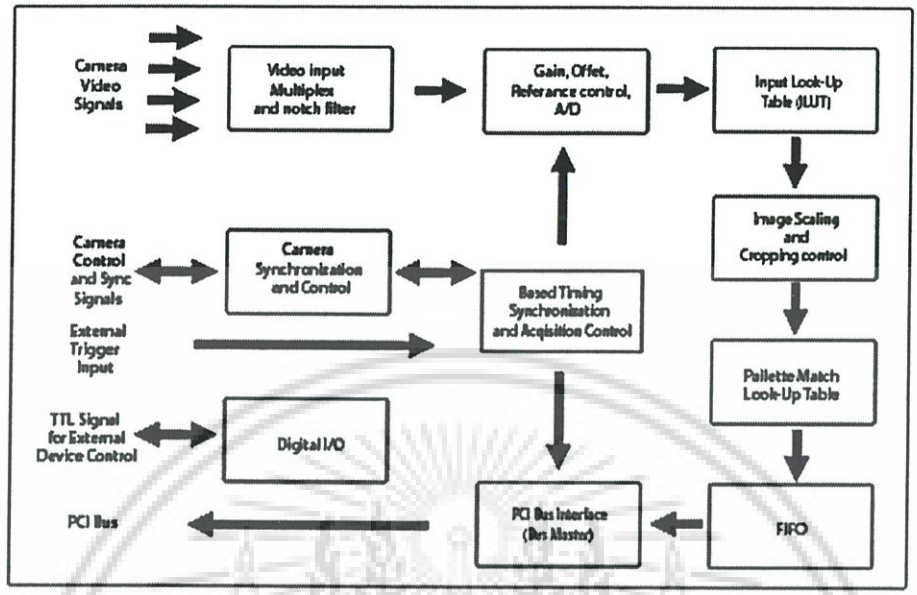
ค่าของเวลาในการทำงานของค่าฐานเวลาจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่งช่วงของฐานเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

10. การส่งสัญญาณเอาท์พุทไปยังอุปกรณ์ภายนอก

ค่าของเวลาในการทำงานของการส่งสัญญาณเอาท์พุท คือค่าของเวลาตั้งแต่สิ้นสุดการประมวลผลหรือการการซิงโครไนซ์ซ้ำและการส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกซึ่งก็คือตัวดีด (Ejector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.9 การทำงานของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)



รูปที่ 7.7 บล็อกไดอะแกรมของเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble)

1. ส่วนของการรับสัญญาณเข้า (Video input)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่รับสัญญาณข้อมูลภาพจากกล้องจับภาพ ในส่วนนี้จะประกอบด้วยมัลติเพลกเซอร์ซึ่งเป็นวงจรอิเลคโทรนิกส์ สามารถที่จะเลือกรับสัญญาณภาพจากกล้องได้ตั้งแต่หนึ่งตัวไปจนถึงสี่ตัวนั่นคือเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) หนึ่งบอร์ดสามารถต่อเข้ากับกล้องได้สูงสุดถึงสี่ตัว สำหรับตัวจับภาพแบบภาพขาวดำจะมี Color notch หรือ Chrominance filter ซึ่งทำหน้าที่ลดคุณภาพของสัญญาณภาพสีที่รับเข้ามาลง จากนั้นจะส่งสัญญาณที่ได้ออกไปยังส่วนแปลงสัญญาณจากอะนาล็อคเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to digital conversion)

2. ส่วนแปลงสัญญาณจากอะนาล็อคเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (Analog to digital conversion)

ส่วนนี้จะต่อกับส่วนควบคุมสัญญาณเวลาและการจับภาพ (Timing and Acquisition control) ซึ่งส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพที่รับเข้ามาซึ่งเป็นแบบอนาล็อกให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้และยังสามารถแปลงข้อมูลได้แบบเวลาจริง ซึ่งในหนึ่งเฟรมจะใช้เวลา 1/30 วินาทีสำหรับระบบ RS-170/NTSC และ 1/25 วินาทีสำหรับระบบ CCIR/PAL โดยจะต้องใช้การแปลงสัญญาณจากอะนาล็อคเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลของความเร็วของสัญญาณภาพ (Video-speed A/D converter) แบบพิเศษซึ่งมีความเร็วในการแปลงข้อมูลขนาด 20 เมกกะเฮิร์ทหรือสูงกว่า เฟรมแกรบเบิ้ล (Fram e grabble) บางบอร์ดจะมีตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายสัญญาณแบบโปรแกรมได้ (Programmable gain) ซึ่งสามารถปรับขอบเขตของค่าอินพุทได้ เพื่อช่วยให้คุณภาพของข้อมูลภาพสูงขึ้นเมื่อสัญญาณภาพที่เข้ามาที่มีคุณภาพต่ำ

3. ส่วนควบคุมสัญญาณเวลาและการจับภาพ (Timing and acquisition control)

ส่วนนี้ประกอบด้วยตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา สัญญาณซิงโครไนซ์ และวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมการจับภาพ วงจรสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในส่วนนี้จะกำหนดความถี่ที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบสัญญาณนาฬิกาของสัญญาณภาพมาตรฐานหรือมีสัญญาณนาฬิกาที่สามารถโปรแกรมได้สำหรับรูปแบบสัญญาณนาฬิกาของสัญญาณภาพที่ไม่อยู่ในมาตรฐาน

วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์ทำหน้าที่ในการกำหนดจังหวะของสัญญาณภาพที่เข้ามา โดยทั่ววงจรซิงโครไนซ์สร้างจากวงจร PLL (Phase Lock Loop) แบบอะนาล็อกหรือสร้างจากวงจร Digital Clock Synchronize (DCS) แต่เฟรมแกรบเบิ้ล (Fr ame grabble) ที่นำมาใช้ในงานอุสาหกรรมหรืองานวิทยาศาสตร์จะสร้างจากวงจร Digital Clock Synchronize (DCS) ซึ่งจะสามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความถูกต้องแน่นอนกว่า มีค่าจิตเตอร์ (Jitter) ที่ต่ำมาก และมีการตอบสนองของสัญญาณที่เร็วกว่าวงจร PLL (Phase Lock Loop) และในส่วนนี้ยังประกอบด้วยวงจรที่สามารถสร้างสัญญาณ ซิงโครไนซ์ใหม่จากจากสัญญาณที่เสียหายหรือไม่ถูกต้องที่อาจจะเกิดจากการต่อสายสัญญาณจากกล้องที่ยาวเกินไป นอกจากนั้นยังมีส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณภายนอกที่ทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุที่อยู่บนสายพานลำเลียงอีกด้วย

4. Image processing/Image handling

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการจัดการรูปแบบของข้อมูลภาพหลังจากที่สัญญาณภาพผ่านการดิจิไทซ์ (Digitize) จากตัวแปลงสัญญาณจากสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ในส่วนนี้ประกอบด้วย Look-Up Tables (LUTs) ทำหน้าที่ในการจัดเรียงข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วน คือ Input Look-Up Tables (ILUTs) และ Pallette-matching Look-Up Tables โดย ILUTs ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพที่ถูกดิจิไทซ์ (Digitize) ตามเวลาจริงและทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลภาพระดับของสีเทา (Grayscale) ส่วน Pallette-matching Look-Up Tables ซึ่งจะมีอยู่ในตัวจับภาพแบบโมโนโครม (Monochrome frame grabble) ควบคุมการแปลงค่าของสีของข้อมูลภาพของคอมพิวเตอร์

นอกจากนี้ยังประกอบด้วยวงจร Scaling and cropping ทำหน้าที่ในการกำหนดขนาดของข้อมูลภาพก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไปยังบัสของคอมพิวเตอร์ ส่วนวงจร Cropping ทำหน้าที่ในการแบ่งข้อมูลภาพ ตัวอย่างเช่นแบ่งพื้นที่รหัสของวันที่ของภาพของบรรจุภัณฑ์ของสินค้าแล้วตัดข้อมูลภาพส่วนนี้ออก ความสามารถในการเลือกส่วนของภาพนี้เรียกว่าขอบเขตของส่วนที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Region of Interest, ROI) การทำงานของส่วนนี้สามารถช่วยลดเวลาในการส่งข้อมูลและสามารถเพิ่มเวลาในการประมวลผล

5. ส่วนติดต่อและควบคุมบัส PCI (PCI Bus Interface and Control)

ส่วนนี้ทำหน้าที่รับข้อมูลดิจิตอลที่ประมวลผลได้แล้วส่งออกไปยังบัส PCI โดยสามารถต่อเข้ากับบัสมาสเตอร์ (Bus master) หรือบัส-สเลฟ (Bus slave) ทั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ออกแบบ แต่ถ้าใช้บัสมาสเตอร์ (Bus master) จะสามารถส่งข้อมูลได้เร็วกว่าซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ถึง 132 เมกกะไบท์ต่อวินาที เพื่อที่จะส่งข้อมูลที่ได้ไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลหรือส่งออกไปแสดงที่จอแสดงผล

6. ส่วนควบคุมกล้องจับภาพ (Camera Control)

ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการเตรียมสัญญาณควบคุมของกล้องซึ่งประกอบด้วย สัญญาณการซิงโครไนซ์ตามแนวนอน (Horizontal synchronization) สัญญาณซิงโครไนซ์ตามแนวตั้ง (Vertical synchronization) สัญญาณเวลาของพิกเซล (Pixel clock) และสัญญาณรีเซ็ต ซึ่งได้มาจากสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท โดยสัญญาณนี้สามารถเปลี่ยนการทำงานของกล้องได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าเวลาของการทำงานและค่าจิตเตอร์ (Jitter)

7. ส่วนของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกแบบดิจิตอล (Digital Input/Output)

ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) กับอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆโดยใช้สัญญาณแบบ TTL (Transistor-Transistor Logic) ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

