สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดระยะทางของพื้นผิววัตถุแบบสามมิติด้วยรหัสเกรย์

THREE-DIMENSIONAL OBJECT SURFACE MEASUREMENT USING GRAY CODE

นายเสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา

MR. SERMPONG KONGVIRIYAVITHAYA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2539

ISBN 974-621-694-5

ลิขสิทธิของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน...27278
วัน, เดือน, ป.....18 ส.ค. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THREE-DIMENSIONAL OBJECT SURFACE MEASUREMENT USING GRAY CODE

SERMPONG KONGVIRIYAVITHAYA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

ISBN 974-621-694-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดระยะทางของพื้นผิววัตถุแบบสามมิติด้วยรหัสเกรย์
นักศึกษา	นายเสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็คทรอนิคส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2539

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย และการรู้ระยะทางเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนไหวแขนกลไปหยิบจับวัตถุในตำแหน่งที่ต้องการได้ถูกต้อง ในการรับรู้ระยะทางของมนุษย์จะใช้ตาทั้งสองข้าง แต่หุ่นยนต์จะใช้ตัวตรวจจับ เช่น กล้องวีดีโอต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เป็นต้น วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการหาระยะทางบนวัตถุด้วยหลักการของรูปสามเหลี่ยม โดยใช้เครื่องกำเนิดแสง (Projector) ฉายผ่านฉากรหัสไบนารี่ (Binary Code Pattern) ผ่านไปยังวัตถุ และใช้กล้องวีดีโอเก็บภาพวัตถุ ซึ่งเป็นภาพข้อมูลระยะทาง (Range Image) ที่ทุกตำแหน่งบนวัตถุจะถูกเข้ารหัสไว้ และนำรหัสดังกล่าวไปคำนวณหาระยะทางบนวัตถุในพิกัดคาร์ทีเซียน แต่จะเกิดปัญหาขึ้นที่ความเหลื่อมล้ำของแสงระหว่างร่องแสง (บิท) ข้างเคียงที่ติดกัน ซึ่งเป็นผลให้ระยะทางบางตำแหน่งผิดไปมาก จึงได้พัฒนาขึ้นอีกโดยเปลี่ยนจากฉากรหัสไบนารี่ไปเป็นฉากรหัสเกรย์ (Gray Code Pattern) ซึ่งจะลดปัญหาความเหลื่อมล้ำของแสงระหว่างร่องแสง (บิท) ที่ติดกัน โดยจะมีข้อผิดพลาดสูงสุดเพียง 1 LSB (Least Significant Bit) เท่านั้น เมื่อเทียบกับข้อมูลขนาด 7 บิทในการทดลอง ซึ่งถือว่าน้อยมาก และสามารถนำระยะทางที่คำนวณได้นำไปหาเวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) ที่พื้นผิววัตถุได้ และแสดงรูปวัตถุในลักษณะของ Wireframe ได้ ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจถึงรูปร่างหรือลักษณะของพื้นผิววัตถุได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Three-Dimensional Object Surface Measurement Using Gray Code
Student	Mr.Sermpong Kongviriyavithaya
Thesis Advisor	Assistant Professor Kaset Sirisantisamrit
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electronic Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1996

Abstract

In present, the robot is used for several industrial tasks. Range finding is particularly necessary for moving its gripper to grasp the object in accurately address for robot. In range finding of human being will use two eyes. But the robot will use sensor such as a CCD video camera that connected with the other devices. This thesis presents a method for range finding on the object by the triangulation method. Projector will illuminate to pass through the binary code pattern onto the object and the CCD video camera is used for getting the image. We will get input image to be range image that contains the positional information. Then, we will take this information to calculate distance on the object in cartesian coordinates. But we will meet some problems about the ambiguity between the two adjacent boundary (bit). So, the results from calculating of some positions will not be correct. Therefore, we developed by changing from the binary code pattern to be the gray code pattern. The gray code has the maximum error only 1 LSB (Least Significant Bit) between the two adjacent boundary (bit). When we compare this error with 7-bit data in experiment, it is a little bit error. We can take range data to find a Normal vector on the object surface and we can show the object surface in Wireframe format. Both are help us to understand object surface shape easily.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก ท่านอาจารย์เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งคอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจต่อผู้วิจัยตลอดเวลา ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการค้นคว้าหาข้อมูลจากหนังสือและวารสารทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นที่ได้ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่

1. บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

ขอบเขตการวิจัย 3

2. ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ 5

ระบบการมองเห็นทั่วไป 5

วิธีการเก็บภาพ 6

การประมวลผลภาพ 9

การแสดงข้อมูลภาพ 11

การแสดงภาพตามสัดส่วนของระยะทาง 14

3. วิธีการคำนวณหาระยะทางด้วยหลักการต่างๆ 17

หลักการของรูปสามเหลี่ยม 17

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ 18

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ 20

หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป 23

ภาพข้อมูลระยะทาง 28

เวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) 29

4. การเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารี่ 31

พารามิเตอร์เครื่องกำเนิดแสงและกล้องวิดีโอ 31

การฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี่ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

การเปลี่ยนภาพรหัสไบนารี่ไปเป็นข้อมูลระยะทาง 34
ความผิดพลาดจากการเข้ารหัสไบนารี่ 38
5. การเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสเกรย์ 44
การฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์ 44
การเปลี่ยนภาพรหัสเกรย์ไปเป็นข้อมูลระยะทาง 46
ความผิดพลาดจากการเข้ารหัสเกรย์ 48
การ Interpolation ภาพข้อมูลระยะทาง 52
6. วิธีการคำนวณในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน 56
การแปลงภาพข้อมูลระยะทางเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x,y,z) 56
การแสดงตำแหน่งต่างๆด้วยสมการในรูปแบบสามมิติ 56
การคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจากข้อมูลระยะทาง 59
ผลการคำนวณหาระยะทาง 62
7. การประยุกต์ใช้งานข้อมูลระยะทาง 71
การหาเวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) บนพื้นผิววัตถุสามมิติ 71
การแสดงภาพในลักษณะแบบ Wireframe 73
8. บทสรุปและผลการทดลอง 78
สรุปผลการวิจัย 78
ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ 79
บรรณานุกรม 80
ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก 82
ประวัติผู้เขียน 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1. แสดงข้อมูลระยะทางที่ย่านต่างๆ จากรหัสไบนารี 38
2. แสดงข้อมูลระยะทางที่ย่านต่างๆ จากรหัสเกรย์ 48
3. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 49 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์ 63
4. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 49 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี 63
5. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 50 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์ 64
6. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 50 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี 64
7. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 51 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์ 65
8. แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 51 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1. (a) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกสุ่มตัวอย่างในกระบวนการดิจิไตเซชั่น, และ (b) แสดงการจัดระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาแล้วให้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และแปลงเป็นรหัสดิจิตอล 4 บิทแทน 7
2. แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิทต่อ 1 จุดภาพต่างกัน 8
3. (a) แสดงภาพก่อนการประมวลผลของภาพไบนารี, และ (b) แสดงภาพหลังการประมวลผลทีละจุดของภาพไบนารี 10
4. (a) แสดงภาพก่อนการประมวลผล, และ (b) แสดงภาพหลังการประมวลผลทีละกลุ่มของภาพ 11
5. แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงภาพ 11
6. แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัฟเฟอร์กับจอภาพ 12
7. แสดงระบบพิกัดของจอภาพ 12
8. แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิทต่อ 1 จุดภาพ 13
9. แสดงรูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ 14
10. แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมอย่างง่าย 17
11. แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ 19
12. แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ 20
13. แสดงตัวอย่างวิธีการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบลายเส้นเดี่ยว 22
14. แสดงเปรียบเทียบมุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ 24
15. แสดงการวัดระยะทางโดยใช้การวิเคราะห์ความต่างเฟส 25
16. (a) แสดงอุลตร้าโซนิคแบบเพียซโซอิเล็คทริค, และ (b) แสดงอุลตร้าโซนิคแบบอิเล็คโตร์สเตติค 26
17. แสดงตัวอย่างการใช้ตัวอุลตร้าโซนิคในการวัดระยะทาง 27
18. (a) แสดงภาพตัวอย่าง, และ (b) แสดงภาพที่ได้จากการใช้แสงเลเซอร์ 28
19. แสดงเวคเตอร์ตั้งฉากบนผิววัตถุ 29
20. แสดงการวางกล้องวิดีโอและเครื่องกำเนิดแสงในการทดลอง 32
21. แสดงการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี 32
22. แสดงฉากรหัสไบนารี 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

23. แสดงวัตถุที่นำมาทดลอง 33
24. แสดงภาพวัตถุจากการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี 34
25. แสดงกระบวนการทั้งหมดในการเข้ารหัสระยะทาง 35
26. (a) แสดงตำแหน่งบนภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติ และ
(b) แสดงตำแหน่งบนภาพวัตถุที่ใช้ฉากรหัสไบนารี 36
27. แสดงค่า gray level จากภาพที่ 26 (a) และ (b) 36
28. แสดงภาพจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 23 และ ภาพที่ 24 37
29. (a) เกิดความเหลื่อมล้ำระหว่างร่องแสงติดกัน, และ (b) ไม่เกิดความเหลื่อมล้ำขึ้น 39
30. แสดงภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ 39
31. แสดงข้อมูลระยะทางของภาพที่ 30 40
32. (a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง, และ
(c) แสดงข้อมูลระยะทาง 41
33. (a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง, และ
(c) แสดงข้อมูลระยะทาง 42
34. แสดงฉากรหัสเกรย์ 44
35. แสดงวัตถุที่นำมาทดลอง 45
36. แสดงภาพวัตถุจากการฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์ 45
37. แสดงภาพวัตถุจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 35 และภาพที่ 36 46
38. แสดงภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ 48
39. แสดงภาพข้อมูลระยะทางจากรหัสเกรย์ 49
40. (a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ, และ
(c) แสดงข้อมูลระยะทาง 50
41. (a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ, และ
(c) แสดงข้อมูลระยะทาง 51
42. แสดงการ interpolation ข้อมูลระยะทาง 52
43. แสดงภาพข้อมูลระยะทางหลังการทำ interpolation 53
44. แสดงตำแหน่งต่างๆ ด้วยหลักการรูปสามเหลี่ยม 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

45. แสดงตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน Z กับแกน X 57
46. (a) แสดงตำแหน่ง Zt, dt และ(b) แสดงตำแหน่งมุม θ 57
47. (a) แสดงตำแหน่ง Zt, dt และ(b) แสดงตำแหน่งมุม φ และφ_0 58
48. แสดงตำแหน่ง Zt, Yt และมุม ζ 60
49. แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ 63
50. แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ 64
51. แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ 65
52. แสดงระยะทางจากการวัดและคำนวณ (a) ภาพที่ 49, (b) ภาพที่ 50 และ(c) ภาพที่ 51 66
53. แสดงภาพต้นแบบ 67
54. แสดงภาพข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณ 67
55. แสดงข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้คำนวณจากภาพที่ 54 67
56. แสดงกราฟระยะทางที่คำนวณได้จากตำแหน่งที่กำหนดขึ้น 68
57. แสดงภาพต้นแบบ 68
58. แสดงภาพข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณ 69
59. แสดงข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้คำนวณจากภาพที่ 58 69
60. แสดงกราฟระยะทางที่คำนวณได้จากตำแหน่งที่กำหนดขึ้น 70
61. แสดงการกำหนดจุดแบบสุ่มตัวอย่างบนภาพวัตถุ 71
62. แสดงเวคเตอร์ตั้งฉากบนพื้นผิววัตถุ 72
63. แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b) 74
64. แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b) 75
65. แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b) 76
66. แสดงการเก็บภาพวัตถุทั้ง 3 ด้าน 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานทางด้านอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) และหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่ได้ (Stationary Robot) เหตุผลที่ต้องใช้หุ่นยนต์ก็เพราะว่าทำงานได้รวดเร็ว มีคุณภาพแน่นอน หรือทำงานที่มีความเสี่ยงอาจเกิดอันตรายแทนมนุษย์ได้ เป็นต้น ในงานของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ไม่ได้จำเป็นจะต้องกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนให้ ซึ่งสามารถเห็นได้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ เช่น ในการหยิบจับชิ้นงานและเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งเป็นงานที่ต้องกระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ เพียงแต่กำหนดตำแหน่งให้กับหุ่นยนต์เท่านั้นก็สามารถทำงานได้ตลอดเวลา ถ้าหากให้มนุษย์ทำงานดังกล่าว เพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็เกิดความอ่อนล้าขึ้นแล้ว ทำให้ทำงานได้ช้าลงหรือได้งานน้อยลง ส่วนในงานของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ เราสามารถกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนหรือให้หุ่นยนต์สามารถหาตำแหน่งของวัตถุได้เอง วิธีการหาตำแหน่งหรือระยะทางของวัตถุมีอยู่หลายวิธีด้วยกันซึ่งจะได้เสนอต่อไป

ในการหาระยะทางของวัตถุจะใช้ตัวตรวจจับ (Sensor) ชนิดต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับยังไม่ใช่เป็นระยะทางจริง จะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณใหม่เสียก่อน เราเรียกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับนี้ว่า ข้อมูลระยะทาง (Range Data) ดังนั้นข้อมูลระยะทางจึงมีประโยชน์มาก ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์นำข้อมูลระยะทางดังกล่าวไปคำนวณหาระยะทางจริง เพื่อให้สามารถรับรู้ระยะทางที่จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือเคลื่อนไหวไปหยิบจับวัตถุที่ต้องการได้ บางครั้งข้อมูลระยะทางยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ภาพวัตถุชนิดสามมิติได้อีกด้วย เช่น ใช้ในการแบ่งข้อมูลภาพ (Segmentation) ใช้ในการอธิบายถึงรายละเอียดของภาพ (Description) เป็นต้น ในการหาข้อมูลระยะทาง มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันออกไป วิธีแรกจะใช้การคำนวณเวลาของคลื่นในการหาข้อมูลระยะทาง ซึ่งอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคลื่นแสง หรือคลื่นเสียง [1] ก็ได้ แต่จะต้องมีตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับคลื่น โดยจะทำการส่งคลื่นไปยังตำแหน่ง หรือไปยังวัตถุที่ต้องการ จากนั้นคลื่นจะสะท้อนกลับมายังตัวรับ โดยเราจะคำนวณหาเวลาที่สูญเสียไปในระหว่างการเดินทางของคลื่นจากตัวกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับคลื่น วิธีการดังกล่าวจะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน นอกจากนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการประกอบวงจรจะต้องมีความแม่นยำสูง เช่น วงจรกำเนิดคลื่น หรือ วงจรรับคลื่น เป็นต้น และรายละเอียดความลึกของวัตถุ อาจถูกกำหนดโดยตัววงจร (hardware) ข้อเสียที่สำคัญอีกอย่างก็คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังนานเกินไป

อีกวิธีหนึ่งจะใช้หลักการของรูปสามเหลี่ยมในการหาข้อมูลระยะทาง และวิธีนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเรียกว่า พาสซีพ (passive) ซึ่งมีหลักการเช่นเดียวกับวิธี stereo vision [2] คือจะใช้กล้อง 2 กล้องในการเก็บภาพวัตถุ โดยใช้การคำนวณ จุดภาพ 2 จุด ซึ่งได้จากกล้องทั้งสองตัว (1 กล้อง ต่อ 1 จุดภาพ) แล้วนำมาหาค่าความแตกต่างของ 2 จุดภาพนี้ นำค่าแตกต่างที่ได้ไปคำนวณหาข้อมูลระยะทาง วิธีนี้มีข้อเสีย คือ หากว่าจุดภาพ 2 จุดที่ได้ผิดตำแหน่งไปข้อมูลระยะทางที่ได้ก็ผิดพลาดไปด้วย และอีกวิธีซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอเรียกว่า แอคทีพ (active) โดยจะใช้เครื่องกำเนิดแสง เป็นตัวกำเนิดแสงซึ่งเป็นแบบจุด (spot) หรือ แบบลายเส้นเดี่ยว (stripe) [3] ก็ได้ และใช้กล้องวีดีโอในการเก็บภาพวัตถุ ซึ่งภาพที่ได้เราจะนำจุดภาพที่ถูกแสงมาคำนวณหาข้อมูลระยะทาง ทั้งวิธีแบบจุดหรือแบบลายเส้นมีข้อเสียที่คล้ายกัน คือ เวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพใช้เวลานาน เพราะว่าต้องเก็บข้อมูลเป็นจุด หรือ แบบลายเส้นโดยต้องกระทำตลอดทั้งภาพ และเมื่อต้องการรู้ระยะทางที่ตำแหน่งอื่นหรืออาจจะทุกตำแหน่งบนวัตถุ จะต้องเลื่อนเครื่องกำเนิดแสงแบบจุดหรือแบบลายเส้นไปตลอดทั่วทั้งวัตถุ ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นสูง โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำทั้งวิธีแบบจุดและแบบลายเส้นมาทำการพัฒนาขึ้น เพื่อให้สามารถคำนวณหาข้อมูลระยะทางพร้อมทั้งคำนวณหาระยะในแนว x, y, z ระหว่างกล้องวีดีโอไปยังตำแหน่งต่าง ๆ บนวัตถุได้ และในการคำนวณหาระยะทางสามารถคำนวณหาระยะทางทุกตำแหน่งบนวัตถุได้เร็วกว่า และมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมมาก นอกจากนี้เราสามารถนำระยะทางที่คำนวณได้นำไปหาเวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) ที่พื้นผิววัตถุได้ และแสดงรูปวัตถุในลักษณะของ Wireframe ได้อีกด้วย ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจถึงรูปร่างหรือลักษณะของพื้นผิววัตถุได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำหุ่นยนต์ไปใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยเน้นในการมองเห็นแทนการมองเห็นของมนุษย์ในการตรวจสอบชิ้นงานที่กระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ

2. เพื่อให้ทราบถึงวิธีการและสร้างความเข้าใจในการรู้ระยะทางของวัตถุหนึ่งๆหรือที่ตำแหน่งใดก็ตามของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวตรวจจับ (Sensors) ชนิดต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดแสงจะใช้ในการเข้ารหัสระยะทาง กล้องวิดีโอจะใช้ในการเก็บภาพข้อมูลระยะทาง เพื่อนำไปคำนวณหาระยะทางแบบสามมิติต่อไป

3. เพื่อให้สามารถคำนวณหาระยะทางแบบสามมิติบนทุกตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

4. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลระยะทางที่ได้ไปแสดงลักษณะพื้นผิวของวัตถุ โดยแสดงเป็นเวคเตอร์ตั้งฉากบนพื้นผิววัตถุสามมิติ และแสดงเป็นรูปร่างวัตถุในลักษณะของ Wireframe ได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์มากในการนำไปใช้จดจำวัตถุแบบสามมิติ

ขอบเขตการวิจัย

เนื้อหาวิทยานิพนธ์จะอธิบายถึงขั้นตอนและรายละเอียดต่างๆ ในการทดลอง โดยแบ่งออกเป็นบทต่างๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอบเขตการวิจัย

บทที่ 2 อธิบายถึงระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงระบบการมองเห็นทั่วไปซึ่งก็คือระบบการมองเห็นของมนุษย์ โดยงานบางอย่างมนุษย์ไม่สามารถทำได้ดี จึงได้เปลี่ยนมาใช้ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์แทน ซึ่งจะอธิบายถึงขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเก็บภาพ การประมวลผลภาพ การแสดงข้อมูลภาพ ไปจนถึงการแสดงภาพตามสัดส่วนของระยะทาง

บทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการคำนวณหาระยะทาง ด้วยหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ แอคทีฟ และหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป นำระยะทางที่คำนวณได้จากหลักการดังกล่าวไปแสดงเป็นภาพข้อมูลระยะทาง นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลระยะทางนี้ไปหาเวคเตอร์ตั้งฉาก และย่านวัตถุสามมิติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อธิบายถึงการเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารี ด้วยการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี่ และขั้นตอนในการเปลี่ยนภาพรหัสไบนารี่ไปเป็นข้อมูลระยะทาง นำผลที่ได้มาแสดงหาความผิดพลาดจากการเข้ารหัสไบนารี่

บทที่ 5 อธิบายถึงการเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสเกรย์ ด้วยการฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์ และขั้นตอนในการเปลี่ยนภาพรหัสเกรย์ไปเป็นข้อมูลระยะทาง นำผลที่ได้มาแสดงหาความผิดพลาดจากการเข้ารหัสเกรย์ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารี่

บทที่ 6 อธิบายถึงวิธีการคำนวณในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน โดยใช้การแปลงภาพข้อมูลระยะทางให้เป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z) ด้วยการแทนตำแหน่งต่างๆ ออกมาเป็นสมการคณิตศาสตร์ในรูปแบบสามมิติ และแสดงวิธีการคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจากข้อมูลระยะทาง เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริง

บทที่ 7 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานข้อมูลระยะทาง เช่น การแสดงลักษณะพื้นผิวของวัตถุ โดยแสดงเป็นเวคเตอร์ตั้งฉากบนพื้นผิววัตถุสามมิติ และแสดงเป็นรูปร่างวัตถุในลักษณะของ Wireframe

บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์

ระบบการมองเห็นทั่วไป

ระบบการมองเห็นทั่วไปในที่นี้จะกล่าวถึงระบบการมองเห็นของมนุษย์อย่างเบื้องต้น ซึ่งในหลายปีที่ผ่านมา ในงานด้านอุตสาหกรรมจะใช้การมองของมนุษย์ในการควบคุมคุณภาพ เช่น การตรวจสอบความชำรุด สี รอยตำหนิ และลวดลายของชิ้นงานหรือวัตถุใดๆ ก็ตาม แต่เนื่องมาจากระบบการมองเห็นของมนุษย์มีความไม่แน่นอน เช่น การมองวัตถุชนิดเดียวกันที่มีความเข้มของสีต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่มนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างดังกล่าวได้ ยังคงเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกันอยู่ การตรวจสอบวัตถุที่กระทำซ้ำๆกันเป็นเวลานานๆ เป็นผลให้เกิดความอ่อนล้าขึ้นที่ดวงตาและตัวมนุษย์เอง ซึ่งทำให้คุณภาพที่ออกมามีความถูกต้องไม่สม่ำเสมอ การตัดสินใจของแต่ละบุคคลที่มีไม่เหมือนกัน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแยกแยะของดวงตารวมถึงเชาว์ปัญญา (Intelligent) ของแต่ละบุคคลด้วย โดยเชาว์ปัญญานั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายทาง เช่น เรียนรู้จากประสบการณ์ การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การสังเกตเห็น ความรู้สึกที่รับรู้ได้เอง เป็นต้น แต่เป็นเพียงส่วนน้อยที่เชาว์ปัญญาจะเกิดขึ้นได้เอง

ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์มีลักษณะตายตัวจะสร้างขึ้นมาจากฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟแวร์ (Software) ซึ่งตัวตรวจจับ (Sensor) ที่นิยมใช้งานมีอยู่หลายชนิด แต่เราได้เลือกเอากล้องวิดีโอนำมาใช้เป็นอุปกรณ์หลักโดยกล้องวิดีโอสามารถมองเห็นภาพได้ใกล้เคียงกับตามนุษย์มากที่สุด ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์สามารถมองหรือตรวจสอบวัตถุที่ต้องกระทำซ้ำๆ กันได้เป็นเวลานานๆ และมีประสิทธิภาพสูงกว่ามนุษย์มาก แต่เนื่องจากในระบบการตรวจสอบนั้นจะออกแบบอัลกอริธึมเพียงครั้งเดียวเพื่อใช้ในการตรวจสอบเฉพาะงานใดงานหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อเสียของวิธีนี้ แต่จะทำให้ผลที่ได้มีความถูกต้องและความเชื่อถือได้เป็นอย่างดี เช่น เมื่อออกแบบอัลกอริธึมเฉพาะใช้ในการตรวจสอบสีของชิ้นงาน จะไม่สามารถนำอัลกอริธึมดังกล่าวไปตรวจสอบขนาดของชิ้นงานได้ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขอัลกอริธึมขึ้นใหม่เสียก่อน แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้เริ่มมีการออกแบบพัฒนาระบบและฟังก์ชันในการตรวจสอบให้มีความสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานได้ทั่วไป โดยขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าจะนำไปประยุกต์ใช้ในงานประเภทใด ไม่ว่าจะเป็นการแยกแยะตำแหน่ง ขนาด ลวดลาย สี และชนิดของวัตถุใด ๆ ก็ตาม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมนำหุ่นยนต์ไปใช้ในงานต่าง ๆ เช่น ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน ใช้แขนกล (Gripper) ในการหยิบจับชิ้นงานและนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ เป็นต้น โดยในหัวข้อต่อไปจะอธิบายถึงระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ตั้งแต่การเก็บภาพวัตถุไปจนถึงการแสดงภาพวัตถุออกมา

วิธีการเก็บภาพ

ในการเก็บภาพของวัตถุหนึ่งๆ จะอาศัยอุปกรณ์สำหรับรับภาพได้แก่ กล้องวิดีโอ เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก จากนั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยทั่วไปจะใช้การ์ดดิจิไตเซอร์ที่ประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล หรือ A/D เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และจะมีการจัดเรียงสัญญาณดิจิตอลนี้ลงสู่หน่วยความจำภาพ (Video Memory) ซึ่งจะแทนค่าความสว่างของภาพในแต่ละจุดให้เกิดเป็นภาพ เรียกว่า ภาพดิจิตอล (Digital Image)

ในภาพหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวนมากเรียกว่า ส่วนประกอบภาพ (Picture Elements) หรือจุดภาพ (Pixel) จำนวนของจุดภาพยิ่งมากจะยิ่งทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงแทนภาพของแต่ละจุดภาพด้วยสัญญาณดิจิตอลหรือแทนด้วยสถานะลอจิก “0” และ “1” การใช้สัญญาณดิจิตอลมีข้อดีคือ การนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้ง่าย สิ่งที่สำคัญในการเก็บภาพคือ กระบวนการดิจิไตเซชั่น และหน่วยความจำภาพ

<u>กระบวนการดิจิไตเซชั่น</u> **(Digitization)** กระบวนการดิจิไตเซชั่นเป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณภาพจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นข้อมูลทางดิจิตอลแล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Conversion หรือ A/D) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก (Sampling) และการจัดระดับของสัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิตอล ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะใช้รหัสดิจิตอลขนาด 8 บิทแทนระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ ซึ่งพอเพียงสำหรับรายละเอียดภาพ

