



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการคัดพันธุ์ข้าวด้วยการประมวลผลภาพ
The Study of Rice Grading by Image Processing

โยธิน วงศ์ประเสริฐ

รศท
ย842ก
2553

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137298
วันเดือนปี 22 ส.ค. 2558

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่แท้จริงที่มีภาระนำไปใช้

12619292

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2553

โยธิน วงศ์ประเสริฐ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาการคัดพันธุ์ข้าวด้วยการประมวลผลภาพ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2553 จำนวนเงิน 495,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2552 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2553

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัย

นายโยธิน วงศ์ประเสริฐ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02326-0643

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาการคัดพันธุ์ข้าวด้วยการประมวลผลภาพ โดยจะทำการวิเคราะห์หาวิธีการวัดขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารขัด โดยพิจารณาถึงขนาดที่ประมวลผลทางภาพด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน พบว่าการวัดที่ความยาวคลื่นสั้นสามารถบอกถึงขนาดที่ใกล้เคียงจากการวัดได้มากที่สุด

คำสำคัญ : การคัดพันธุ์ข้าว การประมวลผลภาพ

Research Title: The Study of Rice Grading by Image Processing

Researcher: Mr.Yothin Wongpraset

Faculty: Engineering **Department:** Electronics engineering

ABSTRACT

This research presents the study on rice grading by image processing. Dimension of rice analyzed by exited light source and received by CCD sensor. The paddy, brown rice and rice were measured by image processing and manual. The results compiled the short wavelength of light source compatible for dimension measurement.

Keywords: Rice grading, Image processing



สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญเรื่อง.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 การประมวลผลภาพ.....	4
2.3 แบบจำลองสี.....	7
2.4 การแปลงทางเรขาคณิตของภาพ.....	7
2.5 การปรับปรุงภาพ.....	10
2.6 หลักการทำงานของกล้องดิจิตอล.....	12
บทที่ 3 การสร้างและการทดลอง.....	15
3.1 บทนำ.....	15
3.2 แนวคิดและการออกแบบ.....	15
3.3 การสร้างชุดการทดลอง.....	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	22
4.1 บทนำ.....	22
4.2 การสร้างภาพ.....	23
4.3 ผลการทดลอง.....	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	26
บรรณานุกรม.....	27
ประวัตินักวิจัย.....	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความละเอียดของแสงที่ความยาวคลื่นย่านยูวี.....	17
3.2 ชุดสร้างภาพในที่มีดและมีกำลังขยายภาพ 100 เท่า.....	18
3.3 สร้างอุปกรณ์กำเนิดแสง UV , Infrared และแสงสีต่างๆ.....	19
3.4 อุปกรณ์กำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็ก.....	20
3.5 อุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า.....	20
4.1 เปรียบเทียบผลการสร้างภาพที่แหล่งแสงค่าต่างๆ.....	24
4.2 เปรียบเทียบผลการสร้างภาพด้วยกำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็กและอุปกรณ์กำเนิด สนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า.....	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลูกบาศก์ RGB	4
2.2	ลูกบาศก์ YCbCr.....	5
2.3	แบบจำลอง HSV.....	6
2.4	กราฟฮิสโตแกรมที่แสดงถึงแสงที่สมดุล.....	7
2.5	ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ.....	8
2.6	(a) ภาพที่ยังไม่ได้ทำเทรส์โชว์ (b) ภาพที่ทำการเทรส์โชว์แล้วที่ค่าระดับกันคือ 128.....	11
3.1	สเปกตรัมแสงของหลอดเมอคิวรี.....	16
3.2	สเปกตรัมแสงย่านอัลตราไวโอเล็ตและย่านสายตา.....	16
3.3	การสะท้อนของแสง เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวเรียบ.....	16
3.4	ชุดสร้างภาพในที่มืดและมีกำลังขยายภาพ 100 เท่า.....	17
3.5	อุปกรณ์กำเนิดแสง UV , Infrared และแสงสีต่างๆ.....	18
3.6	ชุดอุปกรณ์กำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็ก.....	19
3.7	อุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า.....	20
4.1	ส่วนประกอบของข้าวชนิดต่างๆ.....	22
4.2	ตัวอย่างภาพถ่ายเมล็ดข้าวขาวที่มีลักษณะดีต่อการปลูก.....	23

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
t	อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์	K
V	แรงดันไฟฟ้า	Volt
W	กำลัง	Watt
λ	ความยาวคลื่น	\AA
θ	มุม	Degree



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของปัญหาซึ่งเป็นเหตุผลในการทำวิจัยและได้กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัยและส่วนประกอบวิทยานิพนธ์ไว้ดังนี้

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การคัดพันธุ์ข้าวจึงเป็นวิธีสำคัญที่ช่วยให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพให้ผลผลิตสูง ลดปัญหาข้าวคุณภาพต่ำ ลดต้นทุนการผลิตโดยสามารถคัดเลือกพันธุ์ที่สมบูรณ์ เกษตรกรไม่ต้องซื้อพันธุ์ข้าวจากภายนอก และช่วยอนุรักษ์พันธุ์ รวมทั้งสามารถนำพันธุ์ข้าวที่คัดไว้มาเป็นพ่อแม่พันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ให้ได้คุณลักษณะตามที่ต้องการ

การคัดพันธุ์ข้าวเป็นความรู้ตั้งแต่บรรพบุรุษ การทำนาที่ดีต้องมีการคัดพันธุ์ข้าวให้ตอบสนองต่อการบริโภคในครัวเรือนรวมทั้งการใช้ประโยชน์อื่นๆ การทำนาแต่เดิมเป็นแบบนาดำใช้เมล็ดพันธุ์จำนวนไม่มาก แต่เมื่อการทำนาเปลี่ยนเป็นนาหว่านจึงต้องใช้เมล็ดพันธุ์จำนวนมากขึ้น เมื่อมีข้าวพันธุ์ส่งเสริมจึงไม่ให้ความสำคัญกับการคัดพันธุ์ข้าวซึ่งทำให้คุณภาพของข้าวมีคุณภาพต่ำลง การซื้อเมล็ดพันธุ์และการใช้พันธุ์ส่งเสริมยังทำให้ต้นทุนการทำนาสูงขึ้นอีกด้วย

การเรียนรู้เรื่องเทคนิคการคัดพันธุ์ข้าวจะทำให้ได้สายพันธุ์ข้าวที่มีความบริสุทธิ์ทางสายพันธุ์มีความสม่ำเสมอทั้งคุณภาพและทนต่อแมลงจึงสามารถเพิ่มผล ผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้นและการทำงานแบบไม่ใช้สารเคมีก็จะทำให้ลดต้นทุนการทำนาลง

การคัดพันธุ์ข้าวมีหลายวิธีการคัดพันธุ์ข้าวแบบดั้งเดิมคือการคัดเลือกข้าวจากแปลงนาที่ไม่มีโรคและแมลงรบกวนไม่มีข้าวพันธุ์อื่นขึ้นปน และการคัดเลือกเก็บรวงที่สมบูรณ์ไว้สำหรับทำพันธุ์ แต่วิธีการดังกล่าวก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาระยะคุณภาพของเมล็ดข้าว เช่น ปัญหาท้องไข้ ความมันวาว เม็ดร้าว เม็ดบิดเบี้ยว ข้าวปน เป็นต้น

จึงมีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นด้วยการคัดพันธุ์ข้าวกล่องด้วยการประมวลผลภาพแทนการคัดเลือกพันธุ์ด้วยตาเปล่าที่ละเมล็ดซึ่งต้องใช้เวลาในการคัดแยกสองถึงสามรอบในการคัด เป็นผลให้เกษตรกรต้องเสียเวลาและละเลยการคัดพันธุ์ข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นและไม่เสียโอกาสในการเพาะ ปลูกข้าวในแต่ละครั้ง รวมถึงการคัดพันธุ์พันธุ์ข้าวที่ดีจะมีความต้านทานต่อแมลงได้ดีกว่าอีกด้วย เทคนิคใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยการใช้ภาพถ่ายข้าวที่สมบูรณ์เป็นต้นแบบและทำการเปรียบเทียบสมบัติของเมล็ดข้าวที่จะทำการคัดแยก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของข้าวที่ดีด้วยการประมวลผลภาพ
- ศึกษาตัวแปรของการกระตุ้นให้เมล็ดข้าวแสดงสมบัติของเมล็ดข้าวอย่างเด่นชัด
- ศึกษาเทคนิคการสร้างภาพด้วยเทคนิคต่างๆให้เหมาะสม
- ศึกษาการประมวลผลภาพที่ได้จากการสร้างภาพที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- ทำการศึกษาการคัดพันธุ์ข้าวด้วยการประมวลผลภาพจากเมล็ดข้าวที่ผ่านและมีต้องผ่านการ
 - กะเทาะเปลือก โดยทำการออกแบบส่วนของการสร้างภาพเพื่อให้ได้ตัวแปรที่ต้องการจะทำการคัดแยก
 เมล็ดพันธุ์ข้าวเช่น

- เมล็ดมีลักษณะตรงตามสายพันธุ์
- เมล็ดไม่มีท้องไข่หรือท้องปลาชิว (ลักษณะขาวชุ่นตรงกลางของเมล็ด)
- เมล็ดไม่บิดเบี้ยว หักในหรือแตกร้าว
- จมูกเล็ก เนื่องจากขณะสีจุมข้าวจะหลุดออกทำให้ได้เนื้อข้าวมาก
- เมล็ดเต่ง เป็นมันวาว

โดยสามารถคัดแยกเมล็ดข้าวได้ตามตัวแปรที่กำหนดด้วยเทคนิคการสร้างภาพด้วยเทคนิคต่างๆ
 อย่างเหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 บทนำ

การประมวลผลภาพ (Image processing) คือ เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวีดิทัศน์ (วิดีโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วยแนวความคิดและเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณสำหรับสัญญาณ 1 มิติ นั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยากแต่นอกเหนือจากเทคนิคจากการประมวลผลสัญญาณแล้ว การประมวลผลภาพก็มีเทคนิคและแนวความคิดที่เฉพาะ (เช่น connectivity และ rotation invariance) ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่าง จากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติ จะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ

การประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก (analog) โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง (optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญ หรือเลิกใช้ไป ยังมีใช้เป็นส่วนสำคัญ สำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เช่น ฮอโลกราฟี (holography) แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันราคาถูกลง และเร็วขึ้นมาก การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่าเพราะการประมวลผลที่ทำได้ซับซ้อนขึ้น แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ

ภาพที่สร้างขึ้นเป็นกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลาย ๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวนด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาสู่ประสาทรับรู้ทางตาของมนุษย์หรืออุปกรณ์ตรวจจับ เช่น เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น

ในการแสดงผลของจอภาพคอมพิวเตอร์นั้น หน่วยของความละเอียดในการแสดงผลนั้นเป็นจุด (Pixel) แต่ในโลกแห่งความเป็นจริง ภาพที่เรามองเห็นด้วยตา ไม่ใช่การเรียงกันของจุด แต่มันเป็นภาพเชิงต่อเนื่องคือ ไม่สามารถแยกลงไปเป็นทีละจุดได้เลย เพราะฉะนั้น เมื่อภาพนั้นมาอยู่ในคอมพิวเตอร์ ภาพจะต้องถูกปรับให้อยู่ในหน้าจอที่ประกอบด้วยจุดสี่

2.2 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง และยังรวมถึงสัญญาณวีดิโอ, ภาพวีดิทัศน์ หรือ ภาพ 2 มิติอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วยแนวความคิดและเทคนิค ในการประมวลผลสัญญาณ สำหรับสัญญาณ 1 มิตินั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยาก แต่นอกเหนือจาก เทคนิคจากการประมวลผลสัญญาณแล้ว การประมวลผลภาพก็มีเทคนิคและแนวความคิดที่เฉพาะ (เช่น connectivity และ rotation invariance) ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่าง จากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติ จะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ เมื่อหลายสิบปีมาแล้ว การประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก (analog) โดยใช้อุปกรณ์

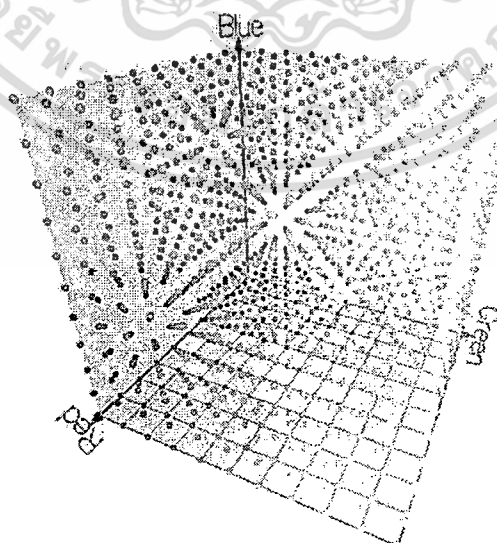
ปรับแต่งแสง (optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญ หรือเลิกใช้ไป ยังมีใช้เป็นส่วนสำคัญ สำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เช่น ฮอโลกราฟี (holography) แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ราคาถูกลง และเร็วขึ้นมาก การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลที่ได้ซับซ้อนขึ้น แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ กระบวนการต่าง ๆ มีอยู่ด้วยกันหลายอย่าง ยกตัวอย่างเช่น

- การแบ่งภาพและการหาขอบภาพในวัตถุ (Image Segmentation and EdgDeTection)
- การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)
- การแปลงข้อมูลรูปภาพ (Image Transformation)
- การบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Complexion)
- การนิยามภาพ (Image Description)
- การคืนภาพ (Image Restorlation)
- การกรองภาพ (Image Filters)

2.3 แบบจำลองสี

การศึกษาเกี่ยวกับสีเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบพัฒนาระบบการเห็นสี การใช้สีในภาคแสดงผลไม่เพียงแต่ทำให้เกิดความพอใจ ยังทำให้เราสามารถรับรู้ข้อมูลการมองเห็นอื่น ๆ อีกตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของระดับเทาได้ไม่ก็สีระดับในขณะที่ตาสามารถแยกความแตกต่างของสีได้เป็นพันสี

- สเปนซ์ RGB (RGB Space) คือการแทนสี (Color Representation) มักใช้ทฤษฎีของ Thomas Young (1802) ซึ่งกล่าวว่าสีใดก็ตามเกิดจากการผสมสีแม่สี 3 สี ซึ่งสอดคล้องกับเซลล์รับแสงชนิดโคนในตาของมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดไวต่อแสงในย่านแดง เขียว และน้ำเงิน ทฤษฎีการแทนสีของ Young สามารถแทนด้วยแบบจำลองลูกบาศก์ RGB ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าของสีแทนด้วยค่าพิกัดในสเปนซ์ RGB โดยที่จุดยอดของลูกบาศก์คือแม่สี (Red Green และ Blue) และสีของแสงขั้นที่สอง (Secondary) (Cyan, Margenta และ Yellow)

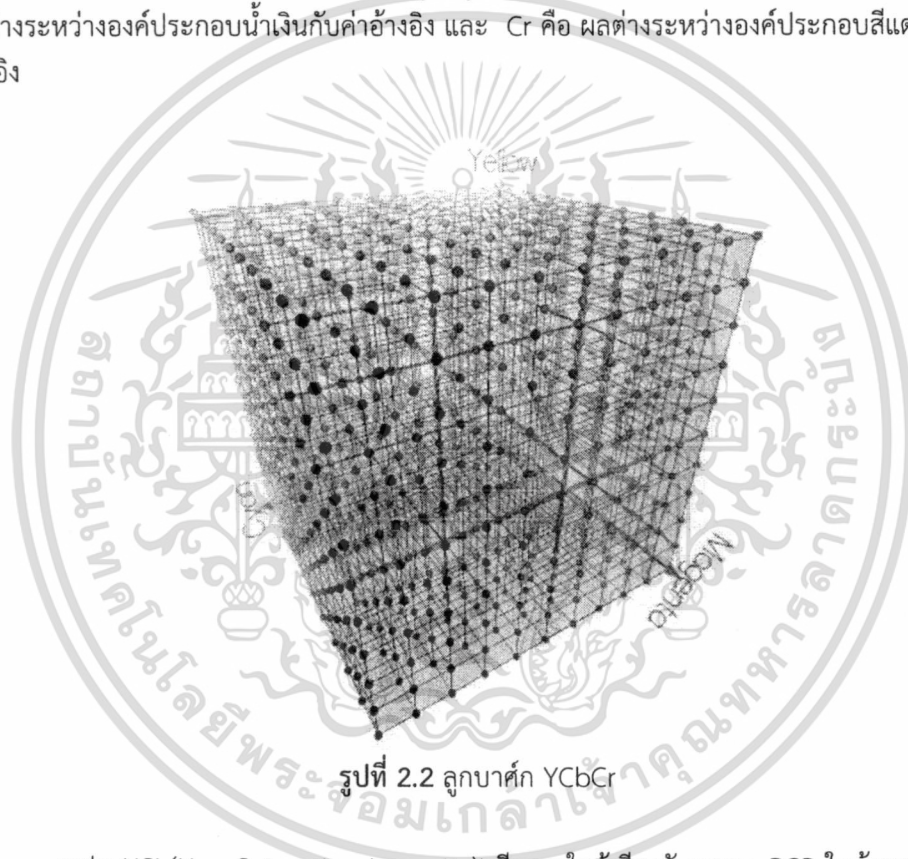


รูปที่ 2.1 ลูกบาศก์ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สเปนซ์ NTSC คือมาตรฐานที่ใช้ในโทรทัศน์ในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อได้เปรียบอันหนึ่งคือ ข้อมูลระดับเทา (Gray Level) ถูกแยกออกมาจากข้อมูลสี ดังนั้นสัญญาณหนึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง โทรทัศน์สีและขาวดำ ในรูปแบบ NTSC ข้อมูลภาพประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ลูมิแนนซ์ (Luminance) แทนด้วย Y , โทนสี (Hue) แทนด้วย I และแซ็ททูเรชัน (Saturation) แทนด้วย Q ดังนั้นระบบนี้อาจเรียกว่า YIQ องค์ประกอบลูมิแนนซ์แทนด้วยข้อมูลระดับเทา ส่วนอีก 2 องค์ประกอบแทนข้อมูลสีของสัญญาณโทรทัศน์

- สเปนซ์ YCbCr ใช้อย่างกว้างขวางในสัญญาณวีดิโอดิจิทัล ในรูปแบบนี้ข้อมูลลูมิแนนซ์ถูกแทนด้วยองค์ประกอบเดียว Y ในขณะที่ข้อมูลสีถูกเก็บในองค์ประกอบผลต่างของสี นั่นคือ Cb คือ ผลต่างระหว่างองค์ประกอบน้ำเงินกับค่าอ้างอิง และ Cr คือ ผลต่างระหว่างองค์ประกอบสีแดงกับค่าอ้างอิง



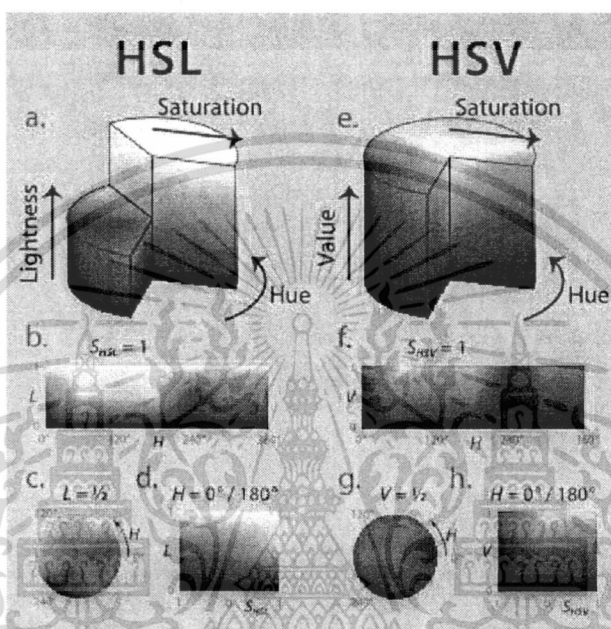
รูปที่ 2.2 ลูกบาศก์ YCbCr

- สเปนซ์ HSI (Hue Saturation Intensity) มีความใกล้เคียงกับระบบ RGB ในด้านการรับรู้สี (Color Sensation) คุณสมบัติเกี่ยวกับการรับรู้สีแบ่งเป็นค่าความสว่าง (Brightness), ค่าโทนสี (Hue) และค่าแซ็ททูเรชัน (Saturation) ค่าความสว่าง (Brightness) เป็นการรับรู้ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ค่าโทนสีของสีหมายถึงความแดง (เช่นแดงอ่อน แดงแก่ แดงเลือดหมู เป็นต้น) ความเขียว (เขียวอ่อน เขียวแก่ เขียวขี้ม้า เป็นต้น) และอื่น ส่วนค่าแซ็ททูเรชันเกี่ยวข้องกับความแรงของแสงสีขาว (White)

