

การพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริงภายใต้สิ่งแวดล้อมทางแสงที่ถูก

ควบคุม

**Development of Real-Time Visual Inspection System Under Controlled Lighting
Environments**

สากต จุลรัตน์

Sakol Julrat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

TA1637 ๗๖2 ๒552 ๗. 2

313500

17 ๗๖๖, 2552

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริงภายใต้สิ่งแวดล้อมทางแสงที่ถูกควบคุม
ผู้เขียน	นายสากล จุฬรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพซึ่งได้แก่ ความเข้มแสงของภาพ ความแตกต่างของภาพ โดยทำการปรับค่าความเข้มแสงของภาพแล้วนำมาทำการวิเคราะห์ผลในระบบสี RGB, HSL, HSV, HSI, $L^*a^*b^*$ และ XYZ จากผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจะทำให้ภาพมีคุณภาพสูงที่สุดหรือเป็นจุดที่ภาพมีความแตกต่างของภาพหรือความคมชัดของภาพสูงที่สุด ผลการศึกษาดังกล่าวได้นำไปสู่การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมร่วมกับการออกแบบวิธีการหาค่าตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมแบบเวลาจริงสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพเพื่อหาความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสที่ทำให้ภาพมีคุณภาพสูงที่สุด จากผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบ สำหรับกรณีที่วัตถุที่ต้องการตรวจสอบมีความไม่แน่นอนเชิงแสงเกิดขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วย จึงได้ทำการออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยใช้หลักการทำงานของพีซีซีลอจิก และได้ทำการทดสอบการทำงาน พบว่าระบบสามารถหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมได้ถูกต้องแต่ใช้จำนวนรอบในการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมหลายรอบ ซึ่งจะไม่เหมาะสมสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพเนื่องจากจะเป็นการเสียเวลาในการทำงาน ดังนั้นได้นำเสนอวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตแบบใหม่ที่จะใช้จำนวนรอบในการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมน้อยลง ซึ่งจะเหมาะกับระบบตรวจสอบด้วยภาพมากกว่า นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงต่อการประมวลผลของอัลกอริทึม Color Pattern Matching โดยแบ่งระดับความเข้มแสงของภาพต้นแบบออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง แล้วนำไปทำการประมวลผลกับภาพที่มีระดับความเข้มแสงต่างๆ ซึ่งพบว่าการใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำจะใช้เวลาในการประมวลผลสั้นที่สุด

คำสำคัญ ระบบตรวจสอบด้วยภาพ ความเข้มแสงที่เหมาะสม

Thesis Title Development of Real-Time Visual Inspection System Under Controlled Lighting Environments
Author Mr. Sakol Julrat
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 2009

ABSTRACT

This thesis studied the effects of light source intensity to the image quality, which are image intensity, image contrast and image sharpness. The test object images taken from various lighting conditions were analyzed in RGB, HSL, HSV, HSI, $L^*a^*b^*$ and XYZ color spaces. It is found that the proper light source intensity delivers the highest image contrast or highest image sharpness. This result leads to the design of proper light source intensity searching algorithm together with the proper focusing searching algorithm in real-time system. These algorithms detect the highest image contrast or highest image sharpness of the captured images corresponding to the highest point of image quality. The testing result of the combined algorithm is exceptional well in term of accuracy. For the test objects which have the uncertain optical characteristics, the proper light source intensity searching is needed in every test object to achieve the highest image quality. In this case, the proper dynamic light source searching algorithm based on fuzzy logic was designed and tested. The testing result in term of accuracy is comparable to the proper light source intensity searching algorithm, but the dynamic algorithm runs several iterations before converge to the target. To match the visual inspection task, the new dynamic algorithm was proposed to minimize the number of iterations. Moreover, this thesis studied the effect of light source intensity to the Color Pattern Matching algorithm. The template images were selected based on the light source intensity levels which are low, medium and high. Each template image was applied Color Pattern Matching to the images with various light source intensities. It is found that the fastest processing rate can be achieved by using the low intensity template.

Keywords: visual inspection, proper light source intensity

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงคำขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนการทำวิจัย กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิดและกำลังใจ ในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พุกภัยภัทรานนต์ และดร.ภราดร ภัคดีวานิช กรรมการที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือแก้ไขปัญหาในงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงษ์ เกิดหอมมี (อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ) ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ คำสัตย์ กรรมการสอบโครงร่างและกรรมการสอบความก้าวหน้างานวิจัยที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อน ๆ รวมทั้งน้องๆ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

สากล จุลรัตน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source).....	6
2.1.1 คุณภาพของสเปกตรัม.....	7
2.1.2 กำลังการส่องสว่าง (Luminous Intensity).....	8
2.1.3 The Photometric Inverse Law.....	8
2.1.4 ความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุ (Luminance of Object).....	8
2.1.5 การส่งผ่านแสงไปยังเลนส์และเซนเซอร์.....	8
2.1.6 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง.....	9
2.1.7 การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน.....	10
2.2 ปฏิกริยาระหว่างแสงกับวัตถุ.....	11
2.2.1 การสะท้อนและการกระเจิง.....	11
2.2.2 การสะท้อนทั้งหมด.....	12
2.2.3 การส่งผ่าน.....	12
2.1.4 การดูดกลืน.....	13
2.1.5 การเลี้ยวเบนและแทรกสอด.....	13
2.1.6 การหักเห.....	13
2.1.7 สีของแสงและสีของวัตถุ.....	13
2.1.8 แสงโพลาไร.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เลนส์.....	14
2.3.1 ความคลาดทรงกลม.....	16
2.3.2 Coma.....	16
2.3.3 Astigmatism.....	16
2.3.4 Distortion.....	16
2.3.5 ความคลาดตรงค้.....	16
2.4 ตัวกรองแสง.....	17
2.4.1 ตัวกรองแบบคูคกลืน.....	17
2.4.2 ตัวกรองแบบแทรกสอด.....	17
2.4.3 ตัวกรองแบบโพลาไร.....	17
2.5 เซนเซอร์ภาพ.....	17
2.5.1 White balance.....	18
2.5.2 Gain.....	19
2.5.3 Shading correction.....	19
2.5.4 Brightness.....	19
2.5.5 Contrast.....	19
2.5.6 Sharpness.....	19
2.5.6 Exposure.....	19
2.6 การออกแบบแสง.....	20
2.6.1 คุณสมบัติทิศทางของแสง.....	20
2.6.2 การจัดทิศทางการให้แสง.....	20
2.6.3 การจัดโครงสร้างของแสง.....	22
2.6.4 ข้อจำกัดของการส่องสว่าง.....	22
2.7 คุณภาพของภาพ.....	24
2.7.1 ความเข้มแสงของภาพ (Image intensity).....	24
2.7.2 ความแตกต่างของภาพ (Image contrast).....	24
2.7.3 ความคมชัดของภาพ (Image sharpness).....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ระบบสีของภาพ.....	26
2.8.1 ระบบสี RGB.....	26
2.8.2 ระบบสี HSI.....	26
2.8.3 ระบบสี CIE.....	27
2.9 หลักการควบคุมตำแหน่งโฟกัส.....	28
2.9.1 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Passive.....	30
2.9.2 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active.....	30
2.10 การทำงานแบบเวลาจริง.....	33
2.10.1 Hard real-time.....	34
2.10.2 Soft real-time.....	34
2.10.3 ลักษณะงานของระบบแบบเวลาจริง.....	35
2.10.4 องค์ประกอบของระบบแบบเวลาจริง.....	38
3. การออกแบบระบบพื้นฐาน.....	40
3.1 การออกแบบระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง.....	40
3.1.1 โปรแกรมรับข้อมูลภาพจากกล้อง.....	41
3.2 การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง.....	44
3.2.1 หลักการควบคุมความเข้มแสง.....	48
3.2.2 โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง.....	49
3.2.3 การวัดค่าความเข้มแสงด้วย Lux meter.....	51
3.2.4 การวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ.....	53
3.3 การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์.....	58
3.3.1 หลักการออกแบบระบบควบคุม Stepper มอเตอร์.....	59
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ Stepper มอเตอร์.....	59
3.3.3 การปรับตำแหน่งโฟกัสโดยปรับตำแหน่งเลนส์.....	61
3.3.4 การทดสอบระบบการปรับตำแหน่งโฟกัส.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง.....	65
4.1 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของ ภาพ.....	65
4.1.1 การทดลองแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสีส่องสว่างด้วยแสงสีขาว แบบแสงกระจาย.....	66
4.1.2 การทดลองแถวของตัวเก็บประจุแบบสีขาวส่องสว่างด้วยแสงสีแดงแบบ แสงกระจาย.....	68
4.2 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงและตำแหน่ง โฟกัสของเลนส์ต่อ คุณภาพของภาพ.....	70
4.3 การศึกษาผลของความไม่แน่นอนของวัตถุทดสอบต่อคุณภาพของภาพ.....	72
4.4 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงต่อการประมวลผลข้อมูลภาพ.....	74
4.4.1 อัลกอริทึม Color Pattern Matching.....	75
4.4.2 การทดลองแถวตัวเก็บประจุสีขาว.....	76
4.4.3 การทดลองแถวตัวเก็บประจุแบบคละสี.....	79
5. การหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสม.....	83
5.1 การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม.....	83
5.1.1 การทดสอบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม.....	85
5.2 การออกแบบวิธีการหาตำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสม โดยการปรับตำแหน่งของเลนส์.....	87
5.2.1 การทดสอบวิธีการปรับตำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสม โดยการปรับตำแหน่ง ของเลนส์.....	88
5.3 การรวมวิธีการหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน.....	90
5.3.1 การให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่ง โฟกัส.....	90
5.3.2 การให้ตำแหน่ง โฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง.....	92
5.3.3 การออกแบบวิธีการปรับตำแหน่ง โฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสง.....	95
5.3.4 การออกแบบการปรับตำแหน่ง โฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลา จริง.....	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.5 การพัฒนาวิธีการปรับตำแหน่ง โฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลา จริงบน โปรแกรม LabVIEW.....	98
5.3.6 การทดสอบวิธีการหาตำแหน่ง โฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลา จริง.....	100
5.4 การหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	102
5.4.1 การออกแบบระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	102
5.4.2 การทดสอบระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	105
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	109
6.1 สรุปผล.....	109
6.1.1 การศึกษาผลของการปรับตำแหน่ง โฟกัสและผลของการปรับความเข้ม แสงต่อคุณภาพของภาพ.....	109
6.1.2 การศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงต่อการประมวลผลของ อัลกอริทึม Color Pattern Matching.....	112
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	114
6.2.1 ปัญหา.....	114
6.2.2 ข้อเสนอแนะ.....	115
6.2.3 ข้อเสนอแนะวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตต่อใน อนาคต.....	116
บรรณานุกรม.....	118
ภาคผนวก.....	121
ภาคผนวก ก.....	122
ภาคผนวก ข.....	124
ภาคผนวก ค.....	128
ภาคผนวก ง.....	130
ประวัติผู้เขียน.....	137

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง.....	9
2-2	การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน.....	10
2-3	ปัจจัยความเสี่ยงของชิ้นงานต่อการส่องสว่าง.....	23
5-1	ตำแหน่งไฟกัสของมอเตอร์ที่เหมาะสม.....	92
5-2	ค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับความแตกต่างของภาพ.....	94
5-3	ค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับความคมชัดของภาพ.....	95
6-1	ผลของการศึกษาการปรับตำแหน่งไฟกัสและค่าความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ....	110
6-2	เวลาของการทำงานแบบเวลาจริงของระบบ.....	112

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 องค์ความรู้ของระบบแมชชีนวิชั่น.....	5
2-2 กระบวนการพื้นฐานของระบบแมชชีนวิชั่น.....	6
2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงกับความยาวคลื่น.....	7
2-4 แบบจำลองปฏิกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุ.....	11
2-5 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์นูนและเลนส์เว้า.....	14
2-6 ตัวอย่างการตอบสนองของเซนเซอร์ภาพต่อความยาวคลื่นแสง.....	18
2-7 ประเภทของเทคนิคการให้แสง.....	21
2-8 ระบบสี RGB.....	26
2-9 ระบบสี HSI.....	27
2-10 ความสัมพันธ์ของระบบสี $L^* a^* b^*$	28
2-11 แบบจำลองของการเกิดภาพอย่างง่าย.....	29
2-12 แบบจำลองของระยะความคมชัดของภาพ.....	30
2-13 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่ง โฟกัสแบบ Passive.....	31
2-14 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่ง โฟกัสแบบ Active.....	32
2-15 การเปรียบเทียบระบบการทำงานระหว่าง Hard real-time และ Soft real-time.....	34
2-16 ตัวอย่างการทำงานของระบบการป้องกันการชนของแขนหุ่นยนต์อย่างง่าย.....	36
2-17 ตัวอย่างการควบคุมระดับความเข้มแสงอย่างง่าย.....	37
2-18 องค์ประกอบของระบบแบบเวลาจริง.....	38
3-1 พารามิเตอร์การควบคุมการทำงานของกล้อง.....	41
3-2 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรมแบบ State machine.....	42
3-3 ตัวอย่างโปรแกรมรับข้อมูลภาพโดยใช้หลักการ State machine.....	42
3-4 โปรแกรมรับข้อมูลภาพแบบเวลาจริง โดยใช้ฟังก์ชัน Timed loop.....	43
3-5 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมรับข้อมูลภาพแบบเวลาจริง โดยใช้ฟังก์ชัน Timed loop.....	44
3-6 ตัวอย่างภาพวัตถุทดสอบ.....	45
3-7 การออกแบบแสงและการจัดฉากให้สอดคล้องกับวัตถุ.....	46

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
3-8	สถาปัตยกรรมการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED.....	49
3-9	ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมค่าความเข้มแสง.....	49
3-10	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลของโปรแกรมควบคุมค่าความเข้มแสง.....	50
3-11	ตัวอย่างโปรแกรมบน ARM-7.....	50
3-12	ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีแดงแบบแสงกระจาย.....	51
3-13	ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มี แบบแสงกระจาย.....	52
3-14	ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีขาวแบบแสงกระจาย.....	52
3-15	สถาปัตยกรรมของระบบการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ.....	53
3-16	กระบวนการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ.....	54
3-17	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลของโปรแกรมวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ.....	55
3-18	วัตถุทดสอบสำหรับการวัดความเข้มแสงพร้อมด้วยพื้นที่ที่สนใจ.....	55
3-19	ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ก).....	56
3-20	ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ข).....	56
3-21	ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ค).....	57
3-22	ตัวอย่างระบบปรับตำแหน่งโฟกัส.....	58
3-23	ตัวอย่างระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัสที่ได้พัฒนา.....	58
3-24	หลักการควบคุม Stepper มอเตอร์แบบ Uni-polar.....	59
3-25	ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ Stepper มอเตอร์.....	60
3-26	สถาปัตยกรรมของระบบการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์.....	61
3-27	ขั้นตอนการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส.....	62
3-28	ตัวอย่างภาพในการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส.....	63
3-29	กราฟการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส.....	64
4-1	ขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อ คุณภาพของภาพ.....	65

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-2 ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณาใน ระนาบสีต่างๆ ค่าความเข้มแสงของภาพ.....	67
4-3 ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณาใน ระนาบสีต่างๆ.....	69
4-4 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณาในระนาบสี L*.....	71
4-5 วัตถุประสงค์สอบเหรียญ 1 บาทสำหรับทดสอบความไม่แน่นอนเชิงแสง.....	72
4-6 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพในระนาบสี L* โดยการส่องสว่าง ด้วยสีแดงส่องสว่างสองสว่างแบบแสงกระจาย.....	73
4-7 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพในระนาบสี L* โดยการส่องสว่าง ด้วยแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจาย.....	73
4-8 ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุสีขาวและการเลือกภาพต้นแบบ.....	76
4-9 ระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณ Template ของแถวของตัวเก็บประจุสีขาว.....	77
4-10 ตัวอย่างภาพต้นแบบของแถวตัวเก็บประจุสีขาว.....	77
4-11 ผลการทดลองการประมวลผลข้อมูลภาพของแถวตัวเก็บประจุสีขาวด้วยอัลกอริทึม Color Pattern Matching.....	78
4-12 ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสีและการเลือกภาพต้นแบบ.....	79
4-13 ระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณ Template ของแถวตัวเก็บประจุแบบคละสี....	80
4-14 ตัวอย่างภาพต้นแบบของแถวตัวเก็บประจุแบบคละสี.....	80
4-15 ผลการทดลองการประมวลผลข้อมูลภาพของแถวตัวเก็บประจุแบบคละสีด้วย อัลกอริทึม Color Pattern Matching.....	82
5-1 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม.....	83
5-2 ตัวอย่างผลการทดสอบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม.....	85
5-3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมระหว่างวิธีการหาค่า ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับการตัดสินใจด้วยคน โดยใช้ความคมชัดของภาพ.....	86
5-4 วิธีการหาค่าแห่ง โฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์.....	87

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5-5 ภาพเหรียญหนึ่งบาทล้อมรอบด้วยพื้นที่ที่สนใจสำหรับการทดสอบการวิธีการหาตำแหน่ง โฟกัส.....	89
5-6 ตัวอย่างผลการทดสอบวิธีการหาตำแหน่ง โฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์.....	89
5-7 ผลการทดลองการให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่ง โฟกัส.....	91
5-8 ผลการทดลองการให้ตำแหน่ง โฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง.....	93
5-9 ผลการทดลองการให้ตำแหน่ง โฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง.....	94
5-10 การออกแบบการรวมการหาตำแหน่ง โฟกัสแล้วหาค่าความเข้มแสง.....	96
5-11 ภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงของกลุ่มการทำงานแบบเวลาจริงกลุ่มที่ 1.....	97
5-12 ภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงของกลุ่มการทำงานแบบเวลาจริงกลุ่มที่ 2.....	97
5-13 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Manual.....	98
5-14 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Parameters Setting.....	99
5-15 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Process Timing.....	100
5-16 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Process Status.....	100
5-17 ผลการทดสอบของการปรับตำแหน่ง โฟกัส.....	102
5-18 ผลการทดสอบของการปรับค่าความเข้มแสง.....	102
5-19 ระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตด้วยพีซีซิลอจิก.....	103
5-20 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้า และข้อมูลขาออก.....	105
5-21 วัตถุประสงค์สำหรับการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	106
5-22 คุณภาพของภาพวัตถุประสงค์สำหรับการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	106
5-23 ผลการทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต.....	108
6-1 สถาปัตยกรรมรวมของระบบ.....	110
6-2 โครงสร้างของระบบ.....	110
6-3 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยการพยากรณ์.....	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การตรวจสอบด้วยภาพ (Visual inspection) เป็นระบบการตรวจสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพหรือคุณลักษณะของวัสดุ สินค้า และเครื่องมือต่างๆ จากกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นระบบการตรวจสอบที่ทำงานแทนการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ ส่งผลให้กระบวนการผลิตและคุณภาพของสินค้าน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้มีการนำการตรวจสอบด้วยภาพไปใช้ในงานทางด้านการแพทย์และความปลอดภัย เช่น การตรวจสอบภาพเซลล์มะเร็ง [1] การตรวจสอบภาพใบหน้า [2] และภาพป้ายทะเบียนรถ [3] เป็นต้น ซึ่งนับวันระบบการตรวจสอบด้วยภาพดังกล่าวจะมีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์มากขึ้นด้วย

การทำงานของระบบตรวจสอบด้วยภาพจะใช้หลักการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือในการตีความหมายของภาพ โดยการหารูปแบบ (Pattern) ในภาพ เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจ ซึ่งรูปแบบในภาพจะเกิดขึ้นจากคุณลักษณะเด่นหรือคีย์ของวัตถุที่ทำการตรวจสอบ ร่วมกับการออกแบบแสงและฉาก (Scene) กล่าวคือการออกแบบฉากจะส่งผลให้ภาพที่ได้เกิดรูปแบบของคุณลักษณะเด่นหรือคีย์ของวัตถุ ซึ่งหารูปแบบในภาพดังกล่าวมีความโดดเด่นจะช่วยให้สามารถทำการประมวลผลข้อมูลภาพได้ง่ายขึ้น ลดความซับซ้อนของกระบวนการประมวลผลของข้อมูลภาพและการตีความหมายของภาพ ดังนั้นการออกแบบแสงและฉากจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งสำหรับการออกแบบระบบการตรวจสอบด้วยภาพ

ในโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง และการควบคุมตำแหน่งโฟกัสของกล้อง ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานสำหรับการออกแบบแสงและฉาก โดยจะทำการหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสภาพที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ภาพมีคุณภาพมากที่สุด ก่อนที่จะทำการจับภาพ (Acquire image) เพื่อนำภาพที่ได้ไปทำการประมวลผลข้อมูลภาพ ผลของการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพต่อไปในอนาคต

1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 Machine vision for automated visual inspection of cotton quality in textile industries using color isodiscrimination contour [4]

เป็นการประยุกต์ ใช้งาน Machine vision ในการตรวจสอบคุณภาพของฝ้าย ซึ่งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ภาพสีของฝ้าย โดยการใช้การแยกสีของฝ้ายและสิ่งเจือปน สีทุกสีสามารถระบุได้โดย color coordinate การเพิ่มความเร็วในการวิเคราะห์ทำได้โดยใช้เทคนิค color lookup table [4] ซึ่งสร้างจากหลักการ color isodiscrimination contour [4] สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อภาพประมวลผลภาพ และเป็นสิ่งสำคัญมากคือ แสงที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม การปรับตั้งค่าของกล้อง และการเลือกใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

1.2.2 Real-time automated visual inspection of color tablets in pharmaceutical blisters [5]

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบความบกพร่องในงานบรรจุภัณฑ์ยาเช่น การตรวจสอบสี ขนาด รูปร่างของเม็ดยา และสภาพบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ภาพตัวอย่างของบรรจุภัณฑ์เป็นต้นแบบในการตรวจสอบ ซึ่งประกอบด้วย ฟังก์ชัน Spatial color nonuniformity correction [5] และ Color segmentation algorithm [5] ในการตรวจสอบแบบ Real-time พบว่าการใช้ Spatial color nonuniformity correction มีความแม่นยำในแยกกลุ่มของรูปร่างที่ซับซ้อน โดยใช้วิธีการของ Max shift [5] ทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น และการใช้ Color segmentation algorithm ในการตรวจสอบเผยสภาพว่าไม่สามารถแยกภาพที่มี Contrast ต่ำได้ และได้เสนอแนะให้ปรับปรุง Contrast โดยการปรับปรุงการให้แสงที่เหมาะสมและใช้ Color filter ช่วยให้แสงเนียนขึ้น

1.2.3 Control camera and light source positions using image gradient information [6]

เป็นการศึกษาการควบคุมตำแหน่งของกล้องและควบคุมตำแหน่งของแสงในสถานะสิ่งแวดล้อมที่กำหนด ใช้หลักการของ Image gradient information [6] เพื่อหาภาพที่ชัดที่สุดและแสงที่เหมาะสมที่สุดของวัตถุมาเป็นต้นแบบในการประมวลผลภาพภายใต้ Visual servoing framework [6] โดยแบ่งปัญหาเป็นข้อกำหนดมา 2 ข้อ คือปรับแสงให้เหมาะสมให้มากที่สุดและปรับภาพชัดให้มากที่สุด วิธีการแก้ปัญหาทำได้โดยจัดให้กล้องอยู่กับที่แล้วปรับระยะแสง และอีกวิธีให้ตำแหน่งแสงคงที่แล้วปรับตำแหน่งกล้อง วิธีการแก้ปัญหานี้จะเป็นอิสระต่อโครงสร้าง สี และรูปร่างของวัตถุ จากผลการวิจัยพบว่า การปรับตำแหน่งแสงให้เหมาะสมนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุเช่น การสะท้อนแสงของวัตถุ ซึ่งจะ ไปสัมพันธ์กันกับระนาบการหมุนของกล้อง ตำแหน่งของกล้อง ตำแหน่งวัตถุ และตำแหน่งแสง

1.2.4 A machine vision inspector for beer bottle [7]

เป็นการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจสอบขวดเบียร์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติของผนังขวดเบียร์ ฝ้ายของขวดเบียร์ และ ปากขวดเบียร์ ในการออกแบบทางกลระบบตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนทางกล ทำให้ส่งผลต่อการหาตำแหน่งภาพของวัตถุ การออกแบบระบบส่องสว่างแยกออกเป็นสามแบบเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบของผนังขวดเบียร์ ฝ้ายของขวดเบียร์ และ ปากขวดเบียร์ตามลำดับ เนื่องจากแสงมีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อลักษณะของวัตถุในภาพ ในการตรวจสอบปากขวดเบียร์ ได้นำวิธีการของ Neural networks [7] มาประยุกต์ในการตัดสินใจ โดยใช้ Neural networks แบบ 2 ชั้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตรวจสอบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด จากผลการทดลอง ระบบสามารถทำงานได้อย่างน่าพอใจ

1.2.5 Fuzzy logic control of a multispectral imaging sensor for in-field plant sensing [8]

เป็นการพัฒนาระบบตรวจสอบและควบคุมสุขภาพของพืชในแปลง โดยใช้กล้องแบบหลาย spectral เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพใบของพืชเพื่อนำมาวิเคราะห์สุขภาพของพืช เนื่องจากพืชในแปลงได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ สาเหตุมาจากเกิดเมฆบัง ทำให้ความเข้มแสงอาจมีค่าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาพที่ทำการถ่ายและจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดไปได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการในการควบคุมความเข้มแสงในภาพ โดยการควบคุมปริมาณแสง (Exposure) และกำลังขยาย (Gain) ของกล้องด้วยวิธีการควบคุมแบบ Fuzzy logic [8] เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพคงที่ตลอดเวลา การทดสอบวิธีการวัดคุณภาพของพืชได้นำไปทดสอบกับการวัดไนโตรเจนของต้นข้าวโพคในแปลง พบว่าสามารถที่จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบพืชในแปลง

1.2.6 Detection of defects at BGA solder joints by using X-Ray imaging [9]

เป็นการศึกษาการตรวจสอบรอยเชื่อมของบอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยเน้นไปที่การตรวจสอบ Product bridge [6] ในการตรวจสอบใช้ภาพจาก X-Ray แล้วนำข้อมูลภาพที่ได้มาทำการประมวลผล การประมวลผลจะใช้การตรวจสอบความกลม (Roundness) ของ Solder ball พบว่าในการตรวจสอบ Product สิ่งที่ต้องทำการปรับปรุงคือ เรื่องของการควบคุมการปรับโฟกัสของ X-Ray เนื่องจากผลของตำแหน่งโฟกัสที่ไม่ดีทำให้ไม่สามารถทำการตรวจสอบความกลมได้

1.2.7 Practical issues in pixel-based auto focusing for machine vision [10]

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับตำแหน่งโฟกัสของกล้องแบบ CCD โดยใช้การวิธีการหาค่าความคมชัดจากภาพ ซึ่งได้ทำการทดลองด้วยกันหลายวิธีเช่น การใช้ค่าทางสถิติของระดับความเข้มแสงของภาพ การตรวจจับขอบภาพ การใช้ FFT [10] จากการศึกษาพบว่าการทำงานโฟกัสด้วยการใช้ค่าทางสถิติและการตรวจจับขอบภาพด้วยเทคนิค Tenengrad [10] สามารถทำได้

รวดเร็วและมีความถูกต้อง นอกจากนี้การเลือกใช้ภาพแบบ Gray scale จะทำการ โฟกัสได้ดีกว่าการใช้ภาพแบบ RGB

1.2.8 FPGA based passive auto focus system using adaptive thresholding [11]

เป็นการพัฒนาการปรับตำแหน่ง โฟกัส โดยใช้หลักการตรวจหาค่าความคมชัดของภาพด้วยวิธีการตรวจจับขอบภาพซึ่งจะใช้ค่า Threshold แบบปรับค่าได้สำหรับการตรวจจับขอบภาพ หลังจากการออกแบบระบบได้นำไปทดสอบกับสถานะที่มีแสงน้อยและภาพมีค่าความแตกต่างของภาพน้อย ซึ่งพบว่าการทำงานของระบบ โฟกัสยังคงสามารถทำงานได้ถูกต้องทั้งสองสถานะ แต่ต้องอาศัยการปรับขนาดของ Window ในการหาความคมชัดด้วยคน และได้ทำการเสนอแนวคิดของการออกแบบระบบแสงช่วยในการทำการปรับตำแหน่ง โฟกัสเพื่อเป็นการปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาความรู้และเทคนิคในการประมวลผลข้อมูลภาพร่วมกับการควบคุมสิ่งแวดล้อมทางแสงและควบคุมตำแหน่ง โฟกัสแบบเวลาจริง

1.3.2 เพื่อออกแบบวิธีการควบคุมสิ่งแวดล้อมทางแสงและวิธีการควบคุมตำแหน่ง โฟกัสแบบเวลาจริงสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาาระบบควบคุมสิ่งแวดล้อมทางแสงของการตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริง ซึ่งทำการศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมความเข้มแสงและการควบคุมตำแหน่ง โฟกัสของกล้องภายใต้ข้อกำหนดดังต่อไปนี้

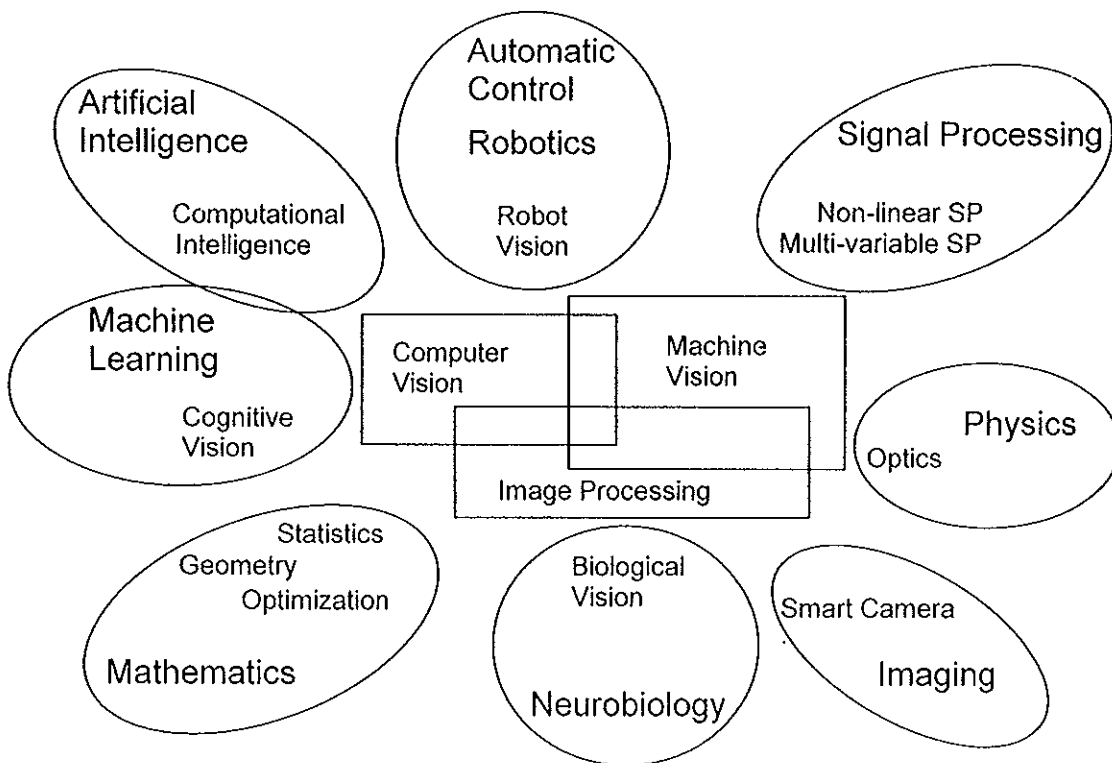
- ภาพสี (RGB) 24 บิต ความละเอียดภาพ 350 x 288 พิกเซล
- ขนาดภาพในแนวนอน 50 มิลลิเมตร ถึง 80 มิลลิเมตร
- ขนาดภาพในแนวตั้ง 40 มิลลิเมตร ถึง 70 มิลลิเมตร

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

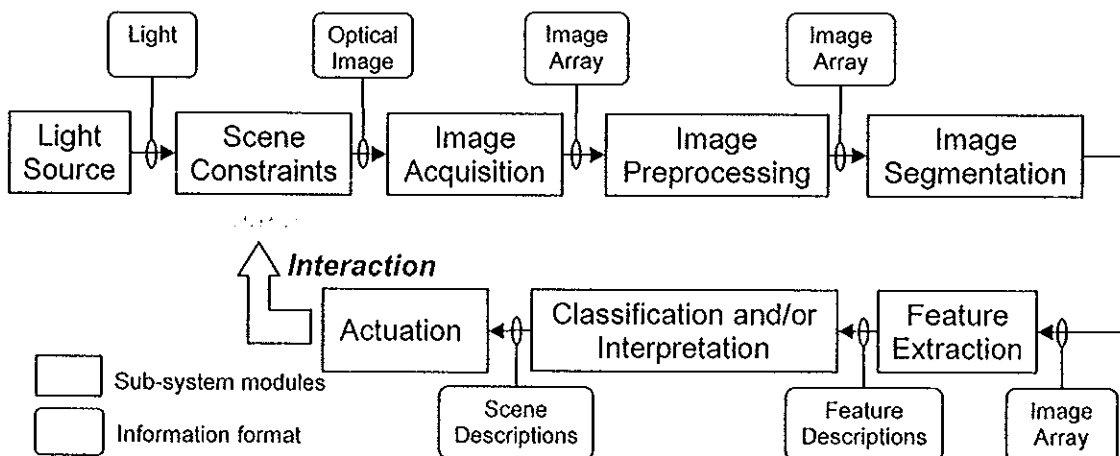
ในการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริงภายใต้สิ่งแวดล้อมทางแสงที่ถูกรบกวนจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจในองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบด้วยภาพอย่างลึกซึ้งดีถือเป็นสิ่งสำคัญ ที่จะนำไปสู่การพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบอย่างแท้จริง

ระบบตรวจสอบด้วยภาพเป็นองค์ความรู้แขนงใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบภาพของวัตถุหรือชิ้นงาน โดยใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ โดยทั่วไประบบตรวจสอบด้วยภาพจะเป็นที่รู้จักกันในนามของระบบแมชชีนวิชัน (Machine vision) ที่นำไปใช้ในการตรวจสอบภาพวัตถุ ซึ่งสามารถแสดงองค์ประกอบขององค์ความรู้ของระบบแมชชีนวิชันหรือระบบตรวจสอบด้วยภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 องค์ความรู้ของระบบแมชชีนวิชัน [15]

องค์ความรู้ของระบบแมชชีนวิชั่นประกอบด้วยองค์ความรู้จากหลายสาขาวิชาเช่น คณิตศาสตร์ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ การประมวลผลสัญญาณ ฟิสิกส์ของแสง Machine learning และ ปัญญาประดิษฐ์ เป็นต้น จากการนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ก่อให้เกิดการทำงานของระบบแมชชีนวิชั่นขึ้น สามารถแสดงกระบวนการพื้นฐานการทำงานของระบบแมชชีนวิชั่นดังภาพประกอบ 2-2



ภาพประกอบ 2-2 กระบวนการพื้นฐานของระบบแมชชีนวิชั่น [13]

จากกระบวนการทำงานของระบบแมชชีนวิชั่นพบว่า การจัดฉากเป็นกุญแจดอกสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดการทำงานในส่วนของการประมวลผลข้อมูลภาพและการตีความหมายของภาพ ในการออกแบบฉากหรือจัดฉากจำเป็นต้องใช้ทั้งศาสตร์และศิลป์ โดยทั่วไปการจัดฉากเป็นการออกแบบแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับวัตถุรวมถึงการออกแบบอุปกรณ์ทางแสงที่จะต้องสอดคล้องกันกับการออกแบบแสง ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบดังกล่าวจะต้องเป็นภาพที่สามารถทำการประมวลผลและตีความหมายได้ง่ายที่สุดและให้ความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

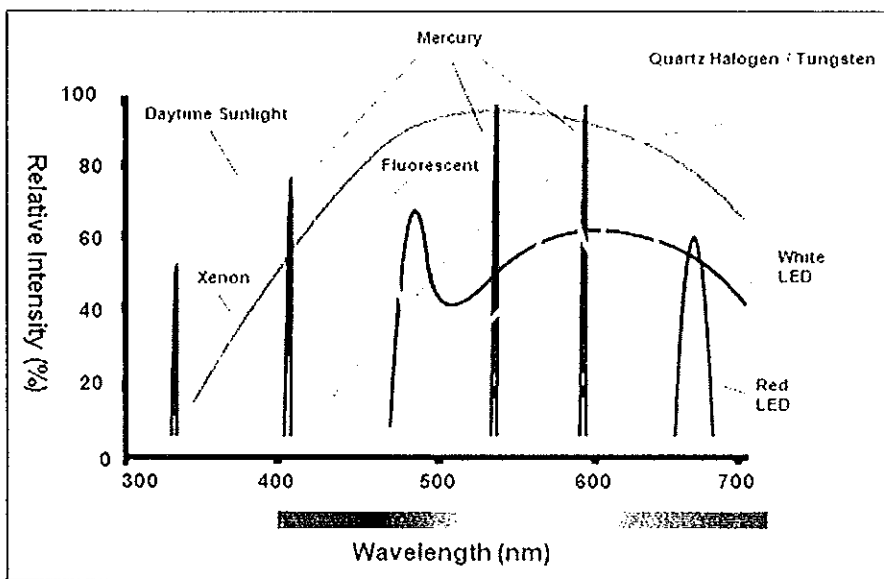
2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

ในระบบแมชชีนวิชั่น การส่องสว่างมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแสง ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้สามารถที่จะทำการควบคุมพลังงานแสงผ่านทางการทำงานควบคุมจากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคุณลักษณะของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง ในปัจจุบันมีแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กันอยู่หลายชนิด เช่น หลอด Halogen หลอด Metal vapor หลอด Xenon หลอด Fluorescent หลอด LED และ Laser เป็นต้น การพิจารณาคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.1.1 คุณภาพของสเปกตรัม

บอกถึงสัดส่วนของพลังงานต่อช่วงของความยาวคลื่น ซึ่งพบว่าแหล่งกำเนิดที่ต่างกันจะมีคุณภาพของสเปกตรัมที่ต่างกัน สามารถแบ่งการกำหนดค่าคุณภาพของสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงได้ดังนี้

2.1.1.2 Spectral energy distribution curve เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงกับความยาวคลื่น สามารถแสดงดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงกับความยาวคลื่น [14]

2.1.1.3 เปอร์เซนต์ของการแผ่รังสี เป็นการคิดเปอร์เซนต์ของการแผ่รังสีในแถบสีทั้งหมดของสเปกตรัม เช่น น้ำเงิน เขียว และ แดง ซึ่งจะทำให้การวัดระยะความกว้างของแถบสีแต่ละแถบ แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซนต์ของช่วงสเปกตรัมทั้งหมด

2.1.1.4 อุณหภูมิสี เป็นอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงของวัตถุใดๆ คือ อุณหภูมิของตัวแผ่รังสีสมบูรณ์ (Black body) ที่ทำให้เกิดการแผ่รังสีที่แน่นอนในช่วงแถบสีเดียวกัน มีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin, K) ซึ่งพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิของตัวแผ่รังสีที่สูงจะให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีสูง (พลังงาน) ในขณะเดียวกันจะมีแนวโน้มการเลื่อนของความยาวคลื่นไปทางด้านความยาวคลื่นต่ำ การแผ่รังสีของ LED และ Laser จะมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากสามารถเลือกและกำหนดความยาวคลื่นได้ที่อุณหภูมิต่ำ

2.1.2 กำลังการส่องสว่าง

เป็นการพิจารณากำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในหน่วย International System of Units (SI) เรียกว่า Luminous Intensity หมายถึงกำลังส่องสว่างมีหน่วยเป็น Candela (cd) หรือ กำลังเทียน นิยามจากแหล่งกำเนิดแสงความถี่เท่ากับ 540THz (555nm, สีเขียว) โดยให้แสงกระจายตัวรอบทุกทิศทางมีความเข้มแสงเท่ากับ 1/683 Watt/Steradian

2.1.2.1 Luminance หมายถึงความเข้มแห่งการส่องสว่างกำหนดจาก Luminous Intensity ต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น Candela/m²

2.1.2.2 Luminous flux หมายถึงจำนวนแสงที่ให้ออกมาจากแหล่งกำเนิดต่อหน่วยมุม Steradian (sr) หรือมุมตันมีหน่วยเป็นลูเมนส์ (Lumens)

2.1.3 The Photometric Inverse Law

เป็นกฎที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ของการส่องสว่าง (Illuminance (E_{ob})) บนพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นระยะทาง d ซึ่งพบว่า การส่องสว่างบนพื้นผิวของวัตถุจะลดลงเป็นส่วนกลับของระยะทางของแหล่งกำเนิดแสงยกกำลังสอง ซึ่งความสัมพันธ์จะเป็นไปดังสมการที่ 2.1 [15]

$$E_{ob} \propto \frac{1}{d^2} \quad (2.1)$$

2.1.4 ความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุ (Luminance of object)

เมื่อมีแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสงมายังวัตถุจะทำให้เกิดการส่องสว่างบนผิววัตถุขึ้น (Illuminance (E_{ob})) แสงส่วนหนึ่งจะทำการสะท้อนออกจากวัตถุตามหลักของการสะท้อน ซึ่งหากให้มีค่าการสะท้อนของวัตถุเท่ากับ ρ ทำให้เกิดความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุเกิดขึ้น (Luminance (L_{ob})) สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.2 [15]

$$L_{ob} = E_{ob}\rho \quad (2.2)$$

2.1.5 การส่งผ่านของแสงไปยังเลนส์และเซนเซอร์ภาพ

จากสมการที่ 2.2 ความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุจะถูกส่งผ่านต่อไปยังเลนส์และเกิดการส่องสว่างที่เซนเซอร์ภาพ สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดการส่องสว่างบนผิวของเซนเซอร์ภาพ (Illuminance (E_{sensor})) ได้ดังสมการที่ 2.3 [15]

$$E_{\text{sensor}} = \frac{E_{\text{ob}} \rho \tau}{4k^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ

- E_{sensor} = การส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่เซนเซอร์ภาพ
 E_{ob} = การส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่วัตถุ
 ρ = ค่าการสะท้อนของวัตถุ
 τ = ค่าการส่งผ่านแสงของเลนส์รวมถึงตัวกรองแสง
 k = ค่า f-stop ของเซนเซอร์ภาพ (เป็นค่าบ่งบอกถึงขนาดของรูที่แสงสามารถผ่านไปยังเซนเซอร์ภาพ)

3.1.6 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง

ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่มาจากหลักการเปลี่ยนของพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแสง นิยามการวัดประสิทธิภาพจาก Luminous flux ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็น lumens/Watt สามารถแสดงประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันดังตาราง 2-1

ตาราง 2-1 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง [15]

Lamp type	Luminance (lm. W ⁻¹)
Na-vapor lamp	to 200
Metal halide lamps	to 100
Xenon lamps	to 60
Fluorescent lamps	40-100
Halogen lamps	to 35
Incandescent lamps	10-20
Color LED	to 55 (red range)
White LED	to 25

3.1.7 การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

เป็นการทำการเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของ อายุการใช้งาน ขนาด การนำไปออกแบบ การเกิดความร้อน เวลาการตอบสนอง ความเข้มแสง ความคงทน อัตราเสื่อมต่อผลของอุณหภูมิ การซ่อมบำรุง การป้องกันระบบ และ ราคาต่อประสิทธิภาพ ซึ่งกำหนดให้ค่าเท่ากับ 5 แทนค่าที่ดีที่สุด ในทางตรงกันข้ามค่าเท่ากับ 1 เป็นค่าที่ต่ำที่สุด สามารถแสดงได้ดังตาราง 2-2

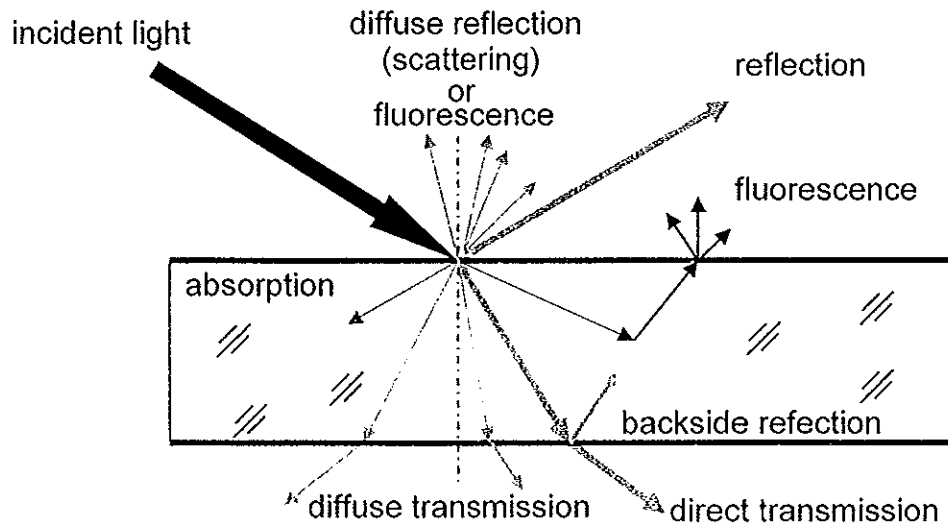
ตาราง 2-2 การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน [15]

	Halogen	Metal Vapor	Xenon	Fluorescent	LED	Laser
อายุการใช้งาน	1	3	4	3	5	5
ขนาด, การนำไป ออกแบบ	3	3	3	2	5	3
การเกิดความร้อน	1	1	2	2	5	5
เวลาการตอบสนอง	1	1	5	1	5	5
ความเข้มแสง	5	5	5	3	4	4
ความคงทน	1	1	1	3	5	3
อัตราเสื่อม/ผลของ อุณหภูมิ	1	3	2	3	5	5
การซ่อมบำรุง	1	3	4	3	5	5
ความอันตรายและการ ป้องกันระบบ	3	3	1	4	5	1
ราคาต่อประสิทธิภาพ	3	3	3	4	4	2

*ค่าเท่ากับ 5 แทนค่าที่ดีที่สุด, ค่าเท่ากับ 1 แทนค่าที่ต่ำที่สุด

2.2 อันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุ

เมื่อแสงเดินทางมาพบกับวัตถุจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นเช่น การสะท้อนแสง (Reflection) แสงจะถูกสะท้อนจากวัตถุ การส่งผ่าน (Transmission) แสงจะเดินทางผ่านวัตถุ การดูดกลืน (Absorption) แสงจะถูกดูดกลืนโดยวัตถุ สามารถแสดงอันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุได้ ดังภาพประกอบ 2-4



ภาพประกอบ 2-4 แบบจำลองอันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุ [15]

จากภาพประกอบ 2-4 แบบจำลองอันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุ พบว่าอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นดังกล่าวอาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ตกกระทบต่อวัตถุได้ดังสมการที่ 2.4 [15]

$$\text{แสงสะท้อน} + \text{แสงส่งผ่าน} + \text{แสงดูดกลืน} = \text{แสงตกกระทบวัตถุ (100\%)} \quad (2.4)$$

2.2.1 การสะท้อนและการกระเจิง

เนื่องจากพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นตัวกำหนดลักษณะของผิวการสะท้อน สามารถแบ่งได้เป็นสามประเภทคือ การสะท้อนโดยตรง (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นแบบราบเรียบเช่น ผิวกระจก) การสะท้อนแบบกระจายปกติ (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นแบบไม่ราบเรียบและแนวของการสะท้อนจะเป็นไปแบบมีรูปแบบ) และ การสะท้อนแบบกระจายไม่ปกติ ซึ่งเกิดจากพื้นผิวสะท้อน (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นแบบไม่ราบเรียบและแนวของการสะท้อนจะเป็นไปแบบไม่มีรูปแบบ กระจายไปทั่ว)

โดยหลักการสะท้อนแล้วจะพบว่ามุมที่ลำแสงตกกระทบจะเท่ากับมุมที่ลำแสงสะท้อนที่พื้นผิวของวัตถุ ส่วนค่าของการสะท้อนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.5 [15]

$$\text{ค่าการสะท้อนของแสง} = \frac{\text{แสงที่สะท้อน}}{\text{แสงที่ตกกระทบ}} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 ค่าการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ ความยาวคลื่น อุณหภูมิสี โพลาริซของแสง มุมตกกระทบของแสง กระบวนการขึ้นรูปทางเคมี การขึ้นรูปทางกล นอกจากนี้รูปทรงของวัตถุจะส่งผลกระทบต่อสะท้อนของแสงเช่นกัน สำหรับการสะท้อนของวัตถุโปร่งใส จะเกิดการสะท้อนทั้งบริเวณผิวรับแสงและผิวด้านหลัง

2.2.2 การสะท้อนทั้งหมด

เป็นปรากฏการณ์พิเศษที่เกิดขึ้น แสงจะสามารถสะท้อนกลับทั้งหมด เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหแสงมากไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหแสงน้อย และมุมของการตกกระทบมากกว่ามุม Margin เมื่อกำหนดให้ n เป็นค่าดัชนีการหักเหของแสง สามารถแสดงการหาค่ามุม Margin ได้ดังสมการที่ 2.6 [15]

$$\text{Margin} = \arcsine\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.6)$$

ตัวอย่างเช่น มุม Margin เท่ากับ 48.7 องศา เป็นการสะท้อนจากน้ำ $n_1 = 1.33$ ไปสู่อากาศ $n_2 = 1$

2.2.3 การส่งผ่าน

การส่งผ่านแสงของวัตถุจะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านวัตถุได้ โดยจะมีแสงส่วนน้อยที่จะสะท้อนจากวัตถุ ผิวของการส่งผ่านของวัตถุอาจแบ่งได้เป็นสามประเภทคือ การส่งผ่านโดยตรง (พื้นผิวส่งผ่านเป็นแบบราบเรียบ) การส่งผ่านแบบกระจายปกติ (พื้นผิวส่งผ่านเป็นแบบไม่ราบเรียบและการกระจายของแสงส่งผ่านจะเป็นไปแบบมีรูปแบบ) การส่งผ่านแบบกระจายไม่ปกติ (พื้นผิวส่งผ่านเป็นแบบไม่ราบเรียบและการกระจายของแสงส่งผ่านจะเป็นไปแบบไม่มีรูปแบบ) การคำนวณค่าการส่งผ่านสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.7 [15]

$$\text{ค่าการส่งผ่านของแสง} = \frac{\text{แสงที่ส่งผ่าน}}{\text{แสงที่ตกกระทบ}} \quad (2.7)$$