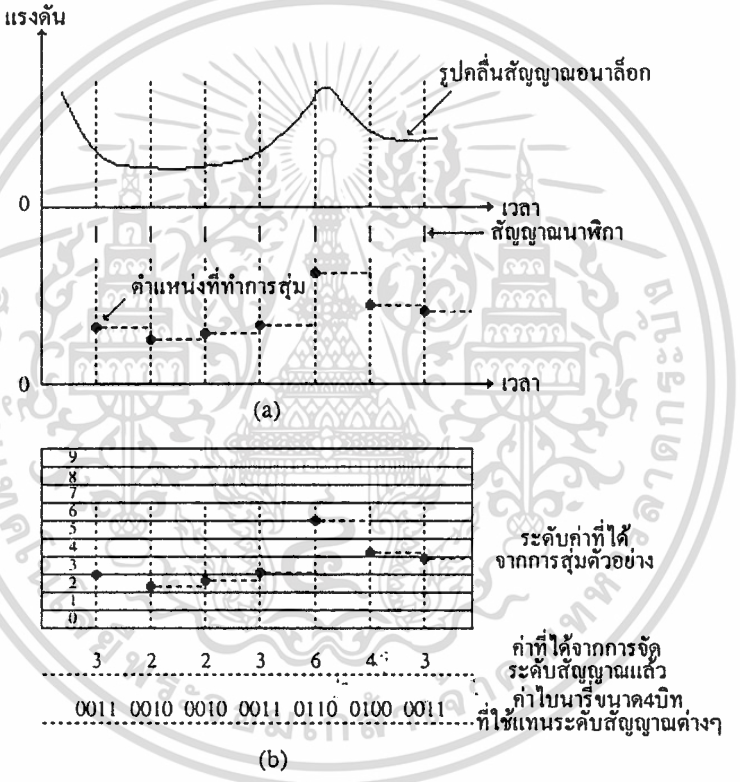
สัญญาณภาพประกอบด้วยสัญญาณหลายชนิดปะปนกันมา ในการแปลงสัญญาณจะทำการแปลงส่วนข้อมูลภาพจริงๆ เท่านั้น ในส่วนของสัญญาณอื่นๆ เช่น สัญญาณแบล็งกิ้งไม่ได้ถูกแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย . แต่จะใช้ในการควบคุมการแปลงสัญญาณและการเขียนข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วลงหน่วยความจำ

เนื่องจากสัญญาณภาพมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วมาก การจะเก็บรายละเอียดของสัญญาณภาพให้ครบ A/D ต้องทำงานที่ความถี่สูงๆ และต้องใช้รหัสดิจิตอลขนาด 8 บิทเป็นอย่างน้อย โดยส่วนมาก A/D ที่ใช้เป็นประเภทแฟลช (Flash A/D) ซึ่งแฟลช A/D นี้สามารถเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิตอลได้เสร็จภายใน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา

ภาพที่ 1



(a) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกสุ่มตัวอย่างในกระบวนการดิจิไตเซชั่น
(b) แสดงการจัดระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาแล้วให้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และแปลงเป็นรหัสดิจิตอล 4 บิทแทน

สำหรับภาพขาวดำ สัญญาณ Y หรือลูมิแนนซ์เท่านั้นที่ถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพราะเป็นส่วนข้อมูลภาพ สำหรับภาพสีใช้แต่สัญญาณ Y เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความหมายของสีได้ จึงจำเป็นต้องใช้ 3 สัญญาณ คือ สัญญาณ Y, R-Y และB-Y มาทำการแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ จะทำให้ต้องใช้ A/D และหน่วยความจำเพิ่มถึง 3 ชุด ถ้าไม่ใช้สัญญาณดังกล่าวสามารถใช้สัญญาณสี RGB ก็ได้ โดยการนำสัญญาณภาพไปเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) เพื่อแยกเอาสัญญาณสี RGB ออกมาจากสัญญาณภาพแล้วจึงนำไปแปลงสัญญาณต่อไป

สัญญาณภาพอนาล็อกสามารถแสดงความละเอียดและจำนวนสีของภาพอาจเรียกได้ว่าไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาล็อกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล ความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็วของ A/D, จำนวนบิทที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับเกรย์สเกลแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับนั่นคือ 1 จุดภาพจะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิท แต่ถ้าเป็นภาพสี 1 จุดภาพจะประกอบด้วยสัญญาณสี RGB ดังนั้นในแต่ละจุดภาพจึงต้องใช้จำนวนบิทเท่ากับ 24 บิท เพื่อให้สามารถเห็นระดับความแตกต่างของสีได้อย่างพอเพียง ซึ่งสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันได้ 16,777,216 สี สำหรับภาพที่ 2 แสดงภาพเปรียบเทียบที่เกิดจากการกำหนดจำนวนบิทต่อ 1 จุดภาพที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่มีจำนวนบิทต่อ 1 จุดภาพมากจะทำให้มีความละเอียดของภาพมากกว่าภาพที่มีจำนวนบิทต่อ 1 จุดภาพน้อย

ภาพที่ 2

(a) 8 บิท ต่อ 1 จุดภาพ

(b) 4 บิท ต่อ 1 จุดภาพ

(c) 2 บิท ต่อ 1 จุดภาพ

(d) 1 บิท ต่อ 1 จุดภาพ

แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิทต่อ 1 จุดภาพต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หน่วยความจำภาพ</u> (Video Memory) สัญญาณภาพอนาล็อกเมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วจะทำให้เกิดข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวก่อนที่จะนำไปใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้เป็นประเภทอ่านและเขียนข้อมูลใหม่ได้ หรือเรียกว่า RAM (Random Access Memory) บางครั้งหน่วยความจำภาพจึงถูกเรียกว่า วิดีโอแรม (Video RAM) คุณสมบัติของวิดีโอแรมที่ใช้ในการเก็บภาพที่สำคัญคือ ต้องใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่ต่ำมากๆ นั่นคือ ความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลต้องมากเพียงพอ

ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลดิจิตอลที่ต้องการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้การเก็บภาพขนาด 256 x 256 จุดต่อภาพ และใช้รหัสดิจิตอล 8 บิทต่อ 1 จุดภาพ ดังนั้น 1 จุดภาพสามารถแสดงระดับเกรย์สเกลได้ 256 ระดับ และหน่วยความจำที่ใช้มีขนาด (256 x 256 x 8 บิท) = 524,288 บิทต่อ 1 ภาพ หรือ 64 กิโลไบต์ต่อ 1 ภาพ สำหรับภาพระดับเกรย์สเกล แต่ถ้าเป็นภาพสีจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า

<u>การประมวลผลภาพ</u> (Image Processing)

ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการเก็บภาพในกระบวนการดิจิไตเซชั่น คือ ไม่สามารถแยกแยะ หรือกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพนั้นได้ ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสนใจ ซึ่งหากมองด้วยตาเปล่าแล้วไม่สามารถจะมองเห็นได้ จึงได้มีการนำภาพดังกล่าวนั้นไปดำเนินการด้วยวิธีการที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลข คือ ในบริเวณที่เราสนใจจะถูกกระทำการปรับปรุงรายละเอียดของภาพ (Enhancement) และยังเป็นผลให้สัญญาณรบกวนลดลงหรือถูกกำจัดทิ้งไป ตัวอย่างของการประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing) ที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ การกำจัดสัญญาณรบกวน การหาขอบภาพ (Edge Enhancement) การฟิลเตอร์ภาพ (Filtering) และการปรับปรุงระดับเกรย์สเกล เป็นต้น

การประมวลผลภาพหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

1. วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by Point) โดยแต่ละจุดภาพของภาพต้นแบบ (Original Image) จะถูกแปลงไปเป็นภาพใหม่ ซึ่งค่าของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่นี้จะสัมพันธ์กับค่าของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพต้นแบบ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนภาพไบนารี่ (Binary Image) จุดภาพที่มีระดับเป็น “0”ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นระดับ “1”ในภาพใหม่ และจุดภาพที่มีระดับเป็น “1”ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็น “0”ในภาพใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3

(a)

(b)

(a) แสดงภาพก่อนการประมวลผลของภาพไบนารี
(b) แสดงภาพหลังการประมวลผลทีละจุดของภาพไบนารี

2. วิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding Points) จากภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป วิธีนี้จะสร้างภาพใหม่โดยใช้การเทียบเคียง (Correlation) ของแต่ละจุดภาพ เพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมือนกันหรือสอดคล้องกันจากภาพ 2 ภาพหรือตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป

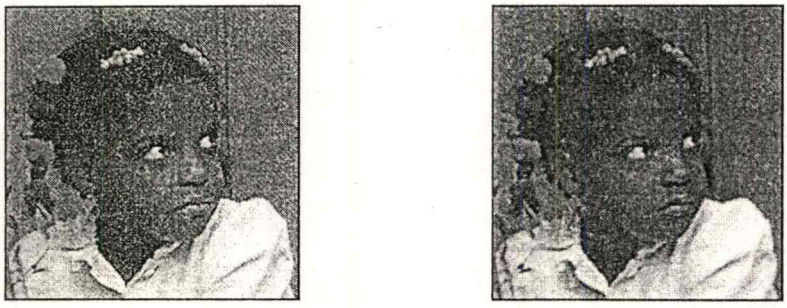
ค่าของจุดภาพดังกล่าวสามารถนำมารวมกันด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ค่าของจุดภาพจากภาพ 2 ภาพของเมืองๆ หนึ่ง ซึ่งเก็บมาที่เวลาต่างกันสามารถนำมาลบกันเพื่อคำนวณหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้รวมข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจวัด (Sensor) ต่างๆจำนวนหนึ่ง เพื่อแปลงไปเป็นข้อมูลภาพที่มีความสมบูรณ์หรือมีรายละเอียดของภาพที่สามารถแสดงให้เข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งตัวตรวจวัดอาจจะเป็นกล้องถ่ายภาพดาวเทียม โดยเก็บภาพของย่านสเปคตรัมต่างๆ กัน เช่น รังสีอินฟาเรด รังสีอุลตร้าไวโอเลต และรังสีที่สามารถมองเห็นได้ เป็นต้น

3. วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional Points) ในการคำนวณจะใช้ค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลัก นำมาสร้างภาพใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเฉลี่ยข้อมูลจากจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลัก ซึ่งจะช่วยลดข้อมูลที่มีความผิดพลาดให้ลดลง ดังนั้นค่าของจุดภาพในภาพใหม่นี้จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 9 จุดที่ติดกัน (จุดภาพหลัก 1 จุด และรอบๆ จุดภาพหลักอีก 8 จุด) ดังภาพที่ 4 (a) แสดงภาพต้นแบบ จะเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นบนภาพ แต่เมื่อนำมาประมวลผลโดยการเฉลี่ยแล้วจะได้ดังภาพที่ 4 (b) จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนลดลงมาก

ในการเลือกใช้วิธีการประมวลผลภาพนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้งานในลักษณะใด โดยส่วนใหญ่ในการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มรายละเอียดภาพนั้น นิยมใช้วิธีการประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพหรือในวิธีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4



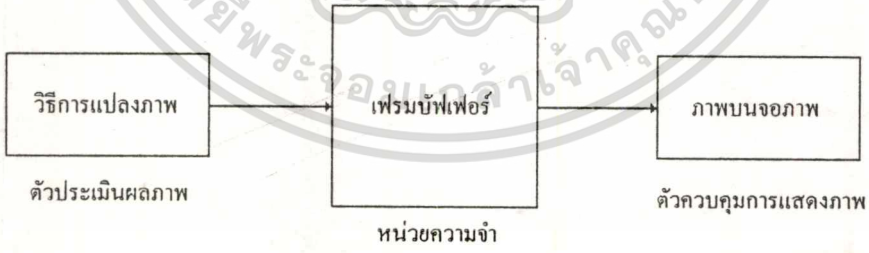
(a) (b)

(a) แสดงภาพก่อนการประมวลผล และ (b) แสดงภาพหลังการประมวลผลทีละกลุ่มของภาพ

การแสดงข้อมูลภาพ

ในการแสดงภาพจะนำข้อมูลภาพดิจิตอลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพอนาล็อก (D/A Conversion) แล้วส่งไปยังจอภาพต่อไป ในการแสดงภาพหนึ่งภาพจะต้องมีจุดภาพบางจุดที่ต้องสว่างและบางจุดต้องมืด การที่จะจัดการให้เกิดภาพตามที่ต้องการได้นั้นมีส่วนประกอบ 3 ส่วนที่จะใช้ในการจัดการนี้ คือ เฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) ตัวควบคุมการแสดงภาพ (Display Controller) และวิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัฟเฟอร์ (Scan Conversion Algorithms) ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5



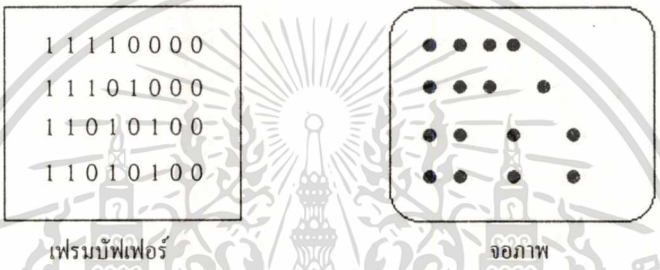
แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงภาพ

1. เฟรมบัฟเฟอร์ จุดแต่ละจุดที่ปรากฏอยู่บนจอภาพจะสอดคล้องกับค่าบิทที่อยู่ในหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ซึ่งเราจะเรียกหน่วยความจำส่วนนี้ว่าเฟรมบัฟเฟอร์ หรือ บิทแมป (Bit Map) บิทเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในลักษณะตาราง หน่วยความจำที่ใช้เป็นเฟรมบัฟเฟอร์ในปัจจุบันมักจะแยกออกจากหน่วยความจำหลักของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถแสดงภาพออกทางจอภาพได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น จำนวนแถวและหลักของเฟรมบัฟเฟอร์จะเท่ากับจำนวนของจุดภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอภาพแสดงได้ การบอกขนาดของหน่วยความจำที่ใช้เป็นเฟรมบัฟเฟอร์อาจบอกในรูปของจำนวนจุดภาพที่สามารถแสดงบนจอภาพหรืออาจจะบอกในรูปของจำนวนจุดภาพในหลักคูณจำนวนจุดภาพในแถวก็ได้ ตัวอย่างเช่น 640 x 350 สำหรับจอภาพแบบ EGAHi และสำหรับจอภาพแบบ VGAHi จะเป็น 640x 480 เป็นต้น เมื่อมีการใส่บิท 1 ลงในเฟรมบัฟเฟอร์ตรงตำแหน่งใดก็ตาม จะเกิดเป็นจุดสว่างบนจอภาพตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับเฟรมบัฟเฟอร์ เช่น ถ้าให้แถวที่ 2 หลักที่ 3 ของเฟรมบัฟเฟอร์มีค่าเป็นบิท 1 จอภาพที่ตำแหน่งแถวที่ 2 หลักที่ 3 ก็จะเกิดเป็นจุดสว่าง เป็นต้น ส่วนตำแหน่งที่มีค่าเป็นบิท 0 ก็จะไม่มีจุดสว่าง ดังภาพที่ 6

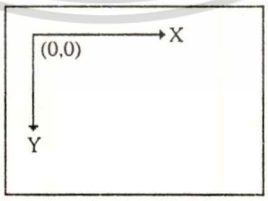
ภาพที่ 6



แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัฟเฟอร์กับจอภาพ

แต่ละตำแหน่งจุดภาพบนจอภาพและตำแหน่งในหน่วยความจำที่สอดคล้องกันในเฟรมบัฟเฟอร์จะถูกอ้างถึงได้โดยใช้คู่ลำดับ (x,y) โดยที่ x จะแทนค่าตำแหน่งของหลัก ส่วน y แทนตำแหน่งของแถว จุด (0,0) ของระบบพิกัดนี้จะอยู่ที่มุมบนซ้ายของจอภาพดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7



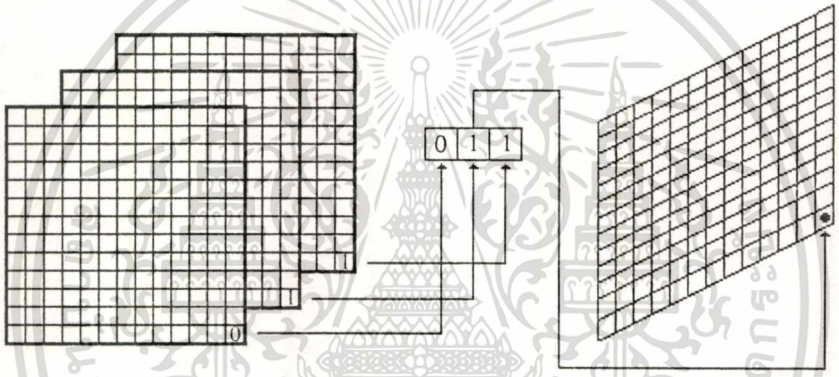
แสดงระบบพิกัดของจอภาพ

ข้อมูลในเฟรมบัฟเฟอร์ซึ่งใช้แทนจุดภาพแต่ละจุดนั้นจะประกอบด้วยบิทจำนวนหนึ่งสำหรับจอภาพขาวดำซึ่งมีความเข้มเพียง 2 ระดับ ข้อมูลในเฟรมบัฟเฟอร์จะมีเพียง 1 บิท (1-Bit-Plane Frame Buffer) ซึ่งต่างกับจอภาพแบบสีหรือจอภาพแบบขาวดำที่มีความเข้มหลายระดับ ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลสำหรับ 1 จุดภาพจะต้องมีมากกว่า 1 บิท ในภาพที่ 8 แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิทนั่นคือ ใน 1 จุดภาพจะมีค่าที่ใช้แทนจุดภาพนี้ได้ 8 ค่า (2^3) ซึ่งแต่ละค่าจะแทนความเข้ม 1 ระดับรวมทั้งหมดจะแทนได้ 8 ระดับ จากระดับ 0 ถึงระดับ 2^3-1 = 7 สำหรับจอภาพขาวดำถ้าใช้ข้อมูล 8 บิท สำหรับ 1 จุดภาพก็จะสามารถแสดงระดับความเข้มได้ถึง 2^8 หรือ 256 ระดับ สำหรับระบบจอภาพสีต้องการข้อมูล 24 บิท (24-Bit-Plane Frame Buffer) โดยที่จะใช้ 8 บิทสำหรับแต่ละแม่สีคือ แดง, เขียว และน้ำเงิน ซึ่งตามทฤษฎีจะสร้างสีได้ถึง 2^{24} เท่ากับ 16,777,216 สี สำหรับจอภาพที่มีความละเอียด 512 x 512 x 24 = 6,291,456 บิท ซึ่งหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ราคาต่ำๆ ไม่สามารถมีหน่วยความจำขนาดนี้ได้ ดังนั้งข้อมูลต่อ 1 จุดภาพจึงมีแค่เพียง 1 ถึง 4 บิทเท่านั้น

ภาพที่ 8



แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิทต่อ 1 จุดภาพ

2. ตัวควบคุมการแสดงภาพ ส่วนที่ 2 ของหน่วยการแสดงภาพ คือ ตัวควบคุมการแสดงภาพ ฮาร์ดแวร์ส่วนนี้จะอ่านค่าที่อยู่ในเฟรมบัฟเฟอร์ไปไว้ในวิดีโอบัฟเฟอร์ (Video Buffer) ซึ่งจะเปลี่ยนค่าบิทเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งใช้สำหรับควบคุมการแสดงภาพบนจอภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้าตัวควบคุมการแสดงภาพพบค่าบิท 1 ในเฟรมบัฟเฟอร์ที่มีข้อมูล 1 บิทต่อจุดภาพ ก็จะเกิดการส่งสัญญาณแรงดันสูงไปให้ CRT ซึ่งจะจัดการให้เกิดจุดสว่างบนจอภาพในตำแหน่งที่สอดคล้องกับข้อมูลที่อยู่ในเฟรมบัฟเฟอร์นั่นเอง

3. วิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัฟเฟอร์ ส่วนนี้เป็นวิธีการหรือกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนคำสั่ง หรือสมการให้เป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถใช้แทนภาพที่ได้จากสมการหรือคำสั่งนั้นได้แล้วเก็บลงเฟรมบัฟเฟอร์ เช่น สมการเส้นตรง x + y = 5 หรือคำสั่ง Line(a,b) จะต้องผ่านกระบวนการอันหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมแล้วเก็บในเฟรมบัฟเฟอร์ สำหรับจอภาพที่มีคุณภาพสูงๆ จะมีตัวประมวลผล (Processor) จัดการการแสดงภาพโดยเฉพาะเพื่อ

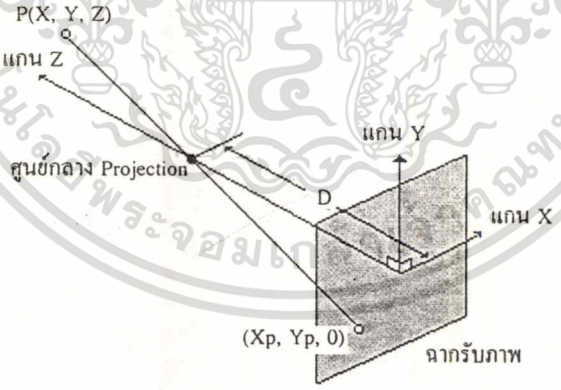
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำกระบวนการข้างต้นรวมทั้งการจัดการอื่นๆ เกี่ยวกับจอภาพ เช่น การลบจอภาพ เป็นต้น ส่วนจอภาพที่ราคาไม่แพงนัก จะใช้ CPU ของเครื่องกับโปรแกรมสำหรับจัดการงานดังกล่าวซึ่งทำให้การทำงานทำได้ช้ากว่ามาก ยิ่งถ้าใช้ในระบบกราฟิกส์ยากที่จะทำให้ระบบกราฟิกส์เป็นแบบอินเตอร์แอกตีฟได้ เนื่องจากในการเปลี่ยนแปลงภาพไปเพียงเล็กน้อยจะต้องมีการคำนวณมากมายตามมาเสมอ

การแสดงภาพตามสัดส่วนของระยะทาง

การแสดงภาพตามสัดส่วนของระยะทางมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการเลือกนำไปใช้งาน ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้หลักการที่เรียกว่า การแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ หรือ Perspective Transformations [9] ซึ่งนิยมใช้ในการแปลงภาพจากพิกัดโลก หรือ World Coordinate ไปยังฉากรับภาพ (Image Plane) แล้วเก็บลงในหน่วยความจำภาพเพื่อใช้ประมวลผลภาพต่อไป หรือนำไปแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ที่เห็นอยู่ทั่วๆ ไป

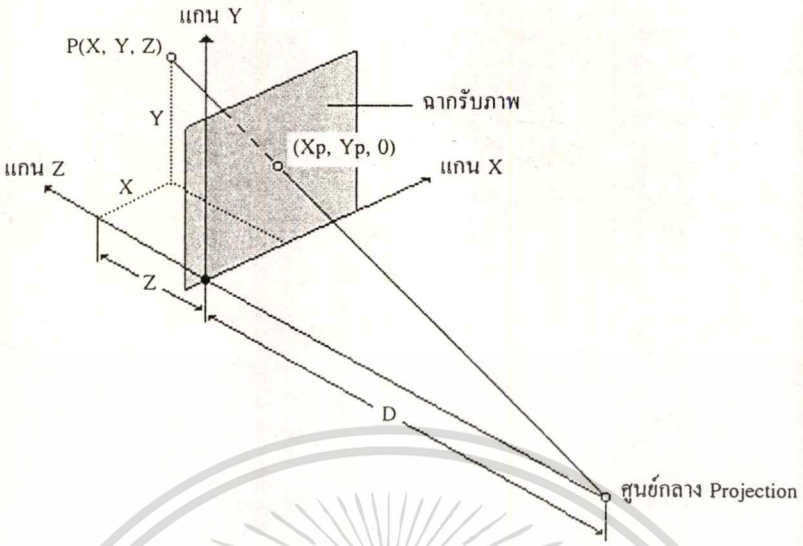
ภาพที่ 9



(a)

(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

แสดงรูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ

รูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ ซึ่งจะใช้หลักการของกล้องวิดีโอในการอธิบาย ดังภาพที่ 9 (a) แสดงการแปลงจุดภาพบนวัตถุในพิกัดโลกไปเป็นจุดภาพบนฉากรับภาพ โดยผ่านจุดโฟกัสของเลนส์หรือกำหนดให้เป็นศูนย์กลางของ Projection และเพื่อให้ดูง่ายขึ้นจะย้ายศูนย์กลางของ Projection ไปไว้ที่ส่วนปลายและย้ายจุดภาพบนฉากรับภาพขึ้นมา ดังแสดงในภาพที่ 9 (b)

เมื่อทำการแปลงจุดบนวัตถุผ่านเส้นตรงไปจบที่ศูนย์กลางของ Projection ในกรณีของภาพที่ 9 (b) ศูนย์กลางของ Projection วางอยู่บนแกน Z ทางด้านลบซึ่งห่างจากฉากรับภาพเป็นระยะทาง D (D คือ ความยาวโฟกัสของกล้อง) เราสามารถเลือกตำแหน่งอื่นๆ ให้เป็นศูนย์กลางของ Projection ได้ แต่การเลือกตำแหน่งตามแกน Z จะง่ายต่อการคำนวณ

รูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ จะนำมาเขียนเป็นสมการพาราเมตริกที่เกิดขึ้นบนเส้นตรงจากจุดบนวัตถุ P(X, Y, Z) ไปยังศูนย์กลางของ Projection ได้เป็นสมการต่างๆ ดังนี้

$$\alpha = X - X\delta \quad \text{.....(2.1)}$$

$$\beta = Y - Y\delta \quad \text{.....(2.2)}$$

$$\gamma = Z - (Z + D)\delta \quad \text{.....(2.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพารามิเตอร์ δ มีค่าเป็น 0 ~ 1 และโคออดิเนต (α, β, γ) แทนตำแหน่งบนเส้นตรง เมื่อ $\delta = 0$ เป็นผลให้จุดอยู่ที่วัตถุเป็น (X, Y, Z) เมื่อ $\delta = 1$ เป็นผลให้จุดไปอยู่ที่ศูนย์กลาง Projection ที่ตำแหน่ง (0, 0, -D) เพื่อให้ได้รับโคออดิเนตบนฉากรับภาพ เราจะให้ $\gamma = 0$ และคำนวณหาพารามิเตอร์ δ จะได้

$$\delta = \frac{Z}{(Z + D)} \qquad \text{.....(2.4)}$$

จากค่าของพารามิเตอร์ δ เป็นผลให้เส้นตรงตัดกับฉากรับภาพที่ตำแหน่ง (Xp, Yp, 0) แทนค่า δ จากสมการ (2.4) ลงในสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) เราจะได้สมการของการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟดังนี้

$$Xp = \frac{D}{(Z + D)} \cdot X \qquad \text{.....(2.5)}$$

$$Yp = \frac{D}{(Z + D)} \cdot Y \qquad \text{.....(2.6)}$$

$$Zp = 0 \qquad \text{.....(2.7)}$$

จากสมการ (2.5), (2.6) และ (2.7) เป็นสมการที่ได้จากการแปลงภาพจากพิกัดโลกไปยังฉากรับภาพ แล้วเก็บลงในหน่วยความจำภาพเพื่อใช้ประมวลผลภาพต่อไป

ความจริงในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการรู้ตำแหน่งในพิกัดโลกของวัตถุ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรู้ตำแหน่งของวัตถุได้จริง ดังนั้นจึงต้องอาศัยข้อมูลอื่นๆเข้าช่วย เช่น จากฉากรับภาพของกล้องวิดีโอ โดยจะนำตำแหน่งของจุดภาพที่ได้จากฉากรับภาพมาคำนวณหาด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