- สเปนซ์ HSV (Hue, Saturation, Value Space) เป็นหนึ่งในระบบสีที่เปรียบเสมือนถูกใช้โดยคนซึ่งเลือกสีจากจานสี สเปนซ์ HSV ถูกสร้างโดยการมองจากลูกบาศก์สี RGB ตามแนวแกนเทา (Gray Axis) ซึ่งคือแกนที่เชื่อมระหว่างจุดมุมสีขาวและดำซึ่งทำให้ได้ลักษณะรูปหกเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

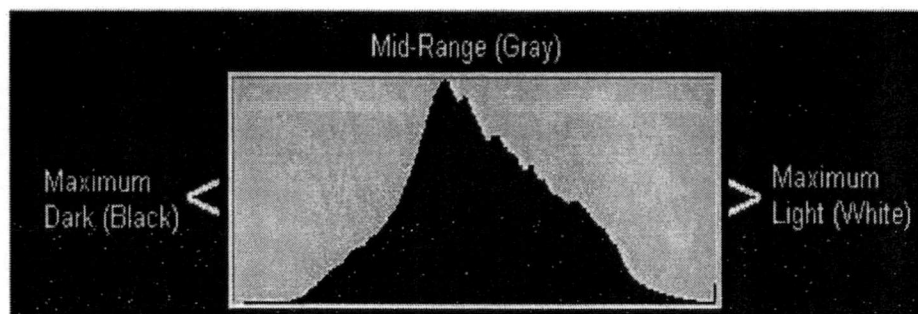
เมื่อทำการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง (แกนเทา) ตามไดอะแกรมในรูปที่ 2 ทำให้ขนาดของรูปหกเหลี่ยมมีขนาดลดลง องค์ประกอบโทนสีคือมุมในรูปหกเหลี่ยมโดยถือว่าแกนสีแดงมีมุมเป็นศูนย์ องค์ประกอบแวลู (Value) ถูกวัดตามแนวแกนของโคน (แกนตั้ง) โดยที่ $V = 0$ คือยอดของโคนสีดำ ส่วน $V = 1$ คือส่วนฐานตรงกับสีขาว ค่าแชนูเรชันถูกวัดจากระยะทางจากแกน V โดยลักษณะนี้เราถือว่าระบบ HSV คือระบบในพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate System) ส่วน RGB อยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System)



รูปที่ 2.3 แบบจำลอง HSV

-ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นกราฟแสดงจำนวนพิกเซลที่ความสว่างต่างๆ ของภาพ สังเกตได้จากภาพด้านล่าง แกนนอนเป็นระดับความสว่างที่แบ่งระดับเป็น 256 ระดับ (มักเรียกว่าระดับสีเทา หรือ gray level) โดยมีค่าตั้งแต่ 0-255 เมื่อระดับสีเทามีค่าต่ำ (ด้านซ้ายมือ) หมายถึง มีความสว่างน้อย จะมองเห็นเป็นสีดำ ค่าระดับสีเทาสูง (ด้านขวามือ) หมายถึงมีความสว่างมากจะมองเห็นเป็นสีขาว แกนตั้งของกราฟแสดงจำนวนพิกเซลในแต่ละความระดับสีเทาซึ่งเป็นค่าสัมพัทธ์สรุปง่ายๆก็คือ ถ้ากราฟฮิสโตแกรมเอนไปทางซ้าย แปลว่าภาพนั้นจะมีความมืดเกินไป แต่ถ้าเอนไปทางขวาแปลว่าภาพนั้นมีความสว่างเกินไปฮิสโตแกรมนั้นใช้เพื่อดูความแปรปรวนของกระบวนการโดยการสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ไดมาโดยการสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กราฟฮิสโทแกรมที่แสดงถึงแสงที่สมดุล

เมื่อภาพที่ขาดความสว่าง ทำให้ขาดรายละเอียดของภาพโดยเฉพาะด้านหลังของภาพ โดยที่กราฟฮิสโทแกรมแสดงผลเอนไปทางด้านซ้าย ซึ่งแสดงว่าภาพนี้มีแสงน้อยเกินไปแสดงดังรูปที่ 2.5 (a) ในขณะที่แสงเกือบมีความสมบูรณ์ของภาพมากโดยมีแค่ความมืดของฉากหลังอยู่บ้าง โดยที่กราฟฮิสโทแกรมแสดงว่าภาพภาพมีการกระจายของแสงที่ดี แต่กราฟเอนไปทางด้านซ้ายมากกว่าทางขวา เนื่องจากมีเงาอยู่ที่ฉากหลังของภาพแสดงดังรูปที่ 2.5 (b) และ เมื่อแสงมีมากเกินไปในภาพ จะสังเกตเห็นได้ว่าวัตถุที่อยู่ด้านหน้าจะมีความสว่างเกินไป ซึ่งทำให้ไม่เห็นถึงรายละเอียดของภาพ แต่ภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดฉากหลังของภาพได้ดีที่สุด ซึ่งจุดหลักของภาพนี้คือด้านหน้า ดังนั้นควรลดแสงของภาพนี้ลงเพื่อให้เห็นถึงรายละเอียดด้านหน้า โดยกราฟฮิสโทแกรมเอนไปทางขวาสุด และมีแสดงในช่วงของความมืดน้อยมากแสดงดังรูปที่ 2.5 (c)



รูปที่ 2.5 ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ

2.4 การแปลงทางเรขาคณิตของภาพ

การแปลงทางเรขาคณิตของภาพ เป็นขบวนการขั้นพื้นฐานในการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล เป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสเกล (Scaling) การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) และการเฉือนภาพ (Shear) ภาพทางดิจิทัลโดยคำจำกัดความแล้วคือฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 มิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y คือพิกัดหรือตำแหน่งของพิกเซล ค่าของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง (x,y) หรือ $f(x,y)$ โดยปกติแล้วเราหมายถึงค่าความเข้มแสง (Intensity) หรือเรียกว่าค่าระดับเทา (Gray Level)
- การแปลงทางเรขาคณิตของภาพเกี่ยวข้องกับ 2 ขบวนการ (1) การแปลงเรขาคณิตของพิกัด (Geometric Spatial Transformation) ซึ่งกระทำกับตัวแปร x และ y และ (2) การกำหนดค่าระดับเทาใหม่ให้กับภาพ (Gray - level Interpolation) ซึ่งกระทำกับฟังก์ชัน f เราขอกล่าวถึงการแปลงเรขาคณิตของพิกัดก่อน โดยในที่นี้จะกล่าวถึง การแปลงเรขาคณิตของพิกัด และการใช้ OpenCV ในการทำการแปลงเรขาคณิตของภาพ

- การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การเคลื่อนย้ายภาพ $F(x,y)$ เทียบกับจุดกำเนิด Cartesian ไปเป็นภาพ $g(u,v)$ เกี่ยวข้องกับการคำนวณตำแหน่งออฟเซตสัมพัทธ์ (Relative Offset Address) ของภาพทั้งสอง ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เคลื่อนย้ายคือ

$$u = x + tx$$

$$v = y + ty$$

โดยที่ tx และ ty แทนระยะของการย้ายตำแหน่ง
สมการการแปลงแบบเคลื่อนย้ายภาพสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- การสเกลภาพ (Scaling) สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนพิกัด Cartesian ของภาพอินพุตตามความสัมพันธ์

$$u = Sxx$$

$$v = Syy$$

โดยที่ Sx และ Sy คือพารามิเตอร์ของสเกล (Scaling Parameter) ถ้าค่าของ Sx และ Sy มากกว่าหนึ่งผลคือทำให้เกิดการขยายในทิศทาง x และ y ตามลำดับ ถ้ามีค่าอยู่ในช่วง $(0,1)$ ผลคือทำให้เกิดการย่อส่วนในทิศทางที่สอดคล้องกัน ในกรณีที่ค่าของ Sx และ Sy น้อยกว่าศูนย์ จะเกิดลักษณะที่เรียกว่า Reflection หรือภาพกลับขวาเป็นซ้าย ซ้ายเป็นขวา สมการเรขาคณิตของการสเกลสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- การหมุนภาพ (Rotation) การหมุนภาพรอบจุดกำเนิดสามารถทำได้โดยการคำนวณดังนี้

$$u = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$v = x \sin \theta + y \cos \theta$$

โดยที่ θ แทนมุมของการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเทียบกับแกนนอน (Horizontal Axis) สมการการหมุน 5 และ 6 แทนการหมุนภาพรอบจุดกำเนิดบนระบบพิกัด Cartesian การหมุนภาพรอบจุดใดๆ สามารถทำได้โดย (1) เลื่อนจุดหมุนไปที่จุดกำเนิด (2) ทำการหมุนภาพ และ (3) เลื่อนจุดหมุนกลับไปที่ได้เดิม สมการการแปลงเรขาคณิตของการหมุนรอบจุด (x_c, y_c) ในรูปเมทริกซ์แทนด้วย

