สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ

GOLF BALL MOTION PARAMETERS ANALYZER

ศรุติ์ ลาภทวีโชค รหัสประจำตัว 47010750

ศักรินทร์ พงศ์รุจิกร รหัสประจำตัว 47010756

ศ.ม.
ค 2825
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82025
วัน,เดือน,ปี 4 ก.ค. 2551

ธ. 11943701
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ

GOLF BALL MOTION PARAMETERS ANALYZER

ผู้จัดทำ

1. นายศรุติ์ ลาภทวีโชค รหัสนักศึกษา 47010750
2. นายศักรินทร์ พงศ์รุจิกร รหัสนักศึกษา 47010756

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วัชระ ฉัตรวิริยะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ

นายศรุติ์ ลาภทวีโชค 47010750
นายศักรินทร์ พงศ์รุจิกร 47010756
ดร.วัชระ ฉัตรวิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบที่สามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟหลังถูกตีด้วยไม้กอล์ฟ ได้แก่ ทิศทาง ความเร็ว และการหมุน จากการประมวลผลภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้น โครงงานนี้พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติดังกล่าว และทำการจำลองการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นตามหลักฟิสิกส์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Golf Ball Motion Parameters Analyzer

Mr.Sarut Laptaweechok 47010750

Mr.Sakkarin Pongrujikorn 47010756

Dr.Watchara Chatwiriya Advisor

Academic Year 2550

ABSTRACT

This project presents a system to analyze dynamic parameters of a golf ball (i.e. direction, velocity and spin). The sequence of images taken after stroke by a golf club and analyzed by image process technique. The development environment of this project (light and sound) are controlled to analyze the properties of dynamic parameters and model the movement according to physics theory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ สนับสนุน และการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.วัชระ ฉัตรวิริยะ และประกอบด้วย อาจารย์สมิทธิ์ เอมสมบัติ ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้ง ดร. สมศักดิ์ วลัยรัชต์ และ ดร.อรัญญา วลัยรัชต์ ผู้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และคำแนะนำในการทำโครงงานบางส่วน และรวมทั้งอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้บุคคลที่สำคัญที่สุดในชีวิตของข้าพเจ้า คือ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในทุก ๆ สิ่ง ให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจต่อสู้กับอุปสรรคที่ต้องเผชิญ

นายศรุต์ ลาภทวีโชค

นาย ศักรินทร์ พงศ์รุจิกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 7

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 8

1.5 ส่วนประกอบของรายงาน 8

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 หลักการประมวลผลภาพ 9

2.1.1 การเตรียมภาพสำหรับการประมวลผล 9

2.1.1.1 การปรับแสงของภาพ 10

2.1.1.2 การเปลี่ยนชนิดข้อมูลของภาพ (การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ) 11

2.1.1.3 การกรองข้อมูลภาพเพื่อกำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์ 12

2.1.2 การหาคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการจากภาพ 13

2.1.2.1 การหาตำแหน่ง และขอบเขตของวัตถุบนภาพขาวดำ 13

2.1.2.2 การหาระยะความลึกของวัตถุจากกล้องเดี่ยว

(ระยะจากกล้องถึงวัตถุ) 14

2.1.2.3 การเปลี่ยนตำแหน่งจาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ 15

2.2 หลักการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ 16

2.2.1 การหาความเร็วบัดดล (Instantaneous Velocity) 16

2.2.2 การหาความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) 17

2.2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ

(Aerodynamic) 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 หลักการถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง 22

2.4 หลักการแสดงผลทางกราฟิกส์ 24

2.4.1 การวาดรูปวงกลม 24

2.4.2 การวาดรูปวงรี 27

2.4.3 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation) 28

2.4.4 การหมุนภาพ (Rotation) 29

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา 32

3.1 สมมติฐานในการออกแบบและพัฒนา 32

3.1.1 สมมติฐานของระบบ 32

3.1.2 สมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ 32

3.2 การออกแบบการทำงานและโครงสร้างของระบบ 33

3.2.1 การออกแบบการถ่ายภาพ 33

3.2.2 โครงสร้างของระบบ 34

3.2.3 การทำงานของระบบ 35

3.2.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ในระบบ 36

3.2.5 การออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟเพื่อวิเคราะห์การหมุน 38

3.3 การโปรแกรมการประมวลผลภาพด้วย MATLAB 41

3.3.1 การโปรแกรมส่วนของการประมวลผลภาพหาคุณสมบัติจากภาพ 42

3.3.1.1 โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง 42

3.3.1.2 โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง 48

3.3.2 การโปรแกรมส่วนของการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟและจำลองการเคลื่อนที่ 51

3.3.3 การโปรแกรมส่วนของการแสดงผล 53

3.3.3.1 แสดงผลคุณสมบัติของลูกกอล์ฟบนภาพที่ใช้ประมวลผล 54

3.3.3.2 แสดงผลทิศทางและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ 54

3.3.3.3 แสดงผลการจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ 55

3.3.3.4 แสดงผลแกนอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ 56

3.4 การออกแบบระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 62

4.1 การทดลองและผลการทดลองการออกแบบจุดอ้างอิง 62

4.2 การทดลองและผลการทดลองระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช 65

4.2.1 การทดลองวงจรตรวจจับเสียง 65

4.2.2 การทดลองการวงจรควบคุมแฟลช 67

4.2.3 การทดลองการถ่ายภาพ 68

4.3 การทดลองและผลการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพ 72

4.3.1 การทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง 73

4.3.2 การทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง 87

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 89

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 89

5.2 บทวิจารณ์โครงงาน 90

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ 91

เอกสารอ้างอิง 92

ภาคผนวก ก ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ 95

ภาคผนวก ข การโปรแกรม MCU-PIC 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงไฟล์ภาพจำลอง และค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพแต่ละภาพ สำหรับภาพจำลอง 74

4.2 แสดงไฟล์ภาพจำลองและและค่าที่ได้จากการประมวลผล เพื่อเทียบกับค่าจริง ที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง 75

4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริง ที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละไฟล์ภาพ..... 76

4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี..... 78

4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพจำลอง (หน่วยเป็นพิกเซล)..... 84

4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟจาก การประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพ (หน่วยเป็นพิกเซล)..... 86

4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพที่เกิดจากการตีจริง..... 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงภาพที่ทำการปรับแสงความสว่างทั้งหมด 10

2.2 แสดงภาพที่ทำการปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสง(ลดแสงสีน้ำเงิน) 10

2.3 แสดงการแบ่งระดับความสว่างในการเปลี่ยนภาพสี เป็นภาพขาวดำ 11

2.4 แสดงการหาค่าใหม่ให้กับจุดพิกเซลหนึ่งๆ โดยการกรองข้อมูลภาพ
โดยหลักการประมวลผลจากจุดรอบข้าง 12

2.5 แสดงการจัดกลุ่มของพิกเซล 13

2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนพิกเซลต่อขนาดหนึ่งหน่วยเทียบกับ
ระยะจากกล้องถึงวัตถุ 14

2.7 แสดงตำแหน่งของวัตถุ A , B และ C ในมุมมองด้านบน 15

2.8 แสดงตำแหน่งของวัตถุ A , B และ C ในภาพถ่ายจากกล้องเดี่ยว 16

2.9 แสดงการหาความเร็วบัดดล 17

2.10 แสดงการหาความเร็วเชิงมุม 18

2.11 แสดงการเกิดแรงฉุดหรือแรงต้านอากาศ 19

2.12 แสดงการเกิดแรงแมกนัส 19

2.13 แสดงตัวอย่างภาพที่ถ่ายโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ช่วยในการถ่ายภาพ 24

2.14 แสดงรูปหลายเหลี่ยม 25

2.15 แสดงรูปวงกลมบนแกนอ้างอิงพร้อมองค์ประกอบของวงกลม 25

2.16 แสดงวงกลมที่มีเส้นไม่ต่อเนื่องกัน 26

2.17 แสดงรูปวงรีบนแกนอ้างอิงพร้อมองค์ประกอบของวงรี 27

2.18 แสดงการสร้างวงรีโดยสมการเชิงมุม 28

2.19 แสดงการเลื่อนตำแหน่งโดยเวคเตอร์ T 28

2.20 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของรูป 29

2.21 แสดงตัวอย่างการหมุนภาพ 29

2.22 แสดงการองค์ประกอบในการหมุนสำหรับสมการ 30

3.1 แสดงกล้อง Sony Cyber-shot รุ่น DSC-P100 และการตั้งค่าของกล้อง 34

3.2 แสดงแฟลช Achiever รุ่น 828 34

3.3 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 35

3.4 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์และ
แกนอ้างอิงของระบบ (มุมมองด้านข้าง) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.5 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์และ
แกนอ้างอิงของระบบ (มุมมองด้านบน) 38
3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงทั้งหมดที่มีในระบบ 39
3.7 แสดงจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟในมุมมองด้านต่างๆ 41
3.8 ตัวอย่างภาพถ่ายลูกกอล์ฟตามสมมติฐานว่าลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง (ขยายเฉพาะส่วนลูกกอล์ฟ) 42
3.9 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟใน
การประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง 43
3.10 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟใน
การประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง 45
3.11 ตัวอย่างภาพถ่ายลูกกอล์ฟตามสมมติฐานในการตีกอล์ฟจริง (ขยายเฉพาะส่วนลูกกอล์ฟ) 48
3.12 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟใน
การประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง 49
3.13 แสดงการทำงานของส่วนการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟและ
จำลองการเคลื่อนที่ 52
3.14 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลคุณสมบัติของลูกกอล์ฟบนภาพที่ใช้ประมวลผล 54
3.15 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลทิศทางและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ 55
3.16 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลการจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ 56
3.17 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลแกนอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ 57
3.18 แผนภาพแสดงระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช 58
3.19 แสดงวงจรในส่วนการตรวจจับเสียง 59
3.20 แสดงวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F628 60
3.21 แผนภาพวงจรสวิทช์ฉายแฟลช 61
4.1 ตัวอย่างผลการทดลองการจุดจุดอ้างอิงขนาด 1 เซนติเมตร 63
4.2 ตัวอย่างผลการทดลองการจุดจุดอ้างอิงขนาด 0.5 เซนติเมตร 64
4.3 แสดงวงจรตรวจจับเสียงวงจรที่ 1 ในการทดลอง 65
4.4 แสดงวงจรตรวจจับเสียงวงจรที่ 2 ในการทดลอง 66
4.5 แสดงการต่อวงจรควบคุมแฟลชโดยทรานซิสเตอร์ 67
4.6 แสดงภาพวงจรควบคุมแฟลชโดยออปโตไอโซเลเตอร์ 68
4.7 แสดงภาพถ่ายที่ได้จากการทดลองกล้องโดยไม่ฉายแฟลชและฉายแฟลช 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 แสดงภาพถ่ายทดสอบแฟลชในการใช้วัตถุกรองแสงแบบต่างๆ 70
4.9 ตัวอย่างภาพที่ถ่าย ณ ตำแหน่งที่ตีแบบฉายแฟลชทันที 71
4.10 ตัวอย่างภาพที่ถ่าย ณ ตำแหน่งที่ตี 71
4.11 ตัวอย่างที่ได้จากการถ่ายภาพในการตีจริงหลังการปรับค่าเวลาการหน่วงและ
วัตถุกรองแสงแฟลช 72
4.12 แสดงภาพจากการประมวลผลลูกกอล์ฟเพื่อวิเคราะคุณสมบัติภายในลูกกอล์ฟ 85
ก.1 แสดงแสดงทิศทางของแรงฉุดที่กระทำกับลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศ 96
ก.2 แสดงทิศทางของแรงแมกนัสที่กระทำกับลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศ 98
ข.1 รูปของ PROPICUSB 1.0 102
ข.2 วงจร เครื่องโปรแกรม MCU-PIC 103
ข.3 เครื่องโปรแกรมที่ใช้งานจริง 105
ข.4 แสดงหน้าที่ของพอร์ตต่างๆบนไมโครคอนโทรลเลอร์ 107
ข.5 แสดงบล็อคไดอะแกรมอธิบายโครงสร้างภายใน 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

กีฬากอล์ฟ คือ กีฬาหรือเกมประเภทบอลชนิดหนึ่ง ซึ่งผู้เล่นใช้ไม้หลายชนิดตีลูกบอลให้ลงหลุม จากกฎของกอล์ฟ ระบุว่า "กีฬากอล์ฟประกอบด้วยการเล่นลูกใดลูกหนึ่งด้วยไม้กอล์ฟจากแท่นตั้งทีไปลงหลุมโดยการสโตรคหนึ่งครั้งหรือหลายครั้งต่อเนื่องกันตามกฎข้อบังคับ" [1] ความน่าสนใจของกีฬากอล์ฟที่นักเล่นกอล์ฟหลายท่านได้กล่าวไว้ คือ กีฬากอล์ฟเป็นกีฬาที่จะต้องแข่งกับตัวเอง และในขณะเล่นกอล์ฟก็ถือเป็นการสนทนาสังสรรค์กับเพื่อนฝูง กอล์ฟเป็นกีฬาที่มีกฎกติกาที่เปิดกว้าง ทำให้นักเล่นกอล์ฟสามารถเล่นได้หลายลักษณะ และในหลายสถานที่ เช่น การออกรอบที่สนามกอล์ฟ การไดร์ฟที่สนามไดร์ฟกอล์ฟ การพัตที่สนามพัตทั้งในร่มและกลางแจ้ง และเทคโนโลยีใหม่กับการเล่นกอล์ฟในร่มเช่น Golfotron [2], Golfzon [3] และเกมกอล์ฟที่มีการพัฒนาให้สมจริงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเล่นกีฬากอล์ฟตามใจชอบได้อีก เช่น ผู้เล่นโยนลูกไปในที่ต่างๆ แบบสุ่มในสนาม แล้วตามไปตีให้ลงหลุม เป็นต้น ด้วยความนิยมกีฬากอล์ฟในปัจจุบัน ทำให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เพื่อให้ผู้เล่นกอล์ฟได้ซื้อหาไปใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยผลิตภัณฑ์สำคัญที่ได้มีการแข่งขันกันอย่างสูงสุดก็คืออุปกรณ์การเล่นกอล์ฟได้แก่ ไม้ตีกอล์ฟ และลูกกอล์ฟ และผลิตภัณฑ์อีกประเภทที่เป็นความต้องการมากขึ้น คือ การสร้างความสะดวกในการเล่นกีฬากอล์ฟให้มากขึ้น ซึ่งมีหลากหลายวิธี ทั้งการสร้างสนามกอล์ฟหรือสนามไดร์ฟกอล์ฟที่มากขึ้น หรือจะเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้เกิดการเล่นกอล์ฟในร่มได้สมจริงที่สุด

การที่นักกีฬากอล์ฟหรือผู้เล่นกอล์ฟจะเล่นกอล์ฟได้ดี ขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการในการตีกอล์ฟ และอุปกรณ์ต่างๆ โดยเทคนิควิธีการในการตีกอล์ฟ รวมถึง การเคลื่อนที่ของไม้กอล์ฟในการตีกอล์ฟ การจัดให้หน้าไม้กอล์ฟกระทบลูกกอล์ฟ การจัดระเบียบร่างกายและการถ่ายน้ำหนักของร่างกาย ซึ่งเหล่านี้ส่งผลให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ได้ในลักษณะและผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน และอุปกรณ์ต่างๆ ในการเล่นกอล์ฟในที่นี้ประกอบด้วย ไม้กอล์ฟ และลูกกอล์ฟ ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญที่มีผลกับผลลัพธ์ในการตีกอล์ฟ โดยผลลัพธ์ในการตีลูกกอล์ฟแต่ละครั้งจะประเมินได้จาก ระยะระหว่างตำแหน่งของลูกกอล์ฟที่หยุดและตำแหน่งที่ต้องการในการตีแต่ละครั้ง ทั้งนี้ในเชิงทฤษฎีลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟดังกล่าวสามารถคำนวณได้ เมื่อทราบคุณสมบัติทางสถิต ได้แก่ น้ำหนัก ขนาด และรูปร่าง ประกอบกับคุณสมบัติทางจลน์ที่ตำแหน่งหนึ่งๆ คือ ทิศทาง ความเร็ว และการหมุน มาประมวลกับสภาพแวดล้อมของการเคลื่อนที่ เช่น ทิศทางและความเร็วของลม เป็นต้น โดยในทางทฤษฎีการคำนวณจากคุณสมบัติข้างต้นสามารถหาได้ทั้งตำแหน่งของลูกกอล์ฟที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุด และตำแหน่งและลักษณะทิศทางความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ณ เวลาต่างๆ ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ผลในเชิงทฤษฎีนี้ ถือได้ว่ามีความใกล้เคียงความเป็นจริง โดยขึ้นอยู่กับตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ผลว่ามีความถูกต้องเท่าไร จากการทราบตำแหน่งของลูกกอล์ฟที่หยุดจากการคำนวณทางทฤษฎี สามารถนำไปวิเคราะห์ผลลัพธ์ประกอบกับตำแหน่งที่ต้องการในการตีแต่ละครั้งได้

จากการศึกษาการทดสอบการตีกอล์ฟเพื่อวัดประสิทธิภาพในการตีกอล์ฟในปัจจุบัน สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การทดลองตีในสนามจริง ไม่ว่าจะเป็นที่สนามกอล์ฟ สนามไดร์ฟกอล์ฟ หรือสนามพัตกอล์ฟ ซึ่งการทดลองตีจริงจะรู้ชัดเจนว่าผลของการตีนั้นจะตกลง ณ ตำแหน่งใด ใกล้เคียงเป้าหมายเพียงใด แต่ตามคำกล่าวที่ว่า "กอล์ฟเป็นหนึ่งในกีฬาประเภทบอลเพียงไม่กี่ชนิดที่ไม่มีอาณาเขตการเล่นที่แน่นอน" [1][4] ทำให้การทดลองตีในสนามจริงมีข้อเสียคือ ต้องอาศัยพื้นที่มากในการตี และผลที่ได้เก็บเป็นสถิติเป็นตัวเลข เช่น ความเร็ว ความสูง ณ เวลาต่างๆ ทำได้ยาก
2. ใช้เซนเซอร์ตรวจจับค่าตัวแปรต่างๆ สามารถแบ่งได้หลายประเภทตามประเภทของเซนเซอร์และความต้องการที่แตกต่างกัน โดยจะยกตัวอย่างตามที่ได้ศึกษามา เช่น
   - อุปกรณ์ตรวจจับความเร็ววัตถุโดยใช้คลื่นวิทยุเรดาร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับส่วนงานต่างๆ เช่น การจับความเร็วรถยนต์บนท้องถนน การจับความเร็วลูกเทนนิสในการเสิร์ฟเทนนิสในกีฬาเทนนิส เป็นต้น โดยการค้นคว้าก็พบการนำมาใช้กับกีฬากอล์ฟในการจับหาความเร็วต้นในการตีกอล์ฟ ซึ่งวิธีดังกล่าวก็ทำได้เพียงหาข้อมูลเรื่องความเร็วลูกกอล์ฟเท่านั้น [6]
   - การติดอุปกรณ์เซนเซอร์ไว้ตามจุดต่างๆ บนร่างกายของผู้ตี เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ในการตีกอล์ฟของผู้ตี จากการค้นคว้า วิธีการดังกล่าวจะใช้เพื่อหาการเคลื่อนที่หรือการจัดระเบียบร่างกายที่ผิดพลาดในการตีกอล์ฟของผู้ตี ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ได้ในสถานที่ต่างๆ แต่จะมีสายไฟของวงจรและมีอุปกรณ์ติดตามร่างกายทำให้เกิดความไม่สะดวกเท่าที่ควร [7]
   - การฝังเซนเซอร์ไว้ที่ไม้กอล์ฟเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของไม้ในการสวิง ซึ่งวิธีการดังกล่าวกำลังอยู่ในขั้นทดลองและพัฒนา โดยจุดประสงค์หลักเป็นการจำลองการสวิง ทำให้ทราบการเคลื่อนที่ของไม้ ซึ่งสามารถจำลองการกระทบของไม้กอล์ฟกับลูกกอล์ฟได้ จึงสามารถหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟได้ แต่ข้อเสียทำให้ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากต้องใช้ไม้กอล์ฟที่เป็นอุปกรณ์เฉพาะ โดยนักกอล์ฟแต่ละคนจะมีความถนัดไม้กอล์ฟที่แตกต่างกัน ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถรองรับให้ทุกคนสามารถมาทดลองตีได้ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบข่ายเลเซอร์ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้น โดยวิธีดังกล่าวเป็นแนวความคิดที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาต่อจนเป็นผลสำเร็จที่หลากหลาย โดยแต่ละวิธีจะใช้เลเซอร์ที่มีช่วงความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน และมีการจัดรูปแบบของข่ายเลเซอร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงคุณภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้เกิดผลที่แตกต่างกันไปในแต่ละวิธี ซึ่งโดยทั่วไปจะสามารถหาทิศทาง และความเร็วของลูกกอล์ฟได้ และบางวิธีสามารถหาการหมุนของลูกกอล์ฟได้อีกด้วย [9][10]

3. การประมวลผลภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามประเภทของภาพ คือ

- การถ่ายภาพการสวิงของไม้กอล์ฟในการตีกอล์ฟ มีข้อดีที่เด่นชัดคือสามารถวิเคราะห์วิธีการในการตีกอล์ฟของแต่ละบุคคลได้อย่างชัดเจน แต่การถ่ายภาพก็ต้องอาศัยกล้องที่มีความเร็วสูงเป็นจังหวะคงที่สม่ำเสมอทำการถ่ายภาพตั้งแต่เริ่มตีจนตีเสร็จ เพื่อให้ได้รายละเอียดของการสวิงที่ชัดเจน โดยวิธีการดังกล่าวมักจะอาศัยการวิเคราะห์ประกอบกับข้อมูลวิธีการตีที่เป็นมาตรฐาน หรือข้อมูลจากนักกอล์ฟที่เป็นโปรในการวิเคราะห์ผล [11][12] (โปร เป็นศัพท์ในวงการกอล์ฟที่หมายถึง นักเล่นกอล์ฟมืออาชีพ [4]) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมสูงสุดสำหรับการประมวลผลภาพ เนื่องจากในความสนใจของผู้เล่นกอล์ฟต้องการที่จะทราบถึงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการสวิงไม้กอล์ฟเป็นลำดับแรก เพื่อจะได้นำไปแก้ไขท่าทางวิธีการตีกอล์ฟของตน และนอกจากนี้วิธีการนี้ยังได้นำไปใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของร่างกายเพื่อนำไปสร้างภาพเคลื่อนไหวให้กับตัวละครการ์ตูน ทั้งในการสร้างภาพยนตร์ และการสร้างเกมกอล์ฟต่างๆ
- การถ่ายภาพการกระทบกันของไม้กอล์ฟกับลูกกอล์ฟ เป็นวิธีการที่จะสนใจเพียงช่วงเวลาหนึ่งในการตีกอล์ฟ คือ ช่วงที่ไม้กอล์ฟกระทบลูกกอล์ฟ โดยการถ่ายภาพจะถ่ายเป็นจังหวะเป็นระยะเวลาหนึ่งๆ ตั้งแต่ไม้กอล์ฟกำลังจะกระทบลูกกอล์ฟ จนหลังจากไม้กระทบลูกกอล์ฟเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจไม่ได้ภาพที่ไม้กระทบกับลูกจริงๆ ขึ้นกับความถี่ของจังหวะในการถ่ายภาพว่าละเอียดเพียงไร แต่กระนั้นก็สามารถวิเคราะห์หาแนวเส้นทางของหัวไม้กอล์ฟและการกระทบที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์หาทิศทาง และลักษณะการหมุนของลูกกอล์ฟได้ รวมถึงการถ่ายภาพเป็นจังหวะคงที่ค่าหนึ่งสามารถหาความเร็วในการกระทบของไม้กอล์ฟ และคำนวณหาความเร็วของลูกกอล์ฟได้ พร้อมทั้งสามารถวิเคราะห์หาผลลัพธ์ในการตีได้ แต่การถ่ายภาพการกระทบกันของไม้กอล์ฟกับลูกกอล์ฟต้องใช้กล้องที่มีความเร็วสูง ซึ่งสูงกว่าการถ่ายภาพการสวิงของไม้กอล์ฟ และที่สำคัญการถ่ายภาพไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่แน่นอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าจะต้องถ่ายช่วงใดเพื่อให้ได้ภาพที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการที่กำลังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา ซึ่งยังไม่สามารถใช้งานได้จริง [13]

- การถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้น หมายถึง การถ่ายภาพลูกกอล์ฟที่เคลื่อนที่ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ในช่วงหลังจากลูกกอล์ฟถูกตีจนเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตห้องทดลอง ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟ ณ เวลาหนึ่งในตอนต้นของการเคลื่อนที่ได้ครบถ้วน ซึ่งสามารถนำไปจำลองการเคลื่อนที่ได้ โดยวิธีการดังกล่าวจะทราบเพียงผลลัพธ์จากการตีกอล์ฟจากการจำลองการเคลื่อนที่เท่านั้น โดยจุดประสงค์จะไม่สนใจการสวิงหรือการกระทบกันของไม้กอล์ฟและลูกกอล์ฟที่เกิดขึ้น [14]

จากการศึกษาวิธีการต่างๆ ในการประเมินการตีกอล์ฟ และความต้องการที่จะหาวิธีประเมินการตีกอล์ฟจากคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟมาคิดประมวลผลตามหลักทฤษฎีทางฟิสิกส์ โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ประกอบกับการใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการประมวลผล จึงเลือกที่จะทำการประเมินการตีกอล์ฟโดยอาศัยการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นวิธีการที่อาจจะหาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟได้อย่างครบถ้วน และใช้ทรัพยากรที่หาได้ไม่ยากในสังคมปัจจุบัน เช่น สถานที่ในการทำการทดลองที่จำกัด กล้องถ่ายภาพดิจิตอลที่มีคุณภาพระดับหนึ่ง เป็นต้น ประกอบกับสิ่งสำคัญคือการอาศัยความรู้ด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์เป็นสำคัญในกรรมวิธีดังกล่าว โดยการประมวลผลภาพแบ่งเป็น 3 ประเภทตามประเภทของภาพที่นำมาประมวลผลตามที่ได้กล่าวไป ซึ่งแต่ละประเภทก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น จากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดสำหรับกล้องที่มีคุณภาพในระดับหนึ่งที่สามารถหาใช้งานได้ง่ายในปัจจุบัน ทำให้ทางเลือกที่จะเลือกประเภทการประมวลผลภาพเป็นภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้นน่าจะสามารถทำให้เกิดผลสำเร็จมากที่สุด แต่วิธีการนี้ก็มีข้อเสียสำคัญเหมือนกับวิธีการอื่น นอกจากการตีจริง คือ ระบบดังกล่าวจะกระทำได้ในสถานที่ที่มีการควบคุมตัวแปรในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สะดวกสำหรับผู้เล่นกอล์ฟเท่าที่ควร และข้อเสียสำหรับการนำระบบนี้ไปใช้ในการฝึกตี คือ ระบบไม่สามารถให้ข้อมูลในการสวิงไม้กอล์ฟในการตีกอล์ฟ หรือการจัดระเบียบร่างกายที่เกิดขึ้นได้เลย

จากการศึกษาข้อมูลที่ผ่านมาไม่พบงานวิจัยใดที่เผยแพร่วิธีการหรือแนวคิดดังกล่าว มีเพียงผลิตภัณฑ์ที่อ้างว่าใช้วิธีการดังกล่าวเท่านั้น แต่พบงานวิจัยในการประมวลผลภาพของลูกบอลอื่นหลายชนิดและหลายรูปแบบ เช่น "Ball trajectory reconstruction from a single long-exposure perspective image" [15] , "Ball Position and Motion Reconstruction from Blur in a Single Perspective Image" [16], "บทความ Sports Engineering" [17] เป็นต้น ซึ่งเหล่านี้จะเป็นการประมวลผลภาพลูกบอลแล้วทำการประมวลผลภาพเพื่อหาทิศทาง ความเร็ว และการหมุนที่เกิดขึ้นกับลูกบอลในสภาพกรณีที่แตกต่างกันออกไปทั้งสิ้น โดยภาพลูกบอลที่นำมาประมวลผลภาพใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยที่ยกตัวอย่างข้างต้น ส่วนใหญ่จะเป็นภาพที่ได้ทำการถ่ายขึ้นจากการจำลองเหตุการณ์ เช่น การปล่อยลูกปิงปองลงพื้น เป็นต้น ซึ่งจะมีตัวแปรไม่มาก และสามารถกำหนดขอบเขตหรือลักษณะของภาพให้สามารถได้ภาพที่ชัดเจนได้ง่าย โดยเฉพาะความเร็วของลูกบอลในเหตุการณ์จำลองเป็นความเร็วที่ไม่สูง ทำให้การได้มาซึ่งภาพดังกล่าวที่มีคุณภาพมากพอที่จะนำไปประมวลผลได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงทำได้ไม่ยาก จึงทำให้เกิดในงานวิจัยในการประมวลผลภาพเพื่อการศึกษาในหลายรูปแบบ แต่การนำไปใช้จริงกับเกมกีฬา ซึ่งจะมีตัวแปรจำนวนมาก โดยเฉพาะกีฬากอล์ฟก็เช่นกัน แม้ว่าจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลในห้องทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุปกรณ์การตีกอล์ฟ ซึ่งสามารถกำหนดการควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้ในระดับหนึ่ง แต่การที่จะจับภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในห้องทดลอง โดยจะเป็นความเร็วต้นของการเคลื่อนที่ ซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยที่สูงมากในระดับ 100 ถึง 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงโดยประมาณ ทำให้การที่จะได้มาซึ่งภาพที่มีคุณภาพมากพอเพื่อนำไปประมวลผลภาพทำได้ยาก จึงน่าจะเป็นเหตุผลสำคัญให้การศึกษาและวิจัยในวิธีการดังกล่าวไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร นอกจากนี้จากการศึกษายังพบอีกว่าวิธีประมวลผลภาพจากการถ่ายภาพการกระทบกันของไม้กอล์ฟกับลูกกอล์ฟ จะพบภาพลูกกอล์ฟหลังจากถูกตีได้ในตอนต้นรวมอยู่ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เหมือนการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้นได้เช่นเดียวกัน แต่การวิเคราะห์การกระทบกันของไม้กอล์ฟกับลูกกอล์ฟก็เพียงพอที่จะวิเคราะห์หาทิศทาง ความเร็ว และการหมุนได้แล้ว โดยไม่ต้องสนใจภาพลูกกอล์ฟ [13] จากการวิเคราะห์วิธีการประมวลผลภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้นเทียบกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา พบว่าข้อเสียของวิธีการดังกล่าว คือ การที่ลูกกอล์ฟถูกตีในตอนต้นนับว่ามีความเร็วสูงกว่าไม้กอล์ฟที่ตีทำให้มีการถ่ายภาพไม้กอล์ฟที่ตีได้ง่ายกว่า แม้ว่าจะต้องถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของไม้กอล์ฟหลายๆ จังหวะก็ตาม และนอกจากนี้การที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกันตามแต่ผู้ตีและชนิดของไม้กอล์ฟ ทำให้โอกาสที่จะไม่ปรากฏภาพลูกกอล์ฟในกรอบของภาพที่ถ่ายก็เป็นไปได้ แม้ว่าจะกำหนดขอบเขตให้ใช้เพื่อการทดสอบเปรียบเทียบอุปกรณ์ในห้องทดลองอุปกรณ์การตีกอล์ฟก็ตาม และข้อเสียที่สำคัญอีกข้อหนึ่งที่ทำให้วิธีการนี้ไม่ได้รับความนิยมในการพัฒนา คือ การที่ผู้วิจัยและพัฒนาระบบต่างๆ ต้องการที่จะพัฒนาระบบเพื่อให้ผู้เริ่มหัดตีสามารถที่จะทราบได้ว่าการตีของตนผิดพลาดที่ใด หรือเพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้เชี่ยวชาญบอกได้ว่าผู้ตีต้องปรับเปลี่ยนท่าทางหรือวิธีการในการตีอย่างไรจึงจะตีได้ดี ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลในการตีของผู้ตีด้วยว่าท่าทางเป็นอย่างไร ซึ่งแนวความคิดนี้ไม่สามารถบอกถึงข้อมูลดังกล่าวได้เลย

ความต้องการของการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟ คือ หาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ โดยวิธีการทั่วไปสามารถหาทิศทาง และความเร็วของลูกกอล์ฟได้ไม่ว่าภาพจะเป็นอย่างไรก็ตาม ดังตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ศึกษามาข้างต้น เพียงแต่ว่าภาพที่นำมาประมวลผลต้องมีคุณภาพมากพอในระดับหนึ่ง โดยการหมุนเป็นคุณสมบัติในหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษากล่าวว่าไม่สามารถหาการหมุนของลูกบอลได้ [15][16] ตามงานวิจัยที่ได้ศึกษามาดังกล่าวจะดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายภาพโดยการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างไว้ระยะเวลาหนึ่ง จะได้ภาพเป็นลำแสงช่วงหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถเห็นรายละเอียดบนผิวของวัตถุได้ ดังนั้นแนวคิดในโครงงานนี้จึงตั้งใจที่จะหาวิธีที่แตกต่างออกไป โดยถ่ายให้ได้ภาพหยุดนิ่งของลูกกอล์ฟ ณ เวลาที่ต่างกันอย่างน้อย 2 จุดเวลา

จากความต้องการที่จะได้ภาพที่ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งจะเป็นภาพดิจิตอลหรือภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิตอลเท่านั้น และความต้องการภาพที่เห็นรายละเอียดบนผิวลูกกอล์ฟเป็นภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง ณ เวลาที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 จุดเวลา สามารถกระทำได้อย่างน้อย 4 วิธี คือ

1. การใช้กล้องดิจิตอลความเร็วสูงในโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง เมื่อนำมาใช้กับความต้องการดังกล่าว ทำให้ได้ภาพออกมาเป็น 2 ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจนที่เวลาต่างกัน แต่จะต้องใช้กล้องดิจิตอลที่มีคุณภาพสูงมากที่สามารถถ่ายภาพในโหมดดังกล่าวด้วยความเร็วของการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้นได้
2. การใช้กล้องดิจิตอลที่ทำการถ่ายภาพความเร็วสูงโดยการเปิดและปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์หลายครั้งเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน เมื่อนำมาใช้กับความต้องการดังกล่าว ทำให้ได้ภาพออกมาเป็นภาพๆ เดียวที่ปรากฏลูกกอล์ฟ 2 ลูกที่เวลาแตกต่างกัน แต่การถ่ายภาพวิธีนี้รูปลูกกอล์ฟอาจจะมีความมัวอยู่บ้างขึ้นอยู่กับความสว่างของสภาพแวดล้อม และคุณภาพของอุปกรณ์
3. การใช้กล้องดิจิตอลหลายตัวถ่ายภาพต่อเนื่อง เมื่อนำมาใช้กับความต้องการดังกล่าว ทำให้ได้ภาพออกมาเป็น 2 ภาพเช่นกัน แต่จะต้องใช้กล้องดิจิตอลถึง 2 ตัวในการถ่ายภาพ
4. การถ่ายภาพโดยการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างแล้วอาศัยแสงแฟลชยิงหลายครั้งเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน (การถ่ายภาพโดยใช้ Stroboscopic Effect) ซึ่งจะพบเห็นได้ในการถ่ายภาพที่มักนำมาอธิบายการเคลื่อนไหวของร่างกาย หรือ อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ และยังพบกับการถ่ายภาพเพื่อวิเคราะห์ความเร็วของวัตถุในการทดลองต่างๆ ด้วย เมื่อนำมาใช้กับความต้องการดังกล่าว ทำให้ได้ภาพๆ เดียวที่ปรากฏลูกกอล์ฟ 2 ลูกที่เวลาแตกต่างกัน แต่การถ่ายภาพวิธีนี้รูปลูกกอล์ฟที่เห็นอาจจะมีความมัวอยู่บ้างขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในการถ่ายภาพ

จากวิธีการถ่ายภาพต่อเนื่องที่กล่าวมาข้างต้นทั้ง 4 วิธี สามารถได้มาซึ่งภาพตามความต้องการข้างต้น เนื่องด้วยทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงไม่สามารถจัดหากล้องดิจิตอลความเร็วสูงที่ทำงานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่องตามวิธีการที่ 1 หรือกล้องดิจิตอลที่ทำการถ่ายภาพความเร็วสูงโดยการเปิดและปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์หลายครั้งเป็นจังหวะต่อเนื่องกันตามวิธีการที่ 2 ได้ โดยวิธีการที่ 4 เป็นวิธีการที่อาศัยทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้คุ้มค่ามากกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากการใช้กล้องดิจิตอลที่มีคุณภาพไม่สูงมากเพียงตัวเดียว และอุปกรณ์ในการยิงแสงแฟลชต่อเนื่อง 2 ครั้ง สามารถจัดหาหรือจัดทำขึ้นมาได้ แต่วิธีการที่ 4 ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ ต้องทำการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะแสง เพื่อให้ได้มาซึ่งภาพที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการมากที่สุด ซึ่งยากในการที่นำระบบนี้ไปใช้กับสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นเป้าหมายของระบบนี้จึงจำกัดเพียงนำไปใช้ในการทดลองอุปกรณ์ของผู้ผลิตเท่านั้น แต่ก็หวังให้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบให้นำไปใช้กับการสร้างเป็นระบบจำลองการเล่นกอล์ฟในที่ร่มได้ และด้วยวิธีการดังกล่าว ประกอบกับคุณภาพของอุปกรณ์ที่จำกัด ทำให้ภาพมีคุณภาพไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการประมวลผลภาพในการปรับคุณภาพของภาพให้สามารถนำไปวิเคราะห์ผลได้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด และการจะทำการวิเคราะห์การหมุนของลูกกอล์ฟ จะต้องทำการสร้างสัญลักษณ์บนผิวลูกกอล์ฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อีกด้วย