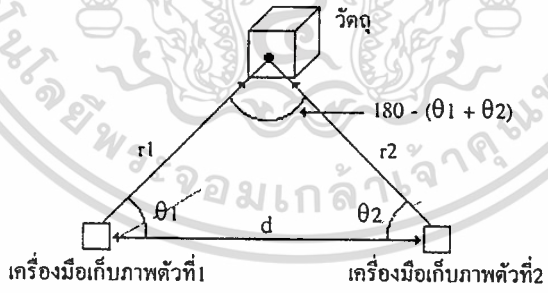
บทที่3

วิธีการคำนวณหาระยะทางด้วยหลักการต่างๆ

<u>หลักการของรูปสามเหลี่ยม</u>

เราอาจจะคุ้นเคยกับแนวความคิดของการนำหลักการของรูปสามเหลี่ยมมาวัดระยะทาง สมมุติว่ามีเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพอยู่ 2 ตัว ซึ่งวางห่างกันเป็นระยะทางที่แน่นอน และเครื่องมือทั้งสองเก็บตำแหน่งบนวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกันดังภาพที่ 10 จะเห็นว่าเครื่องมือทั้งสองและวัตถุวางในลักษณะรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีด้าน 1 ด้าน และมุม 2 มุม ที่ทราบอยู่ก่อนแล้วคือ ด้าน d และมุม θ_1, θ_2 ส่วนมุมที่สามหาได้โดยใช้มุม 2 มุมที่ทราบลบออกจาก 180 ° ซึ่งระยะทางจากเครื่องมือแต่ละตัวไปยังวัตถุสามารถหาได้โดยใช้กฎของซายน์

ภาพที่ 10



แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมอย่างง่าย

$$r_1 = \frac{d \cdot \sin \theta_2}{\sin [\, 180^\circ - (\theta_1 + \theta_2) \,]} \qquad \text{.....(3.1)}$$

$$r_2 = \frac{d \cdot \sin \theta_1}{\sin [\, 180^\circ - (\theta_1 + \theta_2) \,]} \qquad \text{.....(3.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดระยะทางโดยใช้หลักการรูปสามเหลี่ยมแบ่งออกเป็น 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเรียกว่า พาสซีพ (Passive) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 2 ตัว เช่น กล้องวิดีโอ เป็นต้น และอีกวิธีหนึ่งเรียกว่า แอคทีพ (Active) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 1 ตัว ร่วมกับ เครื่องกำเนิดแสงอีก 1 ตัว

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีพ

วิธีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า สเตอริโอวิชั่น (Stereo Vision) หรืออธิบายได้เหมือนกับการใช้ตาทั้งสองของมนุษย์ในการรับรู้ระยะทาง ในวิธีพาสซีพนี้จะใช้กล้องวิดีโอในการอธิบายแทนเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพ โดยกล้องวิดีโอทั้งสองตัววางห่างกันในระยะทางที่แน่นอนดังภาพที่ 11 กำหนดให้เป็นระยะทาง d และความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอกำหนดเป็น f ซึ่งจะใช้เป็นตัวคำนวณหาระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุด P บนวัตถุ โดยกล้องทั้งสองจะเก็บภาพวัตถุเดียวกันเข้ามาและหาจุดที่สอดคล้องกันหรือจุดเดียวกันจากภาพทั้งสอง เช่น จุด P ซึ่งจะปรากฏที่กล้องด้านขวา 1 จุดภาพและปรากฏที่กล้องด้านซ้าย 1 จุดภาพ ซึ่งก็คือจุดเดียวกัน แต่ละจุดภาพจะบอกตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางของภาพนั้น เช่น x_1 จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านซ้ายมือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ เช่นเดียวกับ x_2 จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านขวามือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ ถ้าหากซ้อนภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัว จุดของภาพทั้งสองคือ x_1 และ x_2 จะไม่อยู่ตำแหน่งเดียวกัน จะได้ระยะห่างระหว่างจุดขึ้นมา ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดนี้สามารถคำนวณได้โดยใส่ค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ให้กับผลต่างของทั้งสองจุด ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่าค่าความแตกต่าง (Disparity)

ระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความแตกต่างระหว่าง x_1 และ x_2 เช่น ถ้าค่าความแตกต่างเข้าใกล้ศูนย์ ระยะทาง r จะมีค่าได้ไม่สิ้นสุด (Infinite) หรือไม่เกิดระยะทางขึ้นระหว่างจุดภาพทั้งสองที่สอดคล้องกัน ในทางกลับกันถ้าระยะทาง r ลดลงค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้น

ในภาพที่ 11 ระยะทางของจุดบนวัตถุสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$r = \frac{d \cdot \sqrt{f^2 + x_1^2 + x_2^2}}{|x_1 - x_2|} \qquad \text{.....(3.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d คือ เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเลนส์ของกล้องแต่ละตัว

r คือ -ระยะทางจากเลนส์กล้องด้านซ้ายมือ ถ้าจุดวัตถุอยู่ในด้านขวาของฉาก (Scene)

-ระยะทางจากเลนส์กล้องด้านขวามือ ถ้าจุดวัตถุอยู่ในด้านซ้ายของฉาก (Scene)

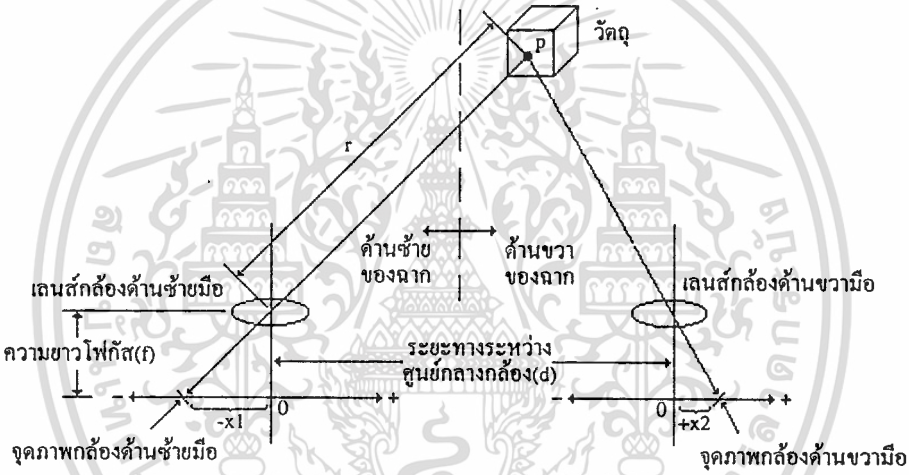
-ระยะทางจากกล้องแต่ละตัวถ้าจุดวัตถุอยู่ตรงกับกึ่งกลางของฉาก (Scene)

f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ

x_1 คือ ระยะห่างของจุดภาพกับศูนย์กลางของเลนส์กล้องด้านซ้าย

x_2 คือ ระยะห่างของจุดภาพกับศูนย์กลางของเลนส์กล้องด้านขวา

ภาพที่ 11



แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ

เราสามารถสรุประยะทางในสมการ 3.3 ได้ว่า ระยะทาง r เป็นระยะทางจากกล้องด้านซ้ายมือหรือกล้องด้านขวามือนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดวัตถุว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดในฉาก เช่น ถ้าจุดวัตถุวางอยู่ที่ครึ่งด้านขวาของฉาก ระยะทาง r จะเป็นระยะทางจากเลนส์กล้องด้านซ้ายมือ ซึ่งครึ่งด้านซ้ายและครึ่งด้านขวาของฉากจะถูกแบ่งโดยเส้นแบ่งกึ่งกลางระหว่างกล้องทั้งสอง ค่าของ x_1 และ x_2 จะเป็นได้ทั้งบวกและลบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่สอดคล้องกัน เช่น ถ้าจุดภาพอยู่ระหว่างกล้อง 2 กล้อง x_1 จะเป็นลบและ x_2 จะเป็นบวก อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างจะเป็นค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดเสมอ และจะถูกใช้เป็นตัวหารของสมการหาระยะทางในสมการที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

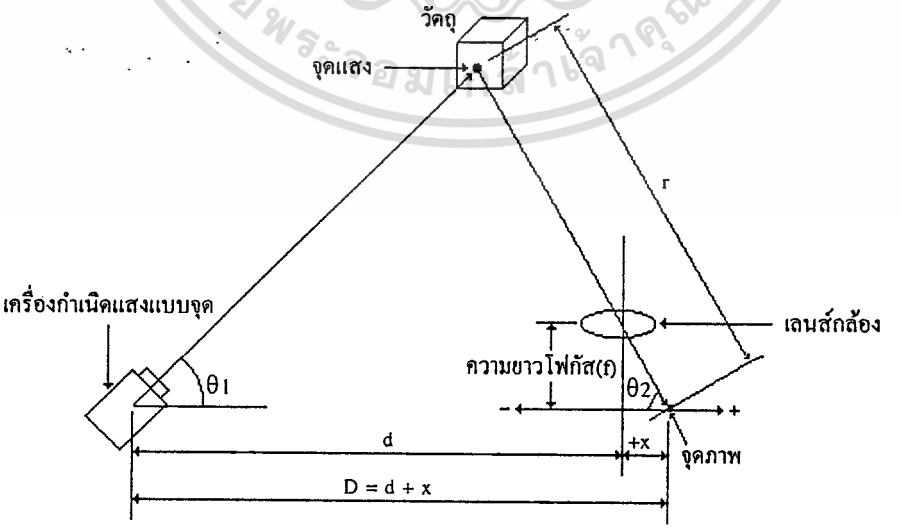
จะเห็นว่าในระบบสเตอริโอ ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่ตรงกันหรือสอดคล้องกันและตำแหน่งของสองจุดภาพนี้ต้องคำนวณให้ถูกต้องด้วย ซึ่งกลายเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นเสมอกับวิธีนี้ และปัญหาดังกล่าวนี้ได้ถูกเรียกว่า "Correspondence Problem"

ในทางอุดมคติมันเป็นไปได้ในการหาจุดภาพจากกล้องตัวที่หนึ่งซึ่งสอดคล้องกับจุดภาพจากกล้องตัวที่สอง แต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถรับประกันได้ว่า สองจุดภาพซึ่งมีค่าระดับสีหรือระดับเกรย์ที่เหมือนกันจะเป็นจุดภาพบนวัตถุจุดเดียวกัน ในการหาจุดภาพจุดเดียวกันของภาพ 2 ภาพจากกล้องทั้งสองไม่ยากนัก ถ้าหากภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพทั้งสองมีรูปร่างเหมือนกัน อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยสำหรับวิธีนี้ก็คือ ภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพทั้งสองมีลักษณะรูปร่างไม่เหมือนกัน ยิ่งไปกว่านั้นวัตถุในภาพแรกอาจจะดูมืดมัวไม่ชัดเจน หรือ ไม่ปรากฏรูปร่างวัตถุขึ้นในภาพที่สอง ในการแก้ไขเราสามารถลดระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสอง เพื่อช่วยลดปัญหา Correspondence แต่จำไว้ว่า ในการลดระยะห่างนี้จะทำให้ลดความแม่นยำของระบบลงไปอีกด้วย

ปัญหา Correspondence ที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดลงได้ด้วยการตัดอุปกรณ์เก็บภาพออก 1 ตัว ซึ่งมันจะไม่ถูกเรียกว่า วิธีสเตอริโอต่อไป อย่างไรก็ตามหลักการของรูปสามเหลี่ยมยังคงเป็นไปได้โดยการแทนกล้องตัวที่สองด้วยเครื่องกำเนิดแสง และเรียกวิธีนี้ว่า หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีพ ซึ่งจะนำเสนอต่อไป

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีพ

ภาพที่ 12



แสดงหลักการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีพจะแตกต่างวิธีแบบพาสซีพ คือ จะใช้เครื่องกำเนิดแสงแทนกล้องวิดีโอตัวที่สอง โดยเครื่องกำเนิดแสงจะกำเนิดแสงซึ่งเป็นแบบจุด หรือแบบลายเส้นเดี่ยวก็ได้ และใช้กล้องวิดีโอในการเก็บภาพวัตถุ ซึ่งภาพที่ได้เราจะนำจุดภาพที่ถูกแสงมาคำนวณหาระยะทาง

1. วิธีแบบจุด (Spot Sensing) สมมุติว่าเราฉายลำแสงไปบนวัตถุในห้องที่มืดดังภาพที่ 12 ลำแสงดังกล่าวจะสร้างจุดแสงบนวัตถุและจะสะท้อนไปยังกล้องวิดีโอ โดยระยะห่างระหว่างกล้องวิดีโอกับเครื่องกำเนิดแสงเป็นระยะ d จะเห็นว่าเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้นระหว่างเครื่องกำเนิดแสง,วัตถุ และกล้องวิดีโอ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุได้

จุดแสงที่สะท้อนไปยังกล้องวิดีโอจะเกิดเป็นจุดภาพขึ้น จุดภาพนี้พบได้ง่ายซึ่งมันจะเป็นจุดที่มีความสว่างมากที่สุด ในการคำนวณหาระยะทาง r นั้นสามารถคำนวณหาได้จากมุม θ_1, θ_2 และระยะ d ซึ่งมุม θ_2 คำนวณได้จากความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ (f) ซึ่งมีค่าคงที่ และระยะห่างจากศูนย์กลางเลนส์กล้องกับจุดภาพ (x) นั้น ซึ่งแสดงดังรูปสามเหลี่ยมด้านขวามือของภาพที่ 12 ดังนั้นมุม θ_2 นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{f}{x}\right) \qquad \text{.....(3.4)}$$

และระยะทางระหว่างเครื่องกำเนิดแสงและจุดภาพนั้น สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$D = d + x \qquad \text{.....(3.5)}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ

x คือ ระยะห่างจากศูนย์กลางของเลนส์กล้องกับจุดภาพที่พบ

d คือ ระยะห่างคงที่ระหว่างเครื่องก

ซึ่ง x สามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับว่าจุดภาพที่ถูกแสงนั้นอยู่ด้านขวา(เป็นบวก)หรืออยู่ด้านซ้าย(เป็นลบ)ของศูนย์กลางของเลนส์กล้อง

ที่มุม θ_1 เป็นมุมเอียงของเครื่องกำเนิดแสง ดังนั้นระยะทาง r สามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของซายน์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{r}{\sin \theta_1} = \frac{D}{\sin [\, 180^\circ - (\theta_1 + \theta_2) \,]} \qquad \text{.....(3.6)}$$

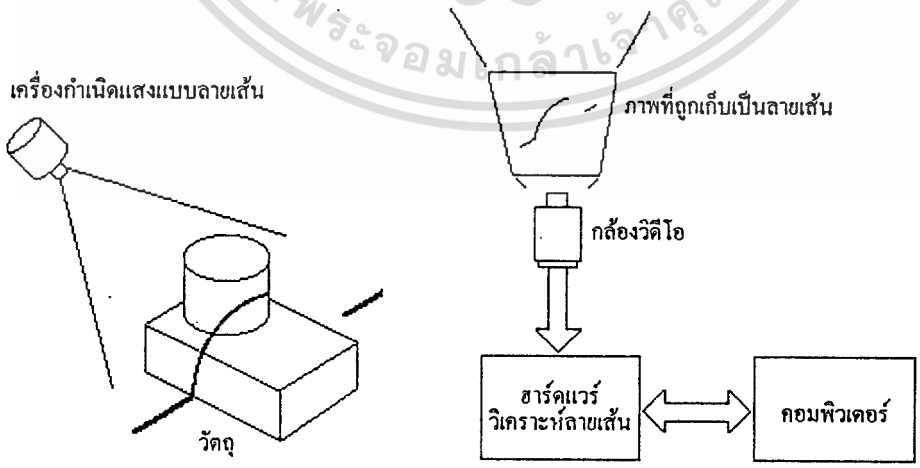
$$r = \frac{D \cdot \sin \theta_1}{\sin [\, 180^\circ - (\theta_1 + \theta_2) \,]} \qquad \text{.....(3.7)}$$

จะเห็นว่าระยะทางที่ได้เป็นระยะทางระหว่างจุดภาพบนกล้องกับจุดวัตถุ เพื่อให้ได้รับระยะทางจากเลนส์กล้อง จะต้องลบระยะทางระหว่างเลนส์และจุดภาพนั้นออก ซึ่งระยะทางนี้หาได้โดยใช้ทฤษฎีพิธากอรัสเข้าช่วย

ในวิธีนี้เมื่อต้องการหาระยะทางที่จุดอื่นๆ บนวัตถุ จะต้องเลื่อนจุดแสงไปทั่วตลอดทั้งภาพ ซึ่งต้องใช้เวลานานมาก ส่วนแสงชนิดอื่นๆ เช่น แสงอินฟาเรด หรือ แสงเลเซอร์ สามารถใช้ได้ดีเช่นกันและไม่จำเป็นต้องใช้เฉพาะในห้องมืด ห้องที่มีระดับแสงปกติก็สามารถใช้ได้แต่ควรติดตั้งตัวกรองแสง (Filter) ไว้ที่ด้านหน้าของกล้องด้วยเพื่อลดปริมาณแสงบริเวณห้องนั้น แสงเลเซอร์เป็นแสงที่ดีที่สุดเพราะให้จุดแสงที่ชัดเจนและมีขนาดเล็กมากเป็นผลให้สามารถใช้ในระยะทางที่ไกลๆ ได้

2. วิธีแบบลายเส้นเดี่ยว (Light Stripe Sensing) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีแบบจุด โดยลายเส้นแสงจะได้จากการฉายแสงผ่านร่องแสงไปยังวัตถุและใช้กล้องเก็บลายเส้นที่เกิดขึ้นบนวัตถุ ดังภาพที่ 13 โดยลายเส้นจะถูกแบ่งออกเป็นจุดภาพย่อยๆ และระยะทางจะคำนวณที่แต่ละจุดตามลายเส้น ส่วนวิธีการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกับวิธีแบบจุดทุกประการ

ภาพที่ 13



แสดงตัวอย่างวิธีการสร้างรูปสามเหลี่ยมแบบลายเส้นเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวิธีแบบลายเส้นเดี่ยวคือ ง่ายและเร็วกว่าวิธีแบบจุด นอกจากนั้นขอบเขตและพื้นที่ของวัตถุสามารถหาได้โดยการต่อที่จุดปลายของแต่ละลายเส้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นวิธีแบบลายเส้นนี้สามารถใช้ในการแบ่งย่านภาพวัตถุหรือที่เรียกว่า Image Segmentation ได้อีกด้วย

หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป (Time of Flight)

การวัดระยะทางวิธีนี้จะใช้การคำนวณหาเวลาที่ใช้ไปในการส่งสัญญาณไปยังวัตถุที่ต้องการ เมื่อสัญญาณนี้กระทบกับวัตถุมันก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ ซึ่งรูปแบบของสัญญาณมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และระยะทางหาได้จากผลคูณระหว่างความเร็วกับเวลา หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r = \frac{v.\,t}{2} \qquad \text{.....(3.8)}$$

เมื่อ r คือ ระยะทางจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังวัตถุ
v คือ ความเร็ว ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่ใช้
t คือ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปและสะท้อนกลับมา

โดยทั่วไปมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดที่ใช้ในหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไปซึ่งได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นแสง และคลื่นเสียง ซึ่งวิธีในการคำนวณหาระยะทางจะมีลักษณะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามสัญญาณแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวของมันและจะมีผลต่อความแม่นยำของระยะทางที่คำนวณได้

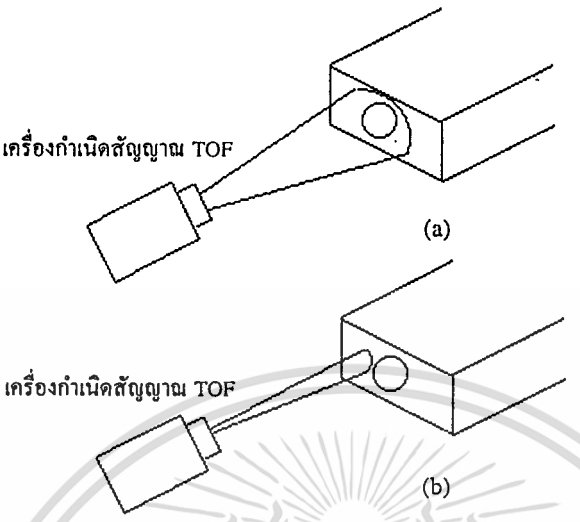
คุณสมบัติของสัญญาณทั่วไป

คุณสมบัติของสัญญาณที่ต้องคำนึงถึงแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. มุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ ถ้าหากสัญญาณที่ส่งออกไปมีมุมกว้างแต่วัตถุมีขนาดเล็กจะทำให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความแม่นยำลดลงเพราะสัญญาณจะครอบคลุมบริเวณได้กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มีมุมแคบกว่า ซึ่งจะให้ความแม่นยำมากกว่า เช่น เมื่อเปรียบเทียบมุมกว้างดังแสดงในภาพที่ 14 (a) กับมุมแคบดังแสดงในภาพที่ 14 (b) มุมที่กว้างกว่าจะครอบคลุมบริเวณได้มากกว่าซึ่งรวมถึงรูตรงกลางของวัตถุด้วย แต่ความลึกของรูจะไม่สามารถแยกได้ โดยสัญญาณจะสะท้อนเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นผิววัตถุ เป็นผลให้ระยะทางตรงกลางรูไม่สามารถบอกได้ อย่างไรก็ตามถ้ามุมของสัญญาณแคบลงดังรูปที่ 14 (b) จะทำให้เวลาที่ได้เปลี่ยนไปเมื่อสัญญาณเข้าไปในรู เป็นผลให้เราสามารถวัดความลึกของรูได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 14



แสดงการเปรียบเทียบมุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ

2. <u>ความเร็วของสัญญาณ</u> สัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาจากวัตถุที่เร็วกว่าจะทำให้คำนวณหาระยะทางได้ยุ่งยากกว่า เช่น คลื่นเสียงเดินทางที่ความเร็ว 1,100 ฟุต/วินาที ขณะที่คลื่นแสงเดินทางที่ความเร็ว 982,080,000 ฟุต/วินาที ซึ่งจะใช้ตัวเลขดังกล่าวในการคำนวณหาระยะทางร่วมกับเวลาที่สูญเสียไป สมมุติที่ระยะทาง 1 ฟุตคลื่นเสียงจะใช้เวลา 1.8 มิลลิวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นแสงจะใช้เวลาประมาณ 1 นาโนวินาที จะเห็นว่าคลื่นแสงใช้เวลาสั้นกว่ามาก แต่ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์เพียงอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ธรรมดาไม่สามารถที่จะตรวจวัดได้ทัน หรือถ้าหากวัดได้ก็ไม่เกิดประโยชน์เท่าใดนักเพราะในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์นิยมใช้วัดระยะทางสั้นๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการวัดความลึกของหลุมดวงจันทร์

<u>วิธีใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า</u> (Electromagnetic) ในการวัดระยะทางในวิธีนี้จะใช้คลื่นความถี่วิทยุที่นิยมเรียกกันว่า เรดาร์ (Radar) เรดาร์นิยมใช้ในด้านทางทหาร และพลเรือน (ตำรวจ) แนวความคิดมีอยู่ว่า เมื่อส่งคลื่นวิทยุไปในชั้นบรรยากาศ ถ้าหากพบหรือชนกับวัตถุคลื่นจะสะท้อนกลับมา และระยะทางคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของเวลา

เรดาร์นิยมใช้ในการวัดระยะทางกับวัตถุที่เป็นโลหะและอยู่ไกลๆ และสิ่งหนึ่งที่ควรรู้ไว้ก็คือคลื่นวิทยุจะต้องมีกำลังมากพอที่จะกำเนิดสัญญาณที่มีมุมเบี่ยงเบนแคบๆ ซึ่งมุมนี้จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีขนาดใหญ่จะทำให้ส่งคลื่นวิทยุที่มีมุมเบี่ยงเบนได้แคบ นอกจากนั้นคลื่นวิทยุความถี่สูงจะเดินทางได้เร็วเกือบเท่ากับความเร็วแสง ดังนั้นในการวัดความลึกจึงมีความยุ่งยากสำหรับในการวัดระยะทางสั้นๆ สิ่งสำคัญอีกอย่างก็คือวัตถุที่ไม่ใช่โลหะ

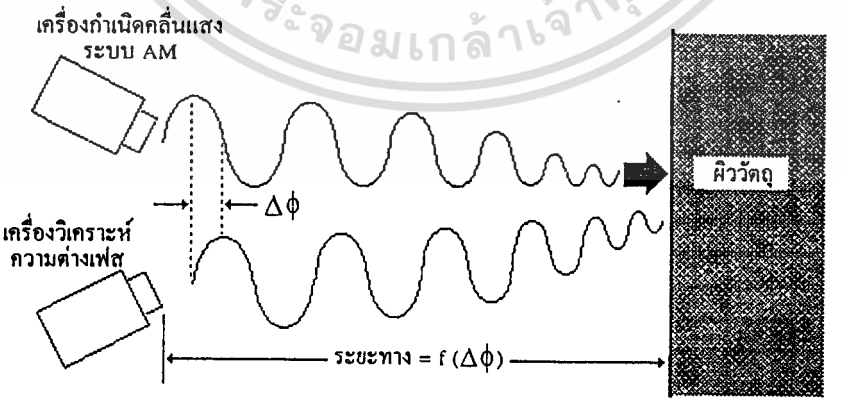
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่จะดูดซึมสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูง เพื่อให้คลื่นสามารถสะท้อนกลับมาได้สัญญาณดังกล่าวจะต้องมีกำลังมากพอ จึงเป็นผลให้ต้องใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีกำลังสูงมากๆ ดังนั้นเรดาร์จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ในการหาระยะทาง

วิธีใช้คลื่นแสง (Light) วิธีนี้ถูกเรียกว่า LIDAR (Light Detection And Ranging) ซึ่งจะกำเนิดคลื่นแสงสั้น ๆ ออกไปและรอคลื่นสะท้อนกลับมา นำเวลาที่สูญเสียไปมาคำนวณหาระยะทาง ในวิธีนี้จะนิยมใช้แสงเลเซอร์ (Laser) เพราะว่ามุมเบี่ยงเบนของคลื่นจะแคบมากเป็นผลให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความถูกต้องสูง ซึ่งจะดีกว่าคลื่นแสงทั่ว ๆ ไป นอกเหนือจากเวลาที่นำไปใช้คำนวณแล้ว ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นความเข้มในระดับเกรย์สเกลได้อีกด้วย ความเข้มแสงที่สะท้อนกลับมาจะเปลี่ยนไปตามสัดส่วนกับจำนวนของแสงที่ถูกดูดซึมด้วยวัตถุที่แตกต่างกัน ดังนั้นนอกจากจะรู้ระยะทางแล้ว ความเข้มแสงที่ได้รับมาในแต่ละจุดสามารถนำมาแสดงรวมกันได้เป็นภาพข้อมูลสามมิติอีกด้วย