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_c \\ 0 & 1 & y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_c \\ 0 & 1 & -y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- การเฉือนภาพ (Shearing) เป็นวิธีการแปลงภาพในลักษณะที่ทำให้ภาพเปลี่ยนจากรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (หรือจัตุรัส) ไปเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนเรียกว่าการเฉือนภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบ สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง x คือ

$$u = x + shy$$

$$v = y$$

สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง y คือ

$$u = x$$

$$v = y + shx$$

สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง x และ y คือ

$$u = x + shy$$

$$v = y + shx$$

สมการเรขาคณิตของการเฉือนภาพสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & shx & 0 \\ shy & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

การแปลงเรขาคณิตเชิงเส้นสามารถรวมกันได้ สมการการแปลงเรขาคณิตรวมสามารถเขียนได้เป็น

$$T = S \cdot Sh \cdot R \cdot Tr$$

โดยที่

$$S = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Sh = \begin{bmatrix} 1 & shx & 0 \\ shy & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Tr = \begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & xc \\ 0 & 1 & yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -xc \\ 0 & 1 & -yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

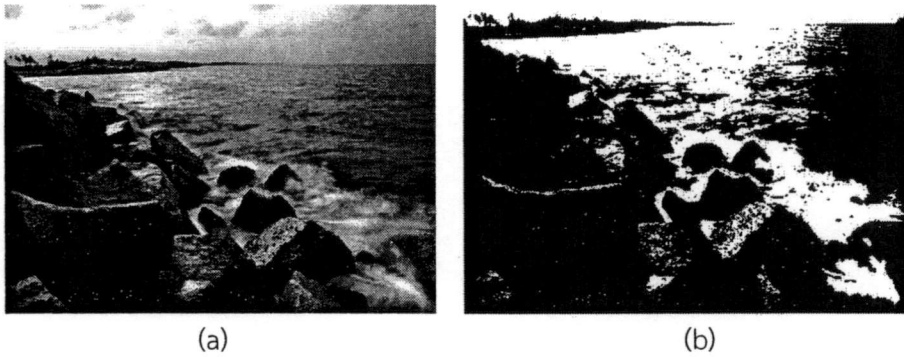
ซึ่งการแปลง T ของสมการลดรูปอยู่ในรูปเมทริกซ์ขนาด 3x3 ดังนั้นเราได้

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a0 & a1 & a2 \\ b0 & b1 & b2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

2.5 การปรับปรุงภาพ

การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) คือการเน้น (หรือการทำให้คม) ลักษณะของภาพ (Features) เช่น ขอบ (Edge) เขต (Boundaries) หรือความแตกต่างระหว่างบริเวณขาวกับดำ หรือคอนทราสต์ (Contrast) เพื่อให้การแสดงผลกราฟิกมีความชัดเจนมากขึ้นสำหรับการแสดงและการวิเคราะห์ ขบวนการปรับปรุงภาพไม่ได้เป็นการเพิ่มองค์ประกอบข้อมูลในภาพ แต่จะไปเพิ่มช่วงทำงาน (Dynamic Range) ของลักษณะของภาพที่เลือกเพื่อให้ง่ายต่อการตรวจจับ ข้อที่ยากที่สุดสำหรับการปรับปรุงภาพคือการตั้งเกณฑ์ (Criterion) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงภาพ ดังนั้นเทคนิคการปรับปรุงภาพส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นการทดลองหรือต้องการการตอบโต้ของผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้ได้ผลที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงภาพยังคงเป็นหนึ่งในหัวข้อที่สำคัญที่สุด เพราะพบการประยุกต์ใช้งานอย่างมากในการประมวลผลภาพทางดิจิทัล

การขลิบและการทำเทรชโฮลด์ (Clipping and Thresholding) คือ การแยกส่วนของภาพ ซึ่งเป็นการพิจารณาความเข้มของจุดต่าง ๆ ภายในภาพ (Pixel) ซึ่งผลของการแยกส่วนของภาพ จะขึ้นอยู่กับวิธีการ Threshold ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพ สำหรับภาพบางชนิดจะมีลักษณะวัตถุที่เราสนใจซึ่งมีความเข้มที่คงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลังตัวอย่างได้แก่ ภาพของตัวอักษร (Text) เป็นต้น ซึ่งภาพเหล่านี้จะมีความเข้มของวัตถุที่เราสามารถแยกออกพื้นหลังได้อย่างชัดเจน (มีความเข้มชั้นสองระดับได้แก่ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง) การทำการแยกส่วนของภาพ สามารถทำได้โดยการกำหนดค่า Threshold ซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ตัวอย่างเช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำและมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นค่า Threshold จึงควรจะมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกค่า Threshold จะขึ้นอยู่กับ Histogram ของภาพ



รูปที่ 2.6 (a) ภาพที่ยังไม่ได้ทำเทรชโรว์ (b) ภาพที่ทำการเทรชโรว์แล้วที่ค่าระดับกันคือ 128

การฟิลเตอร์ภาพ (Image Filtering) เป็นการประมวลผลภาพที่สำคัญในการกำจัดองค์ประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการออกจากภาพ การกำจัดความถี่สูงออกจากภาพซึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ผลลัพธ์คือทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น (Soft) ซึ่งอาจเรียกฟิลเตอร์นี้ว่าฟิลเตอร์การเฉลี่ย (Averaging) ในทางตรงข้าม การกำจัดความถี่ต่ำออกจากภาพซึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์ความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ผลลัพธ์คือทำให้เหลือแต่องค์ประกอบที่เป็นขอบภาพ หรืออาจเรียกว่าการตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection) โดยเรากล่าวถึงฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่านที่ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) และฟิลเตอร์กรองแบบมีเดียน (Median Filter) ที่ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดขาวและดำหรือที่รู้จักกันในชื่อ Salt and Pepper Noise

- ฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ย (Averaging) ฟิลเตอร์แบบนี้แต่ละพิกเซลจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของพิกเซลข้างเคียง ซึ่งหมายถึงการคอนโวลูชัน นั่นคือ

$$y(m, n) = \sum_{(k,l) \in W} h(k, l) \times (m - k, n - l)$$

โดยที่ $y(m, n)$ และ $x(m, n)$ คือภาพเอาต์พุตและภาพอินพุตตามลำดับ W คือหน้าต่าง และ $h(k, l)$ คือค่าน้ำหนักการฟิลเตอร์ ชนิดของฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ยที่รู้จักกันดีคือชนิดที่มีค่าน้ำหนักเท่ากันนั่นคือ

$$y(m, n) = \frac{1}{N} \sum_{(k,l) \in W} h(k, l) \times (m - k, n - l)$$

โดยที่ $h(k, l) = 1/Nw$ และ Nw คือจำนวนพิกเซลในหน้าต่าง W ฟิลเตอร์การเฉลี่ย นั่นคือแต่ละพิกเซลจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยของสี่พิกเซลที่ใกล้ที่สุด โดยการใช้ฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ยกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) พบว่าขนาดหน้าต่างที่เพิ่มขึ้นกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ผลเสียที่เกิดคือภาพจะเบลอ

- ฟิลเตอร์แบบค่ามีเดีย (Median Filtering) ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดขาวและดำ หรือที่รู้จักกันในชื่อ Salt and Pepper Noise ในกรณีนี้พิกเซลเอาต์พุตจะถูกแทนที่ด้วยค่ามีเดียของพิกเซลที่อยู่ในหน้าต่างรอบๆ พิกเซลของภาพอินพุต นั่นคือ

$$y(m, n) = \text{median}\{x(m - k, n - l), (k, l) \in W\}$$

โดยที่ W คือหน้าต่าง อัลกอริทึมสำหรับการฟิลเตอร์แบบมีเดียจะทำการเรียงค่าพิกเซลในลักษณะที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วทำการเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางโดยทั่วไปแล้วขนาดของหน้าต่างถูกเลือกให้ N_w มีค่าเป็นเลขคี่ เช่นขนาด 3×3 เป็นต้น ถ้า N_w เป็นเลขคู่ค่ามีเดียจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างสองค่าตรงกลาง เนื่องจากสัญญาณรบกวน Salt & Peppers มีค่าความเข้ม น้อยสุด หรือมากที่สุด ในหน้าต่าง จึงไม่มีผลต่อการหาค่ามีเดีย กล่าวคือค่ามีเดียเป็นค่าของความเข้มแสงของพิกเซลที่มีค่าตรงกลางในหน้าต่างซึ่งเป็นของพิกเซลปกติที่ไม่ปนเปื้อนสัญญาณรบกวน ฟิลเตอร์กรองแบบมีเดีย จะได้ผลดีกรณีที่มีเม็ด Salt & Pepper มีขนาดไม่ใหญ่มาก

2.6 หลักการทำงานของกล้องดิจิตอล

การทำงานของกล้องดิจิตอลประกอบด้วยระบบต่างๆดังนี้

- ระบบซูมภาพในกล้องดิจิตอลที่ระบบการซูมภาพในกล้องดิจิตอลมี 2 ชนิดคือ Digital Zoom เป็นการซูมอยู่ในกล้องทั่ว ๆ ไป ได้ภาพที่มีคุณภาพพอใช้ได้ แต่หากซูมภาพ เข้ามามากเกินไปจะทำให้ความคมชัดของภาพลดลง เนื่องจากไม่ได้เป็นการซูมภาพอย่างแท้จริง แต่เป็น เพียงการขยายภาพให้ใหญ่ขึ้นเท่านั้นและการซูมภาพชนิดนี้จะมีระยะโฟกัสที่สามารถปรับแต่งได้ และ Optical Zoom เป็นการซูมด้วยเลนส์ของกล้อง จะได้ภาพที่คมชัด และภาพไม่เบลอเมื่อซูมภาพ เข้ามาในระยะใกล้ การซูม แบบ Optical นิยมใช้ในการถ่ายภาพระยะใกล้เพราะจะได้ภาพที่ออกมา ชัดเจนมีความคมชัดทุกจุด