2.2.4 การดูดกลืน

การดูดกลืนของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ในการคำนวณหาค่าการดูดกลืนสามารถทำได้โดยการคำนวณ ค่าแสงตกกระทบ ค่าแสงสะท้อนและหาค่าแสงส่งผ่านแล้วแทนในสมการที่ 2.4 เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง

2.2.5 การเลี้ยวเบนและแทรกสอด

คุณสมบัติการเลี้ยวเบนและแทรกสอดของลำแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางเช่นขอบของวัตถุ แสงอาจจะมีการเปลี่ยนทิศทางเกิดขึ้น ขนาดของการกระจายออกของลำแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง ความยาวคลื่นมากจะมีโอกาสเกิดการกระจายออกของลำแสงมาก แสงสีแดงจะเกิดการกระจายมากกว่าแสงสีน้ำเงิน ส่วนแสงสีขาวประกอบด้วยหลายความถี่ ซึ่งจะมีคุณสมบัติป้องกันการกระจายออกของลำแสง แต่ผลลัพธ์ที่ได้ขอบภาพจะมีความคมชัดน้อยกว่าการใช้แสงความยาวคลื่นเดียว

2.2.6 การหักเหของแสง

เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วของแสงเปลี่ยนไป พิจารณาสมการการหักเหของแสงดังสมการที่ 2.8 [16]

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.8)$$

เมื่อ

v_1 คือ ความเร็วแสงในตัวกลางที่ 1

v_2 คือ ความเร็วแสงในตัวกลางที่ 2

θ_1 คือ ค่ามุมระหว่างรังสีตกกระทบกับเส้นปกติเรียกว่า มุมตกกระทบ

θ_2 คือ ค่ามุมระหว่างรังสีหักเหกับเส้นปกติเรียกว่า มุมหักเห

n_1 คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1

n_2 คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 2

2.2.7 สีของแสงและสีของวัตถุ

วัตถุจะดูดกลืนความยาวคลื่นที่ต่างกับตัวเองแต่จะสะท้อนความยาวคลื่นที่ตรงกันกับวัตถุ ซึ่งจะพบว่าความเข้มที่สูงที่สุดคือการส่องสว่างด้วยสีเดียวกันกับวัตถุ เช่น วัตถุสีน้ำเงินส่องสว่างด้วยแสงสีน้ำเงินจะให้ความเข้มสูงสุด ในทางตรงกันข้ามการส่องสว่างด้วยค่าแสงที่ตรงกันข้ามจะให้ความเข้มน้อยที่สุด (มืด) การเข้าใจหรือรู้ถึงกลไกของการรับแสงสีของกล้องและการ

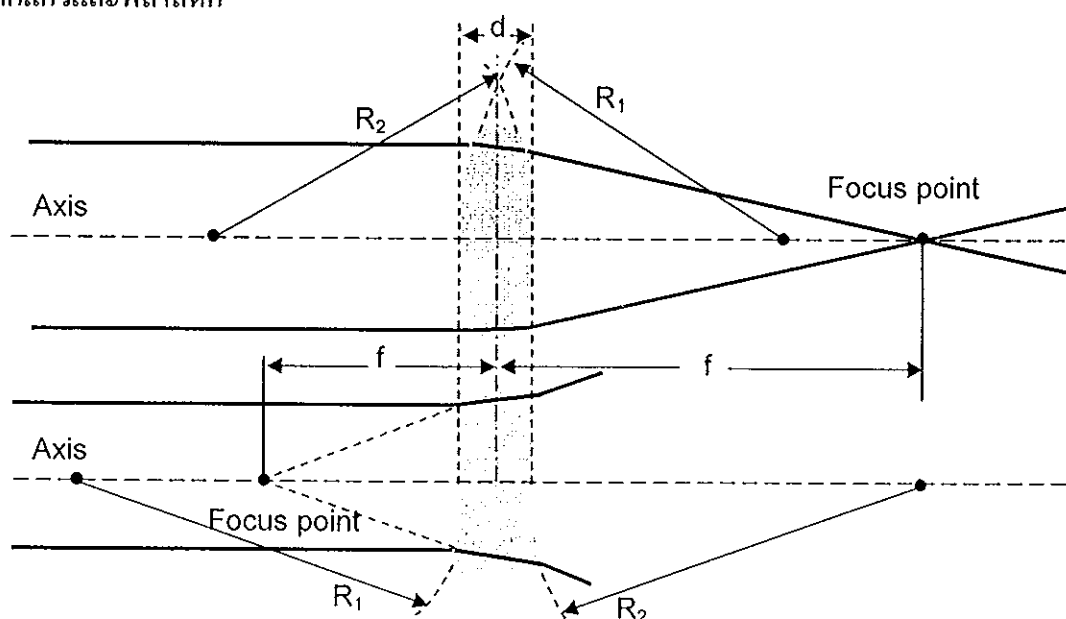
แทนค่าของภาพในเชิงตัวเลข (Color space) จะนำไปสู่การออกแบบให้เข้าถึงความแตกต่างของภาพ และความคมชัดของภาพ

2.2.8 แสงโพลาไรซ์

แสงโพลาไรซ์อธิบายด้วยคุณสมบัติของคลื่น โดยปกติแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงจะไม่ใช่แสงโพลาไรซ์ นั่นคือแสงมีคลื่นแสงที่เกิดการสั่นในทุกทิศทางรอบๆ แกนของการเดินทางของแสง การโพลาไรซ์จะเกิดบนพื้นผิวที่ราบเรียบเท่านั้น องค์ประกอบของการโพลาไรซ์จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ และมุมของแสงตกกระทบ หากทำการเปลี่ยนชนิดของวัตถุจะส่งผลให้ชนิดของการโพลาไรซ์จะเปลี่ยนไป ตัวอย่างชนิดของการโพลาไรซ์เช่น โพลาไรซ์เชิงเส้นตรง เชิงวงกลม และเชิงวงรี ในระบบแมชชีนวิชั่นจะมีการออกแบบโพลาไรซ์ด้วยกันสองแบบ คือ โพลาไรซ์ของการส่องสว่างเพื่อชดเชยการโพลาไรซ์ของวัตถุที่เกิดรวมกันของโพลาไรซ์จากตัวกรองแสง และการลดการสะท้อนของแสงที่ไม่โพลาไรซ์ของการส่องสว่างซึ่งสะท้อนมาจากวัตถุ

2.3. เลนส์

คืออุปกรณ์ทางแสงประเภทหนึ่ง เมื่อลำแสงผ่านเข้าไปในเลนส์จะทำให้ลำแสงเกิดการหักเห ลำแสงที่ออกจากเลนส์อาจจะลู่เข้าหรือบานออกขึ้นอยู่กับชนิดของเลนส์ หากเป็นเลนส์นูนแสงจะลู่เข้าในทางตรงกันข้ามเลนส์เว้าแสงจะบานออกดังภาพประกอบ 2-5 การใช้ประโยชน์ของเลนส์ได้แก่ ใช้ในแว่นตา กล้องถ่ายรูป กล้องส่องทางไกล กล้องจุลทรรศน์ และกล้องโทรทรรศน์ เป็นต้น เพื่อเป็นการช่วยปรับระยะการมองเห็นของสายตา วัสดุที่ใช้ทำเลนส์ส่วนใหญ่ทำจากแก้วและพลาสติก



ภาพประกอบ 2-5 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์นูนและเลนส์เว้า [17]

เมื่อ

d เป็นความหนาของเลนส์

f เป็นระยะโฟกัสของเลนส์

R_1 เป็นรัศมีความโค้งของเลนส์ด้านรับแสง

R_2 เป็นรัศมีความโค้งของเลนส์ด้านหลัง

จากภาพประกอบ 2-5 สามารถแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของช่างทำเลนส์ได้
ดังสมการที่ 2.9 [17]

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right] \quad (2.9)$$

เมื่อ n เป็นค่าดัชนีการหักเหของวัสดุที่ใช้ทำเลนส์ ในกรณีที่เลนส์บาง
($d \ll f$) นั่นคือแทนค่า $d = 0$ สามารถพิจารณาใหม่ได้ดังสมการที่ 2.10 [17]

$$\frac{1}{f} \approx (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] \quad (2.10)$$

อัตราขยายของภาพ (Magnification) เป็นค่าที่บอกถึงมาตราส่วนของขนาดภาพต่อ
ขนาดวัตถุ ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่จะใช้ในการตัดสินใจในการเลือกเลนส์ สามารถพิจารณาได้ดังสมการ
ที่ 2.11 [17]

$$M = -\frac{S_2}{S_1} = \frac{f}{f - S_1} \quad (2.11)$$

เมื่อ

M เป็นอัตราขยาย

S_1 เป็นระยะวัตถุ

S_2 เป็นระยะภาพ

f เป็นระยะโฟกัสของเลนส์

ความคลาดของเลนส์ (Lens aberrations) เป็นลักษณะของภาพที่เกิดการผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงของภาพในลักษณะต่างๆ ซึ่งสาเหตุมาจากลักษณะรูปร่างของเลนส์

2.3.1 ความคลาดทรงกลม (Spherical aberrations)

เกิดจากจุดโฟกัสของแสงที่อยู่ห่างจากแกนของเลนส์มากไม่เป็นจุดเดียวกันกับจุดโฟกัสของแสงที่อยู่ใกล้กับแกนของเลนส์ เนื่องมาจากความโค้งของเลนส์ ในกล้องถ่ายรูปแก้ปัญหาโดยการลดขนาดช่องเปิดรับแสง (Aperture) เพื่อให้แสงผ่านเฉพาะบริเวณใกล้ๆกับแกนของเลนส์

2.3.2 Coma

เป็นความคลาดของเลนส์แบบหนึ่ง โดยตั้งชื่อตามลักษณะภาพที่ปรากฏคล้ายกับภาพของดาวหาง เนื่องจากรังสีของแสงที่เข้ามากระทบกับเลนส์ไม่ได้ขนานกันกับแกนของเลนส์

2.3.3 Astigmatism

เป็นความคลาดของเลนส์แบบหนึ่งซึ่งมีผลกระทบต่อภาพที่เกิดจากเลนส์ไม่ได้อยู่บนแนวแกนของเลนส์แตกต่างกับ Coma ที่ภาพของ Coma ที่เกิดขึ้นจะตั้งฉากกันกับแนวแกนของเลนส์

2.3.4 Distortion

เป็นความคลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังขยายตามระยะแนวแกนของเลนส์ มีด้วยกันสองกรณี กำลังขยายเพิ่มขึ้นตามแนวแกน (Pincushion distortion) และกำลังขยายลดลงตามแนวแกน (Barrel distortion) การกันรังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังขยายซึ่งสามารถที่จะทำการแก้ไขการเปลี่ยนแปลงของกำลังขยายได้โดยการทำการชดเชย (Distortion compensate) เช่นหากเกิดกำลังขยายเพิ่มขึ้นตามแนวแกนให้แก้ด้วยคุณลักษณะของกำลังขยายลดลงตามแนวแกน

2.3.5 ความคลาดรงค์ (Chromatic aberrations)

เกิดจากแสงที่มีความยาวคลื่นที่ต่างกันจะหักเหผ่านเลนส์ด้วยมุมหักเหที่ต่างกัน ในแสงขาวประกอบด้วยแสงความยาวคลื่นหลายความถี่ เมื่อดำแสงขนานของแสงขาวกระทบเลนส์แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น แสงสีแดงจะหักเหด้วยมุมหักเหที่โตกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า เช่น แสงสีม่วง ดังนั้นจุดโฟกัสของแสงสีม่วงจะอยู่ใกล้เลนส์มากกว่าจุดโฟกัสของแสงสีแดง การแก้ความคลาดรงค์ทำได้โดยใช้เลนส์เว้าวางหลังเลนส์นูนทำให้ความคลาดรงค์ถูกหักล้างด้วยเลนส์เว้า

2.4 ตัวกรองแสง

เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ออกแบบมาเพื่อทำการกรองสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากแสง เช่น ความเข้มแสง ความยาวคลื่น ทิศทางการสั่นของแสง (โพลาไรซ์) รวมถึงการป้องกันแสงสะท้อน และแสงที่เป็นอันตรายต่อเซนเซอร์ภาพ โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของตัวกรองแสงได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 ตัวกรองแบบดูดกลืน

ความยาวคลื่นสูญหายไปโดยการดูดกลืน สร้างขึ้นจากแก้วที่มีสี หรือสีเหลืองอ่อน แทรกระหว่างกลางแก้วใสหรือพลาสติก สามารถทำการเลือกการกรองได้เช่น ความยาวคลื่นต่ำผ่าน ความยาวคลื่นสูงผ่าน ความยาวคลื่นผ่านเฉพาะช่วงที่เลือกไว้ และความหนาแน่นของแสงเป็นกลางผ่าน โดยการเปรียบเทียบกับช่วงความยาวคลื่นที่เลือกไว้ นอกจากนี้ช่วยลดการรบกวนของแสงสว่าง มีราคาถูก ในการใช้งานการจับยึดทำได้ด้วยเกลียวมาตรฐาน

2.4.2 ตัวกรองแบบแทรกสอด

ความยาวคลื่นสูญหายไปโดยการแทรกสอดใช้แผ่น โลหะบางหรือแผ่นฟิล์ม ช่วงการส่งผ่านของความยาวคลื่นแคบ การส่งผ่านเกิดการสูญเสียแม้แต่ช่วงที่ความยาวคลื่นผ่านได้ ยกตัวอย่างเช่น ช่วงความยาวคลื่นผ่าน = 5nm การส่งผ่านเกิดการสูญเสีย 70 % และช่วงความยาวคลื่นผ่าน = 10nm การส่งผ่านเกิดการสูญเสีย 50 % มีให้เลือกหลายความยาวคลื่นแต่จะมีช่วงแคบราคาสูง

2.4.3 ตัวกรองแบบโพลาไรซ์

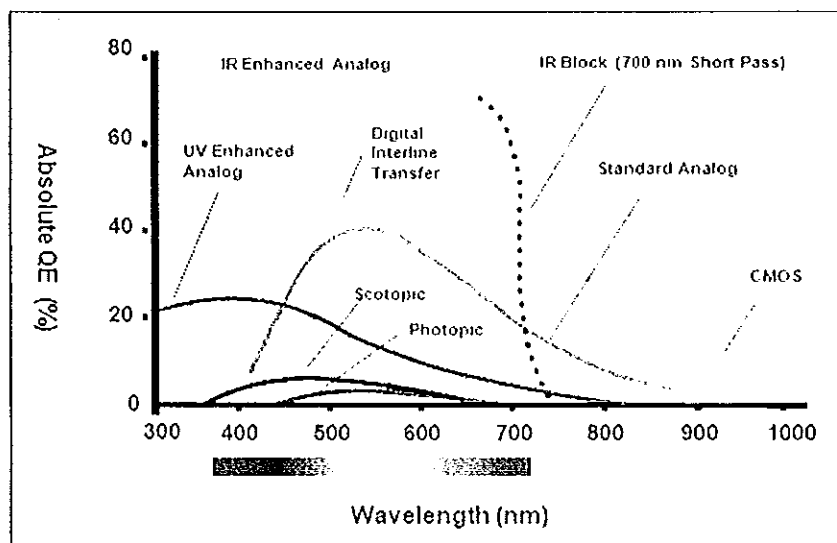
ทิศทางการสั่นของแสงสูญหายไปโดยการกำหนดทิศทางของการสั่น แสงผ่านได้เฉพาะทิศทางของการสั่นที่กำหนดเท่านั้น ตัวกรองแบบโพลาไรซ์ทำจากคริสตัลหรือวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น โดยการจัดเรียงโมเลกุลเพื่อให้ได้คุณสมบัติของทิศทางมีหลายแบบ เช่น แผ่นฟิล์มบาง ตัวกรองแบบแก้ว และแผ่นพลาสติกขนาดใหญ่ ใช้งานในแนวทิศทางของแสง ทำงานเป็นอิสระกันกับความยาวคลื่นในช่วงกว้าง การจับยึดด้วยเกลียวมาตรฐานสามารถหมุนปรับทิศการโพลาไรซ์ได้

2.5 เซนเซอร์ภาพ

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้เป็นตัวจับภาพหรือการนำภาพจากโลกของความเป็นจริงเปลี่ยนมาเป็นภาพของคอมพิวเตอร์ โดยใช้หลักการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอาศัยหลักการพื้นฐานมาจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เกิดขึ้นจากการนำวัสดุสารกึ่งตัวนำผลึกซิลิคอนผ่านกระบวนการโด๊ปสารจนกลายเป็นสารประกอบชนิด N และสารประกอบชนิด P แล้วนำ

สารประกอบชนิด N และ P มาต่อกัน เมื่อให้แสง (โฟตอน) ตกกระทบลงบนสารประกอบชนิด N อิเล็กตรอนในอะตอมจะได้รับพลังงานจนทำให้หลุดออกเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งพลังงานที่ทำให้ อิเล็กตรอนหลุดจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อระหว่าง สารประกอบ N และ P การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดสัญญาณทางไฟฟ้า โดยที่ปริมาณ สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันกับจำนวน โฟตอนต่อหน่วยเวลาหรือค่าความเข้มของแสง การทำงานของเซนเซอร์ภาพจะแบ่งการทำงานออกเป็นสี่ขั้นตอน [18] ประกอบด้วยการกำเนิด อิเล็กตรอน (Charge generation) การแปลงอิเล็กตรอนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Charge collection) การส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้า (Charge transfer) และการวัดสัญญาณ (Charge measurement) ซึ่งในแต่ละ ขั้นตอนจะมีการออกแบบและการทำงานที่แตกต่างกันระหว่างเทคโนโลยีของเซนเซอร์ภาพ แบบ CCD และแบบ CMOS

ภาพประกอบ 2-6 แสดงตัวอย่างการตอบสนองของเซนเซอร์ภาพต่อความยาวคลื่น แสง เซนเซอร์แต่ละประเภทจะมีการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นและระดับความเข้มแสงที่ ต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เซนเซอร์ภาพจึงจะต้องสอดคล้องกับแหล่งกำเนิดแสงและภาพที่ต้องการ



ภาพประกอบ 2-6 ตัวอย่างการตอบสนองของเซนเซอร์ภาพต่อความยาวคลื่นแสง [14]

สำหรับการใช้งานเซนเซอร์ภาพจะถูกนำมาพร้อมกับฟังก์ชันการประมวลผล ข้อมูลภาพเพื่อทำการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น ซึ่งฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลภาพที่สำคัญได้แก่

2.5.1 White balance

เป็นฟังก์ชันสำหรับการปรับความสมดุลของสีในภาพ โดยใช้สมมุติฐานของค่า ผลรวมของระบบสี RGB ของภาพจะต้องมีค่าเท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ภาพมีสีเหมือนกับสีจริง

ของวัตถุมากขึ้น การใช้งานจะใช้เฉพาะกับภาพสีไม่สามารถใช้กับภาพขาวดำและสามารถที่จะกำหนดให้ทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ (Auto White Balance [19])

2.5.2 Gain

เป็นอัตราขยายสัญญาณของเซนเซอร์ภาพของวงจรขยายสัญญาณแบบอะนาล็อก การปรับขยายสัญญาณจะพิจารณาจากระดับความเข้มแสงที่เซนเซอร์ภาพได้รับ ในปัจจุบันการค่า Gain จะใช้การปรับแบบอัตโนมัติร่วมกับการปรับ Exposure [8]

2.5.3 Shading correction

เป็นฟังก์ชันสำหรับการปรับปรุงความสม่ำเสมอของแสงสว่างหรือสีในภาพ อาจเป็นความไม่สม่ำเสมอของแสงสว่างที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในทางการประมวลผลข้อมูลภาพดิจิทัลใช้หลักการของ Image Smoothing [20]

2.5.4 Brightness

เป็นฟังก์ชันสำหรับการปรับความสว่างของภาพ นั่นคือเป็นการเพิ่มค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซล ผลลัพธ์ของภาพที่ได้ภาพจะมีความสว่างเพิ่มขึ้น

2.5.5 Contrast

เป็นฟังก์ชันสำหรับการปรับค่าความแตกต่างของภาพ หรือการเพิ่มค่าความแตกต่างของภาพ ทำโดยการใช้หลักการของ Point operation [20] มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้น ความสัมพันธ์แบบ Logarithm และการใช้ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง ซึ่งเรียกว่าการปรับค่า Gamma เป็นต้น

2.5.6 Sharpness

เป็นฟังก์ชันสำหรับการปรับค่าความคมชัดของภาพ โดยการปรับขอบของภาพให้มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น ในทางการประมวลผลข้อมูลภาพดิจิทัลใช้หลักการของ Image Sharpening [20]

2.5.7 Exposure

ในกล้องโดยทั่วไปจะมีระบบการควบคุมเปิดรับแสงที่จะเดินทางสู่เซนเซอร์ซึ่งเรียกว่า Exposure ประกอบด้วยสองกระบวนการด้วยกันคือ ช่องรับแสง (Aperture) และความไวชัตเตอร์ (Shutter speed)

2.5.7.1 ช่องรับแสง เป็นช่องรูปทรงคล้ายทรงกลมทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อให้แสงผ่านเข้าสู่เซนเซอร์ ซึ่งจะมีการเรียกเป็นหมายเลข f-number หรือ f-stop ตัวเลขที่มีค่าน้อยบ่งบอกถึงปริมาณแสงผ่านได้มาก

2.5.7.2 ความไวชัดเตอร์ เป็นกลไกในการควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้าสู่เซนเซอร์หรือบอกถึงระยะเวลาในการเปิดช่องรับแสง ซึ่งจะมีหน่วยเป็นหน่วยเวลา เช่น วินาที ในปัจจุบันจะเป็นชัดเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ [21]

2.6 การออกแบบแสง

การออกแบบแสงเพื่อให้จุดที่สนใจในภาพมีความคมชัดมากที่สุด โดยพิจารณาคุณสมบัติทิศทางของแสง การจัดทิศทางการให้แสง การจัดโครงสร้างของแสงและคุณสมบัติทิศทางการส่องสว่างที่ส่งผลหรือมีอันตรกิริยาต่อคุณสมบัติพื้นฐานของแสง เช่น การสะท้อน การส่งผ่าน และการกระเจิงของแสงต่อวัตถุ เป็นต้น

2.6.1 คุณสมบัติทิศทางของแสง

คุณสมบัติทิศทางของแสงหรือคุณสมบัติของทิศทางเคลื่อนที่ของแสงเป็นลักษณะทิศทางของแสงที่มีความสำคัญต่อการเกิดภาพวัตถุ สามารถแบ่งได้ดังนี้

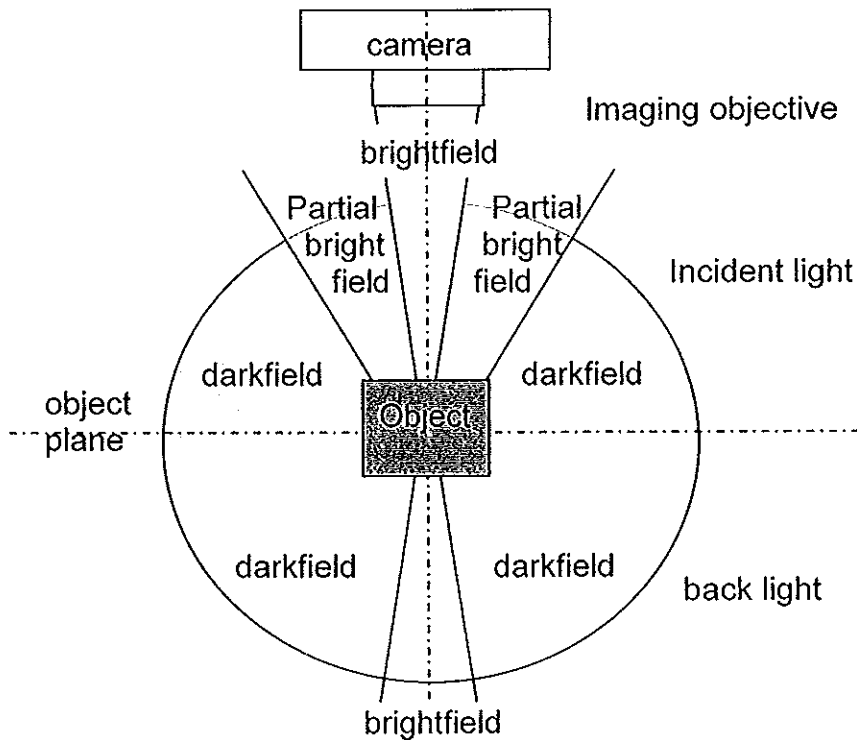
2.6.1.1 Diffuse lighting เป็นคุณสมบัติของแสงแบบที่มีการกระจายไปทุกทิศทางจากแหล่งกำเนิดแสง จะให้คุณสมบัติของความสม่ำเสมอของการส่องสว่างได้ดี

2.6.1.2 Directed lighting เป็นคุณสมบัติของแสงที่มีการแผ่รังสีออกจากแหล่งกำเนิดแสงออกไปโดยตรงไปในทิศทางเดียวกัน จะให้คุณสมบัติของการสะท้อนและเกิดเงาได้ดี ใช้สำหรับการตรวจสอบขอบภาพและพื้นผิวของภาพ

2.6.1.3 Telecentric lighting เป็นคุณสมบัติของแสงที่ได้จากการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้ลำแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงขนานกันตลอด

2.6.2 การจัดทิศทางการให้แสง

การจัดทิศทางหรือการจัดตำแหน่งการให้แสงเป็นการเน้นให้แสงในบริเวณมุมมองที่สนใจ หรือบริเวณพื้นที่ที่สนใจสามารถแสดงเทคนิคการให้แสงดังภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-7 ประเภทของเทคนิคการให้แสง [15]

2.6.2.1 Bright field เป็นการจัดตำแหน่งการส่องสว่างโดยตรงไปยังวัตถุทดสอบ (Test object) เป็นการส่องสว่างวัตถุส่วนที่สว่าง หากทำการส่องสว่างจากทางด้านหน้าวัตถุ (Incident light) การเกิดภาพของวัตถุจะเกิดจากแสงที่สะท้อน โดยตรงจากวัตถุกลับมายังกล้องซึ่งจะสามารถมองเห็นรอยแตก รอยเล็ก ๆ บนผิววัตถุ ในทางกลับกันการส่องสว่างจากทางด้านหลังวัตถุ (Back light) การเกิดภาพของวัตถุจะเกิดจากแสงที่ถูกส่งผ่านวัตถุ ซึ่งทำให้สามารถเห็นรูปทรงของวัตถุ

2.6.2.2 Partial bright field เป็นการจัดตำแหน่งการส่องสว่างทำมุมกับแนวตั้งฉากของระนาบวัตถุทดสอบเล็กน้อยซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ระหว่าง Bright field และ Dark field การเกิดภาพจะเกิดจากการสะท้อนแสงของผิววัตถุ ซึ่งทำให้สามารถเห็นลักษณะพื้นผิวของวัตถุ

2.6.2.3 Dark field เป็นการจัดตำแหน่งการส่องสว่างทำมุมกับแนวตั้งฉากของระนาบวัตถุทดสอบค่อนข้างมาก ภาพของวัตถุจะเกิดขึ้นจากการกระเจิงของแสงทั้งการส่องสว่างจากทางด้านหน้าและการส่องสว่างจากทางด้านหลัง ซึ่งทำให้สามารถเห็นขอบ เส้น ลวดลายและรอยแตกของวัตถุจากภาพที่เกิดขึ้น

2.6.3 การจัดโครงสร้างของแสง [15]

การจัดโครงสร้างของแสงหรือการกำหนดรูปร่างของแสงให้เหมาะสมกับวัตถุ และเหมาะสมกับการวิเคราะห์ภาพ

2.6.3.1 Coaxial lighting เป็นการออกแบบแสงทำให้แสงสามารถส่องสว่างในแนวเดียวกันกับกล้อง เพื่อใช้ในการวัดหรือตรวจจับที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยใช้อุปกรณ์พิเศษในการควบคุมทิศทางของแสง ซึ่งเรียกว่า Beam splitter

2.6.3.2 Point-shaped lighting เป็นการออกแบบแสงให้มีลักษณะเป็นจุดเพื่อใช้ในการวัดระยะของวัตถุ

2.6.3.3 Line-shaped lighting เป็นการออกแบบแสงให้มีลักษณะเป็นเส้นในหนึ่งมิติเพื่อใช้ในการวัดความสูงของวัตถุ

2.6.3.4 Gridline lighting เป็นการออกแบบแสงให้มีลักษณะเป็นเส้นในสองมิติเพื่อใช้ในการวัดความสูงของวัตถุและตรวจสอบความสมบูรณ์ของพื้นผิววัตถุ

2.6.3.5 Ring lighting เป็นการออกแบบแสงให้มีลักษณะเป็นรูปร่างวงแหวนทำให้การส่องสว่างสามารถส่องสว่างวัตถุได้โดยรอบ

2.6.3.6 Dome lighting เป็นการออกแบบแสงให้มีลักษณะเป็นรูปโดมทำให้สามารถส่องสว่างวัตถุแบบสามมิติและลดการเกิดเงา

2.6.3.7 Lighting with through-camera view เป็นการออกแบบแสงให้สามารถส่องสว่างผ่านมุมมองของกล้องเพื่อเพิ่มพื้นที่การส่องสว่างบริเวณตรงกับกล้อง

2.6.4 ข้อจำกัดของการส่องสว่าง การออกแบบการส่องสว่างอยู่บนพื้นฐานของหลักการสะท้อนกระเจิง การดูดกลืนและการส่งผ่านของแสง โดยอ้างอิงคุณสมบัติจากคุณลักษณะทางแสงของวัตถุ ซึ่งหากวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือความไม่แน่นอนของวัตถุจะส่งผลให้คุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นสามารถระบุปัจจัยที่ควรระมัดระวังในการออกแบบการส่องสว่างได้ดังตาราง 2-3

ตาราง 2-3 ปัจจัยความถี่ของชิ้นงานต่อการส่องสว่าง [15]

กลุ่มความเสี่ยง	อิทธิพลของความเสี่ยง	สิ่งนี้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง
ทางแสง	สีของชิ้นงาน	เปลี่ยนแปลงวัสดุ/ส่วนผสมวัสดุ
	รูปแบบ	เปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องมือ
	การสะท้อนแสง	เปลี่ยนแปลงวัสดุ/ส่วนผสมวัสดุ/ กระบวนการผลิต
	การกระเจิงของแสง	เปลี่ยนแปลงวัสดุ/ส่วนผสมวัสดุ/การขึ้นรูปของผิว
	การส่งผ่านของแสง	เปลี่ยนแปลงวัสดุ/ส่วนผสมวัสดุ
	การดูดกลืนของแสง	เปลี่ยนแปลงวัสดุ/ส่วนผสมวัสดุ
ทางกล	รูปทรงของขอบ	เปลี่ยนแปลงเครื่องมือ/ใช้เครื่องมือใหม่ (การตัด/การเจาะ เป็นต้น)
	เรขาคณิตของผิว	เปลี่ยนแปลงเครื่องมือ/ใช้เครื่องมือใหม่ (การตัด/การเจาะ เป็นต้น)
	ความไม่สมบูรณ์ของผิว	เปลี่ยนแปลงเครื่องมือ/ใช้เครื่องมือใหม่ (การตัด/การเจาะ เป็นต้น)
	ความราบเรียบของผิว	เปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องมือ/เปลี่ยนผู้ผลิต
	รอยขรุขระ	เครื่องมือสึกหรอ
	การขึ้นรูปของผิว	เปลี่ยนผู้ผลิต
	ทางเคมี	การกัดกร่อน
ฟิล์มน้ำมัน		ป้องกันการกัดกร่อน
เปลี่ยนแปลงตัวกระทำ		เปลี่ยนแปลงวิธีการของกระบวนการผลิต

2.7 คุณภาพของภาพ

ในระบบแมชชีนวิชั่นจะใช้หลักการประมวลผลข้อมูลภาพในการทำความเข้าใจภาพ หรือในการตีความหมายภาพ ซึ่งระบบแมชชีนวิชั่นจะสามารถทำงานได้เมื่อมีความแตกต่างของค่าความเข้มแสงในภาพเกิดขึ้น หรือมีความแตกต่างของข้อมูลที่อยู่ในภาพ หากในภาพไม่มีความแตกต่างของข้อมูลเลย หรือค่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้นในภาพไม่แตกต่างกันจะส่งผลให้ระบบแมชชีนวิชั่นไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ในระบบแมชชีนวิชั่นจะอาศัยการออกแบบจากและการออกแบบแสงเพื่อช่วยให้เกิดความแตกต่างของค่าความเข้มแสงในภาพให้มากที่สุด ดังนั้นการนิยามคุณภาพของภาพในระบบแมชชีนวิชั่นจึงมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่ง ได้แก่ ความเข้มแสงของภาพ ความแตกต่างของภาพ และความคมชัดของภาพ

2.7.1 ความเข้มแสงของภาพ (Image Intensity)

ความเข้มแสงของภาพเป็นค่าในแต่ละพิกเซลของภาพที่ได้จากกระบวนการจับภาพของเซนเซอร์ภาพ โดยทั่วไปการประมวลผลข้อมูลภาพแบบดิจิทัลจะแบ่งระดับค่าความเข้มแสงออกเป็น 0 ถึง 255 ระดับ 0 หมายถึงระดับค่าความเข้มแสงต่ำ (มืด) ระดับ 255 หมายถึงระดับค่าความเข้มแสงสูง (สว่าง) ซึ่งเรียกว่าค่า Gray Scale นิยามค่าความเข้มแสงได้ดังสมการ 2.12 [20]

$$i = f(x, y) \quad (2.12)$$

เมื่อ

- x, y คือ ค่าตำแหน่งพิกเซล
- f คือ ความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพ
- i คือ ค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง x, y

2.7.2 ความแตกต่างของภาพ (Image Contrast)

ความแตกต่างของภาพคือค่าความแตกต่างของระดับค่าความเข้มแสงในภาพ ซึ่งเกิดขึ้นจากผลของอันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัตถุ ค่าความแตกต่างของภาพส่งผลต่อการรับรู้ของมนุษย์และระบบแมชชีนวิชั่น กล่าวคือการแยกแยะระหว่างพิกเซลสีขาว (ค่าความเข้มแสงสูง = 255) กับพิกเซลสีดำ (ค่าความเข้มแสงต่ำ = 0) สามารถที่จะทำการแยกแยะได้อย่างง่ายดายและมีความน่าจะเป็นของความถูกต้องสูง ในทางกลับกัน การแยกแยะระหว่างพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ การนิยามความแตกต่างของภาพแบบดั้งเดิมและความแตกต่างของภาพแบบดิจิทัลได้ดังสมการ (2.13) [15] และ (2.14) [15] ตามลำดับ

$$K = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(L_{\max} + L_{\min})} \quad (2.13)$$

เมื่อ

- K คือ ค่าความแตกต่างของภาพแบบดั้งเดิม
 L_{\max} คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุที่มากที่สุด
 L_{\min} คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุที่น้อยที่สุด

$$K_{dig} = G_{\max} - G_{\min} \quad (2.14)$$

เมื่อ

- K_{dig} คือ นิยามเป็นค่าความแตกต่างของภาพแบบดิจิทัล
 G_{\max} คือ ค่าความเข้มแสงของภาพที่มากที่สุด
 G_{\min} คือ ค่าความเข้มแสงของภาพที่น้อยที่สุด

2.7.3 ความคมชัดของภาพ (Image Sharpness)

ความคมชัดของภาพเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงรายละเอียดความคมชัดของขอบภาพ หรือใช้ในการระบุตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ การคำนวณหาค่าความคมชัดของภาพมีด้วยกันหลายวิธี [10] ซึ่งอ้างอิงอยู่บนการหาจำนวนขอบภาพหรือการหาความแปรปรวนของระดับค่าความเข้มแสงในภาพ นอกจากนี้สามารถนิยามการหาค่าความคมชัดของภาพ โดยการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการ (2.15) [22]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.15)$$

เมื่อ

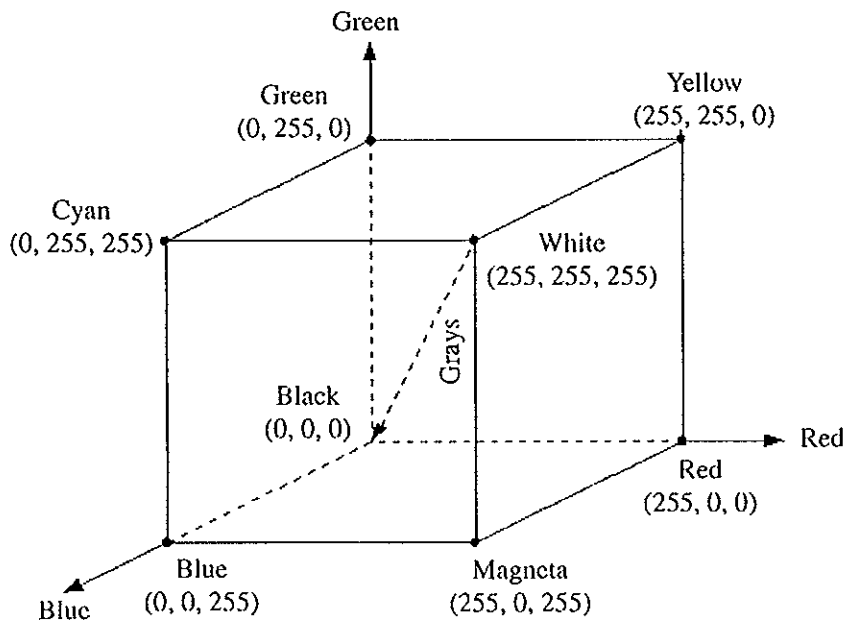
- σ คือ ค่าความคมชัดของภาพ
 i คือ ค่าตำแหน่งพิกเซลใดๆ ของภาพ $i = 1$ ถึง N
 N คือ ค่าจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ
 x_i คือ ค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่งพิกเซล i
 \bar{x} คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของภาพ

2.8 ระบบสีของภาพ

ในระบบแมชชีนวิชันระบบสีถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานที่ต้องการการตรวจสอบสี เนื่องจากงานที่ต้องการตรวจสอบสีมีความสำคัญ การตรวจสอบด้วยคนมีข้อจำกัดในเรื่องของการรับรู้สี ความถูกต้องแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความเร็วในการตรวจสอบ ตัวอย่างระบบสีที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ระบบสี RGB ระบบสี HSI และระบบสี CIE เป็นต้น

2.8.1 ระบบสี RGB

เป็นระบบสีที่ใช้ในระบบแสดงผล เช่น การแสดงผลของคอมพิวเตอร์ กล้องถ่ายรูป และในกล้องดิจิทัล องค์ประกอบของระบบสี RGB ประกอบด้วย สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ดังภาพประกอบ 2-8

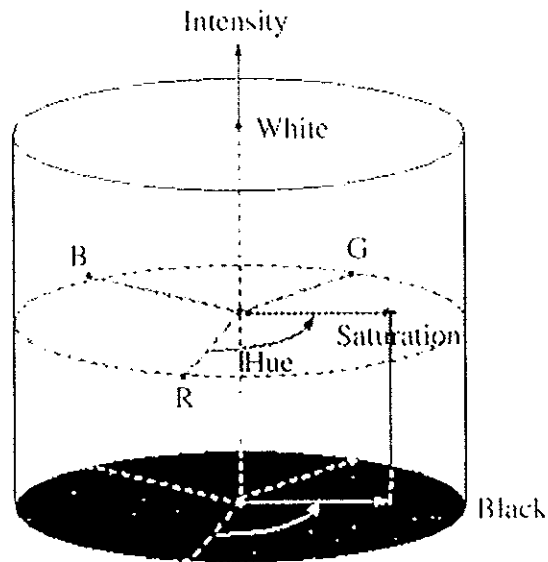


ภาพประกอบ 2-8 ระบบสี RGB [23]

2.8.2 ระบบสี HSI

เป็นระบบสีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพสี ดังภาพประกอบ 2-9 ระบบสี HSI ข้อมูลสีจะถูกรวบรวมไว้ที่จุดข้อมูลของ Hue ซึ่งจะอยู่ในพื้นที่วงกลมส่วนที่อยู่ตรงกลางของค่า Intensity ตำแหน่งของสีในพื้นที่ Hue จะถูกแบ่งโดยค่ามุม ส่วน Saturation เป็นระดับของค่าความเข้มของสีที่ถูกเติมด้วยสีขาวระดับการเติมของสีขาวจะเริ่มต้นที่จุดศูนย์กลางของวงกลมแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามแนวของรัศมีวงกลม ส่วนค่า Intensity จะเริ่มต้นจากสีดำเป็นค่าที่น้อยที่สุดไปจนถึงสีขาวคือค่ามากที่สุด นอกจากนี้ระบบสีที่มีอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับ

ระบบสี HSI ได้แก่ ระบบสี HSL (Hue Saturation Luminance) และ ระบบสี HSV (Hue Saturation Value)



ภาพประกอบ 2-9 ระบบสี HSI [23]

สำหรับการแปลงระบบสีจาก RGB ไปสู่ระบบสี HSI สามารถทำได้ดังสมการที่

(2.16) [23]

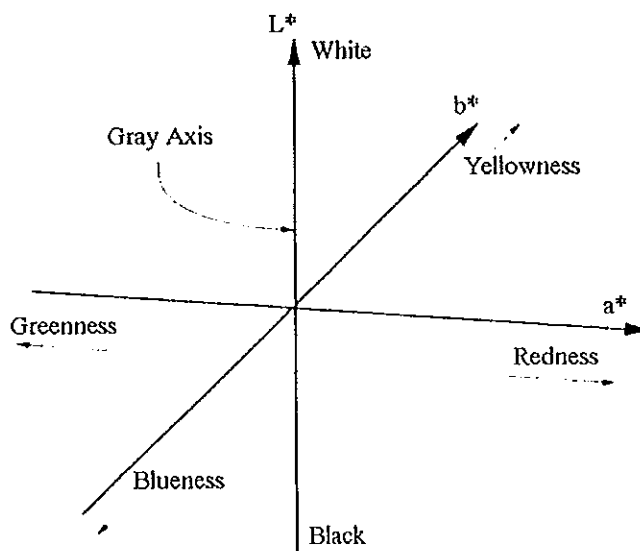
$$\begin{aligned}
 H &= \arctan\left(\frac{\sqrt{3}(G - B)}{(R - G) + (R - B)}\right) \\
 Int &= \frac{(R + G + B)}{3} \\
 Sat &= 1 - \frac{\min(R, G, B)}{Int}
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

2.8.3 ระบบสี CIE (Commission International de l'Eclairage)

เป็นระบบสีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการจับคู่สีและการรับรู้สีของมนุษย์มีความละเอียดสูง ซึ่งมีระบบสี XYZ เป็นระบบสีพื้นฐาน สามารถแสดงความสัมพันธ์กับระบบสี RGB ได้ดังสมการ (2.17) [23]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.117 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

นอกจากนี้มีการสร้างระบบสีใหม่ขึ้นจากระบบสี XYZ ได้แก่ CIE (L^* , a^* , b^*) และ CIE (L^* , u^* , v^*) ซึ่งจะใช้ในอุตสาหกรรมกราฟิกและการแสดงภาพสี โดยที่ L^* จะเป็นตัวแทนของความสว่างของแสงหรือความสว่างของสี ซึ่งสามารถแสดงการประมาณความสัมพันธ์ของระบบสี L^* a^* b^* ได้ดังภาพประกอบ 2-10



ภาพประกอบ 2-10 ความสัมพันธ์ของระบบสี L^* a^* b^* [24]

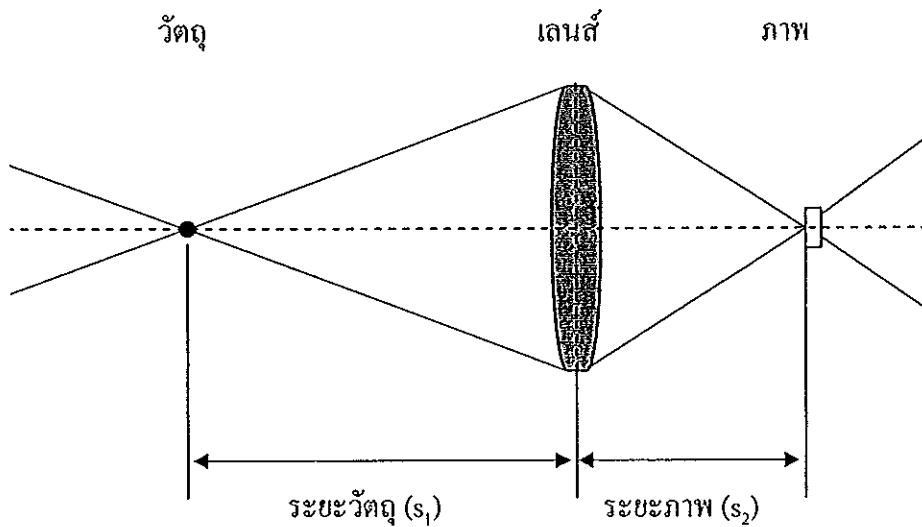
2.9 หลักการควบคุมตำแหน่งโฟกัส

ตำแหน่งโฟกัสเป็นจุดหรือตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาพและภาพมีความคมชัดมากที่สุด ซึ่งการปรับโฟกัสในการถ่ายภาพเป็นระบบปรับโฟกัสที่สามารถเข้าใจได้ง่ายสามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยทั่วไปก่อนทำการถ่ายภาพตากล้องหรือผู้ถ่ายภาพจะต้องทำการปรับตำแหน่งโฟกัสก่อนทุกครั้ง เพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุดแล้วค่อยทำการถ่ายภาพ กระบวนการในการปรับระยะโฟกัสของตากล้องสามารถแบ่งเป็น

- ทำการปรับโฟกัสโดยการปรับระยะตำแหน่งของเลนส์ เป็นการทำการปรับระยะตำแหน่งเลนส์ด้วยมือหรือด้วยระบบอัตโนมัติจากนั้นจึงสังเกตความคมชัดของภาพจากภาพที่มองเห็นในกล้องแล้วจึงตัดสินใจเลือกตำแหน่งโฟกัสที่ดีที่สุด

- ทำการปรับโฟกัสโดยการเปลี่ยนระยะตำแหน่งถ่ายภาพ เป็นการทำการปรับระยะตำแหน่งของกล้อง โดยการเดินพากล้องไปหาตำแหน่งที่มีโฟกัสชัดที่สุดซึ่งสังเกตความคมชัดจากภาพที่มองเห็นในกล้อง จากนั้นจึงตัดสินใจเลือกตำแหน่งโฟกัสที่ดีที่สุด

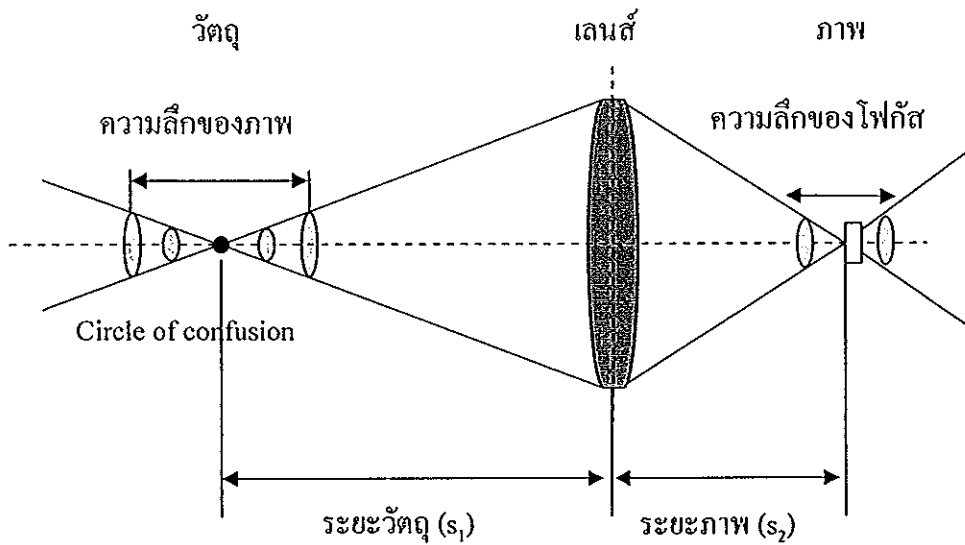
จากวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสดังที่กล่าวมา สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์กับแบบจำลองของการเกิดภาพอย่างง่ายได้ดังภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-11 แบบจำลองของการเกิดภาพอย่างง่าย

พิจารณาภาพประกอบ 2-11 แบบจำลองของการเกิดภาพอย่างง่าย พบว่าเมื่อทำการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับระยะเลนส์ จะทำให้ระยะวัตถุ (s_1), ระยะภาพ (s_2) และ ระยะโฟกัส เปลี่ยนไป ผลที่ตามมาคือค่าอัตราขยายของภาพ (Magnification) และความคมชัดของภาพจะเปลี่ยนไป หากทำการปรับโฟกัสโดยการเปลี่ยนระยะตำแหน่งถ่ายภาพจะทำให้ระยะวัตถุ (s_1) และ ระยะภาพ (s_2) เปลี่ยนไป ผลที่ตามมาคือค่าอัตราขยายของภาพและความคมชัดของภาพจะเปลี่ยนไป

ในกระบวนการถ่ายภาพจริงเมื่อทำการปรับระยะตำแหน่งโฟกัสดังวิธีที่กล่าวข้างต้น ซึ่งจะพบช่วงที่ภาพมีความคมชัดมากอยู่ช่วงหนึ่ง โดยที่ก่อนและหลังช่วงระยะโฟกัสดังกล่าวจะได้ภาพที่ขาดความคมชัดสามารถอธิบายได้ดังภาพประกอบ 2-12