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธีนี้มีอยู่ว่า ถ้านำไปวัดกับระยะทางที่น้อยกว่า 1 ฟุต ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 นาโนวินาที ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ทัน วิธีแก้ไขก็คือ เปลี่ยนไปวัดเฟสของคลื่นที่สะท้อนกลับมาแทน โดยจะใช้แสงเลเซอร์นี้ผสม (Modulate) แบบ A.M. (Amplitude Modulation) แล้วจึงส่งออกไปดังภาพที่ 15 เมื่อแสงไปกระทบวัตถุและสะท้อนกลับมา ซึ่งจะมีเฟสต่างกับคลื่นที่ส่งออกไป ปริมาณของความต่างเฟสจะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุ นอกจากนี้ยังสามารถวัดระยะทางที่ 1 เซนติเมตรได้อีกด้วย ดังนั้นสามารถนำวิธีการนี้ไปวัดระยะทางในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ได้

ภาพที่ 15



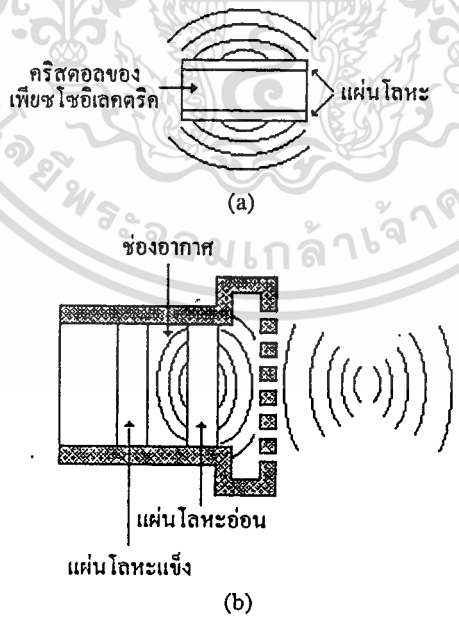
แสดงการวัดระยะทางโดยใช้การวิเคราะห์ความต่างเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้คลื่นเสียง (Sound) คลื่นเสียงหรืออุลตร้าโซนิค (Ultrasonic) สามารถวัดระยะทางที่ใกล้ๆ ได้อย่างแม่นยำเพราะคลื่นเดินทางที่ความเร็วต่ำ อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะส่งคลื่นให้ได้มุมเบี่ยงเบนที่แคบๆเพื่อให้สามารถรู้ลักษณะของวัตถุแบบสามมิติได้ คลื่นอุตร้าโซนิคส่วนมากใช้วัดระยะทางตั้งแต่ 1 ถึง 50 ฟุต มีความผิดพลาด 1 ถึง 2 เปอร์เซนต์ โดยเครื่องส่งจะส่งคลื่นเสียงความถี่สูงออกไปเป็นช่วงสั้นๆ และใช้ฮาร์ดแแวร์หรือซอฟแวร์ง่ายๆ ในการนับเวลาที่สูญเสียไป โดยเครื่องนับจะเริ่มนับเมื่อคลื่นเสียงถูกส่งออกไป และจะหยุดนับเมื่อคลื่นเสียงสะท้อนกลับมา เวลาที่นับได้จะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุ

ในตัวอุลตร้าโซนิคสามารถเป็นได้ทั้งตัวส่งและตัวรับในตัวเดียวกัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบเพียซโซอิเล็คทริค ทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric Transducer) แสดงดังภาพที่ 16 (a) และแบบอิเล็คโตรสเตติค ทรานสดิวเซอร์ (Electrostatic Transducer) แสดงดังรูปที่ 16 (b) เมื่อใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นตัวกำเนิดคลื่น ทรานสดิวเซอร์จะทำหน้าที่คล้ายกับลำโพง ซึ่งจะกำเนิดคลื่นเสียงสั้นๆ (5 ถึง 20 ไซเกิล) แต่จะมีความถี่สูงกว่าความถี่เสียงโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 30 ~ 50 KHz เสียงที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการใช้แรงดันไฟกระแสสลับไปกระตุ้นที่ตัวทรานสดิวเซอร์ ถ้าทรานสดิวเซอร์เป็นแบบเพียซโซอิเล็คทริค จะทำให้ตัวคริสตอลสั่นที่ความถี่เรโซแนนซ์ เป็นผลให้แผ่นโลหะ

ภาพที่ 16



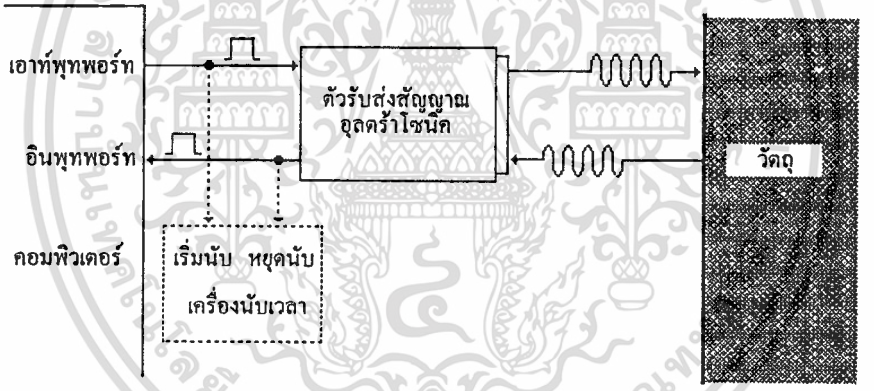
(a) อุลตร้าโซนิคแบบเพียซโซอิเล็คทริค, และ (b) อุลตร้าโซนิคแบบอิเล็คโตรสเตติค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือแผ่นไดอะแฟรมในตัวมันผลิตคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคออกไป ถ้าหากเป็นแบบอิเล็คโตรสเตติค จะนำโลหะแผ่นสองแผ่นมาวางไว้ใกล้กัน โดยแผ่นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะอ่อนดังภาพที่ 16(b) โดยจะเว้นช่องตรงกลางระหว่างแผ่นโลหะไว้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับตัวเก็บประจุ เมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นเข้าที่แผ่นโลหะจะทำให้แผ่นโลหะอ่อนเกิดการสั่นไปมาและเกิดเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงขึ้นมา

เมื่อใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นตัวรับคลื่น จะทำหน้าที่คล้ายกับไมโครโฟน คลื่นเสียงที่รับเข้ามาจะทำให้แผ่นโลหะของตัวทรานสดิวเซอร์เกิดการสั่น ถ้าเป็นแบบเพียซโซอิเล็คทริค การสั่นจะไปอัดตัวคริสตอลที่อัตราเร็วเท่ากับความถี่เสียงของคลื่นอุลตร้าโซนิค เป็นผลให้เกิดสัญญาณไฟกระแสสลับขนาดเล็กขึ้นมา จากนั้นจะนำสัญญาณดังกล่าวไปแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถหยุดเครื่องนับเวลาได้ ถ้าหากเป็นแบบอิเล็คโตรสเตติค แผ่นโลหะที่สั่นจะไปเปลี่ยนค่าความจุของตัวทรานสดิวเซอร์ นำผลที่ได้นี้ไปแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถใช้หยุดเครื่องนับเวลาได้

ภาพที่ 17



แสดงตัวอย่างการใช้ตัวอุลตร้าโซนิคในการวัดระยะทาง

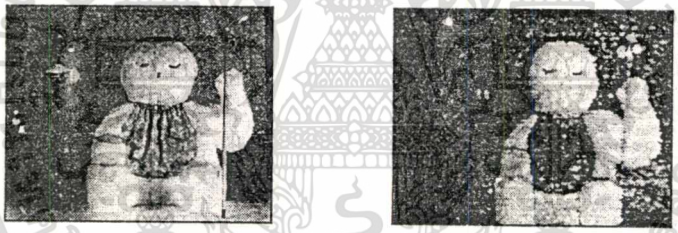
จากภาพที่ 17 แสดงตัวอย่างการใช้ตัวอุลตร้าโซนิคในการวัดระยะทาง ซึ่งใช้สัญญาณพัลซ์แบบดิจิตอลป้อนเข้าที่ตัวอุลตร้าโซนิค เพื่อให้กำเนิดคลื่นเสียงสั้นๆส่งออกไปยังวัตถุ และที่เวลาเดียวกันสัญญาณพัลซ์นี้จะไปสั่งให้เครื่องนับเวลาเริ่มทำการนับด้วย เมื่อสัญญาณพัลซ์ไปกระทบวัตถุจะสะท้อนกลับมายังตัวอุลตร้าโซนิค เป็นผลให้ตัวอุลตร้าโซนิคกำเนิดสัญญาณพัลซ์เล็กๆ ขึ้น และไปสั่งให้เครื่องนับเวลาทำการหยุดนับ จากนั้นนำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาระยะทางดังสมการที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพข้อมูลระยะทาง (Range Image)

ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ข้อมูลระยะทาง (Range Data) ที่ได้มาจากวิธีการต่างๆ (ดังเช่นจากหลักการของรูปสามเหลี่ยมหรือจากการคำนวณเวลาที่สูญเสียไป) เมื่อนำระยะทางทุกตำแหน่งบนวัตถุมารวมกันเป็นภาพ ๆ หนึ่ง ซึ่งจะถูกเรียกว่า "ภาพข้อมูลระยะทาง" หรือบางครั้งเรียกว่า "Depth Map" ภาพข้อมูลระยะทางจะมีลักษณะคล้ายกับภาพที่มีความเข้มแบบระดับเกรย์สเกล (Gray Scale) ซึ่งจะใช้แทนค่าระยะทางของแต่ละตำแหน่งบนวัตถุที่ได้มา ดังภาพที่ 18 (b) ดังนั้นภาพข้อมูลระยะทางจะเกิดจากการเปลี่ยนค่าระยะทางไปเป็นระดับเกรย์สเกล และเก็บค่าระดับเกรย์สเกลนี้ลงบนจุดภาพที่เรียงกันเป็นแบบแมทริกซ์

ภาพที่ 18



(a) (b)

(a) แสดงภาพตัวอย่าง, และ (b) แสดงภาพที่ได้จากการใช้แสงเลเซอร์

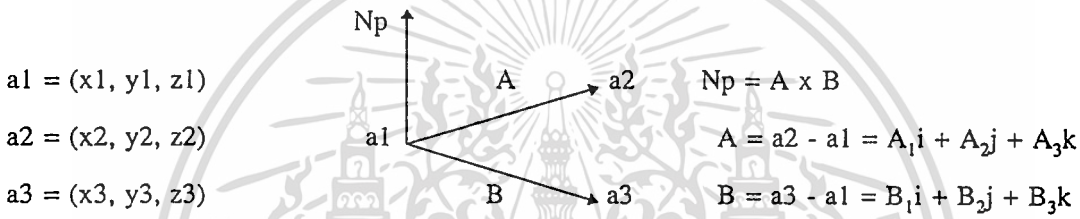
จากหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเราใช้แสงเลเซอร์ในการวัดระยะทาง เราทราบแล้วว่า แสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับนั้น นอกจากเราจะทราบเวลาที่สูญเสียไปเพื่อนำไปคำนวณหาระยะทางแล้ว ความเข้มแสงที่สะท้อนกลับมายังสามารถนำมาแปลงเป็นระดับเกรย์สเกลได้อีกด้วย ดังเช่นในภาพที่ 18 แสดงตัวอย่างการใช้แสงเลเซอร์ยิงไปยังบริเวณที่ต้องการ แต่เนื่องจากแสงเลเซอร์ที่ใช้เป็นจุดบีมเล็กๆเพียงจุดเดียว ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องสแกนแบบสองมิติความเร็วสูงช่วยโดยสแกนทั้งทางแนวนอนและแนวตั้ง นำความเข้มแสงแต่ละจุดที่ได้มาแสดงเป็นภาพระดับเกรย์สเกลหรือภาพข้อมูลระยะทาง ดังในภาพที่ 18 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector)

เวคเตอร์ตั้งฉากจะถูกนำมาใช้เพื่อบอกถึงทิศทางของพื้นผิววัตถุว่าในแต่ละด้านของวัตถุหันเหไปในทิศทางใด ในการคำนวณหาเวคเตอร์ตั้งฉากนี้มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น คำนวณจากปริมาณแสงที่มาตกกระทบผิววัตถุหรือที่เราเรียกว่าการติดตามรังสี (Ray Tracing) [7] คำนวณจากค่าพิกัดในระบบคาร์ทีเซียนของจุดสามจุดบนระนาบผิววัตถุ [10] เป็นต้น ซึ่งในวิธีที่สองทำได้ง่ายกว่าและยังสอดคล้องกับข้อมูลระยะทางที่ได้มาอีกด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ภาพที่ 19



แสดงเวคเตอร์ตั้งฉากบนผิววัตถุ

วิธีการคำนวณเราจะใช้ค่าพิกัดของจุดสามจุดที่กำหนดขึ้นบนผิววัตถุ และต้องไม่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน (Non-collinear) คือ a1, a2, a3 และจุดสามจุดนี้กำหนดให้เป็นสองเวคเตอร์ คือ A และ B ดังภาพที่ 19 จากนั้นใช้การคูณระหว่างเวคเตอร์ (Cross product) [10] หรือแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ A x B ซึ่งผลคูณที่ได้จะมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของ A และ B ซึ่งก็คือ เวคเตอร์ตั้งฉากนั่นเอง หรือเขียนเป็นสมการจะได้

$$
\begin{aligned}
A \times B &= (A_1 i + A_2 j + A_3 k) \times (B_1 i + B_2 j + B_3 k) \\
&= A_1 i \times (B_1 i + B_2 j + B_3 k) + A_2 j \times (B_1 i + B_2 j + B_3 k) + \\
&\quad A_3 k \times (B_1 i + B_2 j + B_3 k) \\
&= A_1 B_2 k - A_1 B_3 j - A_2 B_1 k - A_2 B_3 i - A_3 B_1 j - A_3 B_2 i \\
&= (A_2 B_3 - A_3 B_2) i + (A_3 B_1 - A_1 B_3) j + (A_1 B_2 - A_2 B_1) k \qquad \text{.....(3.9)}
\end{aligned}
$$

หรือเขียนเป็นแมทริกซ์จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A \times B = \begin{vmatrix} i & j & k \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix} \qquad \text{.....(3.10)}$$

จะเห็นได้ว่า ถ้าหาก A = B หรือ A ขนานกับ B แล้ว เราจะได้ว่า A x B = 0

เวคเตอร์ตั้งฉากที่ได้มาจะบอกถึงขนาดและทิศทาง แต่เมื่อนำไปแสดงผลจะไม่สามารถแสดงให้เห็นได้ชัด เนื่องจากมีขนาดโตเกินไปจึงได้ทำการลดขนาดลง แต่ว่าทิศทางยังคงเหมือนเดิม โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Np = \frac{A \times B}{|A \times B|} \qquad \text{.....(3.11)}$$

เมื่อ $|A \times B|$ เป็นขนาดของเวคเตอร์ A x B

ผลจากการหาเวคเตอร์ตั้งฉากจะกล่าวถึงในส่วนท้ายของวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารี่

<u>พารามิเตอร์เครื่องกำเนิดแสงและกล้องวีดีโอ</u>

ในวิทยานิพนธ์วิจัยนี้ เครื่องกำเนิดแสงและกล้องวีดีโอ เป็นหัวใจหลักของการทดลองโดยเฉพาะตำแหน่งที่ใช้วางเครื่องกำเนิดแสง และกล้องวีดีโอ ไม่ควรวางห่างกันมากนัก และต้องวางให้อยู่ในแนวเดียวกัน ดังภาพที่ 20 ซึ่งวางกล้องวีดีโอห่างจากเครื่องกำเนิดแสงเป็นระยะ d เท่ากับ 350 มม. และมุมของเครื่องกำเนิดแสง (Φ_g) วางเบี่ยงไปจากแนวแกน Z ประมาณ 37 องศา และค่าพารามิเตอร์ภายในของเครื่องกำเนิดแสงและกล้องวีดีโอ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

เครื่องกำเนิดแสง

ยี่ห้อ Kodak รุ่น Extrapro 5000

ความยาวโฟกัส (focal length, f) เท่ากับ 45.50 มม.

ขนาดของฟิล์มสไลด์ เท่ากับ 24.5 มม.

กล้องวีดีโอ

ยี่ห้อ Panasonic รุ่น WV-BP100/G

เลนส์ Panasonic รุ่น WV-LF4R5C3E

ความยาวโฟกัส (focal length, f) เท่ากับ 4.5 มม.

ขนาดภาพ (image sizes) เท่ากับ 4.8 มม. x 3.6 มม.

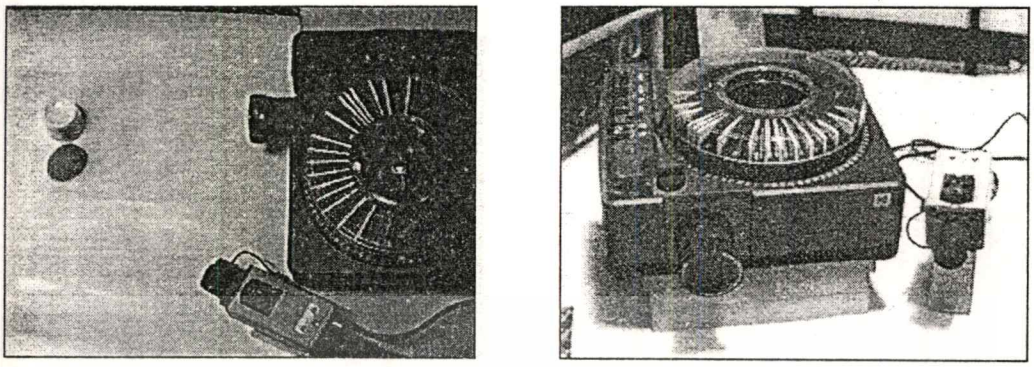
การ์ดจับภาพ (digitezed card)

ชนิด 256 x 256 จุดภาพ ขนาด 8 บิท

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความสำคัญมากในการคำนวณ เครื่องกำเนิดแสงและกล้องวีดีโอในแต่ละยี่ห้อหรือแต่ละรุ่น ก็จะมีค่าพารามิเตอร์ ภายในที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสังเกตได้จากคู่มือที่มีมากับตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 20

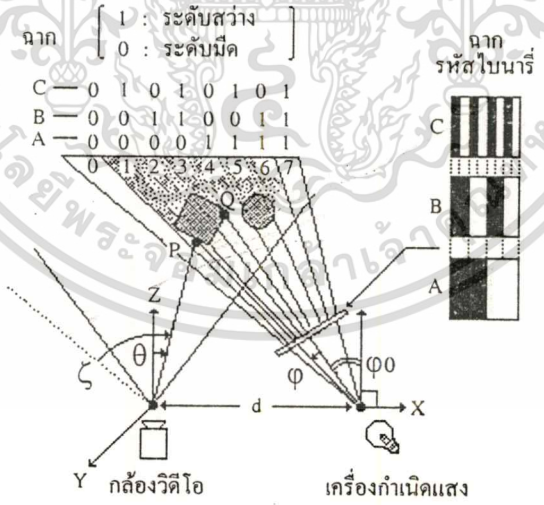


(a) (b)

แสดงการวางกล้องวิดีโอและเครื่องกำเนิดแสงในการทดลอง

การฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี่

ภาพที่ 21



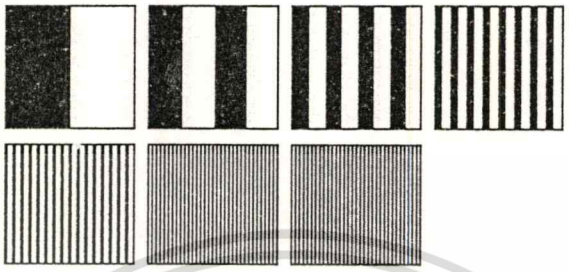
แสดงการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี

จากภาพที่ 21 แสดงการฉายแสงผ่านฉากไบนารีด้วยเครื่องกำเนิดแสง ผ่านไปยังวัตถุและใช้กล้องวีดีโอเก็บภาพวัตถุซึ่งเป็นภาพข้อมูลรหัสไบนารีจากนั้นนำมาเปลี่ยนเป็นภาพข้อมูลระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ในการคำนวนต่อไป ซึ่งฉากรหัสไบนารีจะใช้โปรแกรมภาษาซี สร้างฉาก แล้วใช้กล้องถ่ายรูปถ่ายเก็บเป็นฟิล์มสไลด์ ดังภาพที่ 22

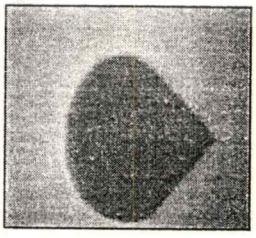
ภาพที่ 22



แสดงฉากรหัสไบนารี

ระยะทางของวัตถุจะถูกเข้ารหัสเป็นระดับสว่างและระดับมืด โดยใช้เครื่องกำเนิดแสงร่วมกับฉากไบนารี (binary pattern projector) อีกสามฉาก เช่น จุด P ซึ่งอยู่บนผิววัตถุ ถูกเข้ารหัสเป็นระดับมืด หรือ "0" โดยฉาก (pattern) A ซึ่งบิทนี้ถูกกำหนดเป็น MSB (Most Significant Bit) ในทำนองเดียวกันจะถูกเข้ารหัสเป็นระดับมืดหรือ "0" โดยฉาก B และระดับสว่าง หรือ "1" โดยฉาก C ซึ่งบิทนี้ถูกกำหนดเป็น LSB (Least Significant Bit) ซึ่งเราจะนำบิทดังกล่าวมาอนุกรมกัน ดังนั้น จุด P จะถูกเข้ารหัสเป็น "001" ซึ่งจะอยู่ในย่านที่ "1" แสดงว่าจุดนี้อยู่บนวัตถุจริง ถ้าหากเรามีฉากดังกล่าว n ฉาก เราสามารถเข้ารหัสได้เป็น 2^n ย่าน จากการทดลองใช้ฉากรหัสไบนารีจำนวน 7 ฉาก ดังนั้นจะได้รหัสเป็น 2^7 หรือ 128 ย่าน ภาพที่ 23 แสดงวัตถุที่นำมาทดลอง และภาพที่ 24 (a-g) แสดงวัตถุซึ่งได้มาจากการใช้แสงฉายผ่านฉากรหัสไบนารี

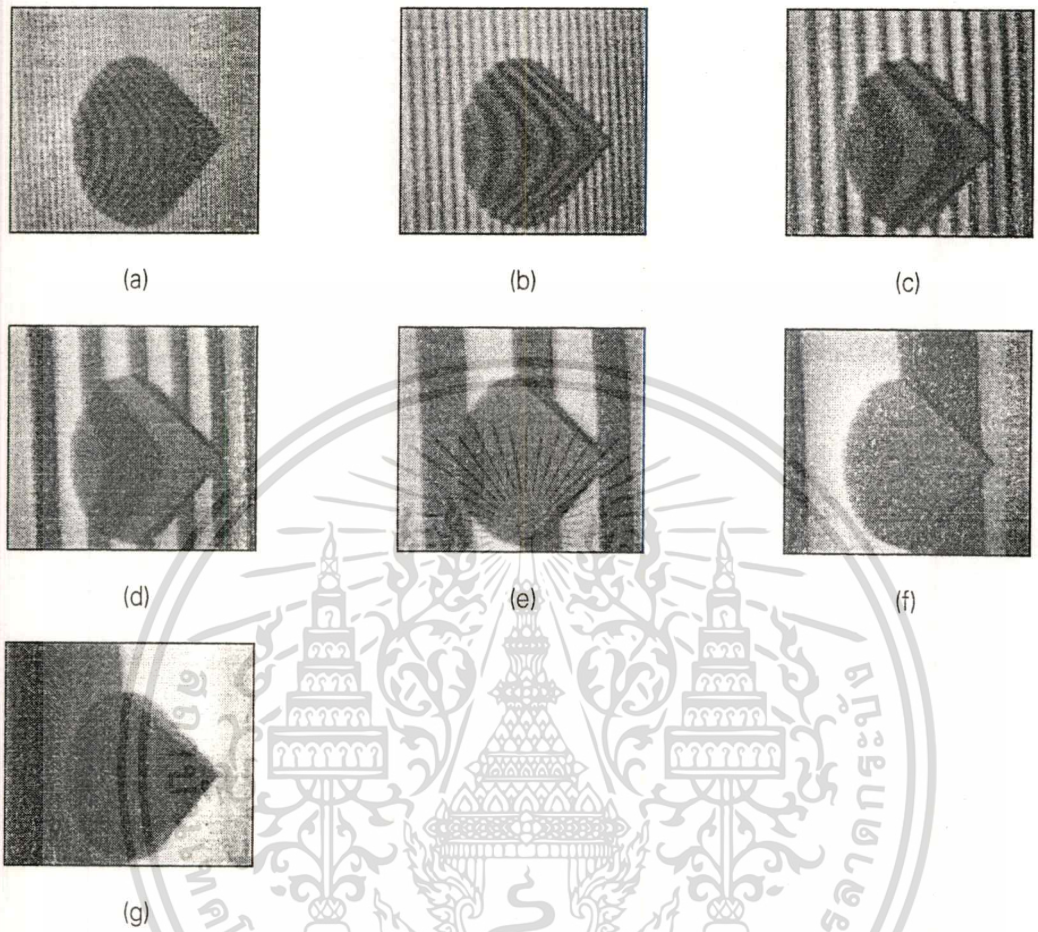
ภาพที่ 23



แสดงวัตถุที่นำมาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 24



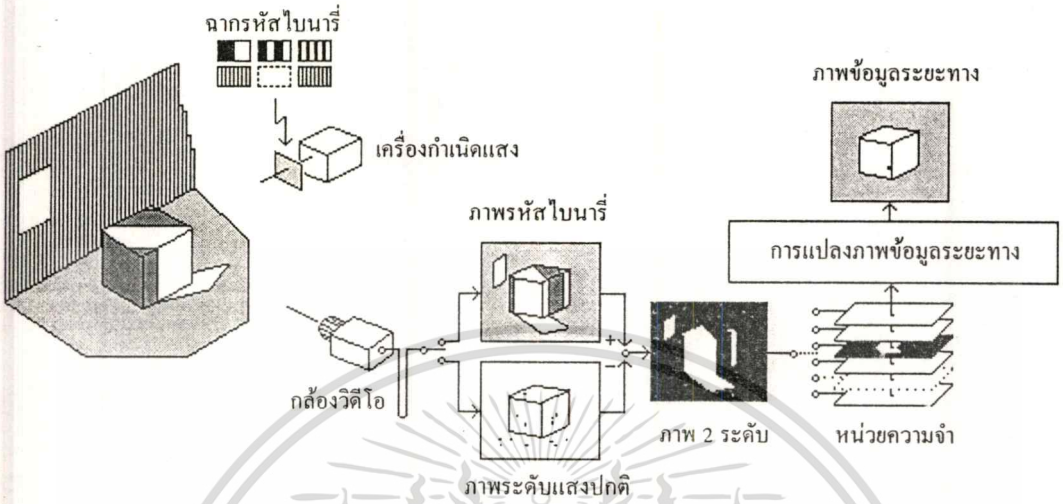
แสดงภาพวัตถุจากการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี

การเปลี่ยนภาพรหัสไบนารีไปเป็นข้อมูลระยะทาง

จากภาพที่ 25 แสดงกระบวนการทั้งหมดในการเข้ารหัสระยะทาง โดยในขั้นแรกเราจะเก็บภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติไว้ในหน่วยความจำ (Memory) โดยปราศจากการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี ดังแสดงในภาพที่ 23 จากนั้นใช้ฉากรหัสไบนารี ดังภาพที่ 22 ให้แสงจากเครื่องกำเนิดแสงฉายผ่านจากรหัสไบนารีไปยังวัตถุ ดังแสดงในภาพที่ 24 (a-g) เราจะนำแต่ละรูปที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติ โดยเปรียบเทียบทีละจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันเพื่อให้ได้ภาพเป็นภาพ 2 ระดับ (binary image) โดยใช้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25