อุปกรณ์และวิธีการ

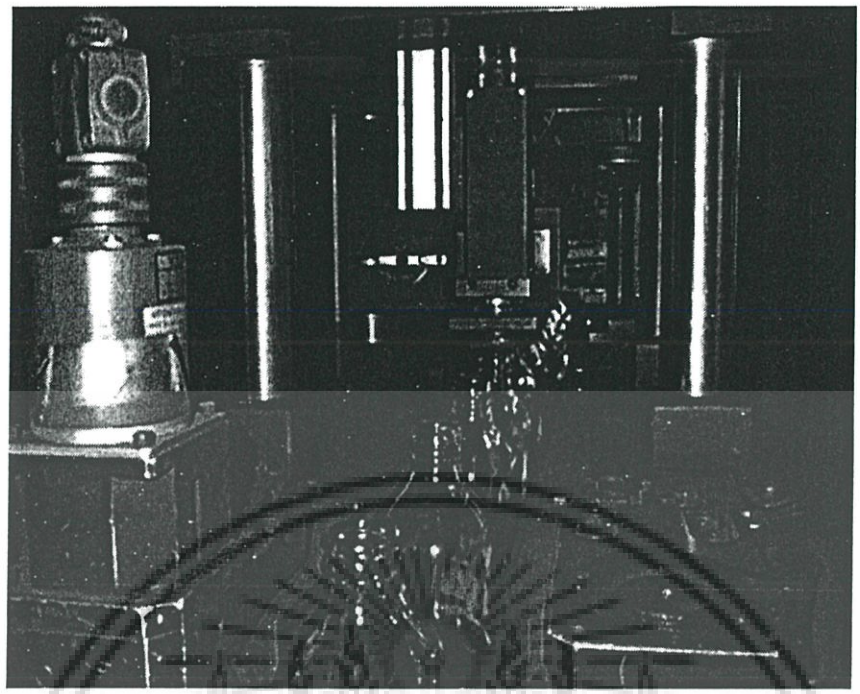
8.1 ระบบการตรวจสอบขวดแก้ว

ระบบการตรวจสอบขวดแก้วประกอบด้วย

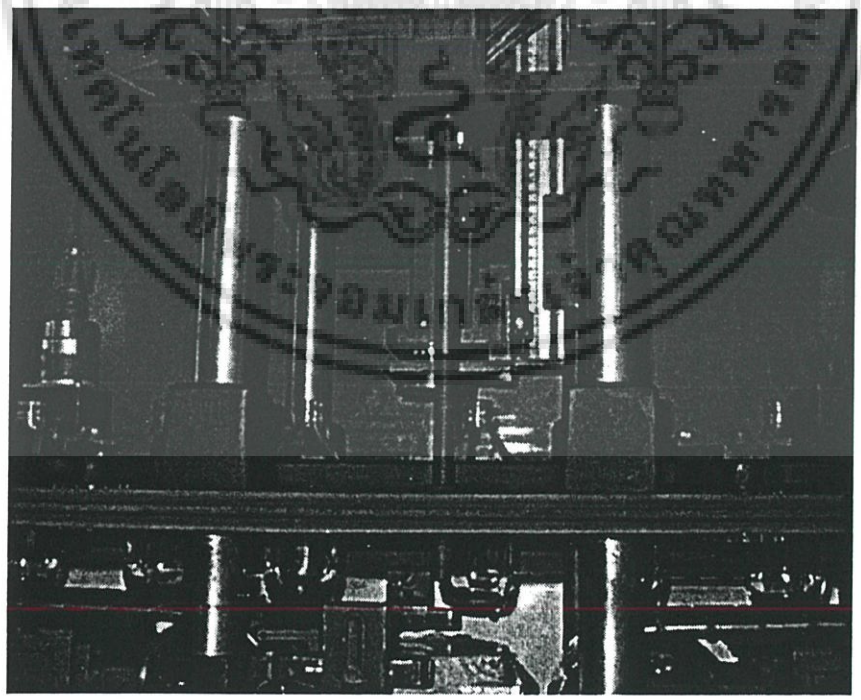
(1) ส่วนขับและตรวจจับความเร็วรอบของสายพานลำเลียงซึ่งประกอบด้วยตัวขับสายพานลำเลียงและสายพานลำเลียงสามชุด คือสายพานลำเลียงขวดเข้าระบบตรวจสอบ สายพานลำเลียงขวดออกระบบตรวจสอบ และสายพานคู่สำหรับหนีบขวดเพื่อการจับภาพของขวดแก้ว และเอนโคดเดอร์ (Encoder) สำหรับตรวจจับความเร็วของสายพานลำเลียงสำหรับหนีบขวด โดยจะใช้เอนโคดเดอร์ (Encoder) ต่อเข้ากับชุดขับสายพานลำเลียงและใช้สัญญาณที่ได้จากเอนโคดเดอร์ (Encoder) ควบคุมการความเร็วของสายพานลำเลียงเพื่อให้สายพานลำเลียงทำงานด้วยความเร็วคงที่ตามความเร็วที่ต้องการ ส่วนสายพานชุดที่ทำหน้าที่ในการหนีบขวดจะทำหน้าที่ในการคีบขวดแก้วให้ลอยอยู่ระหว่างกล้องจับภาพและแหล่งกำเนิดแสง เพื่อที่จะจับภาพของขวดแก้วได้โดยง่ายและไม่มีสิ่งกีดขวาง

(2) ส่วนตรวจจับภาพของขวดแก้ว ประกอบด้วยกล้องสำหรับตรวจจับภาพของขวดแก้วซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนของสายพานลำเลียงเหนือขวดแก้ว [8] [10] ไฟแฟลทซ์ (Strobe light) ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างของสายพานลำเลียงเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงและสามารถหยุดการเคลื่อนไหวของภาพของขวดแก้วเพื่อให้กล้องสามารถตรวจจับภาพของขวดแก้วได้ และอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (Photo sensor) ซึ่งจะคอยตรวจจับขวดแก้วที่จะเข้ามาในระบบตรวจจับและจะส่งสัญญาณให้แหล่งกำเนิดแสง (Strobe light) ทำงาน โดยอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (Photo sensor) จะจับการมาถึงของขวดแก้วที่เข้ามาในระบบตรวจจับและจะส่งสัญญาณแล้วส่งสัญญาณไปยังส่วนประมวลผล จากนั้นส่วนประมวลผลจะสั่งให้ไฟแฟลทซ์ (Strobe light) ทำงานและกล้องจับภาพจะทำการจับภาพของขวดแก้วที่ผ่านเข้ามาในระบบตรวจสอบ แล้วส่งสัญญาณภาพขวดขวดแก้วที่จับภาพได้ส่งไปยังเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabber) เพื่อที่จะแปลงข้อมูลภาพขวดแก้วเพื่อที่ส่งให้ส่วนประมวลผลทำการประมวลผลตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

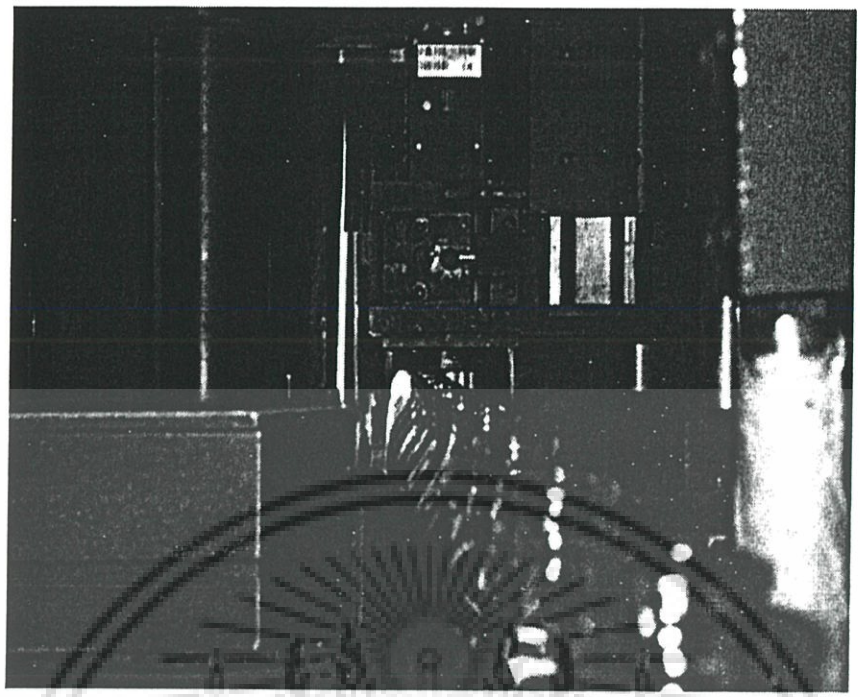


รูปที่ 8.1 ตัวตรวจจับทางแสง (Optical sensor) เอนโคดเดอร์ (Encoder) และชุดสายพานนำขวดเข้าสู่ระบบตรวจสอบ

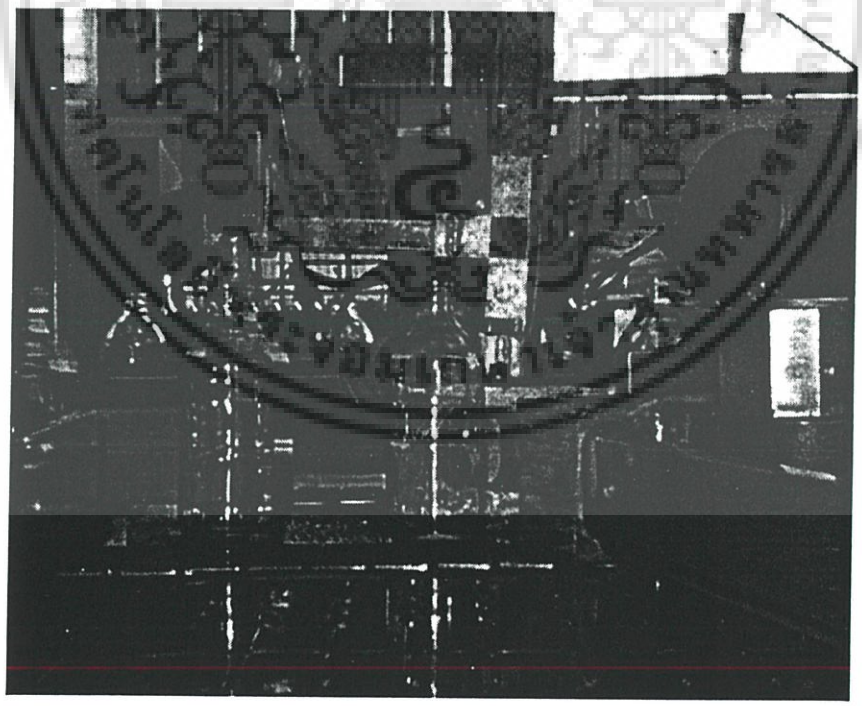


รูปที่ 8.2 กล้องจับภาพ ไฟแฟลทซ์ และชุดสายพานคีบขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 ชุดสายพานนำขวดออกจากระบบตรวจสอบ



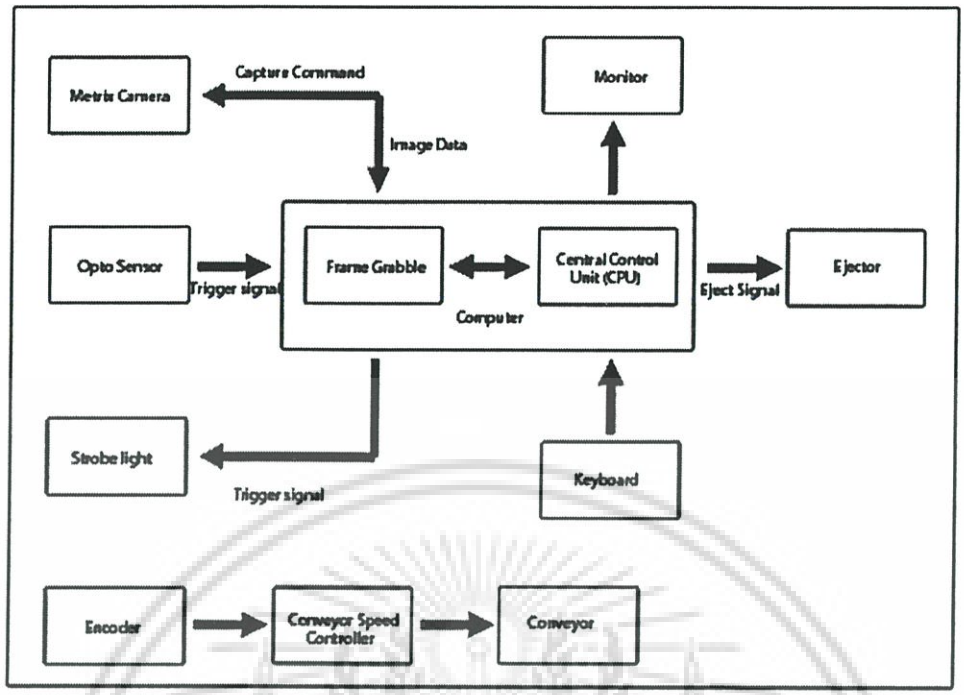
รูปที่ 8.4 ตัวดีดขวด (Ejector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ส่วนประมวลผลและตรวจสอบขวดแก้วประกอบด้วยเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabber) ซึ่งจะต่ออยู่ระหว่างกล้องและคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพของขวดแก้วที่ได้จากกล้องส่งให้กับคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมในการตรวจสอบภาพของขวดแก้วที่ส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์ [11] ซึ่งพัฒนาโดยโปรแกรมภาษาวิสชวล-เบซิก (Visual Basic) เพื่อตรวจสอบว่าขวดแก้วที่ผ่านเข้ามายังระบบตรวจจับมีคุณสมบัติเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนควบคุมการดีดขวดแก้วเพื่อดีดขวดแก้วออกจากสายการผลิตต่อไป โดยเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabber) จะทำหน้าที่รับสัญญาณภาพขวดแก้วจากกล้องจับภาพ จากนั้นจะแปลงสัญญาณภาพที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลแบบดิจิตอล [24] [26] [28] [32] ซึ่งเป็นภาพระดับของสีเทาที่มีความละเอียด 8 บิทหรือ 256 สี ขนาด 640×480 พิกเซลแล้วส่งข้อมูลภาพขวดแก้วไปยังหน่วยความจำของส่วนประมวลผลเพื่อที่จะประมวลผลต่อไป ส่วนประมวลผลประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลกลางเพนเทียมโฟร์ความเร็ว 1.5 กิกะเฮิร์ซ หน่วยความจำชั่วคราวขนาด 256 เมกกะไบต์ และการ์ดแสดงผลที่มีหน่วยความจำขนาด 64 เมกกะไบต์ ทำหน้าที่รับข้อมูลภาพของขวดแก้วที่ได้มาจากเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabber) แล้วนำข้อมูลภาพขวดแก้วมาแบ่งข้อมูลออกเป็นสามส่วนและตรวจสอบข้อมูลขวดแก้วตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ [33] ถ้าข้อมูลของขวดแก้วที่ผ่านเข้ามาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ก็จะปล่อยขวดแก้วออกจากระบบตรวจสอบ แต่ถ้าข้อมูลของขวดแก้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดก็จะส่งสัญญาณไปยังตัวดีดขวดเพื่อที่จะดีดขวดแก้วออกจากระบบตรวจสอบต่อไป