จากความต้องการพัฒนาระบบทดสอบตามวิธีการดังกล่าว จึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่มีความพร้อมในการพัฒนาระบบ คือ โปรแกรม MATLAB เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมได้เป็นอย่างดี โดยได้รวบรวมเครื่องมือจำนวนมากไว้ในโปรแกรม ซึ่งสามารถเรียกใช้งานได้อย่างสะดวก และจากความต้องการพื้นฐานที่จะทำงานในส่วนของการประมวลผลภาพและคำนวณพร้อมแสดงผล ตัวโปรแกรม MATLAB เองก็รองรับการทำงานดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าโปรแกรม MATLAB เองจะเป็นโปรแกรมที่มีการประมวลผลที่ช้า แต่ด้วยการที่โครงงานนี้มีความต้องการให้เป็นเพียงระบบทดสอบตามวิธีการดังกล่าวจึงไม่มีความจำเป็นต้องทำงานตอบสนองความต้องการในเรื่องของเวลาในโครงงานนี้

ความต้องการของโครงงานด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์นี้รวมกับทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ประกอบเป็นแนวความคิดในการหาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟโดยวิธีการประมวลผลภาพจากการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้น เป็นภาพนิ่งของลูกกอล์ฟ ณ เวลาที่ต่างกัน 2 ตำแหน่ง โดยอาศัยการควบคุมสภาพแวดล้อมเข้ามาช่วยในการถ่ายภาพโดยวิธีการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างแล้วอาศัยแสงแฟลชยิง 2 ครั้งเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นวิธีการในการถ่ายภาพวิธีหนึ่งที่มีอยู่ในการถ่ายภาพเพื่อดูการเคลื่อนที่ของวัตถุ และอาศัยการประมวลผลภาพพร้อมทั้งวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และการออกแบบระบบอย่างละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 วิเคราะห์พารามิเตอร์ของลูกกอล์ฟในอากาศที่เกิดจากการตีกอล์ฟ เช่น ทิศทาง ความเร็วและการหมุน

1.2.2 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในอากาศที่เกิดจากการตีกอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ของลูกกอล์ฟในอากาศที่เกิดจากการตีกอล์ฟได้

1.3.2 สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในอากาศที่เกิดจากการตีกอล์ฟได้

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 ระบบจะทำการวัดพารามิเตอร์ของลูกกอล์ฟ คือ ทิศทาง ความเร็ว และการหมุน จากการประมวลผลภาพถ่ายลูกกอล์ฟในการเคลื่อนที่ตอนต้น

1.4.2 ระบบจะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่หาซื้อได้โดยทั่วไป ด้วยเงินทุนที่จำกัด

1.4.3 ระบบจะต้องทำงานได้ในพื้นที่ที่จำกัด

1.5 ส่วนประกอบของรายงาน

เนื้อหาในบทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ของโครงงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตของโครงงาน และส่วนประกอบของรายงาน

เนื้อหาในบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย หลักการประมวลผลภาพ หลักการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ หลักการถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และหลักการแสดงผลทางกราฟิกส์

เนื้อหาในบทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา ซึ่งประกอบด้วย สมมติฐานในการออกแบบและพัฒนา การออกแบบการทำงานและโครงสร้างของระบบ การโปรแกรมการประมวลผลภาพด้วย MATLAB และการออกแบบระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช

เนื้อหาในบทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองการออกแบบจุดอ้างอิง การทดลองและผลการทดลองระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช และการทดลองและผลการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพ

เนื้อหาในบทที่ 5 เป็นบทวิจารณ์และสรุป ซึ่งกล่าวถึง สรุปผลการดำเนินงาน บทวิจารณ์โครงงาน และข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้เริ่มด้วยการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนา รวมถึงการทำงานของระบบ เริ่มด้วยส่วนของการประมวลผลภาพ ซึ่งใช้หลักการประมวลผลภาพที่ประกอบด้วยหลักการเตรียมภาพสำหรับการประมวลผล และหลักการหาคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการจากภาพ ตามด้วยส่วนของการประมวลผลจากค่าที่ได้จากภาพ ซึ่งประกอบด้วยหลักการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในลักษณะต่างๆ นอกจากนี้ส่วนที่ได้มาซึ่งภาพถ่ายในการประมวลผล จะใช้หลักการถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และสุดท้ายกับการแสดงผลจะใช้หลักการแสดงผลทางกราฟิกส์ โดยการประกอบกันของหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเหล่านี้จะรวมเป็นระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟของโครงงานนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 หลักการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพดิจิตอลทางคอมพิวเตอร์ คือ การนำภาพดิจิตอลที่มีอยู่มาทำการปรับแต่งด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ภาพที่มีลักษณะตามต้องการ โดยไม่มีการสร้างหรือเขียนองค์ประกอบอื่นใดลงไปบนภาพเพิ่มเติม แต่สามารถทำให้องค์ประกอบที่ไม่ต้องการหายไปได้ นอกจากนี้ยังรวมถึงการหาค่าคุณสมบัติทางสถิติของวัตถุต่างๆ บนภาพตามต้องการ โดยในระบบมีความต้องการที่จะหาค่าคุณสมบัติทางสถิติของวัตถุบนภาพ เพื่อนำไปใช้คำนวณต่อไป ดังนั้นการประมวลผลภาพจึงแบ่งลำดับการประมวลเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมภาพสำหรับการประมวลผล และการหาคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการจากภาพ [20][21]

2.1.1 การเตรียมภาพสำหรับการประมวลผล

ก่อนที่จะทำการประมวลผลภาพจะต้องทำการเตรียมภาพตามความต้องการในการประมวลผล โดยจะเริ่มจากการปรับคุณภาพของภาพ และเปลี่ยนลักษณะของภาพให้พร้อมที่จะทำการประมวลผลหาค่าต่างๆ ตามต้องการ โดยในระบบมีหลักการที่เกี่ยวข้อง เริ่มจาก การปรับแสงของภาพ ตามด้วย การเปลี่ยนชนิดข้อมูลของภาพ (การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ) และสุดท้ายเป็น การกรองข้อมูลภาพเพื่อกำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

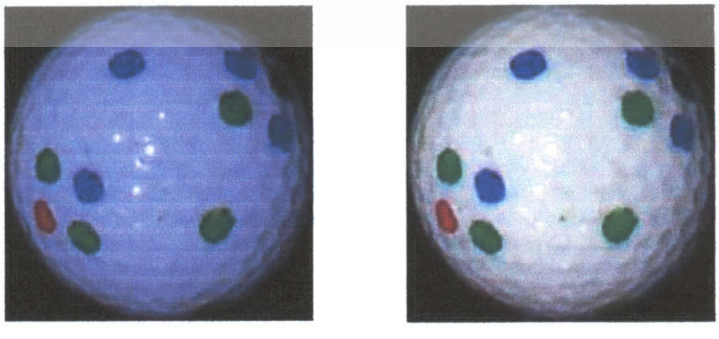
2.1.1.1 การปรับแสงของภาพ

เริ่มแรกเป็นการปรับคุณภาพของภาพ คือ การทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพได้ตามต้องการ โดยวิธีหนึ่งในที่นี้เป็นการปรับแสงของภาพโดยสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การปรับแสงความสว่างทั้งหมด และการปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสง

- การปรับแสงความสว่างทั้งหมด เป็นการทำให้ภาพทั้งภาพมีความสว่างเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ยังคงให้รักษาสัดส่วนของแม่สีของแสง (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) ในแต่ละพิกเซล (Pixel) ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป โดยในที่นี้สามารถทำได้โดยการคูณค่าความเข้มของสีต่างๆ ในแต่ละพิกเซลด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง

รูปที่ 2.1 แสดงภาพที่ทำการปรับแสงความสว่างทั้งหมด

- การปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสง หรือการกระจายความขาว เป็นการทำให้ความเข้มของแม่สีของแสงบางสีหรือทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปซึ่งไม่เท่ากัน ทำให้สัดส่วนของแม่สีของแสงในแต่ละพิกเซลมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยในที่นี้สามารถทำได้โดยการคูณค่าความเข้มของสีต่างๆ ในแต่ละพิกเซลด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งแต่ละสีมีการคูณค่าคงที่ที่ไม่เท่ากัน



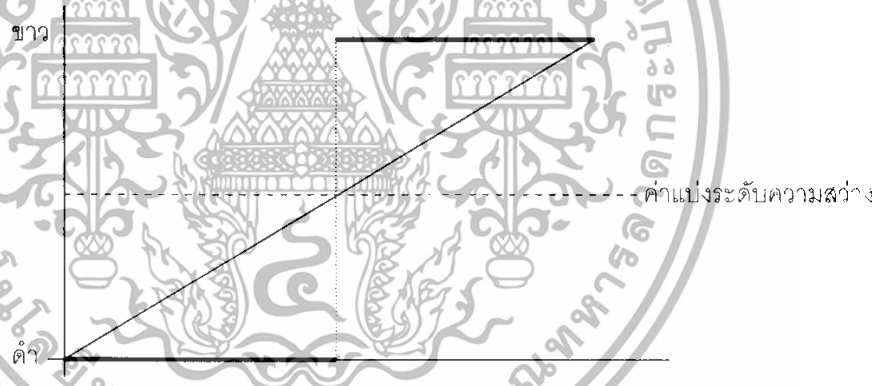
รูปที่ 2.2 แสดงภาพที่ทำการปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสง (ลดแสงสีน้ำเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การเปลี่ยนชนิดข้อมูลของภาพ (การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ)

จากความต้องการที่จะประมวลผลหาตำแหน่งและขอบเขตของวัตถุบนภาพ โดยวัตถุนั้นมีสีที่แตกต่างออกไปจากพื้นหลังและวัตถุอื่นๆ จึงจำเป็นต้องสร้างความแตกต่างให้กับวัตถุที่ต้องการและองค์ประกอบอื่นของภาพ โดยวิธีหนึ่งที่เป็นการเตรียมภาพสำหรับการประมวลผลเป็นการเปลี่ยนชนิดข้อมูลของภาพ โดยจะเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ เพื่อให้วัตถุที่ต้องการประมวลผลเป็นสีหนึ่ง และองค์ประกอบอื่นๆ เป็นอีกสีหนึ่งที่แตกต่างกัน

ภาพขาวดำ คือ ภาพที่มีองค์ประกอบของภาพอยู่เพียง 2 สี คือ สีขาว และสีดำ ซึ่งการเปลี่ยนจุดสีจุดหนึ่งให้เป็นสีขาวหรือดำ จะพิจารณาจากความสว่างของสี ณ จุดนั้น ถ้าเป็นสีชนิด RGB จะทำการเฉลี่ยค่าของสีทั้ง 3 เป็นค่าๆ เดียว (ภาพขาวเทา) และคิดเป็นสัดส่วนของความสว่าง จากนั้นอาศัยค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นอัตราส่วนในการกำหนดขอบเขตในการพิจารณาว่าจะให้สัดส่วนความสว่างแค่ไหนเป็นสีขาวหรือสีดำ



รูปที่ 2.3 แสดงการแบ่งระดับความสว่างในการเปลี่ยนภาพสี เป็นภาพขาวดำ

นอกจากการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพแล้ว ยังมีประโยชน์ในการประหยัดพื้นที่เก็บข้อมูล และการประมวลผลของโปรแกรม เนื่องจากภาพขาวดำจะมีค่าของแต่ละจุดพิกเซลเป็นสีขาวหรือดำอย่างใดอย่างหนึ่ง จึงใช้เพียงชนิดข้อมูลที่เป็น binary หรือ logical (ขนาด 1 บิต) ในการเก็บข้อมูลแต่ละจุดพิกเซล

ในการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เป็นอัตราส่วนในการพิจารณาให้เป็นสีขาวหรือดำ โดยจะมีค่าขึ้นอยู่กับความสว่างของภาพและวัตถุ โดยการปรับแสงของภาพในหลักการแรกจะช่วยให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัตถุกับพื้น

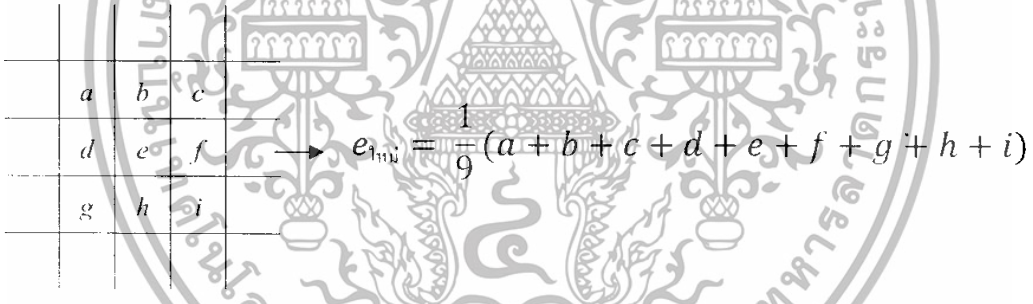
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังมากขึ้น ทำให้สามารถกำหนดค่าคงที่ในการแบ่งสีขาวและสีดำหรือการแบ่งวัตถุกับพื้นหลังได้ง่ายขึ้น

2.1.1.3 การกรองข้อมูลภาพเพื่อกำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์

การถ่ายภาพในความเป็นจริงใดๆ จะต้องพบจุดพิกเซลที่ไม่พึงประสงค์ หรือผิดจากความเป็นจริง ดังนั้นการกรองข้อมูลภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อกำจัดจุดพิกเซลที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าว แม้ว่าการเปลี่ยนชนิดข้อมูลของภาพหรือการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำจะสามารถกำหนดระดับความสว่างจนสามารถกำจัดจุดพิกเซลที่ไม่พึงประสงค์ได้บางส่วนแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะกำจัดได้หมด ดังนั้นจึงต้องอาศัยการกรองข้อมูลช่วย

การกรองข้อมูลภาพจะอาศัยหลักการของการประมวลผลจากจุดรอบข้าง (Neighborhood Processing) ซึ่งเป็นการทำงานกับจุดที่อยู่ติดกันแต่ละพิกเซล โดยมีหลักการในการหาค่าของจุดพิกเซลหนึ่งๆ ได้ โดยการหาค่าเฉลี่ยของจุดที่อยู่รอบข้างจุดดังกล่าวและจุดพิกเซลนั้นเอง มาเป็นค่าใหม่ให้กับจุดพิกเซลดังกล่าว



รูปที่ 2.4 แสดงการหาค่าใหม่ให้กับจุดพิกเซลหนึ่งๆ โดยการกรองข้อมูลภาพโดยหลักการประมวลผลจากจุดรอบข้าง

ซึ่งการกรองโดยปกติจะทำให้ภาพมีขนาดเล็กลง เนื่องจากขอบของภาพ จะไม่มีข้อมูลจุดพิกเซลที่อยู่รอบข้าง ดังนั้นในการกรองเพื่อให้ได้ขนาดภาพเท่าเดิม จึงทำการใส่จุดพิกเซลให้รอบรูปที่ทำการกรองให้มีค่าเป็น 0 ทั้งหมดไป

การกรองโดยการประมวลผลจากจุดรอบข้างสามารถกำหนดขนาดของจุดรอบข้างที่จะนำมาประมวลผลได้ โดยการกำหนดจุดรอบข้างยิ่งมีขนาดใหญ่ก็จะมีโอกาสกำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์ขนาดใหญ่ได้ แต่ทำให้วัตถุขนาดใหญ่กว่าบางส่วนมีขนาดเล็กลงไปได้ รวมถึงการทำให้ภาพมีความมัวเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้รายละเอียดของภาพลดลง แต่สำหรับภาพขาวดำจะไม่มีผลในส่วนของความมัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การหาคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการจากภาพ

หลังจากการเตรียมภาพสำหรับการประมวลผลทำให้ได้ภาพขาวดำที่มีวัตถุที่ต้องการประมวลผลเป็นสีขาว และองค์ประกอบอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องเป็นสีดำ โดยสามารถนำไปประมวลผลหาคุณสมบัติของวัตถุนั้นได้ โดยในระบบมีหลักการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1.2.1 การหาตำแหน่ง และขอบเขตของวัตถุบนภาพขาวดำ

ขอบเขตที่เกิดขึ้นในภาพขาวดำ หมายถึง กลุ่มของจุดพิกเซลที่อยู่ติดกันแล้วมีค่าของสีขาวหรือดำเหมือนกัน ซึ่งในที่นี้จะเป็นการจัดกลุ่มให้กับสีขาวภายในภาพ โดยการจะหาคุณสมบัติของขอบเขตได้ จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดกลุ่มของพิกเซลให้เป็นขอบเขตเดียวกัน และการหาคุณสมบัติของขอบเขต

1) การจัดกลุ่มของพิกเซลให้เป็นขอบเขตเดียวกัน เป็นการเปลี่ยนค่าของข้อมูลในแต่ละพิกเซลในภาพให้ทราบได้ว่าแต่ละจุดอยู่ในขอบเขตเดียวกันหรือไม่

การจะจัดกลุ่มได้จะต้องมีการระบุถึงส่วนที่ต้องการพิจารณาหรือไม่พิจารณา ซึ่งโดยทั่วไปจะอาศัยภาพขาวดำในการกำหนด เนื่องจากมีการจัดเตรียมภาพเป็นภาพขาวดำที่กำจัดส่วนที่ไม่สนใจ และให้จุดสีขาวเป็นส่วนที่ต้องการพิจารณา ส่วนจุดสีดำเป็นส่วนของพื้นหลังที่ไม่สนใจ

ในการจัดกลุ่มของพิกเซลสามารถกำหนดได้ว่าให้พิกเซลที่อยู่ติดกันในลักษณะใดบ้างมีค่าเป็นค่าๆ หนึ่งเท่ากัน เป็นขอบเขตเดียวกัน โดยในระบบให้พิกเซลสีขาวที่อยู่ติดกันทั้ง 8 ทิศ อยู่ในขอบเขตเดียวกัน และกำหนดค่าสำหรับข้อมูลในขอบเขตโดยเริ่มจากขอบเขตที่ 1 ในแต่ละพิกเซลมีค่าเป็น 1 และพิกเซลสีขาวที่ไม่อยู่ติดกับขอบเขตที่มีอยู่ในทั้ง 8 ทิศ ก็จะจัดเป็นขอบเขตใหม่ และมีค่านับเพิ่มทีละ 1 จนถึงค่าสูงสุดขนาดข้อมูลที่ใช้ ซึ่งในการประมวลผลจัดกลุ่มจะสามารถกำหนดลำดับของขอบเขตได้ ซึ่งในระบบได้จัดลำดับเป็นจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวา

1	1	0	1	1
1	1	0	0	0
0	0	1	1	0
0	0	0	0	0
1	1	0	1	1

จัดกลุ่มเป็น

1	1	0	3	3
1	1	0	0	0
0	0	1	1	0
0	0	0	0	0
2	2	0	4	4

รูปที่ 2.5 แสดงการจัดกลุ่มของพิกเซล

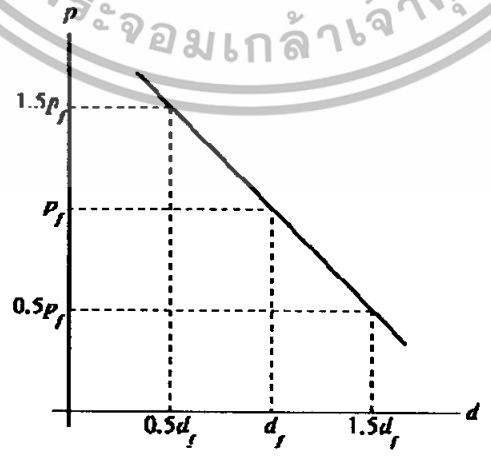
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหาคุณสมบัติของขอบเขต ซึ่งจะทำได้หลังจากทำการจัดกลุ่มของพิกเซลให้เป็นขอบเขตแล้ว ซึ่งในระบบได้มีความต้องการที่จะหาคุณสมบัติของขอบเขตหนึ่งๆ คือ จุดศูนย์กลางของขอบเขต และขนาดของขอบเขต