แสดงกระบวนการทั้งหมดในการเข้ารหัสระยะทาง

ถ้า (Gp = Gi) ; (I = 0, 1, 2, ... n-1)

ดังนั้น $Gi' = 1$; จากการทดลอง n=7

ถ้า (Gp ≠ Gi)

ดังนั้น $Gi' = 0$

เมื่อ Gp คือ ภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติดังภาพที่ 23

Gi คือ ภาพวัตถุที่ใช้ฉากรหัสไบนารีกั้นแสงดังภาพที่ 24 (a-g)

Gi' คือ ภาพวัตถุที่ได้จากการเปรียบเทียบดังภาพที่ 28 (a-g)

แต่ในทางปฏิบัติเงื่อนไขดังกล่าวไม่เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องจากว่า ที่ระดับสว่างของภาพระดับแสงปกติ (ภาพที่ 23) กับภาพที่ใช้ฉากรหัสไบนารี (ภาพที่ 24 (a-g)) ที่จุดภาพตำแหน่งเดียวกันจะไม่เท่ากันเสมอไปแต่จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยดังภาพที่ 26 และภาพที่ 27 ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดค่าเบี่ยงเบน (Deviation) ขึ้นมาโดยใช้เงื่อนไขใหม่ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า (|Gp - Gil ≤ Dv)

ดังนั้น Gi' = 1

ถ้า (|Gp - Gil > Dv)

ดังนั้น Gi' = 0

Dv คือ ค่าเบี่ยงเบน จากการทดลอง Dv มีค่าอยู่ระหว่าง 14 - 20

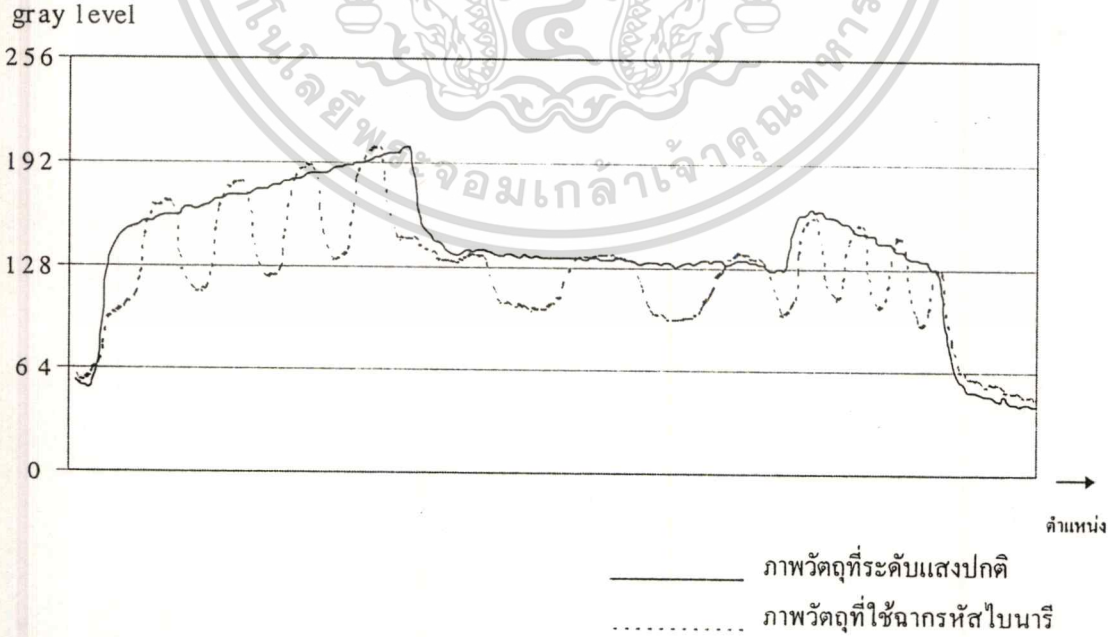
ภาพที่ 26

(a) (b)

(a) แสดงตำแหน่งบนภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติ และ

(b) แสดงตำแหน่งบนภาพวัตถุที่ใช้ฉากรหัสไบนารี

ภาพที่ 27

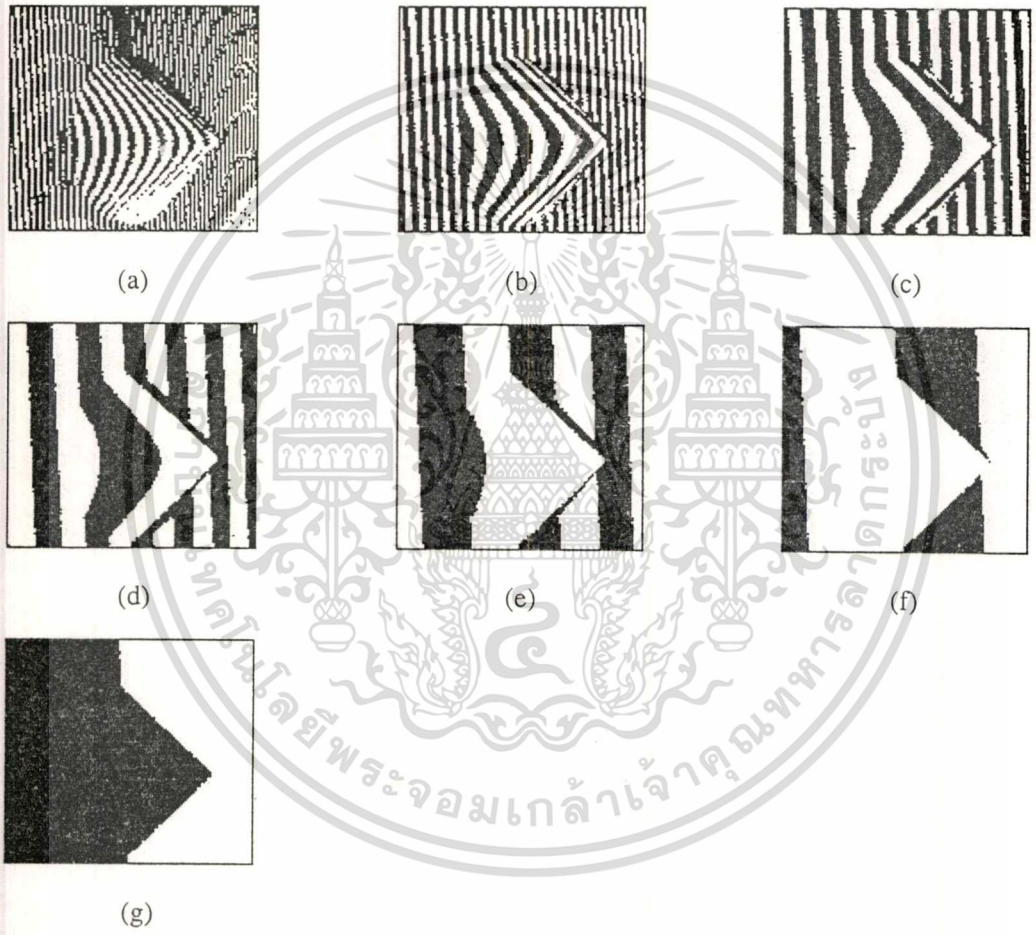


แสดงค่า gray level จากภาพที่ 26 (a) และ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ (Binary-image stack) ในลักษณะต่อ ๆ กัน ดังภาพที่ 25 ภาพวัตถุที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นภาพแบบ 2 ระดับ แล้วจึงเปลี่ยนภาพดังกล่าวไปเป็นภาพข้อมูลระยะทาง ถ้าเราเปลี่ยนระยะห่างของร่องแสงจำนวน n ครั้ง (คือจำนวนฉาก) เพื่อใช้ในการเข้ารหัสระยะทาง เราจะได้ตำแหน่งของร่องแสงเป็น 2^n ตำแหน่ง ดังที่กล่าวมาแล้วเราใช้ฉาก 7 ฉากหรือ n = 7 ดังนั้นข้อมูลภาพที่ได้จะเก็บตำแหน่งข้อมูลเป็น 2^7 หรือ 128 ค่า

ภาพที่ 28



แสดงภาพจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 23 และ ภาพที่ 24

ข้อมูลในหน่วยความจำ จะเป็นข้อมูลขนาด 1 บิท คือมีอยู่ 2 ระดับ จะเป็น 0 กับ 1 แต่มีจำนวนภาพถึง 7 ภาพ ดังภาพที่ 28 (a-g) เราจะนำจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันของทั้ง 7 ภาพมาทำการอนุกรมกันจะได้เป็นข้อมูลขนาด 7 บิท ซึ่งก็คือ ข้อมูลระยะทางนั่นเอง จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 127 ซึ่งกระทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ข้อมูลระยะทาง} = \sum_{i=0}^{n-1} \{ B(i) \times 2^{i} \} \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ n = จำนวนฉาก (n = 7)

ซึ่ง B เป็นตำแหน่งบิทของภาพไบนารีที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งเราจะต้องกระทำการดังกล่าวบนทุกตำแหน่งทั้งหมดของภาพทั้ง 7 ภาพ โดยเราจะเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแมทริกซ์ (matrix) จะได้เป็นภาพ B (I,J) ออกมา จากการทดลองขนาดของภาพหนึ่งๆ จะเท่ากับ (256 x 256) จุดภาพ สมมุติว่าที่ตำแหน่งจุดภาพ x = 156, y = 120 ในภาพแรกซึ่งกำหนดเป็น LSB มีค่า B(0) = 1, ภาพที่สองมีค่า B(1) = 0, ภาพที่สาม B(2) = 1, ภาพที่สี่ B(3) = 0, ภาพที่ห้า B(4) = 1, ภาพที่หก B (5) = 1 และภาพที่เจ็ดซึ่งกำหนดเป็น MSB มีค่า B(6) = 0 เมื่อนำมาหาข้อมูลระยะทางจะได้

$$\text{ข้อมูลระยะทาง} = \{B(0)x2^{0}\} + \{B(1)x2^{1}\} + \{B(2)x2^{2}\} + \ldots\ldots\ldots + \{B(6)x2^{6}\}$$
$$= \{1x1\} + \{0x2\} + \{1x4\} + \ldots\ldots\ldots + \{0x64\}$$
$$= 53$$

ดังนั้น ข้อมูลระยะทางที่ตำแหน่ง B(156,120) = 53 = $(0110101)_B$

ความผิดพลาดจากการเข้ารหัสไบนารี

ข้อมูลระยะทางที่ถูกต้องจากภาพที่ 21 ซึ่งใช้ในการอธิบาย (มีฉากรหัสไบนารีอยู่ 3 ฉาก) แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1

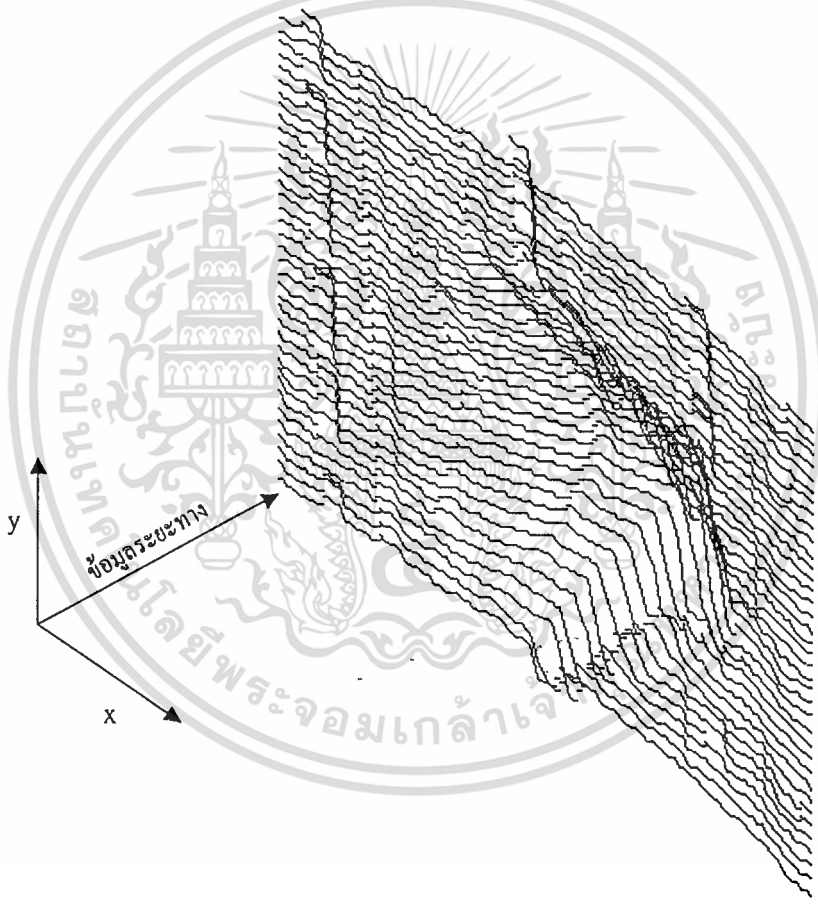
ย่าน	0	1	2	3	4	5	6	7
ฉาก A	0	0	0	0	1	1	1	1
ฉาก B	0	0	1	1	0	0	1	1
ฉาก C	0	1	0	1	0	1	0	1
ข้อมูลระยะทาง	000	001	010	011	100	101	110	111

แสดงข้อมูลระยะทางที่ย่านต่าง ๆ จากรหัสไบนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 30 แสดงภาพข้อมูลระยะทางที่ได้จากรหัสไบนารี ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลหลักในการนำไปคำนวณหาระยะทางของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน แต่ก่อนที่จะนำไปคำนวณ เราจะนำภาพข้อมูลระยะทางที่ได้มาแสดงให้เห็นเป็นความสูงบนแกน x และแกน y โดยที่ความสูงจะกำหนดให้เป็นข้อมูลระยะทางบนภาพนั้น ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

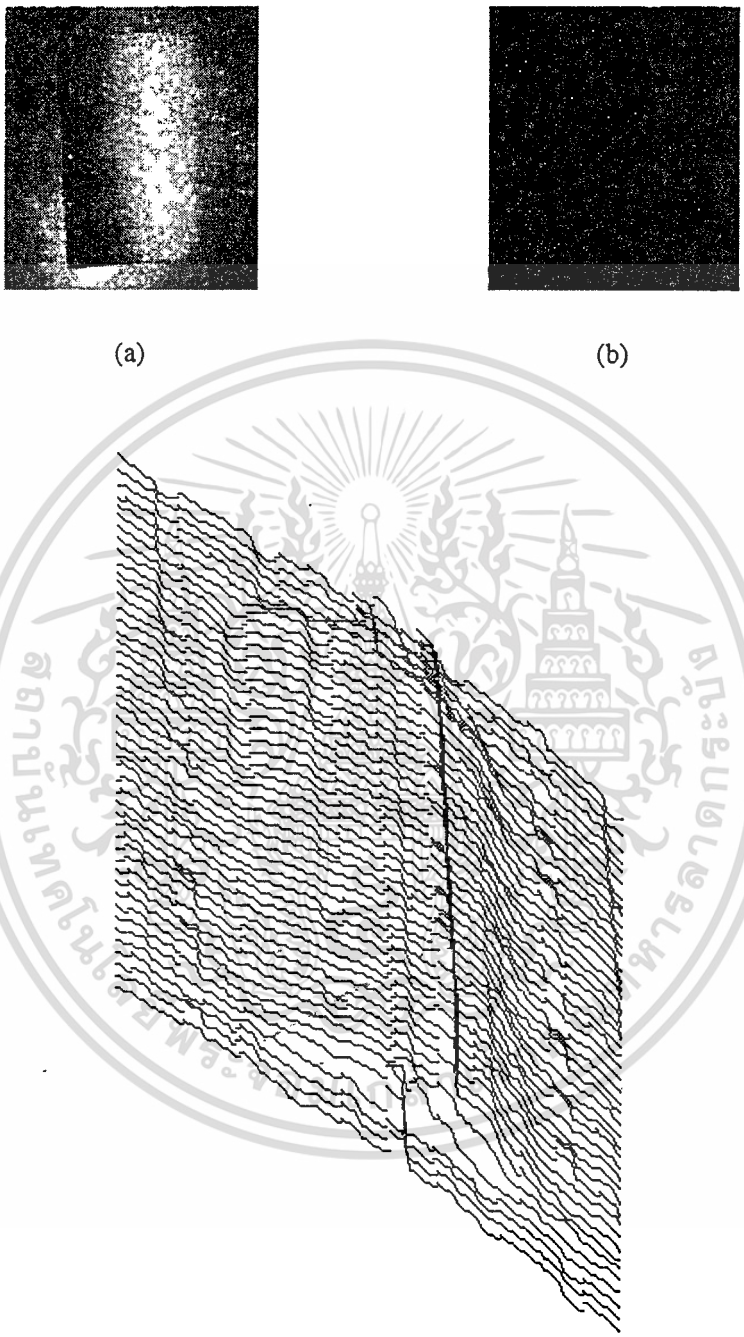
ภาพที่ 31



แสดงข้อมูลระยะทางของภาพที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 32



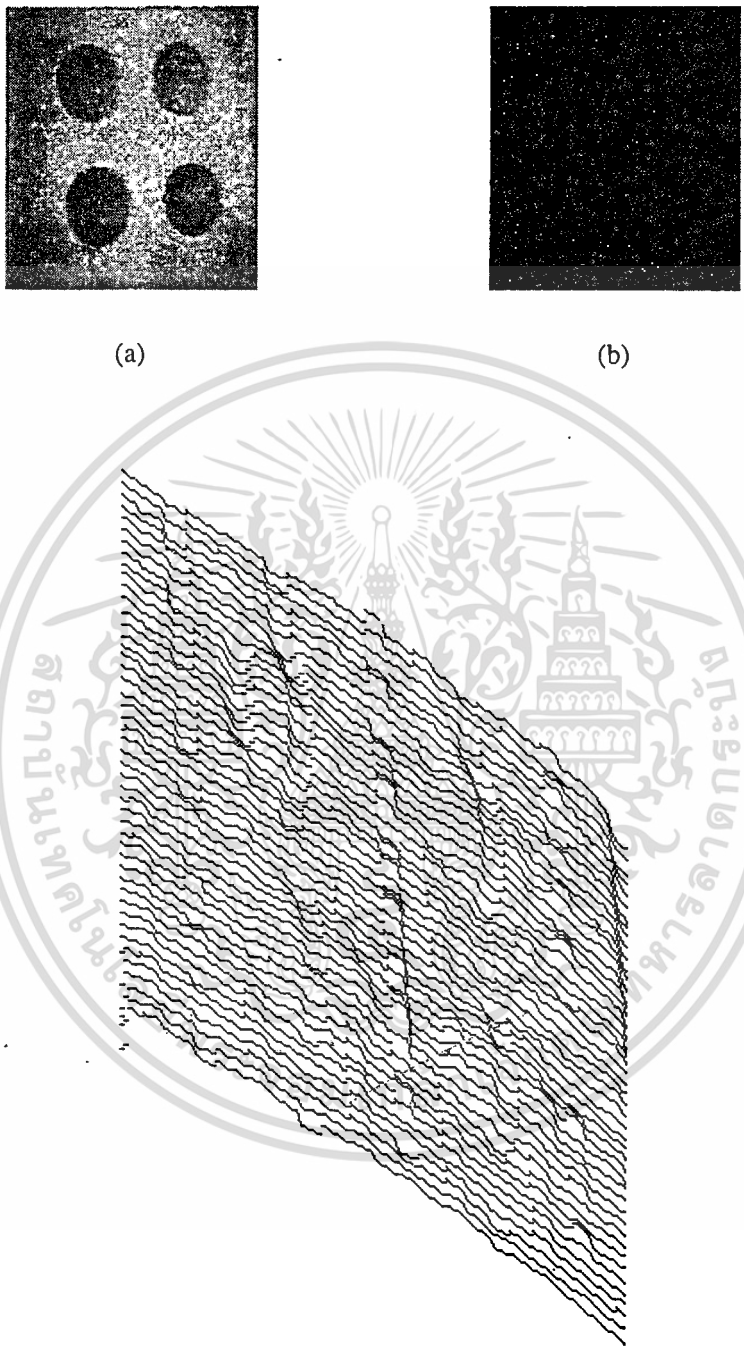
(a) (b)

(c)

(a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง และ(c) แสดงข้อมูลระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 33



(a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง และ(c) แสดงข้อมูลระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า วิธีการเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารีนี้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นสูงโดยเฉพาะบริเวณร่องแสงที่ติดกันดังได้กล่าวมาแล้ว สังเกตได้จากภาพที่ 31, 32 และ 33 จึงได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยเปลี่ยนไปใช้รหัสเกรย์ในการเข้ารหัสระยะทาง เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้น้อยลง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

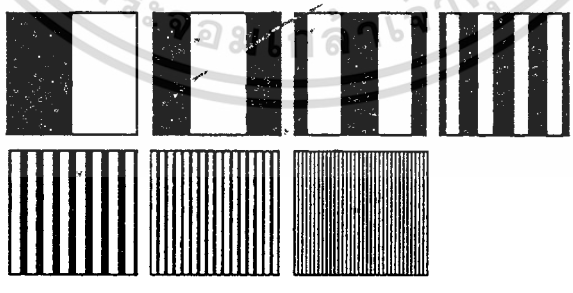
การเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสเกรย์

จากการทดลองที่ผ่านมา การเข้ารหัสระยะทางด้วยรหัสไบนารีมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่บางตำแหน่งบนวัตถุโดยเฉพาะบริเวณร่องแสงที่ติดกัน เพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าว จึงเปลี่ยนการเข้ารหัสระยะทางจากการใช้รหัสไบนารีมาเป็นรหัสเกรย์แทน ทั้งรหัสไบนารีและรหัสเกรย์ต่างก็เป็นเลขฐานสองจึงสามารถนำมาใช้แทนกันได้ เพียงแต่รหัสเกรย์มีขั้นตอนในการแปลงข้อมูลที่ซับซ้อนกว่า แต่ความผิดพลาดมีน้อยกว่า ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

การฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์

การฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์มีลักษณะวิธีการคล้ายกับภาพที่ 24 แต่จะเปลี่ยนจากการใช้ฉากรหัสไบนารี่ไปเป็นฉากรหัสเกรย์ดังภาพที่ 34 และยังเปลี่ยนวิธีการแปลงภาพจากหน่วยความจำ (Stack Memory) ไปเป็นข้อมูลระยะทาง แต่ในขั้นตอนการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกันทุกประการ

ภาพที่ 34

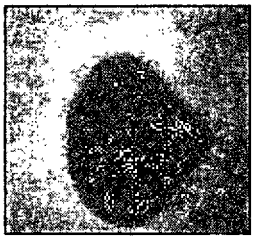


แสดงฉากรหัสเกรย์

รวมถึงขั้นตอนในการเก็บภาพจากกล้องวิดีโอไปยังหน่วยความจำมีลักษณะเช่นเดียวกัน ภาพที่ 35 แสดงวัตถุที่นำมาทดลองและภาพที่ 36 (a-g) แสดงวัตถุซึ่งได้จากการฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์

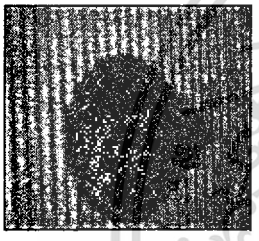
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 35

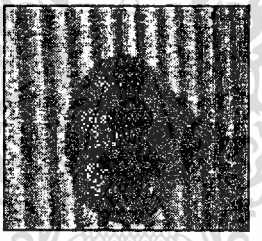


แสดงวัตถุที่นำมาทดลอง

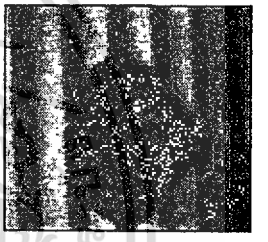
ภาพที่ 36



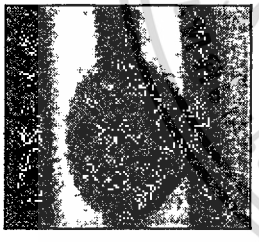
(a)



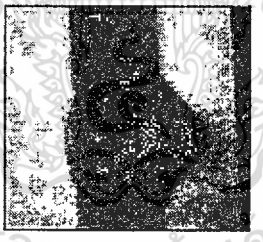
(b)



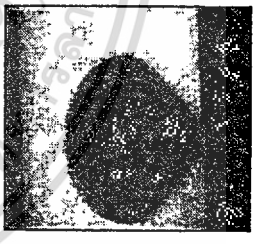
(c)



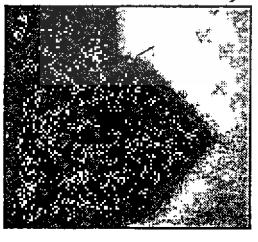
(d)



(e)



(f)



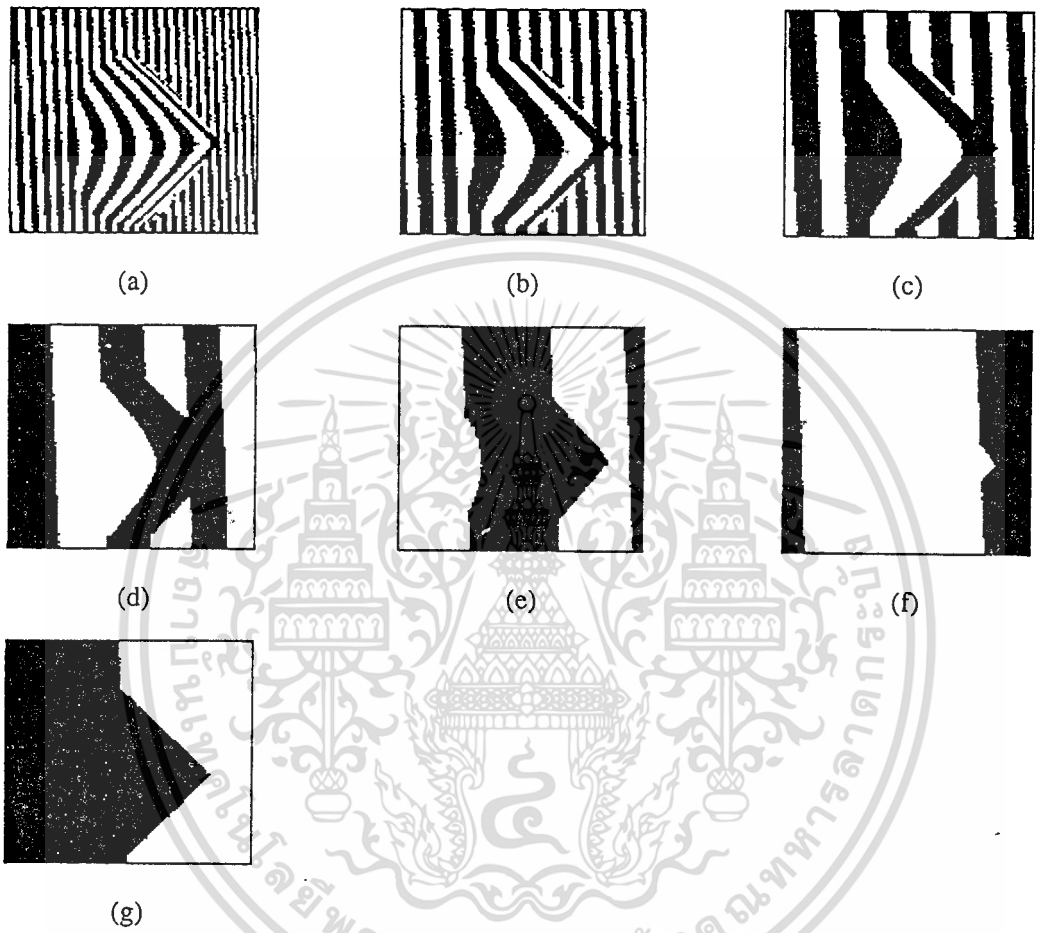
(g)