(4) ส่วนควบคุมการดีดขวดแก้ว ประกอบด้วยเอนโค้ดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจจับความเร็วของสายพานลำเลียง และตัวดีดขวดซึ่งเป็นวาล์วรับสัญญาณมาจากคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการเปิดและปิดลมในการเป่าขวดแก้วออกจากสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบ

8.2 การทำงานของระบบตรวจสอบขวดแก้ว

การตรวจสอบขวดแก้วเริ่มต้นเมื่อขวดแก้วที่ผลิตได้จากเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วเคลื่อนที่มาบนสายพานลำเลียงเข้าสู่ระบบตรวจสอบขวดแก้ว แต่ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบตรวจสอบขวดแก้วจะเคลื่อนที่ผ่านตัวตรวจจับทางแสง (Optical sensor) ซึ่งตัวตรวจจับทางแสง (Optical sensor) จะทำหน้าที่ในการตรวจจับการมาถึงของขวดแก้วแล้วส่งสัญญาณให้กับส่วนประมวลผล จากนั้นส่วนประมวลผลจะส่งสัญญาณให้ไฟแฟลทซ์ (Strobe light) และกล้องจับภาพทำงาน กล้องจับภาพจะจับภาพของขวดแก้วแล้วส่งสัญญาณภาพขวดแก้วให้กับเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) ซึ่งเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณภาพขวดแก้วที่รับมาจากกล้องจับภาพให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอลแล้วส่งข้อมูลขวดแก้วให้กับส่วนประมวลผลทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลขวดแก้วที่ได้ต่อไป โดยส่วนประมวลผลจะตรวจสอบข้อมูลของขวดแก้วตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ถ้าข้อมูลขวดแก้วเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ระบบตรวจสอบก็จะรอการมาถึงของขวดแก้วขวดต่อไป แต่ถ้าข้อมูลของขวดแก้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ระบบตรวจสอบก็จะส่งสัญญาณให้กับตัวดีดขวด (Ejector) ดีดขวดออกจากสายพานลำเลียง

ขั้นตอนการตรวจสอบขวดแก้วแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการติดตั้งและตั้งค่าของระบบตรวจสอบ และส่วนของการตรวจสอบขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการติดตั้งและตั้งค่าของระบบตรวจสอบ โดยการใช้ขวดแก้วตัวอย่างเคลื่อนที่มาบนสายพานลำเลียงผ่านตัวตรวจจับทางแสง (Optical sensor) ระบบตรวจสอบจะส่งสัญญาณให้ไฟแฟลทซ์ (Strobe light) ทำงานและกล้องจับภาพเริ่มต้นจับสัญญาณภาพของขวดแก้ว และส่งสัญญาณภาพขวดแก้วให้กับเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) และเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะแปลงข้อมูลภาพของขวดแก้วส่งให้กับส่วนประมวลผล โดยข้อมูลที่รับเข้ามาจะเป็นข้อมูลภาพระดับของสีเทาที่มีความละเอียดขนาด 8 บิทหรือ 256 สีขนาด 640 ×480 พิกเซล โดยส่วนประมวลผลจะแบ่งข้อมูลออกเป็นสามส่วน ซึ่งเริ่มต้นโดยการประมาณค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และจำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มข้อมูล โดยใช้วิธี Minimum Distance Classification

1. รับค่าข้อมูลภาพของขวดแก้ว ซึ่งเป็นค่าข้อมูลเลขฐานสองขนาด 8 บิท
2. เรียงลำดับข้อมูลจากข้อมูลที่มีค่าน้อยไปหาข้อมูลที่มีค่ามาก $x_0, x_1, \ldots, x_{255}$ และหาค่าข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุด x_{min} และค่าข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด x_{max}
3. กำหนดให้ $x_i = \mu_c$ โดยที่ μ_c คือค่าศูนย์กลางของกลุ่มที่ c
4. คำนวณหาค่าระยะห่างระหว่าง μ_c และ μ_{c+1} ; $D_i(\mu_c, \mu_{c+1})$

$$D_i(\mu_c,\mu_{c+1}) = \|\mu_c - \mu_{c+1}\| = \sqrt{\sum_{c=1}^{n}(\mu_c - \mu_{c+1})^2} = \sqrt{(\mu_c,\mu_{c+1})^T(\mu_c,\mu_{c+1})}$$

5. หาค่าระยะห่างระหว่าง μ_c และ μ_{c+1} ที่มีค่าน้อยที่สุด
6. รวมค่าข้อมูลของ μ_c และ μ_{c+1} แล้วคำนวณหาค่าศูนย์กลาง μ_c และค่าระยะห่างระหว่างกลุ่ม D_i ใหม่
7. ทำซ้ำจนกระทั่ง c = 3
8. คำนวณหาค่าเทรสโฮลระหว่าง μ_1, μ_2 และ μ_3 โดย

$$T_1 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

$$T_2 = \frac{\mu_2 + \mu_3}{2}$$

9. คำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และจำนวนสมาชิกของทั้งสามกลุ่ม

จากกรณีของ Multivariate Normal density [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(x)=\frac{1}{(2\pi)^{n/2}|\Sigma|^{1/2}}\exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu)^{T}\Sigma^{-1}(x-\mu)\right] \quad (8.1)$$

ในกรณีของ One-dimensional Normal density

$$p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (8.2)$$

โดยกำหนดให้

$$\mu=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$$
$$\sigma^2=\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2 \quad (8.3)$$

และเริ่มต้นด้วยสมการฟังก์ชั่นดิสไครมิแนนท์ (Discriminant function)

$$d_1(x)=d_2(x)$$
$$d_i(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right]P(\omega_i) \quad (8.4)$$

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right]P(\omega_1)=\frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right]P(\omega_2) \quad (8.5)$$

ใส่ล็อกการิที่มทั้งสองข้าง

$$-\ln\sigma_1-\ln(\sqrt{2\pi})-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}+\ln(P(\omega_1))=-\ln\sigma_2-\ln(\sqrt{2\pi})-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}+\ln(P(\omega_2))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}+\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}=-\ln\sigma_2+\ln(P(\omega_2))+\ln\sigma_1-\ln(P(\omega_1))$$

$$-\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2}+\frac{(x-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}=-2\ln\sigma_2-2\ln(\sqrt{2\pi})+2\ln(P(\omega))-2\ln(P(\omega_2))$$

$$-\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2}+\frac{(x-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}=2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]$$

$$-\left[\frac{x^2-2x\mu_1+\mu_1^2}{\sigma_1^2}\right]+\left[\frac{x^2-2x\mu_2+\mu_2^2}{\sigma_2^2}\right]=2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]$$

$$-\sigma_2^2(x^2-2x\mu_1+\mu_1^2)+\sigma_1^2(x^2-2x\mu_2+\mu_2^2)=2\sigma_1^2\sigma_2^2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]$$

$$-\sigma_2^2x^2+2\sigma_2^2x\mu_1-\sigma_2^2\mu_1^2+\sigma_1^2x^2-2\sigma_1^2x\mu_2+\sigma_1^2\mu_2^2-2\sigma_1^2\sigma_2^2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]=0$$

$$x^2(-\sigma_2^2+\sigma_1^2)+x(2\sigma_2^2\mu_1-2\sigma_1^2\mu_2)+\left(-\sigma_2^2\mu_1^2+\sigma_1^2\mu_2^2-2\sigma_1^2\sigma_2^2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]\right)=0$$

กำหนดให้

$$a=-\sigma_2^2+\sigma_1^2$$

$$b=2\sigma_2^2\mu_1-2\sigma_1^2\mu_2$$

$$c=-\sigma_2^2\mu_1^2+\sigma_1^2\mu_2^2-2\sigma_1^2\sigma_2^2\ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right] \qquad (8.6)$$

สามารถหาค่า x ได้โดยแทนค่า a, b, และ c ลงในสมการ

$$x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}\ ,\ \mu_1\le x\le\mu_2 \qquad (8.7)$$

คำนวณหาค่าเทรสโฮลใหม่โดยใช้ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และจำนวนสมาชิกของแต่ละกลุ่มแทนลงในสมการที่ (8.7) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad , \mu_1 \leq x \leq \mu_2 \qquad (8.8)$$

เมื่อ

$$a = -\sigma_2^2 + \sigma_1^2$$
$$b = 2\sigma_2^2\mu_1 - 2\sigma_1^2\mu_2$$
$$c = -\sigma_2^2\mu_1^2 + \sigma_1^2\mu_2^2 - 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln\left[\frac{P(\omega_2)\sigma_1}{P(\omega_1)\sigma_2}\right]$$

และ

$$T_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad , \mu_1 \leq x \leq \mu_2 \qquad (8.9)$$

เมื่อ

$$a = -\sigma_3^2 + \sigma_2^2$$
$$b = 2\sigma_3^2\mu_2 - 2\sigma_2^2\mu_3$$
$$c = -\sigma_3^2\mu_2^2 + \sigma_2^2\mu_3^2 - 2\sigma_2^2\sigma_3^2 \ln\left[\frac{P(\omega_3)\sigma_2}{P(\omega_2)\sigma_3}\right]$$

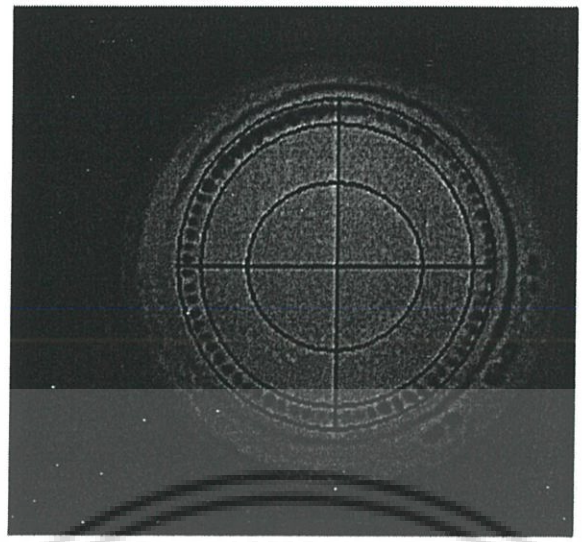
เมื่อได้ค่าเทรสโฮลทั้งสองค่าแล้วก็จะแบ่งข้อมูลของขวดแก้วออกเป็นสามส่วนคือ

1. ส่วนของเนื้อแก้ว
2. ส่วนของลายกลีบส้ม
3. ส่วนของพื้นหลังหรือส่วนของสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในขวดแก้ว

จากนั้นจึงกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบขวดแก้ว โดยการใช้ซอร์ฟแวร์ซึ่งจะแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็น 12 ส่วนแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆคือ

1. ส่วนของเนื้อแก้วชั้นใน
2. ส่วนของเนื้อแก้วชั้นนอก
3. ส่วนของลายกลีบส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 ลักษณะการแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบ

เมื่อกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบแล้วก็จะกำหนดเงื่อนไขของการตรวจสอบให้แต่ละขอบเขต เพื่อที่จะใช้ในการตรวจสอบข้อมูลขวดแก้วที่ตรวจสอบต่อไป