ภาพประกอบ 2-12 แบบจำลองของระยะความคมชัดของภาพ

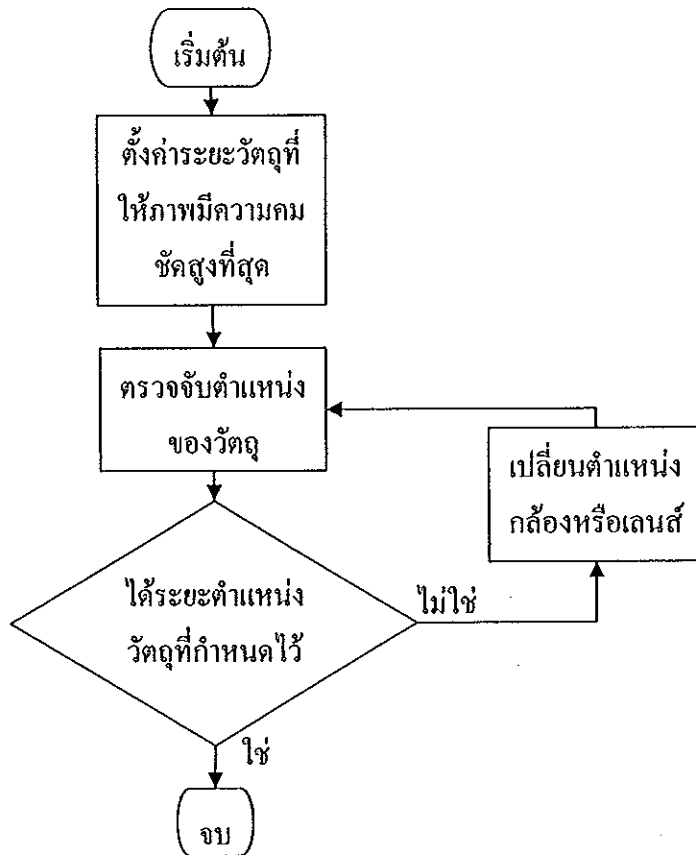
ภาพประกอบ 2-12 แบบจำลองของระยะความคมชัดของภาพ พบว่าการมองเห็นความคมชัดของกล้องสามารถแบ่งออกได้เป็นสององค์ประกอบด้วยกันคือความลึกของภาพ [25] และความลึกของโฟกัส [26] หากทำการถ่ายภาพของวัตถุที่วัตถุอยู่ในช่วงความลึกของภาพ ภาพที่ได้จะมีความคมชัด แต่ถ้าหากวัตถุอยู่นอกช่วงความลึกของภาพ ภาพที่ได้จะขาดความคมชัด เช่นเดียวกันหากภาพที่เกิดขึ้นไม่ได้อยู่ในช่วงความลึกของโฟกัสแล้ว ภาพที่ได้จะขาดความคมชัดเช่นกัน ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะความลึกของภาพได้แก่

- ขนาดของช่องรับแสง (Aperture) การลดขนาดช่องรับแสงส่งผลให้ระยะความลึกของภาพเพิ่มขึ้น
- ระยะของโฟกัสของเลนส์ (Focusing Length) การลดระยะ โฟกัสส่งผลให้ระยะความลึกของภาพน้อยลง

ในปัจจุบันการควบคุมตำแหน่งโฟกัสที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีด้วยกันสองแบบคือ แบบ Passive และแบบ Active

2.9.1 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Passive

เป็นรูปแบบการควบคุมตำแหน่งโฟกัสที่นิยมใช้กับ Single-lens reflex (SLR) ซึ่งจะใช้หลักการประมวลผลข้อมูลภาพในการตรวจจับความคมชัดของภาพแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมตำแหน่งของเลนส์หรือกล้อง จนได้ค่าความคมชัดที่มากที่สุด สามารถแสดงตัวอย่างการทำงานอย่างง่ายของระบบควบคุมโฟกัสแบบ Passive ดังภาพประกอบ 2-13



ภาพประกอบ 2-13 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่ง ไฟกั๊สแบบ Passive

ภาพประกอบ 2-13 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่ง ไฟกั๊สแบบ Passive ใช้หลักการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ ซึ่ง โดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันของความคมชัด (Sharpness function) ในการวิเคราะห์ความคมชัดของภาพ ซึ่งมีหลายวิธีการด้วยกัน จากการศึกษาฟังก์ชันของความคมชัดสามารถแสดงได้ดังนี้

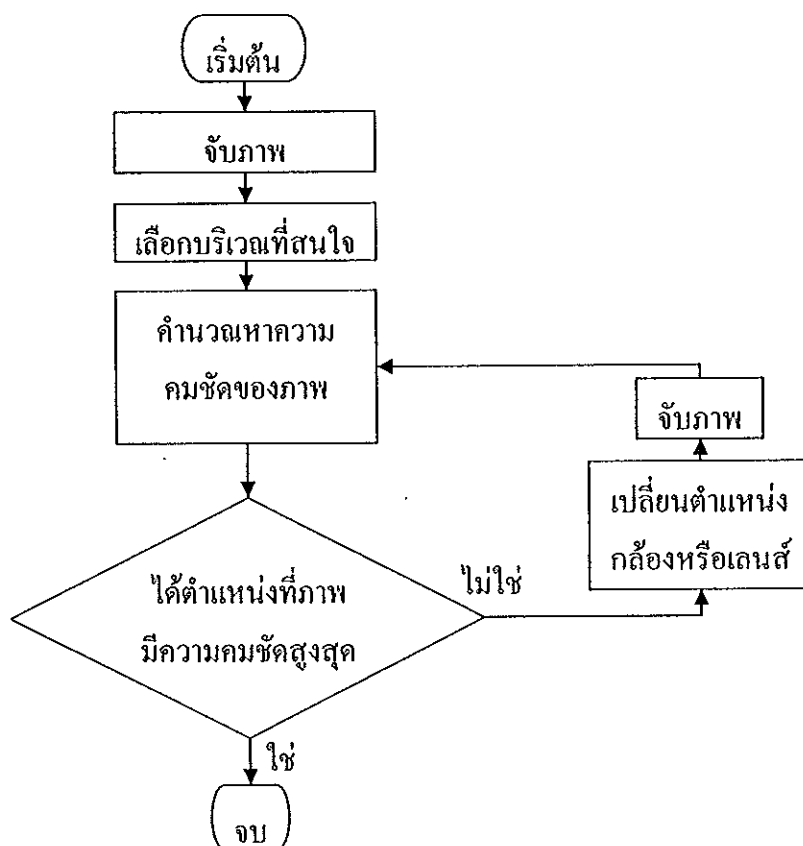
2.9.1.1 การวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ (Statistical function) [10] จะทำการพิจารณาความคมชัดของภาพจากค่าความเข้มของแสงในแต่ละพิกเซลของภาพหรือค่า Gray level คือค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลมีความแตกต่างกันมากจะบ่งบอกถึงภาพมีความคมชัดมากเช่นกัน

2.9.1.2 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการตรวจจับขอบภาพ (Edge detection) [10] พิจารณาความคมชัดจากขอบของภาพ คือภาพมีจำนวนขอบของภาพมากแสดงว่าภาพมีความคมชัดมาก ตัวอย่างการหาค่าความคมชัดโดยใช้วิธีการตรวจจับขอบภาพเช่น Tenengrad [10] โดยใช้การตรวจจับขอบภาพของ Sobel (horizontal, vertical) [10] และ Tenengrad [10] โดยใช้การตรวจจับขอบภาพของ Laplacian [10]

2.9.1.3 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ FFT [10] พิจารณาภาพในโดเมนของความถี่ภาพที่มีองค์ประกอบความถี่สูงมากแสดงว่าภาพมีความคมชัดมาก

2.9.2 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active

เป็นรูปแบบการควบคุมตำแหน่งโฟกัสโดยใช้การตรวจจับตำแหน่งระยะห่างของวัตถุเทียบกับตำแหน่งของกล้องแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมตำแหน่งของกล้องเพื่อให้ได้ระยะห่างที่ต้องการ ซึ่งเป็นระยะที่ภาพมีความคมชัดมากที่สุด สามารถแสดงการทำงานอย่างง่ายของระบบควบคุมโฟกัสแบบ Active ภาพประกอบ 2-14



ภาพประกอบ 2-14 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active

ภาพประกอบ 2-14 ตัวอย่างการควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active ใช้หลักการตรวจจับตำแหน่งระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ อุปกรณ์ตรวจจับระยะเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ โดยจะใช้หลักการสะท้อนของคลื่นในการตรวจจับระยะทาง ช่วงความยาวคลื่นที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ คลื่นอัลตราไวโอเล็ตที่มีความถี่สูงและ คลื่นอินฟราเรด เป็นต้น ข้อจำกัดของการใช้งานของการโฟกัส

แบบ Active คือสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ถ่ายภาพ การรวบรวมสัญญาณรวบรวมต่อคลื่นที่ใช้ในการตรวจระยะห่างของวัตถุเกิดขึ้นได้ง่าย

2.10 การทำงานแบบเวลาจริง

ระบบการทำงานแบบเวลาจริง หรือการทำงานแบบ Real-time โดยทั่วไปเข้าใจกันว่าเป็นระบบที่ทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ยังไม่ถูกต้องเกี่ยวกับระบบการทำงานแบบเวลาจริง ระบบการทำงานแบบเวลาจริงจะต้องมีพื้นฐานขององค์ประกอบดังต่อไปนี้

- ระบบการทำงานจะต้องมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) คือ ระบบการทำงานจะต้องมีผลลัพธ์ของการทำงานที่ถูกต้องแม่นยำ มีความแข็งแรงคงทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อมในขณะทำงาน รวมถึงมีความยืดหยุ่นหรือรองรับความคิดพลาดจากผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

- ระบบการทำงานจะต้องทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด (Timing constraints) คือ ระบบการทำงานมีระยะเวลาที่กำหนดในการทำงานของงานแต่ละงานอย่างชัดเจน นั่นคือระบบจะต้องทำงานให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด

- ระบบการทำงานสามารถระบุระยะเวลาได้ (Determinism) คือ ระบบการทำงานต้องมีเวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดการทำงานของงานแต่ละงานอย่างชัดเจน นั่นคือสามารถจะทำการคำนวณหรือคาดการณ์การทำงานของระบบได้ในช่วงเวลาใดๆ

ความเร็วของการทำงานเป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของงานเช่น ในงานการควบคุมสายพานลำเลียงแบบอัตโนมัติของขบวนน้ำแบบพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับขบวนน้ำแบบแก้ว ความเร็วในการทำงานจะแตกต่างกันเนื่องจากความเสี่ยงในการแตกของขวด หรือในการทำงานของเครื่องฉีดฝ้ายล้างบรรจุภัณฑ์กระบวนกรีดฝ้ายจะต้องทำในจังหวะที่ก้าวเริ่มแห้ง จึงจะทำให้การยึดจับของกาวแน่น การควบคุมช่วงเวลาการรีดฝ้ายหลังการฉีดกาวจำเป็นที่จะต้องมีความแม่นยำ สิ่งเหล่านี้จะเป็นข้อจำกัดพื้นฐานของความเร็วในการทำงาน ฉะนั้นการทำงานที่มีความรวดเร็วเพียงอย่างเดียวอาจไม่ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่กลับเป็นความคงเส้นคงวา ความถูกต้องแม่นยำและผลลัพธ์ของงานที่ถูกต้อง

ดังนั้นระบบการทำงานแบบเวลาจริงเป็นระบบที่ต้องการการควบคุมความถูกต้องทั้งผลลัพธ์ที่ได้ มีความคงเส้นคงวา ต้องทำงานให้เสร็จทันตามเวลาที่กำหนด สามารถที่ระบุได้ว่าในช่วงเวลาใด ระบบจะทำงานอะไรอยู่ ทำให้ในการออกแบบระบบการทำงานแบบเวลาจริงจะต้องมีฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการทำงานแบบเวลาจริง คืออุปกรณ์ทุกอย่างจะต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานของการทำงานแบบเวลาจริงตรงตามคุณสมบัติทั้งสามข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ระบบการทำงานแบบเวลาแบบจริงนิยมแบบคั้งเดิม [27] ประกอบด้วย Hard real-time และ Soft real-time สามารถอธิบายได้ดังนี้

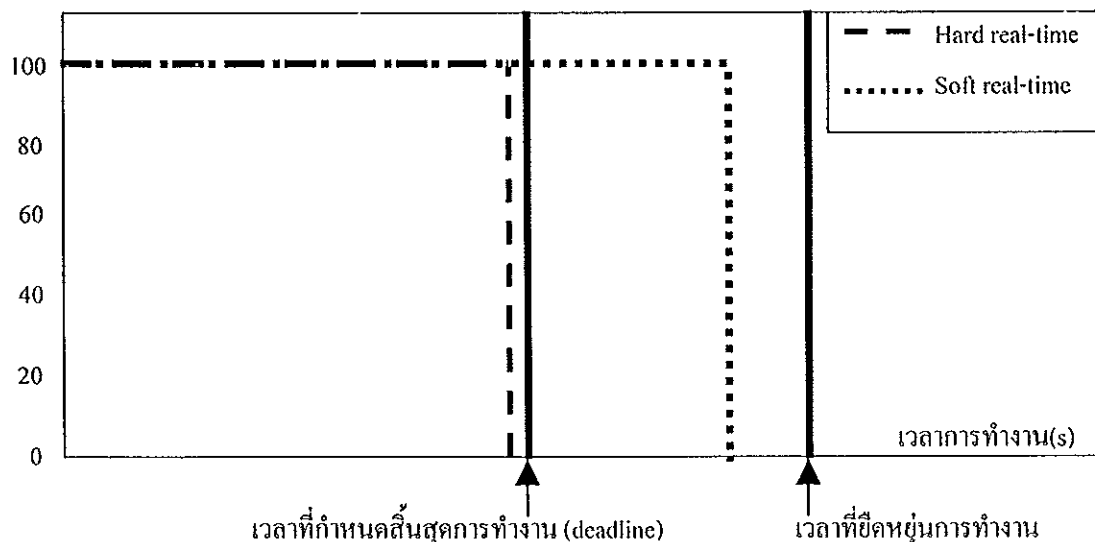
2.10.1 Hard real-time

คือระบบการทำงานที่มีการกำหนดระยะเวลาสิ้นสุดการทำงาน (Deadline) ที่แน่นอนและตายตัว ระบบการทำงานจะต้องทำงานให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนดเอาไว้ มิฉะนั้นแล้วอาจจะทำให้สิ่งที่ยูนอกเหนือการควบคุมเกิดขึ้นได้ และอาจนำไปสู่ความเสียหาย ในการออกแบบระบบ Hard real-time จะต้องมีการทดสอบที่แน่นอนในสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานจริงการทำงานต้องทนต่อความผิดพลาดได้สูง ต้องมีวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

2.10.2 Soft real-time

คือระบบการทำงานที่มีการกำหนดระยะเวลาสิ้นสุดการทำงานที่แน่นอนและตายตัว เช่นเดียวกับ Hard real-time แต่จะต่างกันตรงที่จะมีเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจนกระทั่งได้คำตอบมีระยะเวลาอาจมีค่าเลยเวลาที่กำหนด คือเมื่อใช้เวลาในการทำงานเกินเวลาที่กำหนดแล้วระบบยังสามารถยอมรับการทำงานได้ ทั้งนี้ระบบที่ใช้การทำงานแบบ Soft real-time จะต้องเป็นการทำงานที่สามารถยืดหยุ่นได้ไม่มีผลกระทบร้ายแรงเกิดขึ้น

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของงาน (%)



ภาพประกอบ 2-15 การเปรียบเทียบระบบการทำงานระหว่าง Hard real-time และ Soft real-time

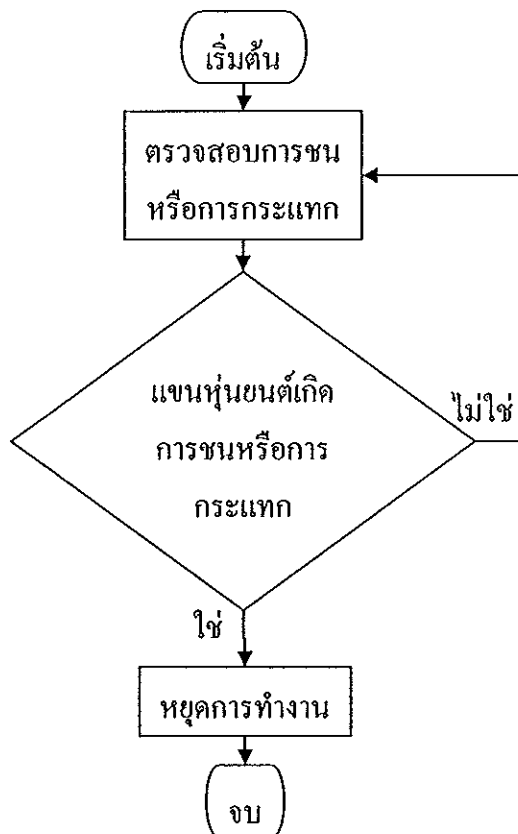
พิจารณาภาพประกอบ 2-15 การเปรียบเทียบระบบการทำงานระหว่าง Hard real-time และ Soft real-time เวลาที่กำหนดสิ้นสุดการทำงานจะเร็วกว่าเวลาที่ยืดหยุ่นการทำงาน พบว่า

ระบบแบบ hard real-time จะทำงานเสร็จก่อนเวลาที่กำหนดสิ้นสุดการทำงาน ในส่วนของ Soft real-time จะทำงานช้ากว่า (Late) เวลาที่กำหนดสิ้นสุดการทำงาน แต่จะมาทำเสร็จก่อนเวลาที่ยืดหยุ่นการทำงาน ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นเวลาที่แย่ที่สุดในการทำงาน (Worst case execution time: WCET) [28] ที่จะทำให้ระบบไม่เกิดความเสียหายหรือระบบยังคงอยู่ในสถานะที่สามารถยอมรับได้

2.10.3 ลักษณะงานของระบบแบบเวลาจริง

โดยพื้นฐานการทำงานแบบเวลาจริงต้องการที่จะแก้ปัญหาการทำงานของระบบการทำงานหลักคือ การตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น การควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ และการทำงานร่วมกันหลายงานและแต่ละงานมีความเกี่ยวเนื่องกัน สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.10.3.1 การตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น มีความต้องการตอบสนองต่อการกระตุ้นในช่วงเวลาที่สามารถทำการคำนวณได้เพื่อสามารถคาดการณ์ความเสี่ยงได้ เช่น ระบบการทำงานของระบบป้องกันการชนของแขนหุ่นยนต์ ในระบบการทำงานแบบอัตโนมัติที่ต้องใช้แขนหุ่นยนต์เป็นเครื่องมือในการประกอบชิ้นงาน การเชื่อมชิ้นงาน หรือการขนถ่ายชิ้นงาน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการชนของแขนหุ่นยนต์เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายการชนต่อคนและต่อแขนหุ่นยนต์ โดยเมื่อระบบตรวจพบการชนระบบจะต้องหยุดการทำงานทันทีเพื่อลดความรุนแรงของการชนลง ดังนั้นระบบป้องกันจะต้องสามารถตอบสนองต่อการชนหรือการกระทบของแขนหุ่นยนต์ได้ภายในช่วงเวลาที่สามารถทำการคำนวณได้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ระบบหยุดการทำงานอย่างทันทีเพื่อป้องกันความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นต่อคนและแขนหุ่นยนต์ หากการทำงานของระบบป้องกันการชนช้าอาจจะส่งผลอันตรายต่อคนและแขนหุ่นยนต์

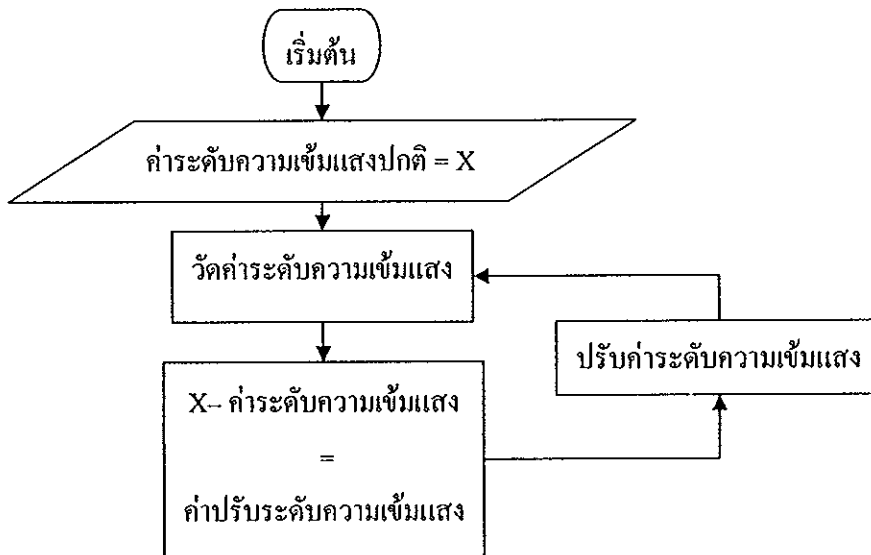


ภาพประกอบ 2-16 ตัวอย่างการทำงานของระบบการป้องกันการชนของแขนหุ่นยนต์อย่างง่าย

พิจารณาภาพประกอบ 2-16 ตัวอย่างการทำงานของระบบการป้องกันการชนของแขนหุ่นยนต์อย่างง่าย การตรวจสอบการชนหรือการกระแทกเป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะเป็นส่วนที่คอยรับเหตุการณ์ หากมีเหตุการณ์ขึ้นจะส่งคำสั่งไปหยุดการทำงานทันที หากไม่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นจะทำการตรวจสอบอยู่เป็นช่วงเวลาที่สามารถคำนวณได้ ซึ่งช่วงเวลาในการตรวจสอบเป็นส่วนที่สำคัญ หากช่วงเวลาในการตรวจสอบนานอาจจะทำให้การตรวจสอบช้าไป แต่ถ้าช่วงเวลาในการตรวจสอบเร็วจะทำให้การตรวจทำได้เร็วขึ้น

2.10.3.2 การควบคุมแบบระบบปิดสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ มีความต้องการตรวจสอบสถานะของงานหรือตรวจสอบสัญญาณป้อนกลับเพื่อทำการชดเชยให้การทำงานมีความถูกต้องของงานอยู่ตลอดเวลาอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมหรือระบบที่ควบคุมอยู่ เช่น การควบคุมความเข้มแสงของระบบการตรวจสอบด้วยภาพ ลักษณะของภาพชิ้นงานที่ต้องการทำการตรวจสอบจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ได้รับ หากการควบคุมความเข้มแสงไม่คงเส้นคงวาหรือมีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวนจะทำให้ภาพเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิม นั้นหมายถึงอาจทำ

ให้ระบบการตรวจสอบเกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาดขึ้นได้ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมหรือชดเชยระดับความเข้มแสงให้มีความคงเส้นคงวาอยู่ตลอดเวลาในช่วงการใช้งาน



ภาพประกอบ 2-17 ตัวอย่างการควบคุมระดับความเข้มแสงอย่างง่าย

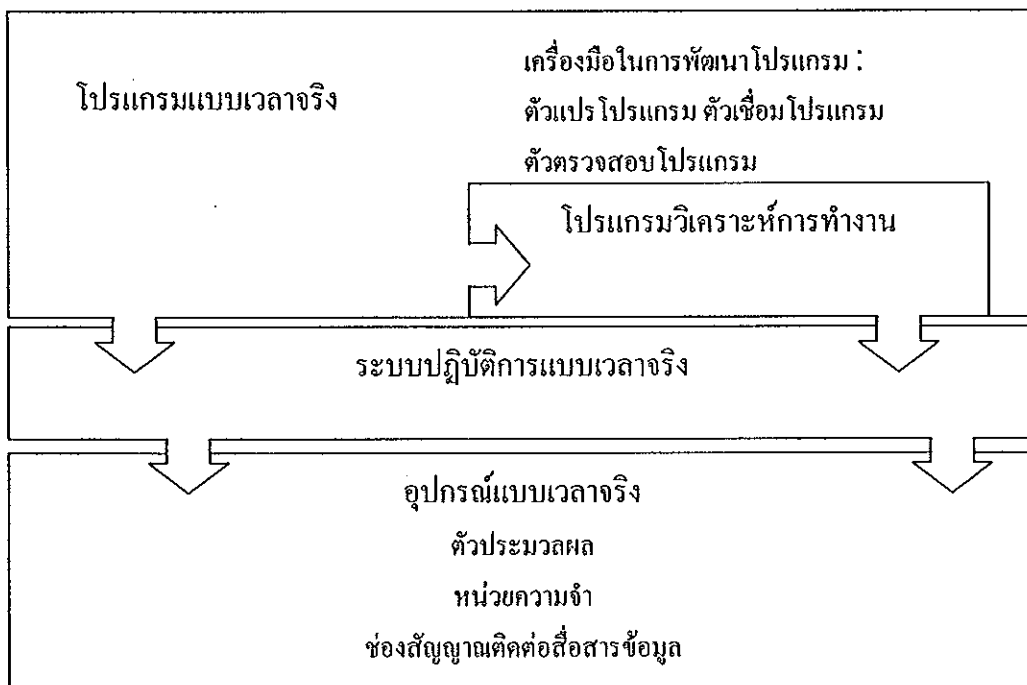
พิจารณาภาพประกอบ 2-17 ตัวอย่างการควบคุมหรือชดเชยระดับความเข้มแสงอย่างง่าย การทำงานของระบบจะเป็นแบบระบบควบคุมแบบระบบปิดที่มีการรับสัญญาณแบบต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา คือทุกครั้งที่มีการตรวจสอบค่าระดับความเข้มแสงจะทำการปรับค่าระดับความเข้มแสงให้เข้าใกล้ค่าระดับความเข้มแสงปกติซึ่งเป็นค่าเป้าหมาย หากการทำงานของ การตรวจสอบค่าระดับความเข้มแสงช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงของแสงจากภายนอกจะทำให้ระบบ การชดเชยแสงทำงานผิดพลาด คือระบบไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง ภายนอกได้ ซึ่งในการออกแบบใช้งานจริงจะต้องกำหนดเวลาการควบคุมระดับค่าความเข้มแสงให้ สามารถที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงต่อแสงภายนอกได้ดีจึงจะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ

2.10.3.3 การทำงานร่วมกันหลายงานและแต่ละงานมีความเกี่ยวเนื่องกัน มีความต้องการ ความถูกต้องของการทำงาน สามารถทำงานในเวลาที่กำหนดและหาค่าได้ ซึ่งเป็นลักษณะของงานที่ จะนำผลลัพธ์ของงานแรกไปป้อนเป็นข้อมูลให้กับงานที่สอง นั่นคืองานแรกจะต้องเสร็จก่อนงานที่ สองจะเริ่มต้นทำงาน หรือผลลัพธ์ของงานที่หนึ่งและงานที่สองจะถูกนำไปป้อนให้กับงานที่สาม หากเป็นเช่นนั้นแล้วระบบการทำงานของงานทุกงานจะต้องมีความผิดพลาดเกิดขึ้นไม่ได้เลย เพราะ จะส่งผลให้เกิดการทำงานผิดพลาดขึ้นทั้งระบบ ยกตัวอย่างเช่น การทำงานของระบบตรวจสอบด้วย

ภาพซึ่งการทำงานจะประกอบไปด้วยงาน 6 งานคือ 1.การควบคุมตำแหน่งโฟกัสของแขนหุ่นยนต์ที่ทำการยึดถือติดไว้กับแขนหุ่นยนต์ 2.การตรวจสอบการชนของแขนหุ่นยนต์ 3.การควบคุมค่าระดับความเข้มแสง 4.การจับภาพ 5.การประมวลผลข้อมูลภาพ และ 6.การคัดแยกชิ้นส่วนที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ เป็นต้น

2.10.4 องค์ประกอบของระบบแบบเวลาจริง

องค์ประกอบของระบบแบบเวลาจริงจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะช่วยในการพัฒนาระบบการทำงานแบบเวลาจริง ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวจะเป็นส่วนที่สนับสนุนให้การทำงานแบบเวลาจริงสมบูรณ์แบบได้มากยิ่งขึ้น แสดงได้ดังภาพประกอบ 2-18



ภาพประกอบ 2-18 องค์ประกอบของระบบแบบเวลาจริง

2.10.4.1 โปรแกรมแบบเวลาจริง (Real-time software) คือส่วนที่ทำหน้าที่รองรับการเขียนโปรแกรมจากผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้โปรแกรมการทำงานแบบเวลาจริงได้ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรกดังต่อไปนี้

- ตัวแปลโปรแกรม (Compiler) ทำหน้าที่แปลภาษาระดับสูงที่เขียนโดยผู้ใช้งาน ไปเป็นภาษาระดับต่ำหรือภาษาเครื่องที่เครื่องสามารถเข้าใจได้
- ตัวเชื่อมโปรแกรม (Linker) ทำหน้าที่เชื่อมโยงโปรแกรมต่างๆ สำหรับประกอบไฟล์ออกเจกต์ที่สร้างขึ้น โดยตัวแปลโปรแกรมเป็นโปรแกรมเดี่ยวที่สามารถดำเนินงานได้

- ตัวตรวจสอบโปรแกรม (Debugger) ทำหน้าที่คอยตรวจสอบความผิดพลาดของการเขียนโปรแกรม หรือ สามารถใช้ในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม

2.10.4.2 โปรแกรมวิเคราะห์การทำงาน คือโปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยวิเคราะห์การทำงานของระบบแบบเวลาจริงซึ่งจะประกอบด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของการทำงานและการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงาน ในการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์การทำงานสามารถใช้วิเคราะห์โปรแกรมแบบเวลาจริงในขณะที่กำลังทำงานได้

2.10.4.3 ระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง (Real-time operating system) คือซอฟต์แวร์ส่วนที่เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างโปรแกรมแบบเวลาจริงกับอุปกรณ์แบบเวลาจริง มีหน้าที่หลักเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรในการทำงานของระบบการทำงานหรือคอมพิวเตอร์ เพื่อให้บริการโปรแกรมแบบเวลาจริงในเรื่องการรับส่งและจัดเก็บข้อมูลกับฮาร์ดแวร์ เช่น การส่งข้อมูลไปเก็บหรืออ่านจากฮาร์ดดิสก์ การรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่าย หรือจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำ ตามที่โปรแกรมแบบเวลาจริงร้องขอ ซึ่งทำให้โปรแกรมแบบเวลาจริงทำงานได้สะดวกและง่ายขึ้น ตัวอย่างของระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริงที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันเช่น FreeRTOS, μ COS และ LabVIEW Real-time เป็นต้น

2.10.4.4 อุปกรณ์แบบเวลาจริง (Real-time hardware) คืออุปกรณ์ส่วนต่างๆที่ทำงานและเชื่อมโยงกันภายใต้ระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง เช่น ตัวประมวลผล (CPU) หน่วยความจำ (Memory) และ ช่องสัญญาณการติดต่อสื่อสาร (I/O ports) เป็นต้น

บทที่ 3

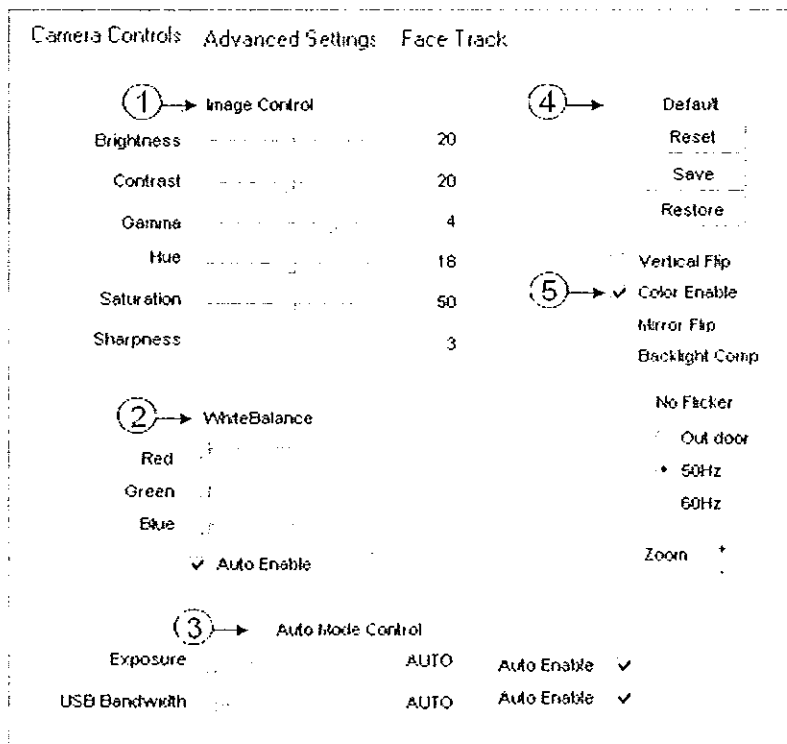
การออกแบบระบบพื้นฐาน

การออกแบบระบบพื้นฐานประกอบด้วยการออกแบบระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง การออกแบบระบบควบคุมค่าความเข้มแสง และระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส ซึ่งเป็นการออกแบบระบบพื้นฐานเพื่อสำหรับที่จะนำไปสู่การศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมสิ่งแวดล้อมทางแสงและวิธีการควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบเวลาจริงสำหรับการพัฒนาระบบตรวจตรวจสอบด้วยภาพต่อไป

3.1 การออกแบบระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง (Image acquisition)

ในการออกแบบได้เลือกใช้เซนเซอร์ภาพที่ใช้เทคโนโลยีแบบ CMOS เนื่องจากในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์แบบ CMOS ได้มีการพัฒนาไปมากทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ขณะเดียวกันราคาของเทคโนโลยีแบบ CMOS มีราคาถูกกว่าเทคโนโลยีแบบ CCD การใช้งานในทางการตรวจสอบด้วยภาพเริ่มมีการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์แบบ CMOS มาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นทางเลือกที่มีราคาถูกและมีศักยภาพที่จะสามารถทำการพัฒนาต่อไปในอนาคต

ในการออกแบบและพัฒนาระบบรับส่งข้อมูลภาพจากกล้องแบบเวลาจริงได้ทำการเลือกเซนเซอร์ภาพของบริษัท Vimicro รุ่น Vimicro301 [29] ขนาดเซนเซอร์ 1/3 นิ้ว เลนส์ประกอบในตัว สามารถปรับระยะโฟกัสตั้งแต่ 30 มิลลิเมตร ถึงระยะอนันต์ สำหรับการออกแบบระบบเลือกใช้ภาพสีขนาด 350 x 288 พิกเซล ความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที การสื่อสาร USB เป็นช่องทางการสื่อสารสำหรับการส่งข้อมูลภาพไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งจะทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมการรับภาพจากกล้อง โดยใช้โปรแกรมรับข้อมูลภาพ สามารถแสดงพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมการทำงานของกล้อง ดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 พารามิเตอร์การควบคุมการทำงานของกล้อง

พารามิเตอร์การควบคุมการทำงานของกล้องในภาพประกอบ 3-1 เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกติดตั้งมาจากโรงงานผลิต (Default setting) สามารถอธิบายพารามิเตอร์เป็นส่วนๆ ดังนี้

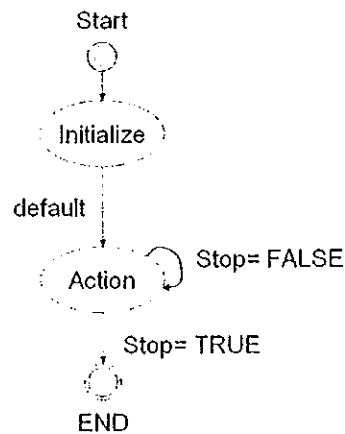
- ส่วนที่ 1 Image Control เป็นพารามิเตอร์การควบคุมคุณภาพของภาพ
- ส่วนที่ 2 White Balance เป็นการกำหนดการทำงานแบบอัตโนมัติของ White Balance
- ส่วนที่ 3 Auto Mode Control เป็นการกำหนดการทำงานแบบอัตโนมัติของ Exposure และ

Bandwidth ของการส่งข้อมูล USB

- ส่วนที่ 4 Default เป็นการดำเนินการบันทึกและเรียกใช้ค่าพารามิเตอร์ทุกตัวของกล้อง
- ส่วนที่ 5 Color Enable เป็นการกำหนดการทำงานแบบภาพสีหรือภาพแบบขาวดำ

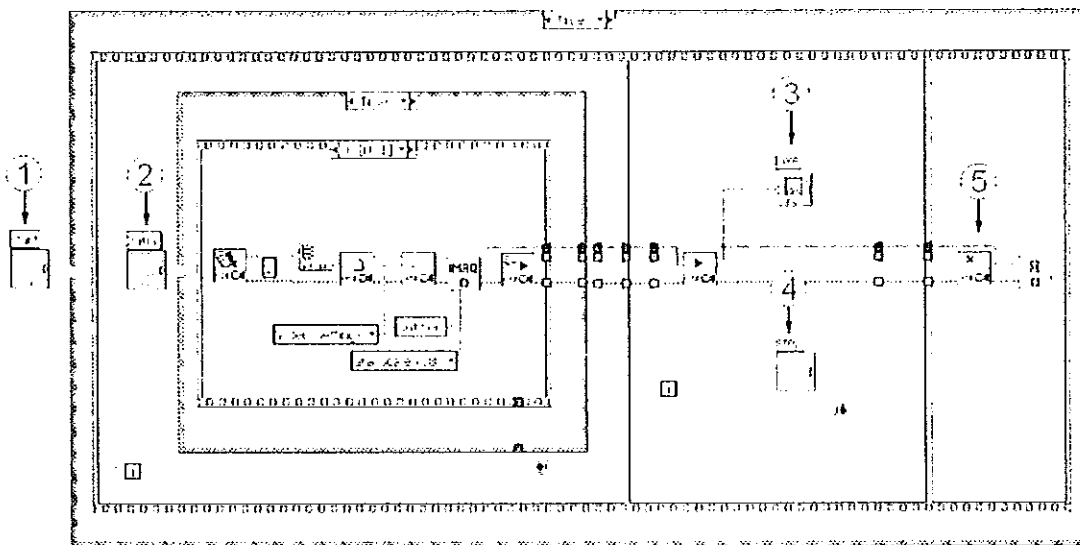
3.1.1 โปรแกรมรับข้อมูลภาพจากกล้อง

การออกแบบโปรแกรมในการรับข้อมูลภาพจากกล้องเพื่อที่จะนำภาพไปทำการประมวลผลได้นำหลักการพัฒนาโปรแกรมแบบ State machine [30] มาใช้ในการออกแบบเนื่องจากหลักการของการเขียน โปรแกรมมีความสอดคล้องกับหลักการทำงานของการรับข้อมูลภาพจากกล้อง สามารถแสดงการทำงานของโปรแกรมแบบ State machine ดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรมแบบ State machine

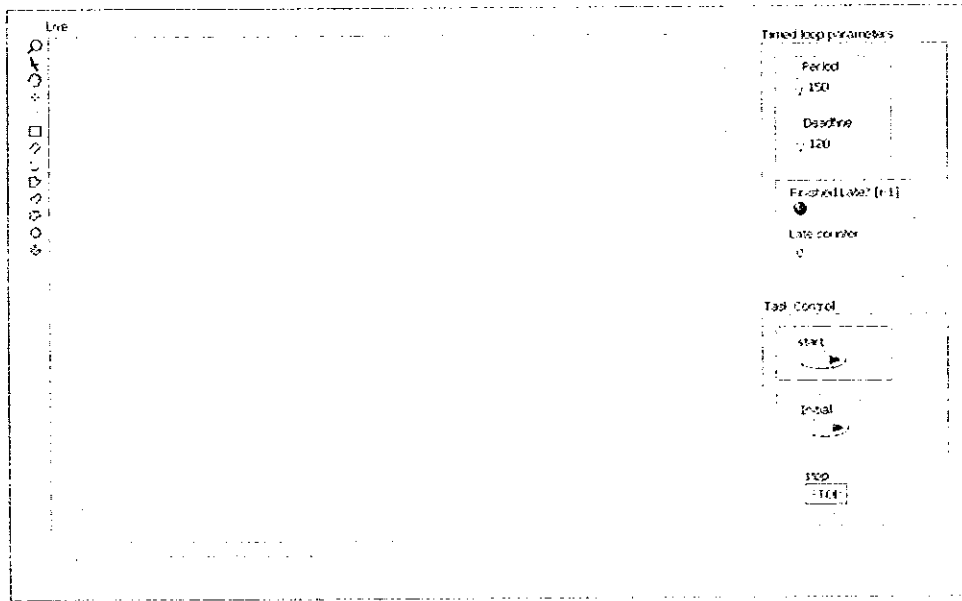
ในการออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลภาพจากกล้อง ออกแบบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW [31] ร่วมกับ Image acquisition software (IMAQ) [32] และหลักการเขียนโปรแกรมแบบ State machine สามารถแสดงโปรแกรมดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 ตัวอย่างโปรแกรมรับข้อมูลภาพโดยใช้หลักการ State machine

จากภาพประกอบ 3-2 และ ภาพประกอบ 3-3 สามารถอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมรับข้อมูลภาพในแต่ละส่วนได้ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการเริ่มต้นทำงานของโปรแกรม (Start)
- ส่วนที่ 2 ขั้นตอนเตรียมความพร้อมของกล้อง (Initialize)
- ส่วนที่ 3 ขั้นตอนรับข้อมูลภาพและแสดงภาพ (Action)



ภาพประกอบ 3-5 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมรับข้อมูลภาพภาพแบบเวลาจริง โดยใช้ฟังก์ชัน Timed loop

3.2 การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง

ในปัจจุบันหลอด LED เป็นอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาเป็นแหล่งกำเนิดแสงในระบบการตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชัน โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของอายุการใช้งาน ขนาดของหลอด การนำไปออกแบบ การเกิดความร้อน เวลาการตอบสนอง ความเข้มแสง ความคงทน อัตราเชื่อมต่อผลของอุณหภูมิ การซ่อมบำรุง อันตราย การป้องกันระบบและราคากับประสิทธิภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ในการออกแบบฉากหรือการจัดฉากเมื่อใช้หลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในงานการตรวจสอบด้วยภาพสามารถพิจารณาคุณสมบัติการออกแบบหลอด LED จาก ความยาวคลื่น กำลังส่องสว่างและความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง เพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุด

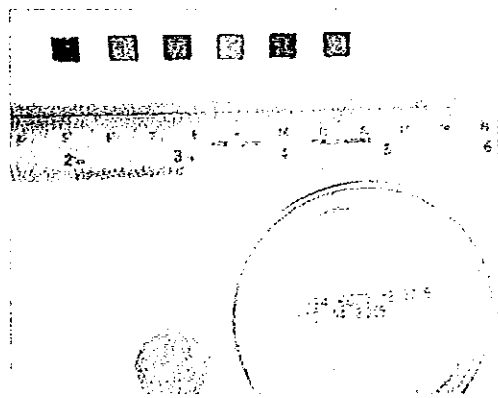
ความยาวคลื่นหรือสีของหลอด LED มีให้เลือกด้วยกันหลายสี ซึ่งการเลือกสีของหลอด LED หรือความยาวคลื่นของแสงจะส่งผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับวัตถุและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบด้วยภาพ ซึ่งการเลือกสีจะพิจารณาจากคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบและลักษณะของภาพที่ต้องการเป็นหลัก โดยที่การเลือกดังกล่าวจะต้องสอดคล้องกับคุณลักษณะของการตอบสนองต่อความยาวคลื่นของเซนเซอร์ภาพที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยจึงจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบโดยรวมดี

ความส่องสว่าง ระดับความส่องสว่างจะต้องเพียงพอต่อความต้องการของงาน การตรวจสอบด้วยภาพ ไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้เสถียรภาพของระบบตรวจสอบด้วยภาพไม่ดี ดังนั้นใน

การใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงจะนิยมใช้หลอด LED หลายหลอดประกอบเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มกำลังการส่องสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน นอกจากนี้ในการใช้งานจะเลือกหลอด LED ที่มีกำลังเทียนสูง

ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง โดยปกติแสงที่เกิดจากหลอด LED จะถูกควบคุมทิศทางด้วยเลนส์ขนาดเล็กที่ฝังตัวไว้กับหลอดเพื่อเป็นการควบคุมทิศทางของการกระจายแสง บริษัทผู้ผลิตจะระบุชนิดของเลนส์ที่ใช้และคำนวณบอกความสามารถในการกระจายแสงของหลอด ซึ่งชนิดของเลนส์และมุมการกระจายแสงจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง การออกแบบเพื่อป้องกันความไม่สม่ำเสมอของการกระจายแสงทำโดยใช้การส่องสว่างจากชุดของหลอด LED ที่มีขนาดเล็กหลายหลอด การเลือกหลอด LED ที่ใช้เลนส์แบบกระจายแสง มีมุมกระจายแสงกว้าง (มากกว่าหรือเท่ากับ 50 องศา) และการวางระยะห่างระหว่างหลอด LED น้อย

ในการเลือกวัตถุทดสอบได้ทำการเลือกวัตถุทดสอบที่มีขนาดต่างกัน เพื่อให้ได้ขนาดภาพตามที่ได้กำหนดไว้ สามารถพิจารณาภาพวัตถุทดสอบได้ดังภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 ตัวอย่างภาพวัตถุทดสอบ

จากภาพประกอบ 3-6 ตัวอย่างภาพวัตถุทดสอบประกอบด้วย ภาพตัวเก็บประจุสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 6×7 มิลลิเมตร² ภาพเหรียญหนึ่งบาท รัศมีขนาด 20 มิลลิเมตร และภาพตัวอักษรบนกระป๋องนม ความสูงของตัวอักษรประมาณ 3 มิลลิเมตร ความกว้างของตัวอักษรประมาณ 2 มิลลิเมตร

ในการออกแบบขนาดของภาพสำหรับวัตถุแต่ละประเภทจะต้องคำนึงถึงความละเอียดของภาพเป็นหลัก ซึ่งสามารถทำการออกแบบขนาดของภาพด้วยการเลือกอัตราขยายของเลนส์ (สมการที่ 2.11) โดยการหาขนาดของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียดของวัตถุมากที่สุดสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.1 [15]

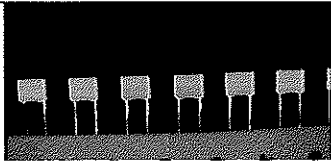
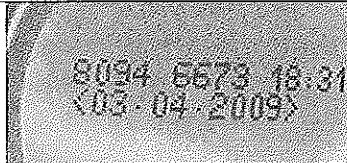
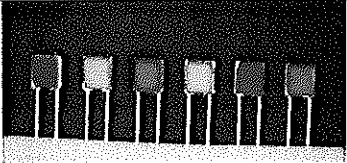
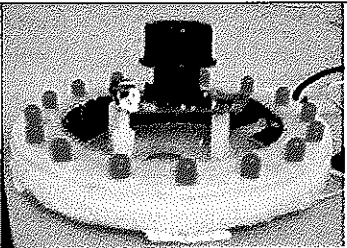
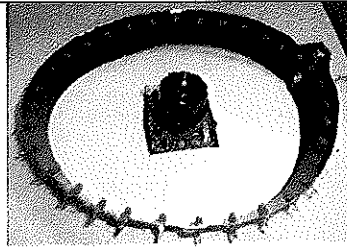
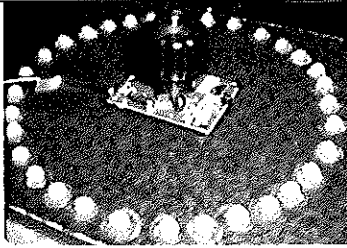
$$\text{FOV} = \text{Maximum part size} + \text{Tolerance in positioning} + \text{Margin} \quad (3.1)$$

+ Adaption to aspect ratio of camera

โดยที่

FOV	คือ ขนาดจริงของภาพ
Maximum part size	คือ ขนาดวัตถุที่ใหญ่ที่สุด
Tolerance in positioning	คือ ตำแหน่งกลไกเคลื่อนของวัตถุ
Margin	คือ ระยะห่างของขอบภาพกับวัตถุ
Adaption to aspect ratio of camera	คือ อัตราส่วนระหว่างแนวกิ่งและ แนวนอนของขนาดเซนเซอร์ภาพ

พิจารณาสมการที่ 3.1 จะได้ขนาดของภาพที่เหมาะสมกับขนาดของวัตถุ ซึ่งเมื่อได้ขนาดของภาพดังกล่าวจะนำไปทำการออกแบบการส่องสว่างเพื่อให้ได้การส่องสว่างที่ครอบคลุมขนาดของภาพ สามารถพิจารณาการออกแบบแสงและการจัดฉากให้เหมาะสมกับวัตถุแต่ละประเภทดังภาพประกอบ 3-7

วัตถุทดสอบ		
 <p>(ก) ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุสี่ขา</p>	 <p>(ข) ตัวอย่างภาพตัวอักษรบนพื้นมันเรียบของกระป๋องขนม</p>	 <p>(ค) ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสี</p>
เทคนิคการออกแบบแสงเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุแบบต่างๆ		
 <p>(ง) แสงสี่แดง ส่องสว่างแบบแสงกระจายสำหรับวัตถุ (ก)</p>	 <p>(จ) แสงสี่แดง ส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจายสำหรับวัตถุ (ข)</p>	 <p>(ฉ) แสงสี่ขาว ส่องสว่างแบบแสงกระจายสำหรับวัตถุ (ค)</p>

ภาพประกอบ 3-7 การออกแบบแสงและการจัดฉากให้สอดคล้องกับวัตถุ

ภาพประกอบ 3-7 (ก) ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุสีขาว 6 ตัว ขนาดภาพที่ทำการออกแบบ 85 มิลลิเมตร x 72 มิลลิเมตร สามารถคำนวณความละเอียดของภาพ [15] ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความละเอียดของภาพแนวนอน} &= (85 \text{ มิลลิเมตร}) / (352 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.241477 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \\ \text{ความละเอียดของภาพแนวตั้ง} &= (72 \text{ มิลลิเมตร}) / (288 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.25 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \end{aligned}$$

การเลือกแสงที่เหมาะสมแสดงดังภาพประกอบ 3-7 (ง) คือแสงความยาวคลื่นช่วงเดี่ยวเพื่อความคมชัดของภาพเนื่องจากวัตถุมีสีแบบเดียวกัน การส่องสว่างแบบแสงกระจาย โครงสร้างแบบวงแหวนจะช่วยลดเงาที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของวัตถุ โดยใช้หลอด LED แสงสีแดง ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอด 5 มิลลิเมตร กำลังเทียนสูงสุด 0.120 cd (ที่กระแส 20 มิลลิแอมป์) มุมกระจายแสง 45 องศา จำนวน 16 หลอด ประกอบเป็นวงแหวน ความยาวรัศมี 100 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ 3-7 (ข) ภาพตัวอักษรบนพื้นมันเรียบของกระป๋องขนม ขนาดภาพที่ทำการออกแบบ 50 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร สามารถคำนวณหาความละเอียดของภาพ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความละเอียดของภาพแนวนอน} &= (50 \text{ มิลลิเมตร}) / (352 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.142045 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \\ \text{ความละเอียดของภาพแนวตั้ง} &= (45 \text{ มิลลิเมตร}) / (288 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.145833 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \end{aligned}$$