แสดงภาพวัตถุจากการฉายแสงผ่านฉากรหัสเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 37 (a-g) แสดงวัตถุซึ่งได้จากการเปรียบเทียบจากภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติกับภาพวัตถุที่ใช้แสงฉายผ่านฉากรหัสเกรย์ โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับวิธีแบบใช้ฉากรหัสไบนารี่ และจากการทดลองใช้ค่าความแตกต่าง (Dv) มีค่าอยู่ระหว่าง 14 - 20

ภาพที่ 37



แสดงภาพวัตถุจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 35 และภาพที่ 36

การเปลี่ยนภาพรหัสเกรย์ไปเป็นข้อมูลระยะทาง

ในการแปลงภาพจากหน่วยความจำไปเป็นข้อมูลระยะทาง เราจะนำจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันของทั้ง 7 ภาพมาทำการอนุกรมกันจะได้เป็นข้อมูลรหัสเกรย์ขนาด 7 บิท แล้วเปลี่ยนเป็นรหัสไบนารี่ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 127 ซึ่งก็คือ ข้อมูลระยะทางนั่นเอง ซึ่งกระทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B(n-1) = G(n-1) \qquad (\text{MSB})$$

$$B(i) = B(i+1) \oplus G(i) \qquad ;(\, i = n-2, n-3, \ldots\ldots, 1, 0 \,)$$

$$\text{ข้อมูลระยะทาง} = \sum_{i=0}^{n-1} \{\, B(i) \times 2^{i} \,\} \qquad ; n = \text{จำนวนฉาก} \; (\, n = 7 \,)$$

ซึ่ง B และ G เป็นตำแหน่งบิท ของภาพไบนารี และภาพรหัสเกรย์ ตามลำดับ และ $\oplus$ เป็นการกระทำแบบ exclusive - or ซึ่งเราจะต้องกระทำการดังกล่าวบนทุกตำแหน่งทั้งหมดของภาพทั้ง 7 ภาพ และเช่นเดียวกับวิธีก่อน เราจะเก็บข้อมูลในรูป แมทริกซ์ จะได้เป็นภาพ B(I,J) ออกมา (จากการทดลอง) ที่ตำแหน่งจุดภาพ x=156 , y=120 ในภาพแรกซึ่งกำหนดเป็น LSB มีค่า G(0) = 1, ภาพที่สอง G(1) = 1, ภาพที่สาม G(2) = 1, ภาพที่สี่ G(3) = 1, ภาพที่ห้า G(4) = 0, ภาพที่หก G(5) = 1 และภาพที่เจ็ดซึ่งกำหนดเป็น MSB มีค่า G(6) = 0 เมื่อนำมาหาข้อมูลภาพระยะทางจะได้ดังนี้

$B(6) = G(6) = 0$

$B(5) = B(6) \oplus G(5) = 0 \oplus 1 = 1$

$B(4) = B(5) \oplus G(4) = 1 \oplus 0 = 1$

$B(3) = B(4) \oplus G(3) = 1 \oplus 1 = 0$

$B(2) = B(3) \oplus G(2) = 0 \oplus 1 = 1$

$B(1) = B(2) \oplus G(1) = 1 \oplus 1 = 0$

$B(0) = B(1) \oplus G(0) = 0 \oplus 1 = 1$

ดังนั้น ข้อมูลภาพระยะทาง

$$= \{\, B(0)x2^{0} \,\} + \{\, B(1)x2^{1} \,\} + \{\, B(2)x2^{2} \,\} + \ldots\ldots + \{\, B(6)x2^{6} \,\}$$

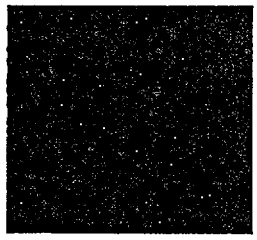
$$= \{\, 1x1 \,\} + \{\, 0x2 \,\} + \{\, 1x4 \,\} + \ldots\ldots + \{\, 0x64 \,\}$$

$$= 53$$

ข้อมูลระยะทางที่ตำแหน่ง $B\,(156,120) = 53 = (0110101)_B = (0101111)_G$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 38



แสดงภาพข้อมูลระยะทาง

จากภาพที่ 38 แสดงภาพข้อมูลระยะทางที่ได้จากการใช้รหัสเกรย์ในการเข้ารหัสระยะทาง

ความผิดพลาดจากการเข้ารหัสเกรย์

จากภาพที่ 21 เมื่อเปลี่ยนมาใช้ฉากรหัสเกรย์ในการเข้ารหัสระยะทางแทนฉากรหัสไบนารี ตำแหน่งที่จุด Q ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่างย่านที่ "3" และ "4" แต่มีตำแหน่งจริงอยู่ใน ย่านที่ "3" หรือถูกเข้ารหัสเกรย์เป็น "010" และเมื่อเปลี่ยนเป็นข้อมูลระยะทางจะได้เป็น "011" และถ้าฉาก A เกิดการเคลื่อนที่เลื่อนไปทางซ้ายเพียงเล็กน้อย ดังนั้นตำแหน่งบิทของฉาก A จะไปตกอยู่ที่ย่าน "4" หรือจุด Q จะถูกเข้ารหัสเกรย์เป็น "110" และเมื่อเปลี่ยนเป็นข้อมูลระยะทางจะได้เป็น "100" จะเห็นว่าข้อมูลระยะทางที่ได้เปลี่ยนไปเพียง 1 LSB เท่านั้น แสดงว่าเมื่อใช้การเข้ารหัสระยะทางแบบรหัสเกรย์ ผลต่างของสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ หรือมีข้อผิดพลาดไม่เกิน 1 LSB ซึ่งเป็นข้อดีของวิธีนี้ ซึ่งข้อมูลระยะทางที่ถูกต้องมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2

ย่าน	0	1	2	3	4	5	6	7
ฉาก A	0	0	0	0	1	1	1	1
ฉาก B	0	0	1	1	1	1	0	0
ฉาก C	0	1	1	0	0	1	1	0
รหัสเกรย์	000	001	011	010	110	111	101	100
ข้อมูลระยะทาง	000	001	010	011	100	101	110	111

แสดงข้อมูลระยะทางที่ย่านต่างๆ จากรหัสเกรย์

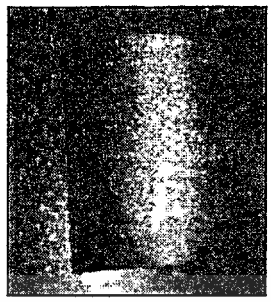
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 39

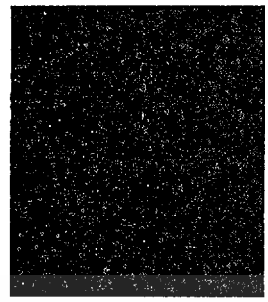
แสดงภาพข้อมูลระยะทางจากรหัสเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

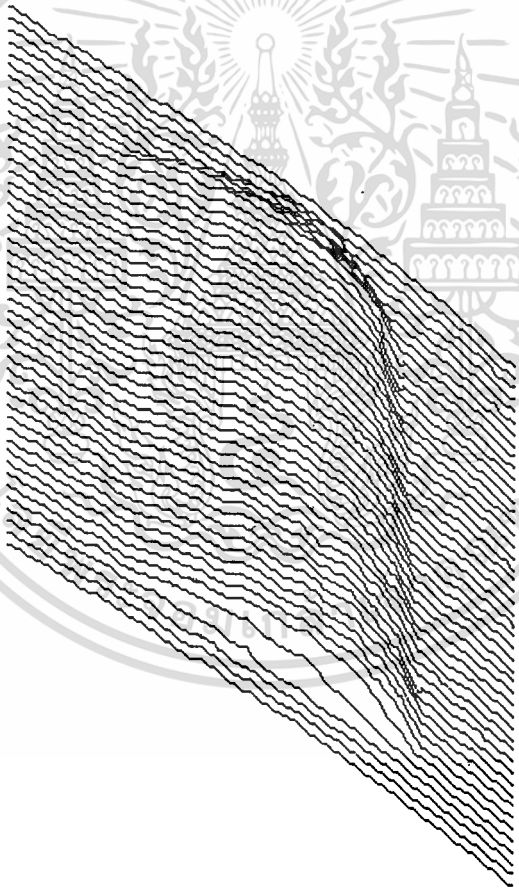
ภาพที่ 40



(a)



(b)

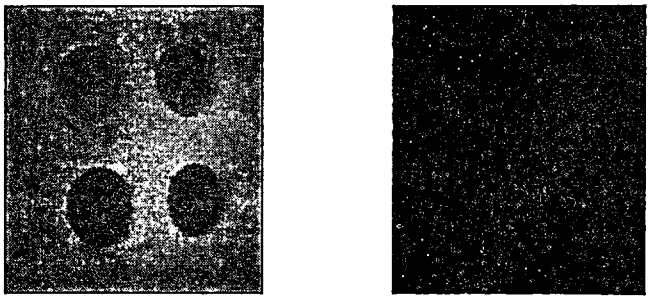


(c)

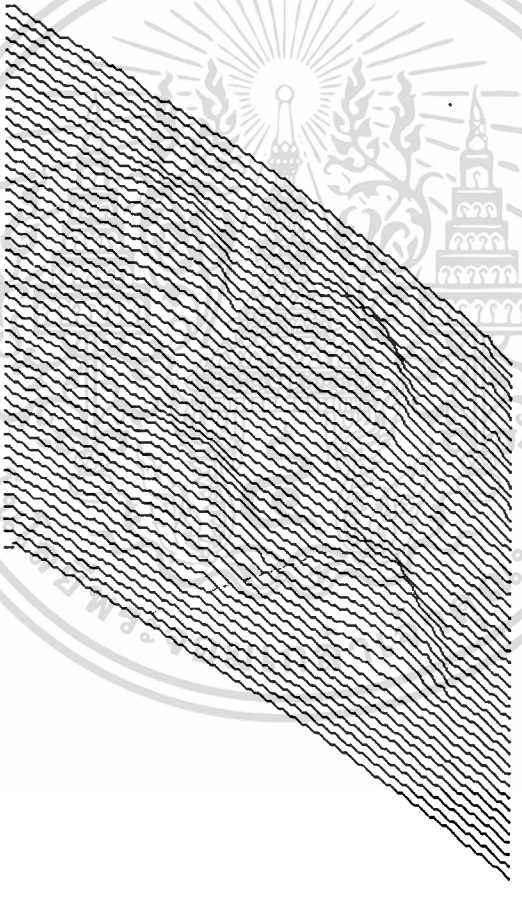
(a) แสดงภาพวัตถุต้นแบบ, (b) แสดงภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ,
และ(c) แสดงข้อมูลระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 41



(a) (b)



(c)

(a) ภาพวัตถุต้นแบบ, (b) ภาพข้อมูลระยะทาง 256 ระดับ,
และ(c) แสดงข้อมูลระยะทาง

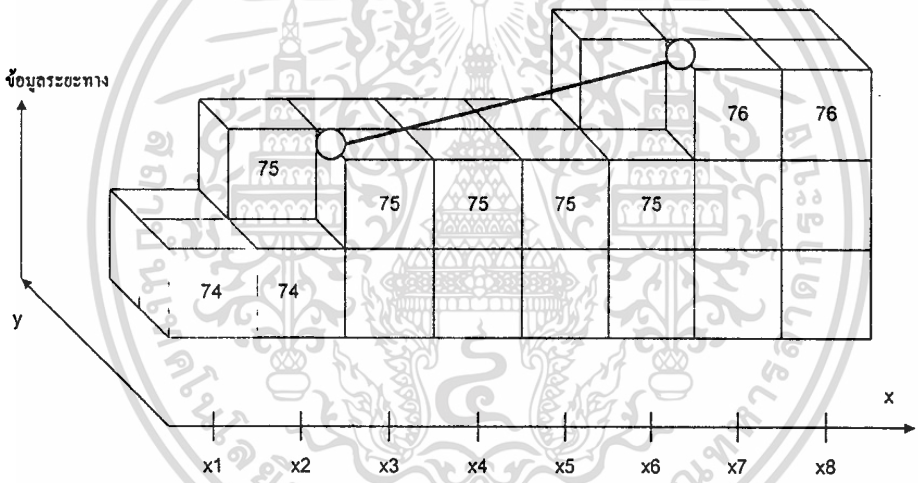
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 39, 40 และ 41 จะเห็นได้ว่า ความสูงหรือข้อมูลระยะทางที่บางตำแหน่งบนวัตถุซึ่งเคยมีความผิดพลาดสูงในวิธีก่อนได้ลดลงกว่าเดิมมาก ซึ่งหมายถึงมีความถูกต้องมากขึ้น แต่ว่าลักษณะพื้นผิวของข้อมูลระยะทางยังไม่เรียบ (Smooth) เท่าใดนัก เนื่องจากฉาก (Pattern) ที่ใช้ไม่ละเอียดมากพอ หรือมีจำนวนบิทน้อยไป จึงได้นำภาพข้อมูลระยะทางไปทำการ interpolation ขึ้นก่อน แล้วจึงนำไปแสดงผลและคำนวณต่อไป

การ Interpolation ภาพข้อมูลระยะทาง

ในการ interpolation เราจะใช้วิธี Linear interpolation [14] ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 42



แสดงการ interpolation ข้อมูลระยะทาง

โดยการลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุด x_3 และ x_7 ก่อนการทำ interpolation ข้อมูลระยะทางที่จุด $x_3 = 75$ หรือเขียนได้เป็น $P(x_3) = 75$ และ $P(x_4) = 75$, $P(x_5) = 75$, $P(x_6) = 75$ และ $P(x_7) = 76$ เมื่อลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุด x_3 และ x_7 แล้ว ข้อมูลระยะทางที่จุด x_4, x_5 และ x_6 จะเปลี่ยนไปเป็น

$$P'(x_4) = P(x_3) + \{ (x_4 - x_3) / (x_7 - x_3) . [P(x_7) - P(x_3)] \}$$

$$= 75 + \{ (4 - 3) / (7 - 3) . [76 - 75] \}$$

$$= 75.25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P'(x_5) = P(x_3) + \{ (x_5 - x_3) / (x_7 - x_3) . [P(x_7) - P(x_3)] \}$$

$$= 75 + \{ (5 - 3) / (7 - 3) . [76 - 75] \}$$

$$= 75.50$$

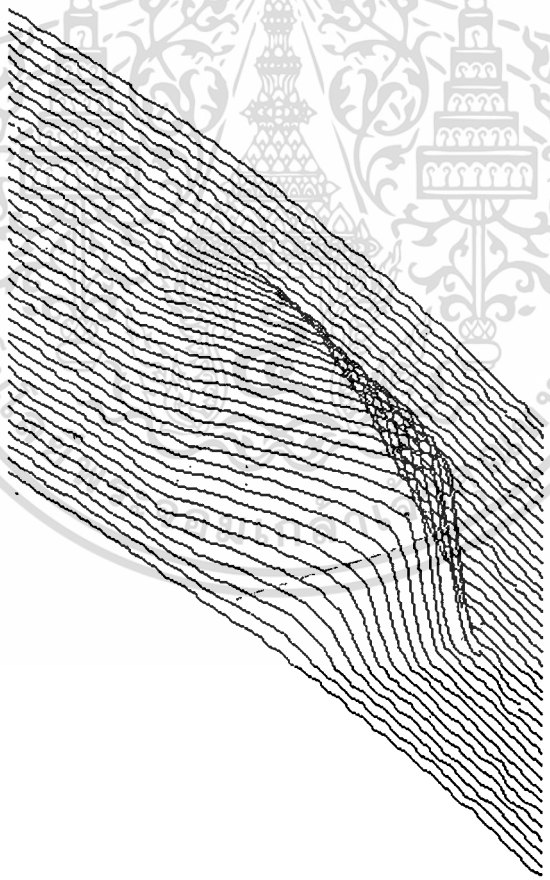
$$P'(x_6) = P(x_3) + \{ (x_6 - x_3) / (x_7 - x_3) . [P(x_7) - P(x_3)] \}$$

$$= 75 + \{ (6 - 3) / (7 - 3) . [76 - 75] \}$$

$$= 75.75$$

ที่ตำแหน่งอื่นๆ หาได้โดยใช้วิธีการแบบเดียวกัน ซึ่งจะกระทำตลอดทั้งภาพ ผลที่ได้แสดงให้เห็นดังภาพที่ 43

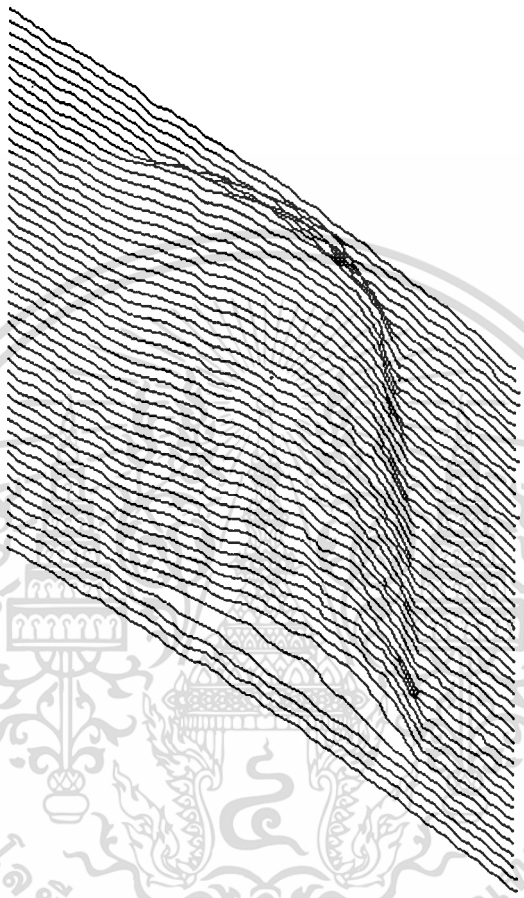
ภาพที่ 43



(a)

(ต่อ)

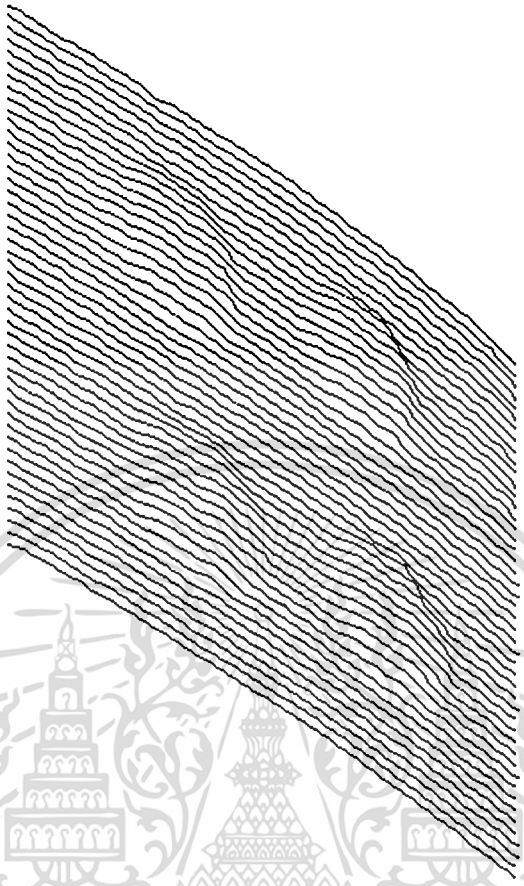
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

แสดงภาพข้อมูลระยะทางหลังการทำ interpolation

เราสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างก่อนและหลังการทำ interpolation ได้จากรูปร่างหรือลักษณะพื้นผิวของข้อมูลระยะทาง จะเห็นว่ารูปร่างหรือลักษณะพื้นผิวจะเรียบขึ้นกว่าเดิมมาก และใกล้เคียงกับภาพวัตถุจริง จากนั้นเราจึงนำภาพที่ได้ไปคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ซึ่งกล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

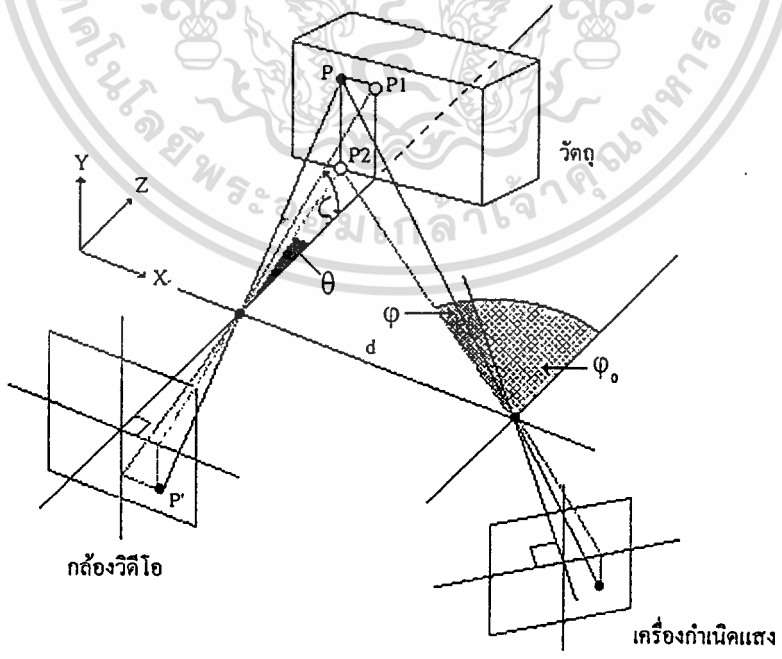
วิธีการคำนวณในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

<u>การแปลงภาพข้อมูลระยะทางเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x,y,z)</u>

เมื่อได้ข้อมูลระยะทางแล้วเราจะนำมาคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หรือ x, y, z ด้วยหลักการของรูปสามเหลี่ยม โดยใช้พารามิเตอร์ของกล้องวีดีโอและเครื่องกำเนิดแสงเป็นหลักในการคำนวณ รวมทั้งระยะห่างระหว่างกล้องวีดีโอและเครื่องกำเนิดแสงก็มีความสำคัญเช่นกัน ซึ่งไม่ควรวางห่างกันมากนักและควรวางให้อยู่ในแนวเดียวกัน (ค่าพารามิเตอร์ และระยะห่างของกล้องวีดีโอและเครื่องกำเนิดแสงแสดงไว้ในบทที่ 4)

1. <u>การแสดงตำแหน่งต่างๆ ด้วยสมการในรูปแบบสามมิติ</u>

ภาพที่ 44



แสดงตำแหน่งต่างๆ ด้วยหลักการรูปสามเหลี่ยม

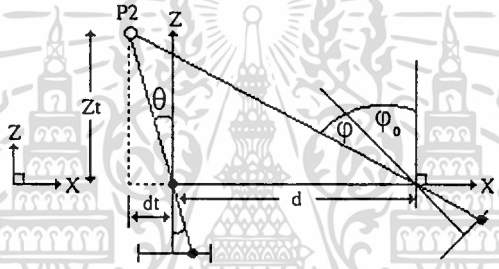
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาตำแหน่งต่างๆบนวัตถุจะอาศัยข้อมูลระยะทาง, ตำแหน่งและพารามิเตอร์ของกล้องวีดีโอและเครื่องกำเนิดแสงโดยแปลงออกมาให้อยู่ในรูปสมการสามมิติ โดยใช้หลักการของรูปสามเหลี่ยมเข้าช่วย

จากภาพที่ 44 เมื่อลากเส้นจากจุดกำเนิดแสงไปยังจุด P และลากเส้นจากกล้องวีดีโอไปยังจุด P จะเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้นมา และมุมต่างๆ สามารถหาได้โดยการพิจารณาที่แนวแกน Z กับแกน X หรือแกน Y ดังต่อไปนี้

1.1 <u>พิจารณาที่แนวแกน Z กับแกน X</u> โดยเราจะทำการลากเส้นที่จุด P ลงมาตั้งฉากกับแกน Z ในทิศทาง Y ได้เป็นจุด P_2 จะเกิดมุม θ และมุม$(\varphi + \varphi_0)$ ขึ้นมา ดังรูป

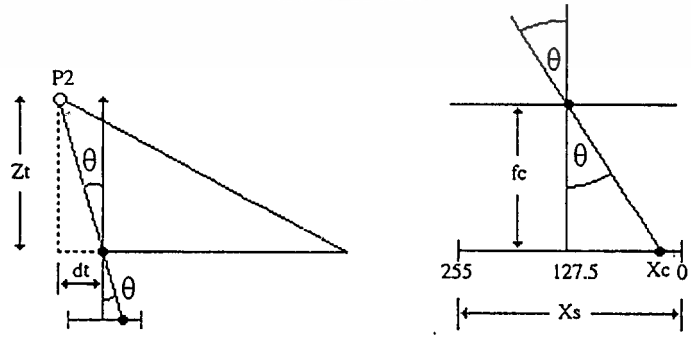
ภาพที่ 45



แสดงตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน Z กับแกน X

ซึ่ง Zt คือค่าที่เราต้องการทราบเป็นระยะทางจากกล้องวีดีโอไปยังจุด P ซึ่งอยู่บนวัตถุในทิศทางแกน Z สามารถคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 46



(a) แสดงตำแหน่ง Zt, dt และ(b) แสดงตำแหน่งมุม θ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 46 (a) เขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\theta) = \frac{dt}{Zt} \quad \text{.....(6.1)}$$

หรือ $$dt = Zt \cdot \tan(\theta) \quad \text{.....(6.2)}$$

และค่า θ คำนวณหาได้จากภาพที่ 46 (b) ซึ่งนำมาเขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\theta) = \frac{(X_c - 127.5) \cdot (X_s/255)}{fc} \quad \text{.....(6.3)}$$

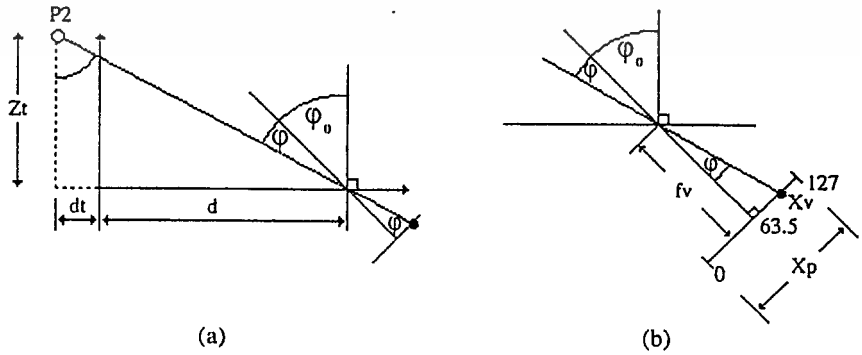
ดังนั้น $$\theta = \tan^{-1}\frac{(X_c - 127.5) \cdot (X_s/255)}{fc} \quad \text{.....(6.4)}$$

เมื่อ fc เป็นความยาวโฟกัส (focal length) ของกล้องวีดีโอมีค่าเท่ากับ 4.5 มม.