- จุดศูนย์กลางของขอบเขต พิจารณาจากจุดตัดเส้นทแยงมุม 2 เส้นของสี่เหลี่ยมมุมฉากที่บรรจุขอบเขตนั้นๆ ได้พอดี
- ขนาดของขอบเขต สำหรับระบบตามโครงงานนี้ สามารถหาขอบเขตของวัตถุที่ต้องการหาได้ เนื่องจากขอบเขตมีลักษณะเป็นวงกลม จึงมีขนาดของขอบเขตที่เท่ากันในทิศทางต่างๆ กันไป แต่อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงสำหรับภาพถ่าย ขนาดของขอบเขตในทิศทางต่างๆ อาจไม่เท่ากัน แต่ก็มีขนาดที่ใกล้เคียงกันจนสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้

2.1.2.2 การหาระยะความลึกของวัตถุจากกล้องเดี่ยว (ระยะจากกล้องถึงวัตถุ)

จากการที่ทราบถึงขนาดของวัตถุจริง และอัตราส่วนของจำนวนพิกเซลต่อขนาดหนึ่งหน่วยใดๆ ในระยะความลึกใดๆ จากกล้องเดี่ยว สามารถเปรียบเทียบขนาดของวัตถุจริงและขนาดของวัตถุภายในภาพ คำนวณหาระยะห่างระหว่างกล้องถึงวัตถุได้โดยอาศัยหลักการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ โดยให้ d เป็นระยะจากกล้องถึงวัตถุ และ p เป็นอัตราส่วนจำนวนพิกเซลต่อขนาดหนึ่งหน่วยใดๆ ในระยะ d ใดๆ เมื่อระยะจากกล้องถึงวัตถุเท่ากับระยะโฟกัสคงที่เป็น d_f ซึ่งสามารถวัดหาอัตราส่วนจำนวนพิกเซลต่อขนาดหนึ่งหน่วยใดๆ ในระยะโฟกัสเป็น p_f และในช่วงของระยะ d มีค่าอยู่ในช่วงแคบๆ (ไม่เกิน 1 เมตร) จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการเส้นตรงเป็น



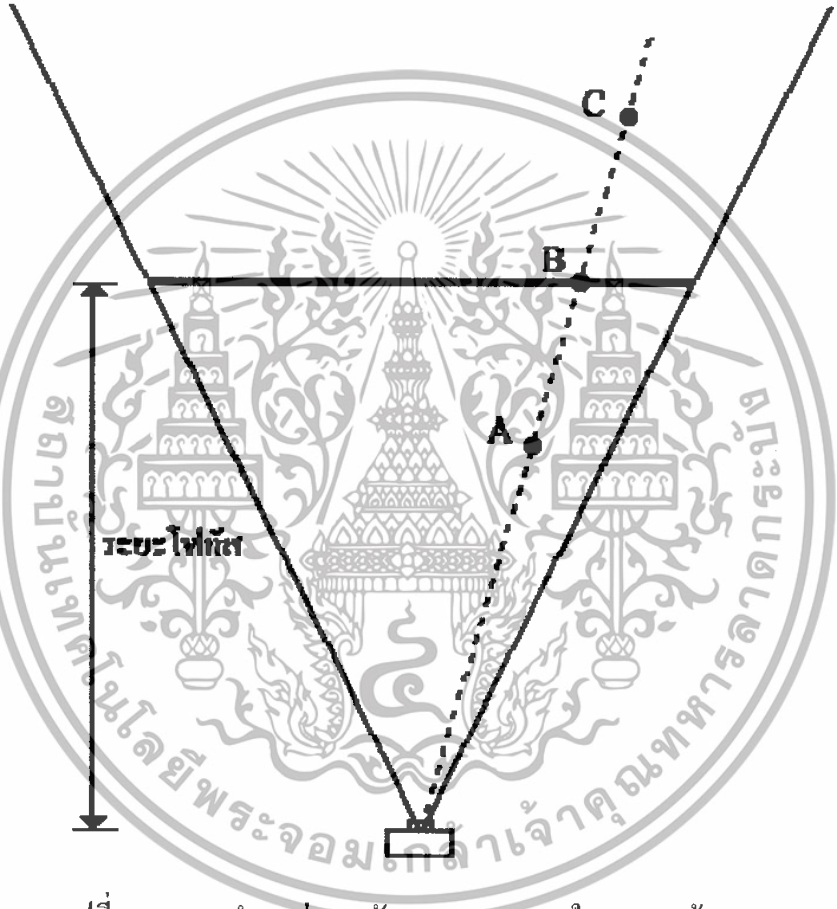
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
อัตราส่วนจำนวนพิกเซลต่อขนาดหนึ่งหน่วยเทียบกับระยะจากกล้องถึงวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p = 2p_f - \frac{p_f}{d_f} d \tag{2.1}$$

2.1.2.3 การเปลี่ยนตำแหน่งจาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ

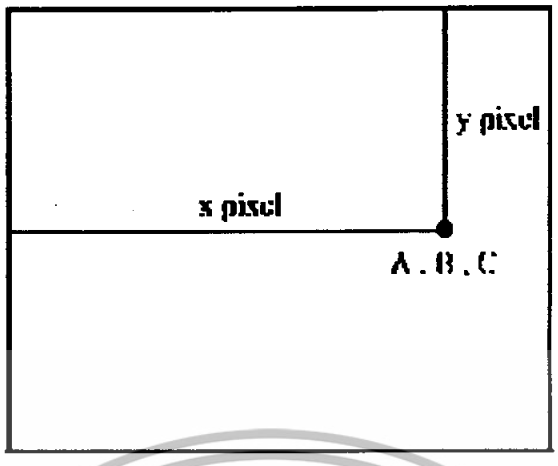
การเปลี่ยนตำแหน่งจาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ จากกล้องเดี่ยว จะต้องอาศัยการที่ทราบระยะความลึกของวัตถุ และอาศัยจุดอ้างอิงที่แน่นอน โดยในที่นี้ให้จุดอ้างอิงเป็นจุดกึ่งกลางของภาพ และมีระยะห่างจากกล้องเป็นระยะโฟกัส



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งของวัตถุ A , B และ C ในมุมมองด้านบน

จากรูปวัตถุ A , B และ C อยู่ในตำแหน่งความลึกที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเมื่อดูภาพที่ถ่ายได้จะพบว่า วัตถุทั้ง 3 อยู่ในตำแหน่งเดียวกันในภาพ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งของวัตถุ A , B และ C ในภาพถ่ายจากกล้องเดี่ยว

จากการที่ระยะความลึกของวัตถุที่แตกต่างกัน ทำให้อัตราส่วนของพิกเซลต่อระยะหนึ่งหน่วยใดๆ ตามระนาบที่ขนานกับหน้ากล้อง มีความแตกต่างกันตามสมการ 2.1 ดังนั้น เมื่อทราบระยะความลึกจะสามารถหาตำแหน่งจริงของวัตถุบนภาพถ่ายจากกล้องเดี่ยวได้ โดยนำระยะความลึก d แทนในสมการ 2.1 เพื่อหาอัตราส่วนของพิกเซลต่อระยะหนึ่งหน่วย p ออกมา และจากภาพซึ่งทราบตำแหน่งในหน่วยพิกเซลจากมุมซ้ายบนของภาพ เมื่อนำมาหารด้วย p จะได้ระยะจริงบนระนาบที่ขนานกับหน้ากล้อง และเมื่อประกอบกับระยะความลึกจะได้เป็นตำแหน่ง 3 มิติในหน่วยวัดจริงตามที่ต้องการได้

2.2 หลักการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

จากจุดประสงค์ของระบบที่ต้องการหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ซึ่งจำเป็นต้องทำการคำนวณโดยอาศัยค่าตัวแปรจากการประมวลผลภาพมาคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ซึ่งในการคำนวณจะแบ่งเป็น การหาความเร็วบัดดล (Instantaneous Velocity) การหาความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ (Aerodynamic)

2.2.1 การหาความเร็วบัดดล (Instantaneous Velocity) [22]

ความเร็ว (velocity) ในทางฟิสิกส์ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ที่แสดงการกระจัดที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเฉลี่ย (average velocity) v_{av} หมายถึง ความเร็วของวัตถุ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความเร็วบัดดล (instantaneous velocity) v หมายถึง ความเร็วของวัตถุ ณ ขณะหนึ่ง ซึ่งหาได้จาก

สมมติมีวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง A เป็นพิกัด (x_A,y_A) เมื่อเวลา t_1 และเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่ง B เป็นพิกัด (x_B,y_B) เมื่อเวลา t_2 สามารถหาการกระจัดได้เป็น Δr และหาเวลาที่เปลี่ยนไปได้เป็น Δt ซึ่งสามารถหาความเร็วเฉลี่ยได้คือ

$$v_{av} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \tag{2.2}$$

ความเร็วบัดดล คิดได้จากความเร็วเฉลี่ย เมื่อเวลาที่เปลี่ยนไป Δt เข้าใกล้ 0 เพราะฉะนั้นได้เป็น

$$v = lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \tag{2.3}$$

รูปที่ 2.9 แสดงการหาความเร็วบัดดล

2.2.2 การหาความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) [22]

การกระจัดเชิงมุม θ หมายถึง มุมที่เวกเตอร์ที่ชี้ไปยังอนุภาคหนึ่งกระทำกับแนวแกนอ้างอิงสมมติ

ความเร็วเชิงมุม (angular velocity) เป็นปริมาณเวกเตอร์ ที่แสดงถึงการกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย ω_{av} หมายถึง ความเร็วเชิงมุม ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

ความเร็วเชิงมุมบัดดล ω หมายถึง ความเร็วเชิงมุม ณ ขณะหนึ่ง ซึ่งหาได้จาก

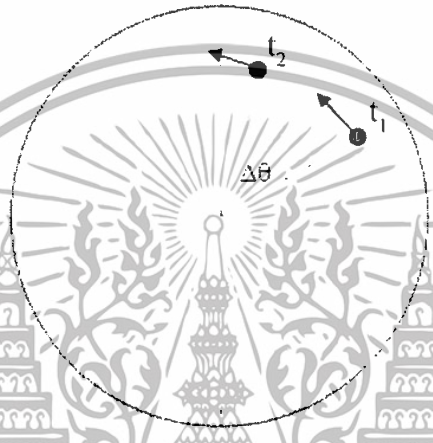
สมมติให้อนุภาคบนผิววัตถุทรงกลมอยู่ที่ตำแหน่ง A ที่พิกัด (r_A,θ_A) เมื่อเวลา t_1 และเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่ง B เป็นพิกัด (r_B,θ_B) เมื่อเวลา t_2 สามารถหาการกระจัดเชิงมุมได้เป็น $\Delta\theta$ และหาเวลาที่เปลี่ยนไปได้เป็น Δt ซึ่งสามารถหาความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
82025

$$\omega_{av} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \tag{2.4}$$

ความเร็วเชิงมุมบัดดล คิดได้จากความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย เมื่อเวลาที่เปลี่ยนไป Δt เข้าใกล้ 0 เพราะฉะนั้นได้เป็น

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.10 แสดงการหาความเร็วเชิงมุม

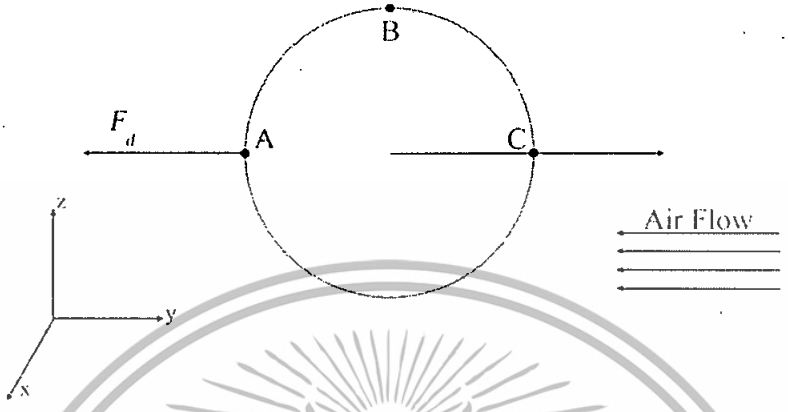
2.2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ (Aerodynamic)

ทฤษฎีนี้จะใช้เพื่อคำนวณหาความเร่งจากแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟ [23][24][25] โดยแรงดังกล่าวได้แก่ แรงฉุดหรือแรงต้านอากาศ (Drag force) และแรงยก (Lift force) หรือแรงแมกนัส (Magnus force) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการหมุนตัวของวัตถุในอากาศ โดยแรงเหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับทฤษฎีชั้นขอบ (boundary layer) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านพื้นผิวของวัตถุในลักษณะต่างๆ โดยจะไม่มีการอธิบายถึงในที่นี้

แรงฉุดหรือแรงต้านอากาศ (Drag force) เกิดจากการที่มีการต้านการไหลของอากาศจากพื้นที่ความดันต่ำที่ตำแหน่ง B ไปยังพื้นที่ความดันสูงที่ตำแหน่ง A ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งแรงที่ต้านการไหลของอากาศส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ทำให้ความดันอากาศที่ดันลูกกอล์ฟอยู่ในตำแหน่ง A และ C มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในอากาศมีแรงที่เกิดจากความดันอากาศไม่สมดุลระหว่างตำแหน่งทั้ง 2 รวมเป็นแรงลัพธ์ F_d เป็นแรง

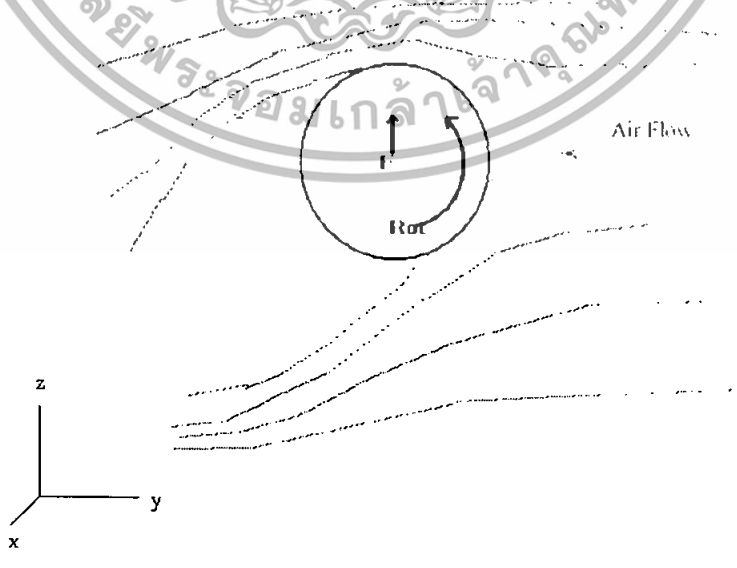
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉุดที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.3 โดยที่ Air Flow เป็น ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในทิศทาง +y



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดแรงฉุดหรือแรงต้านอากาศ

แรงยก (Lift force) หรือแรงแมกนัส (Magnus force) คือ แรงที่เกิดจากการหมุนของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ โดยส่วนใหญ่จะทำให้เกิดการหมุนแบบย้อนกลับ (backspin) ดังนั้นทำให้แนวคลื่นของอากาศที่เกิดหลังจากลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ไป (wake) เกิดการเปลี่ยนรูปไปจากการเคลื่อนที่โดยไม่มีการหมุน ซึ่งมีผลให้เกิดแรงยกตามมา และส่งผลให้ลูกกอล์ฟสามารถลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้น



รูปที่ 2.12 แสดงการเกิดแรงแมกนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟทั้งสองแรง สามารถรวมเป็นแรงลัพธ์ และสามารถทำการคำนวณหาความเร่งได้จากสมการดังนี้

$$\frac{dv_x}{dt} = -g\left(\frac{u\,u_x}{v_t^2}\right) + \left(\frac{-k\omega_{xz}u\cos\alpha}{m}\right) \tag{2.6}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -g\left(\frac{u\,u_y}{v_t^2}\right) + \left(\frac{-k\omega_{yz}u\cos\beta}{m}\right) \tag{2.7}$$

$$\frac{dv_z}{dt} = -g\left(1 + \frac{u\,u_z}{v_t^2}\right) + \left(\frac{k\omega_{vz}u\cos\gamma}{m}\right) \tag{2.8}$$

$$k = \frac{2}{3}\pi r^3 \rho_{air} \tag{2.9}$$

กำหนดให้

$\frac{dv_x}{dt}$, $\frac{dv_y}{dt}$ และ $\frac{dv_z}{dt}$ เป็นความเร่ง ณ เวลาใดๆ ในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

u_x , u_y และ u_z เป็นความเร็วในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ ณ เวลา $t = 0$

u เป็นความเร็วในทิศการเคลื่อนที่จริงของลูกกอล์ฟ ณ เวลา $t = 0$

v_t เป็นความเร็ว ณ เวลาใดๆ

θ เป็นมุมที่ความเร็วต้นกระทำกับแนวแกน y

t เป็นเวลาที่เริ่มนับจากเริ่มการเคลื่อนที่

g เป็นความเร่งที่เกิดจากแรงที่โลกกระทำกับวัตถุ(แรงดึงดูด)

m เป็นมวลของลูกกอล์ฟ

ω_{xz} เป็นความเร็วต้นเชิงมุมในการหมุนของลูกกอล์ฟบนระนาบแกน x และแกน z

ω_{yz} เป็นความเร็วต้นเชิงมุมในการหมุนของลูกกอล์ฟบนระนาบแกน y และแกน z

ω_{vz} เป็นความเร็วต้นเชิงมุมในการหมุนของลูกกอล์ฟบนระนาบแนวเคลื่อนที่ v บนระนาบ x และ y กับแนวแกน z

k เป็นค่าคงที่ของแรกแมกนัส ซึ่งหาได้จากการทดลองจากวิทยานิพนธ์ที่อ้างอิง

r เป็นรัศมีของลูกกอล์ฟ

ρ_{air} เป็นความหนาแน่นของอากาศ (1.2 kg/m^3)

จากสมการความเร่งที่ได้สามารถทำการอินทิเกรท (Integrate) เพื่อหาสมการความเร็วได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{ds_x}{dt} = -g\left(\frac{uu_x}{v_t^2}\right)t + \left(\frac{-k\omega_{xz}u_x}{m}\right)t + u_x \tag{2.10}$$

$$\frac{ds_y}{dt} = -g\left(\frac{uu_y}{v_t^2}\right)t + \left(\frac{-k\omega_{yz}u_y}{m}\right)t + u_y \tag{2.11}$$

$$\frac{ds_z}{dt} = -g\left(1 + \frac{uu_z}{v_t^2}\right)t + \left(\frac{k\omega_{vz}u_z}{m}\right)t + u_z \tag{2.12}$$

กำหนดให้

$\frac{ds_x}{dt}$, $\frac{ds_y}{dt}$ และ $\frac{ds_z}{dt}$ เป็นความเร็ว ณ เวลาใดๆ ในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