การเลือกแสงที่เหมาะสมแสดงดังภาพประกอบ 3-7 (จ) คือแสงความยาวคลื่นช่วงเดี่ยวเพื่อความคมชัดของภาพเนื่องจากวัตถุมีสีแบบเดียวกัน การส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจาย โครงสร้างแบบวงแหวนจะช่วยให้แสงเกิดการกระเจิงจากผิวของวัตถุและทำให้ภาพตัวอักษรคมชัดขึ้น โดยใช้หลอด LED แสงสีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอด 3 มิลลิเมตร ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร กำลังเทียนสูงสุด 0.150 cd (ที่กระแส 20 มิลลิแอมป์) มุมกระจายแสง 50 องศา จำนวน 33 หลอดประกอบเป็นวงแหวนความยาวรัศมี 135 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ 3-7 (ค) ภาพแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสี่ 6 ตัว ขนาดภาพที่ทำการออกแบบ 85 มิลลิเมตร x 72 มิลลิเมตร สามารถคำนวณหาความละเอียดของภาพ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความละเอียดของภาพแนวนอน} &= (85 \text{ มิลลิเมตร}) / (352 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.241477 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \end{aligned}$$

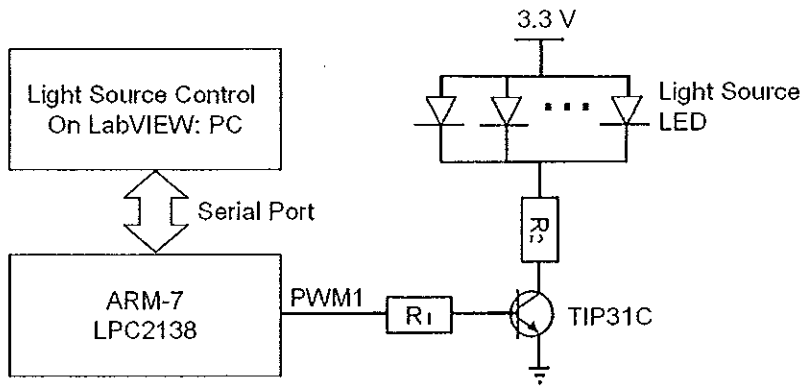
$$\begin{aligned} \text{ความละเอียดของภาพแนวตั้ง} &= (72 \text{ มิลลิเมตร}) / (288 \text{ พิกเซล}) \\ &= 0.25 \text{ มิลลิเมตร/พิกเซล} \end{aligned}$$

การเลือกแสงที่เหมาะสมแสดงดังภาพประกอบ 3-7 (ค) คือแสงที่มีความยาวคลื่นหลายช่วงเพื่อทำให้ตอบสนองต่อสีของวัตถุที่แตกต่างกันได้ดี การส่องสว่างแบบแสงกระจาย โครงสร้างแบบวงแหวนจะช่วยลดเงาที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของวัตถุ โดยใช้หลอด LED แสงสีขาวเกิดจากหลอด LED สีฟ้าเคลือบด้วย Phosphors ช่วงความยาวสูงสุดที่ประมาณ 455 นาโนเมตร ความยาวคลื่นรองลงมาที่ประมาณ 555 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอด 5 มิลลิเมตร กำลังเทียบสูงสุด 0.680 cd (ที่กระแส 20 มิลลิแอมป์) มุมกระจายแสง 90 องศา จำนวน 33 หลอด ประกอบเป็นวงแหวนความยาวรัศมี 115 มิลลิเมตร

สำหรับการออกแบบแสงและการจัดฉากให้เหมาะสมกับเหรียญหนึ่งบาทสามารถทำได้เช่นเดียวกัน โดยที่การออกแบบแสงและการจัดฉากสามารถเลือกใช้การออกแบบดังภาพประกอบ 3-7 (ง) แสงสีแดงส่องสว่างแบบแสงกระจาย หรือภาพประกอบ 3-7(จ) แสงสีแดงส่องสว่างส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจาย ซึ่งการเลือกการออกแบบจะขึ้นอยู่กับความต้องการของการตรวจสอบ กล่าวคือหากต้องการตรวจสอบความกลมของเหรียญหนึ่งบาทสามารถเลือกการออกแบบแสงดังภาพประกอบ 3-7(จ) จะให้รายละเอียดของขอบเหรียญได้ดี หรือหากต้องการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวของเหรียญหนึ่งบาทสามารถเลือกการออกแบบแสงดังภาพประกอบ 3-7(ง) จะให้รายละเอียดของพื้นผิวได้ดี

3.2.1 หลักการควบคุมความเข้มแสง

ในการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED สำหรับใช้ในงานการตรวจสอบด้วยภาพได้นำการควบคุมแบบ Pulse width modulation (PWM) [33] ร่วมกับการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ [34] โดยใช้เทคนิคการต่อหลอด LED แบบขนาน ในการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED สามารถแสดงสถาปัตยกรรมการควบคุมความเข้มแสงดังภาพประกอบ 3-8

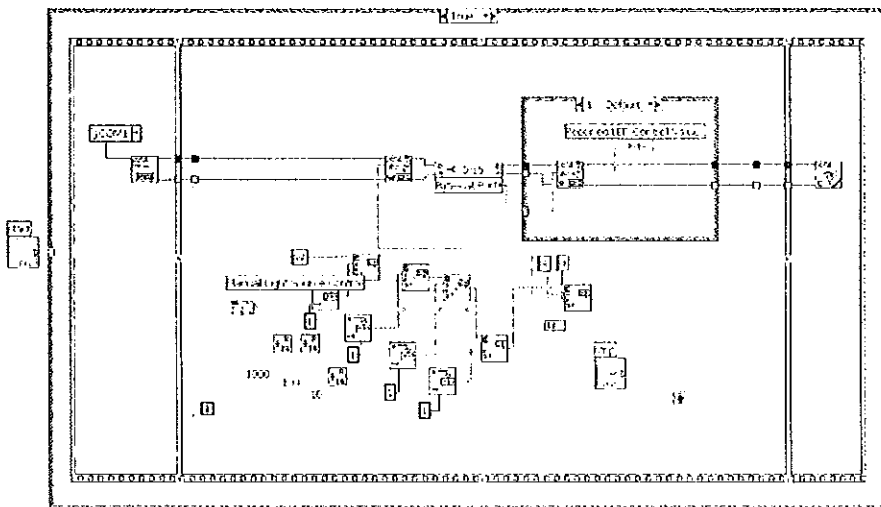


ภาพประกอบ 3-8 สถาปัตยกรรมการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED

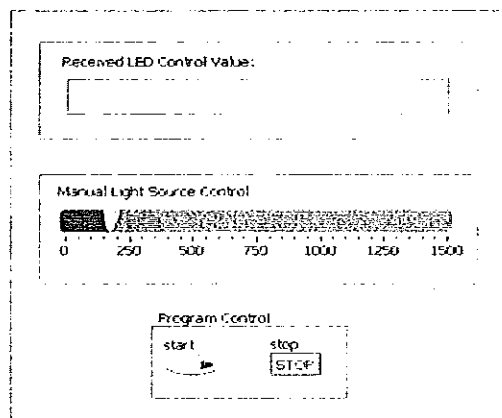
สถาปัตยกรรมการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED (ภาพประกอบ 3-8) เป็นการออกแบบการควบคุมค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรม LabVIEW รับค่าความเข้มแสงที่ต้องการควบคุมจากผู้ใช้แล้วทำการส่งคำสั่งผ่านทางช่องการสื่อสารแบบอนุกรมไปยังตัวควบคุม ARM-7 [35] เมื่อ ARM-7 ได้รับค่าความเข้มแสงจะส่งคำสั่งไปควบคุมการทำงานของ PWM และทำการส่งค่าความเข้มแสงกลับมาแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW เพื่อเป็นการตรวจสอบค่า

3.2.2 โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง

การออกแบบโปรแกรมควบคุมความเข้มแสงบน LabVIEW ใช้หลักการเขียนโปรแกรมของ State machine การกำหนดรูปแบบในการส่งข้อมูลจาก LabVIEW กำหนดโดยให้ข้อมูลตัวแรกเป็น W และข้อมูลตัวหลังสุดเป็น S ส่วนข้อมูลระหว่าง W กับ S เป็นค่าที่ใช้ในการควบคุมความเข้มแสง ดังภาพประกอบ 3-9 และ ภาพประกอบ 3-10



ภาพประกอบ 3-9 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมค่าความเข้มแสง



ภาพประกอบ 3-10 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลของโปรแกรมควบคุมค่าความเข้มแสง

โปรแกรม ARM-7 รับคำสั่งควบคุมค่าความเข้มแสงที่ส่งมาจาก LabVIEW แล้วทำการประมวลผลและนำไปสู่การควบคุมสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมค่าความเข้มแสงของหลอด LED สามารถแสดงตัวอย่าง โปรแกรม ARM-7 ดังภาพประกอบ 3-11

```

while(1)
{
    if ((UOLSR < 0x00))
    {
        if ((c = UORER) == 'S')
            RxIndex = 0;
        else
            RxBuf[RxIndex++] = c;

        if (c == '\n')
        {
            for (i = 0; i < RxIndex - 1; i++)
                printf("%02x ", RxBuf[i]);

            for (val = 0, i = 0; i < RxIndex - 1; i++)
                val = val * 10 + (int) (RxBuf[i] - '0');

            printf("\nival = %04d\n", val);
        }
    }

    PWMNR2 = 0x00000000 + val;
    PWMLER = 0x00000000 + 1;
}

```

ภาพประกอบ 3-11 ตัวอย่างโปรแกรมบน ARM-7

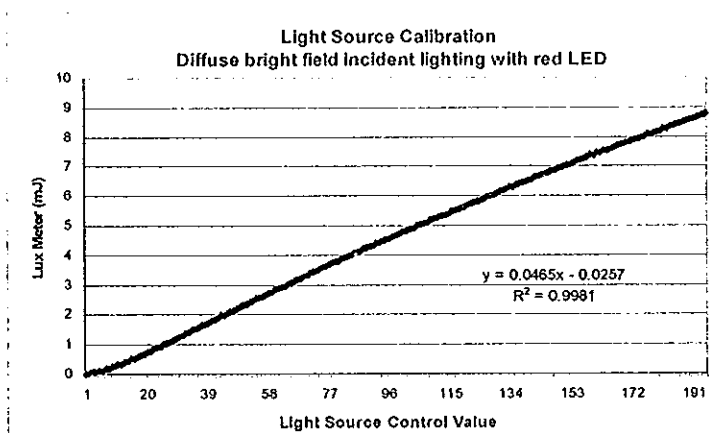
ตัวอย่างโปรแกรมบน ARM-7 เป็นการการรับค่าจาก LabVIEW แล้วทำการควบคุม PWM โปรแกรมจะทำการค้นหาคำสั่งควบคุมที่อยู่ระหว่าง W และ S จากนั้นจึงนำค่าควบคุมไปทำการปรับความกว้างของ Pulse โดยความถี่ของสัญญาณที่ใช้อยู่ที่ 28.8 kHz ช่วงการปรับความกว้างสัญญาณ PWM มีค่าตั้งแต่ 0 – 1023 ซึ่งพบว่า การเลือกค่าความถี่ Pulse ของ PWM จะส่งผลต่อความเข้มแสงของหลอด LED

การออกแบบระบบควบคุมค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริงสามารถทำได้เช่นเดียวกันกับระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง โดยการใช้ฟังก์ชันของ Timed loop

3.2.3 การวัดค่าความเข้มแสงด้วย Lux Meter

การวัดค่าความเข้มแสงด้วย Lux Meter [36] เพื่อเป็นการสอบเทียบค่าความเข้มแสงในหน่วยมาตรฐานและเป็นการทดสอบระบบควบคุมค่าความเข้มแสงที่ได้ทำการออกแบบ การทำการวัดความเข้มแสงทำโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่ได้ออกแบบในภาพประกอบ 3-7 (ง) ภาพประกอบ 3-7 (จ) และ ภาพประกอบ 3-7 (ฉ) มาทำการควบคุมค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรมควบคุมค่าความเข้มแสงที่ได้ทำการออกแบบ (ภาพประกอบ 3-9) โดยจะทำการเพิ่มค่าควบคุมค่าความเข้มแสงในโปรแกรมเพิ่มขึ้นครั้งละหนึ่งค่าแล้วทำการวัดค่าความเข้มแสงที่ได้ด้วย Lux Meter ตำแหน่งการวางของ Lux Meter จะวางตรงกลางของแหล่งกำเนิดแสงและห่างจากแหล่งกำเนิดแสงประมาณ 10 เซนติเมตร รวมถึงได้ทำการป้องกันแสงที่มาจากภายนอกโดยใช้กระดาษแข็งสีดำเป็นผนังกันแสงในห้องมืด

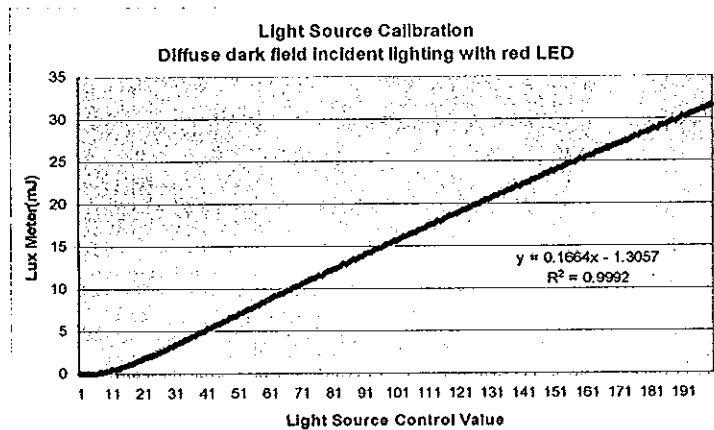
3.2.3.1 การสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างแสงสีแดงแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-7 (ง)) เลือกค่าความต้านทาน $R1 = 300$ โอห์ม และ $R2 = 0$ โอห์ม สามารถแสดงผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงดังภาพประกอบ 3-12



ภาพประกอบ 3-12 ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีแดงแบบแสงกระจาย

พิจารณาภาพประกอบ 3-12 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่อ่านได้จาก Lux Meter เป็นแบบเชิงเส้น มีความชันเท่ากับ 0.0465 นั่นคือการปรับความกว้างของ Pulse เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยทำให้ความเข้มแสงจาก Lux Meter เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0465 mJ

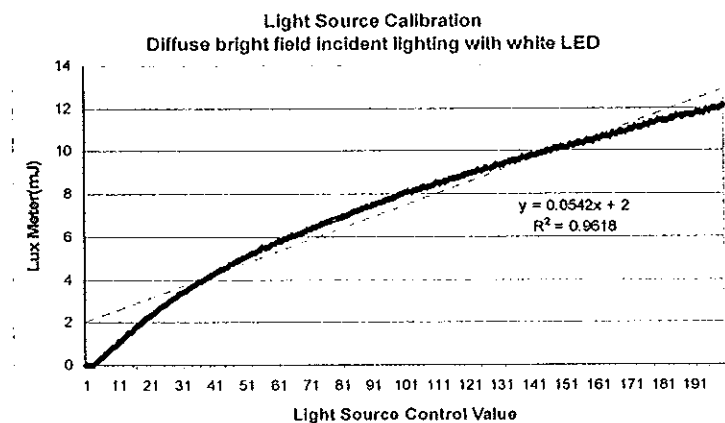
3.2.3.2 การสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-7 (จ)) เลือกค่าความต้านทาน $R1 = 300$ โอห์ม และ $R2 = 0$ โอห์ม สามารถแสดงผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงดังภาพประกอบ 3-13



ภาพประกอบ 3-13 ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจาย

พิจารณาภาพประกอบ 3-13 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่อ่านได้จาก Lux Meter เป็นแบบเชิงเส้น มีความชันเท่ากับ 0.1664 นั่นคือการปรับความกว้างของ Pulse เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยทำให้ความเข้มแสงจาก Lux Meter เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.1664 mJ

3.2.3.3 การสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างแสงสีขาวแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-7 (ก)) เลือกค่าความต้านทาน $R_1 = 300$ โอห์ม และ $R_2 = 20$ โอห์ม สามารถแสดงผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงดังภาพประกอบ 3-14



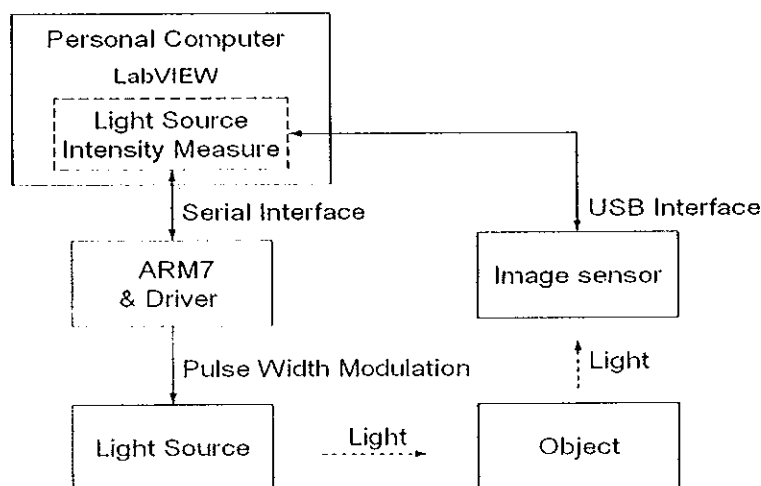
ภาพประกอบ 3-14 ผลการสอบเทียบแหล่งกำเนิดแสงการส่องสว่างด้วยแสงสีขาวแบบแสงกระจาย

พิจารณาภาพประกอบ 3-14 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่อ่านได้จาก Lux Meter เป็นแบบเชิงเส้น มีความชันเท่ากับ 0.0542 นั่นคือการปรับความกว้างของ Pulse เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยทำให้ความเข้มแสงจาก Lux Meter เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0542 mJ

การเลือกค่าความต้านทาน R2 จะเป็นการออกแบบช่วงของระดับความเข้มแสงที่ต้องการใช้งานหรือการปรับความชันของสมการ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการความเข้มแสงของแต่ละงาน สำหรับการวัดค่าความเข้มแสงของการส่องสว่างส่วนที่มีด (ภาพประกอบ 3-13) จะได้ค่าความเข้มแสงสูงเนื่องจากการทำการวัด โดยตรง แต่ในการใช้งานจริงการเกิดภาพจะเกิดจากการกระเจิงของแสง

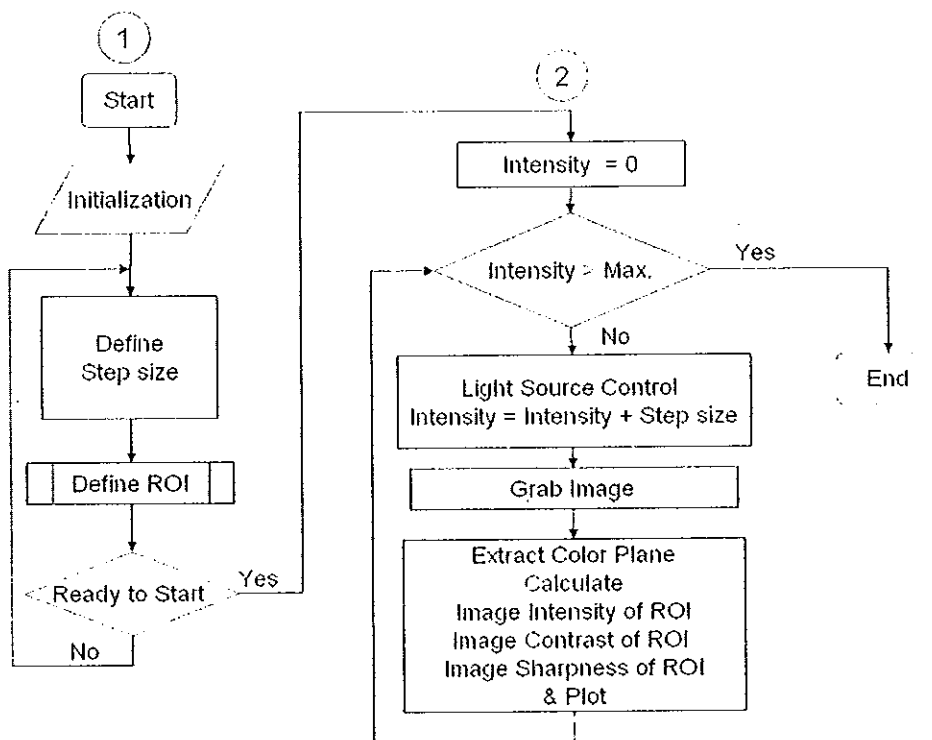
3.2.4 การวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ

การวัดค่าความเข้มแสงจากภาพเป็นการวัดความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุเพื่อเป็นการทดสอบระบบหลังจากที่ได้ออกแบบระบบควบคุมแสงขึ้นมาและเป็นการศึกษาการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ โดยได้ทำการป้องกันแสงที่มาจากภายนอกด้วยการใช้กระดาษแข็งสีดำเป็นผนังกั้นแสงในห้องมืด สามารถแสดงการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบการวัดค่าความเข้มแสงดังภาพประกอบ 3-15



ภาพประกอบ 3-15 สถาปัตยกรรมของระบบการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ

สถาปัตยกรรมของระบบการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ เป็นการรวมระบบการรับข้อมูลภาพและระบบควบคุมความเข้มแสงเข้าไว้ด้วยกันเพื่อใช้ในการวัดค่าความเข้มแสง โดยจะใช้กล้องเป็นตัววัดค่าความเข้มแสงจากภาพ สามารถแสดงขั้นตอนการศึกษาการวัดค่าความเข้มแสงได้ดังภาพประกอบ 3-16



ภาพประกอบ 3-16 กระบวนการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ

กระบวนการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ โปรแกรมการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการตั้งค่าเริ่มต้นของการวัดค่าความเข้มแสง การส่งคำสั่งไปเพิ่มค่าความเข้มแสงและการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ

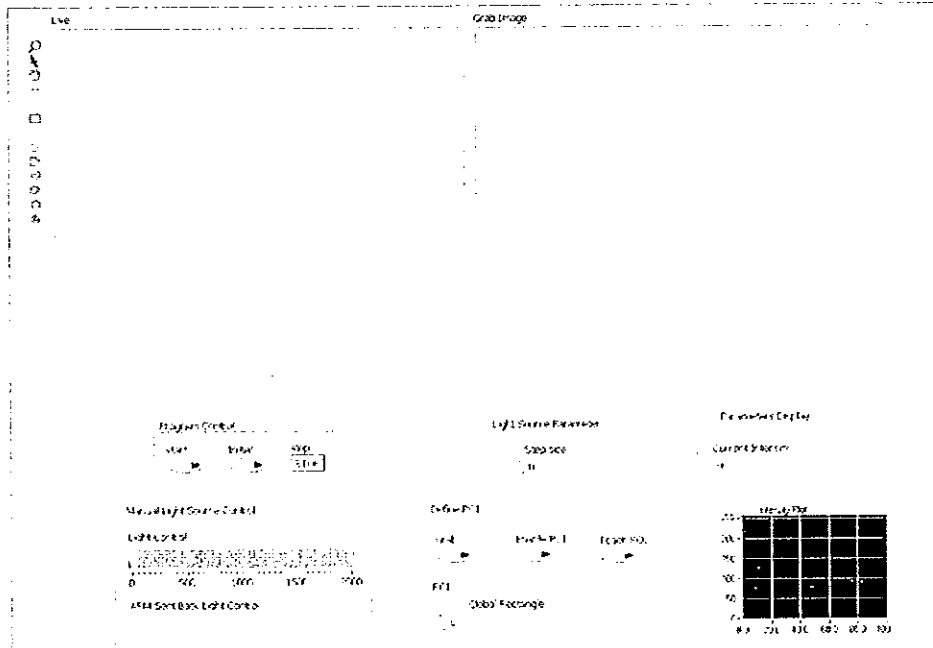
ส่วนที่ 1 การตั้งค่าเริ่มต้นของการวัดค่าความเข้มแสง ผู้ใช้งานจะต้องทำการระบุค่า

- Step size เป็นค่าความละเอียดของการเพิ่มค่าความเข้มแสง ปกติใช้ค่าเท่ากับ 1
- Define ROI เป็นการระบุพื้นที่ที่สนใจ ผู้ใช้งานจะต้องระบุเอง
- Max เป็นค่าสูงสุดของช่วงการควบคุมความเข้มแสง

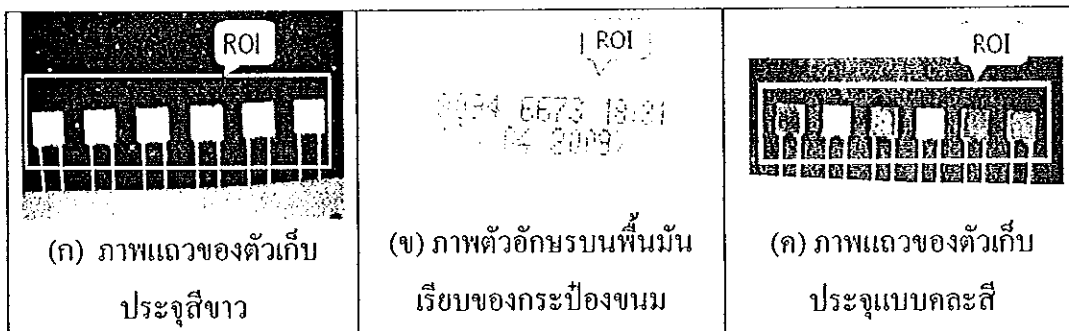
ส่วนที่ 2 การส่งคำสั่งไปเพิ่มค่าความเข้มแสงของหลอด LED และการวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ

- ตรวจสอบระดับความเข้มแสงของค่าปัจจุบัน หากเกินค่าสูงสุด (Max) จบการทำงาน
- เพิ่มค่าความเข้มแสง โดยการนำไปบวกกับค่า Step size
- ส่งคำสั่งออกไปควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED
- ทำการรับข้อมูลภาพ

- คำนวณค่าความเข้มแสงแบ่งเป็นการวัดจากภาพขาวดำและการวัดจากภาพสีคำนวณจากค่าเฉลี่ยของ Gray Level $((R+G+B)/3)$ หรือ ค่า Intensity ของระบบสี HSI) ในพื้นที่ที่สนใจ
- แสดงค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้

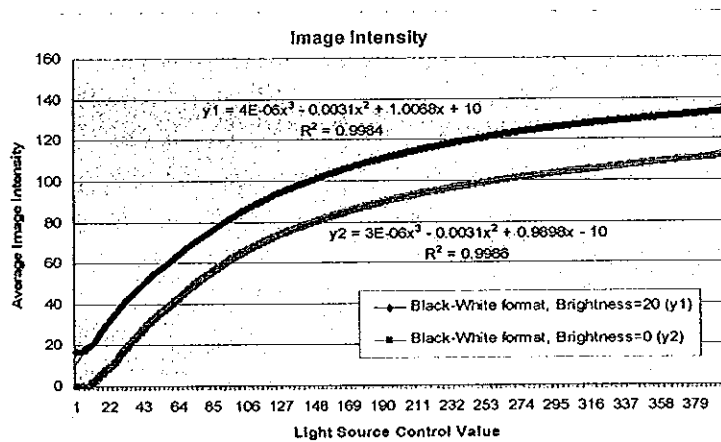


ภาพประกอบ 3-17 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลของ โปรแกรมวัดค่าความเข้มแสงจากภาพ



ภาพประกอบ ภาพ 3-18 วัดทดสอบสำหรับการวัดความเข้มแสงพร้อมด้วยพื้นที่ที่สนใจ

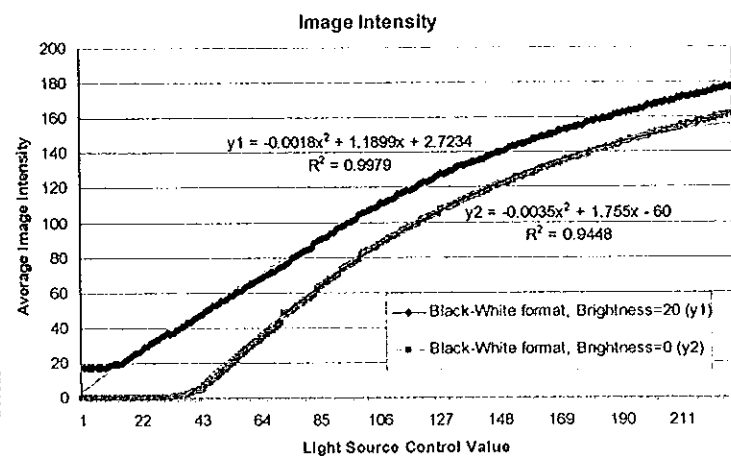
3.2.4.1 การวัดความเข้มแสงจากภาพ ภาพประกอบ 3-18 (ก) ภาพแถวของตัวเก็บประจุสี่ขา ด้วยการใช้อุปกรณ์ส่องสว่างแสงสีแดงแบบแสงกระจาย โดยทำการตั้งค่าการรับภาพของกล้องเป็นแบบภาพขาว-ดำ เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของวัตถุเป็นแบบ ไม่มีสีและกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ Brightness เท่ากับ 20(default) และ 0 เนื่องจากค่า Brightness เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความเข้มแสงของภาพ สามารถแสดงผลการทดสอบการวัดความเข้มแสงดังภาพประกอบ 3-19



ภาพประกอบ 3-19 ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ก)

พิจารณาภาพประกอบ 3-19 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่วัดได้จากภาพเป็นแบบพหุนามดีกรีสาม ผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ Brightness ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงของภาพอย่างเห็นได้ชัด

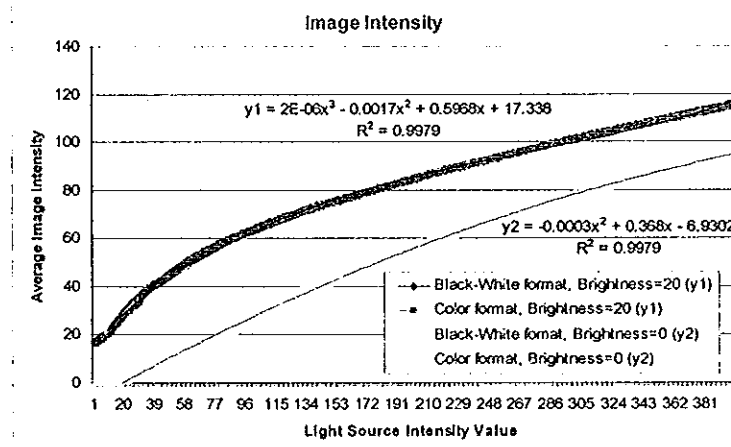
3.2.4.2 การวัดความเข้มแสงจากภาพ ภาพประกอบ 3-18 (ข) ภาพตัวอักษรบนพื้นมันเรียบของกระป๋องนมด้วยการใช้การส่องสว่างแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีคแบบแสงกระจาย โดยทำการตั้งค่าการรับภาพของกล้องเป็นแบบภาพขาว-ดำ เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของวัตถุเป็นแบบไม่มีสีและกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ Brightness เท่ากับ 20(default) และ 0 เนื่องจากค่า Brightness เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความเข้มแสงของภาพ แสดงผลการวัดความเข้มแสงได้ดังภาพประกอบ 3-20



ภาพประกอบ 3-20 ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ข)

พิจารณาภาพประกอบ 3-20 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่วัดได้จากภาพเป็นแบบพหุนามดีกรีสอง การปรับความเข้มแสงในช่วงเริ่มต้นจะวัดค่าความเข้มแสงได้น้อยเนื่องจากการส่องสว่างส่วนที่มีคผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ Brightness ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงของภาพอย่างเห็นได้ชัด

3.2.4.3 การวัดความเข้มแสงจากภาพ ภาพประกอบ 3-18 (ค) ภาพแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสี่ด้วยการใช้การส่องสว่างแสงสีขาวแบบแสงกระจาย โดยทำการตั้งค่าการรับภาพของกล้องเป็นแบบภาพสีและขาว-ดำ เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของวัตถุเป็นแบบสีและกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ Brightness เท่ากับ 20(default) และ 0 เนื่องจากค่า Brightness เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความเข้มแสงของภาพ สามารถแสดงผลการทดสอบการวัดความเข้มแสงจากภาพของวัตถุในภาพประกอบ 3-18 (ค) ได้ดังภาพประกอบ 3-21

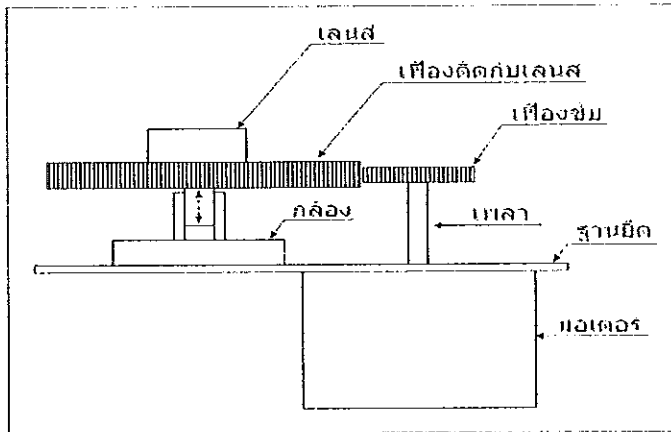


ภาพประกอบ 3-21 ผลการวัดความเข้มแสงจากภาพของภาพประกอบ 3-18 (ค)

พิจารณาภาพประกอบ 3-21 สามารถประมาณความสัมพันธ์ของการปรับค่าควบคุมความกว้างของ Pulse หรือค่าควบคุมแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่วัดได้จากภาพเป็นแบบพหุนามดีกรีสองและพหุนามดีกรีสามสำหรับค่า Brightness เท่ากับ 0 และ 20 ตามลำดับ การอ่านค่าความเข้มแสงจากภาพสีและจากภาพขาวดำให้ค่าความเข้มแสงของภาพที่เหมือนกัน ส่วนผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ Brightness ส่งผลต่อค่าความเข้มแสงของภาพอย่างเห็นได้ชัด

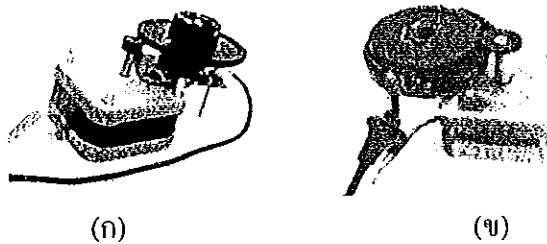
3.3 การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์

หลักการออกแบบการปรับตำแหน่งของเลนส์เพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด โดยการเพิ่มระบบขับเคลื่อนเข้าไปที่ตัวเลนส์ของกล้องเพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนตำแหน่งของเลนส์ ส่วนตัวส่งกำลังจะใช้ Stepper มอเตอร์แบบ Unipolar [37] เป็นตัวขับเคลื่อน สามารถแสดงการออกแบบดังภาพประกอบ 3-22



ภาพประกอบ 3-22 ตัวอย่างระบบปรับตำแหน่ง โฟกัส

ภาพประกอบ 3-22 ตัวอย่างระบบปรับตำแหน่ง โฟกัส การปรับตำแหน่ง โฟกัสทำได้โดยการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ แรงที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์จะถูกส่งผ่านพานท้ายไปยังเฟืองขับ เฟืองขับจะทำหน้าที่ขับเฟืองที่ติดกับเลนส์ เมื่อเฟืองที่ติดกับเลนส์หมุนจะเป็นปรับตำแหน่งของเลนส์ให้เคลื่อนที่เข้าหรือออกห่างจากตัวกล้อง นั่นคือความคมชัดของภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเลนส์



(ก)

(ข)

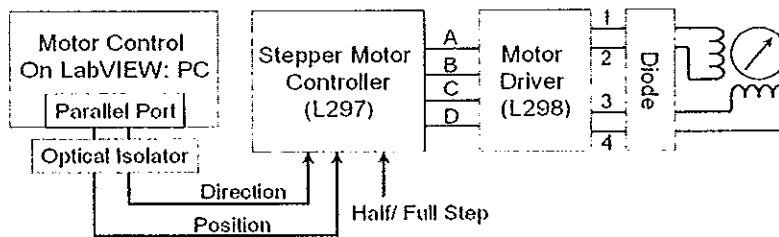
ภาพประกอบ 3-23 ตัวอย่างระบบควบคุมตำแหน่ง โฟกัสที่ได้พัฒนา (ก) กล้อง Vimicro model Vimicro301 Neptune, (ข) กล้อง Microsoft LifeCAM 1.3 model VX-1000 [38]

ภาพประกอบ 3-23 แสดงระบบควบคุมตำแหน่ง โฟกัสที่ได้พัฒนาขึ้นจริง ซึ่งได้พัฒนากับกล้องทั้งสองตัวที่มีอยู่ ฐานของกล้องถูกยึดติดกับมอเตอร์ ในขณะที่การปรับตำแหน่ง

เลนส์จะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ผ่านเฟืองทดกำลัง ดังนั้นเมื่อมอเตอร์หมุนจะทำให้ตำแหน่งของเลนส์ปรับเปลี่ยนไปด้วย

3.3.1 หลักการออกแบบระบบควบคุม Stepper มอเตอร์

ในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์เลือกได้ใช้ Stepper มอเตอร์แบบ Unipolar เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถควบคุมความแม่นยำในการเคลื่อนที่ได้ดีและการประยุกต์ใช้งานทำได้ง่าย สามารถแสดงสถาปัตยกรรมการควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ดังภาพประกอบ 3-24

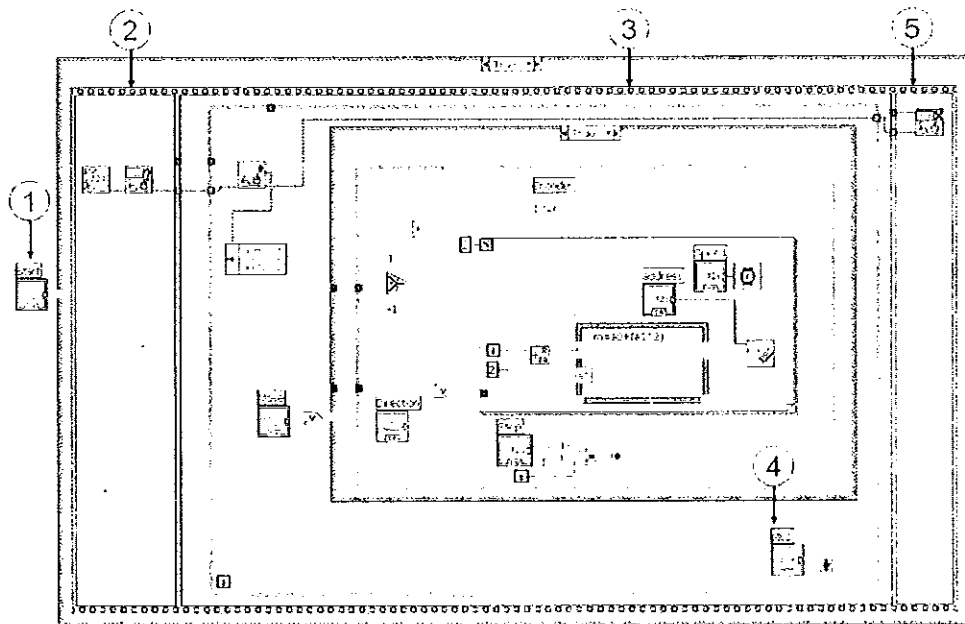


ภาพประกอบ 3-24 หลักการควบคุม Stepper มอเตอร์แบบ Uni-polar

หลักการควบคุม Stepper มอเตอร์แบบ Uni-polar ประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งจะส่งสัญญาณการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ (Position) และสัญญาณทิศทางการเคลื่อนที่ (Direction) ผ่านทางช่องสื่อสารแบบขนาน สัญญาณทั้งสองจะถูกส่งผ่านตัวแยกสัญญาณเชิงแสง (Optical Isolator) [39] เพื่อป้องกันอันตรายต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Stepper Motor Controller: L297 [40]) แปลคำสั่งของสัญญาณควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ สัญญาณทิศทางการเคลื่อนที่ และสัญญาณโมดการหมุนของ Stepper มอเตอร์ (Half/Full Step)[40] ออกเป็นสัญญาณในการควบคุมการเปิด (A B C และ D) ของทรานซิสเตอร์ในวงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver: L298 [40]) เพื่อทำการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งจะต่อเข้ากับ Stepper มอเตอร์ โดยมีการต่อไดโอดเพื่อป้องกันการจ่ายกระแสไฟจากขดลวดของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน

3.3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ Stepper มอเตอร์

โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ Stepper มอเตอร์ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่และสัญญาณทิศทางการเคลื่อนที่ไปยังวงจรควบคุม Stepper มอเตอร์ ในการออกแบบการควบคุมที่สามารถที่จะทำการควบคุมมอเตอร์ได้สองแบบ คือควบคุมผ่านโปรแกรมและควบคุมโดยคันทันบังคับสำหรับเล่นเกมส์ [41] สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-25



ภาพประกอบ 3- 25 ตัวอย่าง โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของ Stepper มอเตอร์

จากตัวอย่าง โปรแกรมควบคุม Stepper มอเตอร์ซึ่งได้ใช้หลักการทำงานแบบ State machine พัฒนามน โปรแกรม LabVIEW การทำงานของ โปรแกรมแบ่งเป็น 5 ส่วนได้ดังนี้

- ส่วนที่1 การเริ่มต้นทำงานของ โปรแกรม (Start)
- ส่วนที่2 ขั้นตอนเปิดเตรียมความพร้อมของคันทังคัปสำหรับเล่นเกมส์ (Initialize)
- ส่วนที่3 ขั้นตอนการรับคำสั่งการควบคุม Stepper มอเตอร์จากผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถทำการควบคุมผ่านทาง โปรแกรมหรือคันทังคัปสำหรับเล่นเกมส์ (Action)
- ส่วนที่4 ขั้นตอนตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดการทำงาน (Conditions)
- ส่วนที่5 ขั้นตอนปิดการทำงานของคันทังคัปสำหรับเล่นเกมส์ และจบการทำงานของ โปรแกรม (END)

ในส่วนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม Stepper มอเตอร์ได้แก่ ความเร็วในการหมุน (Speed) และจำนวนรอบของการหมุน (Step) ในการทดสอบการทำงานของ โปรแกรมควบคุมการหมุนของมอเตอร์เบื้องต้น โดยตั้งค่าการหมุนแบบ Full Step ความเร็วในการหมุนเท่ากับ 80 เมื่อใช้จำนวนรอบของการหมุนเท่ากับ 200 (Step =200) พบว่ามอเตอร์จะหมุนครบหนึ่งรอบพอดีหรือมอเตอร์หมุนครั้งละ 1.8 องศา จากนั้นได้ทำการทดสอบกับระบบควบคุมตำแหน่ง โฟกัสที่ได้พัฒนา (ดังภาพประกอบ 3-23) ซึ่งพบว่ามอเตอร์หมุนหนึ่งรอบทำให้เลนส์หมุนไป 70 องศา และ 130 องศา สำหรับระบบในภาพประกอบ 3-23 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยที่ระยะ

เกลียว (Pitch) ของเลนส์เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ดังนั้นสามารถที่จะคำนวณหาระยะการเคลื่อนที่ของเลนส์ในภาพประกอบ 3-23 (ก) ได้ดังนี้

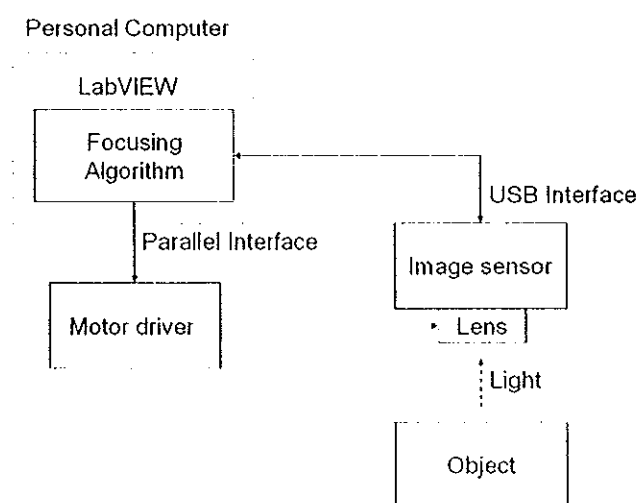
$$\begin{aligned}\text{ระยะการเคลื่อนที่ของเลนส์} &= (70 \text{ องศา} / 200 \text{ Step}) * (0.5 \text{ มิลลิเมตร} / 360 \text{ องศา}) \\ &= 0.00048611 \text{ มิลลิเมตร/ Step}\end{aligned}$$

สำหรับระยะการเคลื่อนที่ของเลนส์ในภาพประกอบ 3-23 (ข) สามารถที่จะทำการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ระยะการเคลื่อนที่ของเลนส์} &= (130 \text{ องศา} / 200 \text{ Step}) * (0.5 \text{ มิลลิเมตร} / 360 \text{ องศา}) \\ &= 0.000903 \text{ มิลลิเมตร/ Step}\end{aligned}$$

3.3.3 การปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์

การปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์เป็นการหาตำแหน่งของเลนส์ที่ให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุด โดยการใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลภาพหาค่าความคมชัดของภาพ สามารถแสดงสถาปัตยกรรมของระบบการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์ดังภาพประกอบ 3-26



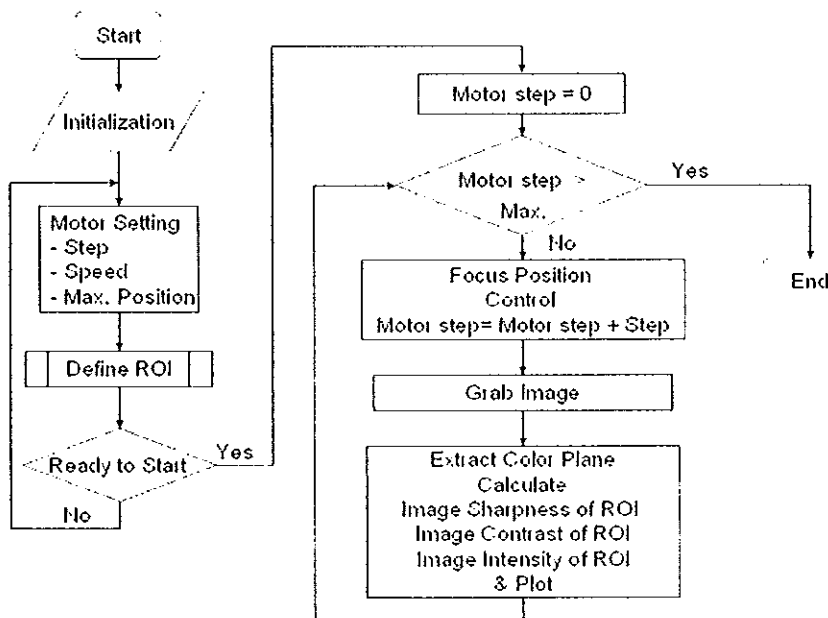
ภาพประกอบ 3-26 สถาปัตยกรรมของระบบการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์

สถาปัตยกรรมของระบบการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์ ประกอบด้วย ระบบรับข้อมูลภาพ (ภาพประกอบ 3-5) ระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส (ภาพประกอบ 3-23) ซึ่งจะอาศัยหลักการควบคุม Stepper มอเตอร์ (ภาพประกอบ 3-24) ผ่านทางโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ Stepper มอเตอร์ (ภาพประกอบ 3- 25) และการหาค่าความคมชัดของภาพซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การหาค่าความคมชัดของภาพ โดยใช้วิธีการทางสถิติเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำ การออกแบบระบบการปรับตำแหน่งโฟกัสจะใช้ค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน ในการใช้งานจริงสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก โปรแกรม LabVIEW โดยใช้ฟังก์ชันหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไปวางต่อกับ โปรแกรมรับข้อมูลภาพ (ภาพประกอบ 3-5) จะสามารถทำการหาค่าความคมชัดของภาพได้โดยง่าย

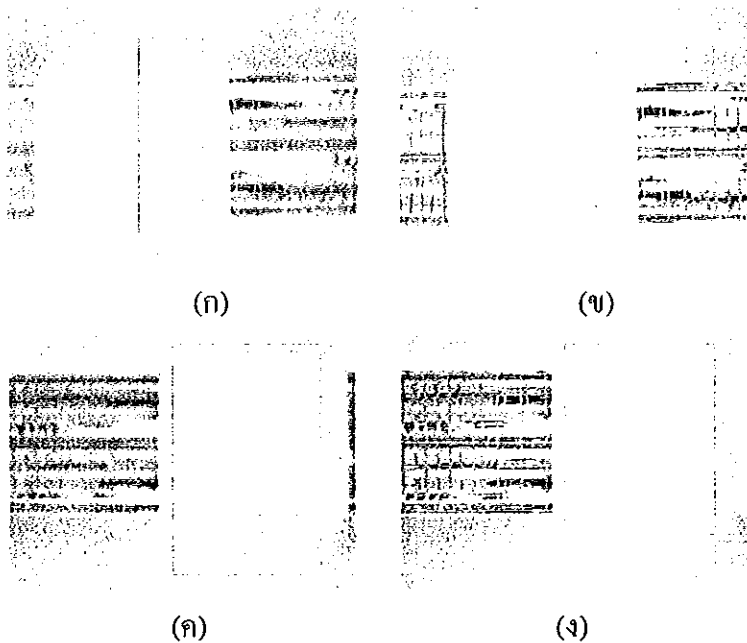
3.3.4 การทดสอบระบบการปรับตำแหน่งโฟกัส

การทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส ทำโดยเลือกภาพตัวอย่างแล้วนำมาทดสอบกับระบบควบคุมโฟกัสที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งทำการทดสอบในห้องที่มีสภาวะแสงคงที่ โดยในตอนเริ่มต้นจะให้เลนส์เคลื่อนที่จากระยะห่างจากวัตถุมากแล้วค่อยๆเคลื่อนที่เข้าใกล้มากขึ้น สามารถแสดงขั้นตอนการทดสอบได้ดังภาพประกอบ 3-27