- ตัวรับภาพ CCD และความละเอียดของภาพตัวรับภาพบนกล้องดิจิตอลมี 2 ชนิด ได้แก่ CCD (Charge- Couply Device) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) กล้องดิจิตอลในปัจจุบันจะใช้ CCD เป็นส่วนใหญ่ ทาหน้าที่เป็นตัวรับแสงของกล้องและรับรู้ระดับของความ สว่างหรือเข้มของแสงเท่านั้น แต่ไม่สามารถรับรู้หรือแยกสีได้ CCD ที่รับรู้สีต่าง ๆ ได้จะต้องวางฟิลเตอร์ลงบนชิป กล้องระดับกลางหรือกล้องที่ใช้ทั่วไปนิยมใช้ฟิลเตอร์ RGB (Red Green Blue) ซึ่ง จะวางสลับกันเป็นตารางอย่างเป็นระเบียบ ตัวรับภาพ CCD ที่บันทึกได้นั้นเรียกว่า Bit Depth หรือ ค่าความชัดลึก กล้องดิจิตอลทั่วไปสามารถบันทึกค่าความลึกได้ที 24 บิต เช่น กล้องที่ใช้ฟิลเตอร์ RGB จะมีค่าความลึกอย่างละ 8 บิต ได้แก่ R=8 บิต G=8 บิต B=8 บิต ก็จะได้ค่าความลึกที่ 24 บิต โดยจะ เรียกค่าความละเอียด เช่น 5 ล้านพิกเซล , 4.1 ล้านพิกเซล และ 3.34 ล้านพิกเซล จำนวนพิกเซล หนึ่งภาพจะ หมายถึงความคมชัดของภาพที่จะมีความคมชัดมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสามารถบันทึก รายละเอียด ของภาพได้มากขึ้น ซึ่งความละเอียดของภาพจะระบุในคู่มือการใช้งานกล้องดิจิตอล หรือ ตรวจสอบได้จาก ขนาดของภาพสูงสุดที่กล้องสามารถถ่ายได้ เช่น ภาพที่มีขนาด 2,048 x 1,536 เมื่อ คูณขนาดทั้งแนวตั้ง และแนวนอนทั้ง 2 เข้าด้วยกันจะได้ความละเอียดเท่ากับ 3,145,728 ซึ่งจะเป็น ค่าพิกเซลโดยประมาณ คือ มีความละเอียดประมาณ 3 ล้านพิกเซลความละเอียดของภาพจากกล้อง ดิจิตอลหมายถึงจำนวนพิกเซล (Pixel) ที่อยู่บนตัวรับภาพทั้งหมด ความละเอียดของภาพหรือพิกเซล

เป็นการนำจุดที่เป็นสีหลายสี หลาย ๆ จุดมาต่อกันให้ได้เป็นภาพออกมา หากมองโดยทั่วไปจะไม่เห็นความแตกต่างว่าภาพเหล่านั้นมี จุดจำนวนมากต่อกันอยู่ในทางทฤษฎีเรียกภาพนี้ว่า ภาพแบบ Raster หมายถึงภาพที่นำเอาเม็ดสีมาเรียงต่อกันแล้วเกิดเป็นรูป และเมื่อขยายภาพเหล่านั้นออกมา จะพบว่าเม็ดสีจำนวนมาก เรียงกันอยู่ ส่วนภาพอีกลักษณะหนึ่งจะเป็นภาพที่เรียกว่า ภาพแบบ Vector ซึ่งจะไม่ได้อยู่ภายในกล่อง ดิจิทัล เพราะเป็นภาพที่เกิดจากการใช้ซอฟต์แวร์และคอมพิวเตอร์สร้างขึ้นมา เมื่อขยายภาพเข้ามาใน ระยะใกล้ ๆ จะไม่พบอาการแตกของภาพเลย เนื่องจากภาพแบบ Vector เกิดจากการคำนวณทาง คณิตศาสตร์ ไม่ได้เกิดจากพิกเซลเหมือนกับภาพแบบ Raster ความละเอียดของภาพจะเป็นตัว กำหนดประเภทของกล่องดิจิทัลได้ 4 ระดับคือ

1.กล่องความละเอียดต่ำมาก มักจะเป็นกล่องรุ่นเก่า หรือ กล่องประเภท WebCam ซึ่งมีความละเอียด ไม่เกิน 3 แสนพิกเซล

2.กล่องความละเอียดต่ำมีความละเอียดอยู่ที่ประมาณ 3 แสน-1.5 ล้านพิกเซล

3.กล่องความละเอียดปานกลาง เป็นกล่องที่มีราคาอยู่ในระดับปานกลาง ภาพถ่ายมีคุณภาพพอใช้ได้ มีความ ละเอียดอยู่ที่ 2.1-4 ล้านพิกเซล

4. กล่องความละเอียดสูง มีความละเอียดมากกว่า 4 ล้านพิกเซล ตัวกล่องมีราคาค่อนข้างสูง และมีคุณภาพดี

5. ค่าความไวแสงและความเร็วชัตเตอร์ค่าความไวแสงของกล่องหรือ ISO นั้นจะเป็นความไวในการเปิดรับแสง โดยที่ตัวเลขของ ISO มากก็จะมีค่าความไวแสงที่มากตามไปด้วย ถึงแม้ว่าค่า ISO ที่มีค่ามาก ๆ นั้น จะช่วยให้เราสามารถถ่ายภาพในที่ที่มีแสงสว่างน้อย ๆ ได้ แต่มีข้อจำกัดคือ เมื่อนำภาพที่ได้มาขยายดูก็จะเห็นเป็นจุดเล็ก ๆ จำนวนมาก ทำให้ภาพที่มีความหยابพอสมควรความเร็วชัตเตอร์ ชัตเตอร์มีหน้าที่ เป็นตัวกำหนดการเปิด-ปิดของรูรับแสงจะทำให้มีการเปิด-ปิดนานมากน้อยเพียงใดเพื่อให้แสงผ่าน การ เปิด-ปิดชัตเตอร์นี้เรียกว่า ความเร็วชัตเตอร์ ซึ่งจะวัดเป็นเศษส่วนของวินาที เช่น 1/50 วินาที หรือ 1/500 วินาที ความเร็วของชัตเตอร์ที่มีจำนวนมากจะเป็นตัวช่วยให้จับการเคลื่อนไหวของภาพที่ ถ่ายให้หยุดนิ่งได้ เช่น การถ่ายภาพรถที่กำลังวิ่งอยู่บนถนน ส่วนความเร็วชัตเตอร์ที่มีส่วน ต่ำ เช่น การ ถ่ายภาพการไหลของน้ำ การถ่ายภาพที่มีความเร็วชัตเตอร์ต่ำควรใช้ขาตั้งกล่องในขณะที่ถ่าย เพราะช่วง เวลาในการเปิดรับแสงจะนาน หากมือไม่นิ่งพอจะทำให้เกิดการเบลอของภาพได้

6.การนำภาพออกจากกล่องดิจิทัลการนำรูปภาพที่ถ่ายมาใช้งานมีวิธีการทำหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของกล่อง กล่องที่ใช้หน่วยความจำแบบภายในที่ไม่สามารถถอดเปลี่ยนได้ จะต้องเชื่อมต่อโดยตรง จากกล่องสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหลายรูปแบบดังนี้

1. Docking Station เป็นพอร์ตที่มีการถ่ายโอนข้อมูลสมัยแรกการเริ่มใช้กล่องดิจิทัล มีลักษณะ เป็นฐานสำหรับเสียบตัวกล่องเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เนื่องจากในยุคนั้นยังไม่มีเก็บข้อมูลประเภท Flash Memory ซึ่งในปัจจุบันเลิกใช้การถ่ายโอนข้อมูลแบบนี้แล้ว

2. FireWire Port (IEEE1394) เป็นพอร์ตที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Apple แต่ผู้ผลิตรายอื่น ๆ จะ เรียกชื่อต่างกันไป เช่น บริษัท Sony ตั้งชื่อว่า iLink ส่วนชื่อเรียกมาตรฐานสากลคือ IEEE1394 แต่ถ้าใช้กับ กล่องดิจิทัลวีดีโอจะเรียกว่าพอร์ต DV ทั้งนี้พอร์ตดังกล่าวสามารถใช้งานร่วมกันได้ภายใต้มาตรฐานที่ได้ กำหนดขึ้นมาพอร์ต FireWire เป็นพอร์ตความเร็วสูง นิยมใช้ในกล่องวีดีโอดิจิทัล และกล่องถ่ายภาพดิจิทัล ระดับสูง เนื่องจากมีความเร็วสูงถึง 400 ล้านบิตต่อวินาที (400 Mbits/s) มีคุณสมบัติ Plug & Play สามารถ ต่ออุปกรณ์ได้ 63 ชิ้นต่อ 1 พอร์ต แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้กับกล่อง

ดิจิทัลเนื่องจากราคาแพงและคอมพิวเตอร์ทั่วไป มักจะไม่มีพอร์ต FireWire หากต้องการใช้ต้องติดตั้งการ์ด FireWire เพิ่มอีก

3. USB port (Universal Serial Port) เป็นพอร์ตที่นิยมใช้กับกล้องดิจิทัลมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีความเร็วสูง สามารถถ่ายโอนข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 12 ล้านบิตต่อวินาที (12Mbits/s)

4. Parallel Port เป็นการเชื่อมต่อสำหรับกล้องดิจิทัลรุ่นเก่า ๆ เพราะมีความเร็วต่ำในการส่งผ่านข้อมูล ทำให้เสียเวลาในการ Upload และ Download ข้อมูลในแต่ละครั้งเป็นอย่างมาก

5. Serial port เป็นพอร์ตแบบเก่า มีความเร็วในการเชื่อมต่อต่ำ นิยมใช้ต่อกับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเร็วมากนัก เช่น โมเด็ม และเมาส์ ความเร็วสูงสุดที่ทำได้อยู่ที่ 115,200 บิตต่อวินาที Serial port จะอยู่ บริเวณด้านหลังเครื่องคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมคางหมู มีขา 9 ขา (9 pin) อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ กับพอร์ตแบบนี้จะต้องรีเซ็ตเครื่องก่อนคอมพิวเตอร์จึงจะสามารถมองเห็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้ ทำให้ยุ่งยากในการใช้งานจึงไม่เป็นที่นิยมใช้

6. SCSI Port เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้การ์ด SCSI เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อ มีความเร็วและเสถียรภาพสูง