Xc เป็นตำแหน่งจุดภาพใดๆ บนแกน x โดยการ์ดดิจิไตซ์เก็บจุดภาพทางแนวแกน x เท่ากับ 256 จุดภาพ ซึ่งก็คือ 0 ถึง 255 กำหนดให้จุดกึ่งกลางเท่ากับ 127.50

Xs เป็นขนาดภาพ (image sizes) ทางแนวแกน x ของกล้องวีดีโอ ซึ่งเท่ากับ 4.8 มม.

ภาพที่ 47



(a) แสดงตำแหน่ง Zt, dt และ (b) แสดงตำแหน่งมุม φ และ φ_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 47 (a) เขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\varphi + \varphi_0) = \frac{dt+d}{Zt} \quad \text{.....(6.5)}$$

หรือ $$dt = (Zt \cdot \tan(\varphi + \varphi_0)) - d \quad \text{.....(6.6)}$$

เมื่อ φ_0 เป็นมุมของเครื่องกำเนิดแสงวางเอียงจากแนวแกน Z ซึ่งเท่ากับ 37 องศา และค่า φ คำนวณหาได้จากภาพที่ 47 (b) ซึ่งนำมาเขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\varphi) = \frac{(Xv-63.5) \cdot (Xp/127)}{fv} \quad \text{.....(6.7)}$$

ดังนั้น $$\varphi = \tan^{-1} \frac{(Xv-63.5) \cdot (Xp/127)}{fv} \quad \text{.....(6.8)}$$

เมื่อ fv เป็นความยาวโฟกัส (focal length) ของเครื่องกำเนิดแสงเท่ากับ 45.5 มม.

Xv เป็นตำแหน่งรหัสข้อมูลระยะทางที่เกิดขึ้นบนวัตถุ โดยฉากรหัสไบนารีที่ใช้มี 7 ฉาก ดังนั้นจะมีค่ารหัสทั้งหมด 128 ค่าซึ่งก็คือ 0 ถึง 127 กำหนดให้จุดกึ่งกลางเท่ากับ 63.5

Xp เป็นขนาดสไลด์ (pattern) ของเครื่องกำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ 25.4 มม.

แทนสมการ (6.2) ลงในสมการ (6.6) จะได้

$$(Zt \cdot \tan(\varphi + \varphi_0)) - d = Zt \cdot \tan(\theta) \quad \text{.....(6.9)}$$

หรือ $$Zt = \frac{d}{\tan(\varphi + \varphi_0) - \tan(\theta)} \quad \text{.....(6.10)}$$

จะเห็นว่า dt ในสมการ (6.2) ก็คือ ระยะทางจากกล้องวีดีโอไปยังจุด P ในทิศทางแกน X หรือเขียนใหม่จะได้ว่า

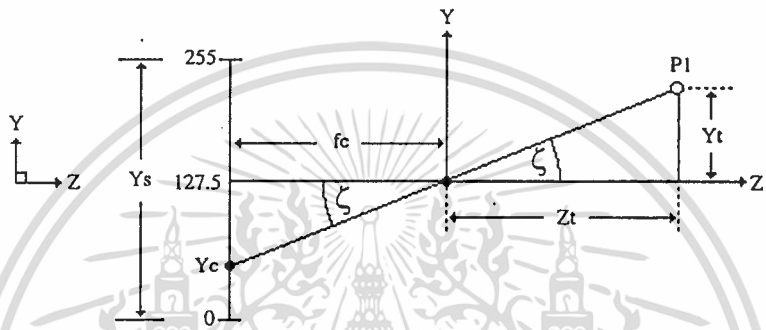
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dt = Xt \quad \text{.....(6.11)}$$

ดังนั้น $$Xt = Zt \cdot \tan(\theta) \quad \text{.....(6.12)}$$

1.2 <u>พิจารณาที่แนวแกน Z กับแกน Y</u> โดยเราจะทำการลากเส้นที่จุด P ไปในทิศทาง X และให้ตั้งฉากกับแกน Z ได้เป็นจุด P_1 จะเกิดมุม ζ ขึ้นมา ดังรูป

ภาพที่ 48



แสดงตำแหน่ง Zt, Yt และมุม ζ

เมื่อ Yt เป็นระยะทางจากกล้องวีดีโอไปยังจุด P ในทิศทางแกน Y

จากภาพที่ 48 เขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\zeta) = \frac{Yt}{Zt} \quad \text{.....(6.13)}$$

หรือ $$Yt = Zt \cdot \tan(\zeta) \quad \text{.....(6.14)}$$

และค่ามุม ζ คำนวณหาได้จากภาพที่ 48 เช่นกัน โดยนำมาเขียนเป็นสมการจะได้

$$\tan(\zeta) = \frac{(127.5 - Yc) \cdot (Ys/255)}{fc} \quad \text{.....(6.15)}$$

ดังนั้น $$\zeta = \tan^{-1}\frac{(127.5 - Yc) \cdot (Ys/255)}{fc} \quad \text{.....(6.16)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ fc เป็นความยาวโฟกัส (focal length) ของกล้องวีดีโอมีค่าเท่ากับ 4.5 มม.

Yc เป็นตำแหน่งจุดภาพใด ๆ บนแกน Y โดยการ์ดดิจิไตซ์เก็บจุดภาพทางแนวแกน Y เท่ากับ 256 จุดภาพ ซึ่งก็คือ 0 ถึง 255 กำหนดให้จุดกึ่งกลางภาพเท่ากับ 127.50

Ys เป็นขนาดภาพ (image sizes) ทางแนวแกน Y ของกล้องวีดีโอซึ่งเท่ากับ 3.6 มม.

2. <u>การคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจากข้อมูลระยะทาง</u> ในการคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.10 , 6.12 และ 6.14 ซึ่งกำหนดไว้ว่า

$$Z = \frac{d}{\tan(\varphi + \varphi_0) - \tan(\theta)} \quad \text{.....(6.17)}$$

$$X = Z \cdot \tan(\theta) \quad \text{.....(6.18)}$$

$$Y = Z \cdot \tan(\zeta) \quad \text{.....(6.19)}$$

จากสมการดังกล่าวตัวแปรที่มีความสำคัญในการคำนวณคือ φ, φ_0, θ และ ζ ซึ่งมุม θ และ ζ ได้จากจุดโคออดิเนตบนภาพข้อมูลระยะทางกับมุมมองจากกล้องวีดีโอ และมุม φ ได้จากตำแหน่งข้อมูลระยะทางกับมุมของเครื่องกำเนิดแสง และมุม φ_0 เป็นมุมของการฉายแสง ซึ่งแต่ละมุมคำนวณหาได้จากสมการที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากภาพที่ 38 แสดงภาพข้อมูลระยะทางซึ่งทุกตำแหน่งบนวัตถุจะแทนด้วยข้อมูลระยะทาง โดยจะนำมาคำนวณหาระยะทางในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน เช่น จากภาพที่ 44 ที่จุด P ซึ่งอยู่บนวัตถุจะแทนตำแหน่งที่ปรากฏบนกล้องวีดีโอที่จุด P' ที่ตำแหน่ง Xc,Yc เท่ากับ 105 และ 75 ตามลำดับ และที่จุด P มีข้อมูลระยะทาง หรือ Xv เท่ากับ 85 แสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังนี้

1. คำนวณหามุม θ จากสม์การ (6.4) จะได้

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(105 - 127.5) \cdot (4.8 / 255)}{4.5}$$

$$\theta = -5.3767^{\circ}$$

2. คำนวณหามุม φ จากสมการ (6.8) จะได้

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{(85 - 63.5) \cdot (25.4 / 127)}{45.5}$$

$$\varphi = 5.2739^{\circ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหามุม ζ จากสมการ (6.16) จะได้

$$\zeta = \tan^{-1} \frac{(127.5 - 75) \cdot (3.6 / 255)}{4.5}$$

$$\zeta = 9.3529^{\circ}$$

4. นำค่า θ, φ, ζ ที่คำนวณได้และค่า φ_0 ไปแทนในสมการ (6.17), (6.18) และ (6.19) จะได้

$$Z = \frac{435}{\tan (5.2739^{\circ} + 37.0^{\circ}) - \tan (-5.3767^{\circ})}$$

$$Z = 433.61 \text{ มม.}$$

$$X = Z \cdot \tan (-5.3767^{\circ}) = -40.81 \text{ มม.}$$

$$Y = Z \cdot \tan (9.3529^{\circ}) = 71.42 \text{ มม.}$$

จากขั้นตอน 1 - 4 แสดงตัวอย่างในการคำนวณในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนเพียงหนึ่งจุดบนวัตถุเท่านั้น และที่ตำแหน่งอื่นหรือจุดอื่น ๆ บนวัตถุก็สามารถใช้ขั้นตอน 1 - 4 ในการคำนวณหาระยะทางได้เช่นกัน

<u>ผลการคำนวณหาระยะทาง</u>

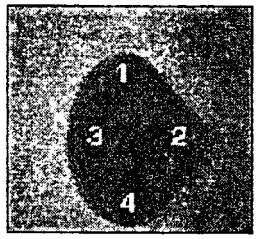
เราจะนำผลการคำนวณหาระยะทางที่ได้จากข้อมูลระยะทางไปเปรียบเทียบกับระยะทางที่ทำการวัดได้จริงที่บางตำแหน่งบนวัตถุ โดยแสดงตำแหน่งในภาพที่ 49, 50 และ 51 เปรียบเทียบผลในตารางที่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งระยะทางการคำนวณสามารถคำนวณหาได้จากค่าของ X, Y และ Z ดังต่อไปนี้

ระยะทาง (*range*) $= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ .....(6.20)

ความผิดพลาด = | ระยะทางคำนวณ - ระยะทางการวัด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 49



แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ

ตารางที่ 3

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	62	32.5	51.2	530.7	534.15	533	1.15
2	71	27.8	26.4	493.2	494.69	495	0.31
3	53	22.3	24.6	510.8	511.88	513	1.12
4	60	30.2	-8.5	513.8	514.76	516	1.24

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 49 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์

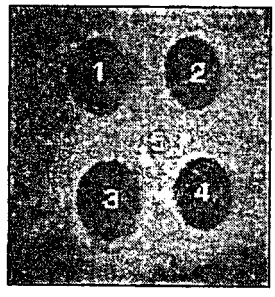
ตารางที่ 4

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	43	26.4	43.4	513.2	515.48	533	17.52
2	69	26.2	25.6	490.6	491.97	495	3.03
3	46	17.5	20.3	503.2	503.91	513	9.09
4	61	31.4	-8.9	514.9	515.93	516	0.07

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 49 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 50



แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ

ตารางที่ 5

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	65	-10.2	31.0	556.1	557.06	559	1.94
2	79	57.3	30.2	567.4	571.09	573	1.91
3	63	-11.8	-33.4	555.9	557.03	555	2.03
4	81	56.6	-34.1	564.4	568.26	569	0.74
5	72	22.4	-5.8	568.7	569.17	570	0.82

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 50 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์

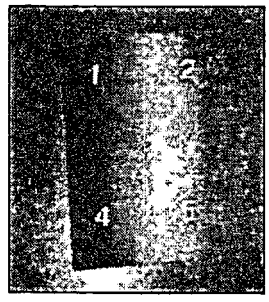
ตารางที่ 6

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	64	-9.9	30.8	554.9	555.84	559	3.16
2	79	57.3	30.2	567.4	571.09	573	1.91
3	63	-11.8	-33.4	555.9	557.03	555	2.03
4	85	-57.4	-36.3	569.1	573.14	569	4.14
5	83	27.0	-14.3	579.1	579.91	570	9.91

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 50 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 51



แสดงตำแหน่งระยะทางที่ใช้เปรียบเทียบ

ตารางที่ 7

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	58	-10.3	37.5	550.7	552.07	551	1.07
2	75	51.6	36.7	562.8	566.35	565	1.35
3	68	21.4	7.3	548.4	548.87	548	0.87
4	60	-10.8	-38.0	549.8	551.22	550	1.22
5	74	50.3	-38.8	565.6	569.16	568	1.16

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 51 ด้วยการเข้ารหัสเกรย์

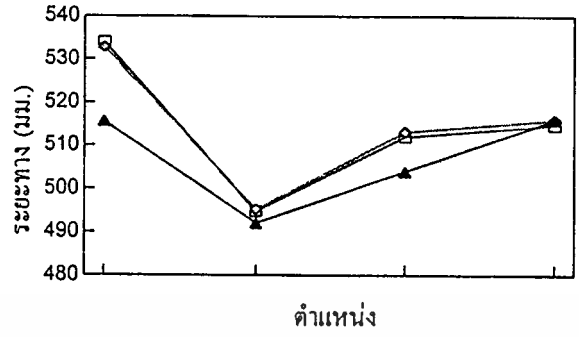
ตารางที่ 8

ตำแหน่ง	ข้อมูลระยะทาง	X (มม.)	Y (มม.)	Z (มม.)	ระยะทางคำนวณ(มม.)	ระยะทางการวัด(มม.)	ความผิดพลาด(มม.)
1	57	-10.0	36.8	548.9	550.22	551	0.78
2	80	52.4	38.6	567.4	571.12	565	6.12
3	62	20.2	6.7	542.2	542.62	548	6.25
4	60	-10.8	-38.0	549.8	551.22	550	1.22
5	70	48.9	-36.0	560.4	563.68	568	4.32

แสดงผลที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางที่วัดได้จริงจากภาพที่ 51 ด้วยการเข้ารหัสไบนารี

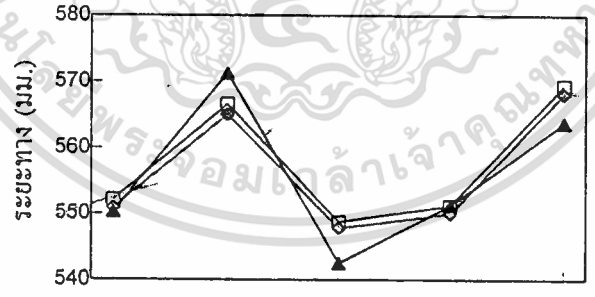
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 52



(a)

(b)



(c)

◇ แสดงระยะทางจากการวัด
□ แสดงระยะทางจากวิธีรหัสเกรย์
△ แสดงระยะทางจากวิธีรหัสไบนารี

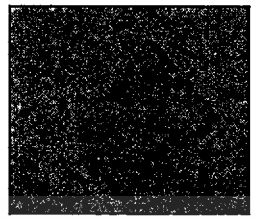
แสดงระยะทางจากการวัดและคำนวณ (a) ภาพที่ 49, (b) ภาพที่ 50 และ (c) ภาพที่ 51

ในการทดลองต่อไปจะแสดงระยะทางบนตำแหน่งในแนวเดียวกันบนวัตถุที่ตำแหน่งกล้องต่างกัน นั่นคือ จะทำการเก็บภาพในระยะ 500 มม. และ 300 มม. ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

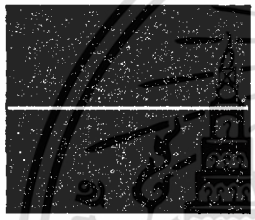
การเปรียบเทียบภาพวัตถุที่เก็บในระยะทาง 500 มม.

ภาพที่ 53

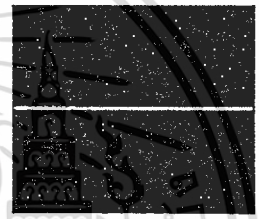


แสดงภาพต้นแบบ

ภาพที่ 54



(a) ภาพจากการเข้ารหัสเกรย์

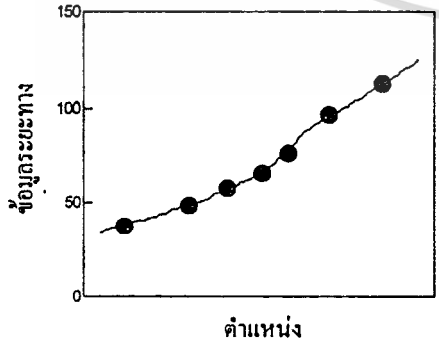


(b) ภาพจากการเข้ารหัสไบนารี

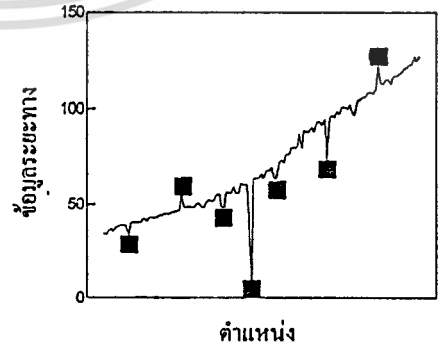
แสดงภาพข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณ

เราจะนำข้อมูลระยะทางที่ปรากฏบนเส้นสีขาวจากภาพที่ 54 (a) และ (b) มาแสดงให้เห็นถึงความต่อเนื่องของข้อมูล และกำหนดตำแหน่งขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยเลือกตำแหน่งที่มีความผิดพลาดมากที่สุดมาใช้ในการเปรียบเทียบดังภาพที่ 55

ภาพที่ 55



(a) ภาพจากการเข้ารหัสเกรย์

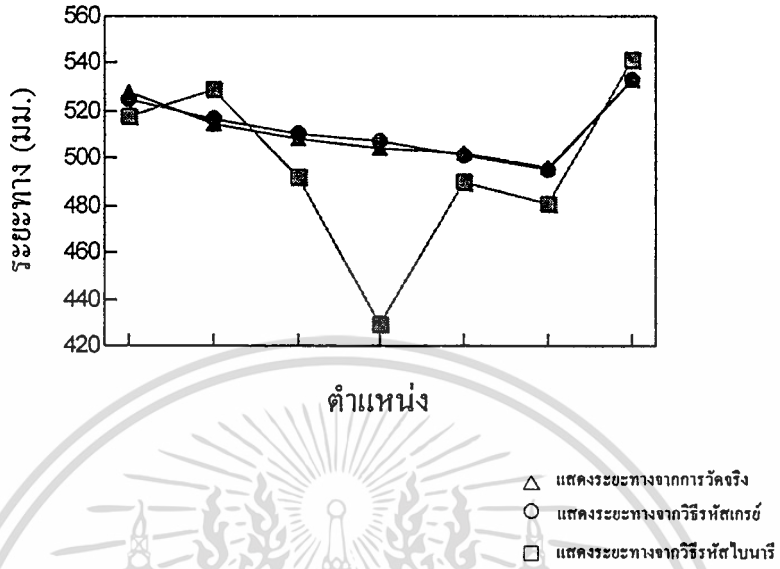


(b) ภาพจากการเข้ารหัสไบนารี

แสดงข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้คำนวณจากภาพที่ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

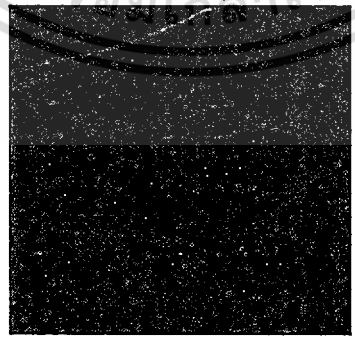
ภาพที่ 56



แสดงกราฟระยะทางที่คำนวณได้จากตำแหน่งที่กำหนดขึ้น

<u>การเปรียบเทียบภาพวัตถุที่เก็บในระยะทาง 300 มม.</u>

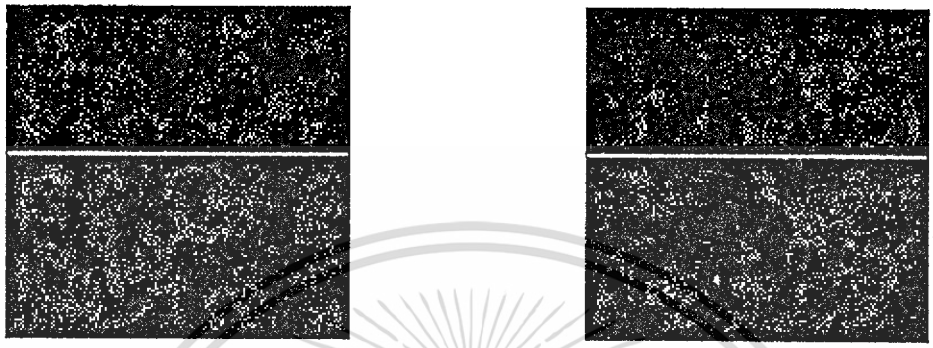
ภาพที่ 57



แสดงภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

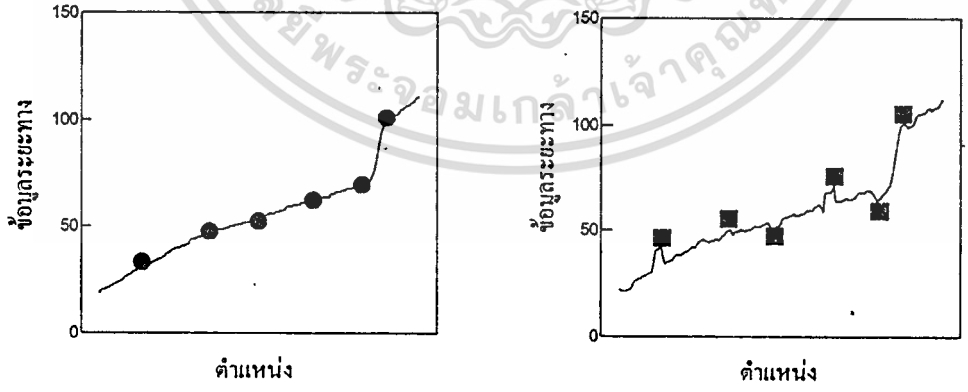
ภาพที่ 58



(a) ภาพจากการเข้ารหัสเกรย์ (b) ภาพจากการเข้ารหัสไบนารี

แสดงภาพข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณ

ภาพที่ 59

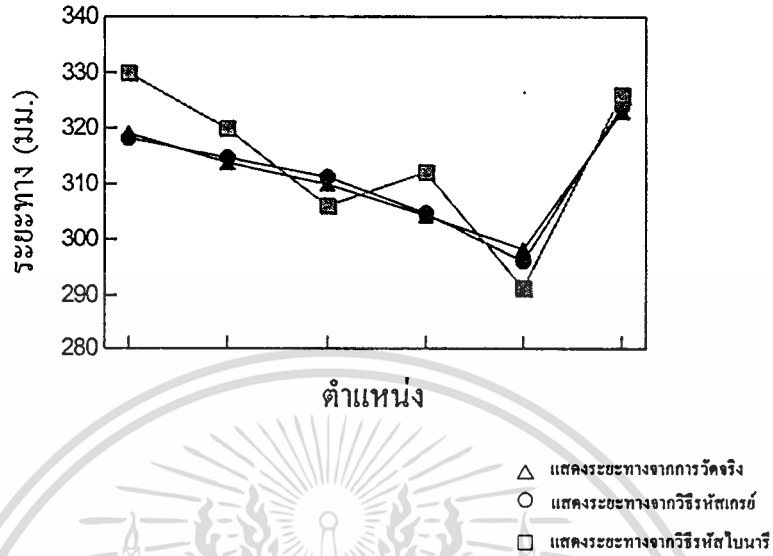


(a) ภาพจากการเข้ารหัสเกรย์ (b) ภาพจากการเข้ารหัสไบนารี

แสดงข้อมูลระยะทางและตำแหน่งที่ใช้คำนวณจากภาพที่ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 60



แสดงกราฟระยะทางที่คำนวณได้จากตำแหน่งที่กำหนดขึ้น

จะเห็นว่าผลการคำนวณหาระยะทางเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง ในวิธีการเข้ารหัสเกรย์ค่าระยะทางที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัดจริงมาก แต่ในวิธีการเข้ารหัสไบนารีที่บางตำแหน่งจะมีค่าความผิดพลาดสูง ไม่ว่าจะทำการเก็บภาพวัตถุในระยะใกล้หรือไกลก็ตาม ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่า วิธีการวัดระยะทางด้วยการเข้ารหัสเกรย์มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง ถึงแม้ว่าในบางตำแหน่งยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ แต่ก็น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแบบไบนารี แต่ถ้าหากเปลี่ยนจากการใช้เครื่องกำเนิดแสงที่ฉายผ่านฉากรหัสข้อมูลระยะทางไปเป็นเครื่องกำเนิดแสงที่มีความคมชัด เช่น แสงเลเซอร์ด้วยแล้ว ปัญหาในการเหลื่อมล้ำของแสงและฉากที่เลื่อนก็จะหมดไป แต่ว่าเครื่องมือดังกล่าวมีข้อเสียที่ราคาสูงมาก

ในเรื่องของเวลาที่ใช้ในวิธีการเข้ารหัสเกรย์และไบนารีไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากขั้นตอนส่วนใหญ่ใช้เวลาไปกับการเก็บภาพ ส่วนในขั้นตอนอื่นๆ เช่น วิธีการคำนวณ การหาภาพข้อมูลระยะทาง ใช้เวลาใกล้เคียงกันมาก

นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลระยะทางที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ที่ต้องการข้อมูลเป็นแบบสามมิติได้อีกด้วย ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

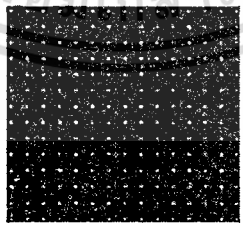
การประยุกต์ใช้งานข้อมูลระยะทาง

การประยุกต์ใช้งานข้อมูลระยะทาง จะกล่าวถึงรายละเอียดและลักษณะเด่นที่สำคัญของพื้นผิววัตถุ โดยจะนำระยะทางที่คำนวณได้มาใช้เป็นข้อมูลหลัก ซึ่งผลที่ได้จะทำให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้ง่ายขึ้น และเป็นประโยชน์ในการนำไปจดจำวัตถุแบบสามมิติได้อีกด้วย

การหาเวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) บนพื้นผิววัตถุสามมิติ

การหาเวคเตอร์ตั้งฉากบนพื้นผิววัตถุก็เพื่อใช้บอกถึงทิศทางของพื้นผิววัตถุว่าในแต่ละด้านของวัตถุหันเหไปในทิศทางใด โดยใช้หลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แต่ว่าเราจะต้องทราบจุด 3 จุดเสียก่อน โดยการกำหนดจุดแบบสุ่มตัวอย่าง (Sampled Point) บนภาพวัตถุขึ้นมา จากการทดลองกำหนดระยะห่างระหว่างจุดทั้งแนวนอนและแนวตั้งเท่ากับ 8 จุดภาพ และ 8 จุดภาพตามลำดับ และใช้ 3 จุดที่อยู่ติดกันใน 1 กรอบ (1 กรอบ เท่ากับ 8 x 8 จุดภาพ) มาทำการคำนวณ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 52