ส่วนของการตรวจสอบขวดแก้ว ขวดแก้วที่ได้จากเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วจะเคลื่อนที่มาบนสายพานลำเลียงผ่านตัวตรวจจับทางแสง (Optical sensor) ระบบตรวจสอบจะส่งสัญญาณให้ไฟแฟลทซ์ (Strobe light) ทำงานและกล้องจับภาพเริ่มต้นจับสัญญาณภาพของขวดแก้ว และส่งสัญญาณภาพขวดแก้วให้กับเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) และเฟรมแกรบเบิ้ล (Frame grabble) จะแปลงข้อมูลภาพของขวดแก้วส่งให้กับส่วนประมวลผล [13] โดยส่วนประมวลจะแบ่งข้อมูลของขวดแก้วออกเป็นสามส่วนตามค่าเทรสโฮลที่คำนวณได้จากส่วนของการติดตั้งและตั้งค่าของระบบตรวจสอบและตรวจสอบขอบเขตทุกขอบเขตตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ถ้าข้อมูลขวดแก้วเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ระบบตรวจสอบก็จะรอการมาถึงของขวดแก้วขวดและตรวจสอบต่อไป แต่ถ้าข้อมูลของขวดแก้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ระบบตรวจสอบก็จะส่งสัญญาณให้กับตัวดีดขวด (Ejector) ดีดขวดออกจากสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

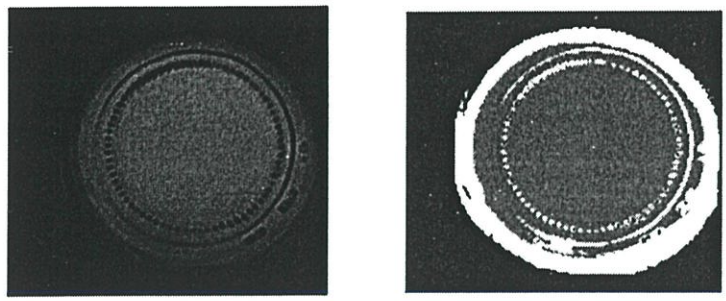
บทที่ 9

การทดสอบระบบตรวจสอบขวดแก้ว

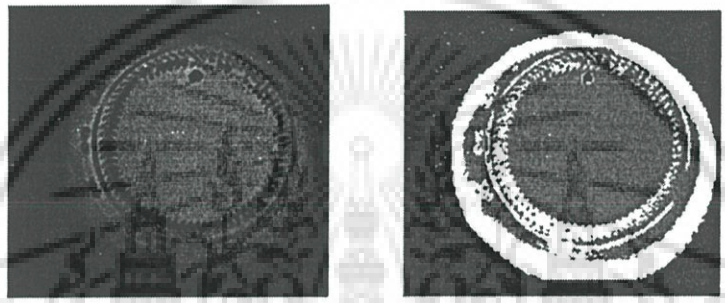
9.1 การทดสอบที่ 1

ทำการทดสอบโดยการติดตั้งระบบการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วในสายการผลิตขวดแก้ว Soft drink สีขาวขนาด 280 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ผลิตด้วยอัตราเร็วอัตรา 360 ขวดต่อนาที และสายพานลำเลียงขวดแก้วเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 42 นิ้วต่อวินาที จากเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วแบบแก้วคู่ (Double gobs) ขนาด 12 เครื่องผลิต (Sections) โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลางเพนเทียมโฟร์ความเร็ว 1.5 กิกะเฮิร์ซ หน่วยความจำชั่วคราวขนาด 256 เมกกะไบต์ และการ์ดแสดงผลที่มีหน่วยความจำขนาด 64 เมกกะไบต์พร้อมทั้งติดตั้งการ์ดตรวจจับข้อมูลภาพ (Frame grabber) ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพขวดแก้วซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับของสีเทา (Gray level) ที่มีความละเอียดของสี 8 บิทหรือ 256 สีและมีขนาดของภาพ 640×480 พิกเซล โดยจะแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนใน ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนนอก และส่วนของลายกลีบส้ม โดยกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็น 12 ส่วน โดยจะกำหนดเงื่อนไขของการตรวจสอบให้กับขอบเขตแต่ละส่วนให้มีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมที่จะตรวจจับได้ไม่เกินขอบเขตละ 2 พิกเซตและกำหนดให้แต่ละขอบเขตจะมีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมได้ไม่เกิน 2 ขอบเขต โดยทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจสอบเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ซึ่งมีขวดผ่านเครื่องทดสอบเป็นจำนวนทั้งสิ้น 495,508 ใบ โดยระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานได้ทั้งหมดและระบบตรวจสอบดีดขวดดีออกจากสายพานลำเลียงเป็นจำนวน 146 ใบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการดีดขวดที่มีคุณภาพดีออกจากสายพานลำเลียงได้ต่ำกว่า 0.03% และสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 15 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold)ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 88 สามารถแสดงภาพของการจัดแบ่งข้อมูลของขวดแก้วในแต่ละกรณีได้ดังนี้

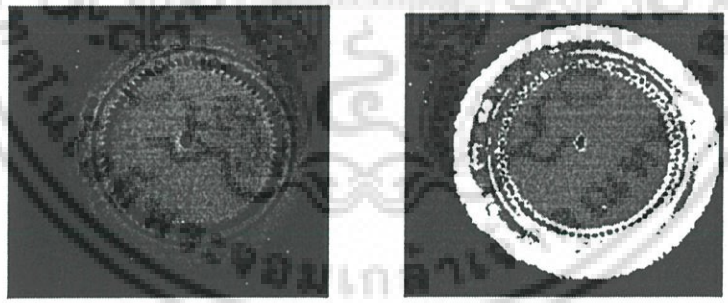
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.1 ลักษณะของขวดแก้วปกติ

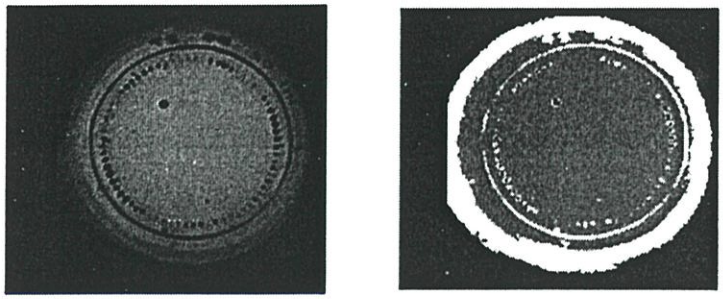


รูปที่ 9.2 ลักษณะของขวดที่มีเศษแก้วปะปน

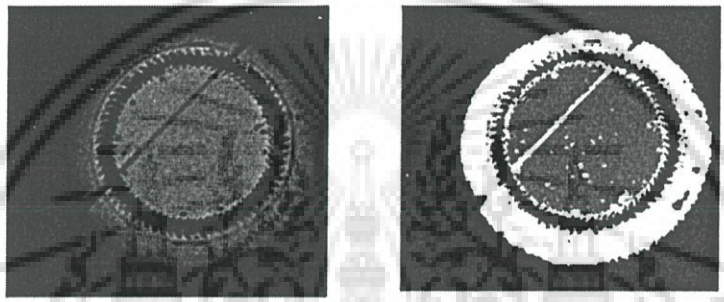


รูปที่ 9.3 ลักษณะของขวดที่มีฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.4 ลักษณะของขวดที่มีเม็ดหิน