ภาพประกอบ 3-27 ขั้นตอนการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส

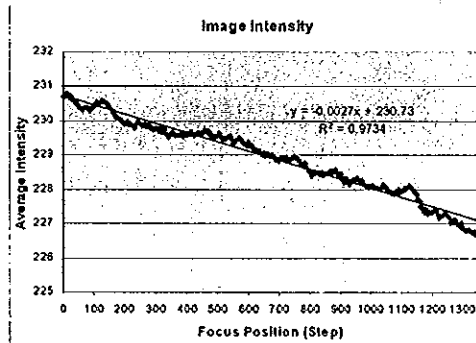
พิจารณาภาพประกอบ 3.28 แสดงตัวอย่างภาพจากระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัสที่ได้ออกแบบที่ตำแหน่งภาพมีความคมชัดและตำแหน่งที่ภาพขาดความคมชัดที่ใช้ในการทดสอบ โดยจะให้กรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในภาพเป็นบริเวณที่สนใจ ภาพประกอบ 3-28 (ก) และ (ข) เป็นภาพของระบบควบคุมโฟกัสของกล้อง Vimicro โดยจะใช้พื้นที่ที่สนใจเท่ากัน พบว่าเมื่อทำการหมุนมอเตอร์เพื่อปรับตำแหน่งเลนส์จะส่งผลให้เลนส์เกิดการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับภาพ ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่ใช้จับยึดระหว่างเลนส์กับกล้อง ดังเกิดการเคลื่อนตำแหน่งระหว่างภาพ (ก) และ (ข) ภาพประกอบ 3-28 (ค) และ (ง) เป็นภาพของระบบควบคุมโฟกัสของกล้อง Microsoft โดยจะใช้พื้นที่ที่สนใจเท่ากันพบว่าความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่ใช้จับยึดระหว่างเลนส์กับกล้องมีน้อยมากและที่ภาพขาดความคมชัดจะเห็นการบิดเบือนของภาพได้อย่างชัดเจน



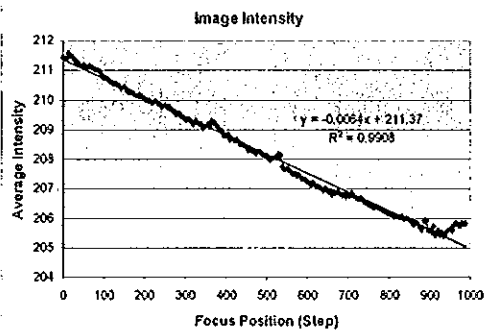
ภาพประกอบ 3-28 ตัวอย่างภาพในการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่ง โฟกัส, (ก) ภาพที่ขาดความคมชัดของกล้อง Vimicro (ข) ภาพที่มีความคมชัดของกล้อง Vimicro, (ค) ภาพที่ขาดความคมชัดของกล้อง Microsoft, (ง) ภาพที่มีความคมชัดของกล้อง Microsoft

พิจารณาภาพประกอบ 3-29 (ก) และ (ข) กราฟแสดงค่าความเข้มแสงของภาพ พบว่าค่าความเข้มแสงของภาพลดลงเมื่อทำการปรับตำแหน่งของเลนส์เข้าใกล้วัตถุ (หรือปรับตำแหน่งของเลนส์ออกจากเซนเซอร์ภาพ) ซึ่งภาพ (ข) จะพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดโฟกัสของลำแสงที่มาจาก การเคลื่อนที่ของตำแหน่งเลนส์ ทำให้ค่าความเข้มแสงของภาพเปลี่ยนตามตำแหน่งโฟกัส ส่วนภาพ (ก) เกิดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่ใช้จับยึดระหว่างเลนส์กับกล้องทำให้ตำแหน่งจับภาพเกิดความคลาดเคลื่อนไปด้วย พิจารณาภาพประกอบ 3-29 (ค) และ (ง) กราฟแสดงค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าสามารถที่จะสังเกตเห็นบริเวณที่เกิดค่าความแตกต่างของภาพสูงสุด ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดในภาพ (ง) ส่วนภาพ (ค) เกิดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่ใช้จับยึดระหว่างเลนส์กับกล้องร่วมกับภาพมีรายละเอียดมาก ภาพประกอบ 3-29 (จ) และ (ฉ) กราฟแสดงค่าความคมชัดของภาพ พบว่าสามารถที่จะสังเกตเห็นบริเวณที่เกิดค่าความคมชัดของภาพสูงสุด หมายถึงเป็นจุดที่ให้ตำแหน่งโฟกัสดีที่สุด ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดในกราฟ (ฉ) ส่วนกราฟ (จ) เกิดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่ใช้จับยึดระหว่างเลนส์กับกล้องร่วมกับภาพมีรายละเอียดมาก

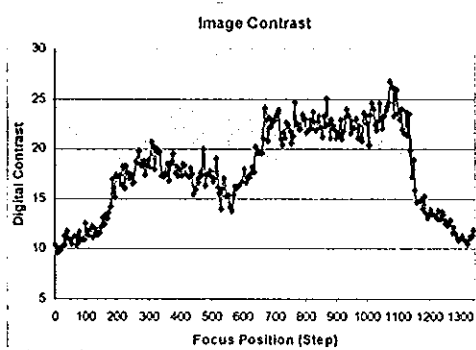
เมื่อพิจารณาผลจากการทดสอบจากกราฟพบว่าที่ตำแหน่งเลนส์ที่ให้ค่าความคมชัดสูงสุดจะเป็นจุดที่มีตำแหน่งโฟกัสดีที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มที่จะสามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับตำแหน่งเลนส์ที่ให้ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อนำค่าความเข้มแสงของภาพมาพิจารณาพบว่าค่าความเข้มแสงของภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของเลนส์



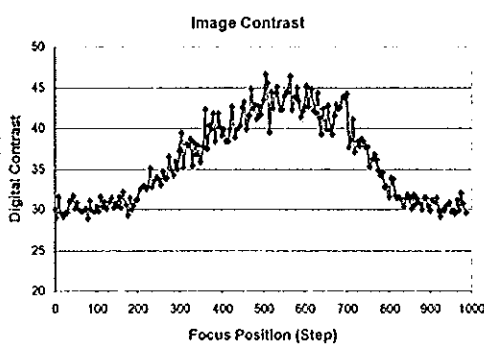
(ก)



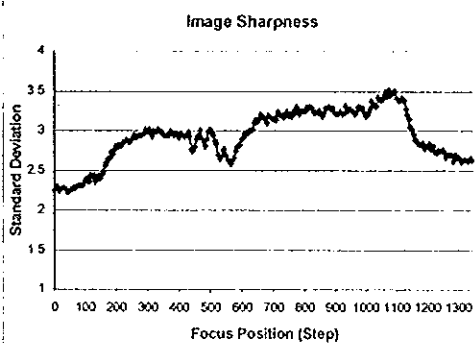
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพประกอบ 3-29 กราฟการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส (พิจารณาในระนาบสี L*), (ก) ความเข้มแสงของภาพจากกล้อง Vimicro, (ข) ความเข้มแสงของภาพจากกล้อง Microsoft, (ค) ความแตกต่างของภาพจากกล้อง Vimicro, (ง) ความแตกต่างของภาพจากกล้อง Microsoft, (จ) ความคมชัดของภาพจากกล้อง Vimicro, (ฉ) ความคมชัดของภาพจากกล้อง Microsoft

บทที่ 4

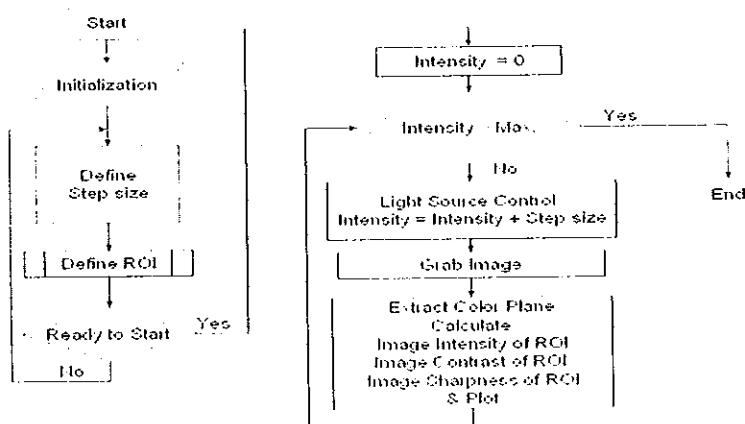
การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง

ในบทนี้จะทำการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงของระบบตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชันภายใต้สิ่งแวดล้อมทางแสงที่ถูกควบคุม ซึ่งทำการป้องกันแสงที่มาจากภายนอกด้วยการใช้กระดาษแข็งสีดำเป็นผนังกันแสงในห้องมืด โดยพิจารณาจากคุณภาพของภาพและการประมวลผลข้อมูลภาพ ผลของการศึกษาจะนำไปสู่การออกแบบการควบคุมค่าความเข้มแสงต่อไป

4.1 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพ

การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพทำการศึกษาโดยการทำการทดลองปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มขึ้นแล้วทำการวิเคราะห์ภาพจากคุณภาพของภาพ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความเข้มแสงของภาพ ค่าความแตกต่างของภาพและค่าความคมชัดของภาพพิจารณาในมิติของระบบสี RGB ระบบสี HSI และระบบสี CIE

ในการทำการศึกษการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะงานของการตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชัน ได้แบ่งหมวดหมู่ของการศึกษาออกตามลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุร่วมกับการออกแบบจาก สามารถแสดงขั้นตอนการทดลองดังภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4-1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพ

4.1.1 การทดลองแถวของตัวเก็บประจุแบบคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยแสงสีขาวแบบแสงกระจาย

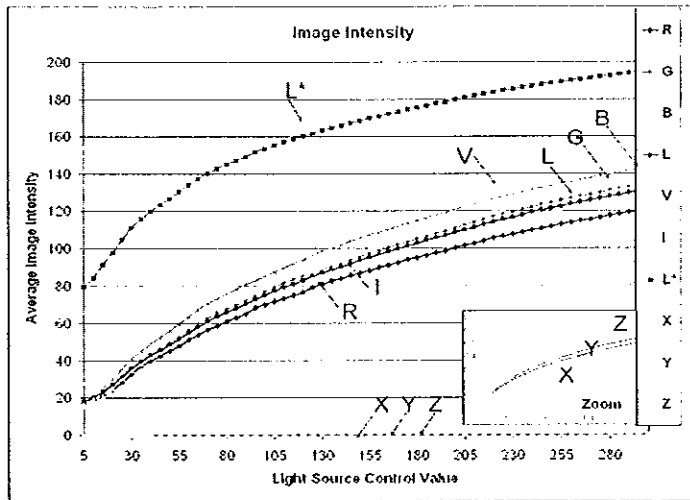
ทำการเลือกวัตถุทดสอบเป็นแถวของตัวเก็บประจุแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (ภาพประกอบ 3-17 ค) ส่องสว่างด้วยแสงสีขาวแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-6 ฉ) การตั้งค่าของกล้องตั้งค่าตามค่าจากโรงงาน (ภาพประกอบ 3-2) แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดต่อคุณภาพของภาพ (ภาพประกอบ 4-1) สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพประกอบ 4-2

ภาพประกอบ 4-2 (ก) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความเข้มแสงของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญกับการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของภาพในระนาบสี RGBVLXYZ และ L*

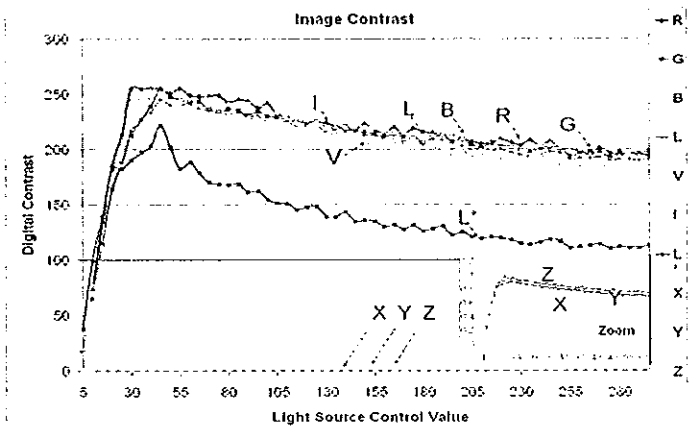
ภาพประกอบ 4-2 (ข) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความแตกต่างของภาพในระนาบสี RGBVLXYZ และ L* ซึ่งในแต่ละระนาบสีจะสามารถสังเกตเห็นค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุดอยู่ที่บริเวณความเข้มแสงเดียวกันและสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของภาพได้ดีที่สุดที่ระนาบสี L*

ภาพประกอบ 4-2 (ค) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความคมชัดของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความคมชัดของภาพในระนาบสี RVLIX และ L* ซึ่งในแต่ละระนาบสีจะสังเกตเห็นค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุดอยู่ในบริเวณค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน

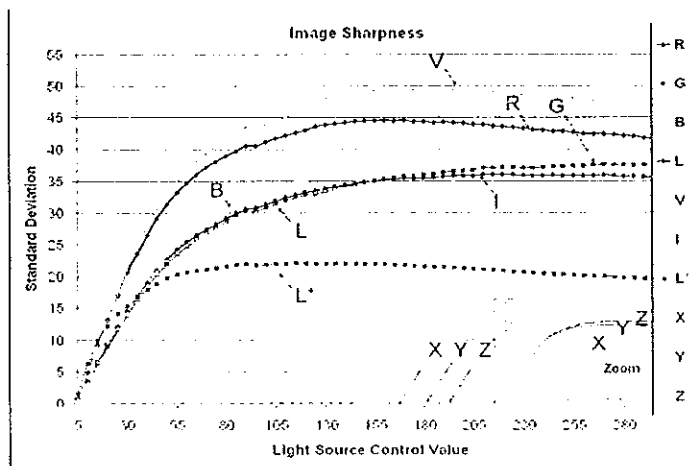
จากผลการทดลองพบว่าการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงของวัตถุทดสอบมีนัยสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของภาพ ได้แก่ ค่าความเข้มแสงของภาพ ค่าความแตกต่างของภาพและค่าความคมชัดของภาพ ซึ่งลักษณะเด่นของการปรับค่าความเข้มแสงที่พบได้แก่การทำให้ภาพมีค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดและค่าความคมชัดของภาพสูงสุด ดังนั้นการปรับค่าความเข้มแสงให้ภาพมีค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดหรือค่าความคมชัดของภาพสูงสุดจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบ 4-2 ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณา
 ในระนาบที่ต่างๆ ค่าความเข้มแสงของภาพ (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ และ (ค) ค่าความคมชัด
 ของภาพ

4.1.2 การทดลองแถวของตัวเก็บประจุแบบสี่ขาล่องสว่างด้วยแสงสีแดงแบบแสงกระจาย

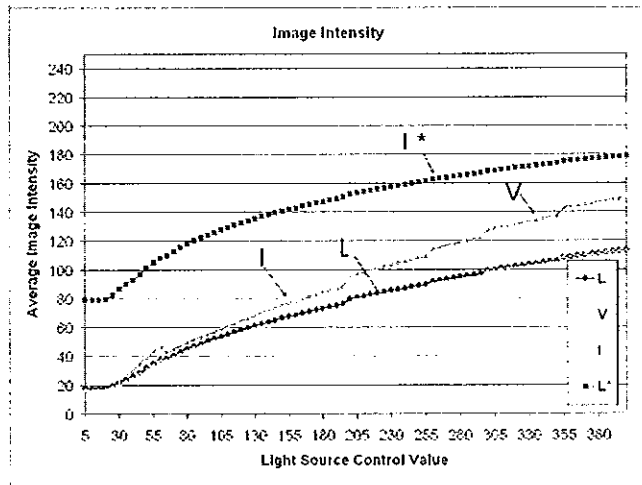
ทำการเลือกวัตถุทดสอบเป็นแถวของตัวเก็บประจุสี่ขา (ภาพประกอบ 3-17 ก) ล่องสว่างด้วยแสงสีแดงแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-6 ง) การตั้งค่าของกล้องตั้งค่าตามค่าจากโรงงาน (ภาพประกอบ 3-2) แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดต่อคุณภาพของภาพ (ภาพประกอบ 4-1) สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพประกอบ 4-3

ภาพประกอบ 4-3 (ก) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความเข้มแสงของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญกับการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของภาพในระนาบสี V L I และ L*

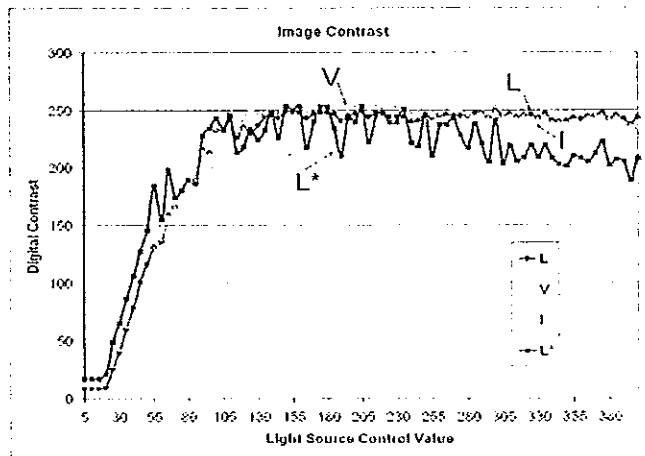
ภาพประกอบ 4-3 (ข) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความแตกต่างของภาพในระนาบสี V L I และ L* ซึ่งในแต่ละระนาบสีจะสามารถสังเกตเห็นค่าความแตกต่างของภาพที่มากที่สุดอยู่ที่บริเวณความเข้มแสงเดียวกันและสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของภาพได้ดีที่สุดที่ระนาบสี L*

ภาพประกอบ 4-3 (ค) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความคมชัดของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความคมชัดของภาพ ในระนาบสี V L I และ L* ซึ่งในแต่ละระนาบสีจะสามารถสังเกตเห็นค่าความคมชัดของภาพของภาพที่มากที่สุดอยู่ที่บริเวณความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน

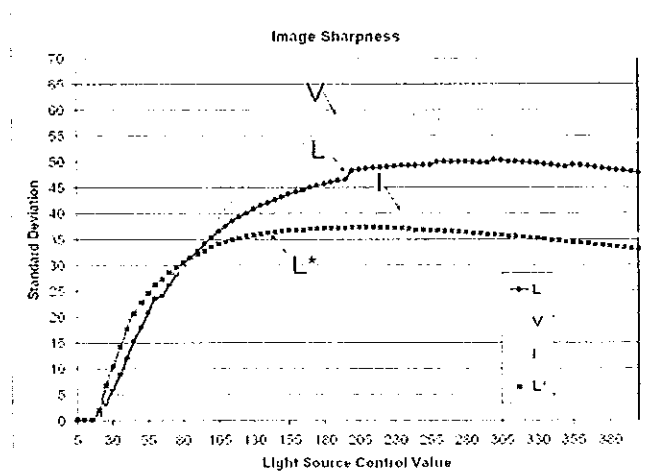
จากผลการทดลองพบว่า การปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงของวัตถุทดสอบมีนัยสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของภาพ ได้แก่ ค่าความเข้มแสงของภาพ ค่าความแตกต่างของภาพและค่าความคมชัดของภาพ ซึ่งลักษณะเด่นของการปรับค่าความเข้มแสงที่พบได้แก่การทำให้ภาพมีค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดและค่าความคมชัดของภาพสูงสุด ดังนั้นการปรับค่าความเข้มแสงให้ภาพมีค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดหรือค่าความคมชัดของภาพสูงสุดจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการประมวลผลข้อมูลภาพและการวิเคราะห์ภาพ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบ 4-3 ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณา
 ในระนาบสีต่างๆ (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ และ (ค) ค่าความ
 คมชัดของภาพ

4.2 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ต่อคุณภาพของภาพ

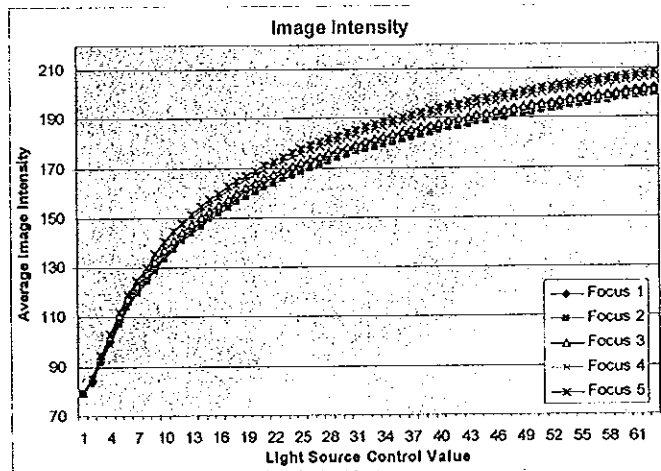
เป็นการศึกษาผลของการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ต่อคุณภาพของภาพเนื่องจากเลนส์เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ส่งผ่านแสงไปยังเซนเซอร์ภาพ ซึ่งการปรับตำแหน่งเลนส์จะส่งผลโดยตรงกับคุณภาพของภาพที่เกิด

การทำการทดลองทำโดยใช้วัตถุทดสอบภาพตัวอักษรบนพื้นมันเรียบของกระป๋องขนม (ภาพประกอบ 3-17 ข) แสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-6 จ) ทำการปรับตำแหน่งโฟกัสให้ต่างกันออกเป็น 5 ตำแหน่งรอบๆ บริเวณที่มีตำแหน่งโฟกัสมีความคมชัดมากที่สุด แล้วทดลองปรับค่าความเข้มแสงตามขั้นตอนการทดลอง การศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ (ภาพประกอบ 4-1) จนครบทุกตำแหน่งโฟกัส ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์จากคุณภาพของภาพและใช้ระนาบสี L^* สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพประกอบ 4-4

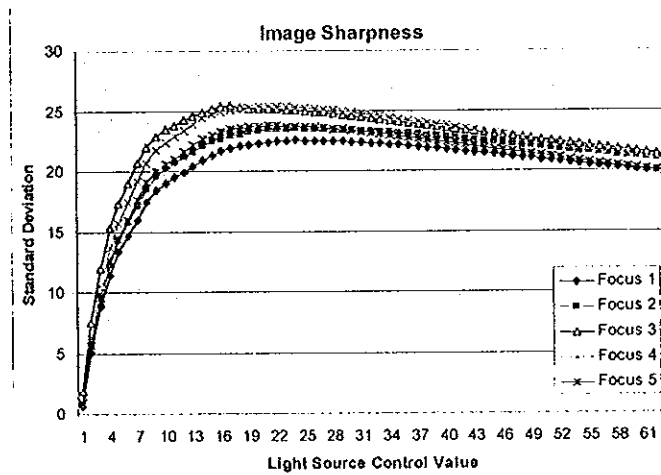
ภาพประกอบ 4-4 (ก) ผลของการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ต่อคุณภาพของภาพ พบว่าที่ความเข้มแสงเท่ากันในขณะที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกันจะให้ค่าความเข้มแสงของภาพไม่เท่ากัน นั่นคือการปรับตำแหน่งโฟกัสจะส่งผลให้ความเข้มแสงของภาพต่างกัน

ภาพประกอบ 4-4 (ข) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความแตกต่างของภาพ ซึ่งในแต่ละตำแหน่งโฟกัสจะให้ค่าความแตกต่างของภาพไม่เท่ากัน ที่ตำแหน่งโฟกัสหมายเลข 3 (Focus 3) จะให้ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุด นั่นคือการปรับตำแหน่งโฟกัสจะส่งผลต่อค่าความแตกต่างของภาพ ในอีกมุมมองหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าภาพที่มีตำแหน่งโฟกัสไม่ดีสามารถทำให้ภาพมีความคมชัดเพิ่มขึ้น โดยการปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม

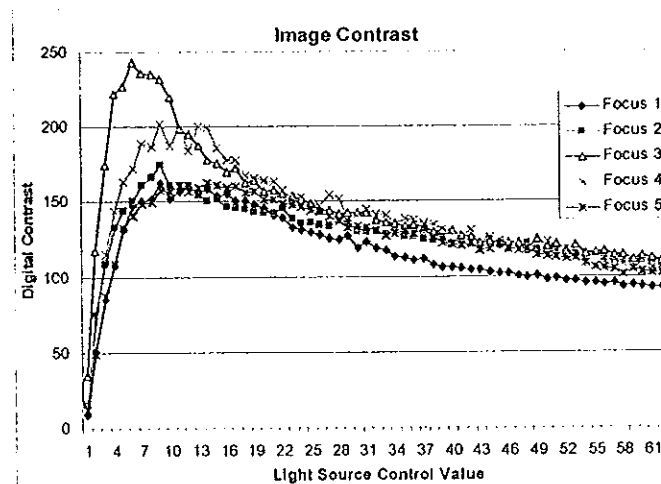
ภาพประกอบ 4-4 (ค) ผลของการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความคมชัดของภาพ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงมีนัยสำคัญความแตกต่างกับค่าความคมชัดของภาพ ซึ่งในแต่ละตำแหน่งโฟกัสจะให้ค่าความคมชัดของภาพไม่เท่ากัน ที่ตำแหน่งโฟกัสหมายเลข 3 (Focus 3) จะให้ค่าความคมชัดของภาพสูงสุด นั่นคือการปรับตำแหน่งโฟกัสจะส่งผลต่อค่าความคมชัดของภาพ ในอีกมุมมองหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าภาพที่มีตำแหน่งโฟกัสไม่ดีสามารถทำให้ภาพมีความคมชัดเพิ่มขึ้น โดยการปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม



(ก)



(ข)



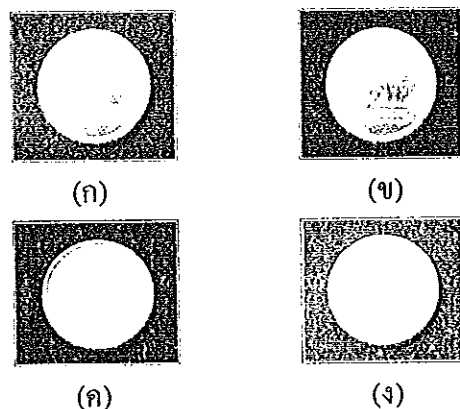
(ค)

ภาพประกอบ 4-4 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพพิจารณาในระนาบสี L^* (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ และ (ค) ค่าความคมชัดของภาพ

4.3 การศึกษาผลของความไม่แน่นอนของวัตถุทดสอบต่อคุณภาพของภาพ

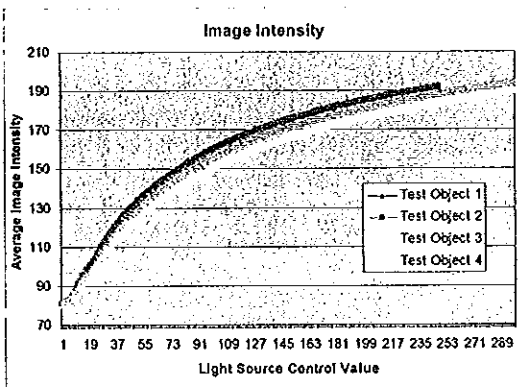
ความไม่แน่นอนของวัตถุหรือความคิดที่เกิเกิดขึ้นกับวัตถุ ในการศึกษาจะทำการศึกษาคความไม่แน่นอนของวัตถุเชิงแสง (Uncertain optical characteristics) ซึ่งความไม่แน่นอนดังกล่าวอาจมาจาก กระบวนการผลิตของวัตถุทดสอบ เช่น กระบวนการผลิตทางเคมี การขึ้นรูป การเจาะรู และการขัดผิว เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้ขนาด รูปร่าง พื้นผิว และสีของวัตถุทดสอบเกิดความไม่แน่นอนตามไปด้วย เช่นเดียวกันกับการตรวจสอบวัตถุที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ซึ่งไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของวัตถุได้

ในการทำการทดลองเลือกวัตถุเป็นเหรียญ 1 บาท ที่มีคุณสมบัติเชิงแสงแตกต่างกัน 4 เหรียญ ซึ่งคุณสมบัติเชิงแสงที่แตกต่างกันของเหรียญ 4 เหรียญเกิดจากการใช้งานสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 4-5

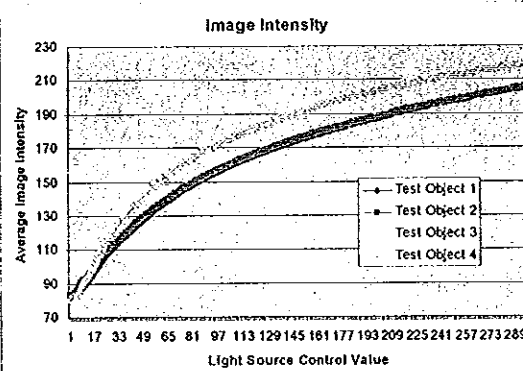


ภาพประกอบ 4-5 วัตถุทดสอบเหรียญ 1 บาทสำหรับทดสอบความไม่แน่นอนเชิงแสง (ก) วัตถุทดสอบหมายเลข 1 (Test object1) (ข) วัตถุทดสอบหมายเลข 2 (Test object2) (ค) วัตถุทดสอบหมายเลข 3 (Test object3) (ง) วัตถุทดสอบหมายเลข 4 (Test object4)

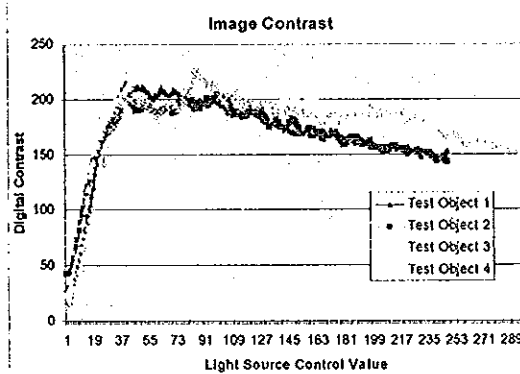
ทำการทดลองโดยนำเหรียญ 1 บาททั้ง 4 เหรียญมาทำการส่องสว่างด้วยแหล่งกำเนิดแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-6 จ) และ แสงสีแดงส่องสว่างแบบแสงกระจาย (ภาพประกอบ 3-6 ง) เพื่อเป็นการพิจารณาคุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุ โดยในแต่ละการส่องสว่างจะทำตามขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ (ภาพประกอบ 4-1) สามารถแสดงผลการทดลองของการส่องสว่างด้วยสีแดงส่องสว่างแบบแสงกระจายและการส่องสว่างด้วยแสงสีแดงส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจายได้ดังภาพประกอบ 4-6 และ ภาพประกอบ 4-7 ตามลำดับ



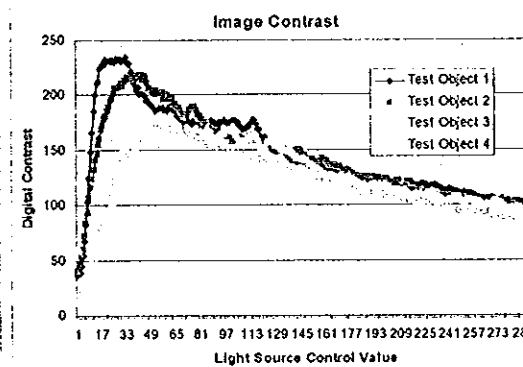
(ก)



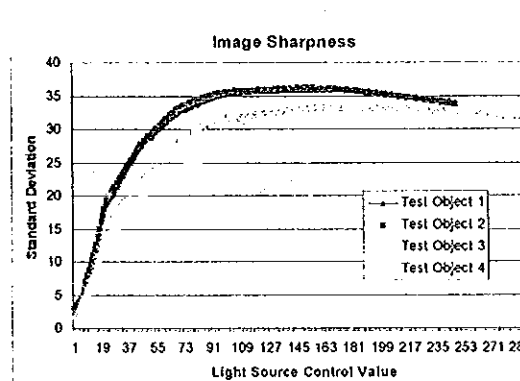
(ก)



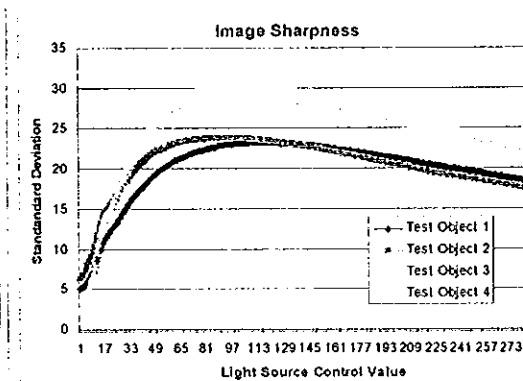
(ข)



(ข)



(ค)



(ค)

ภาพประกอบ 4-6 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพในระนาบสี L^* โดยการส่องสว่างด้วยสีแดงส่องสว่างแบบแสงกระจาย (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ (ค) ค่าความคมชัดของภาพ

ภาพประกอบ 4-7 ผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพในระนาบสี L^* โดยการส่องสว่างด้วยสีแดงสองสว่างแบบแสงกระจายส่องสว่างส่วนที่มีค (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ (ค) ค่าความคมชัดของภาพ

พิจารณาภาพประกอบ 4-6 (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความเข้มแสงของภาพที่ต่างกัน ภาพประกอบ 4-6 (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงต่างกัน ส่วนในภาพประกอบ 4-6 (ค) ค่าความคมชัดของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความคมชัดของภาพสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงต่างกันเช่นกัน

พิจารณาภาพประกอบ 4-7 (ก) ค่าความเข้มแสงของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความเข้มแสงของภาพที่ต่างกัน ภาพประกอบ 4-7 (ข) ค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงต่างกัน ส่วนในภาพประกอบ 4-7 (ค) ค่าความคมชัดของภาพ พบว่าในแต่ละวัตถุทดสอบจะให้ค่าความคมชัดของภาพสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงต่างกันเช่นกัน

จากการทดลองด้วยการส่องสว่างทั้งสองแบบต่อวัตถุทดสอบ พบว่าตำแหน่งของค่าความเข้มแสงที่ทำให้ภาพมีค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพสูงสุดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางแสงของวัตถุ นั่นคือวัตถุที่มีคุณสมบัติเชิงแสงที่ต่างกันการใช้ระดับความเข้มของแสงที่ทำให้ภาพมีคุณภาพดีที่สุดจะต่างกัน ดังนั้นในการควบคุมค่าความเข้มแสงเพื่อให้ภาพมีคุณภาพสูงสุดระบบควบคุมควรมีความฉลาดสามารถที่จะทำการควบคุมค่าความเข้มแสงให้เหมาะสมกับวัตถุทดสอบที่ทำการทดสอบอยู่ตลอดเวลาทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนวัตถุทดสอบหรืออาจเรียกว่าเป็นระบบแบบพลวัต (System Dynamics) [42]

4.4 การศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงต่อการประมวลผลข้อมูลภาพ

เป็นการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงต่อการประมวลผลข้อมูลภาพ จะทำการศึกษากับอัลกอริธึม Color Pattern Matching [43] ซึ่งเป็นอัลกอริธึมการประมวลผลของ LabVIEW NI vision [44] โดยการทดลองจะทำการเลือกภาพต้นแบบ (Template) จากภาพที่มีระดับค่าความเข้มแสงที่ต่างกัน จากนั้นนำมาประมวลผลกับภาพที่มีระดับความเข้มแสงต่างๆ การวิเคราะห์ผลพิจารณาจากอัตราการประมวลผลข้อมูลภาพ, ค่า Score, ตำแหน่ง X และ Y ของภาพ ในการทดลองแบ่งเป็นสองการทดลองคือวัตถุทดลองแถวของตัวเก็บประจุสี่ขา (ภาพประกอบ 3-17 ก) และแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสี่ (ภาพประกอบ 3-17 ค) ซึ่งในแต่ละวัตถุทดลองได้เลือกใช้การส่องสว่างที่เหมาะสมกับวัตถุทดสอบ โดยใช้ตัวประมวลผล Pentium D ความเร็วขนาด 2.66 GHz และ RAM 256 MB

4.4.1 อัลกอริทึม Color Pattern Matching

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการหารูปแบบของภาพหรือ Pattern ของการตรวจสอบภาพสี (RGB) ที่ใช้ในการทดลองได้นำมาจากอัลกอริทึมมาตรฐานในโปรแกรม LabVIEW NI vision สามารถอธิบายขั้นตอนหลักการทำงานของอัลกอริทึมได้ดังนี้

4.4.1.1 การเลือกภาพต้นแบบจากภาพที่ต้องการตรวจสอบ หลักการคือเลือกภาพต้นแบบที่มีรายละเอียดครบถ้วน มีความซับซ้อนน้อย และมีความคมชัดมากที่สุด

4.4.1.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ของภาพต้นแบบและขั้นตอนการตรวจสอบหาภาพต้นแบบในภาพที่ต้องการตรวจสอบ

- Shift-invariant matching โดยปกติจะตั้งค่าเป็นค่า Default คือการเตรียมภาพต้นแบบสำหรับการตรวจหาภาพในตำแหน่งต่างๆ โดยเป็นการเลื่อนภาพต้นแบบ

- Rotation-invariant matching ให้เลือกจะทำให้ทำการเตรียมภาพต้นแบบสำหรับการตรวจหาภาพในตำแหน่งการหมุนต่างๆ โดยเป็นการหมุนภาพต้นแบบและจะต้องกำหนดมุมของการหมุน ในการทดลองจะไม่ใช้ตรวจสอบหาภาพหมุน เนื่องจากใช้ภาพที่อยู่นิ่ง เฉพาะค่าความเข้มแสงเท่านั้นที่เปลี่ยนไป

- Search strategies เป็นการกำหนดค่าการ Sampling สำหรับการ Search หาภาพต้นแบบในภาพที่ต้องการตรวจสอบ หรือ เป็นการกำหนดความละเอียดของข้อมูลภาพที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อช่วยเร่งความเร็วในการตรวจสอบ ในการทดลองใช้การ Search แบบละเอียดที่สุด คือแบบ Conservative

- Color score weight เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการเลือกข้อมูลของ Shape หรือ Color เพื่อใช้ในการคิดค่า Score และการตรวจสอบ โดยค่าจะอยู่ในช่วง 0 -1000 ค่ายิ่งเข้าใกล้ค่า 1000 หมายความว่า จะใช้ข้อมูลค่า Color ในการตัดสินใจเพียงอย่างเดียว ในทางกลับกัน ค่ายิ่งเข้าใกล้ค่า 0 หมายความว่า จะใช้ข้อมูลค่า Shape ในการตัดสินใจเพียงอย่างเดียว ในการทดลองใช้ค่า 500 คือใช้ทั้งค่า Shape และ Color ในการหาค่า Score และการตรวจสอบ

- Score เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจของอัลกอริทึม ซึ่งค่า Score จะอยู่ในช่วง 0 -1000 ค่า Score ยิ่งเข้าใกล้ 1000 มากเท่าไร หมายความว่าภาพที่ตรวจมีโอกาสที่จะเหมือนกับภาพต้นแบบมากขึ้นเท่านั้น ในการทดลองใช้ค่า Score threshold เท่ากับ 600 เนื่องจากพบว่าภาพที่ตรวจสอบจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น หรือ ภาพที่ตรวจสอบไม่เหมือนกันกับภาพต้นแบบที่ค่า Score ต่ำกว่า 600

- No. of matches เป็นจำนวนของภาพต้นแบบที่มากที่สุดที่ต้องการตรวจพบในภาพที่ต้องการตรวจ ในการทดลองใช้ค่า 1 คือหาเพียงภาพวัตถุหนึ่งวัตถุ

- Ignore black and white เป็นการตั้งค่ากำหนดให้อัลกอริทึมทำการละเว้นการตรวจสอบในพื้นที่สีขาวหรือพื้นที่สีดำสำหรับการตรวจสอบสี ในการทดลองไม่ใช้การตั้งค่า Ignore black and white ก็จะทำให้การตรวจสอบทั้งในพื้นที่สีขาวและพื้นที่สีดำ

- Color sensitivities เป็นค่าที่ใช้ในการแยกความแตกต่างของข้อมูลภาพสีในช่องสัญญาณของ Hue มีด้วยกัน 3 ระดับคือ Low Medium และ High ในการทดลองใช้ระดับ Low คือแบ่งความแตกต่างของภาพสีในช่องสัญญาณของ Hue ออกเป็น 7 ข้อมูล

- Saturation threshold เป็นค่าที่ใช้ในการแยกความแตกต่างของข้อมูลภาพสีในช่องสัญญาณของ Saturation ในการทดลองใช้ค่าเท่ากับ 80 เมื่อรวมเข้ากับช่องสัญญาณ Hue จะได้ข้อมูลสีทั้งหมดเท่ากับ 562 ข้อมูล

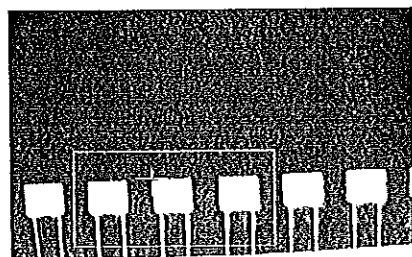
4.4.1.3 การเรียนรู้ของภาพต้นแบบ เป็นกระบวนการดึงเอาลักษณะเด่นของภาพต้นแบบออกจากภาพซึ่งจะใช้วิธีการสุ่ม ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกันคือ Shape และ Color โดยอ้างอิงจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์

- Shape พิจารณาจากค่า Gray level โดยจะทำการดึงลักษณะเด่นของโครงสร้างของภาพ เช่นตำแหน่งของลักษณะเด่นของขอบภาพ รวมถึงทำการเตรียมภาพต้นแบบสำหรับในกรณีที่ต้องการตรวจสอบหาการหมุนของภาพ (Rotation-invariant)

- Color พิจารณาจากระนาบสี H โดยจะทำการดึงลักษณะเด่นของโครงสร้างสีและตำแหน่งของสีจากภาพต้นแบบ

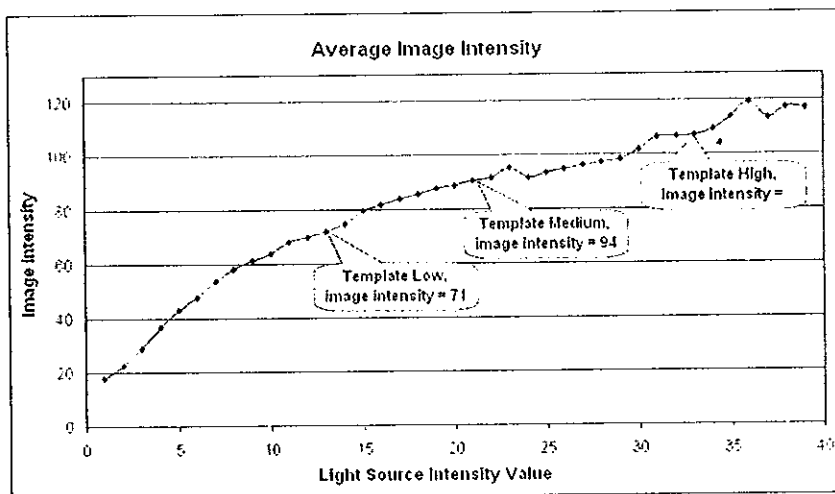
4.4.2 การทดลองแถวตัวเก็บประจุสีขาว

เลือกวัตถุทดลองเป็นแถวของตัวเก็บประจุสีขาวค้ำภาพประกอบ 4-8 ภาพขนาด 640×480 พิกเซล และภาพต้นแบบขนาด 310×140 พิกเซล ซึ่งจะสังเกตเห็นการเลือกภาพต้นแบบโดยการใช้กรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบตัวเก็บประจุสามตัวและการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงด้วยเครื่องหมายบวกไว้ตรงมุมของตัวเก็บประจุภายในภาพต้นแบบเพื่อเป็นการอ้างอิงตำแหน่งความถูกต้อง (X, Y) ของการทำงาน

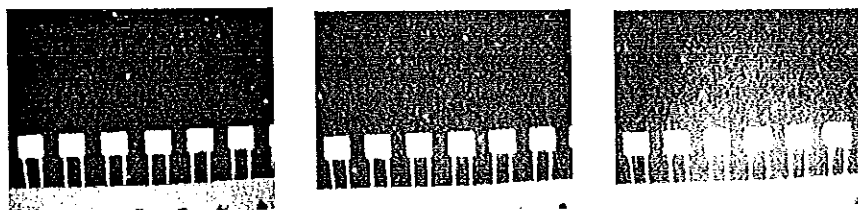


ภาพประกอบ 4-8 ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุสีขาวและการเลือกภาพต้นแบบ

พิจารณาการปรับค่าความเข้มระดับความเข้มแสงของภาพและการคำนวณหาค่าความเข้มแสงของภาพในภาพต้นแบบ ดังภาพประกอบ 4-9 แสดงการเลือกภาพภาพต้นแบบ โดยเลือกภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 71 ให้เป็น Template low หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงต่ำ ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 94 ให้เป็น Template medium หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงปานกลาง และ ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 109 ให้เป็น Template high หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงสูง ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังภาพประกอบ 4-10



ภาพประกอบ 4-9 ระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณ Template ของตัวเก็บประจุสี่ขา



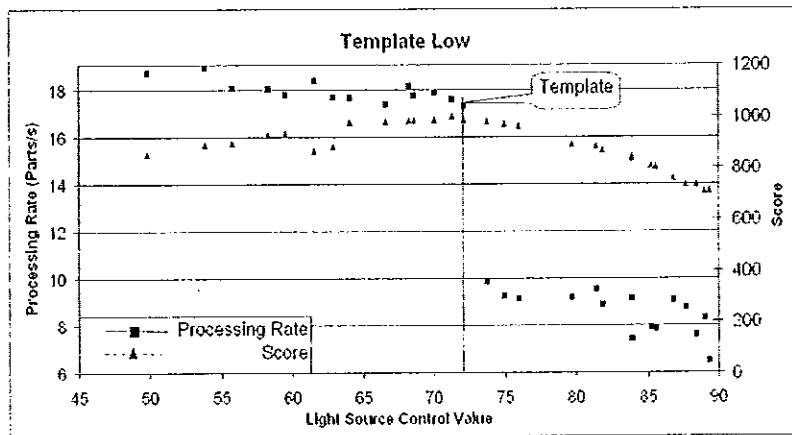
(ก)

(ข)

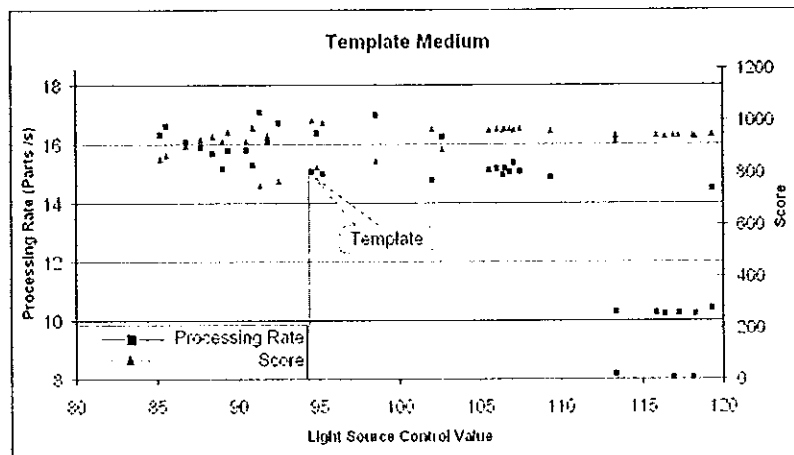
(ค)

ภาพประกอบ 4-10 ตัวอย่างภาพต้นแบบของแถวตัวเก็บประจุสี่ขา (ก) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 71 หรือ Template low (ข) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 94 หรือ Template medium (ค) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 109 หรือ Template high

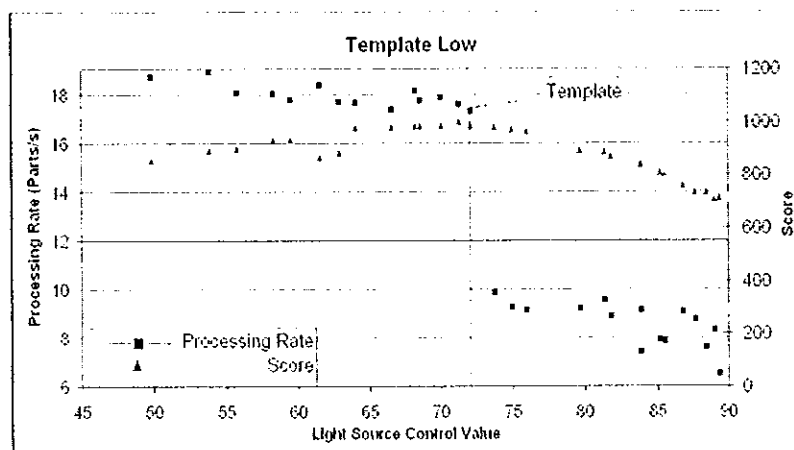
การทดลองจะเลือกภาพต้นแบบจากภาพที่มีความเข้มแสงในระดับต่ำแล้วนำไปประมวลผลกับภาพที่ได้จากการปรับความเข้มแสงทั้งหมด จากนั้นนำภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงในระดับสูงขึ้นไปตามลำดับมาทำการประมวลผลกับภาพที่ได้จากการปรับความเข้มแสงทั้งหมด สามารถพิจารณาผลการทดลองได้ดังภาพประกอบ 4-11



(ก)



(ข)



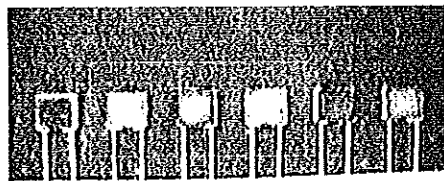
(ค)

ภาพประกอบ 4-11 ผลการทดลองการประมวลผลข้อมูลภาพของแถวตัวเก็บประจุสี่ขาด้วย อัลกอริทึม Color Pattern Matching (ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงต่ำ (ข) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงปานกลาง (ค) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงสูง

จากผลการทดลองพบว่าการใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงสูงตรวจภาพที่มีความเข้มแสงต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการประมวลผลต่ำและในทางกลับกัน การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำตรวจภาพที่มีความเข้มสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการประมวลผลต่ำเช่นกัน การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงระดับใกล้เคียงกับภาพที่ตรวจสอบ พบว่าค่า Score ที่ได้จากการประมวลผลมีค่าสูง จุดสังเกต X และ Y มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (3 พิกเซล) การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำตรวจภาพที่มีความเข้มต่ำจะใช้เวลาในการประมวลผลสั้นกว่าการใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงสูงตรวจภาพที่มีความเข้มแสงสูง