ภาพที่ 52

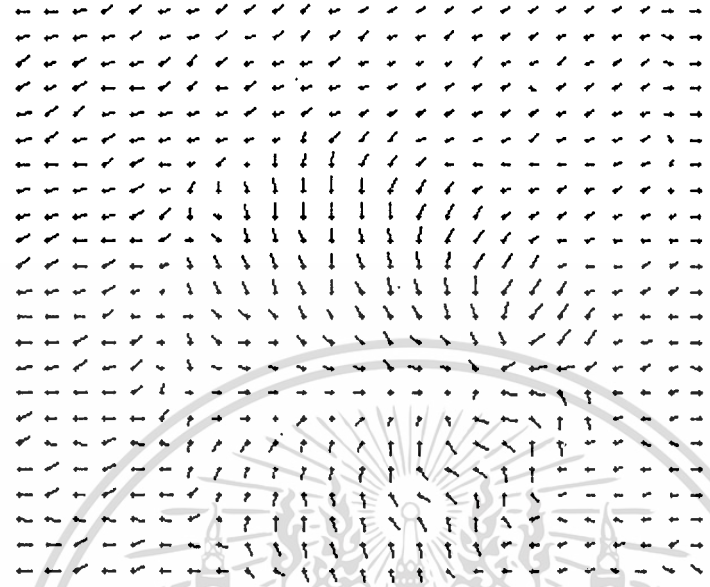


แสดงการกำหนดจุดแบบสุ่มตัวอย่างบนภาพวัตถุ

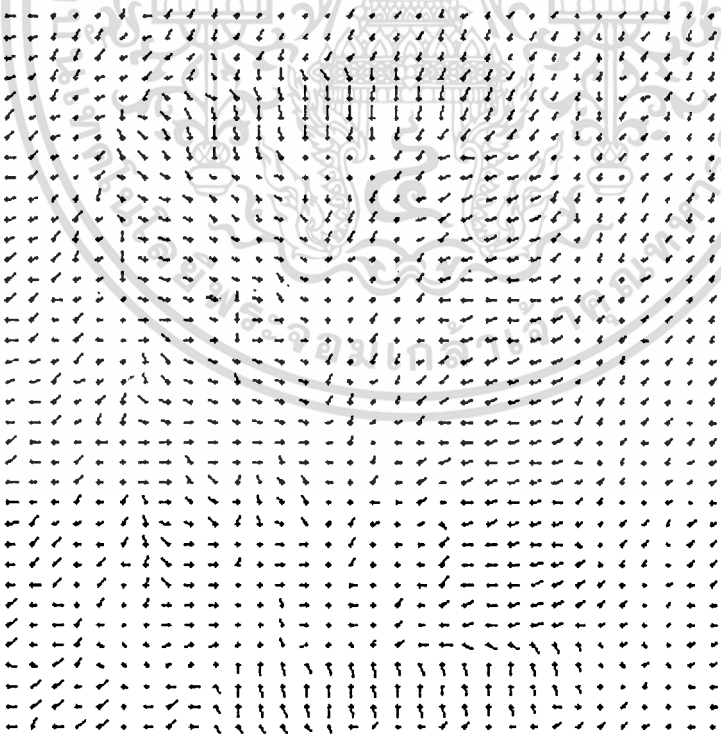
จากภาพที่ 52 จุด 3 จุดที่อยู่ติดกันในแต่ละกรอบนั้น เราจะกำหนดให้เป็น a1, a2 และ a3 ซึ่งแต่ละจุดต่างก็เป็นข้อมูลแบบสามมิติ จากนั้นนำไปคำนวณหาเวคเตอร์ตั้งฉากซึ่งได้กล่าวถึงไว้ในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 62



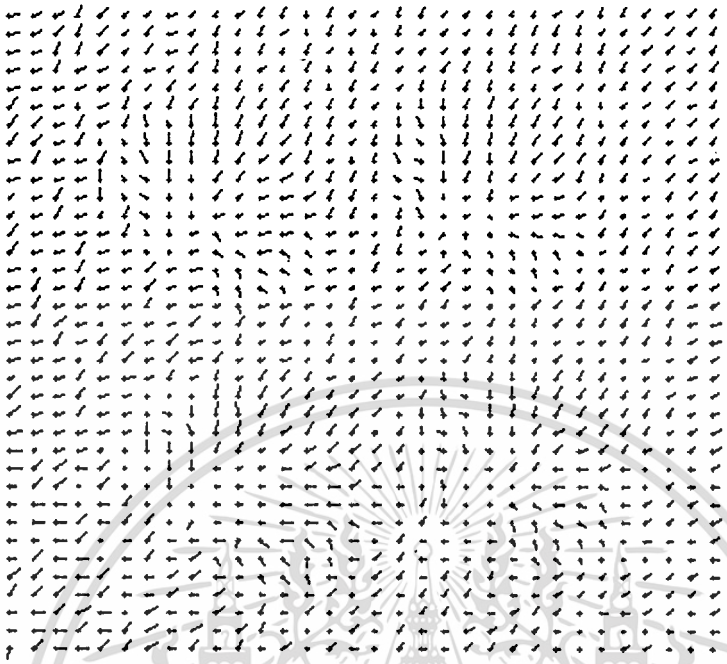
(a)



(b)

(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

แสดงเวคเตอร์ตั้งฉากบนพื้นผิววัตถุ

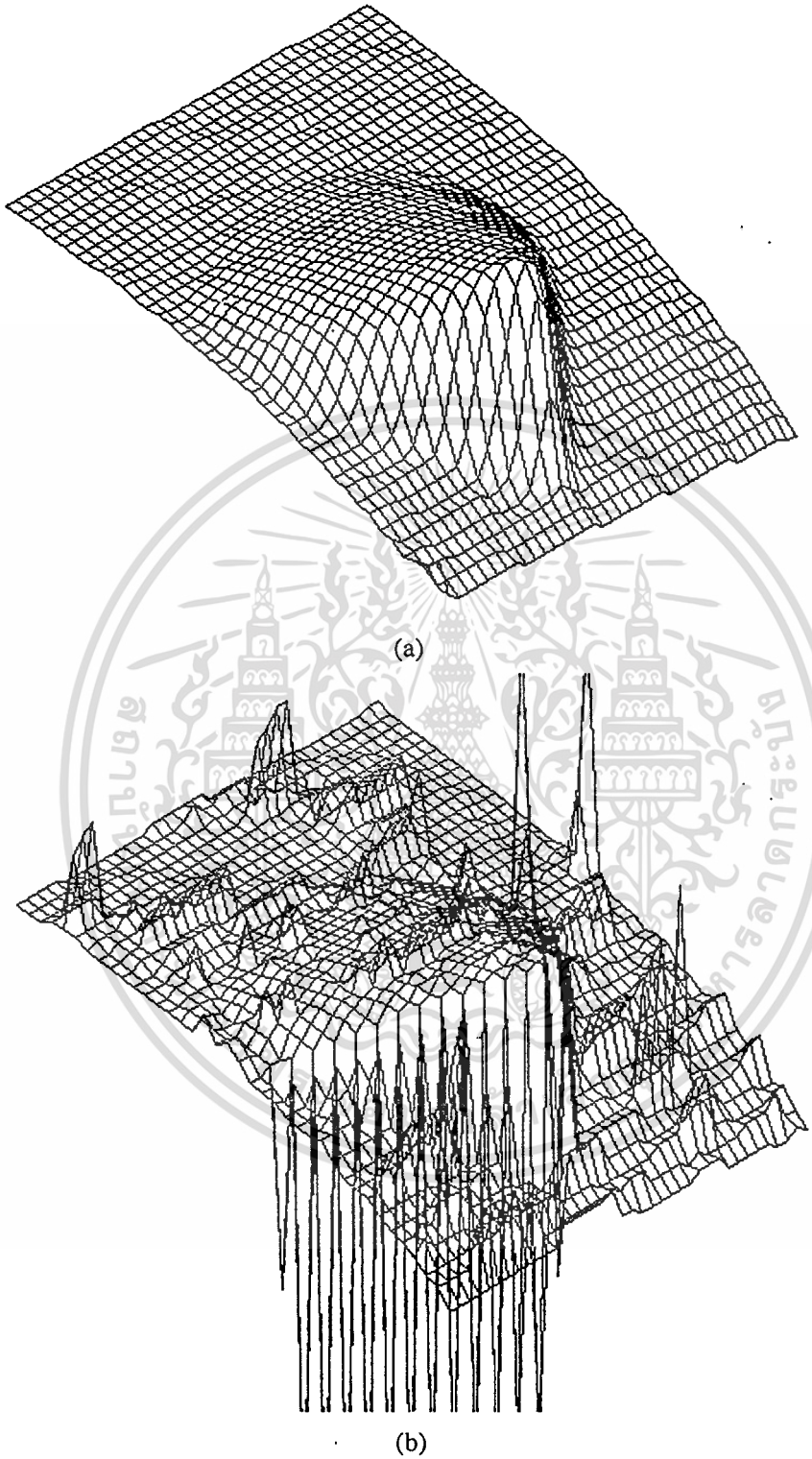
บางครั้งในการแสดงเวคเตอร์ตั้งฉากเพื่อใช้บอกถึงทิศทางของพื้นผิววัตถุว่าในแต่ละด้านของวัตถุหันเหไปในทิศทางใด บางรูปมองแล้วเข้าใจง่ายแต่บางรูปมองแล้วเข้าใจยาก มีวิธีการหนึ่งที่สามารถแสดงให้เห็นถึงรูปร่างและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเลย วิธีการนี้เรียกว่า การแสดงภาพในลักษณะแบบ Wireframe

การแสดงภาพในลักษณะแบบ Wireframe

เมื่อเราทราบระยะทางทุกตำแหน่งบนวัตถุในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (X, Y, Z) แล้ว เราจะนำข้อมูลดังกล่าวไปแสดงรูปร่างและลักษณะพื้นผิวของวัตถุแบบ Wireframe [8] เพื่อให้สามารถมองภาพวัตถุได้ง่ายขึ้น หรือแสดงให้เห็นภาพวัตถุได้เหมือนรูปวัตถุจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

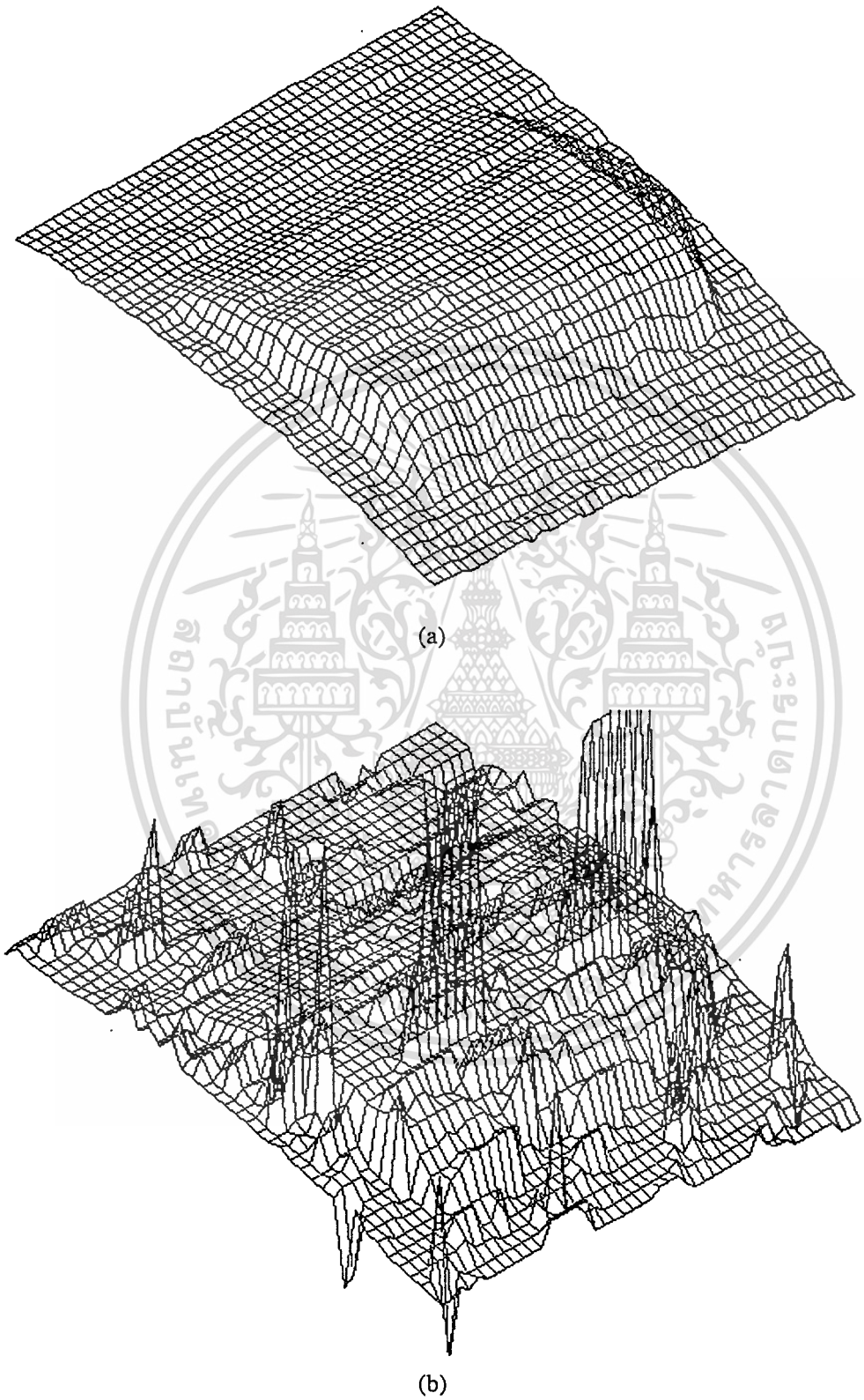
ภาพที่ 63



แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

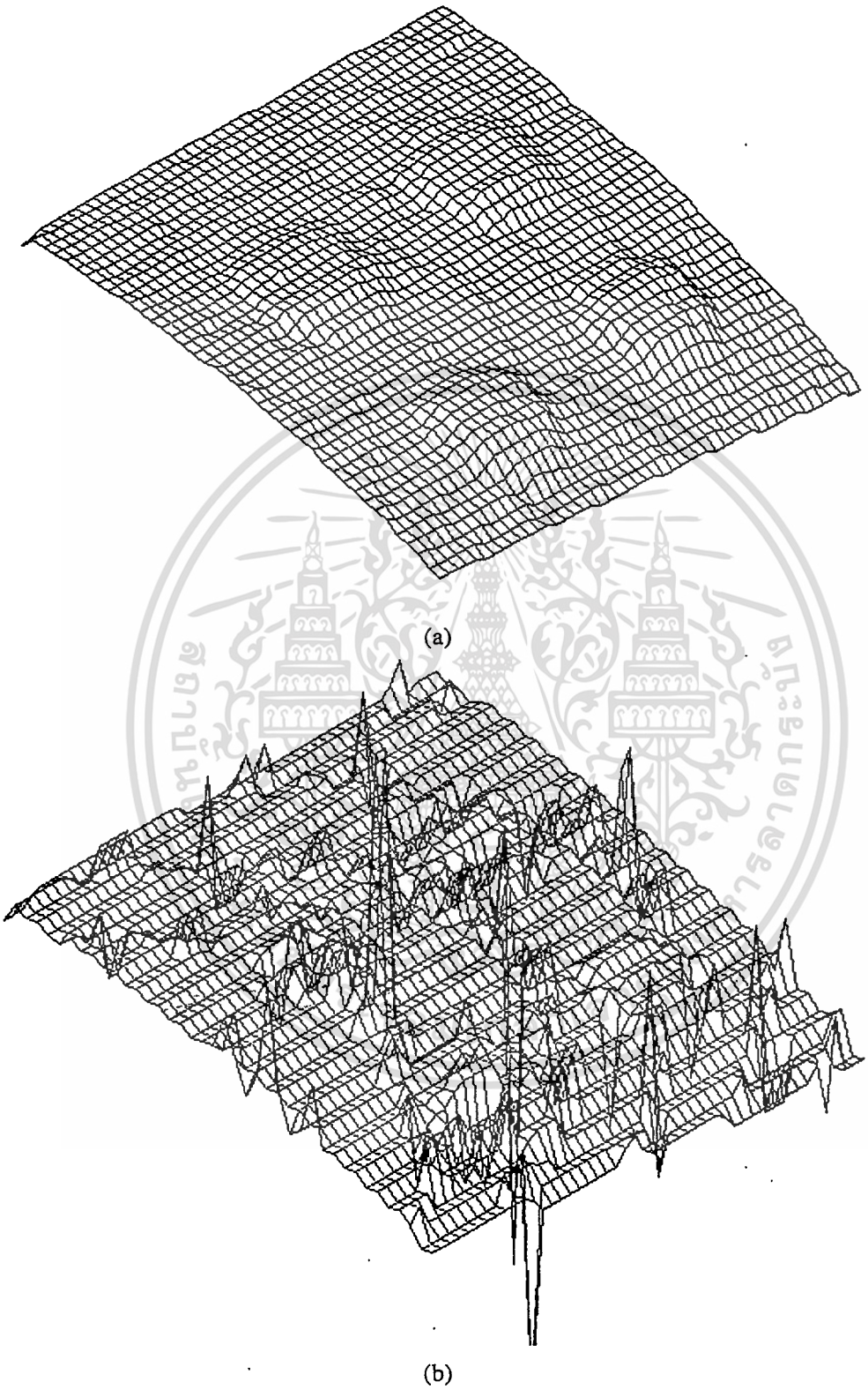
ภาพที่ 64



แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 65



(a)

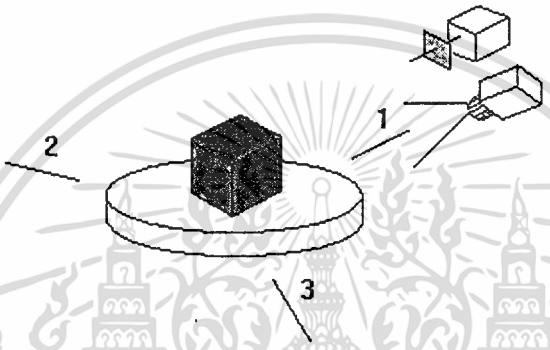
(b)

แสดงพื้นผิววัตถุแบบ Wireframe ด้วยวิธีการเข้ารหัสเกรย์ (a) และรหัสไบนารี (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงภาพวัตถุในลักษณะแบบ Wireframe จะได้ภาพออกมาดูเหมือนจริง และถ้าหากเราสามารถเก็บภาพได้รอบวัตถุด้วยแล้ว เช่น เก็บภาพวัตถุ 3 ด้าน ดังรูป แล้วนำข้อมูลทั้ง 3 ด้านมารวมกัน ทำให้เกิดเป็นข้อมูลใหม่ขึ้นมา และเมื่อนำมาแสดงในลักษณะแบบ Wireframe ด้วยแล้ว จะทำให้สามารถหมุนดูวัตถุได้รอบทิศทาง เป็นผลให้การมองวัตถุของหุ่นยนต์เกิดการตัดสินใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

ภาพที่ 66



แสดงการเก็บภาพวัตถุทั้ง 3 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุปและผลการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

วิธีการวัดระยะทางด้วยหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบใช้ฉากรหัสต่างๆ ในการเข้ารหัสระยะทาง เป็นหลักการที่ง่ายโดยใช้หลักการจากวิธีแบบจุดและวิธีแบบลายเส้นมาใช้ในการคำนวณหาระยะทาง แต่ว่าสามารถคำนวณหาระยะทางทุกตำแหน่งบนวัตถุได้เร็วกว่าและมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีเดิมมาก ทำให้ลดปัญหาหรือเวลาในการตัดสินใจของหุ่นยนต์ในการรับรู้ระยะทางบนวัตถุหนึ่งๆ ลงได้

วิธีการแบบใช้ฉากรหัสไบนารีในการเข้ารหัสระยะทาง จะทำให้ได้บางตำแหน่งของภาพข้อมูลระยะทางเกิดความผิดพลาดขึ้น เนื่องมาจากความเหลื่อมล้ำระหว่างร่องแสงที่ติดกัน ที่บริเวณร่องแสงติดกันระหว่างขาวกับดำของแต่ละฉากที่ใช้ในการเข้ารหัส เมื่อถูกฉายไปยังวัตถุ จะเกิดความเหลื่อมล้ำของแสงขึ้นที่วัตถุ ซึ่งก็คือ บริเวณในส่วนที่เป็นสีขาวจะมีส่วนที่เป็นสีดำล้ำเข้ามาบางจุดหรือบริเวณในส่วนที่เป็นสีดำจะมีส่วนที่เป็นสีขาวล้ำเข้ามาได้เช่นกัน เมื่อแปลงไปเป็นภาพข้อมูลระยะทางทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง เป็นผลให้เมื่อนำไปคำนวณหาระยะทางจริง (x, y, z) ก็ไม่ถูกต้องด้วยเช่นกัน

วิธีการแบบใช้ฉากรหัสเกรย์ในการเข้ารหัสระยะทาง มีความถูกต้องสูงกว่าวิธีการใช้ฉากรหัสไบนารี เนื่องจากรหัสเกรย์ได้แก้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความเหลื่อมล้ำระหว่างร่องแสงที่ติดกันให้ลดน้อยลง ซึ่งคุณสมบัติของรหัสเกรย์มีอยู่ว่า ผลต่างของสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ หรือมีข้อผิดพลาดไม่เกิน 1 LSB เป็นผลให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้เราสามารถนำระยะทางที่คำนวณได้นำไปหาเวคเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector) ที่พื้นผิววัตถุได้ และแสดงรูปวัตถุในลักษณะของ Wireframe ได้อีกด้วย ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจถึงรูปร่างหรือลักษณะของพื้นผิววัตถุได้ง่ายยิ่งขึ้น และถ้าหากเราสามารถเก็บข้อมูลระยะทางได้ทุกๆด้านของวัตถุด้วยแล้ว จะทำให้สามารถรู้ลักษณะพื้นผิวได้รอบวัตถุ และอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้จดจำวัตถุแบบสามมิติได้

ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองระยะทางที่ใช้ทดลองยังใกล้อยู่ โดยจะอยู่ในช่วงระยะไม่เกิน 600 มม. เนื่องจากว่ากล้องวีดีโอที่ใช้ไม่สามารถปรับแต่งในระยะไกลได้ ยิ่งระยะทางไกลออกไปรายละเอียดของภาพที่ได้จะลดลง คือ ลายเส้นที่ฉายลงบนวัตถุจะจางมากหรือไม่ปรากฏเลย เพราะว่าเราต้องใช้ลายเส้นในการเข้ารหัสระยะทาง ดังนั้นควรติดแผ่นกรองแสงไว้ที่ด้านหน้าของกล้องวิดีโอด้วย เพื่อลดปริมาณของแสงในห้อง ซึ่งจะทำให้ได้ระยะทางไกลขึ้นกว่าเดิม และฉากรหัสเกรย์ที่ใช้ในการเข้ารหัสจะต้องทำให้มีระยะห่างของร่องให้ได้สัดส่วนกันในแต่ละฉาก รวมทั้งจะต้องมีขนาดด้านกว้างและด้านยาวเท่ากันด้วย ซึ่งจากการทดลองใช้โปรแกรมภาษาซีในการสร้างฉากรหัสสีเทา แล้วใช้กล้องถ่ายรูปถ่ายเก็บเป็นฟิล์มสไลด์

ในเรื่องความลึกของวัตถุระยะทางที่คำนวณได้ยังมีข้อผิดพลาดอยู่ เนื่องจากว่าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในขณะที่เข้ารหัสระยะทาง ที่บริเวณความลึกของวัตถุแสงที่ฉายผ่านฉากไปเกิดลายเส้นขึ้นที่วัตถุอาจจะเข้าไม่ถึง ทำให้เกิดเงามืดขึ้นได้ เป็นผลให้ได้ภาพข้อมูลระยะทางที่ได้ผิดไปด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรวางกล้องวิดีโอห่างจากเครื่องกำเนิดแสงมากนัก รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเก็บภาพยังนานอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] S. Watanabe, M. Yoneyama, "An Ultrasonic Visual Sensor for Three-Dimensional Object Recognition Using Neural Networks", *IEEE Trans. Conf. Robotics Automate.* , vol. 8, pp. 240-249, 1992.

[2] O.D. Faugueras, G. Toscani, " The Calibration Problem for Stereoscopic Vision ", *Sensor Devices and Systems for Robotics*, pp. 195-213, 1989.

[3] R. J. Schilling, "Structured Illumination", *Fundamentals of Robotics Analysis and Control*, pp. 345-350, 1990.

[4] H. Yamamoto, K. Sato and S. Inokuchi, "Range imaging system based on binary image accumulation", *Proc. 8th ICPR*, pp. 233-235, 1986.

[5] S. Inokuchi, K. Sato, F. Matsuda, "Range - Imaging System for 3-D Object Recognition", *Proc. 7th ICPR*, pp. 806 - 808, 1984.

[6] K. Sato, S. Inokuchi, "Three - Dimensional Surface Measurement by Space Encoding Range Imaging", *Journal of Robotic Systems*, 2(1), pp. 27-39, 1985.

[7] A. Watt, "3D Computer Graphics", *Addison-Wesley Publishing Company*, 1993.

[8] D.F. Rogers, J.Alan Adams, "Mathematical Elements for Computer Graphics", *Mc Graw - Hill Publishing Company*, 1990.

[9] Y.Y. Tang, C.Y. Suen, "Image Transformation Approach to Nonlinear Shape Restoration", *IEEE Trans on Systems Man and Cybernetics*, vol. 23, no. 1, pp. 155-172, 1993.

[10] E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics", *John Wiley & Sons, Inc.*, 1988

[11] เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา, เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, "การวัดระยะทางของวัตถุแบบสามมิติโดยเทคนิคกระบวนการภาพ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18, 1995

[12] E.L. Hall, "Computer Image Processing and Recognition", *Academic Press, Inc.Ltd.*, 1979

[13] R.C. Gonzalez, P. Wintz, "Digital Image Processing", *Addison - Wesley Publishing Company*, 1987

[14] H. Yamamoto, K. Sato and S. Inokuchi, "Tuned Range Finder for High Precision 3-D Data", *Proc. 8th ICPR*, pp. 35-50, 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา, เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, "การวัดระยะทางของวัตถุแบบสามมิติโดยเทคนิคกระบวนการภาพ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18, 2538

[2] พิเชฐ ธาตวากร, เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา, เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, "การหาจุดเด่นบนความโค้งโดยตัวกรองเกาซ์เซียน", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา

เกิดวันที่ 4 มีนาคม 2515 ที่จังหวัดนครราชสีมา

การศึกษา ปีการศึกษา 2528-2530 ระดับ ปวช. สาขา อิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
ปีการศึกษา 2530-2532 ระดับ ปวส. สาขา อิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา
ปีการศึกษา 2532-2534 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทาง-
อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

<u>ประสบการณ์ทำงาน</u>

1 ก.ย. 36 - 30 มิ.ย. 38 : Thai - German Energy Efficiency Promotion Project
(ภายใต้ดำเนินการของศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย)
ตำแหน่ง Analyze & Consultant

1 ก.ค. 38 - ปัจจุบัน : บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด
ตำแหน่ง Application Engineer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้