จากสมการความเร็วที่ได้สามารถทำการอินทิเกรท (Integrate) เพื่อหาสมการระยะการกระจัดได้เป็น

$$s_x = -g\left(\frac{uu_x}{v_t^2}\right)\frac{t^2}{2} + \left(\frac{-k\omega_{xz}u_x}{m}\right)\frac{t^2}{2} + u_x t + s_{0x} \tag{2.13}$$

$$s_y = -g\left(\frac{uu_y}{v_t^2}\right)\frac{t^2}{2} + \left(\frac{-k\omega_{yz}u_y}{m}\right)\frac{t^2}{2} + u_y t + s_{0y} \tag{2.14}$$

$$s_z = -g\left(1 + \frac{uu_z}{v_t^2}\right)\frac{t^2}{2} + \left(\frac{k\omega_{vz}u_z}{m}\right)\frac{t^2}{2} + u_z t + s_{0z} \tag{2.15}$$

กำหนดให้

s_x , s_y และ s_z เป็นระยะการกระจัดในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

s_{0x} , s_{0y} และ s_{0z} เป็นระยะการกระจัดในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ ณ เวลา $t = 0$

เนื่องจากแรงฉุดจะมีการแปรผกผันกับความเร็ว ณ เวลาใดๆ แต่การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟที่อ้างอิงกับงานวิจัยของ Kevin Edward Warring [23] ซึ่งเป็นการหาสมการการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟโดยการประมาณค่าในขอบเขตของความเร็วต้นในทิศทางมุมเงยไม่เกิน 38 องศา และความเร็วเชิงมุมในการหมุนไม่เกิน 200 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งจะกำหนดให้ v_t มีค่าโดยประมาณเป็น

$$v_t^2 = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 + g^2t^2 \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง [18][19]

การที่จะถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่สามารถมาทำได้หลายวิธี แต่การที่จะทำการถ่ายภาพให้ได้มาซึ่งภาพวัตถุจำนวนหลายชิ้น ซึ่งอาจจะเป็นหลายรูปหรือรูปเดียว และประกอบกับความต้องการที่จะใช้กล้องที่มีคุณภาพในระดับปานกลางในจำนวนน้อย ทำให้ต้องทำการถ่ายภาพโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ (Stroboscopic Effect) ช่วยในการถ่ายภาพ

สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ หมายถึง การยิงแฟลชหลายครั้งเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน ซึ่งจะพบเห็นเป็นชื่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการถ่ายภาพเพื่อวัดความเร็ว เช่น เครื่องสโทรโบสโคพ (Stroboscope) และเป็นโหมดการทำงานหนึ่งของแฟลชบางรุ่นตามท้องตลาด (พวก Stroboscopic flash) โดยการถ่ายภาพโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ ได้ถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพเคลื่อนไหว เพื่อดูการเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่อง ซึ่งจะพบเห็นโดยทั่วไป เช่น ในหนังสือพละศึกษาที่มีการแสดงการอธิบายการเคลื่อนไหวร่างกายในการเล่นกีฬา หรือออกกำลังกาย เป็นต้น

โดยหลักการทำงานของสโทรโบสโคพิคจะทำการยิงแสงแฟลชออกไปเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน โดยแต่ละครั้งของการยิงแฟลชจะมีความเข้มของแสงและความนานของแสงแฟลชค่าหนึ่ง ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถกำหนดได้ตามขอบเขตของอุปกรณ์ และตามความต้องการของผู้นำไปใช้งาน

จากหลักการการทำงานของกล้องถ่ายรูปดิจิตอล คือ กล้องถ่ายรูปดิจิตอลจะทำการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ เพื่อให้แสงผ่านเลนส์มากระทบบนเซนเซอร์รับแสง (Charge Coupled Device : CCD) ซึ่งตัวเซนเซอร์รับแสงจะเป็นแผงของเซนเซอร์รับแสงขนาดเล็กแต่ละพิกเซล ซึ่งจะรับค่าของแสงไปประมวลผลแต่ละพิกเซลประกอบกันจนเป็นภาพ ซึ่งกล้องถ่ายรูปดิจิตอลสามารถกำหนดเวลาที่ใช้ในการเปิดปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ได้ โดยเวลาที่เปิดหน้ากล้องยิ่งนานจะได้รับแสงมาก แต่ก็อาจได้แสงไม่คงที่ทำให้ภาพมัว โดยเฉพาะการถ่ายภาพวัตถุที่ไม่อยู่นิ่ง กล้องถ่ายรูปดิจิตอลยังสามารถกำหนดค่าความไวแสง (ISO) ให้กับตัวเซนเซอร์รับแสงได้ โดยค่าความไวแสงยิ่งน้อยจะทำให้ต้องอาศัยแสงปริมาณมากตัวเซนเซอร์จึงจะรับรู้ได้ว่าได้รับแสงความเข้มค่าหนึ่ง

การถ่ายภาพวัตถุเคลื่อนที่โดยใช้ Stroboscopic Effect จะอาศัยการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างไว้ระยะเวลาหนึ่ง โดยไม่มีการเคลื่อนที่ของกล้อง และระหว่างนั้นก็จะทำการยิง Stroboscopic Effect ออกไปเป็นระยะในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งวิธีการนี้จะทำได้จะต้องควบคุมแสงไม่ให้มีแสงหรือมีแสงเข้าหน้ากล้องให้น้อยที่สุดในขณะที่แฟลชยังไม่ถูกยิงออกไป และในจังหวะที่แฟลชยิงออกไปก็จะเป็นจังหวะเดียวที่มีแสงเข้าหน้ากล้อง ซึ่งจะเป็นการรับแสงของเซนเซอร์ด้วย และการควบคุมแสงสามารถช่วยได้โดยการตั้งค่าความไวแสงของกล้องดิจิตอลให้มีค่าต่ำ เพื่อให้การเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างไว้ระยะเวลาหนึ่งในช่วงที่ไม่มีแฟลชแม้จะมีแสงเข้าหน้ากล้องบ้างก็ไม่มีผลกับภาพมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายภาพด้วยวิธีการนี้จะมีการปรับแต่ค่าต่างๆ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และสภาพแวดล้อม โดยการปรับแต่งค่าต่างๆ โดยทั่วไป ได้แก่

- ความนานในการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ ซึ่งขึ้นกับว่าวัตถุเคลื่อนที่เร็วแค่ไหน ซึ่งการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์จะแสดงถึงการทำงานของเซนเซอร์รับแสงด้วย ซึ่งการทำงานที่นานเกินไปจะมีผลทำให้เซนเซอร์รับแสงร้อนและอาจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยหลักการนี้โดยกล้องดิจิตอลจะสามารถถ่ายภาพที่เคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาที่จำกัด
- ความเร็วหรือความถี่ในการยิงแสงแฟลชขึ้นกับความเร็วของวัตถุ และความต้องการในการถ่ายภาพว่าต้องการให้ได้ภาพของวัตถุเป็นจำนวนเท่าไรในภาพ และต้องการให้ภาพวัตถุดังกล่าวมีความห่างกันในภาพมากน้อยเท่าไร
- ระยะเวลาในการฉายแสงแฟลชแต่ละครั้ง ซึ่งแฟลชที่มีคุณภาพโดยทั่วไปจะมีเวลาที่ฉายแสงแฟลชออกไปในระยะเวลาที่สั้นในระดับมิลลิวินาที ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปใช้ถ่ายภาพที่มีความเร็วในระดับหนึ่งอยู่แล้ว ดังนั้นควรพิจารณาระยะเวลาดังกล่าวเพื่อไม่ให้มีการฉายแสงนานเกินไปทำให้ไม่ได้ภาพหยุดนิ่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- ความสว่างของแสงแฟลชแต่ละครั้ง โดยทั่วไปอาจกำหนดได้ยาก หรืออาจต้องทำการทดลองในค่าต่างๆ เท่านั้นถึงจะสามารถระบุได้ว่าความสว่างใดเหมาะกับสภาพแวดล้อมนี้ โดยความสว่างที่มากเกินไปอาจทำให้มีแสงสะท้อนมารบกวนภาพมากขึ้น แต่ความสว่างที่น้อยเกินไปก็อาจทำให้ภาพมืดเกินไปได้เช่นกัน ซึ่งความสว่างของแสงแฟลชโดยทั่วไปที่มีใช้กันจะมีการเทียบเป็นตารางระหว่างค่าความไวแสงของกล้องที่ใช้ กับระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องหรือระยะโฟกัสของกล้อง เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวกในการปรับความสว่างในการใช้งานแฟลช โดยค่าความสว่างที่เหมาะสมจะอยู่ที่ค่าความไวแสงของกล้อง และระยะห่างระหว่างวัตถุในภาพกับกล้องที่ใช้
- การตั้งค่าความไวแสงโดยหลักการแล้วควรตั้งที่ค่าต่ำๆ เพื่อช่วยตัดแสงที่ไม่ต้องการออกไปได้ แต่ยิ่งตั้งค่าต่ำก็ต้องให้ความสว่างของแฟลชสูงขึ้นเพื่อให้มองเห็นภาพไม่มืดเกินไป ดังนั้นค่าความไวแสงก็เช่นกันที่จะต้องทำการทดลองตามสภาพแวดล้อมเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และอาจต้องอาศัยการจำกัดแสงสภาพแวดล้อมช่วยเพื่อให้การหาค่าที่เหมาะสมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- การตั้งค่าความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายรูป ซึ่งจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง โดยในหลักการถ่ายภาพนี้ควรจะใช้กับวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายภาพ หรือทิศทางขนานกับหน้ากล้อง เพื่อให้ได้ภาพที่ไม่ซ้อนทับกัน และให้ได้ระยะโฟกัสที่คงที่และสามารถกำหนดค่าได้ แต่ก็สามารถถ่ายภาพวัตถุที่เคลื่อนที่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางเฉียงจากแนวตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายภาพได้ในระดับหนึ่ง ตราบใดที่ไม่มากเกินไป

- อื่นๆ ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันการทำงานของกล้องหรือแฟลชที่นำมาใช้เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพมากขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวอุปกรณ์และคุณสมบัติตามแต่ผู้ผลิต

ในทางวิชาการค่าความสว่างของแฟลชและค่าความไวแสงของกล้องสามารถคำนวณหาค่าที่เหมาะสมใกล้เคียงความเป็นจริงได้ โดยต้องทราบค่าความสว่างของสภาพแวดล้อม ณ ช่วงเวลาที่ทำการถ่ายภาพ ซึ่งสามารถทราบได้โดยการใช้อุปกรณ์วัดความสว่างเท่านั้น แต่ก็มีค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์อยู่ ประกอบกับค่าความผิดพลาดของการวัดค่าอื่นๆ เช่น ความเร็วของวัตถุ ระยะห่างของอุปกรณ์และวัตถุ เป็นต้น และที่สำคัญสำหรับกล้องดิจิตอลซึ่งการปรับค่าจะเป็นในลักษณะดิจิตอลเป็นตัวเลขค่าหนึ่งๆ ซึ่งมีความละเอียดไม่มาก ดังนั้นการคำนวณได้อาจจะไม่สัมพันธ์กับค่าที่กล้องและอุปกรณ์ดิจิตอลนั้นสามารถตั้งค่าได้ ดังนั้นจำต้องปรับค่าโดยการทดลองให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ที่สุด

รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างภาพที่ถ่ายโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ช่วยในการถ่ายภาพ

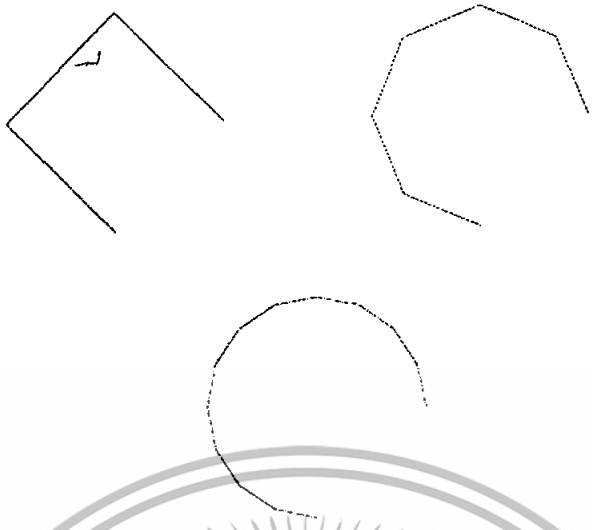
2.4 หลักการแสดงผลทางกราฟิกส์ [27][28]

เพื่อการแสดงผลให้กับผู้ใช้งานสามารถเข้าใจผลของระบบ จึงจำเป็นต้องอาศัยการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (Computer Graphics) ซึ่งในที่นี้ได้อาศัยหลักการในการแสดงผลที่สำคัญ ได้แก่ การวาดรูปวงกลม การวาดรูปวงรี และการหมุนภาพ

2.4.1 การวาดรูปวงกลม

การวาดรูปวงกลมเกิดจากรูปหลายเหลี่ยมที่มีจำนวนเหลี่ยมเป็นอนันต์

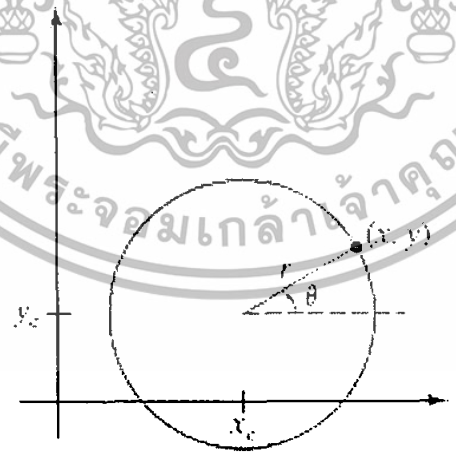
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงรูปหลายเหลี่ยม

การวาดรูปวงกลมสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่ง่ายที่สุดแต่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก ซึ่งใช้สมการทั่วไปของวงกลมในการสร้างวงกลม

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \qquad (2.17)$$

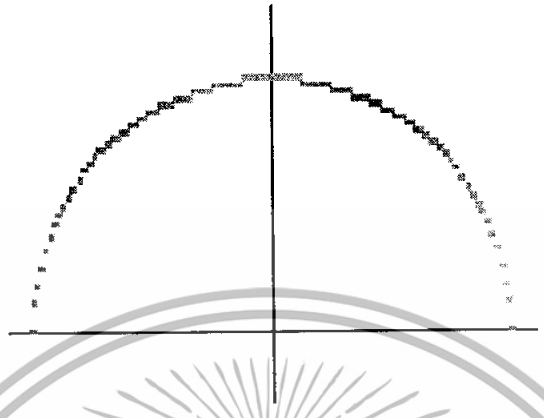


รูปที่ 2.15 แสดงรูปวงกลมบนแกนอ้างอิงพร้อมองค์ประกอบของวงกลม

จากสมการถ้านำไปสร้างเป็นวงกลมจำเป็นต้องให้วิธีการเพิ่มค่า x หรือค่า y ซึ่งมีข้อเสีย คือ ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากสมมาตรของวงกลม และจำเป็นต้องคำนวณค่ายกกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหาค่ารากที่สองซ้ำๆ กันทุกครั้งที่ทำการหาค่า ทำให้เสียเวลาในการคำนวณมาก และถ้ามีการปัดค่าเกิดขึ้นจะทำให้เกิดจุดในลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน ดังรูป



รูปที่ 2.16 แสดงวงกลมที่มีเส้นไม่ต่อเนื่องกัน

จากวิธีการข้างต้น สามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยใช้สมการเชิงมุมของวงกลมโดยใช้ค่า r และ θ ทำให้ได้สมการเชิงมุมของวงกลมเป็น

$$x = x_c + r\cos\theta \tag{2.18}$$

$$y = y_c + r\sin\theta \tag{2.19}$$

ค่า θ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2π เรเดียน และเปลี่ยนเป็นเพิ่มค่าทีละ dθ ผลที่ได้ ทำให้จุดที่ได้แต่ละจุดมีระยะห่างเท่ากัน โดยค่า dθ ยิ่งน้อยจะทำให้เสียเวลาคำนวณนานขึ้น แต่ได้จุดที่ละเอียดมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณทางตรีโกณก็ยังคงใช้เวลานาน

จากสมการสามารถได้จุดต่างๆ ของวงกลมแล้ว แต่จุดที่ละเอียดก็จะต้องอาศัยการทำงานในการคำนวณที่หนัก ดังนั้นจึงมีวิธีการช่วยให้ใช้จุดที่ไม่ละเอียดมากนักมาวาดต่อกันเป็นวงกลม คือ การนำส่วนของเส้นตรงมาต่อกันจากจุดถึงจุดให้เป็นวงกลม ซึ่งการใช้จำนวนจุดและเส้นตรงที่เหมาะสมจะทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้ ในความละเอียดที่เหมาะสม

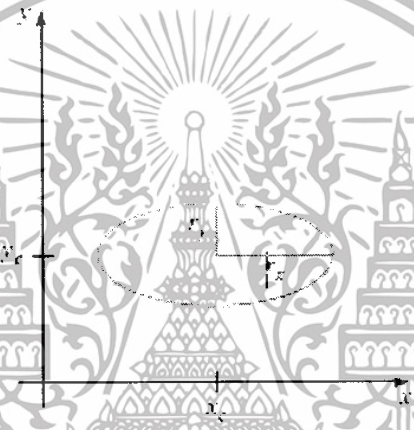
นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการคำนวณหาจุดของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด (0,0) ก่อน และเมื่อต้องการวาดจริงจึงค่อยย้ายวงกลมไปยังจุด (x_c, y_c) ได้ โดยที่การสร้างวงกลมที่จุด (0,0) จะสามารถใช้สมมาตรช่วยในการวาดวงกลมได้ และนอกจากนี้ยังวาดวงกลมที่เหมือนกันแต่อยู่คนละตำแหน่งกันก็สามารถใช้วิธีการนี้ช่วยได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การวาดรูปวงรี

การวาดวงรีนั้นคล้ายกับการวาดวงกลม เพียงแต่ไม่มีรัศมีที่เท่ากัน คือ เปลี่ยนเป็นแกนหลักและแกนรองแทน สมการวงรีสามารถกำหนดได้ง่ายๆ ถ้าแกนหลักและแกนรองวางขนานกับแกน x และ y โดยที่แกนหลักจะมีความยาวมากกว่าแกนรองเสมอ โดยสามารถใช้สมการทั่วไปของวงรีในการสร้างวงรีได้ โดยมีประสิทธิภาพเหมือนกับการใช้สมการทั่วไปของวงกลมในการสร้างวงกลม

$$(\frac{x-x_c}{r_x})^2 + (\frac{y-y_c}{r_y})^2 = 1 \tag{2.20}$$



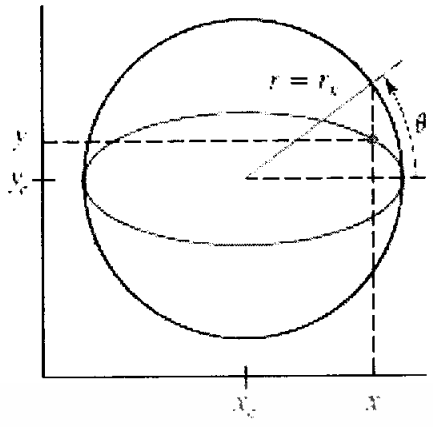
รูปที่ 2.17 แสดงรูปวงรีบนแกนอ้างอิงพร้อมองค์ประกอบของวงรี