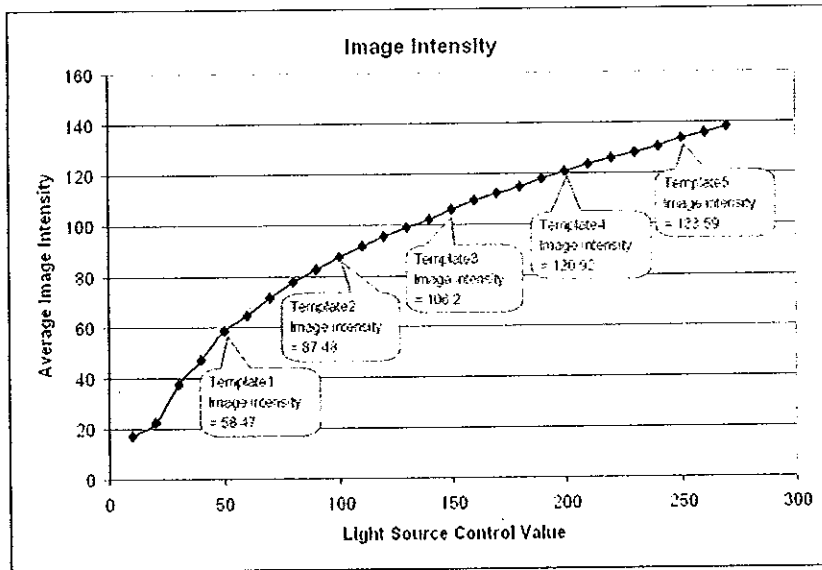
4.4.3 การทดลองแถวตัวเก็บประจุแบบคละสี

เลือกวัตถุทดลองเป็นแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสีดังภาพประกอบ 4-12 ภาพขนาด 350×288 พิกเซล และภาพต้นแบบขนาด 120×60 พิกเซล ซึ่งจะสังเกตเห็นการเลือกภาพต้นแบบโดยการใช้กรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบตัวเก็บประจุสามตัวและการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงด้วยเครื่องหมายบวกไว้ตรงมุมของตัวเก็บประจุภายในภาพต้นแบบเพื่อเป็นการอ้างอิงตำแหน่งความถูกต้อง (X, Y) ของการทำงาน

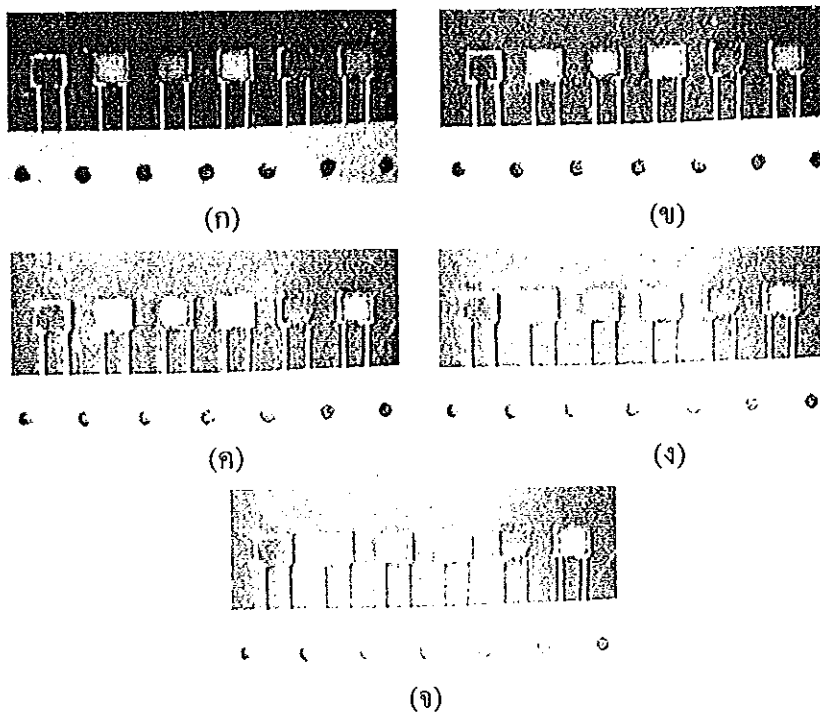


ภาพประกอบ 4-12 ตัวอย่างภาพแถวของตัวเก็บประจุแบบคละสีและการเลือกภาพต้นแบบ

สามารถพิจารณาการปรับค่าความเข้มระดับความเข้มแสงของภาพและการกำหนดค่าความเข้มแสงของภาพในภาพต้นแบบ ดังภาพประกอบ 4-13 และแสดงการเลือกภาพภาพต้นแบบ โดยเลือกภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 58.47 ให้เป็น Template 1 หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงต่ำมาก ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 87.48 ให้เป็น Template 2 หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงต่ำ ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 106.2 ให้เป็น Template 3 หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงปานกลาง ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 120.922 ให้เป็น Template 4 หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงสูง และภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 133.59 ให้เป็น Template 5 หรือภาพที่มีระดับความเข้มแสงสูงมาก พิจารณาได้ดังภาพประกอบ 4-14



ภาพประกอบ 4-13 ระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณ Template ของตัวเก็บประจุแบบคละตี

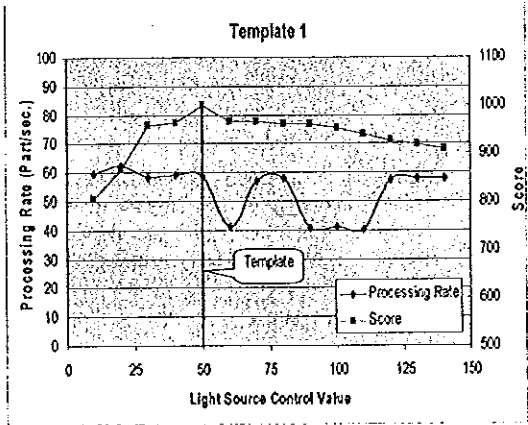


ภาพประกอบ 4-14 ตัวอย่างภาพต้นแบบของแถวตัวเก็บประจุแบบคละตี (ก) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 58.47 หรือ Template 1 (ข) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 87.48 หรือ Template 2 (ค) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 106.2 หรือ Template 3 (ง) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 120.922 หรือ Template 4 (จ) ภาพที่มีระดับความเข้มแสงของภาพ = 133.59 หรือ Template 5

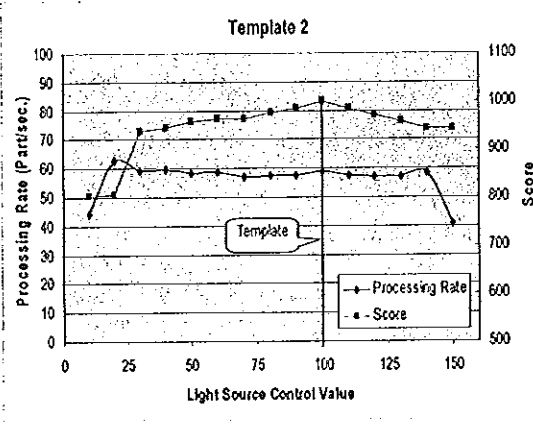
ในการทำการทดลองจะเลือกภาพต้นแบบจากภาพที่มีความเข้มแสงในระดับต่ำ แล้วนำไปประมวลผลกับภาพที่ได้จากการปรับความเข้มแสงทั้งหมด จากนั้นนำภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงในระดับสูงขึ้นไปตามลำดับมาทำการประมวลผลกับภาพที่ได้จากการปรับความเข้มแสงทั้งหมด สามารถพิจารณาผลการทดลองได้ดังภาพประกอบ 4-15

จากการทดลองพบว่าการใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงสูงตรวจภาพที่มีความเข้มแสงต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการประมวลผลต่ำ ในทางกลับกัน การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำตรวจภาพที่มีความเข้มสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการประมวลผลต่ำเช่นกัน การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงระดับใกล้เคียงกับภาพที่ตรวจสอบ พบว่าค่า Score ที่ได้จากการประมวลผลมีค่าสูง จุดสังเกต X และ Y มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (1 พิกเซล) การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำตรวจภาพที่มีความเข้มต่ำจะใช้เวลาในการประมวลผลสั้นกว่าการใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงสูงตรวจภาพที่มีความเข้มแสงสูง

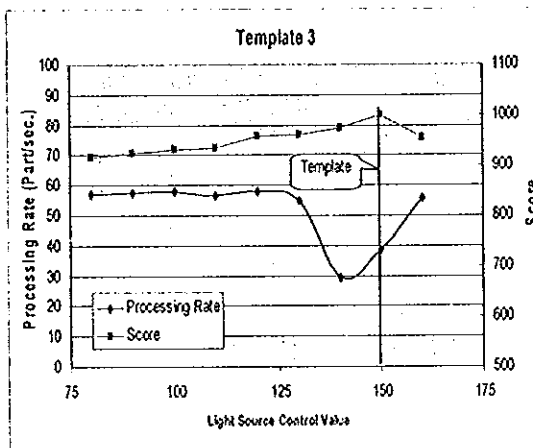
จากการทดลองอัลกอริธึม Color Pattern Matching โดยภาพรวมในการทดลองปรับความเข้มแสงพบว่า การใช้ภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงระดับต่ำไปประมวลผลภาพที่มีความเข้มแสงต่ำ มีข้อดีคือทำให้การประมวลผลเร็วกว่าการใช้ความเข้มแสงที่ระดับปานกลางและสูง ซึ่งสามารถที่จะนำข้อดีของการเลือกภาพต้นแบบที่มีความเข้มแสงต่ำไปพัฒนาใช้กับการประมวลผลข้อมูลภาพแบบเวลาจริงสำหรับระบบแมชชีนวิชันเพื่อเพิ่มความเร็วของการทำงาน



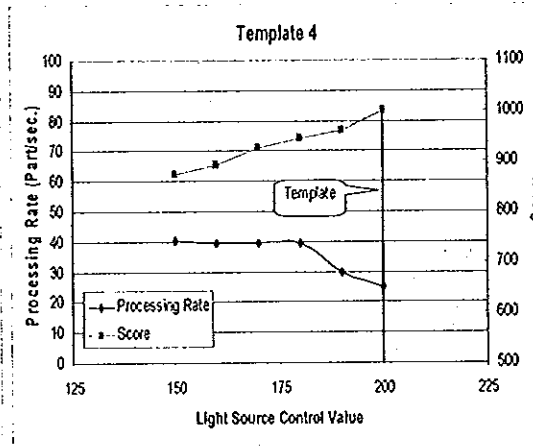
(ก)



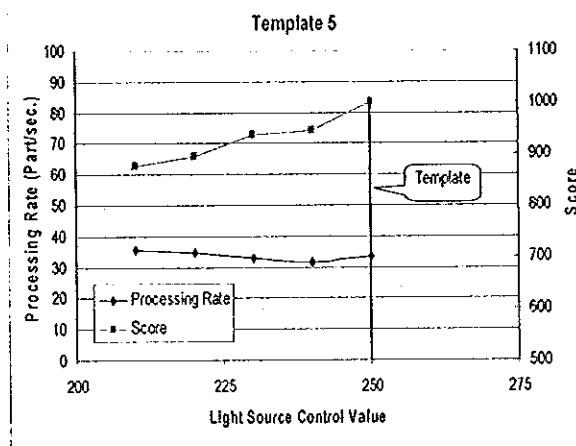
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพประกอบ 4-15 ผลการทดลองการประมวลผลข้อมูลภาพของแถวตัวเก็บประจุแบบคละสีด้วย อัลกอริทึม Color Pattern Matching (ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงต่ำมาก (ข) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงต่ำ (ค) ภาพต้นแบบเป็นภาพระดับความเข้มแสงปานกลาง (ง) ภาพต้นแบบระดับความเข้มแสงสูง (จ) ภาพต้นแบบระดับความเข้มแสงสูงมาก

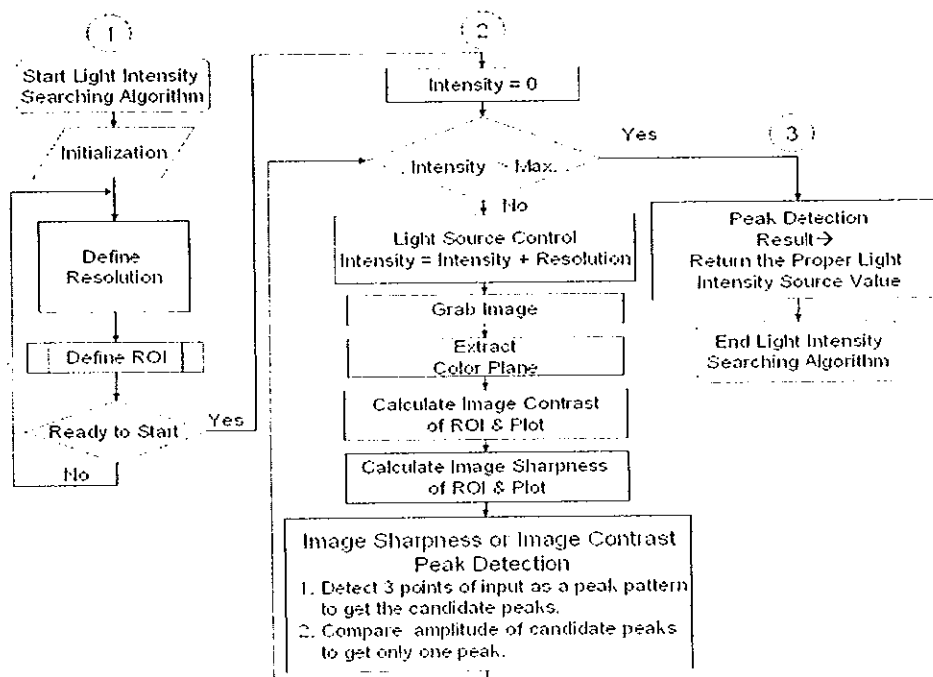
บทที่ 5

การหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบการปรับตำแหน่งโฟกัสและผลการศึกษการปรับค่าความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ พบว่าคุณลักษณะของตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมจะปรากฏออกมาในรูปของค่าสูงสุดของการแสดงค่าทางกราฟของค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพ ดังนั้นการหาตำแหน่งโฟกัสหรือค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมทำได้โดยการตรวจจับหาค่าสูงสุดของกราฟนั่นเอง

5.1 การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

จากผลการศึกษการปรับค่าความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพในบทที่ 4 โดยพิจารณาจากค่าความคมชัดของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพ พบว่าที่ค่าความคมชัดของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพมีค่าสูงสุดจะเป็นจุดที่ความเข้มแสงมีค่าเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากทำให้ภาพมีคุณภาพมากที่สุด จากผลการทดลองดังกล่าวนำมาออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถแสดงดังภาพประกอบ 5-1



ภาพประกอบ 5-1 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

จากภาพประกอบ 5-1 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลักคือ ส่วนการตั้งค่าการเตรียมความพร้อม ส่วนการหาค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุด และ ส่วนการคืนค่า

ส่วนที่ 1 ส่วนการตั้งค่าการเตรียมความพร้อม เป็นส่วนแรกสุดของการทำงานประกอบด้วย

- การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ในที่นี้คือ กล้องและช่องทางการควบคุมค่าความเข้มแสง
- การตั้งค่าความละเอียดของการปรับค่าความเข้มแสง
- การกำหนดค่าสูงสุดของค่าความเข้มแสง เพื่อเป็นการกำหนดช่วงของการค้นหาความเข้มแสงที่เหมาะสม
- การกำหนดพื้นที่ที่สนใจเป็นการกำหนดพื้นที่หรือภาพที่ต้องการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

ส่วนที่ 2 ส่วนการหาค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุด เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการเลือกค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุด

- การตรวจสอบจำนวนรอบในการทำงาน เป็นเงื่อนไขการตรวจสอบจำนวนรอบโดยพิจารณาจากการกำหนดค่าสูงสุดของค่าความเข้มแสง หากครบรอบการทำงานระบบจะสิ้นสุดการทำงานในวงรอบการทำงานทันที

- การควบคุมค่าความเข้มแสง เป็นการเพิ่มค่าความเข้มแสงจากค่าเดิมเพื่อหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่ให้ค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุด

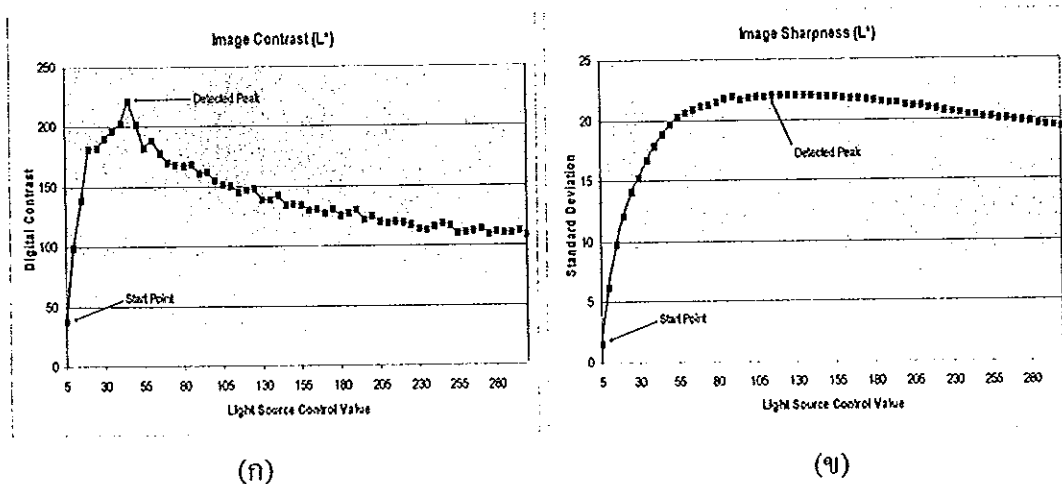
- การจับภาพและคำนวณค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพ

- การหาค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุด โดยใช้การตรวจจับหาค่าสูงสุดจากค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่อยู่ติดกันสามค่าจากนั้นเก็บค่าไว้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่จะคำนวณได้ในรอบถัดไป ค่าที่สูงที่สุดจะถูกเก็บไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบต่อไป

ส่วนที่ 3 ส่วนการคืนค่า การคืนค่าจะเกิดขึ้นเมื่อเงื่อนไขของการตรวจสอบจำนวนรอบเป็นจริง ที่ค่าความคมชัดหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุดจะได้ค่าความเข้มแสงหนึ่งค่าและจะถูกนำไปใช้เป็นค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

5.1.1 การทดสอบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

ในการทดสอบการทำงานของวิธีการหาค่าความเข้มแสง (ภาพประกอบ 5-1) กับ วัตถุทดสอบตัวเก็บประจุแบบคละสี (ภาพประกอบ 3-17 ก) สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดัง ภาพประกอบ 5-2

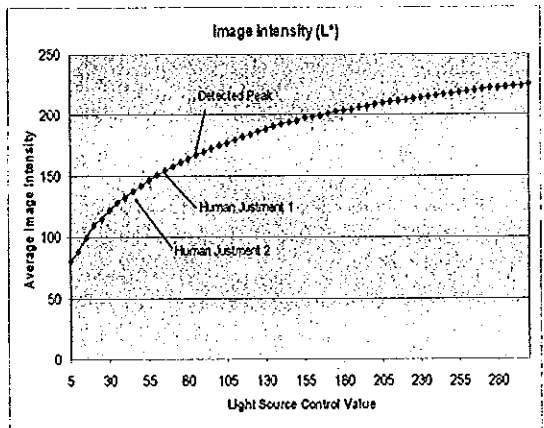


(ก)

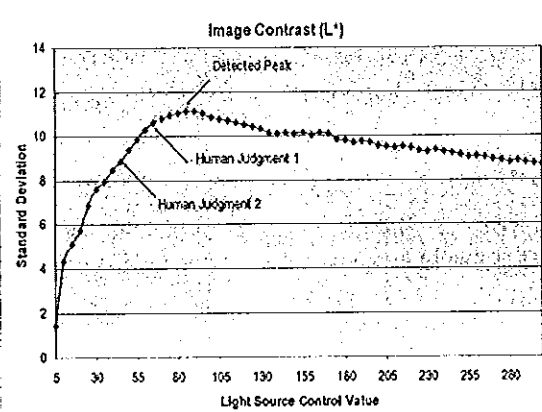
(ข)

ภาพประกอบ 5-2 ตัวอย่างผลการทดสอบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ก) ความแตกต่างของภาพ (ข) ความคมชัดของภาพ

จากภาพประกอบ 5-2 จุดเริ่มต้น (Start point) เป็นจุดที่กำหนดตามวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ภาพประกอบ 5-1) จุดที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงที่สุด (Detected Peak) เป็นจุดที่วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมตรวจพบและตีความหมายว่าเป็นที่มีค่าความเข้มแสงเหมาะสมที่สุดที่ภาพมีความคมชัดหรือมีความแตกต่างมากที่สุด ส่วนจุดสิ้นสุดของการค้นหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมตั้งค่าไว้ที่ค่าควบคุมความเข้มแสงเท่ากับ 300 ทำให้การทำงานของวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมจะสิ้นสุดทันทีเมื่อค่าความเข้มแสงเท่ากับ 300 นอกจากนี้ในการทดสอบของวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุดได้ทำการเปรียบเทียบกับ การปรับค่าความเข้มแสงด้วยคน โดยอ้างอิงจากค่าความคมชัดของภาพ ซึ่งจะใช้วัตถุทดสอบภาพตัวอักษรบนพื้นมันเรียบของกระป๋องขนม (ภาพประกอบ 3-17 ข) สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพประกอบ 5-3



(ก)



(ข)

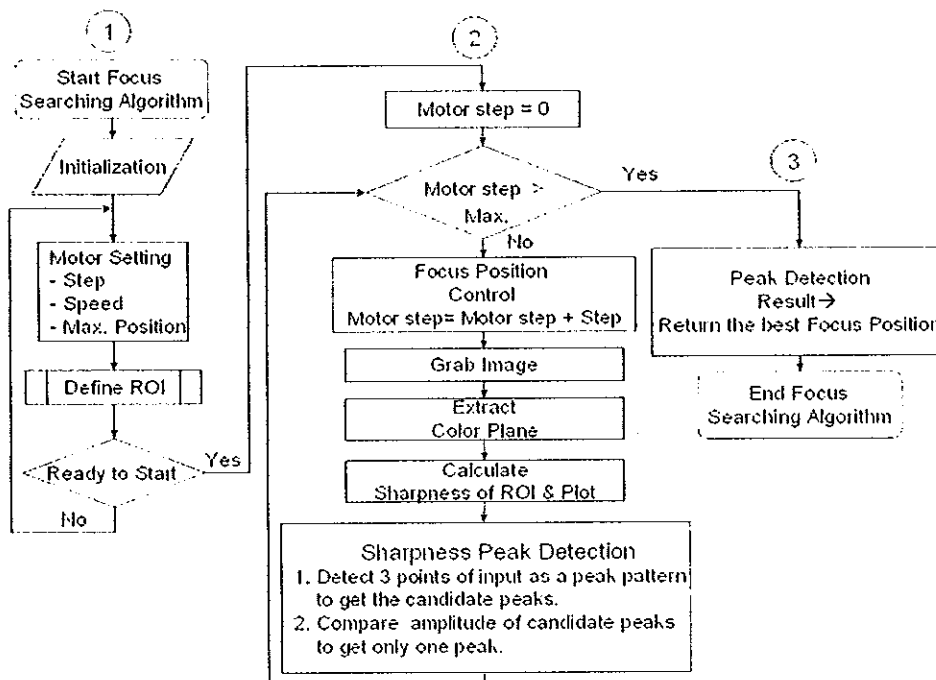
ภาพประกอบ 5-3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมระหว่างวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมกับการตัดสินใจด้วยคน โดยใช้ความคมชัดของภาพ (ก) ความเข้มแสงของภาพ (ข) ความคมชัดของภาพ

จากภาพประกอบ 5-2 พบว่าการหาค่าความเข้มแสงที่ทำให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุดด้วยวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ภาพประกอบ 5-1) จะสามารถหาค่าความเข้มแสงที่ทำให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุดได้อย่างแม่นยำ ในขณะที่การหาค่าความเข้มแสงเพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุดมีความแตกต่างกันกับการหาโดยใช้วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมระหว่างการตัดสินใจของบุคคลที่ 1 (Human Judgment 1) และบุคคลที่ 2 (Human Judgment 2)

สำหรับการใช้วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมในการหาค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุด พบว่าในกรณีที่ตั้งค่าการปรับค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นน้อย (Resolution = 1) จะเกิดการแกว่งของค่าความแตกต่างของภาพสูงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการหาค่าสูงสุด ซึ่งอาจทำการป้องกันได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของภาพในการหาค่าสูงสุด หรือการกำหนดการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงให้มากขึ้น (Resolution > 1)

5.2 การออกแบบวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์

จากผลการทดสอบการปรับตำแหน่งโฟกัสในบทที่ 3 โดยพิจารณาจากค่าความคมชัดของภาพ พบว่าที่ค่าความคมชัดของภาพมีค่าสูงสุดจะเป็นตำแหน่งเลนส์ที่ให้ภาพมีความคมชัดสูงสุด จากผลการทดลองดังกล่าวนำมาออกแบบวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 5-4



ภาพประกอบ 5-4 วิธีการหาตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์

จากภาพประกอบ 5-4 วิธีการหาตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลักคือ ส่วนการตั้งค่าการเตรียมความพร้อม ส่วนการหาค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุด และ ส่วนการคืนค่า

ส่วนที่ 1 ส่วนการตั้งค่าการเตรียมความพร้อม เป็นส่วนแรกสุดของการทำงานประกอบด้วย

- การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ในที่นี้คือ กล้องและคั่นบังคับสำหรับเล่นเกมส์
- การตั้งค่าการหมุนของมอเตอร์ ได้แก่ ความละเอียดของการหมุน ความเร็วและจำนวนรอบ
- ความละเอียดของการหมุน เป็นระยะที่น้อยที่สุดที่มอเตอร์หมุนไปหนึ่งครั้ง ซึ่งหากตั้งค่า

ไว้น้อยๆ จะทำให้จะต้องทำการหมุนหลายครั้งจึงจะได้ระยะที่มากขึ้น หากตั้งค่าไว้มากอาจจะทำให้การหมุนในแต่ละครั้งเลยตำแหน่งค่าความคมชัดของภาพไปได้

- ความเร็วเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์หรือความเร็วในการปรับตำแหน่งโฟกัส

- จำนวนรอบ เป็นจำนวนรอบในการทำงานจะเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดระยะที่ใช้ในการตรวจสอบหรือช่วงของค่าความคมชัดของภาพ ในการเลือกค่าจำนวนรอบจะต้องรู้ระยะหรือช่วงของค่าความคมชัดเป็นอย่างดี แล้วจึงนำมาเลือกค่าจำนวนรอบเพื่อให้ครอบคลุมช่วงบริเวณของค่าความคมชัดที่มากที่สุด

- การปรับตำแหน่งเลนส์เป็นการปรับให้เลนส์อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้ให้ตำแหน่งเริ่มต้นของเลนส์อยู่ห่างจากจุดโฟกัสทางด้านบนเมื่อมองในภาพ สามารถทำปรับตำแหน่งเลนส์โดยใช้คันบังคับสำหรับเล่นเกมส์

- การกำหนดพื้นที่ที่สนใจเป็นการกำหนดพื้นที่หรือภาพที่ต้องการปรับความคมชัด

ส่วนที่ 2 ส่วนการหาค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุด เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งโฟกัส

- การตรวจสอบจำนวนรอบในการทำงาน เป็นเงื่อนไขการตรวจสอบจำนวนรอบหากครบรอบการทำงานระบบจะสิ้นสุดการทำงานในวงรอบการทำงานทันที

- การควบคุมตำแหน่งโฟกัส เป็นการเพิ่มค่าระยะตำแหน่งโฟกัสขึ้นจากตำแหน่งเดิมเพื่อหาตำแหน่งที่ภาพมีค่าความคมชัด

- การจับภาพและคำนวณค่าความคมชัด หลังจากการเพิ่มค่าระยะตำแหน่งโฟกัสแล้วก็จะทำการจับภาพและคำนวณค่าความคมชัดของภาพเพื่อนำไปหาตำแหน่งที่มีค่าความคมชัดที่มากที่สุด

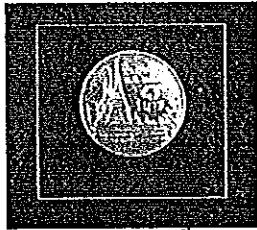
- การหาค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุด โดยใช้การตรวจจับหาค่าสูงสุดจากค่าความคมชัดที่อยู่ติดกันสามค่าจากนั้นเก็บค่าไว้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าจะคำนวณได้ในรอบถัดไป ค่าที่สูงที่สุดจะถูกเก็บไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบต่อไป

ส่วนที่ 3 ส่วนการคืนค่า การคืนค่าจะเกิดขึ้นเมื่อเงื่อนไขของการตรวจสอบจำนวนรอบเป็นจริงค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุดและค่าตำแหน่งของมอเตอร์จะถูกนำไปใช้เป็นตำแหน่งที่ให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุด

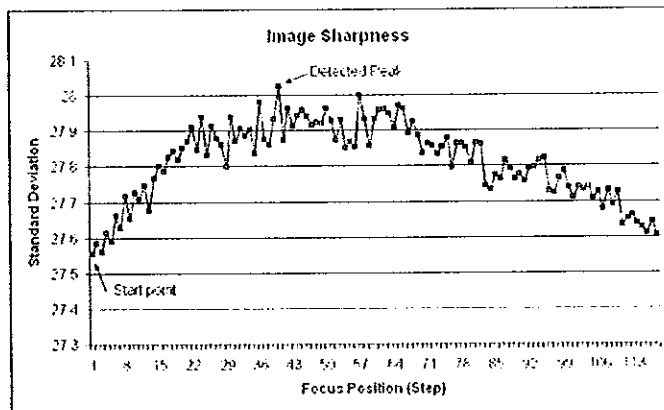
5.2.1 การทดสอบวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์

ในการทดสอบการทำงานของวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัส (ภาพประกอบ 5-1) จะใช้ภาพของเหรียญหนึ่งบาทเป็นภาพทดสอบ พิจารณาดังภาพประกอบ 5-5 ภาพของเหรียญหนึ่งบาทล้อมรอบด้วยกรอบสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นพื้นที่ที่สนใจ โดยใช้แสงส่องสว่างแบบคงที่จากหลอด Fluorescent ในห้องทดลอง เมื่อทำการวัดค่าความเข้มแสงของภาพหรือ Gray level ได้เท่ากับ 140

สามารถพิจารณาผลการทดสอบวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์ ได้ดังภาพประกอบ 5-6



ภาพประกอบ 5-5 ภาพเหรียญหนึ่งบาทล้อมรอบด้วยพื้นที่ที่สนใจสำหรับการทดสอบการวิธีการหาดำแหน่งโฟกัส



ภาพประกอบ 5-6 ตัวอย่างผลการทดสอบวิธีการหาดำแหน่งโฟกัส โดยการปรับตำแหน่งของเลนส์

จากภาพประกอบ 5-3 จุดเริ่มต้น (Start point) เป็นจุดที่กำหนดตามวิธีการหาดำแหน่งโฟกัส (ภาพประกอบ 5-1) ส่วนจุดที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด (Detected peak) เป็นจุดที่วิธีการหาดำแหน่งโฟกัสตรวจพบและตีความหมายว่าเป็นตำแหน่งของเลนส์ที่ภาพมีความคมชัดมากที่สุด นอกจากนี้ในการทดสอบของวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสได้ทำการเปรียบเทียบกับ การปรับตำแหน่งโฟกัสด้วยคน ซึ่งพบว่า การปรับตำแหน่งโฟกัสด้วยวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสที่ได้ ออกแบบมีความแม่นยำและเที่ยงตรงกว่าการปรับโฟกัสด้วยคน

นอกจากนี้ในกรณีการตั้งค่าความละเอียดของการหมุนของมอเตอร์ดำ จะพบว่าเกิดการแกว่งของค่าความคมชัดของภาพสูงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการหาค่าสูงสุด ซึ่งอาจทำการป้องกันได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความคมชัดของภาพในการหาค่าสูงสุด หรือการกำหนดค่าความละเอียดของการหมุนให้มีความละเอียดน้อยลง

5.3 การรวมวิธีการหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน

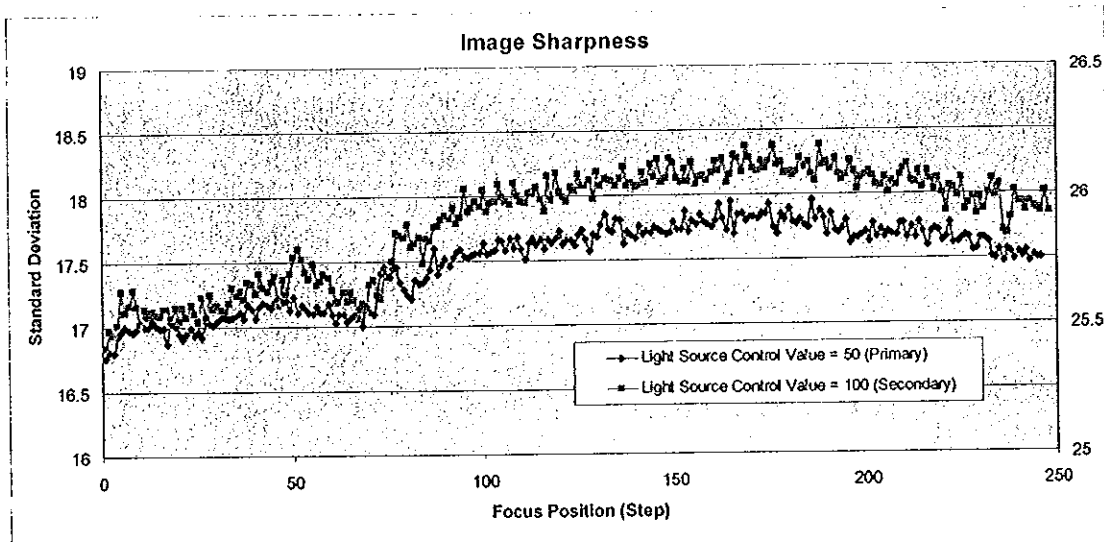
การรวมวิธีการหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมเข้าด้วยกันเป็นการรวมการทำงานของสองระบบเข้าด้วยกันคือการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมและตำแหน่งโฟกัสที่ให้ภาพมีความคมชัดสูงสุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมสองสิ่งที่กล่าวมาเข้าด้วยกันคือคุณภาพของภาพที่ได้จะดีขึ้น ซึ่งพบว่าลำดับก่อนหลังของการทำงานระหว่างการหาค่าความเข้มแสงและตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากผลของการจัดลำดับก่อนหลังของการหาค่าความเข้มแสงหรือตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมอาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของทั้งสองระบบ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อทำการศึกษาถึงผลของการจัดลำดับการทำงานสามารถแบ่งการทดลองได้ดังนี้

- การให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการหาค่าตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสม
- การให้ตำแหน่งโฟกัสคงที่แล้วทำการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

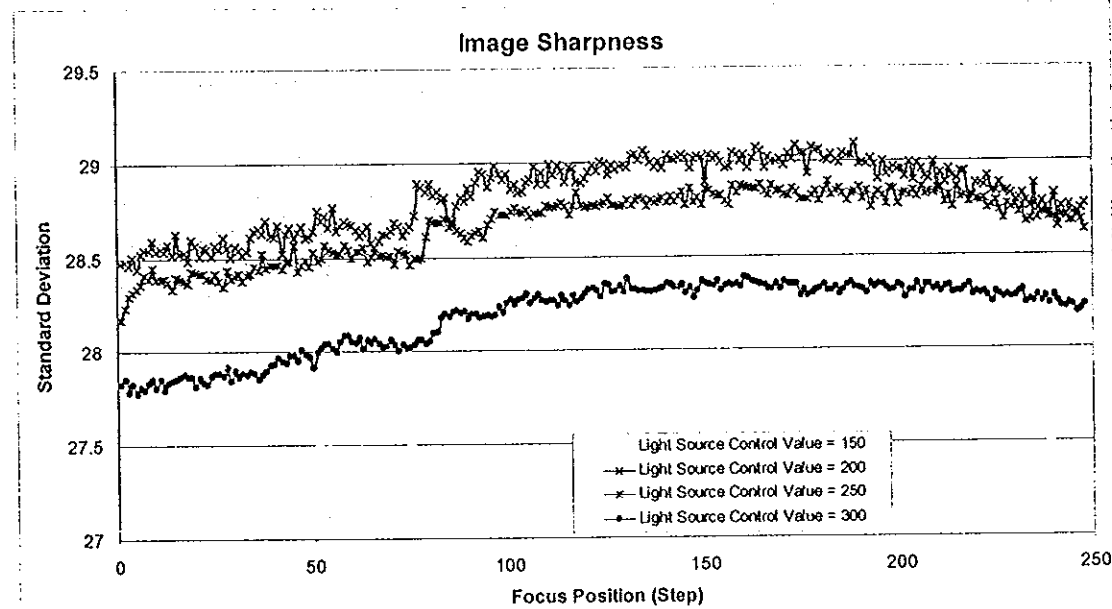
ในการทดลองได้ใช้วัตถุทดลองเหรียญหนึ่งบาท (ภาพประกอบ 5-5) ทำการส่องแสงสีแดงส่องสว่างแบบแสงกระจายสำหรับวัตถุ (ภาพประกอบ 3-7 (ง))

5.3.1 การให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่งโฟกัส

การทดลองการให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่งโฟกัส ซึ่งจะทำการเลือกค่าควบคุมของระดับความเข้มแสงแบบคงที่มา 6 ค่า (50 100 150 200 250 และ 300) จากนั้นจึงใช้วิธีการหาตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งของเลนส์ (ภาพประกอบ 5-4) กับแต่ละค่าควบคุมระดับความเข้มแสงแบบคงที่จนครบทุกค่า โดยเลือกช่วงระยะการเคลื่อนที่ 1 – 250 สเตปของมอเตอร์ ซึ่งเป็นระยะที่ครอบคลุมระยะความคมชัดสูงสุดของภาพ สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพประกอบ 5-7 ซึ่งจะพบว่าที่ระดับความเข้มแสงใดๆ สามารถที่จะสังเกตเห็นจุดที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดหรือจุดที่ภาพมีความคมชัดสูงสุดอยู่ในช่วงของตำแหน่งโฟกัสเดียวกัน นอกจากนี้พบว่าที่ระดับความเข้มแสงเท่ากับ 200 จะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด สามารถแสดงตำแหน่งของโฟกัสจากการปรับตำแหน่งของมอเตอร์ในแต่ละค่าควบคุมของระดับความเข้มแสงแบบคงที่แสดงได้ดังตาราง 5-1



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 5-7 ผลการทดลองการให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่ง โฟกัส (ก)
ระดับความเข้มแสง 50 และ 100 (ข) ระดับความเข้มแสง 150 200 250 และ 300

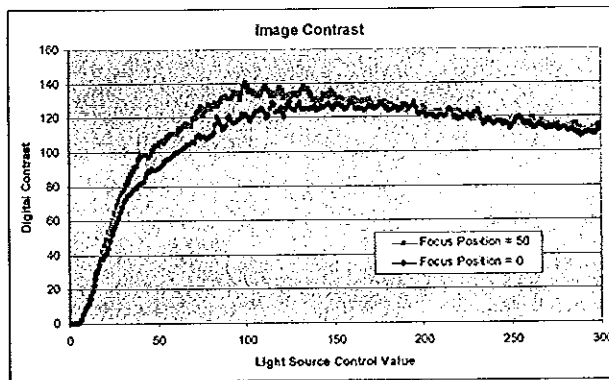
ตาราง 5-1 ตำแหน่งโฟกัสของมอเตอร์ที่เหมาะสม

ค่าระดับความเข้มแสงที่ใช้ควบคุม (Light Intensity Control Value)	ตำแหน่งโฟกัสของมอเตอร์ที่อ่านได้ (Step)
50	186
100	188
150	177
200	189
250	182
300	162

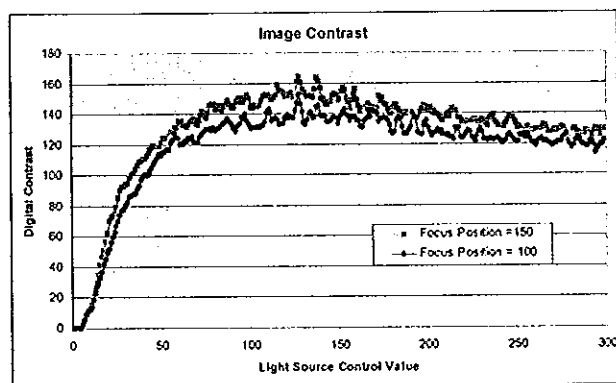
5.3.2 การให้ตำแหน่งโฟกัสที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง

ในเบื้องต้นการทดลองการให้ตำแหน่งโฟกัสที่แล้วทำการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมได้ทำการทดลองในบทที่ 4 (ภาพประกอบ 4-4) สำหรับในครั้งนี้การทดลองการให้ตำแหน่งโฟกัสที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง จะใช้เงื่อนไขการทดลองทดลองเหมือนกันกับการทดลองในการทดลองการให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่งโฟกัส โดยทำการเลือกค่าตำแหน่งมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบคงที่มา 6 ค่า (50 100 150 200 250 และ 300) จากนั้นจึงใช้วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ภาพประกอบ 5-1) กับแต่ละค่าตำแหน่งมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบคงที่ โดยเลือกช่วงระยะค่าควบคุมของระดับความเข้มแสง 1 – 300 ซึ่งเป็นช่วงความเข้มแสงที่ครอบคลุมระยะความสว่างสูงสุดของภาพ

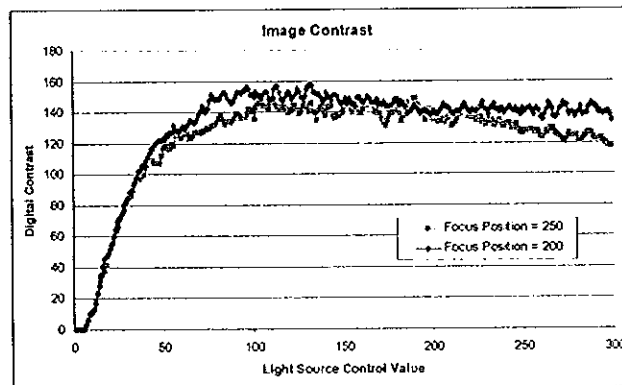
5.3.2.1 ความแตกต่างของภาพ สามารถที่จะสังเกตเห็นจุดที่มีความแตกต่างของภาพสูงที่สุดหรือจุดที่ภาพมีความแตกต่างของภาพสูงที่สุดดังภาพประกอบ 5-8 จุดที่ภาพมีความแตกต่างมากที่สุดของค่าตำแหน่งของโฟกัสที่ดีที่สุด (ตำแหน่งมอเตอร์ = 200) โดยค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมที่ได้เปรียบเทียบกับตำแหน่งโฟกัสสามารถแสดงได้ดังตาราง 5-2



(ก)



(ข)



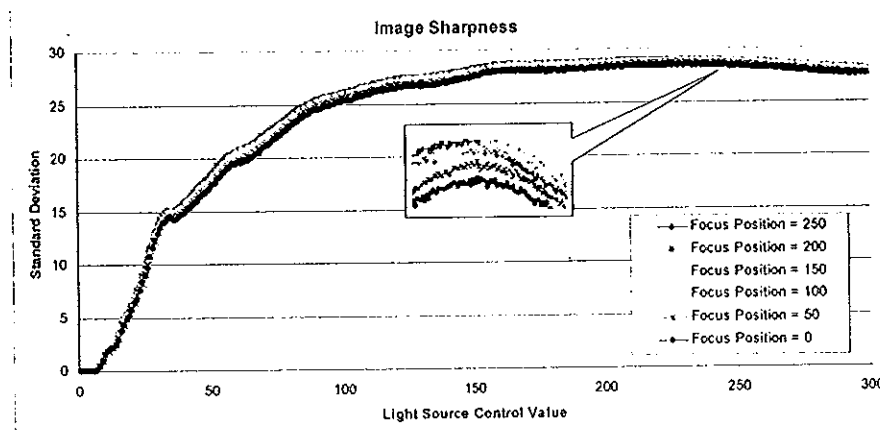
(ค)

ภาพประกอบ 5-8 ผลการทดลองการให้ตำแหน่งโฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง (Average filter Window =3) (ก) ระยะโฟกัส 0 และ 50 (ข) ระยะโฟกัส 100 และ 150 (ค) ระยะโฟกัส 200 และ 250

ตาราง 5-2 ค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับความแตกต่างของภาพ

ตำแหน่งโฟกัสของมอเตอร์ (Step)	ค่าระดับควบคุมความเข้ม แสงที่ได้
0	160
50	100
100	128
150	128
200	133
250	112

5.3.2.2 ความคมชัดของภาพ สามารถที่จะสังเกตเห็นจุดที่มีความแตกต่างของภาพสูงที่สุดหรือจุดที่ภาพมีความคมชัดของภาพภาพสูงที่สุดดังภาพประกอบ 5-9 จุดที่ภาพมีความคมชัดมากที่สุดของค่าตำแหน่งของโฟกัสที่ดีที่สุด (ตำแหน่งมอเตอร์ = 200) โดยค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมที่ได้เปรียบเทียบกับตำแหน่งโฟกัสสามารถแสดงได้ดังตาราง 5-3



ภาพประกอบ 5-9 ผลการทดลองการให้ตำแหน่ง โฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง

ตาราง 5-3 ค่าระดับควบคุมความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับความคมชัดของภาพ

ตำแหน่งโฟกัสของมอเตอร์ (Step)	ค่าระดับควบคุมความเข้ม แสงที่ได้
0	229
50	229
100	234
150	233
200	223
250	229

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งสองการทดลองพบว่า การทดลองการให้ค่าความเข้มแสงคงที่แล้วทำการปรับตำแหน่ง โฟกัสจะให้ค่าตำแหน่งของมอเตอร์เกาะกลุ่มกันมากเสมือนเป็นบริเวณตำแหน่งโฟกัสเดียวกัน ในการทดลองการให้ตำแหน่งโฟกัสคงที่แล้วปรับค่าความเข้มแสง จะสังเกตเห็นปฏิกิริยาของค่าความแตกต่างของภาพ (ภาพประกอบ 5-8) และค่าความคมชัดของภาพ (ภาพประกอบ 5-8) ต่อตำแหน่งโฟกัสที่ชัดที่สุด (ตำแหน่งมอเตอร์ = 200) นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้จากการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัสในบทที่ 3 (ภาพประกอบ 3-20 (ก) และ (ข)) นั่นคือการปรับตำแหน่งโฟกัสจะส่งผลต่อลำแสงที่มากกระทบยังเซนเซอร์ภาพทำให้ความเข้มแสงของภาพเปลี่ยนไปด้วย (เป็นเชิงเส้น) ดังนั้นการเลือกตำแหน่งโฟกัสค่าคงที่ใดๆ แล้วทำการปรับค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมเท่ากับว่าได้เลือกคุณลักษณะของลำแสงที่จะมาตกกระทบยังเซนเซอร์ภาพไปแล้ว ซึ่งการเลือกดังกล่าวขึ้นอยู่กับตำแหน่งโฟกัสที่ได้เลือกมา หากตำแหน่งโฟกัสที่เลือกมาดีที่สุดเท่ากับเป็นการเลือกคุณลักษณะของลำแสงที่จะมาตกกระทบยังเซนเซอร์ที่ดีไปด้วย ดังนั้นในการออกแบบการรวมระบบการปรับค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมและระบบปรับตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมทำโดยการทำการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมก่อนแล้วจึงทำการหาความเข้มแสงที่เหมาะสม

5.3.3 การออกแบบวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสง

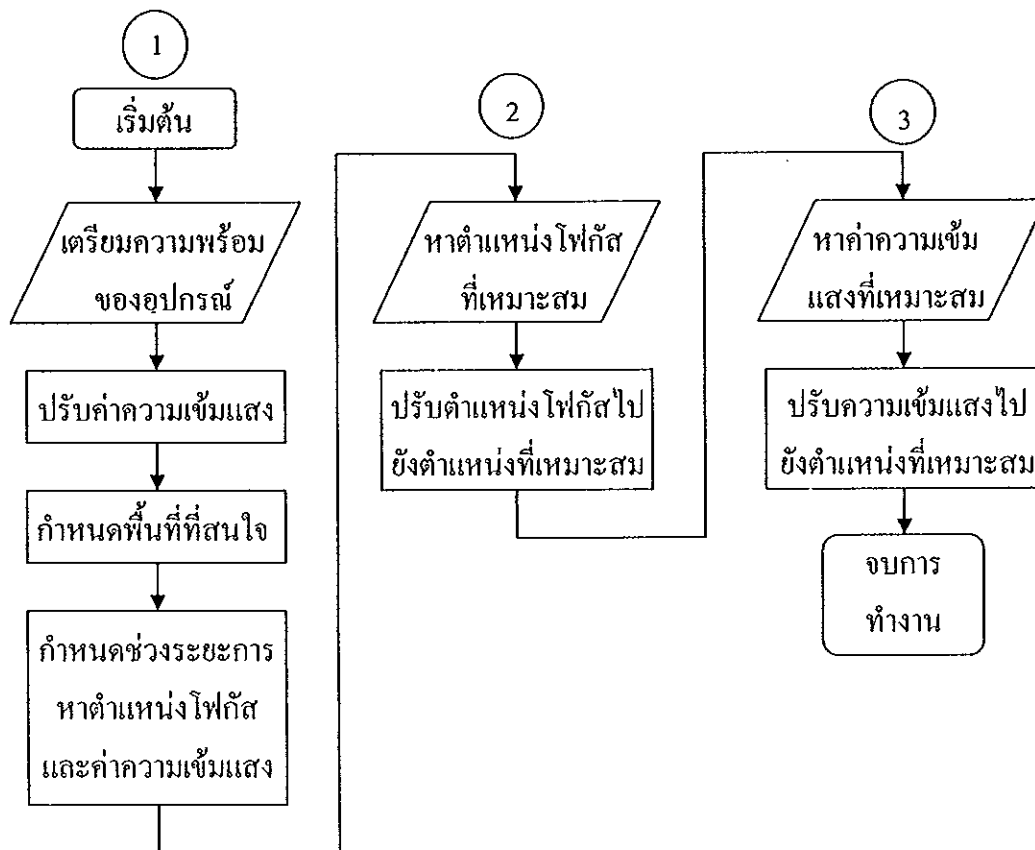
การออกแบบวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 5-10 การทำงานของระบบแบ่งออกได้เป็นสามส่วนซึ่งประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ประกอบด้วยการเริ่มต้นการทำงาน การปรับค่าความเข้มแสงเบื้องต้นเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งโฟกัส การปรับตำแหน่งโฟกัสไปยังตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อเป็นการปรับช่วงการ

หาดำแหน่งไฟก๊สให้เหมาะสมกับวัตถุ การกำหนดพื้นที่ที่สนใจในภาพเพื่อใช้เป็นพื้นที่อ้างอิงในการหาดำแหน่งไฟก๊สและค่าความเข้มแสงและการกำหนดช่วงการหาระยะตำแหน่งไฟก๊สและค่าความเข้มแสงเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการหุคหาดำแหน่งไฟก๊สและค่าความเข้มแสง