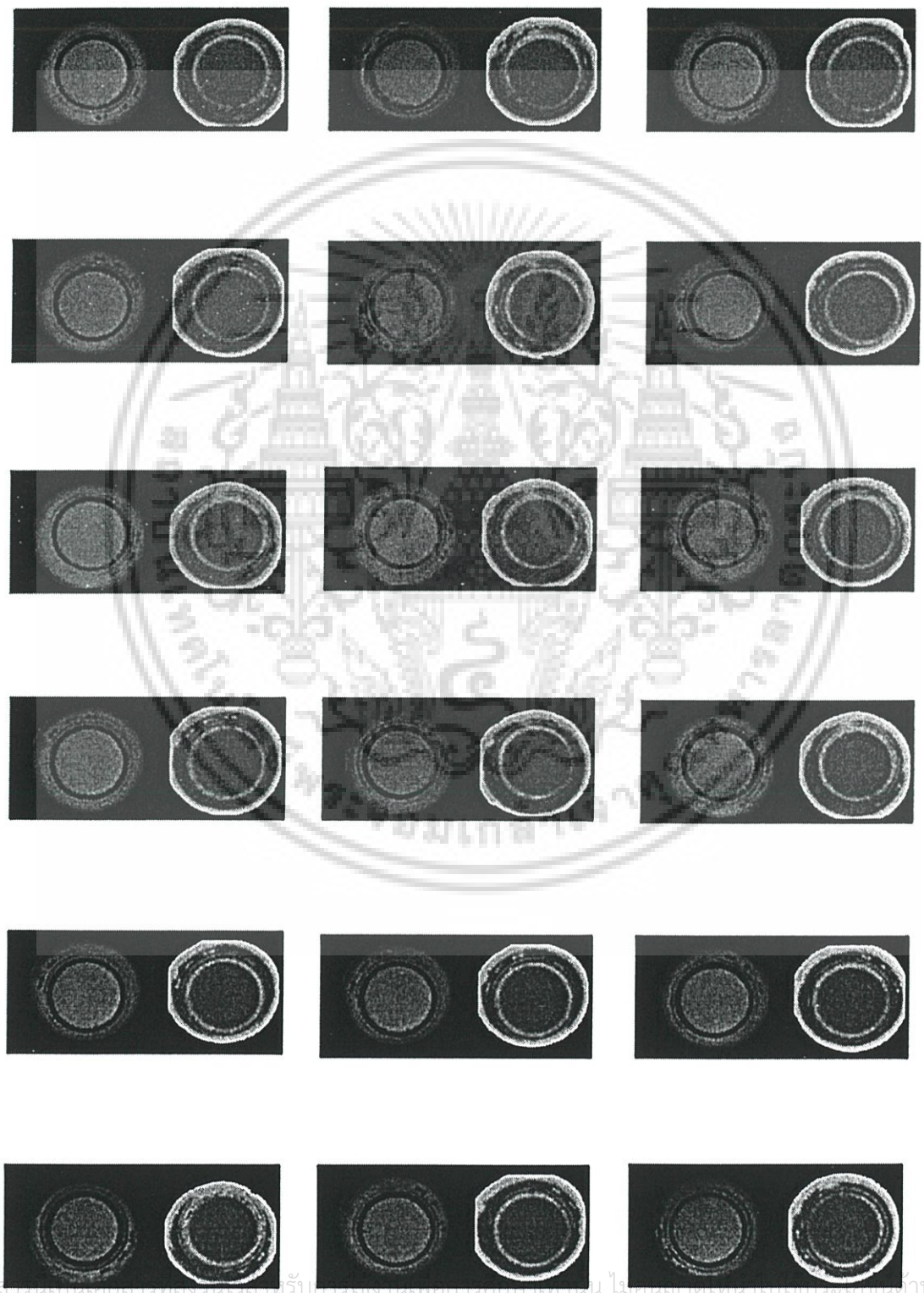
รูปที่ 9.5 ลักษณะของขวดที่เป็นไส้แก้ว

9.2 การทดสอบที่ 2

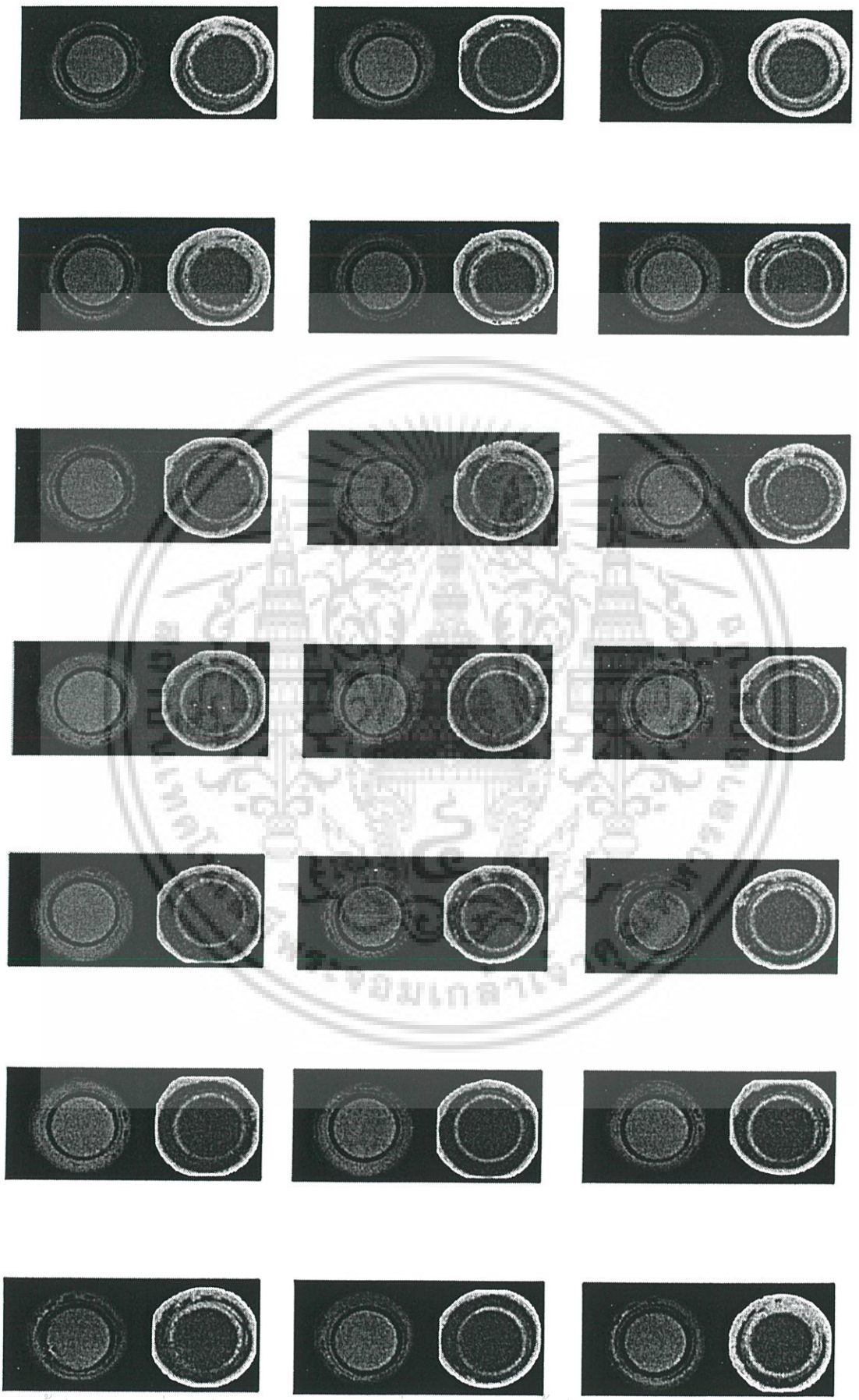
ทำการทดสอบโดยการติดตั้งระบบการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วในสายการผลิตขวดแก้ว Soft drink สีขาวขนาด 280 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ผลิตด้วยอัตราเร็วอัตรา 360 ขวดต่อนาที และสายพานลำเลียงขวดแก้วเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 42 นิ้วต่อวินาที จากเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วแบบแก้วคู่ (Double gobs) ขนาด 12 เครื่องผลิต (Sections) โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลางเพนเทียมโฟร์ความเร็ว 1.5 กิกะเฮิร์ซ หน่วยความจำชั่วคราวขนาด 256 เมกกะไบต์ และการ์ดแสดงผลที่มีหน่วยความจำขนาด 64 เมกกะไบต์พร้อมทั้งติดตั้งการ์ดตรวจจับข้อมูลภาพ (Frame grabber) ซึ่งทำหน้าที่ในก ารแปลงข้อมูลภาพขวดแก้วซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับของสีเทา (Gray level) ที่มีความละเอียดของสี 8 บิทหรือ 256 สีและมีขนาดของภาพ 640×480 พิกเซล โดยจะแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนใน ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนนอก และส่วนของลายกลีบส้ม โดยกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็น 12 ส่วน โดยจะกำหนดเงื่อนไขของการตรวจสอบให้กับขอบเขตแต่ละส่วนให้มีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมที่จะตรวจจับได้ไม่เกินขอบเขตละ 2 พิกเซตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

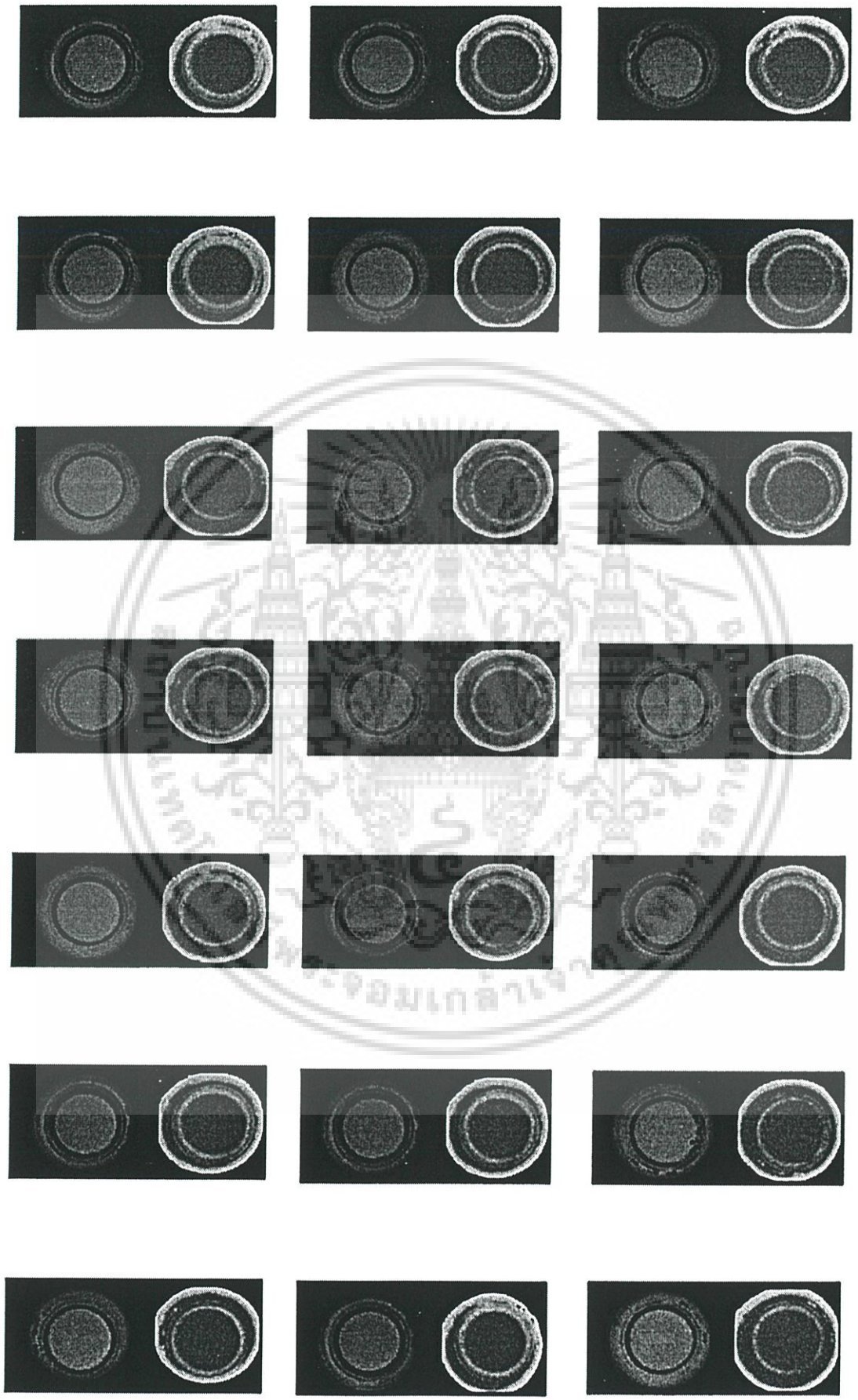
กำหนดให้แต่ละขอบเขตจะมีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมได้ไม่เกิน 2 ขอบเขตและสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 15 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 88 โดยทำการทดสอบขวดขวดแก้วจำนวน 100 ขวด และจับเวลาที่ใช้ในการทำงาน



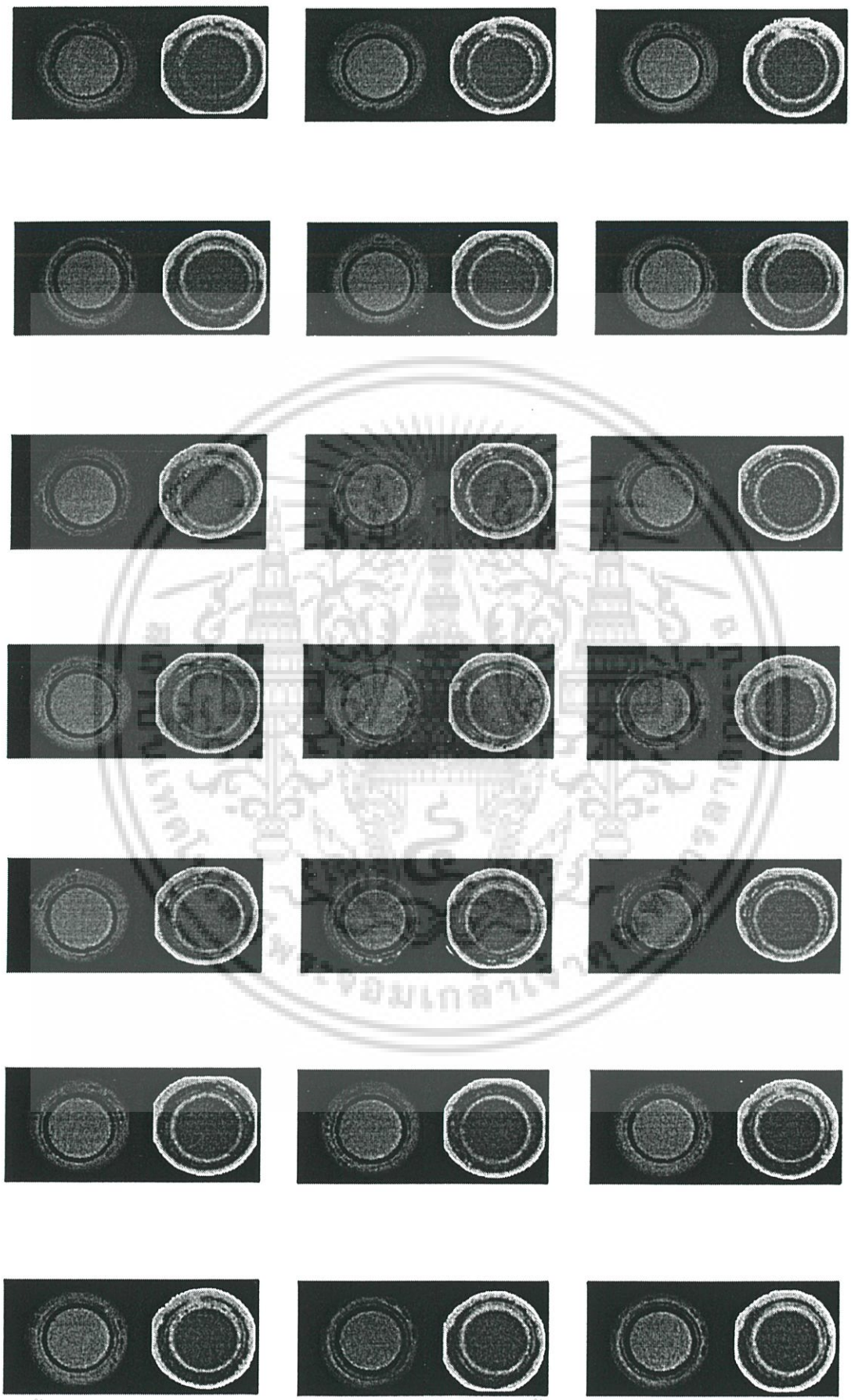
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