โดยการสร้างวงรีสามารถใช้สมการเชิงมุมของวงรีในการสร้างวงรีได้เป็น

$$x = x_c + r_x cos\theta \tag{2.21}$$

$$y = y_c + r_y sin\theta \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



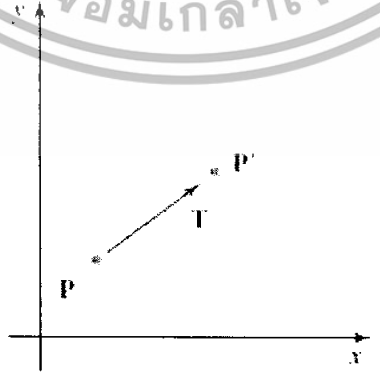
รูปที่ 2.18 แสดงการสร้างวงรีโดยสมการเชิงมุม

มุม θ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2π ถ้าค่า $r_x > r_y$ วงรีจะยืดตามแนวแกน x แต่ถ้า $r_x < r_y$ วงรีจะยืดตามแนวแกน y

นอกจากนี้เทคนิคอื่นๆ ที่ช่วยในการสร้างวงรีให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สามารถใช้เทคนิคเดียวกับการสร้างวงกลมได้

2.4.3 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation)

การเลื่อนตำแหน่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งของรูปเดิมไปตามแนวเส้นตรงไปอยู่ในตำแหน่งอื่น หรือเปลี่ยนไปยังตำแหน่งคู่อันดับอื่น โดยสามารถย้ายจุดใดๆ ในสองมิติโดยการบวกระยะการเลื่อน ในรูปของเวกเตอร์ $T = t_x\hat{\imath} + t_y\hat{\jmath}$ จากจุดเดิม $P(x, y)$ ไปยังจุดใหม่ $P'(x', y')$ ดังรูป

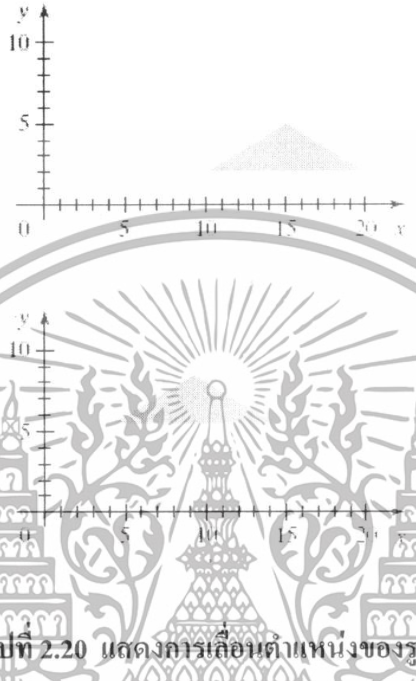


รูปที่ 2.19 แสดงการเลื่อนตำแหน่งโดยเวคเตอร์ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x' = x + t_x \tag{2.23}$$

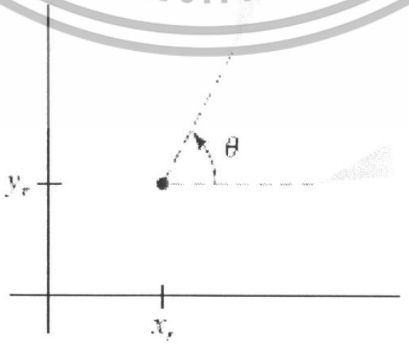
$$y' = y + t_y \tag{2.24}$$



รูปที่ 2.20 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของรูป

2.4.4 การหมุนภาพ (Rotation)

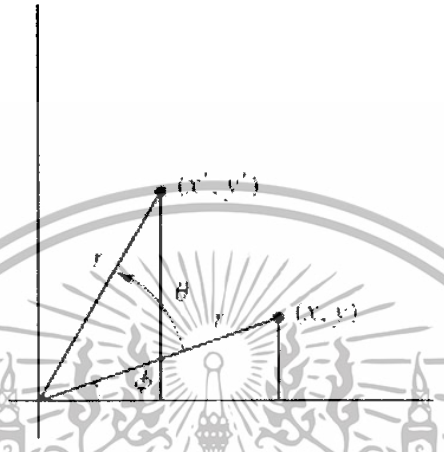
ในการหมุนภาพเราจำเป็นต้องกำหนดตัวแปร 2 ตัวคือ θ เป็นมุมที่ต้องการจะหมุนภาพไป และจุดศูนย์กลางการหมุน (x_r, y_r)



รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างการหมุนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากลองพิจารณาการหมุนจุดใดๆ โดยมีจุดหมุนอยู่ที่จุดกำเนิด ซึ่งมุมของเวกเตอร์ที่ชี้ไปจุดเดิม (x, y) ทำกับแกน x เป็น $\emptyset$ และมุมระหว่างเวกเตอร์ที่ชี้ไปจุดเดิม (x, y) และที่ชี้ไปจุดที่หมุนไป (x', y') เป็น θ และ r เป็นรัศมีการหมุน (ขนาดเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังจุดทั้งสอง) ดังรูป



รูปที่ 2.22 แสดงการองค์ประกอบในการหมุนสำหรับสมการ

จากรูปสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$x' = r\cos(\emptyset + \theta) = r\cos\emptyset\cos\theta - r\sin\emptyset\sin\theta \tag{2.25}$$

$$y' = r\sin(\emptyset + \theta) = r\cos\emptyset\sin\theta + r\sin\emptyset\cos\theta \tag{2.26}$$

$$x = r\cos\emptyset \tag{2.27}$$

$$y = r\sin\emptyset \tag{2.28}$$

หรือสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$x' = x\cos\theta - y\sin\theta \tag{2.29}$$

$$y' = x\sin\theta + y\cos\theta \tag{2.30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการหมุนรูปใดๆ ที่มีจุดหมุนอยู่ที่จุดใดๆ ให้ทำการเลื่อนตำแหน่งของรูปที่ต้องการหมุนให้มีจุดหมุนไปอยู่ที่จุดกำเนิดก่อน หลังจากนั้นทำการหมุนโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด หลังจากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งของรูปที่หมุนแล้วให้จุดหมุนกลับไปยังจุดเดิม ก็จะได้รูปใดๆ ที่ถูกหมุนไปตามต้องการในตำแหน่งจุดหมุนนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและพัฒนา

การออกแบบและพัฒนาระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟในโครงงานนี้ได้ออกแบบตามความต้องการข้างต้น โดยจะสรุปเป็นสมมติฐานในการออกแบบและพัฒนา แล้วจึงทำการออกแบบการทำงานและโครงสร้างของระบบ การโปรแกรมการประมวลผลภาพด้วย MATLAB และการออกแบบระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช

3.1 สมมติฐานในการออกแบบและพัฒนา

ในการออกแบบและพัฒนาระบบเพื่อง่ายต่อการพัฒนาจึงจำเป็นต้องกำหนดสมมติฐานในการออกแบบและพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนา ซึ่งจะแบ่งเป็น สมมติฐานของระบบและสมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ

3.1.1 สมมติฐานของระบบ

3.1.1.1 กำหนดให้ระบบทำงานในสภาพแวดล้อมควบคุม

3.1.1.2 กำหนดให้ความเร็วต้นของลูกกอล์ฟอยู่ระหว่าง 70 ถึง 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 19.44 ถึง 30.56 เมตรต่อวินาที

3.1.1.3 กำหนดให้ทิศทางของลูกกอล์ฟ มีทิศมุมเงยตั้งแต่ 15 ถึง 35 องศา

3.1.1.4 กำหนดให้ทิศทางของลูกกอล์ฟ มีทิศเอียงจากทิศอุดมคติไปทางซ้ายและขวาไม่เกิน 20 องศา โดยที่ ทิศอุดมคติ หมายถึง ทิศบนพื้นในการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟที่ขนานกับหน้ากล้อง ซึ่งเป็นทิศเป้าหมายในการตี

3.1.1.5 กำหนดให้ความเร็วในการหมุนของลูกกอล์ฟเป็นความเร็วเชิงมุมคงที่ไม่เกิน 200 เรเดียนต่อวินาที

3.1.2 สมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ

เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบจากง่ายไปยาก จึงทำการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพเป็น 2 ลักษณะ ซึ่งจะเป็นการแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

3.1.2.1 การถ่ายภาพได้ภาพลูกกอล์ฟ 2 ลูก ในลักษณะหยุดนิ่ง ตามหลักการถ่ายภาพด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพที่มีประสิทธิภาพสูง

3.1.2.2 การถ่ายภาพได้ภาพลูกกอล์ฟ 2 ลูก ในลักษณะเป็นลำแสงเคลื่อนที่ โดยอุปกรณ์จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบการทำงานและโครงสร้างของระบบ

เนื่องจากในระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟอาศัยการประมวลผลภาพจากการถ่ายภาพลูกกอล์ฟที่ถูกตีและเคลื่อนที่ในตอนต้น ซึ่งมีความเร็วสูงมากจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่จะได้มาซึ่งภาพตามที่ต้องการ และการที่จะสามารถออกแบบการทำงานของระบบได้ จะต้องออกแบบการถ่ายภาพก่อน จากนั้นจึงสามารถออกแบบการทำงานของระบบต่อไป

3.2.1 การออกแบบการถ่ายภาพ

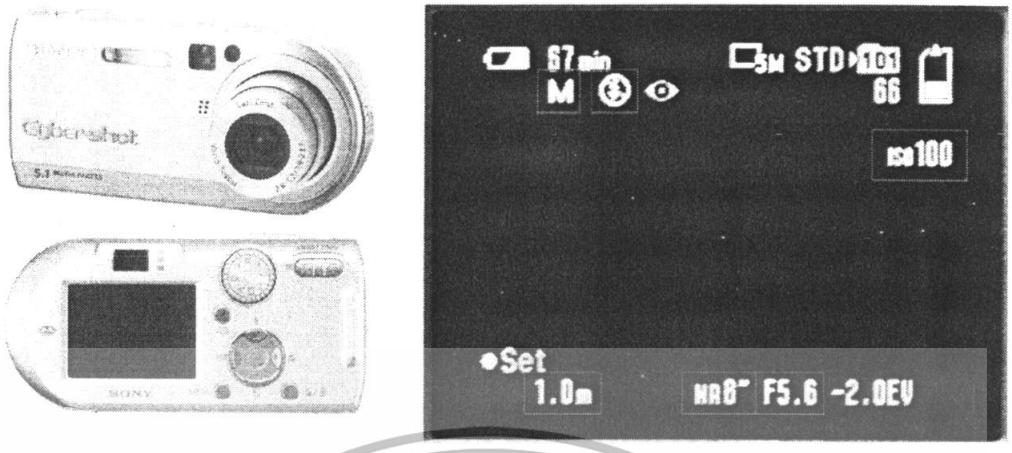
การถ่ายภาพวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมีวิธีการในการถ่ายภาพอยู่มากมาย โดยวิธีการถ่ายภาพโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการในการถ่ายภาพความเร็วสูง โดยที่ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการถ่ายภาพโดยวิธีนี้สำหรับระบบนี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ ได้แก่

1. กล้องถ่ายรูปดิจิตอล จำนวน 1 ตัว
   - สามารถเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ในการถ่ายภาพค้าง ได้มากกว่า 8 วินาที
   - สามารถปรับระยะโฟกัสได้ (กำหนดระยะโฟกัสเป็น 1 เมตรได้)
   - สามารถปรับค่าช่องรับแสงได้มากกว่า F5
   - สามารถปรับค่าความไวแสง (ISO) ได้เป็น 100 หรือต่ำกว่า
   - ความละเอียดของกล้องอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 ล้านพิกเซล
2. แฟลช จำนวน 2 ตัว
   - ไม่มีการปรับระยะโฟกัสและความสว่างโดยอัตโนมัติ
   - มีระยะยิงแสงแฟลชมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตร

กล้องถ่ายรูปดิจิตอลที่เลือกใช้ คือ กล้อง Sony Cyber-shot รุ่น DSC-P100 ความละเอียด 5.1 ล้านพิกเซล โดยในการถ่ายภาพได้ใช้โหมด แมนนวล (Manual) จะมีการตั้งค่าให้กล้องดังนี้

- ตั้งเวลาในการเปิดหน้ากล้องค้างเป็นเวลา 8 วินาที
- ตั้งระยะโฟกัสเป็น 1 เมตร
- ตั้งค่าช่องรับแสงเป็นค่าสูงสุดคือ F5.6
- ตั้งค่าความไวแสง (ISO) เป็นค่าต่ำสุดคือ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงกล้อง Sony Cyber-shot รุ่น DSC-P100 และการตั้งค่าของกล้อง

แฟลชที่เลือกใช้ คือ แฟลช Achiever รุ่น 828

รูปที่ 3.2 แสดงแฟลช Achiever รุ่น 828

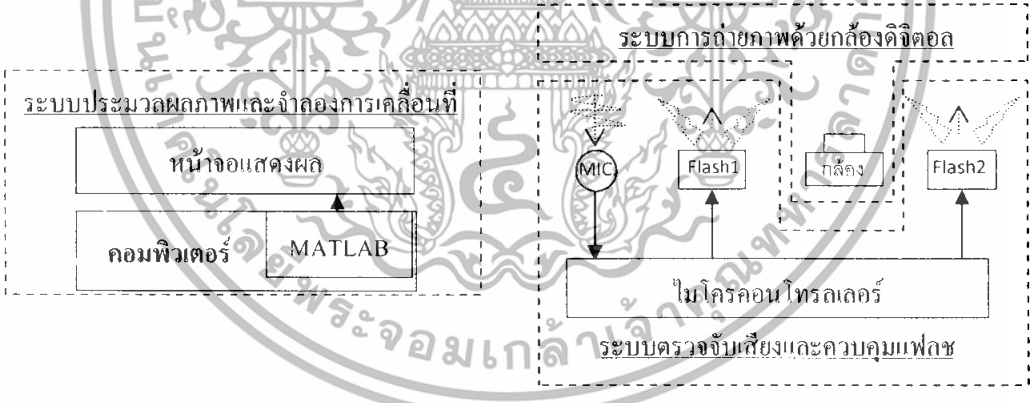
วิธีการถ่ายภาพจะเป็นไปตามหลักการในการถ่ายภาพโดยใช้สโทรโบสโคพิค เอ็ฟเฟคท์ โดยจะกล่าวรวมกับการทำงานของระบบทั้งหมด

3.2.2 โครงสร้างของระบบ

ด้วยความจำเป็นที่จะต้องทำให้ระบบสามารถทำงานได้ และง่ายต่อการเริ่มพัฒนาและทำการพัฒนาต่อในอนาคต จึงได้แบ่งระบบออกเป็นระบบย่อย ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช ซึ่งจะทำการตรวจจับเสียงพร้อมทั้งกรองเสียงที่ได้รับ และทำการหน่วงเวลาเพื่อทำการยิงแสงแฟลชทั้ง 2 ครั้งในการถ่ายภาพ
2. ระบบการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล ซึ่งจะทำการควบคุมกล้องโดยผู้ใช้งานแทนการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุม เนื่องจากไม่มีการทำงานของโปรแกรมควบคุมกล้องของยี่ห้อและรุ่นใดเลยที่สามารถควบคุมกล้องดิจิตอลได้ตามต้องการ โดยที่สามารถหาได้ตามจุดประสงค์ ดังนั้นจึงต้องอาศัยการทำงานโดยให้ผู้ใช้งานเป็นผู้กดชัตเตอร์และทำการย้ายไฟล์รูปลงคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล
3. ระบบประมวลผลภาพและจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ จะทำการอ่านไฟล์ภาพที่บันทึกโดยระบบควบคุมและสั่งงานกล้องมาทำการประมวลผลภาพเพื่อหาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟตามที่ต้องการรวมทั้งทำการจำลองการเคลื่อนที่และแสดงผลต่อไป ซึ่งในส่วนของระบบประมวลผลภาพนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการพัฒนาเพื่อให้ได้มาซึ่งโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในระยะเวลาอันสั้น



รูปที่ 3.3 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

3.2.3 การทำงานของระบบ

การทำงานของระบบจะเป็นการทำงานของระบบย่อยที่ทำงานร่วมกัน ซึ่งจะนำหลักการถ่ายภาพที่ได้กล่าวไปมาใช้ประกอบกับการทำงานอื่นๆ โดยจะรวมถึงการเข้าใช้งานระบบ ซึ่งอธิบายการทำงานร่วมกันของระบบย่อยต่างๆ ดังนี้

1. หลังจากเปิดระบบ ให้ตรวจสอบความพร้อมในการตั้งค่าต่างๆ ของกล้อง และการชาร์ตไฟของแฟลช

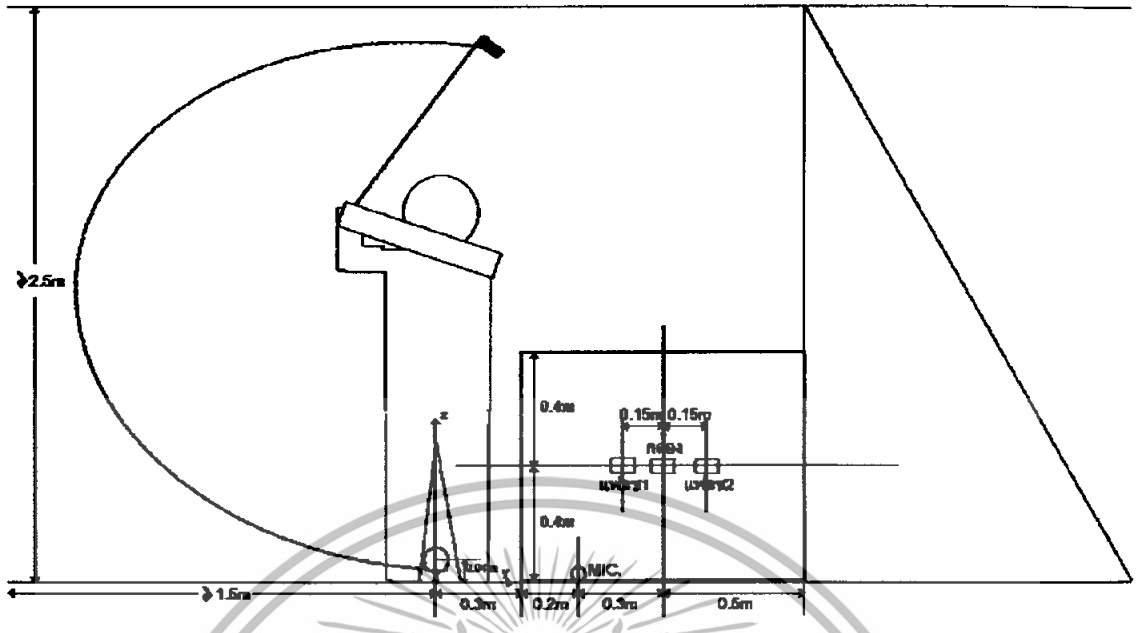
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ โดยการกดชัตเตอร์ที่กล้อง
3. ทำการตีกอล์ฟภายในเวลาไม่เกิน 6 วินาทีหลังจากทำการกดชัตเตอร์ และเมื่อไม้กอล์ฟกระทบกับลูกกอล์ฟจะเกิดเสียงดัง
4. ระบบตรวจจับเสียงได้รับเสียงและทำการกรองเสียง ส่งเป็นสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
5. เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณเสียง จะทำการเริ่มจับเวลา 30 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ลูกกอล์ฟเข้ามาในกรอบของการถ่ายภาพตามสมมติฐาน แล้วทำการฉายแฟลชตัวที่ 1
6. ทำการจับเวลาต่ออีก 5 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ลูกกอล์ฟอยู่ห่างจากตำแหน่งยิงแฟลชตัวแรกในระยะหนึ่ง แล้วฉายแฟลชตัวที่ 2
7. จากข้อ 3 ถึง ข้อ 6 จะต้องทำงานเสร็จภายในเวลา 8 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่กล้องจะเปิดหน้ากล้องค้างไว้
8. เมื่อถ่ายภาพเสร็จ ทำการย้ายไฟล์ลงคอมพิวเตอร์ไว้ในไดเรคทอรีในการทำงานของโปรแกรมประมวลผลโดย MATLAB
9. ทำการรันโปรแกรมประมวลผล แล้วเลือกไฟล์รูปที่ต้องการประมวลผล
10. โปรแกรมประมวลผลทำการประมวลผลหาทิศทาง ความเร็ว และการหมุน พร้อมทั้งแสดงแบบจำลองการเคลื่อนที่ออกมา