7. Card Adapter เป็นการเชื่อมต่อที่ต้องใช้การบันทึกแบบ Flash Memory สามารถถอดเปลี่ยนได้ ถ่ายโอนข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่าน Flash Memory หรือ Card Adapter ซึ่งกำลังได้รับความนิยมในขณะนี้ เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก และราคาไม่สูงนักกล้องดิจิทัลที่มีการบันทึกข้อมูลลง บนตัวเก็บข้อมูลประเภท Flash Memory สามารถโอนถ่ายข้อมูลได้ 2 แบบคือการส่งข้อมูลโดยตรงจากกล้อง เข้าคอมพิวเตอร์โดยตรง และการนำ Flash Memory มาอ่านข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่าน Flash Memory ชนิดนั้น ๆ วิธีการรับ-ส่งข้อมูลจากกล้องดิจิทัลไปยังคอมพิวเตอร์นั้นเรียกว่า Download และ Upload การ Download เป็นการส่งข้อมูล เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์กำลังดึงข้อมูลมาจากกล้องดิจิทัล ส่วนการ Upload เป็นการส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังกล้องดิจิทัล

บทที่ 3

การสร้างและการทดลอง

โครงการวิจัยนี้มีการศึกษาการทำงานของส่วนประมวลผลภาพบางส่วนและการสร้างภาพจากเทคนิคต่างๆอย่างคร่าวๆ แต่ต้องมีการปรับปรุงและทดสอบเทคนิคใหม่เพื่อให้ภาพที่แสดงความแตกต่างของสมบัติข้าวอย่างชัดเจน

3.1 บทนำ

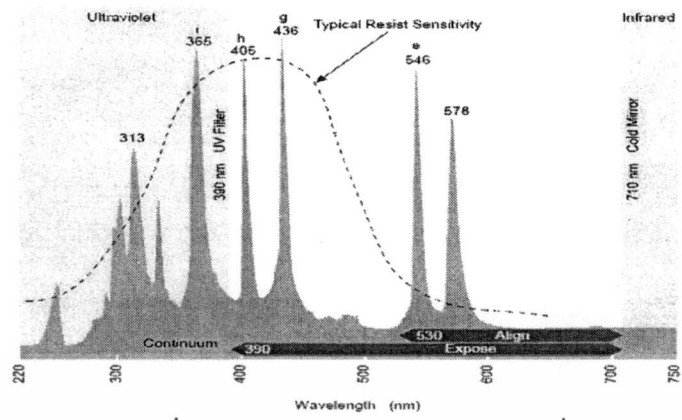
โดยทำการศึกษาคัดพันธ์ข้าวด้วยการประมวลผลภาพจากเมล็ดข้าวที่ผ่านและมีต้องผ่านการกะเทาะเปลือก โดยทำการออกแบบส่วนของการสร้างภาพเพื่อให้ได้ตัวแปรที่ต้องการจะทำการคัดแยกเมล็ดพันธ์ข้าวเช่น

- เมล็ดมีลักษณะตรงตามสายพันธ์
- เมล็ดไม่มีท้องไข่หรือท้องปลาชิว (ลักษณะขาวขุ่นตรงกลางของเมล็ด)
- เมล็ดไม่บิดเบี้ยว หักในหรือแตกร้าว
- จมูกเล็ก เนื่องจากขณะสีจมูกข้าวจะหลุดออกทำให้ได้เนื้อข้าวมาก
- เมล็ดเต่ง เป็นมันวาว

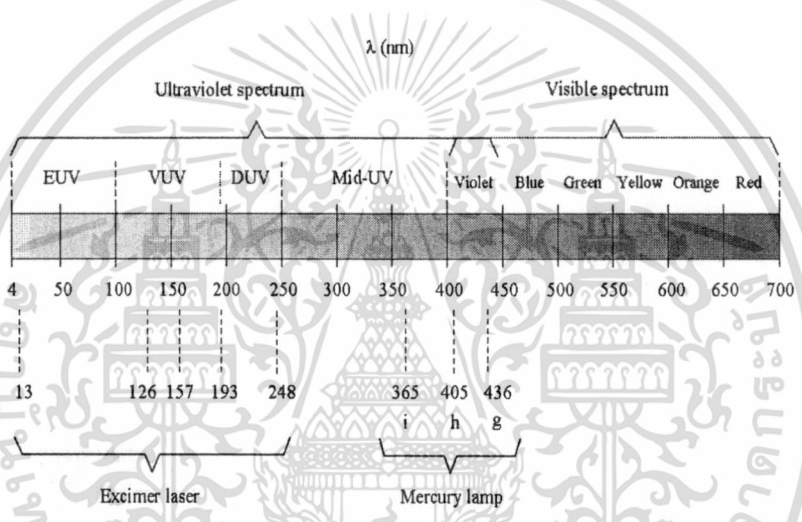
โดยสามารถคัดแยกเมล็ดข้าวได้ตามตัวแปรที่กำหนดด้วยเทคนิคการสร้างภาพด้วยเทคนิคต่างๆอย่างเหมาะสม

3.2 แนวคิดและการออกแบบ

การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลด้วยรูปแบบภาพเช่น JPEG RAW เพื่อศึกษาการของรูปข้าวให้มีรายละเอียด และประมวลผลภาพที่ละสี (RAW) เพื่อหาว่าการตอบสนองของสีต่างๆ ในแต่ละเลเยอร์นั้น สามารถแสดงจุดบกพร่องของเมล็ดข้าวได้เพียงใด นอกจากนี้ยังได้ทำการใช้แสงสีต่างๆ ในการกระตุ้นการตอบสนอง เช่น แสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน และแสงยูวี เพื่อให้แสงตกกระทบกับเมล็ดข้าวและมีกานสะท้อนแสงออกมา ซึ่งการเลือกแสงสีต่างๆกันเนื่องจากสีแต่ละสีมีความยาวคลื่นไม่เท่ากันทำให้มีการตกกระทบและสะท้อนของแสงต่างกันออกไป สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) หมายถึงกลุ่มคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถมองเห็นและมองไม่เห็นซึ่งพิจารณาตามความยาวของคลื่นแสงนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3. 1 จากรูปแสดงถึงช่วงความยาวคลื่นแสงยาวที่ 390 ถึง 780 นาโนเมตรเป็นระดับคลื่นแสงที่สายตาคนเราสามารถมองเห็นได้ ส่วนความยาวคลื่นช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะอยู่ช่วงระหว่าง 4 ถึง 450 นาโนเมตร และระบบของเครื่องถ่ายแบบลายวงจรนั้นจะใช้ความยาวคลื่นแสงที่ 240 ถึง 540 นาโนเมตร



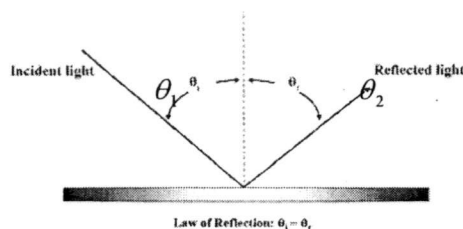
รูปที่ 3.1 สเปกตรัมแสงของหลอดเมอคิวรี



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมแสงย่านอัลตราไวโอเล็ตและย่านสายตา

เกิดจากการที่แสงตกกระทบบนพื้นผิวที่สามารถสะท้อนแสงได้ โดยถ้าเป็นพื้นผิวที่เรียบมุมตกกระทบบ (θ_1) จะเท่ากับมุมสะท้อน (θ_2) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสงที่แสงตกกระทบบมีความเรียบผิวไม่เพียงพอ จะทำให้มุมสะท้อนของแสงไม่เท่ากับมุมตกกระทบบ ถ้าแสงสะท้อนเกิดการสะท้อนไปโดนจุดบกพร่องก็จะส่งผลกระทบต่อภาพที่ได้

The angle of incidence of a light wavefront with a plane mirror is equal to the angle of reflection.



รูปที่ 3.3 การสะท้อนของแสง เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

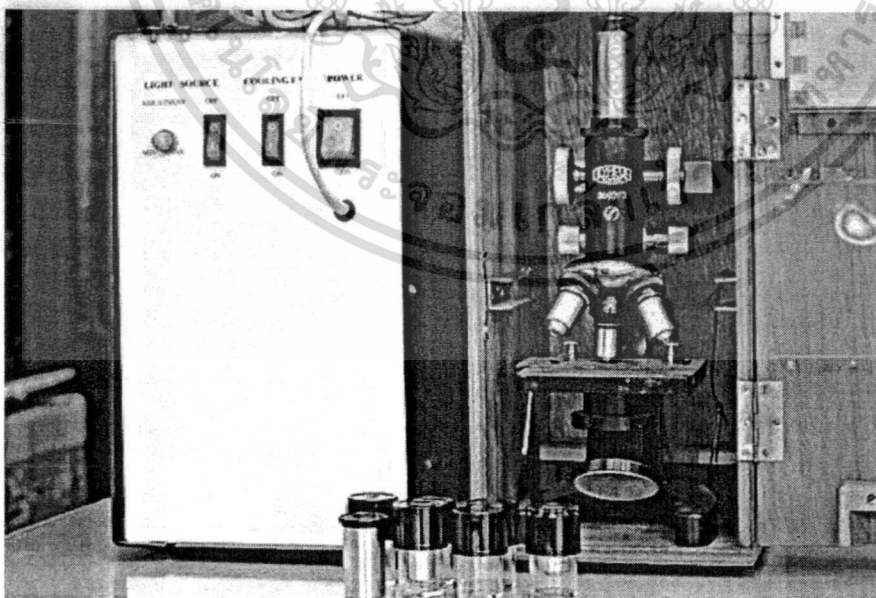
เมื่อพิจารณาความยาวคลื่นแสงจะคำนวณหาขนาดของความละเอียดของจุดบกพร่องดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความละเอียดของแสงที่ความยาวคลื่นย่านยูวี

UV Light Wavelength (nm)	Descriptor	CD Resolution (μm)
436	g-line	0.5
405	h-line	0.4
365	i-line	0.35
248	Deep UV (DUV)	0.25