ส่วนที่ 2 การหาดำแหน่งไฟก๊สที่เหมาะสมและการปรับตำแหน่งไฟก๊สไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมที่ทำการหาได้ การทำงานในส่วนของการตำแหน่งไฟก๊สจะเหมือนกับระบบควบคุมไฟก๊สที่ได้เคยออกแบบไว้

ส่วนที่ 3 การหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมและการปรับค่าความเข้มแสงไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมที่ทำการหาได้ การทำงานในส่วนของการหาค่าความเข้มแสงจะเหมือนกับระบบควบคุมค่าความเข้มแสงที่ได้เคยออกแบบไว้



ภาพประกอบ 5-10 การออกแบบการรวมการหาดำแหน่งไฟก๊สแล้วหาค่าความเข้มแสง

5.3.4 การออกแบบการปรับตำแหน่งไฟก๊สแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริง

จากการออกแบบการรวมการปรับตำแหน่งไฟก๊สแล้วปรับค่าความเข้มแสง (ภาพประกอบ 5-10) เมื่อนำมาทำการออกแบบการทำงานให้เป็นระบบการทำงานแบบเวลาจริง

พบว่าสามารถที่จะแยกการทำงานแบบเวลาจริงของวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสแล้วหาค่าความเข้มแสงออกเป็นสองกลุ่มได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การทำงานแบบเวลาจริงในส่วนที่ 1 ของวิธีการในภาพประกอบ 5-10 การทำงานของงานในส่วนที่ 1 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการทำงานของวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสแล้วหาค่าความเข้มแสง ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานเป็นแบบเวลาจริง โดยสามารถแสดงภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงได้ดังภาพประกอบ 5-11

<p>1.งานการควบคุมตำแหน่งโฟกัส โดยรับค่าควบคุมจากคันทันบังคับสำหรับเลนส์</p>	<p>2.งานการควบคุมค่าความเข้มแสง โดยรับค่าควบคุมจากปุ่มควบคุม</p>	<p>3.งานการประมวลผลภาพ จับภาพ แสดงผลภาพ บนที่ภาพ รับค่าพื้นที่ที่สนใจ</p>
---	--	---

ภาพประกอบ 5-11 ภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงของกลุ่มการทำงานแบบเวลาจริงกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 2 การทำงานแบบเวลาจริงในส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 ของวิธีการในภาพประกอบ 5-10 เป็นส่วนการทำงานหลักของของวิธีการในภาพประกอบ 5-10 ที่มีความจำเป็นในการทำงานแบบเวลาจริง โดยการใช้เทคนิคในการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถที่จะทำการรวมการทำงานของในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ให้ใช้ทรัพยากรร่วมกันจะสามารถทำการลดภาระงานลงได้ และทำให้สอดคล้องกับการทำงานแบบเวลาจริงมากขึ้น สามารถแสดงภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงได้ดังภาพประกอบ 5-12

<p>1.งานการควบคุมตำแหน่งโฟกัส หรือ ค่าความเข้มแสง</p>	<p>2.งานการประมวลผลภาพ จับภาพ คำนวณค่าความคมชัดของภาพ คำนวณค่าความแตกต่างของภาพ คำนวณค่าความเข้มแสงของภาพ</p>	<p>3.งานการตัดสินใจ หาค่าสูงสุด การตรวจสอบเงื่อนไขการทำงาน</p>
---	---	--

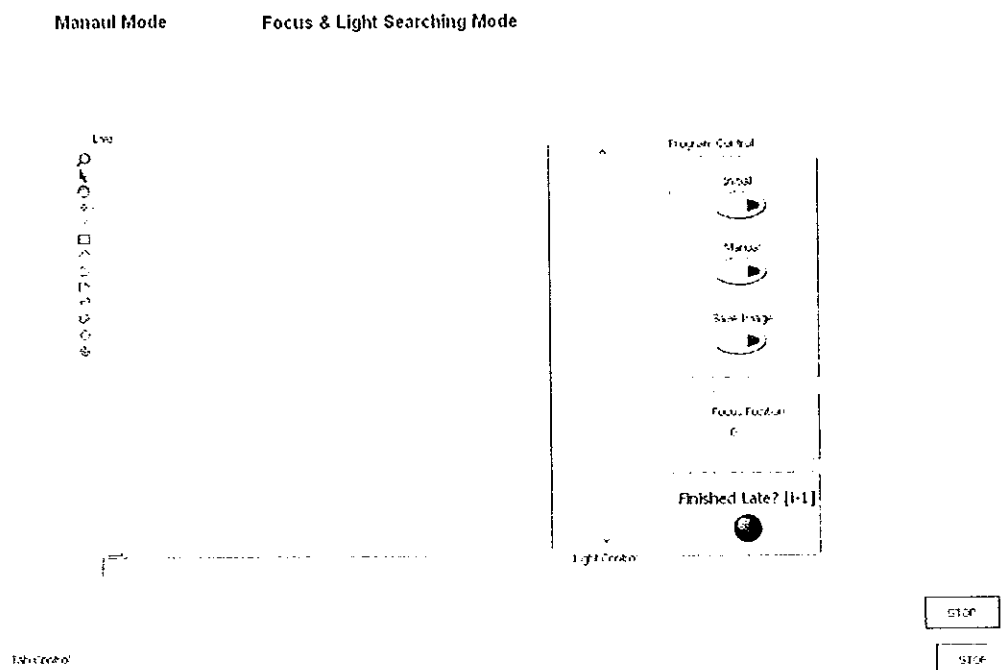
ภาพประกอบ 5-12 ภาระงานของการทำงานแบบเวลาจริงของกลุ่มการทำงานแบบเวลาจริงกลุ่มที่ 2

5.3.5 การพัฒนาวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริงบนโปรแกรม

LabVIEW

การพัฒนาวิธีการปรับตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริงด้วย LabVIEW โดยใช้ฟังก์ชัน Timed loop เป็นตัวควบคุมการทำงานแบบเวลาจริง ตัวโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยกลุ่มการทำงานสองกลุ่มคือ กลุ่มการทำงานที่ 1 ซึ่งตั้งชื่อใหม่ว่ากลุ่มการทำงาน Manual และ กลุ่มการทำงานที่ 2 ซึ่งตั้งชื่อใหม่เป็นกลุ่มการทำงาน Focus & Light Control

กลุ่มการทำงาน Manual แสดงดังภาพประกอบ 5-13 ทำหน้าที่รับคำสั่งในการเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ การปรับค่าความเข้มแสง การปรับตำแหน่งโฟกัสในตอนเริ่มต้น การเลือกพื้นที่ที่สนใจและการบันทึกข้อมูลภาพ ในเบื้องต้นการตั้งค่าการทำงานแบบเวลาจริงได้กำหนดให้คาบทำงาน 220 มิลลิวินาที และให้ระยะเวลาการทำงาน 200 มิลลิวินาที หากในแต่ละคาบทำงานเกิน 200 มิลลิวินาที สถานะการทำงานจะปรากฏให้เห็น



ภาพประกอบ 5-13 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Manual

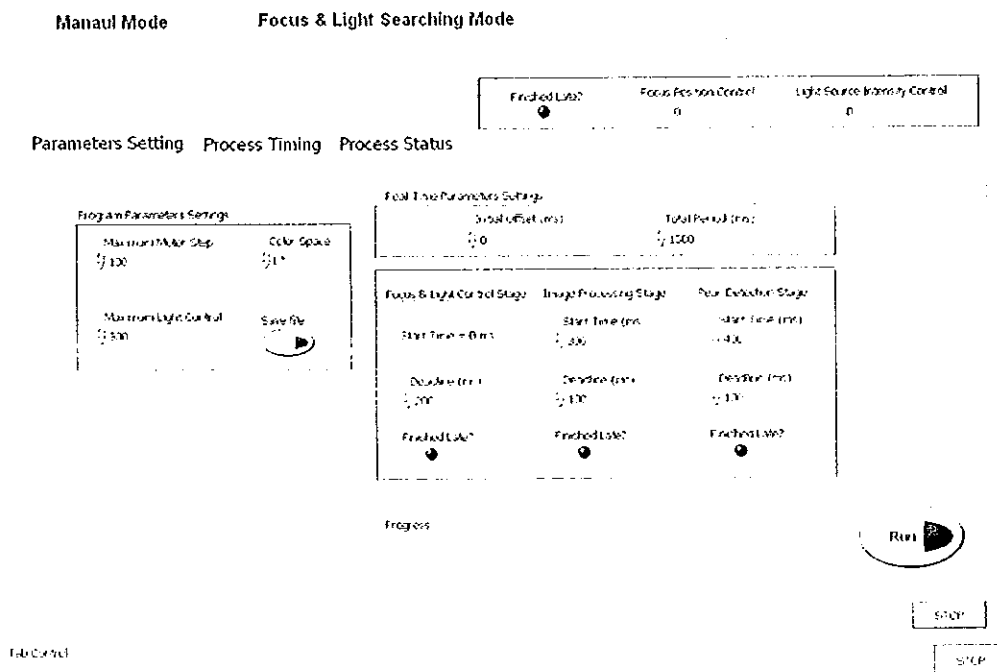
กลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching เป็นการหาค่าตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริงจะประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ

- Parameters Setting เป็นการเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำงานแบบเวลาจริง รับคำสั่งในการเริ่มต้นการทำงานและแสดงสถานะการทำงานซ้ำกว่ากำหนดในแต่ละงานแสดงดังภาพประกอบ 5-14

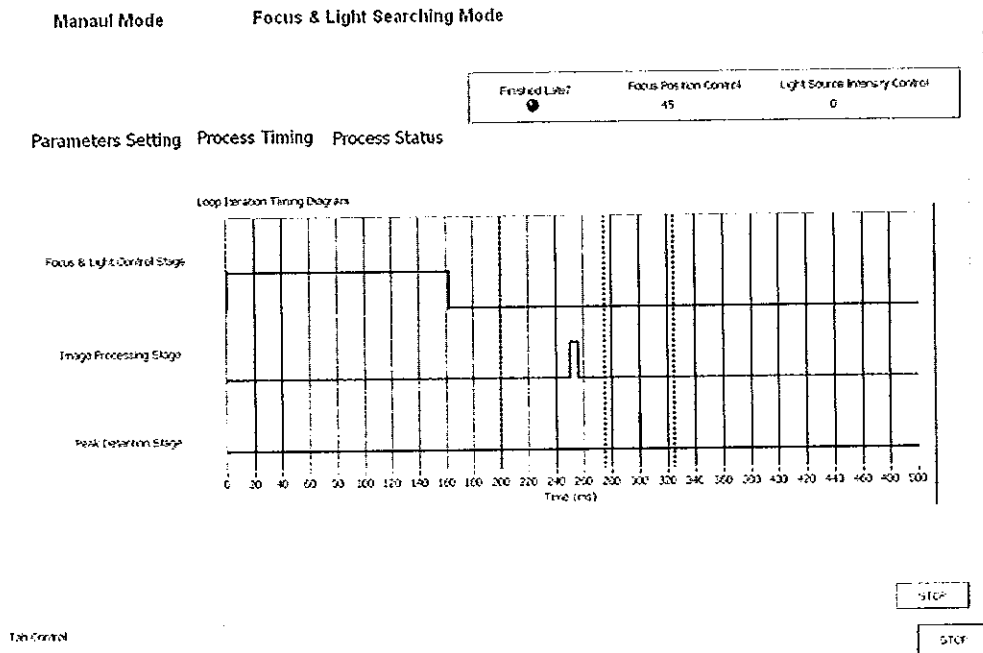
- Process Timing เป็นการแสดงผลเวลาที่ใช้ไปในแต่ละรอบการทำงานของแต่ละงานแสดงดังภาพประกอบ 5-15

- Process Status เป็นส่วนของการแสดงผลการตรวจจับค่าสูงสุดที่และการแสดงกราฟของค่าความแตกต่างของภาพและค่าความคมชัดของภาพดังภาพประกอบ 5-16

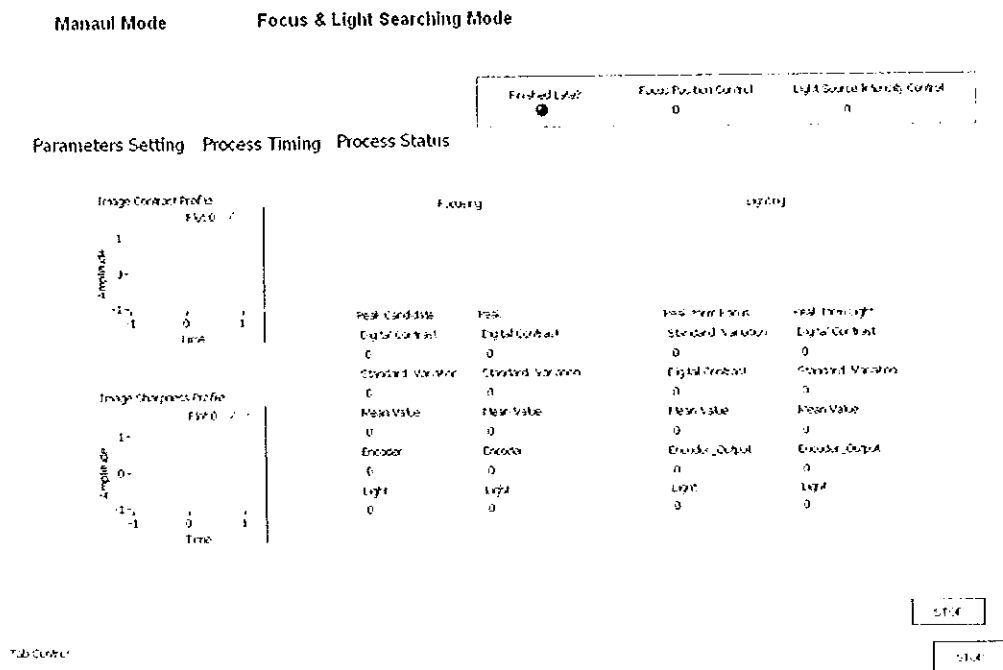
ในการออกแบบกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ได้ให้ความสำคัญมากกว่ากลุ่มการทำงาน Manual กล่าวคือสามารถที่จะทำการกำหนดและตั้งค่าการทำงานแบบเวลาจริงในแต่ละภาระงานหรือมองภาพรวมของงานทั้งหมด ซึ่งการตั้งค่าแสดงดังภาพประกอบ 5-14 และสามารถที่จะพิจารณากราฟเวลาการทำงานของแต่ละภาระงานได้ดังภาพประกอบ 5-15



ภาพประกอบ 5-14 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Parameters Setting



ภาพประกอบ 5-15 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Process Timing



ภาพประกอบ 5-16 ตัวอย่างกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching ส่วนของ Process Status

5.3.6 การทดสอบวิธีการหาค่าตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริง

การทดสอบการทำงานของวิธีการหาค่าตำแหน่งโฟกัสแล้วปรับค่าความเข้มแสงแบบเวลาจริงได้เลือกใช้เหรียญหนึ่งบาทเป็นวัตถุในการทดสอบ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการทดสอบและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

ขั้นตอนที่1 ทำการเปิดโปรแกรมเลือกกลุ่มการทำงาน Manual

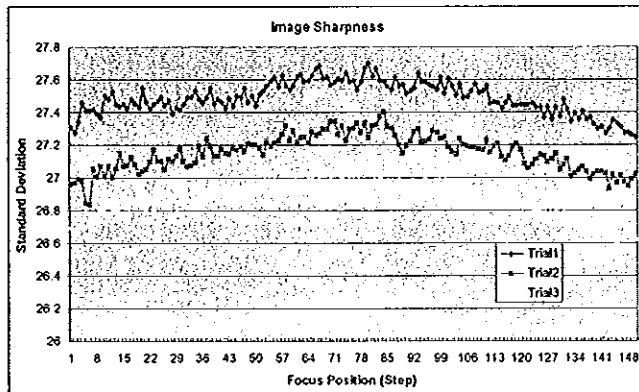
- เลือกปุ่ม Initial การทำงานของ โปรแกรมและอุปกรณ์
- ค่าพารามิเตอร์การทำงานแบบระบบจะถูกติดตั้งไว้แล้วคาบทำงาน 220 มิลลิวินาที
- เลือกปุ่ม Manual เพื่อเข้าสู่การทำงานแบบ Manual โปรแกรมเริ่มต้นทำงานภาพจะปรากฏขึ้น

- ทำการปรับค่าความเข้มแสงทำการปรับความเข้มแสงเพื่อใช้ในการปรับตำแหน่ง โฟกัส
- ทำการตั้งค่าตำแหน่งโฟกัสตอนเริ่มต้นด้วยคั่นบังคับสำหรับเล่นเกมส์
- ทำการวาดพื้นที่ที่สนใจ เป็นการสิ้นสุดการเตรียมความพร้อมของอัลกอริทึม
- เลือกปุ่ม Stop เพื่อออกจากการทำงาน Manual

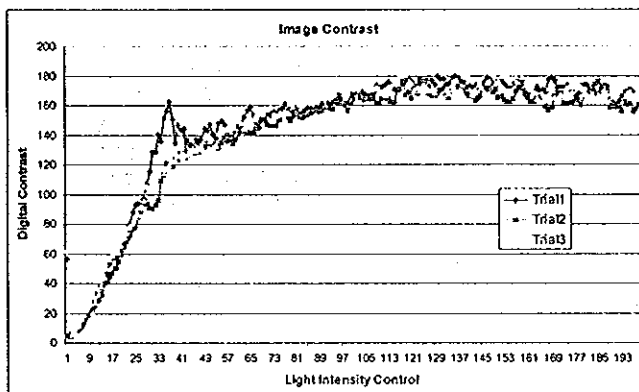
ขั้นตอนที่2 ทำการเปิดโปรแกรมเลือกกลุ่มการทำงาน Focus & Light Searching

- เลือกในส่วนของ Parameters Setting
- ค่าพารามิเตอร์การทำงานแบบเวลาจริงคาบทำงาน 300 มิลลิวินาที
- ตั้งค่าระยะค้นหาตำแหน่ง Focus (150 Steps) และระยะค้นหาความเข้มแสง (0-200)
- เลือกปุ่ม Run โปรแกรมจะทำงานโดยจะหาตำแหน่งโฟกัสก่อน
- เมื่อทำการปรับตำแหน่งโฟกัสครบ 150 Steps แล้วจะได้ตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสม
- ตำแหน่งโฟกัสจะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสม
- โปรแกรมทำการหาความเข้มแสงที่เหมาะสม
- เมื่อค้นหาความเข้มแสงครบ 200 ค่า แล้วจะได้ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

ผลการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าการทำงานของโปรแกรมสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ในส่วนของการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมและค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้ดังภาพประกอบ 5-17 และรูปภาพประกอบ 5-18 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าการปรับตำแหน่งโฟกัสทั้งสามครั้ง ตำแหน่งโฟกัสที่ได้คือ 83, 80 และ 78 ตามลำดับ ในส่วน of ค่าความเข้มแสงที่ได้จากผลการทดลองคือ 136, 124 และ 132 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5-17 ผลการทดสอบของการปรับตำแหน่งโฟกัส



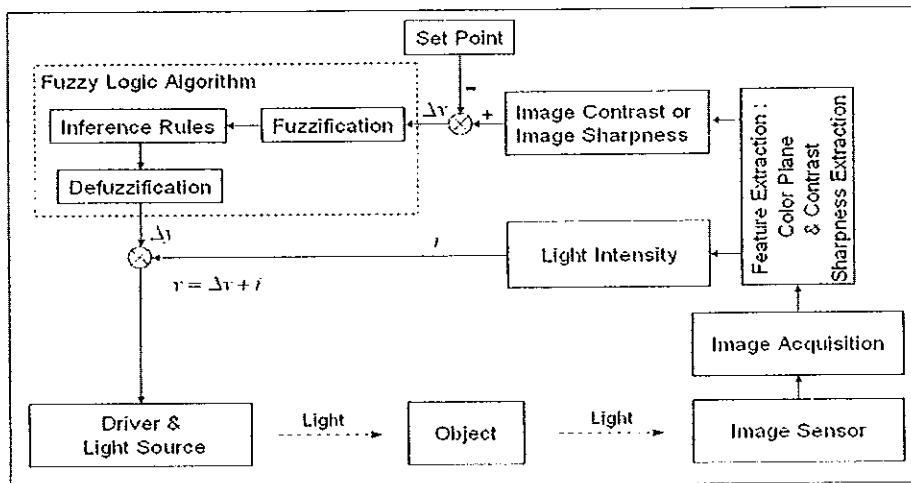
ภาพประกอบ 5-18 ผลการทดสอบของการปรับค่าความเข้มแสง (Average Filter, Mask =3)

5.4 การหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต

ในกรณีที่วัตถุที่ต้องการตรวจสอบมีความไม่แน่นอนทางแสงเกิดขึ้น ทำให้การใช้ค่าความเข้มแสงที่ใช้ควบคุมแบบคงที่ไม่สามารถที่จะทำให้ภาพมีคุณภาพสูงสุดได้ จากประเด็นดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงแบบพลวัต

5.4.1 การออกแบบระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต

การออกแบบระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตทำโดยนำหลักการของพีชชีลอจิกมาใช้ในการหาค่าสูงสุด กล่าวคือระบบที่ออกแบบจะทำการหาค่าสูงสุดของค่าความคมชัดของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพทุกครั้งที่จะทำการตรวจสอบวัตถุอันใหม่สามารถแสดงระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตได้ดังภาพประกอบ 5-19



ภาพประกอบ 5-19 ระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตด้วยฟัซซีลอจิก

จากภาพประกอบ 5-19 ระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตด้วยฟัซซีลอจิกประกอบด้วยระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง (Image acquisition) การคำนวณหาคุณภาพของภาพ (Feature extraction) การกำหนดค่า Set point การหาค่าสูงสุดด้วยฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic algorithm) และการนำค่าจากฟัซซีลอจิกไปควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังต่อไปนี้

5.4.1.1 ระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง (Image acquisition) การทำงานระบบรับข้อมูลภาพจากกล้องจะเหมือนกันกับระบบรับข้อมูลภาพจากกล้องที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งภาพที่ได้จากระบบรับข้อมูลภาพจากกล้องจะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป

5.4.1.2 การคำนวณหาคุณภาพของภาพ (Feature extraction) เป็นการนำภาพที่ได้จากกระบวนการรับข้อมูลภาพจากกล้องมาทำการคำนวณหาค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพ ซึ่งค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพจะนำไปใช้ในการตัดสินใจสำหรับการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ในกระบวนการนี้จะทำการส่งค่าควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้ภาพมีคุณภาพสูงสุดให้กับกระบวนการนำค่าจากฟัซซีลอจิกไปควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงด้วย

5.4.1.3 การกำหนดค่า Set point เป็นการกำหนดค่าโดยการนำค่าสูงสุดของค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพในรอบที่ผ่านมาเป็นค่า Set point ซึ่งเมื่อนำค่า Set point ไปลบกับค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพในรอบปัจจุบันจะเกิดผลต่างขึ้น ซึ่งผลต่างดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปให้กับการทำงานของฟัซซีลอจิก

5.4.1.4 การหาค่าสูงสุดด้วยฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic algorithm) [8] จะทำการรับค่าผลต่างจากกระบวนการทำงานที่ผ่านมาเพื่อนำไปคำนวณหาค่าควบคุมค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้ได้ค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุด ซึ่งแบ่งกระบวนการของฟัซซี่ลอจิกออกเป็น Fuzzification, Inference rules และ Defuzzification สามารถอธิบายการทำงานในแต่ละกระบวนการได้ดังต่อไปนี้

- Fuzzification เป็นกระบวนการเริ่มต้นของฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะทำการรับค่า Δx มาเพื่อทำการแปลงไปสู่การคำนวณแบบฟัซซี่ โดยใช้ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ดังภาพประกอบ 5-20 และกฎของฟัซซี่ลอจิก (Inference rules) ในการแปลงไปสู่ค่าแบบฟัซซี่ลอจิก สามารถแสดงผลลัพธ์ของการทำการแปลง ($\mu F_1, \mu F_2$) ได้ดังสมการที่ 5.1 และสมการที่ 5.2 ตามลำดับ

$$\mu F_1 = \frac{(\Delta x - CrispInput1)}{(CrispInput2 - CrispInput1)} \quad (5.1)$$

$$\mu F_2 = 1 - \mu F_1 \quad (5.2)$$

เมื่อ

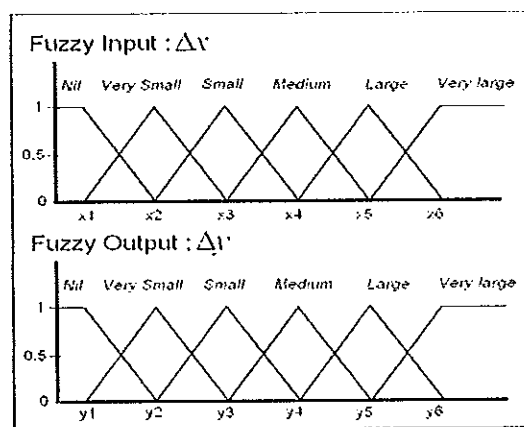
Δx	คือ	ผลต่างระหว่าง Set point กับค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพในรอบปัจจุบัน
$CrispInput1$	คือ	ค่าขอบเขตต่ำสุดของกฎที่ค่า Δx ปรากฏอยู่
$CrispInput2$	คือ	ค่าขอบเขตสูงสุดของกฎที่ค่า Δx ปรากฏอยู่

- Inference Rules เป็นกฎของฟัซซี่ลอจิกที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า (Input) และข้อมูลขาออก (Output) ซึ่งโดยปกติจะใช้หลักการของกฎสหสัมพันธ์ (Association rules) สามารถแสดงกฎที่ได้ทำการออกแบบได้ดังนี้

- ถ้า Δx ไม่มีค่าเลย, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสง
- ถ้า Δx มีค่าน้อยที่สุด, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด
- ถ้า Δx มีค่าน้อย, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสงน้อย
- ถ้า Δx มีค่าปานกลาง, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสงปานกลาง
- ถ้า Δx มีค่ามาก, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสงมาก
- ถ้า Δx มีค่ามากที่สุด, แล้วจะให้ไม่มีการปรับค่าความเข้มแสงมากที่สุด

- Defuzzification เป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายของฟัซซีลอจิก ซึ่งจะทำการแปลงค่าการคำนวณแบบฟัซซีลอจิกกลับไปสู่ค่าที่ใช้ในการควบคุมค่าความเข้มแสง (Δy) เมื่อ μ_{F_1} และ μ_{F_2} ได้จากการคำนวณในสมการที่ (5.1) และสมการที่ (5.2) ตามลำดับ *CrispOutput1* และ *CrispOutput2* จากค่าขอบเขตต่ำสุดของกฎที่ค่า Δy ปรากฏอยู่ และจากค่าขอบเขตสูงสุดของกฎที่ค่า Δy สามารถแสดงผลลัพธ์ของการแปลงค่ากลับได้ดังสมการที่ 5.3

$$\Delta y = (\text{CrispOutput2} * \mu_{F1}) + (\text{CrispOutput1} * \mu_{F2}) \quad (5.3)$$



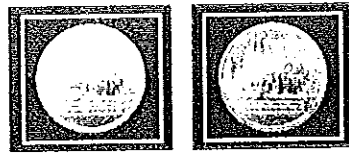
ภาพประกอบ 5-20 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้า และข้อมูลขาออก

5.4.1.5 การนำค่าจากฟัซซีลอจิกไปควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง ทำโดยนำค่าผลลัพธ์จากกระบวนการของฟัซซีลอจิก (Δy) ไปทำการบวกกับค่าความเข้มแสงที่ทำให้ภาพมีคุณภาพสูงสุดที่ได้จากกระบวนการคำนวณหาคุณภาพของภาพ (y_0) ซึ่งสามารถแสดงค่าที่นำไปทำการควบคุมค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง (y) ได้ดังสมการที่ 5.4

$$y = y_0 + \Delta y \quad (5.4)$$

5.4.2 การทดสอบระบบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต

ในการทดลองได้ทำการเลือกวัตถุทดสอบเป็นเหรียญหนึ่งบาทที่มีคุณสมบัติทางแสงแตกต่างกันมาเป็นวัตถุทดสอบดังภาพประกอบ 5-21 และสามารถที่จะพิจารณาค่าความแตกต่างของภาพและค่าความคมชัดของภาพของวัตถุทดสอบได้ดังภาพประกอบ 5-22

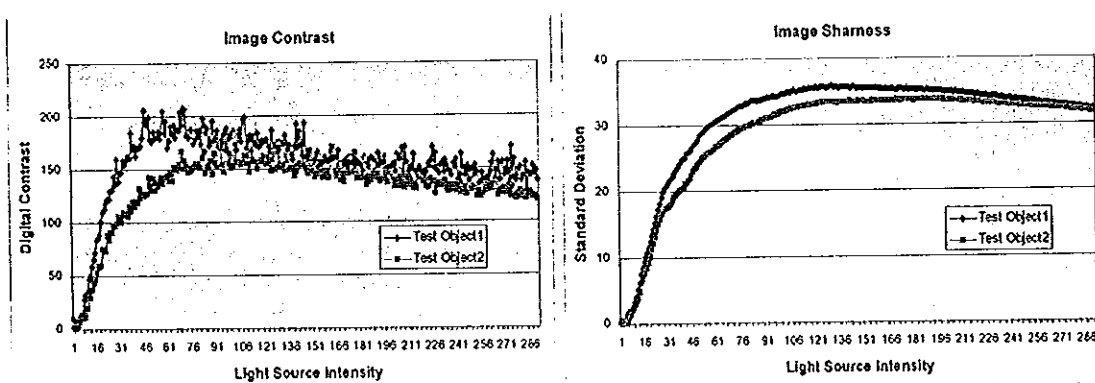


(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 5-21 วัตถุทดสอบสำหรับการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต

(ก) วัตถุทดสอบที่ 1 (Test object1) (ข) วัตถุทดสอบที่ 2 (Test object2)



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 5-22 คุณภาพของภาพวัตถุทดสอบสำหรับการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต (ก) ค่าความแตกต่างของภาพของวัตถุทดสอบ(ข) ค่าความคมชัดของภาพของวัตถุทดสอบ

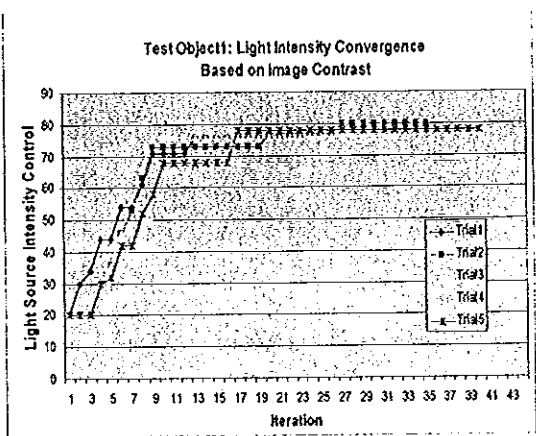
จากภาพประกอบ 5-22 พบว่าค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้ภาพวัตถุทดสอบทั้งสองวัตถุทดสอบมีคุณภาพของภาพที่สูงที่สุดต่างกัน ซึ่งจะนำไปทดสอบการทำงานของระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต ในการทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตได้ทำการทดสอบออกเป็น การหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของภาพและการพิจารณาจากค่าความคมชัดของภาพ

5.4.2.1 การทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของภาพทำการเลือกค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าคือ $x_1=0.5$, $x_2=0.8$, $x_3=1$, $x_4=2$, $x_5=5$, $x_6=10$ และทำการเลือกค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกคือ $y_1=2$, $y_2=2.5$, $y_3=3$, $y_4=3.5$, $y_5=5$, $y_6=10$ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพประกอบ 5-23 (ก) และ (ข) สำหรับวัตถุทดสอบที่ 1 และวัตถุทดสอบที่ 2 ตามลำดับ โดยให้ค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเริ่มต้นเท่ากับ 20 เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน จากผลการทดสอบซ้ำกัน 5 ครั้ง พบว่าค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่หาได้สำหรับวัตถุทดสอบที่ 1 อยู่ระหว่างค่า 68 ถึง 80 โดยที่ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดที่ได้คือ 200 ในขณะที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่หาได้สำหรับวัตถุ

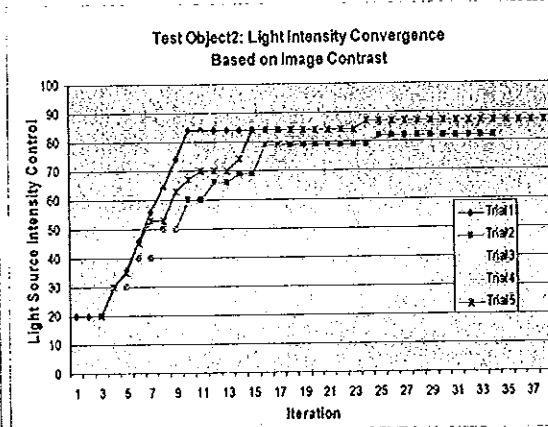
ทดสอบที่ 2 อยู่ระหว่างค่า 82 ถึง 93 โดยที่ค่าความแตกต่างของภาพสูงสุดที่ได้คือ 150 และมีจำนวนรอบในการดูเข้าในช่วง 9-20 รอบ

5.4.2.1 การทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตโดยพิจารณาจากค่าความคมชัดของภาพทำการเลือกค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าคือ $x_1=0.001$, $x_2=0.1$, $x_3=0.5$, $x_4=1.2$, $x_5=5$, $x_6=10$ และทำการเลือกค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกคือ $y_1=2$, $y_2=5$, $y_3=8$, $y_4=10$, $y_5=15$, $y_6=20$ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพประกอบ 5-23 (ค) และ (ง) สำหรับวัตถุทดสอบที่ 1 และวัตถุทดสอบที่ 2 ตามลำดับ โดยให้ค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเริ่มต้นเท่ากับ 60 เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน จากผลการทดสอบซ้ำกัน 5 ครั้งพบว่าค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่หาได้สำหรับวัตถุทดสอบที่ 1 อยู่ระหว่างค่า 132 ถึง 135 โดยที่ค่าความคมชัดของภาพสูงสุดที่ได้คือ 35 ในขณะที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่หาได้สำหรับวัตถุทดสอบที่ 2 อยู่ระหว่างค่า 186 ถึง 200 โดยที่ค่าความคมชัดของภาพสูงสุดที่ได้คือ 33 และมีจำนวนรอบในการดูเข้าในช่วง 9-20 รอบ

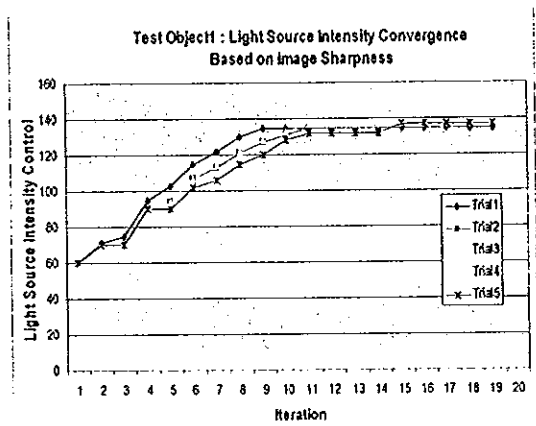
จากผลการทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตพบว่าความถูกต้องในการหาความเข้มแสงที่เหมาะสมและความเร็วหรือจำนวนรอบในการดูเข้าสามารถที่ทำการออกแบบ โดยการเลือกจากค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและการกำหนดค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเริ่มต้น นอกจากนี้ความเร็วหรือจำนวนรอบในการดูเข้าของการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมจะเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพ ซึ่งความเร็วหรือจำนวนรอบในการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัตควรที่จะทำได้เร็วและมีความถูกต้องมากที่สุดถึงจะทำให้ระบบตรวจสอบด้วยภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วย



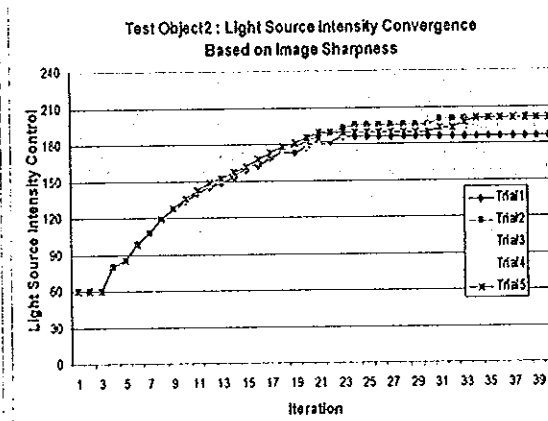
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 5-23 ผลการทดสอบระบบหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต (ก) ค่าความแตกต่างของภาพของวัตถุทดสอบที่ 1 (ข) ค่าความแตกต่างของภาพของวัตถุทดสอบที่ 2 (ค) ค่าความคมชัดของภาพของวัตถุทดสอบที่ 1 (ง) ค่าความคมชัดของภาพของวัตถุทดสอบที่ 2

บทที่ 6

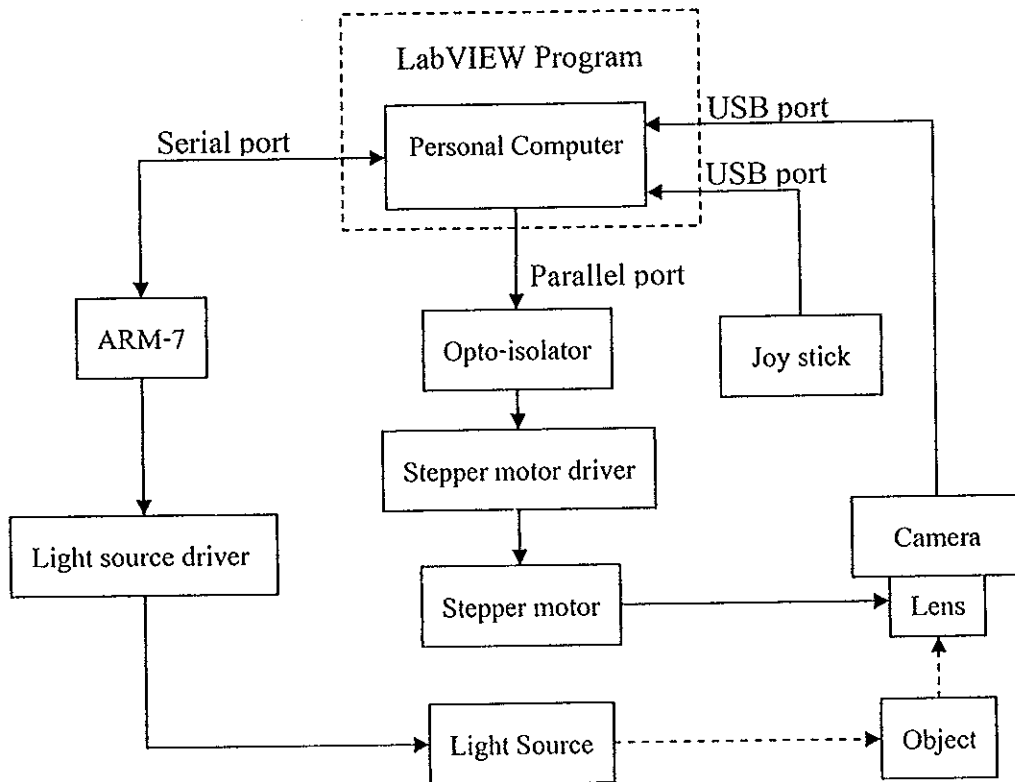
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปเกี่ยวกับงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรค ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริงเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพต่อไป

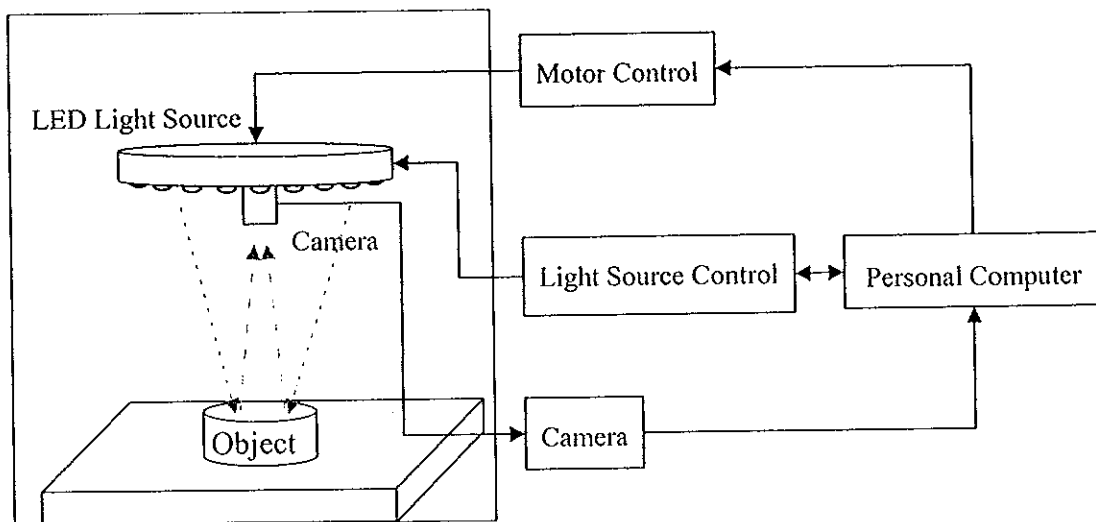
6.1 สรุปผล

จากการศึกษาองค์ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริงพบว่า การออกแบบแสงและการออกแบบฉากจะส่งผลกระทบต่อระบบตรวจสอบด้วยภาพ กล่าวคือประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจสอบด้วยภาพจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบแสงและการออกแบบฉาก จากการศึกษาดังกล่าวได้ตั้งประเด็นวิจัยไปที่ การศึกษาผลของการปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์ และผลของการปรับค่าความเข้มแสงโดยการปรับพลังงานไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดแสงสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบเวลาจริง

จากประเด็นวิจัยดังกล่าวได้นำไปสู่การออกแบบระบบพื้นฐานของการตรวจสอบด้วยภาพซึ่งประกอบด้วย ระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง ระบบควบคุมความเข้มแสง และระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส เพื่อใช้เป็นระบบพื้นฐานในการศึกษาผลของการปรับตำแหน่งโฟกัสและการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสง ซึ่งสามารถพิจารณาสถาปัตยกรรมรวมของระบบได้ดังภาพประกอบ 6-1 และ โครงสร้างของระบบที่ได้ทำการออกแบบได้ดังภาพประกอบ 6-2



ภาพประกอบ 6-1 สถาปัตยกรรมรวมของระบบ



ภาพประกอบ 6-2 โครงสร้างของระบบ

6.1.1 การศึกษาผลของการปรับตำแหน่งโฟกัสและผลของการปรับความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ

ในการศึกษาผลของการปรับตำแหน่งโฟกัสและการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงทำการพิจารณาจากคุณภาพของภาพได้แก่ ความเข้มแสงของภาพ ความแตกต่างของภาพ และความคมชัดของภาพ ซึ่งพบว่าผลของการปรับตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงที่ได้ ออกแบบมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6-1 โดยปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง คุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุ การเลือกใช้เทคนิคการออกแบบแสง การตั้งค่าพารามิเตอร์ของกล้อง การเลือกกระบอกสี การเลือกระนาบสี และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ

ตารางที่ 6-1 ผลของการศึกษาการปรับตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพ

	ความเข้มแสงของภาพ	ความแตกต่างของภาพ และความคมชัดของภาพ
การปรับตำแหน่งโฟกัส เพิ่มขึ้นหรือลดลง	มีแนว โน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นเชิงเส้น	มีแนว โน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆลดลงสามารถที่จะสังเกตเห็นค่าสูงสุดได้ ซึ่งที่ค่าสูงสุดเป็นตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสม
การปรับค่าความเข้มแสง เพิ่มขึ้น	มีแนว โน้มเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นหรือพหุนาม	มีแนว โน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆลดลงสามารถที่จะสังเกตเห็นค่าสูงสุดได้ ซึ่งที่ค่าสูงสุดเป็นค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

จากตารางที่ 6-1 ผลของการศึกษาการปรับตำแหน่ง โฟกัสและค่าความเข้มแสงต่อคุณภาพของภาพได้นำไปสู่การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมและวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ภาพมีคุณภาพมากที่สุดก่อนที่จะนำภาพ ไปทำการประมวลผล โดยทำการพิจารณาค่าความแตกต่างของภาพหรือค่าความคมชัดของภาพที่สูงที่สุด

ในการทดสอบการทำงานของวิธีการหาดำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสมพิจารณาจากค่าความคมชัดของภาพซึ่งคำนวณจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าการทำงานของวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมสามารถที่จะตรวจหาจุดที่ภาพมีความคมชัดที่สูงที่สุดได้ทุกครั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการหาดำแหน่งโฟกัสด้วยคน พบว่าวิธีการหาดำแหน่ง โฟกัสที่เหมาะสมสามารถหาดำแหน่งโฟกัสได้แม่นยำกว่าการหาดำแหน่งโฟกัสด้วยคน สำหรับการทดสอบการทำงานของวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถพิจารณาจากค่าความแตกต่างของภาพซึ่งคำนวณจากค่าความแตกต่างของภาพแบบดิจิทัลหรือค่าความคมชัดของภาพของภาพซึ่งคำนวณจากค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐาน (ในการเลือกใช้ค่าความแตกต่างของภาพหรือความคมชัดของภาพขึ้นอยู่กับความต้องการของการตรวจสอบหรืออัลกอริทึมของการตรวจสอบ) พบว่าการทำงานของวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถที่จะตรวจหาจุดที่ภาพมีความคมชัดของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพที่สูงที่สุดได้ทุกครั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมด้วยคน พบว่าวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมมีความแม่นยำมากกว่าคน จากนั้นได้นำวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมและวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมมาทำการออกแบบรวมเข้าด้วยกันเป็นระบบการทำงานแบบเวลาจริง ซึ่งในการรวมเข้าด้วยกันจะทำการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมก่อน เนื่องจากตำแหน่งโฟกัสหรือตำแหน่งของเลนส์จะส่งผลต่อการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม ในการออกแบบการรวมวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสแล้วทำการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบเวลาจริง โดยแบ่งการทำงานออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มการทำงาน Manual เป็นการเคาะความพร้อมของอุปกรณ์และการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆและกลุ่มการทำงาน Focus & Light source searching เป็นการหาค่าตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม จากนั้นทำการทดสอบการทำงานซึ่งพบว่าการตรวจหาค่าสูงสุดและการทำงานในช่วงเวลาที่กำหนดของระบบทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ สามารถพิจารณาเวลาของการทำงานแบบเวลาจริงของระบบได้ดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 เวลาของการทำงานแบบเวลาจริงของระบบ

	คาบเวลาการทำงาน (มิลลิวินาที)	ระยะเวลาการทำงาน (มิลลิวินาที)
กลุ่มการทำงาน Manual	220	200
กลุ่มการทำงาน Focus & Light Source Searching	300 (Focus Searching)	280 (Focus Searching)
	150 (Light Searching)	130 (Light Searching)

ในการนำวิธีการหาค่าความเข้มแสงและวิธีการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมแบบเวลาจริงไปประยุกต์ใช้งานจริงสามารถทำได้โดยการนำไปเป็นระบบหาค่าความเข้มแสงและหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมแทนการตัดสินใจด้วยคน ซึ่งตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงที่หาได้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวควบคุมแบบคงที่ (Static control) ของตำแหน่งโฟกัสและค่าความเข้มแสงสำหรับวัตถุที่ต้องการตรวจสอบทั้งหมด ดังนั้นในการหาตำแหน่งโฟกัสที่เหมาะสมและหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพที่ออกแบบจำเป็นที่จะต้องอาศัยวัตถุทดสอบ (Train object) ที่สามารถเป็นตัวแทนวัตถุทั้งหมดที่ต้องการตรวจสอบได้ จึงจะทำให้ตำแหน่งโฟกัส

หรือค่าความเข้มแสงที่ได้มีความถูกต้องและครอบคลุมวัตถุที่ต้องการตรวจสอบทั้งหมด ซึ่งจะเหมาะสมกับระบบตรวจสอบที่มีเสถียรภาพสูงและวัตถุทดสอบมีความแน่นอนสูง

นอกจากนี้พบว่าในกรณีที่วัตถุที่ต้องการตรวจสอบมีความไม่แน่นอนทางแสงเกิดขึ้นทำให้การใช้ค่าความเข้มแสงที่ใช้ควบคุมแบบคงที่ ไม่สามารถที่จะทำให้ภาพมีคุณภาพสูงสุดได้ จากประเด็นดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบวิธีการหาค่าความเข้มแสงแบบพลวัต โดยนำหลักการของฟัซซีลอจิกมาใช้ในการหาค่าสูงสุด กล่าวคือระบบควบคุมจะทำการหาค่าสูงสุดของค่าความคมชัดของภาพหรือค่าความแตกต่างของภาพทุกครั้งที่จะทำการตรวจสอบวัตถุอันใหม่ ในการออกแบบการหาค่าสูงสุดแบบฟัซซีลอจิกได้ใช้ Inference rule จำนวน 6 กฎ เพื่อให้สามารถหาค่าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง ในการทดสอบการทำงานพบว่าทางเลือกค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีจะส่งผลต่อความถูกต้องและความเร็วในการหาค่าสูงสุด ซึ่งการเลือกค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีลอจิกจะแตกต่างกันระหว่างการหาค่าสูงสุดของค่าความแตกต่างของภาพและความคมชัดของภาพเนื่องจากลักษณะรูปร่างของค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นต่างกัน การเพิ่มความเร็วในการลู่เข้าค่าสูงสุดทำได้โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและการเลือกค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีพบว่าจำนวนรอบของการลู่เข้าค่าสูงสุดในการทดสอบอยู่ในช่วงประมาณ 9-20 รอบของการค้นหาค่าสูงสุด ซึ่งถือว่าจำนวนรอบในการลู่เข้าที่ยังสูงอยู่ ดังนั้นการออกแบบวิธีหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมที่ใช้จำนวนรอบในการประมวลผลที่น้อยที่สุดและมีความถูกต้องแม่นยำสูงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการควบคุมแบบพลวัต

สำหรับในมุมมองของการหาดำแหน่งโฟกัสแบบพลวัตสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพต่างๆไปถือว่ายังไม่มีความจำเป็นมากนัก เนื่องจากสามารถที่จะทำการชดเชยความคลาดเคลื่อนของระยะโฟกัสหรือความคลาดเคลื่อนของวัตถุที่ส่งผลต่อระยะโฟกัสได้โดยการเลือกใช้เลนส์ที่มีความลึกของภาพครอบคลุมระยะคลาดเคลื่อนดังกล่าว แต่ถ้าหากนำระบบตรวจสอบด้วยภาพไปใช้ในการตรวจสอบระยะความสูงของชิ้นงานหรือขนาดของชิ้นงานแบบละเอียดจะทำให้การปรับตำแหน่งโฟกัสแบบพลวัตเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อระบบตรวจสอบด้วยภาพมาก เมื่อเป็นเช่นนั้นแล้วความถูกต้องแม่นยำและความเร็วในการปรับตำแหน่งโฟกัสจะกลายเป็นสิ่งที่ความต้องการสูงเช่นกัน

6.1.2 การศึกษาผลของการปรับความเข้มแสงต่อการประมวลผลของอัลกอริทึม Color Pattern Matching

เป็นการศึกษาผลของการปรับระดับค่าความแสงของภาพไปที่ระดับค่าความเข้มแสงแล้วนำภาพมาทำการประมวลผลด้วยอัลกอริทึม Color Pattern Matching จากนั้นจึงทำการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม Color Pattern Matching เทียบกับระดับค่าความแสงของ

ภาพ โดยทำการเลือกภาพต้นแบบที่ใช้ในการประมวลผลจากภาพที่มีค่าความเข้มแสง 3 ระดับ คือ ความเข้มแสงระดับต่ำ ความเข้มแสงระดับปานกลาง และความเข้มแสงระดับสูง จากนั้นนำภาพที่มีค่าความเข้มแสงในแต่ละระดับดังกล่าวไปทำการประมวลผลกับภาพทั้งหมดที่มีค่าความแสงต่างๆ ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้ภาพที่มีค่าความเข้มแสงระดับเป็นภาพต้นแบบจะใช้เวลาในการประมวลผลสั้นที่สุด ในขณะที่การประมวลผลยังคงมีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งพบว่าแนวโน้มในการพัฒนาการทำงานของระบบประมวลผลในระบบตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชันจะใช้อัลกอริทึมที่มีการออกแบบการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการประมวลผล ดังนั้นในการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสงจากการทำงานของอัลกอริทึมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจสอบด้วยภาพ

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.2.1 ปัญหา

6.2.1.1 องค์ความรู้และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเรื่องระบบตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชันเป็นการนำองค์ความรู้ทางด้านต่างๆ มาประยุกต์รวมกัน ซึ่งทำให้เกิดความยากในสืบค้นข้อมูล เนื่องจากข้อมูลมีอยู่หลายแหล่ง มีองค์ความรู้หลายด้านทำให้เกิดความยากในการทำความเข้าใจและส่งผลให้ใช้เวลาในการทำศึกษานาน

6.2.1.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชันเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาด้วยเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ความละเอียดและความเร็วสูง ทำให้เป็นวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาสูง

6.2.1.3 โปรแกรมสำหรับระบบตรวจสอบด้วยภาพหรือระบบแมชชีนวิชันและโปรแกรมสำหรับการทำงานแบบเวลาจริงมีราคาสูง ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะทาง มีรายละเอียดและความซับซ้อนในการติดตั้งและการใช้งานสูง

6.2.1.4 ในการออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง พบว่าการออกแบบให้การส่องสว่างมีความสม่ำเสมอในพื้นที่ที่ต้องการทำได้ยาก ซึ่งหากพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่างมีขนาดใหญ่ขึ้นการส่องสว่างให้มีความสม่ำเสมอจะทำได้ยากยิ่งขึ้นไปอีก

6.2.1.5 ในการออกแบบระบบปรับตำแหน่งโฟกัสโดยการปรับตำแหน่งเลนส์ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเกลียวที่ยึดติดกับเลนส์ ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำในการปรับตำแหน่งโฟกัส

6.2.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.2.1 ผู้ที่สนใจจะวิจัยเกี่ยวกับระบบตรวจสอบด้วยภาพควรทำการศึกษาองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบด้วยภาพอย่างลึกซึ้ง โดยเฉพาะเรื่องของการออกแบบแสงและอุปกรณ์ทางแสงเนื่องจากจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดภาระการออกแบบและการทำงานของระบบตรวจสอบด้วยภาพ

6.2.2.2 ผู้ที่สนใจจะวิจัยเกี่ยวกับระบบตรวจสอบด้วยภาพจะต้องเน้นให้ความสำคัญในการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้การส่องสว่างที่มีความสม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ

6.2.2.3 การใช้หลอด LED สำหรับการส่องสว่าง ควรเน้นให้ความสำคัญในการศึกษาบริเวณหรือระยะที่เป็นจุดอับแสง (Blind spot) ของหลอด LED ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการออกแบบการส่องสว่างที่มีความสม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการออกแบบการส่องสว่างที่มีความสม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ และนำไปสู่การใช้จำนวนของหลอด LED ที่เหมาะสมกับงานส่องสว่าง

6.2.2.4 ความสว่างของหลอด LED มีความไม่แน่นอนเนื่องจากกระบวนการผลิต ในการใช้งานควรมีการสอบเทียบความสว่างของหลอด LED ก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งหลอด LED ที่นำมาใช้งานควรมีคุณภาพความสว่างของหลอดที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

6.2.2.5 การเลือกใช้หลอด LED สีขาวสำหรับงานการตรวจสอบด้วยภาพที่ต้องการแยกสีของวัตถุจะต้องระมัดระวังการเลือกชนิดหรือช่วงความยาวคลื่นของหลอด LED สีขาว และควรเลือกชนิดของหลอด LED สีขาวที่ตอบสนองต่อสีของวัตถุที่ต้องการแยกเป็นหลัก

6.2.2.6 วงจรขับหลอด LED ที่ได้ทำการออกแบบยังขาดความน่าเชื่อถือ ในกรณีที่ใช้ค่าความต้านทาน R2 เท่ากับ 0 หากทรานซิสเตอร์เกิดความเสียหายและทำให้สัญญาณที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ต่อลงกราวด์จะทำให้หลอด LED เกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งในการนำไปใช้งานในภาคสนามสามารถทำการออกแบบเพื่อให้วงจรขับมีความน่าเชื่อถือ โดยการกำหนดค่าความต้านทาน R2 ขั้นต่ำ แล้วทำการปรับแรงดันที่จ่ายให้วงจรขับหลอด LED เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยความสว่างของหลอด LED ซึ่งความต้านทาน R2 ขั้นต่ำต้องเป็นค่าความต้านทานที่ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดสวิทช์ด้วย นอกจากนี้สามารถที่จะทำการเลือกใช้วงจรขับหลอด LED แบบที่มีขายในปัจจุบัน เช่น ไอซีตระกูล TLC 5945 ของ Texas Instruments เป็นวงจรขับหลอด LED ที่มีมาตรฐานซึ่งใช้หลักการควบคุมความเข้มแสงแบบ PWM จำนวน 16 ช่องสัญญาณ และมีฟังก์ชันการกำหนดการชดเชยความสว่างของหลอด LED ในแต่ละช่องสัญญาณ

6.2.2.7 สามารถทำการป้องกันผลของอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดแสงต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงได้โดยการควบคุมการ เปิดแหล่งกำเนิดแสงเฉพาะช่วงเวลาที่ใช้

งาน และปิดในช่วงเวลาที่ไม่ใช้งาน เพื่อลด การเกิดความร้อนของหลอด รวมถึงการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับแหล่งกำเนิดแสง

6.2.2.8 การพิจารณาความแตกต่างของภาพระหว่างพื้นที่ที่ต่างกัน เช่น ระหว่างภาพวัตถุและภาพพื้นหลัง สามารถทำการพิจารณาจากความแตกต่างของภาพเชิงพื้นที่ ทำโดยการนำค่าความเข้มแสงสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ที่สนใจมาทำการหาค่าความแตกต่างของภาพกับค่าความเข้มแสงต่ำสุดเฉลี่ยของพื้นที่ที่สนใจ

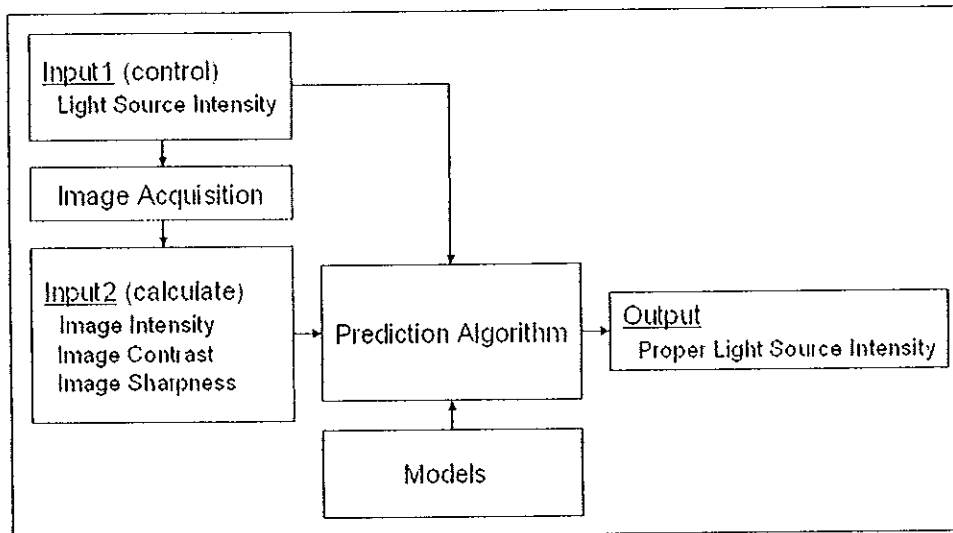
6.2.2.9 แนวทางการศึกษาการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถที่ทำการพิจารณาจากอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลของภาพ เช่น ในกรณีต้องการตรวจสอบขอบภาพพิจารณาจาก Gradient information หรือในกรณีที่ต้องการตรวจสอบเนื้อหรือผิวของภาพพิจารณาจากการ Segmentation ของเนื้อหรือผิวของภาพ เป็นต้น

6.2.2.10 ในระบบตรวจสอบด้วยภาพที่มีการใช้การปรับขนาดช่องรับแสง ควรทำการศึกษาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมร่วมกับการควบคุมขนาดของช่องรับแสง เนื่องจากการปรับขนาดช่องรับแสงจะส่งผลต่อความเข้มแสงของภาพ และทำให้ระยะความคมชัดของภาพเปลี่ยนไป

6.2.2.11 ในการพัฒนาระบบการทำงานแบบเวลาจริงในงานวิจัย ได้ใช้โปรแกรม LebVIEW ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window ซึ่งมีข้อจำกัดในการทำงานแบบเวลาจริงเนื่องจากการทำงานของระบบปฏิบัติการ Window จึงควรใช้ระบบปฏิบัติการ LebVIEW Real-time ซึ่งจะทำให้การทำงานของระบบเป็นการทำงานแบบเวลาจริงอย่างสมบูรณ์

6.2.3 ข้อเสนอแนะวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตต่อในอนาคต

6.2.3.1 วิธีหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต เพื่อเป็นการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับวัตถุทดสอบที่มีความไม่แน่นอนเชิงแสง เนื่องจากวิธีการหาค่าความเข้มแสงแบบพลวัตโดยใช้หลักการของพีชคณิตเชิงเส้นมีจำนวนรอบในการทำงานมากซึ่งจะทำให้การทำงานของระบบตรวจสอบด้วยภาพช้าไปด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการนำเสนอวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตแบบใหม่ที่จะช่วยลดจำนวนรอบการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม เนื่องจากการทำการทดลองที่ผ่านมาได้สังเกตเห็นความสัมพันธ์ของค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมกับค่าความเข้มแสงของภาพ ค่าความแตกต่างของภาพ หรือค่าความคมชัดของภาพ เมื่อควบคุมปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง สามารถแสดงวิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตแบบใหม่ได้ดังภาพประกอบ 6-3



ภาพประกอบ 6-3 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัต โดยการพยากรณ์

จากภาพประกอบ 6-3 วิธีการหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมแบบพลวัตโดยการพยากรณ์ ซึ่งจะใช้หลักการของการสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม แบบจำลองดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นด้วยความสัมพันธ์ของการปรับค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแล้วทำการจับภาพเพื่อคำนวณหาค่าความเข้มแสงของภาพ ค่าความแตกต่างของภาพ หรือค่าความคมชัดของภาพ เพื่อใช้ในการพยากรณ์หาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม โดยการทำงานของพยากรณ์จะใช้จำนวนรอบในการทำงานเพียงหนึ่งรอบจะสามารถทำการพยากรณ์ค่าความเข้มแสงได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุทดสอบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุทดสอบ ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำของการพยากรณ์

บรรณานุกรม

- [1] ธีัญญาธร พงษ์พราหมณ์ และ พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์, การตัดแยกเซลล์มะเร็งเต้านมด้วยสีโดยวิธีการแบ่งกลุ่มแบบ K-Mean, การประชุมทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, หน้า 336-339.
- [2] R. Byrd, R. Balaji, Real Time 2-D Face Detection Using Color Ratios and K-Mean Clustering, ACM SE'06, March 10–12, 2006, Melbourne, FL, USA, pp. 644-648.
- [3] Thanarat H. Chalidabhongs, P. Rattanathammawat, License Plate Localization of Moving Vehicles in Complex Scene, The 2006 IEEE Asia Pacific Conf. on Circuits and Systems (APCCAS 2006), Singapore, 2006, pp. 1136-1139.
- [4] P. Tantaswadi, Machine Vision for Automated Visual Inspection of Cotton Quality in Textile Industries Using Color Isodiscrimination Contour, NECTEC Technical Journal, Vol.1, No.3 July-August 1999, pp.110-113.
- [5] J. Derganc et al, Real-time automated visual inspection of color tablets in pharmaceutical blisters, Real-Time Imaging 9 (2003), 21 May 2002, pp. 113-124.
- [6] E. Marchand, Control Camera and Light Source Positions using Image Gradient Information, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'07 Roma, Italia, April 2007, pp. 417-422.
- [7] Feng Duan, Yao-Nan Wang, Huan-Jun Liu, Yang-Guo Li, A machine vision inspection for beer bottle, Engineering Applications of Artificial Intelligence (2007), Vol.17, October 2007, pp. 1013-1021.
- [8] Y. Kim et al, Fuzzy logic control of a multispectral imaging sensor for in-field plant sensing, Computers and Electronics in Agriculture 60, 2008, pp. 279–288.
- [9] T. Sumimoto et al, Detection of Defects at BGA. Solder Joints by Using X-Ray Imaging, IEEE ICIT'02, Bangkok, Thailand, pp. 238-241.
- [10] Ng Kuang Chern et al, Practical Issues in Pixel-Based Autofocusing for Machine Vision, International Conference on Robotics & Automation, Seoul, Korea, 21-26 May 2001, pp. 2791-2796.
- [11] Seung Hun Jin et al, FPGA based Passive Auto Focus System using Adaptive Thresholding, SICE-ICASE International Conference, Busan, Korea, 18-21 October 2006, pp. 2290-2295.


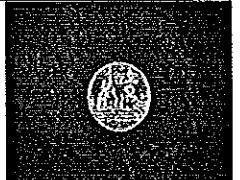
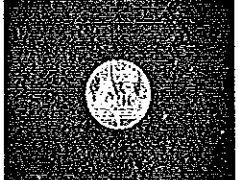

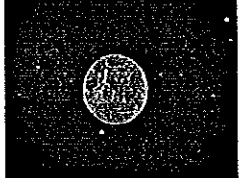
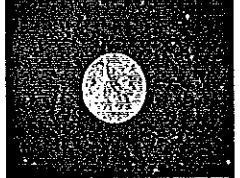
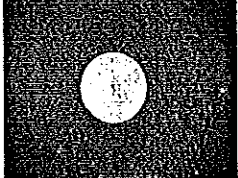
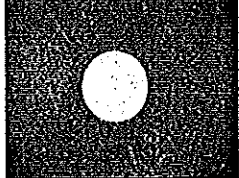
- [12] Relation between computer vision and various other fields, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision
- [13] G. J. Awcock, R. Thomas, Applied Image Processing, McGraw-Hill, 1996.
- [14] A practical Guide to Machine Vision Lighting, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6901>
- [15] H. Alexander, Handbook of Machine Vision, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.
- [16] นิรันดร์ แบนซิด, แสงประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2526.
- [17] Lens optics, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
[http://en.wikipedia.org/wiki/Lens_\(optics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lens_(optics))
- [18] J. Janesick, Dueling Detectors: CCD or CMOS?, OE Magazine, February 2002.
- [19] Junyan Huo and Yilin Chang, Robust Automatic White Balance Algorithm using Gray Color Points in Images, IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.52, No.2, May 2006, pp. 541-546.
- [20] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice-Hall International, 2001.
- [21] Dalsa Corporation, Waterloo, ON, Canada, Electronic Shuttering for high Speed CMOS Machine Vision Applications, Photonik 5/2005.
- [22] Standard deviation [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_deviation
- [23] H. D. Cheng et al, Color Image Segmentation: advances and prospects, Pattern Recognition 34, 2001, pp. 2259-2281.
- [24] G. Sharma, Digital Color Imaging Handbook, CRC Press LLC, 2003.
- [25] Depth of field, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field
- [26] Depth of focus, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_focus
- [27] Hard real-time, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_real-time
- [28] Worst-case execution time, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
http://en.wikipedia.org/wiki/Worst-case_execution_time
- [29] Vimicro Cooperation, WEB Digital PC camera user's manual: Vimicro 301 Neptune.

- [30] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี, การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW, ซีเอ็ดยุคเข็ญ, กรุงเทพฯ, 2550.
- [31] T. Jefferey, J. Kring, LabVIEW for Everyone Graphical Programming Made Easy and Fun, Prentice Hall, 2006.
- [32] NI-IMAQ for USB camera, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.ni.com/pdf/manuals/371492a.pdf>
- [33] Pluse width modulation, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation_pwm
- [34] A. Ali , K Marian, Electronic Devices a design approach, Pearson Education, 2004.
- [35] โอภาส ศิริครรชิตถาวร, เรียนรู้และพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ด้วยภาษาซี, กราฟิกเมลอน, ปทุมธานี, 2548.
- [36] Tektronix, Inc. J18 Lumacolor II Photometer instruction manual: TEK LUMACOLOR II.
- [37] Stepper motor, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [38] LifeCAM 1.3 model VX-1000, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.microsoft.com/hardware/oempartners/documentation/default.aspx>
- [39] Optical Isolator, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Opto-isolator>
- [40] L298, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22437/STMICROELECTRONICS/L298.html>
- [41] Game controller, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Game_controller
- [42] System dynamics, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://en.wikipedia.org/wiki/System_dynamics
- [43] Color pattern matching, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://zone.ni.com/devzone/cda/cpd/p/id/5548>
- [44] LabVIEW NI vision manual, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.ni.com/pdf/manuals/371007b.pdf>

ภาคผนวก

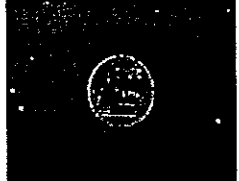
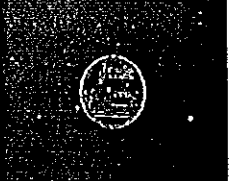
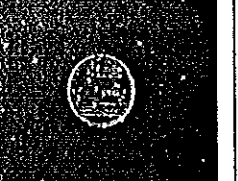
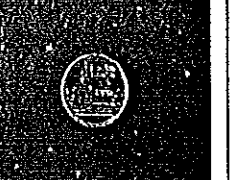
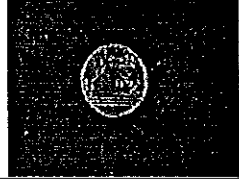
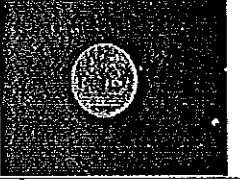
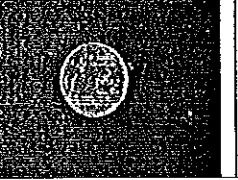
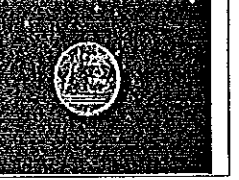
ภาคผนวก ก ภาพการศึกษาผลของการปรับค่าความเข้มแสง

ก1.ตัวอย่างภาพเหรียญหนึ่งบาทส่องสว่างแบบแสงกระจายด้วยแสงสีแดง (ภาพประกอบ 3-7 ง)

วัตถุที่	ความเข้มแสง 50	ความเข้มแสง 100	ความเข้มแสง 150	ความเข้มแสง 200
1				
2				

ภาพประกอบ ก-1 ตัวอย่างภาพเหรียญหนึ่งบาทส่องสว่างแบบแสงกระจายด้วยแสงสีแดง
(ภาพประกอบ 3-7 ง)

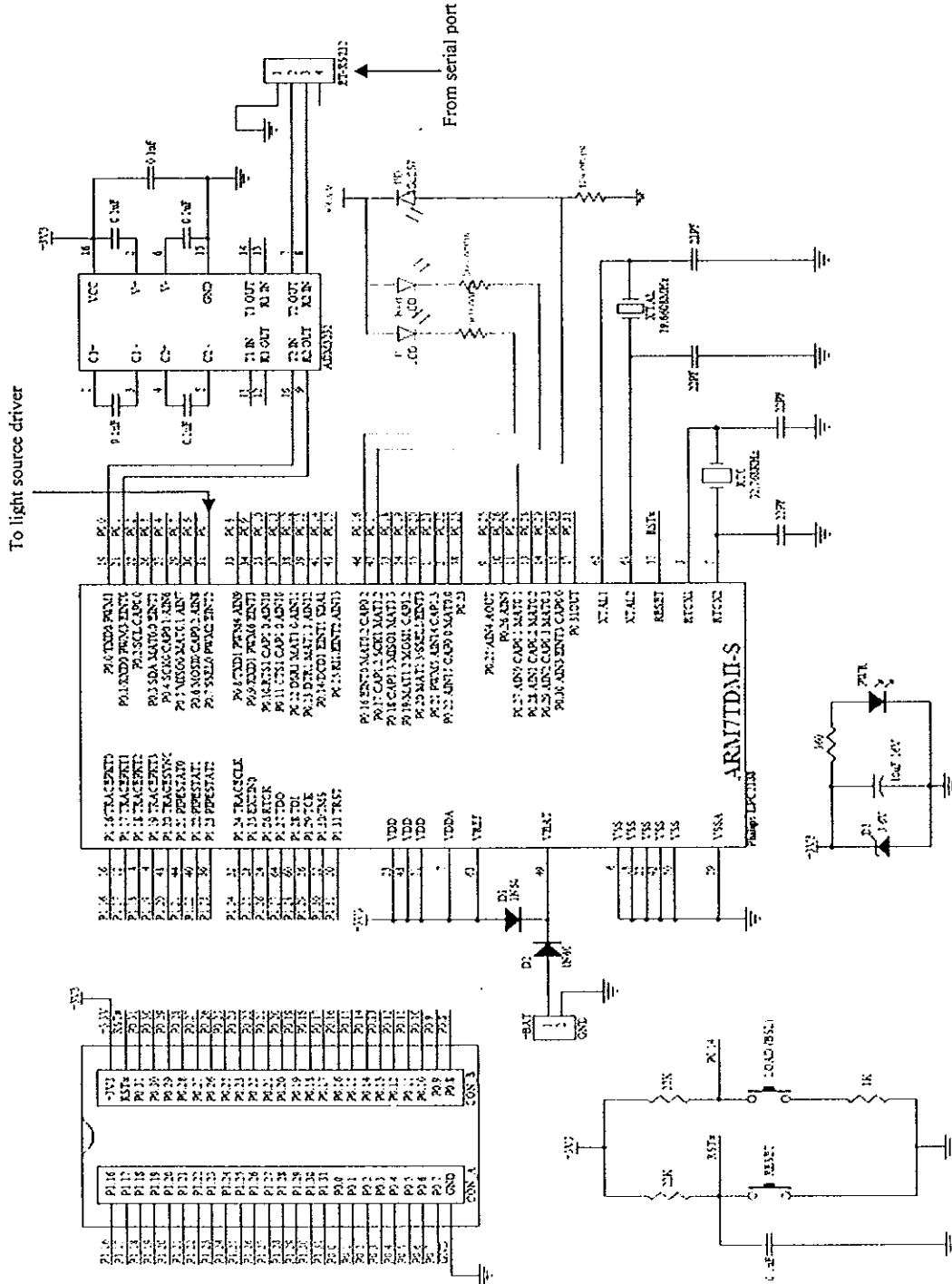
ก2.ตัวอย่างภาพเหรียญหนึ่งบาทส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจายด้วยแสงสีแดง (ภาพประกอบ 3-7 จ)

วัตถุที่	ความเข้มแสง 50	ความเข้มแสง 100	ความเข้มแสง 150	ความเข้มแสง 200
1				
2				

ภาพประกอบ ก-2 ตัวอย่างภาพเหรียญหนึ่งบาทส่องสว่างส่วนที่มีดแบบแสงกระจายด้วยแสงสีแดง
(ภาพประกอบ 3-7 จ)

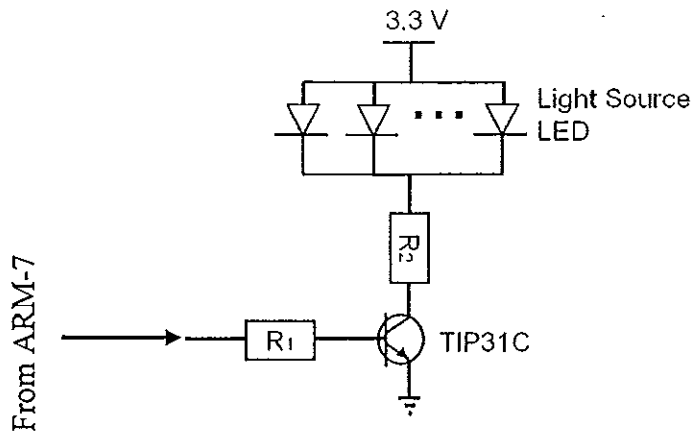
ภาคผนวก ข รายละเอียดวงจร และภาพผลรวมของการออกแบบ

ข1.รายละเอียดวงจรของ ARM-7



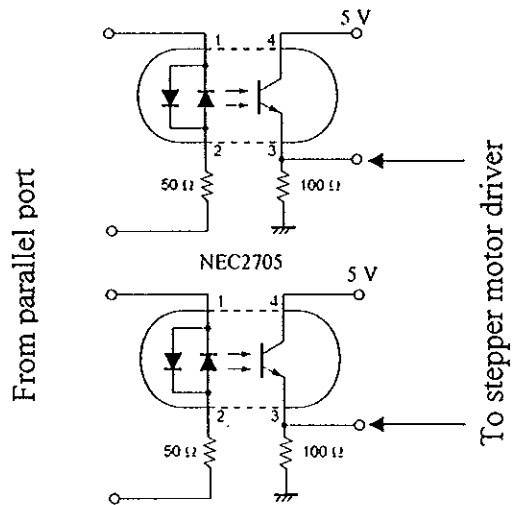
ภาพประกอบ ข-1 วงจรของ ARM-7

ข2. รายละเอียดวงจรของ Light source driver



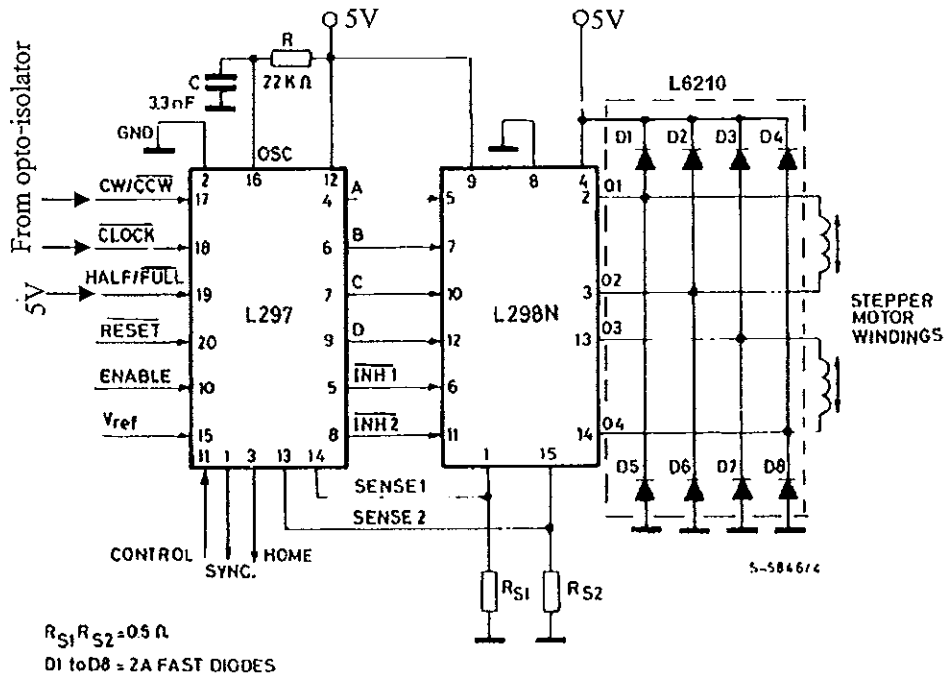
ภาพประกอบ ข-2 วงจรของ Light source driver

ข3. รายละเอียดวงจรของ Opto-isolator



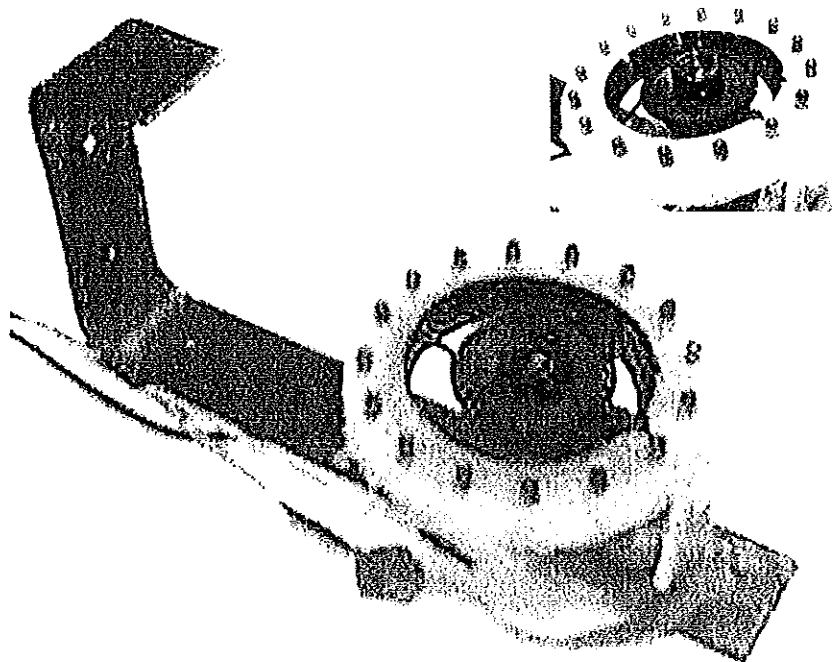
ภาพประกอบ ข-3 วงจรของ Opto-isolator

ข4.รายละเอียดวงจรของ Stepper motor driver



ภาพประกอบ ข-4 วงจรของ Stepper motor driver

ข5.ภาพผลรวมของการออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสงและระบบการควบคุมตำแหน่งไฟกัส



ภาพประกอบ ข-5 การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสงและระบบการควบคุมตำแหน่งไฟกัส

ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณของพีชชีลลิจิก

ค1.วิธีการคำนวณของฟัซซี่ลอจิก

ในการแสดงวิธีการคำนวณของฟัซซี่ลอจิกทำโดยกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับข้อมูลขาเข้าคือ

$$x_1=0.001, x_2=0.1, x_3=0.5, x_4=1.2, x_5=5, x_6=10$$

และทำการกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกคือ

$$y_1=2, y_2=5, y_3=8, y_4=10, y_5=15, y_6=20$$

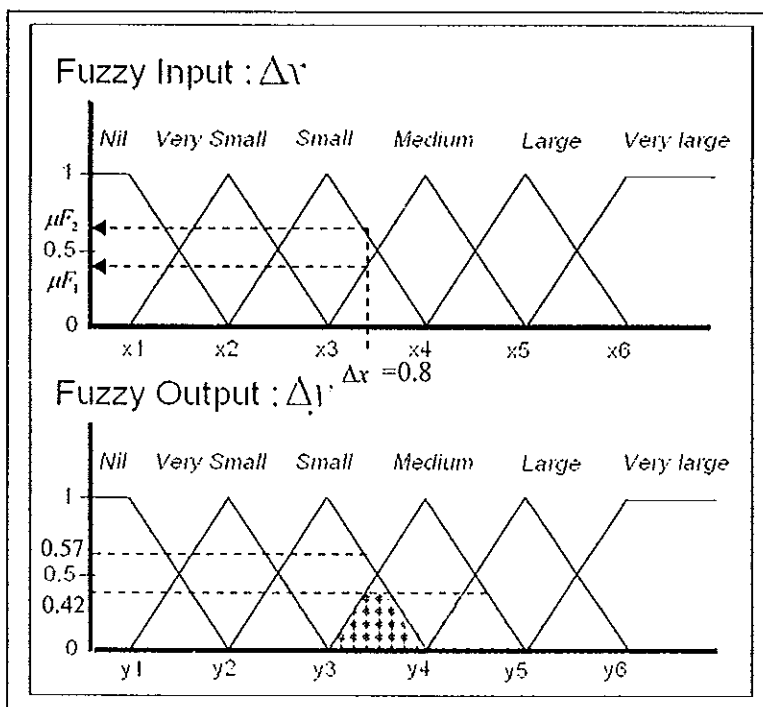
เมื่อกำหนดให้ $\Delta x = 0.8$ สามารถที่จะทำการคำนวณหาค่า μ_{F_1}, μ_{F_2} ได้ดังนี้

$$\mu_{F_1} = \frac{(\Delta x - \text{CrispInput1})}{(\text{CrispInput2} - \text{CrispInput1})} = \frac{(0.8 - 0.5)}{(1.2 - 0.5)} = 0.4285714$$

$$\mu_{F_2} = 1 - \mu_{F_1} = 1 - 0.4285714 = 0.5714286$$

จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Δy ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta y &= (\text{CrispOutput2} * \mu_{F_1}) + (\text{CrispOutput1} * \mu_{F_2}) \\ &= (10 * 0.4285714) + (8 * 0.5714286) \\ &= 8.8571428 \end{aligned}$$



ภาพประกอบ ค-1 ตัวอย่างประกอบการคำนวณของฟัซซี่ลอจิก

ภาคผนวก ง ข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED

ง1.หลอด LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

TAIWAN OASIS LED DATA SHEET



Part No.TOL-50aSRbDEa

- ◆ High Red Emitting LED
- ◆ High Efficiency LED, 5mm, Red Diffused Package
- ◆ The device are made with GaAlAs/GaAs Light Emitting Diode.

Absolute Maximum Ratings

Tamb=25°C unless otherwise specified

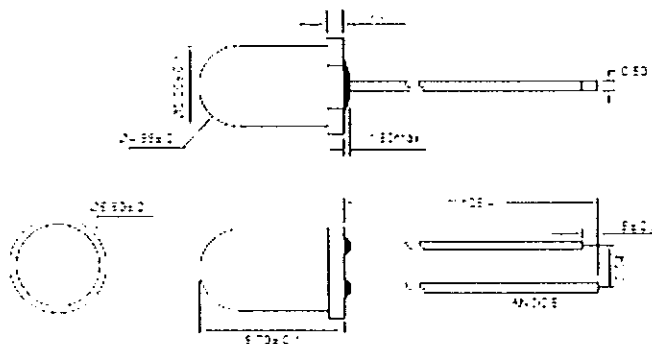
Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Reverse voltage		Vr	5	v
DC Forward current		If	30	mA
Surge forward current	Tp=10 μ s	Ifsm	120	mA
Power dissipation	Tamb=60°C	Pv	75	mW
junction temperature		Tj	105	°C
Operating temperature range		Tamb	-25-85	°C
Storage temperature range		Tstg	-30-100	°C
Soldering temperature	3s \pm 5s 2mm from body	Tsd	260	°C

Optical and Electrical Characteristics

Tamb=25°C unless otherwise specified

Parameter	Test condition	symbol	Min.	Typ.	Max.	unit
Power Dissipation		Pd			75	mW
Peak Emission Wavelength	If=20mA	λ_p		660		nm
Spectrum Half Width	If=20mA	$\Delta\lambda$		20		nm
Forward Voltage	If=20mA	Vf		1.8	2.0	v
Reverse Current	Vr=5v	Ir			10	μ A
Luminous Intensity	If=20mA	Iv	60	120		md
Full viewing angle	If=20mA	2 $\theta_{1/2}$		45		deg.

Package dimensions & Internal Circuit Diagram



Unit	mm
Scale	—
Rev.	A
Tolerance	± 0.25 Ang ± 0.5

Drawn by	y.t.y.t
Checked	
Approved	

We reserve the right to changes to improve technical designs and may do so without further notice

ง2.หลอด LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร



TAIWAN OASIS LED DATA SHEET

PART NO. : TOL-30aUReDAa-U4M

DESCRIPTION

SOURCE MATERIAL _____ AlGaInP
 COLOR _____ Ultra Red
 LENS _____ Red Diffused

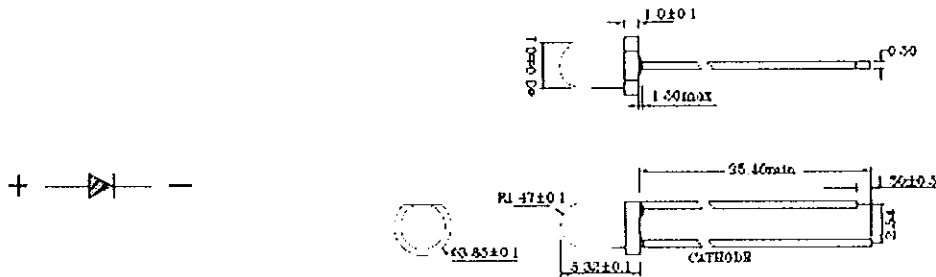
ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Ta=25°C)

PULSE CURRENT (1/10 DUTY, CYCLE 0.1ms PULSE WIDTH) _____ 100mA
 REVERSE VOLTAGE _____ 5.0V
 CONTINUOUS FORWARD CURRENT _____ 25mA
 RECOMMEND OPERATING CURRENT _____ 15mA
 OPERATING TEMPERATURE _____ -25°C TO 85°C
 STORAGE TEMPERATURE _____ -30°C TO 100°C
 LEAD SOLDERING TEMPERATURE _____ 260°C FOR 3 SECONDS
 (3mm from body)

CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

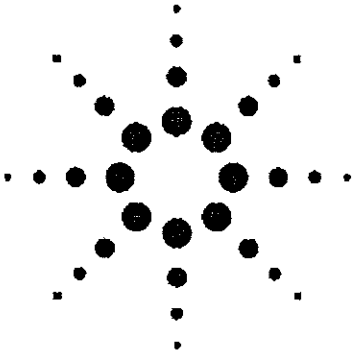
PARAMETER	CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP	MAX.	UNITS
POWER DISSIPATION		Pd			90	mW
DOMINANT WAVELENGTH	If=20mA	λ_d		630		nm
SPECTRUM HALF WIDTH	If=20mA	$\Delta\lambda$		15		nm
FORWARD VOLTAGE	If=20mA	V _F		2.0	2.3	V
REVERSE CURRENT	V _R =5V	I _R			100	μ A
LUMINOUS INTENSITY	If=20mA	I _v	75	150		med
FULL VIEWING ANGLE	If=20mA	2 $\theta_{1/2}$		50		deg.

INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM



DATE	2002/3/20	SCALE	2.5:1	TOLERANCE	1025 2X012 L27	DRAWN	D Q H	CHECKED	
UNIT	M/M	SHEET NO.	1/1	DRAWING NO.	S-K0103-U4-1	CUSTOMER		APPROVED	

ง3.หลอด LED สีขาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (HLMP-FW00-H00xx)



Agilent HLMP-FW00 5mm Flat Top InGaN White LED Lamp Data Sheet

Description

This wide viewing angle white LED lamp is based on InGaN material technology. A blue LED die is coated by a phosphor to produce white. The typical resulting color is described by the coordinates $x = 0.32$, $y = 0.32$ using the 1931 CIE Chromaticity Diagram.

Features

- Wide viewing angle: 90°
- Flat top
- High intensity InGaN technology

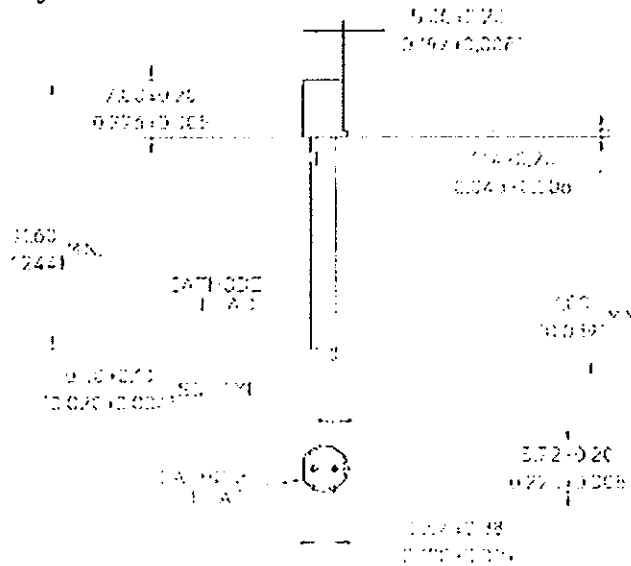
Applications

- Electronic Signs and Signals
- Small Area Illumination
- Legend Backlighting
- General Purpose Indicators

Benefit

- Reduced Power Consumption, Higher Reliability, and Increased Optical/Mechanical Design Flexibility Compared to Incandescent Bulbs and Other Alternative White Light Sources

Package Dimensions



Notes

1. All linear dimensions in millimeters.
2. Excludes solder in reflow (about 0.040" low on the ends).

Device Selection Guide

Part Number	Min Luminous Intensity Iv (mcd) @ 20mA	Max Luminous Intensity Iv (mcd) @ 20mA
HLMP-FW00-H00xx	180	
HLMP-FW00-JM0xx	240	650

Tolerance for intensity bin limit is +15%.

CAUTION These devices are Class 1 ESD sensitive. Please observe appropriate precautions during handling and processing. Refer to Agilent Technologies Application Note AN-1142 for additional details.

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Value	Units
DC Forward Current ⁽¹⁾	30	mA
Peak Forward Current ⁽²⁾	100	mA
Power Dissipation	120	mW
Reverse Voltage ($I_R = 10\mu\text{A}$)	5	V
LED Junction Temperature	110	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Wave Solder Temperature ⁽³⁾	250 for 3 secs	$^\circ\text{C}$
Solder Dipping Temperature ⁽³⁾	260 for 5 secs	$^\circ\text{C}$

Notes

1. Derate linearly as shown in Figure 5.
2. Duty factor 10%, 1:1:1.
3. 59mm and 680mm Eelow beds.

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Forward Voltage, V_F (V) @ $I_F = 20\text{ mA}$		Reverse Breakdown, V_R (V) @ $I_R = 10\mu\text{A}$	Capacitance, C (pF), $V_F = 0, f = 1\text{ MHz}$	Thermal Resistance $R_{\theta(J-PIN)}$ ($^\circ\text{C}/\text{W}$)
Typ.	Max.	Min.	Typ.	Typ.
3.6	4.0	5	70	240

Optical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Typical Chromaticity Coordinates ⁽¹⁾		Viewing Angle $2\theta_{1/2}$: Degrees ⁽²⁾ Typ.
x	y	
0.32	0.32	90 $^\circ$

Notes

1. The chromaticity coordinates are derived from the CIE 1931 Chromaticity Diagram and represent the perceived color of the device.
2. $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle where the luminous intensity is 1/2 the peak intensity.

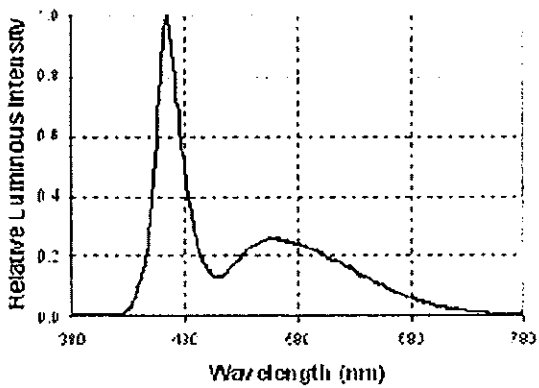


Figure 1. Relative Intensity vs Wavelength

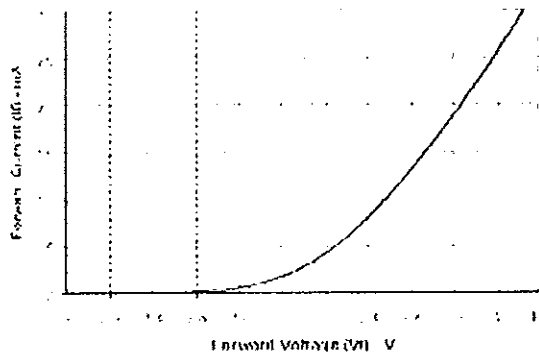


Figure 2. Forward Current vs Forward Voltage

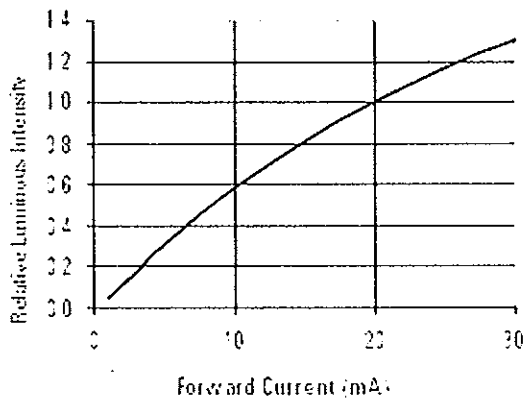


Figure 3. Relative Intensity vs Forward Current

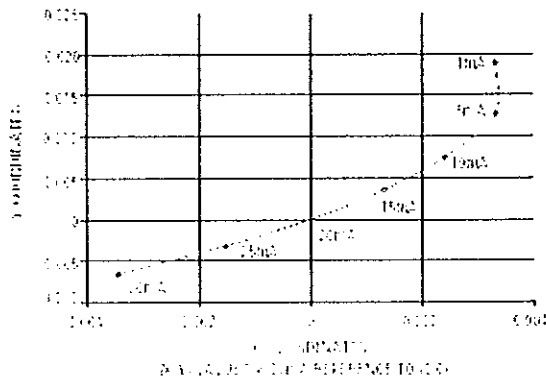


Figure 4. Chromaticity shift vs. current

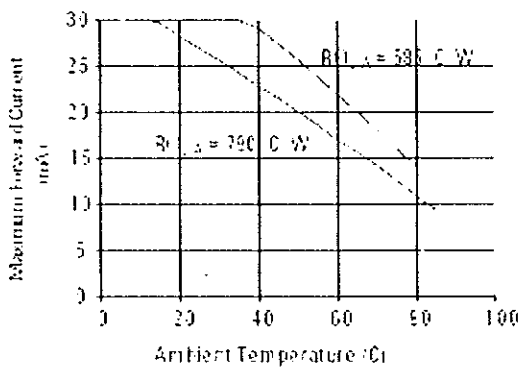


Figure 5. Maximum Fwd. Current vs Temperature

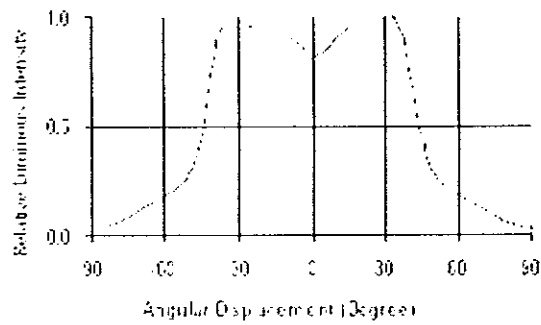


Figure 6. Spatial Radiation Pattern

Intensity Bin Limits (mcd at 20 mA)

Bin	Min.	Max.
H	180	240
J	240	310
K	310	400
L	400	520
M	520	680
N	680	880
P	880	1150

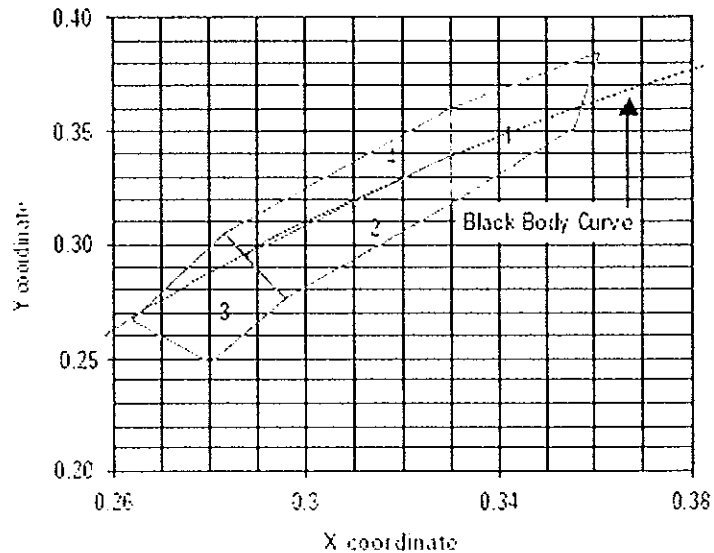
Tolerance for each bin limit is $\pm 15\%$.

Color Bin Limit Tables

Rank	Limits (Chromaticity Coordinates)				
	1	x y	0.330 0.360	0.330 0.318	0.356 0.351
2	x y	0.287 0.295	0.296 0.276	0.330 0.318	0.330 0.339
3	x y	0.264 0.267	0.280 0.248	0.296 0.276	0.283 0.305
4	x y	0.283 0.305	0.287 0.295	0.330 0.339	0.330 0.360

Tolerance for each bin limit is ± 0.01 .

Color Bin Limits with Respect to CIE 1931 Chromaticity Diagram



Note

1. Bin categories are established for classification of products. Products may not be available in all bin categories. Please contact your Agilent representative for information on current availability.

www.agilent.com/semiconductors

For product information and a complete list of distributors, please go to our web site.

Data subject to change
 Copyright 2003 Agilent Technologies, Inc.
 April 25, 2005
 Obsoletes 5989-14538Et,
 5989-2804Et.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสากล จุฬรัตน์
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120075
วุฒิการศึกษา
วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548
(วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์)

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนผู้ช่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์