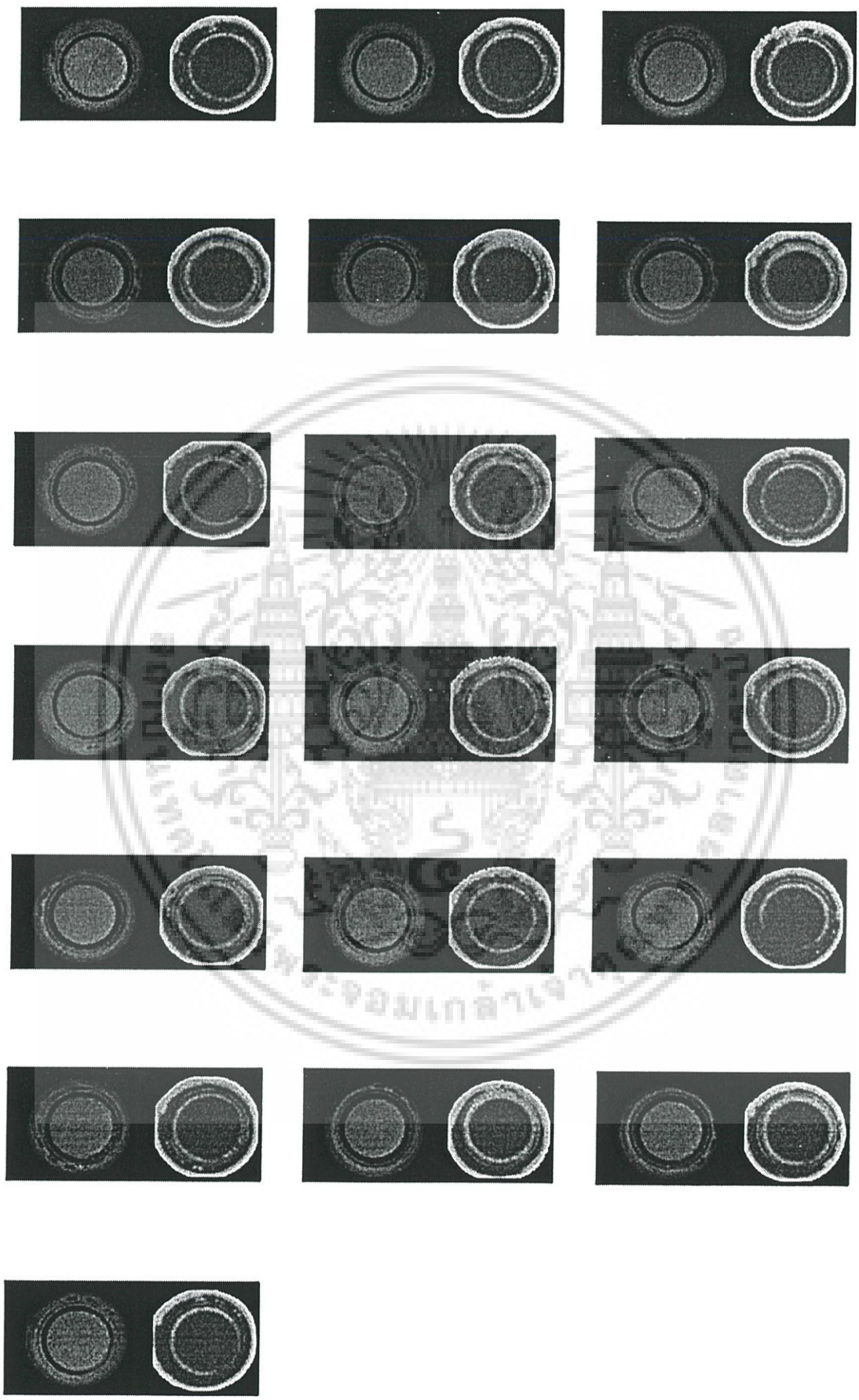
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.6 ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลของขวดแก้วจากการทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

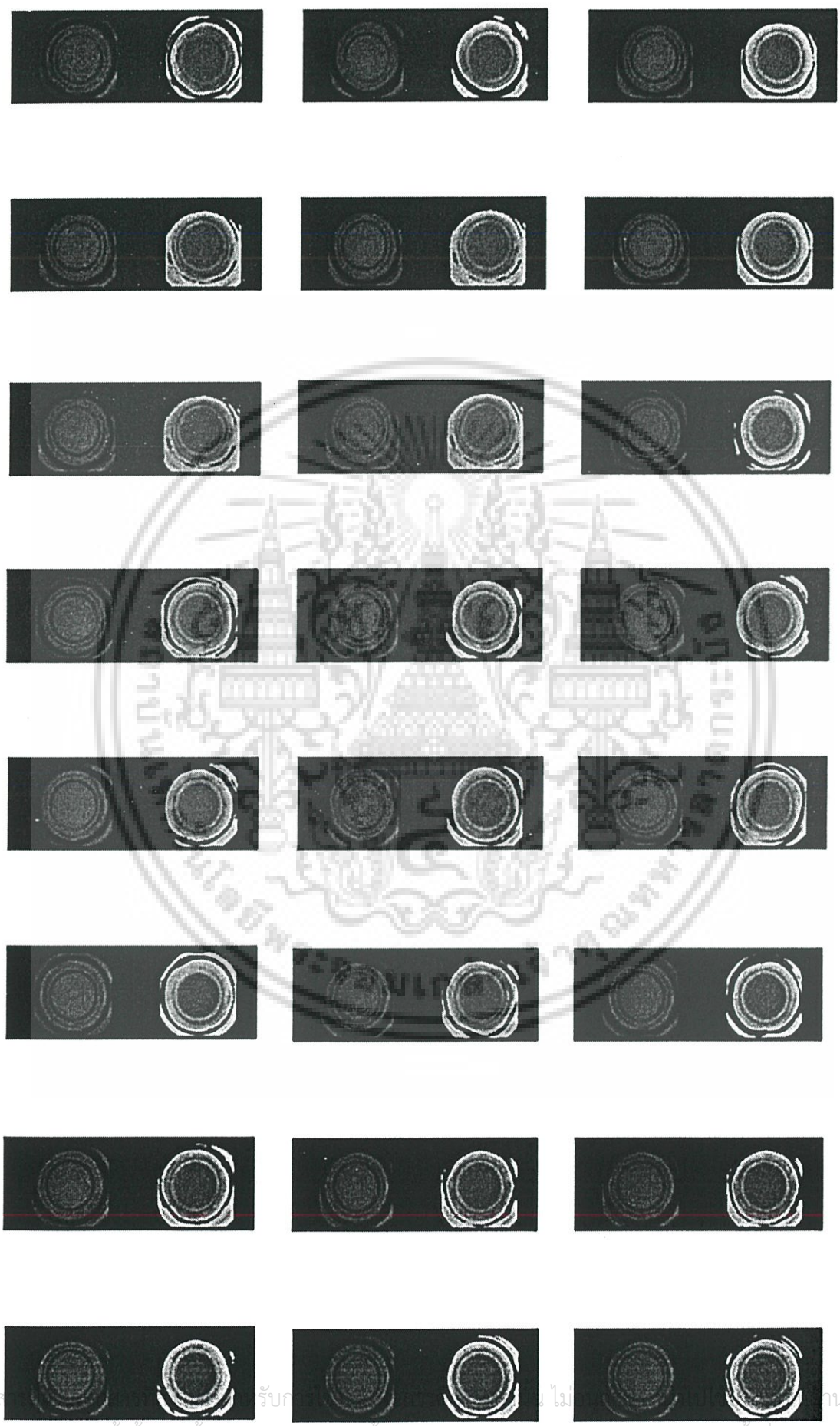
ตารางที่ 9.1 ค่าของเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขวดแก้วจากการทดสอบที่ 2

ขั้นตอนของการทำงาน	เวลาที่ใช้ในการทำงานโดยเฉลี่ย (มิลลิวินาที)
การทำงานของตัวตรวจจับ	0.6
คำสั่งในการจับภาพ	มีค่าน้อยมาก
การทำงานของไฟแฟลทซ์	0.05
การจับภาพ	0.02
การส่งสัญญาณภาพไปยังตัวจับภาพ	15
การส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลกลาง	25
การประมวลผล	62
การส่งสัญญาณไปยังตัวดีดขวด	มีค่าน้อยมาก
รวมเวลาทั้งหมด	102.67

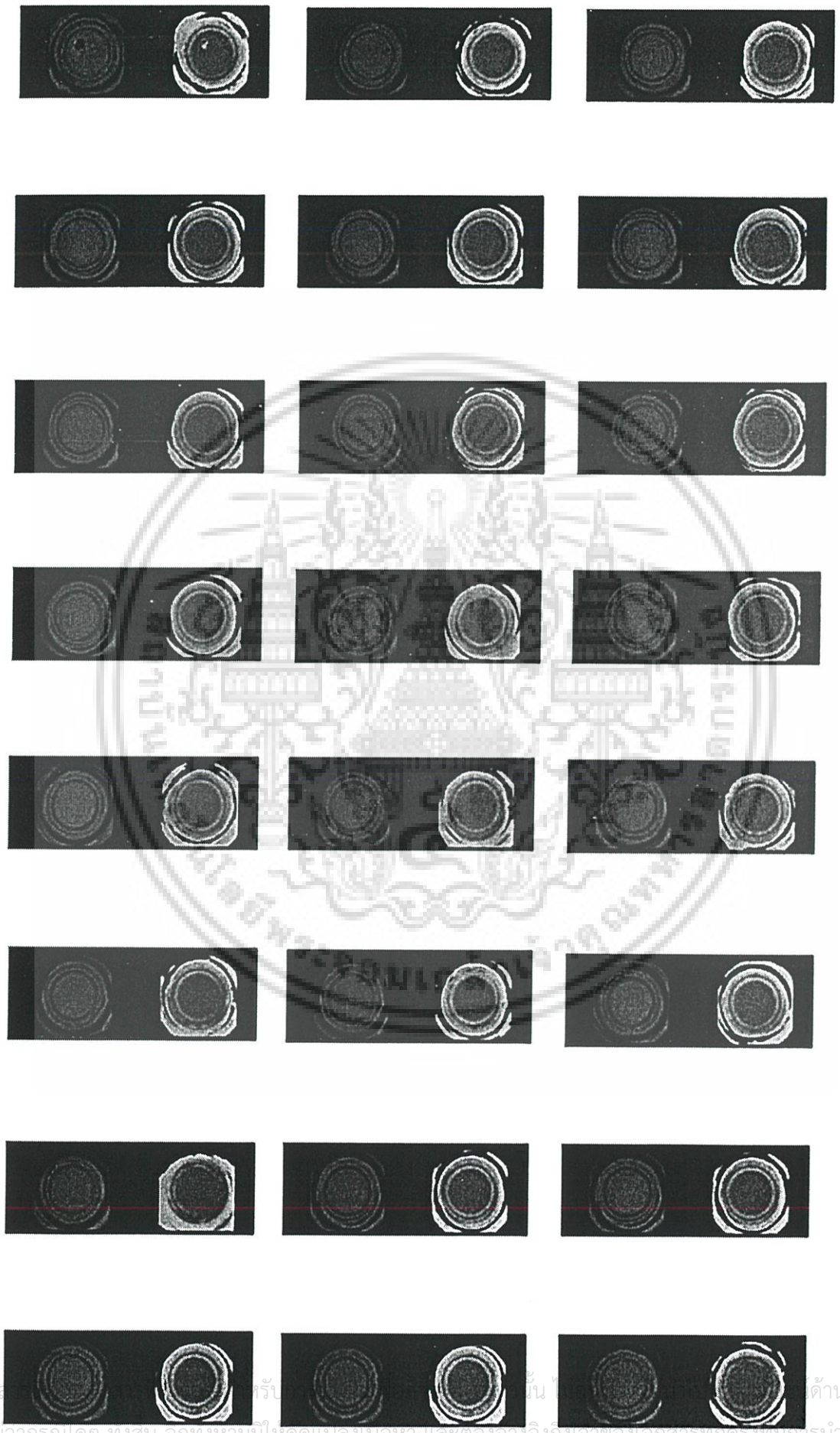
9.3 การทดสอบที่ 3

ทำการทดสอบโดยการติดตั้งระบบการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วในสายการผลิตขวดแก้ว Soft drink สีชาขนาด 220 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ผลิตด้วยอัตราเร็วอัตรา 300 ขวดต่อนาทีและสายพานลำเลียงขวดแก้วเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 40 นิ้วต่อวินาที จากเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วแบบแก้วคู่ (Double gobs) ขนาด 12 เครื่องผลิต (Sections) โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลางเพนเทียมโฟร์ความเร็ว 1.5 กิกะเฮิร์ซ หน่วยความจำชั่วคราวขนาด 256 เมกกะไบต์ และการ์ดแสดงผลที่มีหน่วยความจำขนาด 64 เมกกะไบต์พร้อมทั้งติดตั้งการ์ดตรวจจับข้อมูลภาพ (Frame grabber) ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพขวดแก้วซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับของสีเทา (Gray level) ที่มีความละเอียดของสี 8 บิทหรือ 256 สีและมีขนาดของภาพ 640×480 พิกเซล โดยจะแบ่งขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนใน ส่วนของเนื้อแก้วตรงกลางขวดแก้วส่วนนอก และส่วนของลายกลีบส้ม โดยกำหนดขอบเขตของการตรวจสอบออกเป็น 12 ส่วน โดยจะกำหนดเงื่อนไขของการตรวจสอบให้กับขอบเขตแต่ละส่วนให้มีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมที่จะตรวจจับได้ไม่เกินขอบเขตละ 2 พิกเซตและกำหนดให้แต่ละขอบเขตจะมีพิกเซลของสิ่งแปลกปลอมได้ไม่เกิน 2 ขอบเขตและสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 12 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 75 โดยทำการทดสอบขวดขวดแก้วจำนวน 100 ขวด และจับเวลาที่ใช้ในการทำงาน