3.3 การสร้างชุดการทดลอง

การประมวลผลภาพ (Image processing) คือ เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวีดิทัศน์ (วิดีโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วย แนวความคิดและเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณ สำหรับสัญญาณ 1 มิตินั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยาก แต่นอกเหนือจากเทคนิคจากการประมวลผลสัญญาณแล้วการประมวลผลภาพก็มีเทคนิคและแนวความคิดที่เฉพาะ (เช่น connectivity และ rotation invariance) ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่างจากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติ จะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ จึงสร้างชุดเครื่องมือในการทดลองดังรูปที่ 3.4 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 ชุดสร้างภาพในที่มืดและมีกำลังขยายภาพ 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ชุดสร้างภาพในที่มืดและมีกำลังขยายภาพ 100 เท่า

ขนาด	23 X 15X 30 cm
กำลังขยาย	เลนซ์ตา 7 เท่า เลนซ์ตา 15 เท่า เลนซ์วัตถุ 10 เท่า เลนซ์วัตถุ 20 เท่า เลนซ์วัตถุ 40 เท่า เลนซ์วัตถุ 60 เท่า
ระบบแสงสว่าง	แรงดันไฟ 220V AC 50/60Hz ความสว่าง 0 - 10000 lm
ชนิดหลอด	ไอโอดีน 1 หลอด ฮาโลโทน 1 หลอด ฮาโลเจน 1 หลอด
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิแวดล้อม : 0~40°C, ความชื้นแวดล้อม : 35~85% RH (ไม่ควบนั่นเป็นหยดน้ำ)

การประมวลผลภาพนั้นจะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก (analog) โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง (optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญหรือเลิกใช้ไป ยังมีใช้เป็นส่วนสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เช่น ฮอโลกราฟี (holography) แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันราคาถูกลง และเร็วขึ้นมาก การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่าเพราะการประมวลผลที่ได้ซับซ้อนขึ้น แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติจึงได้ให้ฟิลเตอร์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดังรูปที่ 3.5 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์กำเนิดแสง UV , Infrared และแสงสีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สร้างอุปกรณ์กำเนิดแสง UV , Infrared และแสงสีต่างๆ

ชุดเครื่องวัด	ชุดสร้างอุปกรณ์กำเนิดแสง UV , Infrared และแสงสีต่างๆ
ขนาด	380 mm x 90 mm x50 mm.
การใช้งาน	<ul style="list-style-type: none"> - ฟิลเตอร์ชุดสำหรับงานด้านแสงประกอบด้วยสีแดง เขียว น้ำเงิน และ Luminance ขนาด 2 นิ้ว สำหรับใส่ใน Filter Wheel เพื่อให้แสงออกมาตาม Filter ที่ต้องการถ่ายภาพรูปกับอุปกรณ์ CCD monoChrome ตัวฟิลเตอร์มีการเคลือบกัน UV และ IR ทำให้ contrast ของภาพสูงขึ้น - ฟิลเตอร์แบบ Hydrogen Alpha สำหรับในตอนกลางคืน เน้นความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรที่ปล่อยออกมา - ฟิลเตอร์ที่ปล่อยช่วงคลื่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 496-501 นาโนเมตร อยู่ประมาณแสงสีเขียว และ block ช่วงคลื่นอื่นๆทิ้งไป
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิแวดล้อม : 0~40oC, ความชื้นแวดล้อม : 35~65% RH

ภาพที่สร้างขึ้นเป็นกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลาย ๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมตา รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวนด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาสู่ประสาทรับรู้ทางตาของมนุษย์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ เช่น เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น



รูปที่3.6 ชุดอุปกรณ์กำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์กำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็ก

รายละเอียด	
เครื่องมือที่ใช้ผลิตรังสีเอกซ์	แบบเคลื่อนย้ายได้
ทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้า	100 kV
แรงดันไฟฟ้าประมาณ	3.0 mA
ค่า Power Rating	ไม่เกิน 200 Watts
ระบายความร้อน	ด้วยอากาศ
ทำงานต่อเนื่องที่อุณหภูมิ	25 – 28 ° C



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า

ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า

ชุดเครื่องวัด	ชุดสร้างอุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า
ขนาด	380 mm x 90 mm x 50 mm.
การใช้งาน	<p>หลักการการทำงานของอุปกรณ์นี้ก็คือตัวเครื่องจะให้กำเนิดสนามแม่เหล็กออกมา เมื่อสนามแม่เหล็กมีวัสดุมาตัดผ่านก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสเล็กๆขึ้นในวงจรการตรวจจับ ตัวเครื่องก็จะประมวลผลสัญญาณ ซึ่งเป็นคุณสมบัติดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - ปรับความถี่สนามแม่เหล็กได้ - มีสวิตช์ปิดเปิดเครื่อง - มีไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของแบตเตอรี่และสถานะทำงาน - น้ำหนักเบาใช้งานได้สะดวกสามารถชาร์จ Battery ด้วย Adapter 9 VDC - สามารถเปลี่ยน Battery ได้ง่าย
ระบบแสงสว่าง	แรงดันไฟ 9V DC
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิแวดล้อม : 0~40°C, ความชื้นแวดล้อม : 35~85% RH (ไม่ควมแน่นเป็นหยดน้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงผลของจอภาพคอมพิวเตอร์นั้น หน่วยของความละเอียดในการแสดงผลนั้นเป็นจุด (Pixel) แต่ในโลกแห่งความเป็นจริง ภาพที่เรามองเห็นด้วยตา ไม่ใช่การเรียงกันของจุด แต่มันเป็นภาพเชิงต่อเนื่องคือ ไม่สามารถแยกลงไปเป็นที่ละจุดได้เลย เพราะฉะนั้น เมื่อภาพนั้นมาอยู่ในคอมพิวเตอร์ ภาพจะต้องถูกปรับให้อยู่ในหน้าจอที่ประกอบด้วยจุดสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองตั้งแต่การเลือกพันธุ์ข้าว และผลการสร้างภาพเนื่องจากการตอบสนองที่แสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตลอดจนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเอ็กซ์เรย์

4.1 บทนำ

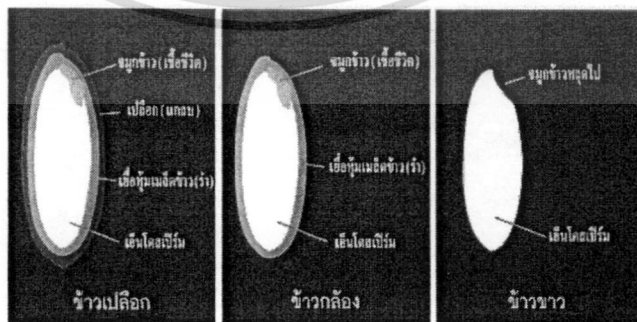
การศึกษาการปรับปรุงและพัฒนาพันธุ์ข้าว เป็นเทคนิคที่มีความหลากหลาย แต่ข้าวขวัญได้พยายามคิดค้นในเทคนิคอย่างง่าย ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีการตั้งแต่วิธีการอย่างง่าย เช่น การคัดพันธุ์ข้าว และวิธีการที่ต้องอาศัยความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ เช่น วิธีการผสมพันธุ์ข้าวและการปลูกคัดเลือกพันธุ์ข้าวหลังการผสม วิธีการคัดพันธุ์ข้าวไปจนถึงการผสมพันธุ์ข้าว การซื้อเมล็ดพันธุ์และการข้าวใช้พันธุ์ส่งเสริมยังทำให้ต้นทุนการทำนาสูงขึ้นอีกด้วย

การเรียนรู้เรื่องเทคนิคการคัดพันธุ์ข้าวจะทำให้ชาวนาได้สายพันธุ์ข้าวที่มีความบริสุทธิ์ทางสายพันธุ์ มีความสม่ำเสมอทั้งคุณภาพและรสชาติการหุงต้ม สามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น หากมีการปรับเปลี่ยนเป็นการทำนาแบบไม่ใช้สารเคมีก็จะทำให้ลดต้นทุนการทำนาลง

การคัดพันธุ์ข้าวมีหลายวิธีการคัดพันธุ์ข้าวแบบดั้งเดิมคือการคัดเลือกข้าวจากแปลงนาที่ไม่มีโรคและแมลงรบกวน ไม่มีข้าวพันธุ์อื่นขึ้นปน และการคัดเลือกเก็บรวงที่สมบูรณ์ไว้สำหรับทำพันธุ์ แต่วิธีการดังกล่าวก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องคุณภาพของเมล็ดข้าว เช่น ปัญหาท้องไข่ ความมันวาว เม็ดรำ เม็ดบิดเบี้ยว ข้าวปน เป็นต้น จึงมีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น เทคนิคการคัดพันธุ์ข้าวกล้องเป็นเทคนิคใหม่เทคนิคมีขั้นตอนดังนี้

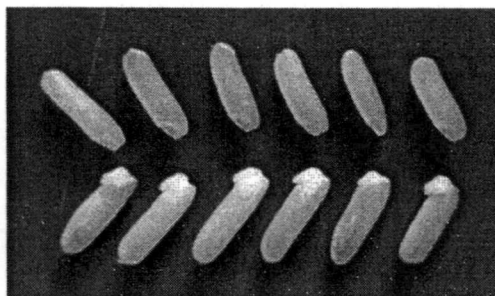
การคัดพันธุ์จากข้าวกล้องด้วยการแกะข้าวกล้องด้วยมือขั้นตอน

1. นำเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์ที่ต้องการมาทำความสะอาดเพื่อให้เมล็ดลีบออกไป
2. แกะเปลือกด้วยมือโดยแกะจากทางด้านหางของเมล็ดข้าวเพื่อไม่ให้งอกข้าวถูกทำลาย
3. เลือกข้าวกล้องเมล็ดสมบูรณ์ตรงตามสายพันธุ์ และเมล็ดมีความมันวาว ไม่เป็นโรค ไม่เป็นท้องไข่หรือท้องปลาชิวให้ได้จำนวนประมาณ 100 เมล็ด



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของข้าวชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพถ่ายเมล็ดข้าวขาวที่มีลักษณะดีต่อการปลูก