3.2.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ในระบบ

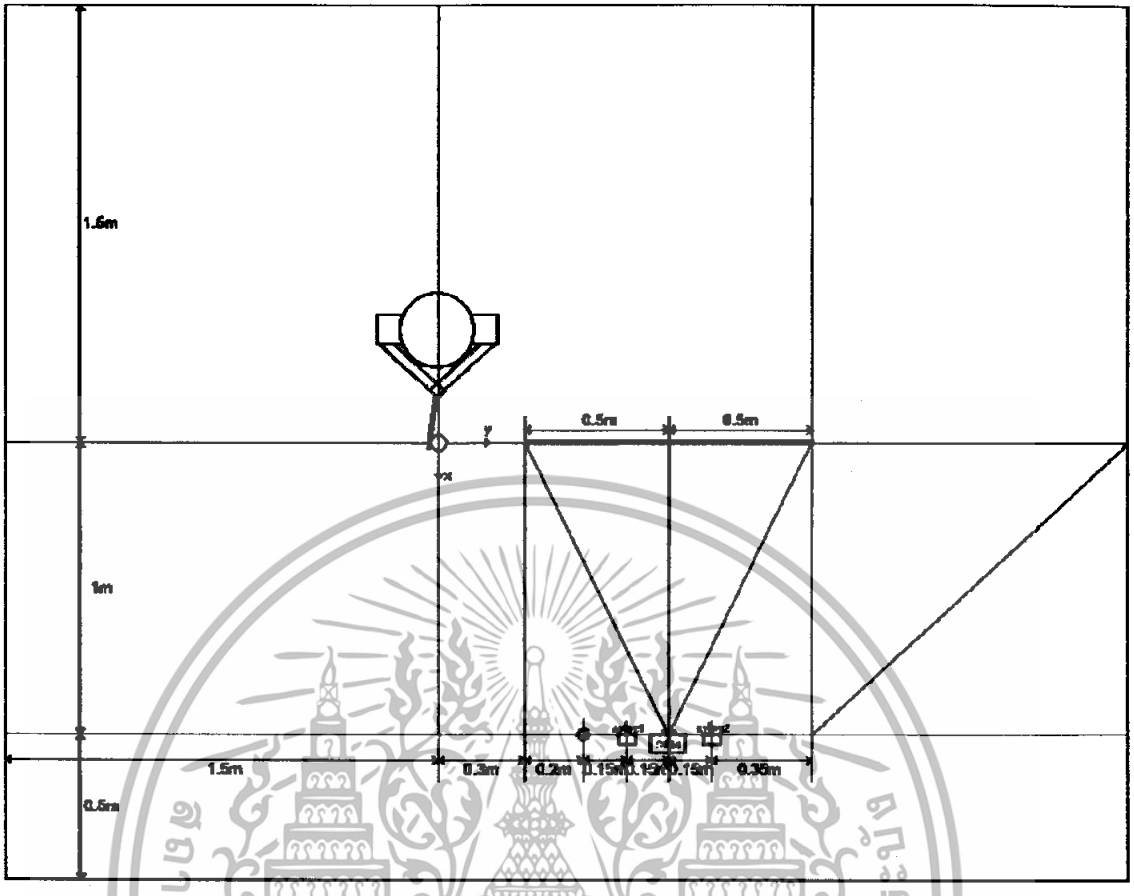
จากขอบเขตของระบบและองค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมาสามารถออกแบบ และจัดตั้งตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์และแกนอ้างอิงของระบบ (มุมมองด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนภาพโครงสร้างของระบบ โดยแสดงการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ และแกนอ้างอิงของระบบ (มุมมองด้านบน)

จากรูปได้มีการกำหนดแกนอ้างอิงสำหรับระบบโดยให้ จุดกำเนิดอยู่ที่พื้นในตำแหน่งวางลูกกอล์ฟสำหรับการตี โดยมีแกน x มีทิศตรงข้ามกับทิศทางการถ่ายภาพ แกน y มีทิศไปตามทิศอุดมคติในการตีกอล์ฟ และแกน z มีทิศตั้งฉากและชี้ขึ้นจากพื้น

3.2.5 การออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟเพื่อวิเคราะห์การหมุน

จากการพิจารณาเพื่อออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ เป็นจุดอ้างอิง เพื่อระบุตำแหน่งต่างๆ บนผิวลูกกอล์ฟ มีความต้องการให้การบอกเห็นด้านใดด้านหนึ่งของลูกกอล์ฟ สามารถระบุได้ว่าเป็นด้านใดของลูกกอล์ฟ

เริ่มแรกได้กำหนดให้ลูกกอล์ฟมีแกนอ้างอิง 3 มิติ เป็นไปตามกฎมือขวา (แกน x , แกน y , แกน z) ซึ่งแกนนี้จะเป็นไปตามจุดอ้างอิงและหมุนไปพร้อมกับลูกกอล์ฟ โดยที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูปทรงกลมของลูกกอล์ฟ ซึ่งจากความต้องการทำให้การมองเห็นจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟจำนวนหนึ่ง สามารถพิจารณาหาได้ว่าเป็นด้านใดของลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กอล์ฟ และสามารถระบุได้ว่าแกนอ้างอิงของลูกกอล์ฟมีลักษณะเอียงหรือวางอยู่ในลักษณะใด ซึ่งการหาว่าแกนอ้างอิงของลูกกอล์ฟจะหาเป็นเวกเตอร์บนแกนอ้างอิงแบบคงที่บนลูกกอล์ฟ ซึ่งไม่มีการหมุน แต่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับลูกกอล์ฟ โดยมีจุดกำเนิดที่จุดศูนย์กลางของลูกกอล์ฟเช่นกัน

รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงทั้งหมดที่มีในระบบ
แกนอ้างอิง x , y , z เป็นแกนอ้างอิงของระบบ
แกนอ้างอิง x_g , y_g , z_g เป็นแกนอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟ
แกนอ้างอิง x'_g , y'_g , z'_g เป็นแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ

จากรูปเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงทั้งหมดที่มีในระบบ เริ่มจากแกนอ้างอิงของระบบ ซึ่งจะมีตำแหน่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และแกนอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟจะอยู่บนแกนอ้างอิงของระบบ โดยสามารถเคลื่อนที่ได้ไปตามจุดศูนย์กลางของลูกกอล์ฟ โดยที่ยังคงมีทิศทางคงที่ตามแกนอ้างอิงของระบบเสมอ และสุดท้ายเป็นแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ ซึ่งจะอยู่บนแกนอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟ โดยมีจุดกำเนิดที่จุดศูนย์กลางของลูกกอล์ฟเช่นเดียวกับจุดอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟ แต่ทิศทางของแกนอ้างอิงนี้จะเป็นไปตามจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟเสมอ

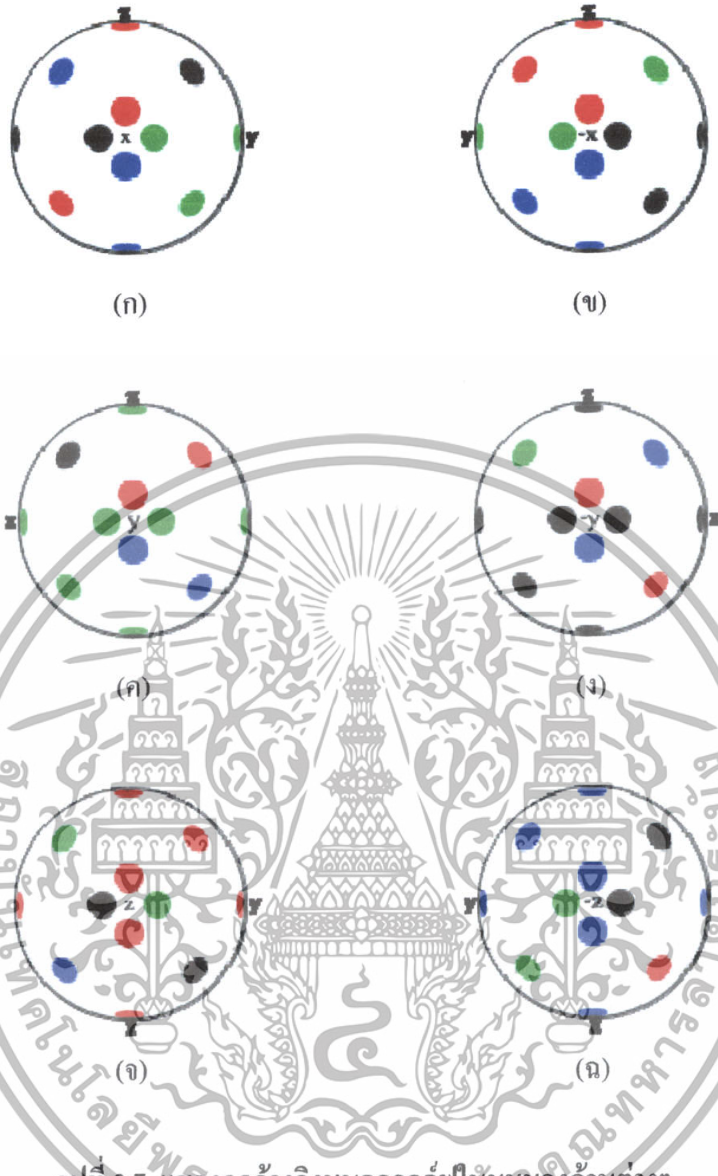
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความต้องการในการออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ เมื่อเห็นด้านใดด้านหนึ่งของลูกกอล์ฟสามารถรู้ลักษณะของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ ซึ่งในการออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟสามารถทำได้หลายลักษณะ โดยการออกแบบและทดลองทำจริงเพื่อเปรียบเทียบ ทำให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ใช้จุดวงกลมเป็นสัญลักษณ์บนลูกกอล์ฟในการบอกตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากง่ายต่อการประมวลผลกว่าการใช้เป็นสัญลักษณ์รูปร่างอื่น และเนื่องจากความละเอียดของกล้องที่ไม่มากและขนาดของลูกกอล์ฟที่เล็ก ทำให้การใช้สัญลักษณ์รูปร่างอื่นมีโอกาสที่จะไม่สามารถพิจารณาระบุรูปร่างสัญลักษณ์นั้นได้ เมื่อมีจุดที่ไม่พึงประสงค์มากวนภาพ
2. ใช้จุดวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เนื่องจากเริ่มแรกทดลองจุดวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ทำให้การประมวลผลขอบเขตผิดพลาดไปมากเนื่องจากมองเป็นพื้นหลังไปบ้างในบางครั้ง และการที่มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้การมองเห็นในแต่ละด้านจะไม่ได้ข้อมูลในการเปรียบเทียบแต่ละด้านมากพอ แต่การใช้จุดที่เล็กเกินไปทำให้การพิจารณาเทียบเป็นจุดที่ใช่จุดอ้างอิงที่สร้างขึ้น
3. ใช้จุดวงกลมเป็นสี 4 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีดำ เนื่องจากเป็นจุดสีที่มีความแตกต่างกันมากสุด และแตกต่างกับสีพื้นของลูกกอล์ฟเป็นที่สุด
4. ให้จุดที่อยู่ที่ตำแหน่งแกน x แกน y แกน z และ แกน -x แกน -y แกน -z มีลักษณะเป็นจุด 4 จุดล้อมรอบแกนนั้นๆ โดยจากแกนถึงแต่ละจุดมีทิศชี้ไปยังแกนใกล้เคียงทั้ง 4 แกนใช้แกนนั้น และจุดทั้ง 4 ที่ล้อมรอบแกนใดๆ จะอยู่ห่างจากแกนประมาณ 0.25 เซนติเมตร
5. ให้ในแต่ละช่องของแต่ละแกนในตำแหน่งเอียงจากแต่ละแกนเป็นมุม 60 องศา โดยประมาณ มีจุดอ้างอิงเป็นจุดหนึ่งจุด ซึ่งแต่ละส่วนจะมีสีที่แตกต่างกัน

จากข้อสรุปในการออกแบบลักษณะของจุดอ้างอิง มากำหนดสีในตำแหน่งต่างๆ เพื่อให้เกิดความแตกต่างกันไม่ว่าจะมองด้านใดหรือมุมใดของลูกกอล์ฟก็จะสามารถหาแกนอ้างอิงบนลูกกอล์ฟได้ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟในมุมมองด้านต่างๆ
(ก) มุมมองด้านแกน x ของลูกกอล์ฟ , (ข) มุมมองด้านแกน -x ของลูกกอล์ฟ
(ค) มุมมองด้านแกน y ของลูกกอล์ฟ , (ง) มุมมองด้านแกน -y ของลูกกอล์ฟ
(จ) มุมมองด้านแกน z ของลูกกอล์ฟ , (ฉ) มุมมองด้านแกน -z ของลูกกอล์ฟ

3.3 การโปรแกรมการประมวลผลภาพด้วย MATLAB

จากการแบ่งระบบย่อย เป็นระบบประมวลผลภาพและจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ซึ่งในการโปรแกรมได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ทำงานเป็นลำดับ ได้แก่ ส่วนของการประมวลผลภาพหาคุณสมบัติจากภาพ ส่วนของการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟและจำลองการเคลื่อนที่ และส่วนของการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การโปรแกรมส่วนของการประมวลผลภาพหาคุณสมบัติจากภาพ

การโปรแกรมส่วนของการประมวลผลภาพหาคุณสมบัติจากภาพ เป็นส่วนที่จะนำภาพถ่ายที่ได้มาประมวลผล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ตามสมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ คือ โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง และ โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง

3.3.1.1 โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง

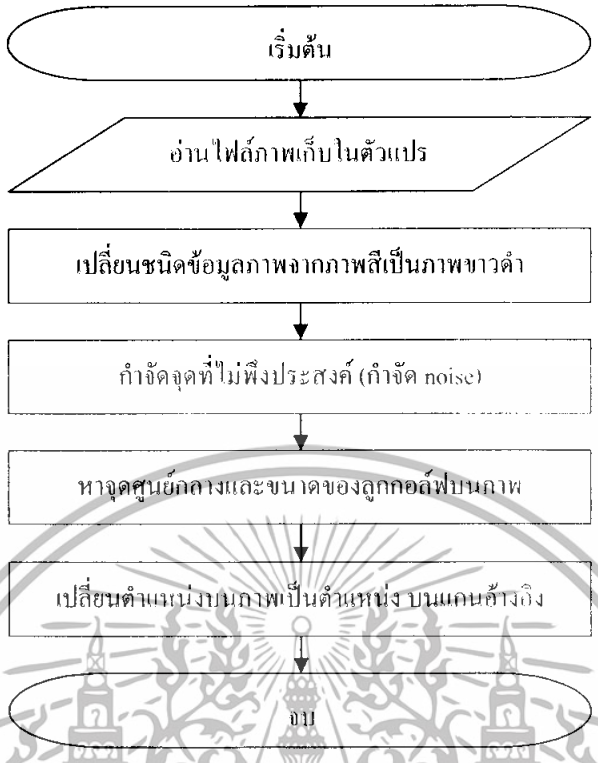
จะเป็นการประมวลผลภาพที่เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 3.1.2.1 คือ การถ่ายภาพได้ภาพลูกกอล์ฟ 2 ลูก ในลักษณะหยุดนิ่ง ตามหลักการถ่ายภาพด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพที่มีประสิทธิภาพสูง

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพถ่ายลูกกอล์ฟตามสมมติฐานว่าลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง (ขยายเฉพาะส่วนลูกกอล์ฟ)

สำหรับการโปรแกรมการประมวลผลหาคุณสมบัติของลูกกอล์ฟได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ซึ่งมีจุดประสงค์สำหรับการหาคุณสมบัติของลูกกอล์ฟที่แตกต่างกัน คือ

1. ส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ เป็นการหาคุณสมบัติว่าตำแหน่งของลูกกอล์ฟทั้ง 2 ลูกบนภาพ อยู่ในตำแหน่งใดบนภาพ และมีขนาดเท่าไรบนภาพ พร้อมทั้งประมวลผลเป็นตำแหน่งบนแกนอ้างอิงของระบบเป็นตำแหน่งในลักษณะ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ ในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง

จากแผนภาพแสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง สามารถอธิบายการทำงานโดยละเอียดเป็น

I. อ่านไฟล์ภาพเก็บในตัวแปร โดยไฟล์ภาพในระบบจะเป็นไฟล์ภาพชนิด Joint Photographic Experts Group (JPEG ; JPG) เท่านั้น โดยจะอ่านมาเก็บในตัวแปรชนิด Unsigned Integer 8 bits (uint8) เป็นอาร์เรย์ 3 มิติ เก็บชนิดสีเป็นแบบ RGB (Red Green Blue)

II. เปลี่ยนชนิดข้อมูลภาพจากภาพสีเป็นภาพขาวดำ เนื่องจากสำหรับภาพที่ได้มาเป็นภาพหยุดนิ่ง ในสภาพแวดล้อมควบคุม ซึ่งไม่มีการมัวของแสง ทำให้ภาพที่ได้มีความชัดเจนในระดับที่สามารถเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำได้เลย โดยในกรณีนี้เป็นการควบคุมสภาพแวดล้อมจึงทดลองหาอัตราส่วนในการแบ่งสีขาวดำเป็น 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสภาพแวดล้อมที่ใช้ในระบบ