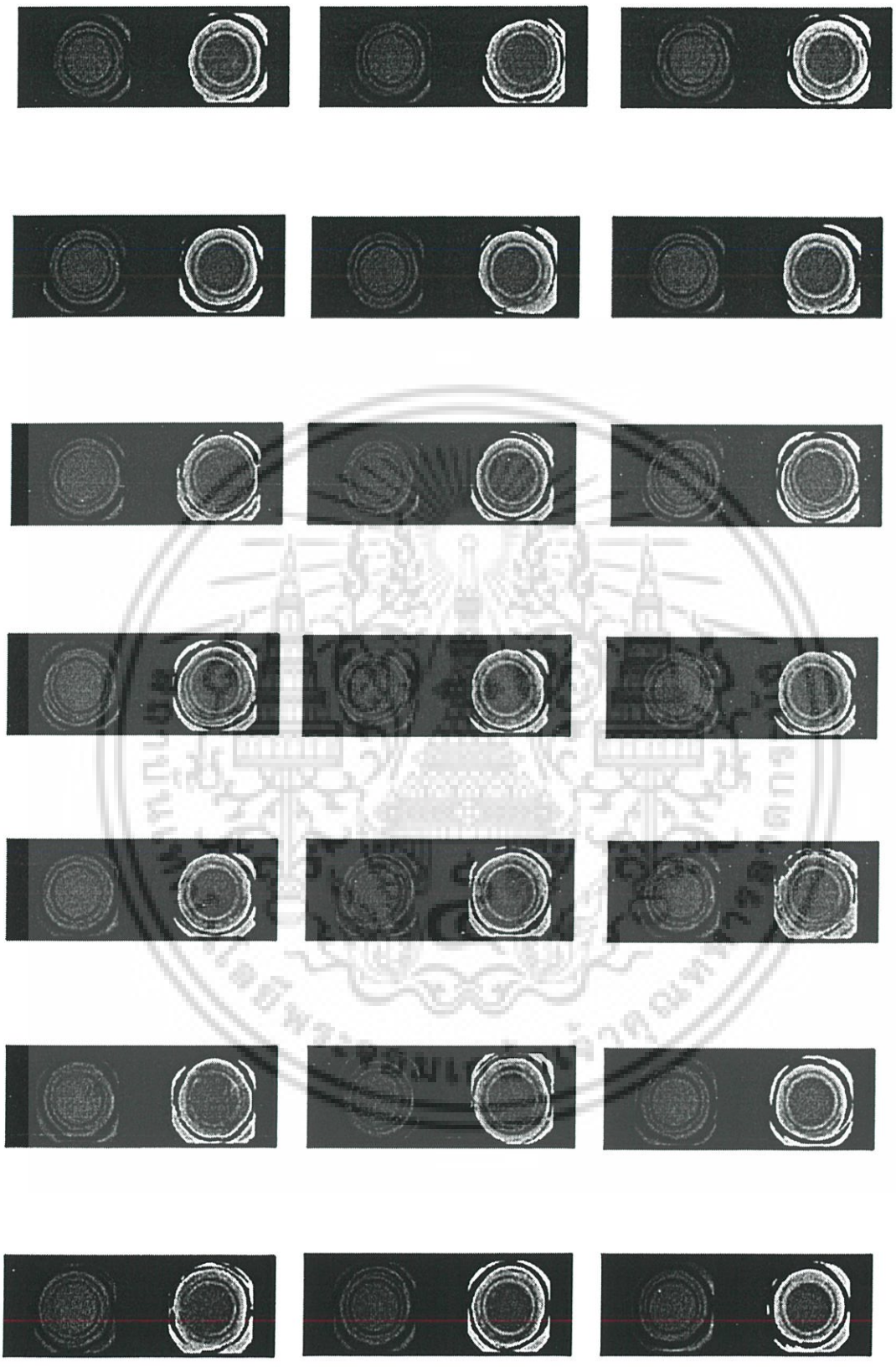
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



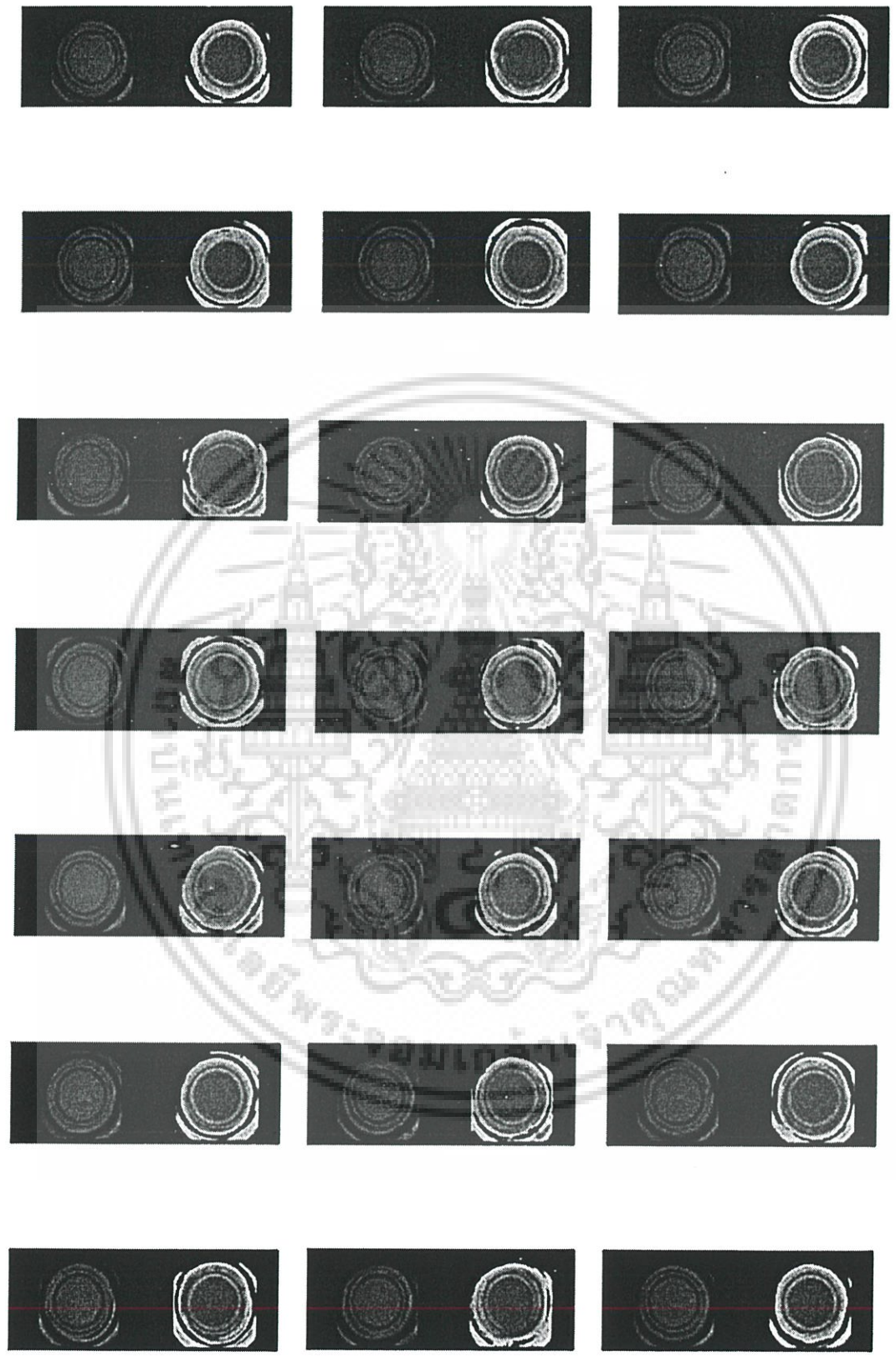
เอกสาร รับก ไม ค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



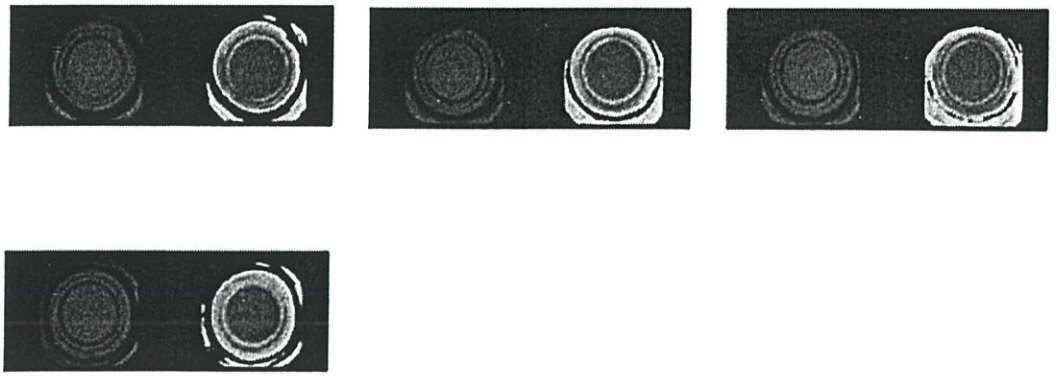
เอกสารนี้สำหรับ ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสาร รับ น์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบเลือนหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.7 ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลของขวดแก้วจากการทดสอบที่ 3

ตารางที่ 9.2 ค่าของเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขวดแก้วจากการทดสอบที่ 3

ขั้นตอนของการทำงาน	เวลาที่ใช้ในการทำงานโดยเฉลี่ย (มิลลิวินาที)
การทำงานของตัวตรวจจับ	0.6
คำสั่งในการจับภาพ	มีค่าน้อยมาก
การทำงานของไฟแฟลทซ์	0.05
การจับภาพ	0.02
การส่งสัญญาณภาพไปยังตัวจับภาพ	15
การส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลกลาง	25
การประมวลผล	50
การส่งสัญญาณไปยังตัวดีดขวด	มีค่าน้อยมาก
รวมเวลาทั้งหมด	90.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

บทสรุปและวิจารณ์

10.1 บทสรุป

จากการทดสอบที่ 1 ระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วสีขาวติดต่อกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีขวดผ่านเครื่องทดสอบเป็นจำนวนทั้งสิ้น 495,508 ใบ โดยระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานได้ทั้งหมดและระบบตรวจสอบดีดขวดที่มีคุณภาพดีออกจากสายพานลำเลียงเป็นจำนวน 146 ใบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการดีดขวดทีมีคุณภาพดีออกจากสายพานลำเลียงได้ต่ำกว่า 0.03% และสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 15 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 88 โดยระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในขวดแล้วยังสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีเม็ดหิน (Various stones) ฟองอากาศ (Tear หรือ Blister) ไส้แก้ว (Birds wings) และคราบสกปรก (Grease spots) ที่อยู่ที่ก้นขวดแก้วได้อีกด้วย ซึ่งครอบคลุมความผิดพลาดจากการกระบวนการของการผลิตได้ทั้งหมด และยังสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในขวดแก้วได้ในทุกกรณีและยังมีความถูกต้องในการตรวจสอบสูง นอกจากนั้นยังสามารถดีดขวดแก้วที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ออกสายพานลำเลียงได้อย่างแม่นยำอีกด้วย