จากตัวอย่างได้นำรูปถ่ายเมล็ดข้าวทั้งข้าวกล้องและข้าวขาวทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะทำการหาอัตราส่วนของเมล็ดข้าวทั้งทางยาวและความกว้าง รวมถึงทำการคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมขอบริเวณจมูกข้าว ซึ่งจมูกข้าวนี้จะเป็นสิ่งสำคัญในการงอกของเมล็ดข้าว ส่วนรูปภาพที่ถ่ายจะสามารถหาการเป็นท้องปลาชีวิตเช่นกัน

4.2 การสร้างภาพ

การทดลองได้แบ่งพันธุ์ข้าวเป็นสองส่วนกล่าวคือทำการคัดพันธุ์ข้าวที่มารแกะเปลือกข้าวออกเพื่อทำการทดลองถ่ายภาพด้วยแสงสีต่างๆ เนื่องจากขนาดของรอยบนเมล็ดข้าวเปล่านั้นจะมีขนาดไม่เท่ากันและการสะท้อนแสงที่ตกกระทบไม่เท่ากัน โดยทำการแยกสีต่างๆออกจากแหล่งกำเนิดแสงด้วยฟิลเตอร์เพื่อให้แสงที่ย่านความยาวคลื่นเดียวผ่านและตกกระทบบนเมล็ดข้าวได้ซึ่งจะใช้แสงสีต่างๆดังนี้

- ฟิลเตอร์ชุดสำหรับงานด้านแสงประกอบด้วยสีแดง เขียว น้ำเงิน และ Luminance ขนาด 2 นิ้ว สำหรับใส่ใน Filter Wheel เพื่อให้แสงออกมาตาม Filter ที่ต้องการนำถ่ายรูปกับอุปกรณ์ CCD monoChrome ตัวฟิลเตอร์มีการเคลือบกัน UV และ IR ทำให้ contrast ของภาพสูงขึ้น
- ฟิลเตอร์แบบ Hydrogen Alpha สำหรับในตอนกลางคืน เน้นความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรที่ปล่อยออกมา
- ฟิลเตอร์ที่ปล่อยช่วงคลื่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 496-501 นาโนเมตร อยู่ประมาณแสงสีเขียว และ block ช่วงคลื่นอื่นๆทิ้งไป

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเลือกความยาวคลื่นของแสงที่สั้นลงจะทำให้มีการแสดงลักษณะผิวของเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ละเอียด

ส่วนที่สองจะทำการสร้างภาพจากเมล็ดข้าวโดยไม่มีการแกะเปลือก เพื่อศึกษาวิธีการตัดให้มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เนื่องจากเมื่อเมล็ดพันธุ์ที่ยังไม่ถูกแกะจะสามารถเก็บและสะดวกในการการคัดมากกว่าการแกะเมล็ดพันธุ์

การทดลองได้ใช้ชุดกำเนิดสนามไฟฟ้าในการวัด โดยมีหลักการทำงานของอุปกรณ์นี้ก็คือตัวเครื่องจะให้กำเนิดสนามแม่เหล็กออกมา เมื่อสนามแม่เหล็กมีวัสดุมาตัดผ่านก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสเล็ก ๆ ขึ้นในวงจรการตรวจจับ ตัวเครื่องก็จะประมวลผลสัญญาณ ซึ่งเป็นคุณสมบัติดังนี้

- ปรับความถี่สนามแม่เหล็กได้
- มีสวิตช์ปิด-เปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของแบตเตอรี่และสถานะทำงาน
- น้ำหนักเบาใช้งานได้สะดวกสามารถชาร์จ Battery ด้วย Adapter 9 VDC
- สามารถเปลี่ยน Battery ได้ง่าย

ในการทดลองได้เริ่มทำการเตรียมอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์สร้างภาพ โดยจะนำภาพที่ได้สร้างได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแมทแลปอีกครั้งเพื่อให้รายละเอียดที่มากที่สุด

4.3 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสงแบบ CCD เมื่อมีพลังงานที่ถูกกระตุ้นมาตกกระทบจะทำให้เกิดภาพขึ้นแต่จะมีค่าต่างของสีน้อย และทำการแปลงให้เป็นหาขอบของเมล็ดข้าวนั้นเป็นไปได้ยาก แต่เมื่อทดลองเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงเป็นแสงสีเดียว ผลที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบในหน่วยทำการเปรียบเทียบกับค่ามากที่สุด (Normalize) เมื่อนำมาวัดด้วยไมโครมิเตอร์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการสร้างภาพที่แหล่งแสงค่าต่างๆ

ชนิดหลอด	ข้าวเปลือก		ข้าวกล้อง	
	No filter	Hydrogen Alpha	No filter	Hydrogen Alpha
ไอโอดีน	0.8	1	0.7	1
ฮาโลเจน	0.5	0.8	0.6	0.8
ฮาโลเจน	0.4	0.6	0.4	0.7

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการวัดสร้างภาพและหาขอบของเมล็ดข้าวทั้งสองชนิด พบว่าความยาวคลื่นมีผลต่อความแม่นยำโดยแสงที่ความยาวคลื่นน้อยให้ความละเอียดและใกล้เคียงผลที่ได้จากการวัดขนาดด้วยไมโครคาร์ลิเปอร์ แต่เมื่อนำมาอ่านออร์มอลไลซ์จะเห็นผลที่ชัดเจนขึ้นและเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้เมื่อทำการทดลองยังพบว่าในการทดลองควรรอให้หลอดมีพลังงานคงที่ กล่าวคือควรเปิดทิ้งไว้ก่อนทำการวัดประมาณ 15 นาที และทำการทดลองในสารแต่ละชนิดที่ความเข้มชั้นต่างๆ

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการสร้างภาพด้วยกำเนิดรังสี X-rays ขนาดเล็กและอุปกรณ์กำเนิดสนามไฟฟ้าพร้อมตัววัดสนามไฟฟ้า

ชนิดของข้าว	X-rays		สนามไฟฟ้า	
	ความเข้ม 1	ความเข้ม 2	ความเข้ม 1	ความเข้ม 2
ข้าวเปลือก	✓	✓	✓	×
ข้าวกล้อง	✓	×	×	×
ข้าวสาร	✓	×	×	×

หมายเหตุ ความเข้ม 2 มากกว่าความเข้ม 1

จากการทดลองด้วยแสงความยาวคลื่นให้ผลการตอบสนองทางแสงที่ดีกว่า เนื่องจากมีพลังงานที่เหมาะสมกับ CCD และเมื่อเปลี่ยนเป็น x-ray ปรากฏว่าตัวตรวจวัดไม่สามารถวัดค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เลยที่ความเข้มสูง และทดลองวัดด้วยโฟโตดีเทคเตอร์เป็นจุดๆพบว่าสัญญาณมีสัญญาณรบกวนมากทำให้ไม่สามารถแยกระดับความแตกต่างของภาพได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพื้นฐานในการที่จะนำเอาภาพมาประมวลผลเพื่อหาสมบัติต่างๆของภาพที่รับมาจากกล้อง CCD ซึ่งในงานวิจัยนี้ ก็จะเป็นการออกแบบชุดทดลองและเขียนโปรแกรมอย่างง่ายที่สุด ซึ่งเกิดจากการนำเอาภาพ 2 ภาพมา เปรียบเทียบกัน และหาจุดที่มีความแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งโปรแกรมนี้อาจสามารถทำงานได้ในระดับหนึ่งภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเท่านั้น ทำให้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาโปรแกรมที่ซับซ้อน และมีความสามารถมากขึ้นต่อไปได้

ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลของภาพสี และขาวดำ
2. ได้ความรู้เกี่ยวกับการรับภาพจากกล้อง CCD จากแหล่งคลื่นที่มีความยาวต่างๆกัน
3. ได้ความรู้เกี่ยวกับ Image Processing
4. ได้ความรู้ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Math lab

ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. อุปกรณ์ตัวรับสัญญาณมีช่องว่างของแถบพลังงานไม่พอ ซึ่งความสว่างจะไม่สามารถรับความยาวคลื่นที่ค่าความยาวจะให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด ทำให้การประมวลผลผิดพลาดได้
2. เกิด Noise ขึ้นในการใช้งาน ทั้งนี้ สันนิษฐานว่าเกิดจากตัวกล้องที่มีผลต่อคลื่นที่มีพลังงานสูง ซึ่งทำให้การประมวลผลผิดพลาด
3. การประมวลผลเป็นไปได้ค่อนข้างช้า

ข้อเสนอแนะ

จากความรู้ที่ได้รับ และปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการครั้งนี้ จึงมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้วิจัยมีการปรับปรุงดังนี้

1. ประดิษฐ์ตัวรับแสงเองจากวัสดุที่มีพลังงานแถบต้องห้ามกว้างกว่าซิลิคอน เช่น แกเลียมอาร์เซไนด์ หรือ คาร์บอน
2. ปัญหาใหญ่คือการเกิดสัญญาณรบกวนซึ่งต้องศึกษาถึงการลดสัญญาณรบกวนให้ได้มากที่สุด

บรรณานุกรม

1. กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545ก. ข้าวหอมมะลิ: การผลิตให้มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง.
2. กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545ข. การปลูกข้าวที่ถูกต้องและเหมาะสม.
3. วราภรณ์ คำบุญเรือง. 2535. เทคโนโลยีการปลูกข้าว. กรุงเทพฯ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
4. Abul Hasan Siddiqi, "Applied functional analysis : numerical methods, wavelet methods, and image processing", New York : Marcel Dekker, c2004
5. G.J. Awcock and R. Thomas, "Applied image processing" ,New York : McGraw-Hill, c1996
6. Rastislav Lukac, Konstantinos N. Plataniotis, "Color image processing : methods and applications",Boca Raton: Taylor & Francis, c2007
7. William F. Schreiber, "Fundamentals of electronic imaging systems : some aspects of image processing", Berlin : springer-Verlag, c1993
8. P. Venkataraman, "Applied optimization with MATLAB programming", New York : John Wiley, c2002



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักวิจัย

ประวัติส่วนตัว

- นายโยธิน วงศ์ประเสริฐ

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ด	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง	2549
วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง	2542
วท.บ	ฟิลิกส์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้