จากการทดสอบที่ 2 ตรวจสอบขวดแก้วสีขาวซึ่งผลิตจากสายการผลิตที่มีความเร็วในการผลิตขวดแก้ว 320 ใบต่อนาที โดยสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 15 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 88 และสามารถหาค่าเวลาในการทำงานทั้งหมดของระบบตรวจสอบในการตรวจสอบขวดแก้วหนึ่งใบได้ในเวลาโดยเฉลี่ย 102.67 มิลลิวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับที่จะตรวจสอบขวดแก้วที่ผลิตจากสายการผลิตที่ผลิตขวดแก้วด้วยความเร็ว 167 มิลลิวินาทีต่อขวดหนึ่งใบ

จากการทดสอบที่ 3 ตรวจสอบขวดแก้วสีชาซึ่งผลิตจากสายการผลิตที่มีความเร็วในการผลิตขวดแก้ว 300 ใบต่อนาที โดยสามารถหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของเนื้อแก้วกับขอบเขตของลายกลีบส้มได้เท่ากับ 12 และหาค่าเทรสโฮล (Threshold) ระหว่างขอบเขตของลายกลีบส้มกับขอบเขตของพื้นหลังเท่ากับ 75 และสามารถหาค่าเวลาในการทำงานทั้งหมดของระบบตรวจสอบในการตรวจสอบขวดแก้วหนึ่งใบได้ในเวลาโดยเฉลี่ย 90.67 มิลลิวินาที ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอสำหรับที่จะตรวจสอบขวดแก้วที่ผลิตจากสายการผลิตที่ผลิตขวดแก้วด้วยความเร็ว 200 มิลลิวินาทีต่อขวดหนึ่งใบ

จากการทดสอบที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ทันกับขวดแก้วที่ผลิตจากสายการผลิตที่ผลิตขวดแก้วความเร็วสูงและสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ตามเวลาจริงซึ่งระบบตรวจสอบขวดแก้วสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ทั้งขวดแก้วสีขาวและขวดแก้วสีชาซึ่งเป็นสีของขวดแก้วที่ผลิตขึ้นมาใช้บรรจุสินค้าอุปโภคและบริโภคมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขวดแก้วสีขาวและขวดแก้วสีชาซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน จากการทดสอบจะเห็นว่าสีของขวดแก้วไม่มีผลต่อเวลาในการตรวจสอบของระบบตรวจสอบ แต่จากการทดสอบจะเห็นว่าขนาดของขวดแก้วมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขวดแก้ว ซึ่งระบบตรวจสอบสามารถตรวจสอบขวดแก้วได้ทั้งสีขาวและสีชา โดยขวดแก้วที่มีขนาดใหญ่กว่าจะใช้เวลาในการตรวจสอบมากกว่าขวดแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า

10.2 บทวิจารณ์

บทความนี้ได้ประยุกต์การใช้งานการจัดแบ่งข้อมูลแบบแม็กซิมั่มไลท์ลี่ฮูด (Maximum Likelihood) โดยสมมุติให้การกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในขวดแก้วซึ่งสามารถกำหนดค่าเทรสโฮลได้โดยอัตโนมัติ โดยการใช้กล้องตรวจจับภาพของขวดแก้วที่อยู่บนสายการผลิตที่มีความเร็วสูงตามเวลาจริง ซึ่งจากผลการทดสอบระบบตรวจสอบขวดแก้วสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในขวดแล้วยังสามารถตรวจสอบขวดแก้วที่มีเม็ดหิน (Various stones) ฟองอากาศ (Tear หรือ Blister) ไส้แก้ว (Birds wings) และคราบสกปรก (grease spots) ที่อยู่ที่ก้นขวดได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง แล้วยังสามารถดีดขวดที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานออกจากสายการผลิตได้อย่างแม่นยำ โดยเครื่องตรวจสอบขวดแก้วสามารถตรวจสอบขวดที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานออกจากสายพานลำเลียงก่อนที่จะนำขวดแก้วบรรจุหีบห่อ ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วนี้มีความจำเป็นมากในอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้วเพราะถ้าขวดแก้วที่ผลิตไม่มีคุณภาพก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้และอาจจะส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตขวดแก้วอีกด้วย

ระบบตรวจสอบนี้ยังสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบส่วนอื่นๆของขวดแก้วได้อีกด้วย ดังเช่น ส่วนของปากขวด ส่วนของคอขวด หรือส่วนของลำตัวขวดแก้ว โดยการแก้ไขส่วนประกอบเชิงกลให้เหมาะสมกับส่วนของขวดแก้วที่ต้องการจะตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] J. P. Hoffbeck and D. A. Landgrebe "Covariance Matrix Estimation and Classification with Limited Training Data," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 7, pp 763-767, July 1996.

[2] R. A. Gopinath. "Maximum Likelihood Modeling with Gaussian Distributions for Classification," Proceedings of ICASSP 1998.

[3] J. Zhang, J. W. Modestino and D. A. Langan, "Maximam-Likelihood Parameter Estimation for Unsupervised Stochastic Model-Based Image Segmentation," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 3, No. 4, July 1994.

[4] I. Sekita, T. Kurita, N. Ostu and N. Abdelmalek "A Threshold Method Using the Mixture of Normal Density Function," International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks, April 1994.

[5] P. West "High Speed, Real-Time Machine Vision," Imagination and Automated Vision Systems, Inc., 2001.

[6] X. Jia and J. A. Richards "Efficient Maximum Likelihood Classification for Image Spectrometer Data Set," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 32, No. 2 March 1994.

[7] X. Jia and J. A. Richards "Binary Coding of Imaging Spectrometer Data for Fast Spectral Matching and Classification," Remote Sensing Environ., Vol. 43 pp. 47-53, 1993.

[8] M. N. Niam, J. P. Chan, and A. M. Huneiti, "Quantifying the Learning Curve of a Vision Inspection System" Advanced Factory Automation, 3-5 Oct. IEE. 1994.

[9] H.-M. Ma, G.-D. Su, J.-Y. Wang and Z. Ni "A Glass bottle Defection System without Touching," Proceedings of the First International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Nov. 2002.

[10] H. Sari-Sarraf and J. S. Goddard, "Vision System for On-Loom Fabric Inspection," IEEE Trans. Industry Application, Vol. 35, No. 6' Nov./Dec. 1999.

[11] J. Ai and X. Zhu "Analysis and Detection of Ceramic-Glass Surface Defects Based on Computer Vision," Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation June 10-14, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] M. Nakagawa, K. Ohnishi and H. Nakayasu, "Human-Oriented Image Recognition for Industrial Inspection System," IEEE. International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, Sep. 2000.

[13] C. Romaneessen and E. Lehner, "Detection of Coastlines in SAR Images Using Wavelet," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 2000.

[14] M. Mignotte, C. Collet, P. Perez and P. Bouthemy, "Sonar Image Segmentation Using an Unsupervised Hierarchical MRF Model," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 7, July. 2000.

[15] Y. Zhang, M. Rrady and S. Smith, "Segmentation of Brain MR Images Through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm," IEEE Trans. Medical Imaging, Vol. 20, No. 1 January 2001.

[16] F. Zana and J.-C. Klein, "Segmentation of Vessel-Like Pattern Using Mathematical Morphology and Curvature Evaluation," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10 No. 7, July 2001.

[17] A. Mojsilovic, M. V. Popovic, A. N. Neskovic and A. D. Popovic, "Wavelet Image Extension for Analysis and Classification of Infracted Myocardial," IEEE Trans Biomedical Engineering, Vol. 44, No. 9, September 1997.

[18] D. A. Bader and J. JaJa, "Parallel Algorithms for Image Histogramming and Connected Components with an Experimental Study," Journal of Parallel and Distributed Computing, 1996.

[19] S. G. Chang, B. Yu, and M. vetterli, "Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising and Compression," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 9, September 2000.

[20] U. Rhein, "An Automated Approach for Training Data Selection within am Integrated GIS and Remote Sensing Environment for Monitoring Temporal Changes," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, June 1999.

[21] M. A. Kupinski, D. C. Edwords, M. L. Giger and C. E. Metz, "Ideal Observer Approximation Using Bayesian Classification Neural Network," IEEE Trans. Medical Imaging, Vol. 20, No. 9, September 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[22] T. Randen and J. H. Husoy, "Texture Segmentation Using Filters with Optimize Energy Separation," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 8, No. 4, April 1999.

[23] S. Yang, Y.-H. Hu, T. Q. Nguyen and D. L. Tull, "Maximum-Likelihood Parameter Estimation for Image Ringing-Artifact Removal," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, No. 8, August 2001.

[24] D. Kunz, "Investigation of Synergy Effects between Satellite Imagery and Digital Topographic Database by Using Integrated Knowledge Processing," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, June 1999.

[25] R. Guillemaud and M. Brady, "Estimating the Bias Field of MR images," IEEE Trans. Medical Images," IEEE trans. Medical Imaging, 1997.

[26] Y. Zhang, M. Brady and S. Smith, "Segmentation of Brain MR Images Through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm," IEEE Trans Medical Imaging, Vol. 20, No.1,January 2001.

[27] E. T. Bullmore, J. Suckling, S. Overmeyer, S. Rabe-Hesketh, E. Taylor and M. J. Brammer, "Global, Voxel, and Cluster Tests, by Theory and Permutation, for a Difference between Two Groups of Structural MR Images of the Brain," IEEE Trans. Medical Imaging, Vol. 18, No. 1, January 1999.

[28] C. Sun, "Automatic Segmentation of Fiducial Marks Using Attribute-based Mathematical Morphology," Journal of Electronic Imaging, Vol. 10, No. 2, April 2001.

[29] A. Bendjebbour, Y. Delignon, L. Fouque, V. Samson and W. Pieczynski, "Multisensor Image Segmentation Using Dempster-Shafer Fusion in Markov Fields Context," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 8, August 2001.

[30] H. Caillol, W. Piecznski and A. Hillion, "Estimation of Fuzzy Gaussian Mixture and Unsupervised Statistical Image Segmentation," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 6, No. 3, March 1997.

[31] Y. Delignon and W. Piecznski, "Modeling Non-Rayleigh Speckle Distribution in SAR Image," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 6, June 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[32] P. M. Dare, R. Ruskone and I. J. Dowman, "Algorithm Development for the Registration of Satellite Images, " Image Registration Workshop, November 1997.

[33] T. Randen and j. H. Husoy, "Filtering for Texture Classification: A Comparative Stady," IEEE Trans. Pattern analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 4, April 1999.

[34] L. K. Saul and M. G. Rahim, "Maximum Likelihood and Minimum Classification Error Factor Analysis for Automatic Speech Recognition," IEEE Trans. Speech and Audio Processing, Vol. 8, No. 2, March 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความและผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] บัญชา แกล้วกล้า และ กอบชัย เดชหาญ, "การใช้งาน PLC กับงานควบคุมตำแหน่งของ AC มอเตอร์," วรสารลาดกระบัง, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, มีนาคม พ.ศ.2542.

[2] บัญชา แกล้วกล้า และ กอบชัย เดชหาญ, "การตรวจสอบคุณภาพของขวดแก้วแบบความเร็วสูงโดยใช้เฟรมแกรบเบิ้ลด้วยการหาค่าเทรสโฮลอัตโนมัติ,"การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42, มกราคม พ.ศ.2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายบัญชา แกล้วกล้า

วัน เดือน ปีเกิด 5 กุมภาพันธ์ 2516 ที่โรงพยาบาลมิชชั่น เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2538 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเลคโทรนิกส์

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2539 ตำแหน่งวิศวกร บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

พ.ศ. 2546 ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายโครงการ บริษัท คอมมาเนีย จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้