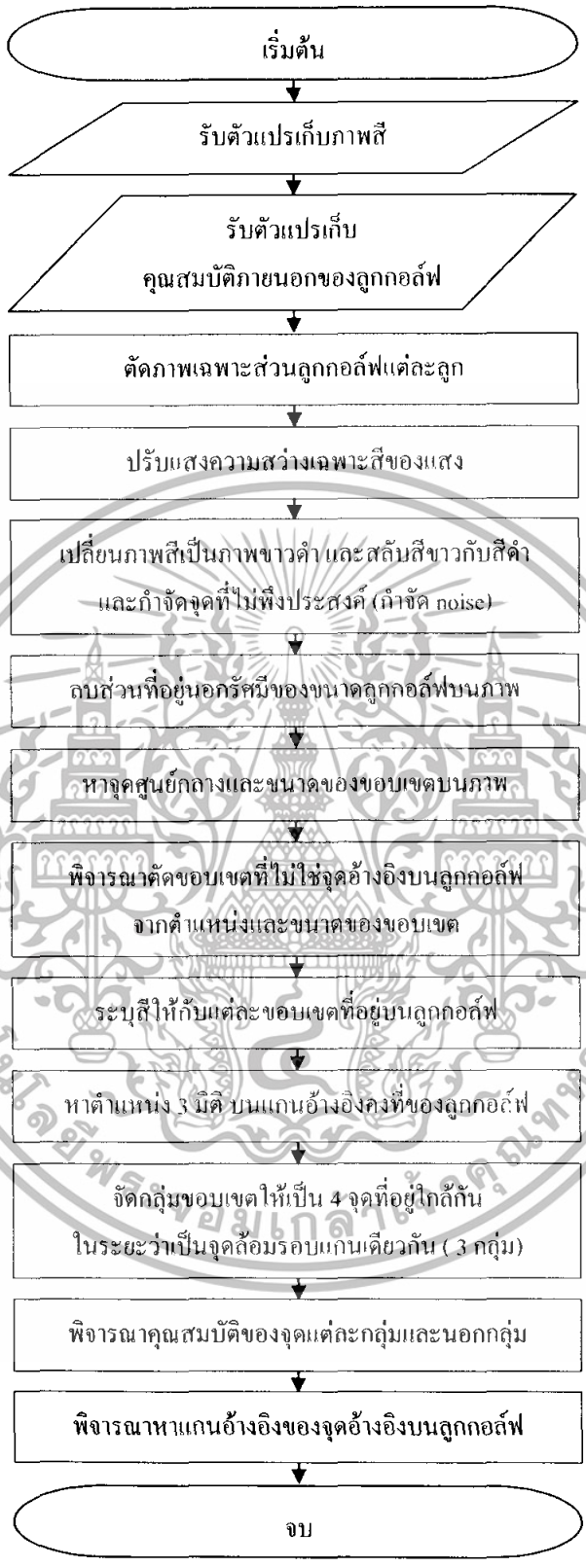
III. กำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์ (กำจัด noise) จะกำจัดจุดที่มีขนาดเล็กกว่า 50 พิกเซลทิ้งไป โดยที่ขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพขนาดต่ำสุดที่เป็นไปได้จะอยู่ที่ประมาณ 57 พิกเซล ซึ่งคิดโดยประมาณ 90 เปอร์เซ็นของค่าต่ำสุดโดยปัดเศษลงจะอยู่ที่ประมาณ 50 พิกเซล ดังนั้นการกำจัดจุดที่ไม่ใช่ลูกกอล์ฟจะกำจัดจุดที่มีขนาดเล็กว่าลูกกอล์ฟได้ โดยที่ลูกกอล์ฟจะไม่หายไปอย่างแน่นอน

IV. หาจุดศูนย์กลางและขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพ สามารถทำได้โดยใช้หลักการหาตำแหน่ง และขอบเขตของวัตถุบนภาพขาวดำตามหัวข้อที่ 2.1.2.1 โดยขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพจะเป็นการหาขนาดในทิศทางต่างๆ ผ่านจุดศูนย์กลางมาทำการเฉลี่ยโดยพิจารณาตัดค่าที่ผิดแปลกไปออกด้วย

V. เปลี่ยนตำแหน่งบนภาพเป็นตำแหน่งบนแกนอ้างอิง เริ่มจากหาระยะจากกล้องโดยใช้ขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพคำนวณตามหลักการของการหาระยะความลึกของวัตถุจากกล้องเดี่ยว และนำค่าตำแหน่งที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งในแกนอ้างอิงของระบบเป็นแบบ 3 มิติ โดยหลักการของการเปลี่ยนตำแหน่งจาก 2 มิติเป็น 3 มิติ ในหัวข้อที่ 2.1.2.2 และ 2.1.2.3 ตามลำดับ

2. ส่วนการหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟ เป็นการหาคุณสมบัติของลูกกอล์ฟแต่ละลูก ว่ามีแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟอยู่ในตำแหน่งใดบนแกนอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟ ซึ่งจะแสดงเป็นเวกเตอร์บอกตำแหน่งจากจุดศูนย์กลางวงกลม นอกจากนี้นำจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟทั้งสองมาหาจุดสมมติที่จะเป็นจุดที่จะหมุนไป เพื่อนำไปคำนวณหาคุณสมบัติการหมุนของลูกกอล์ฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟ ในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพแสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง สามารถอธิบายการทำงานโดยละเอียดเป็น

I. รับตัวแปรเก็บภาพสี จะเป็นตัวแปรเดียวกับที่อ่านไฟล์ภาพมาเก็บไว้ตั้งแต่ส่วนของการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ

II. รับตัวแปรเก็บคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ ที่ได้จากการประมวลผลส่วนก่อนหน้า

III. ตัดภาพเฉพาะส่วนลูกกอล์ฟแต่ละลูก โดยใช้คุณสมบัติตำแหน่งบนภาพและขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพมาเลือกเฉพาะส่วนตามขอบเขตนั้น เพื่อนำไปประมวลผลต่อ

IV. ปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสง เนื่องจากการถ่ายภาพอาจมีแสงรบกวนในบางครั้งทำให้ภาพออกเป็นสีฟ้า หรือสีแดง ดังนั้นเวลาวิเคราะห์สีแต่ละจุดอาจผิดพลาดไป จึงต้องทำการปรับแสงความสว่างเฉพาะสีของแสงให้มีอัตราส่วนของแต่ละสีที่เท่ากัน

V. เปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำและสลับสีขาวกับสีดำ และกำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์ (กำจัด noise) โดยจะพิจารณาทีละสีของแม่สีของแสงในลักษณะภาพขาวเทา โดยจะใช้อัตราส่วนในการแบ่งเป็น 0.3 และทำการสลับสีขาวเป็นสีดำ กับสีดำเป็นสีขาว จากนั้นรวมทั้ง 3 สีโดยการเฉลี่ย และทำการแปลงเป็นภาพขาวดำ

VI. ลบส่วนที่อยู่นอกรัศมีของขนาดลูกกอล์ฟบนภาพ โดยการพิจารณาแต่ละพิกเซลว่าอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะมากกว่าระยะที่เป็นรัศมีของลูกกอล์ฟบนภาพหรือไม่ ถ้าใช่ก็ตัดออกโดยให้เป็นสีดำ

VII. หาจุดศูนย์กลางและขนาดของขอบเขตบนภาพ สามารถทำได้โดยใช้หลักการหาตำแหน่ง และขอบเขตของวัตถุบนภาพขาวดำตามหัวข้อที่ 2.1.2.1

VIII. พิจารณาตัดขอบเขตที่ไม่ใช่จุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ จากตำแหน่งและขนาดของขอบเขต โดยเริ่มแรกจะดูว่าจุดศูนย์กลางขอบเขตต้องอยู่ในระยะรัศมีของลูกกอล์ฟ และขนาดของจุดจะต้องไม่ใหญ่เกินค่ามากสุดค่าหนึ่งหรือเล็กเกินค่าน้อยสุดค่าหนึ่ง ซึ่งค่ามากสุดและน้อยสุดจะคำนวณจากระยะห่างของลูกกอล์ฟกับกล้องถ่ายรูปและขนาดของจุดอ้างอิงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 เซนติเมตร ได้เป็นขนาดพิกเซลของจุด โดยค่ามากสุดจะมีค่าเป็น 1.6 เท่าของขนาดพิกเซลที่คำนวณได้ โดยไม่เกิน 30 พิกเซล และไม่น้อยกว่า 20 พิกเซล และค่าน้อยสุดจะมีค่าเป็น 0.8 เท่าของขนาดพิกเซลที่คำนวณได้ โดยไม่เกิน 10 พิกเซล และไม่น้อยกว่า 5 พิกเซล

IX. ระบุสีให้กับแต่ละขอบเขตที่อยู่บนลูกกอล์ฟ จะให้ค่าให้กับแต่ละขอบเขต โดยการพิจารณาจะดูจากค่าเฉลี่ยที่เกิดจากตำแหน่งรอบจุดศูนย์กลางของขอบเขตเป็นขนาด 5x5 และพิจารณาจากสัดส่วนของแม่สีของแสงทั้ง 3 เป็นเกณฑ์

X. หาตำแหน่ง 3 มิติบนแกนอ้างอิงคงที่ของลูกกอล์ฟ โดยคำนวณหาเป็นเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังตำแหน่งของจุดต่างๆ ซึ่งรู้ตำแหน่งเป็นระยะ y และ z และขนาดของเวกเตอร์ซึ่งมีขนาดเท่ากับรัศมีของลูกกอล์ฟจริงเสมอ จึงสามารถหาระยะ x ได้ จึงรวมเป็นเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังจุดศูนย์กลางของแต่ละขอบเขต

XI. จัดกลุ่มขอบเขตให้เป็น 4 จุดที่อยู่ใกล้กันในระยะว่าเป็นจุดล้อมรอบแกนเดียวกัน (3 กลุ่ม) โดยพิจารณาจุดทีละคู่ โดยถ้าคู่ใดมีเวกเตอร์ทำมุมกันไม่เกินมุมที่เกิดจากระยะ 1.6 เซนติเมตรบนผิวทรงกลมของลูกกอล์ฟ และหลังจากจับคู่ได้ก็รวมเป็นกลุ่มซึ่งรวมกันได้ไม่เกิน 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีจุดได้สูงสุด 4 จุด

XII. พิจารณาคุณสมบัติของจุดแต่ละกลุ่มและนอกกลุ่ม โดยดูว่าแต่ละกลุ่มมีจุดรวมเป็นกลุ่มจำนวนเท่าไร โดยแต่ละจุดในกลุ่มทราบค่าสีครบหรือไม่ รวมทั้งนับจำนวนว่าในกลุ่มมีสีใดบ้างจำนวนเท่าไหร่ และนับจำนวนจุดที่ไม่ได้เข้ากลุ่มใดเลย รวมทั้งนับจำนวนสีแต่ละสีของจุดที่ไม่ได้เข้ากลุ่มใดเลยด้วย

XIII. พิจารณาหาแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ โดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่มีกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมีสมาชิกครบ 4 จุด หรือกรณีที่มี 2 กลุ่มใดมีสมาชิกเป็น 3 จุด และมีจุดที่ไม่เข้ากลุ่มอยู่ 2 จุด หรือกรณีที่ทั้ง 3 กลุ่มมีสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ 2 จุด แต่ไม่ครบ 4 จุด และมีจุดที่ไม่เข้ากลุ่มอยู่ 1 จุด ซึ่งแต่ละกรณีจะมีวิธีหาดังนี้

- กรณีที่มีกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมีสมาชิกครบ 4 จุด ซึ่งจะแสดงว่ากลุ่มนั้นเป็นกลุ่มของจุดที่ล้อมรอบแกนใดแกนหนึ่ง ซึ่งแต่

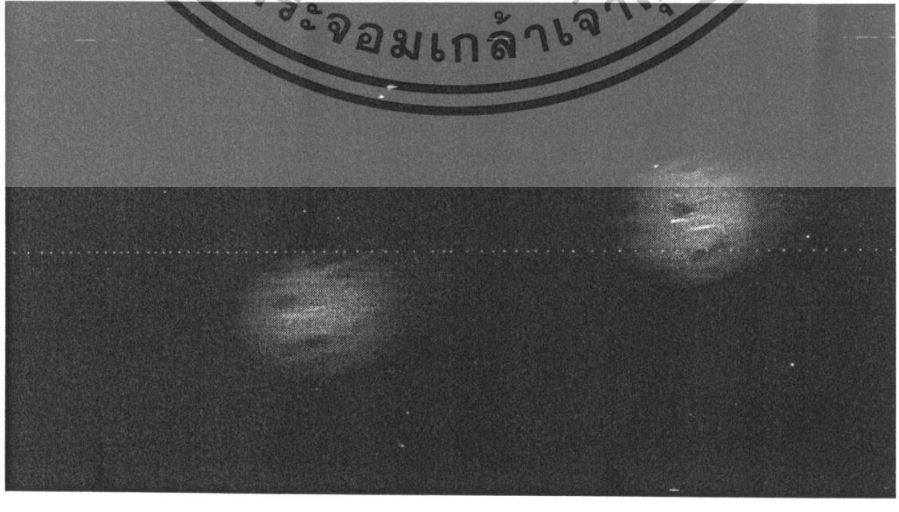
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละแกนจะมีจำนวนและตำแหน่งของจุดแต่ละสีที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่าเป็นแกนใด และจากสีแต่ละจุดรอบแกนซึ่งจะชี้ไปหาแกนด้านข้างที่หมุนไป 90 องศา ก็จะทราบได้ว่าแกนใดอยู่ในด้านใดบ้าง จึงสามารถหาแกนได้ครบทุกแกน

- กรณีที่มี 2 กลุ่มใดมีสมาชิกเป็น 3 จุด และมีจุดที่ไม่เข้ากลุ่มอยู่ 2 จุด การใช้กลุ่ม 2 กลุ่มจะเป็นกลุ่มที่รอบรอบแกน 2 แกน ซึ่งยังไม่ทราบได้ว่าเป็นแกนใดแน่นอน แต่การรู้จุดที่ไม่เข้ากลุ่มก็จะสามารถรู้ได้ว่า 2 แกนนั้นเป็นแกนใด และเมื่อรู้แกน 2 แกน จะใช้กฎมือขวาหาแกนที่เหลือได้ทั้งหมด
- กรณีที่ทั้ง 3 กลุ่มมีสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ 2 จุด แต่ไม่ครบ 4 จุด และมีจุดที่ไม่เข้ากลุ่มอยู่ 1 จุด ซึ่งจากกลุ่มทั้ง 3 จะเป็น 3 แกนที่ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จากความสัมพันธ์กันระหว่างสีของแต่ละกลุ่มทั้ง 3 กลุ่ม รวมทั้งจุดที่ไม่เข้ากลุ่มจะทราบได้ว่ากลุ่มทั้ง 3 เป็นแกนใด และสามารถทราบแกนที่เหลือได้ทั้งหมด

3.3.1.2 โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง

จะเป็นการประมวลผลภาพที่เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 3.1.2.2 คือ การถ่ายภาพได้ภาพลูกกอล์ฟ 2 ลูก ในลักษณะเป็นลำแสงเคลื่อนที่ โดยอุปกรณ์จำกัด



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างภาพถ่ายลูกกอล์ฟตามสมมติฐานในการตีกอล์ฟจริง (ขยายเฉพาะส่วนลูกกอล์ฟ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการโปรแกรมการประมวลผลหาคุณสมบัติของลูกกอล์ฟได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ซึ่งมีจุดประสงค์สำหรับการหาคุณสมบัติของลูกกอล์ฟที่แตกต่างกัน เหมือนกับในส่วนของการโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง แต่ในโครงงานนี้สามารถทำงานได้ในส่วนเดียว คือ ส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ ซึ่งจะมีจุดประสงค์เดียวกับการโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งเช่นกัน แต่การโปรแกรมจะเป็นการนำโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งมาทำการพัฒนาให้เหมาะสมตามลักษณะของภาพที่เปลี่ยนไป

รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ ในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพแสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง สามารถอธิบายการทำงานโดยละเอียดเป็น

I. อ่านไฟล์ภาพเก็บในตัวแปร โดยไฟล์ภาพในระบบจะเป็นไฟล์ภาพชนิด Joint Photographic Experts Group (JPEG ; JPG) เท่านั้น โดยจะอ่านมาเก็บในตัวแปรชนิด Unsigned Integer 8 bits (uint8) เป็นอาร์เรย์ 3 มิติ เก็บชนิดสีเป็นแบบ RGB (Red Green Blue)

II. ปรับแสงความสว่างทั้งหมด เนื่องจากภาพที่ถ่ายได้มีการมัวของแสงทำให้บางส่วนได้รับแสงไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความสว่างให้กับภาพ

III. เปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ เนื่องจากภาพที่ได้มาเป็นภาพลูกกอล์ฟที่เคลื่อนที่ และมีการมัวของแสง และมีลักษณะของแสดงที่ไม่คงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำจึงต้องอาศัยการพิจารณาหาระดับความสว่างที่เหมาะสม โดยหาอัตราส่วนของส่วนที่มีความสว่างมากกว่าส่วนอื่นๆ และคูณกับส่วนกลับของอัตราส่วนที่หาได้ หรือลดค่าลงเป็นอัตราส่วนของส่วนที่หาได้จะได้เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

IV. ลบส่วนที่เป็นผู้ตีและไม้กอล์ฟ เนื่องจากบางส่วนของผู้ตี และไม้กอล์ฟอาจติดเข้ามาในการถ่ายภาพด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลบทิ้ง โดยการที่ส่วนที่เป็นผู้ตีจะอยู่ทางซ้ายของภาพเสมอ และไม้กอล์ฟจะมีการพิจารณาว่าปรากฏอยู่บนลูกกอล์ฟหรือล่างลูกกอล์ฟ โดยพิจารณาจากขนาดของขอบเขตที่ปรากฏ

V. กำจัดจุดที่ไม่พึงประสงค์ (กำจัด noise) จะกำจัดจุดที่มีขนาดเล็กกว่า 50 พิกเซลทิ้งไป โดยที่ขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพขนาดต่ำสุดที่เป็นไปได้จะอยู่ที่ประมาณ 57 พิกเซล ซึ่งคิดโดยประมาณ 90 เปอร์เซ็นของค่าต่ำสุดโดยปัดเศษลงจะอยู่ที่ประมาณ 50 พิกเซล ดังนั้นการกำจัดจุดที่ไม่ใช่ลูกกอล์ฟจะกำจัดจุดที่มีขนาดเล็กกว่าลูกกอล์ฟได้ โดยที่ลูกกอล์ฟจะไม่หายไปอย่างแน่นอน

VI. หาจุดศูนย์กลางและขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพ สามารถทำได้โดยใช้หลักการหาตำแหน่ง และขอบเขตของวัตถุบนภาพขาวดำตามหัวข้อที่ 2.1.2.1 โดยขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพจะเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขนาดในทิศทางต่างๆ ผ่านจุดศูนย์กลางมาทำการเฉลี่ยโดยพิจารณาตัดค่าที่ผิดแปลกไปออกด้วย

VII. พิจารณาหาค่าผิดพลาดเรื่องตำแหน่ง และเลื่อนจุดศูนย์กลางให้พอดี เนื่องจากจุดศูนย์กลางที่หาได้จะมีค่าผิดพลาดไปเสมอ โดยจุดที่หาได้จะอยู่ทางขวาและสูงกว่าตำแหน่งจริง และความชัดเจนของภาพจะเป็นขอบด้านซ้ายและด้านล่าง ดังนั้นจึงอาศัยการเลื่อนกรอบที่หาได้ให้ชิดทางซ้ายและล่างของขอบ และทำการปรับค่าตำแหน่งให้ถูกต้อง

VIII. ตรวจสอบขนาดและปรับค่าให้เหมาะสม หลังจากทำการย้ายตำแหน่งได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว ในบางกรณีจะพบว่ากรอบที่หาได้จะมีขนาดใหญ่กว่าค่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงต้องหาขนาดที่เหมาะสมแล้วปรับขนาดลงมา และเนื่องจากขนาดที่เปลี่ยนไปทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

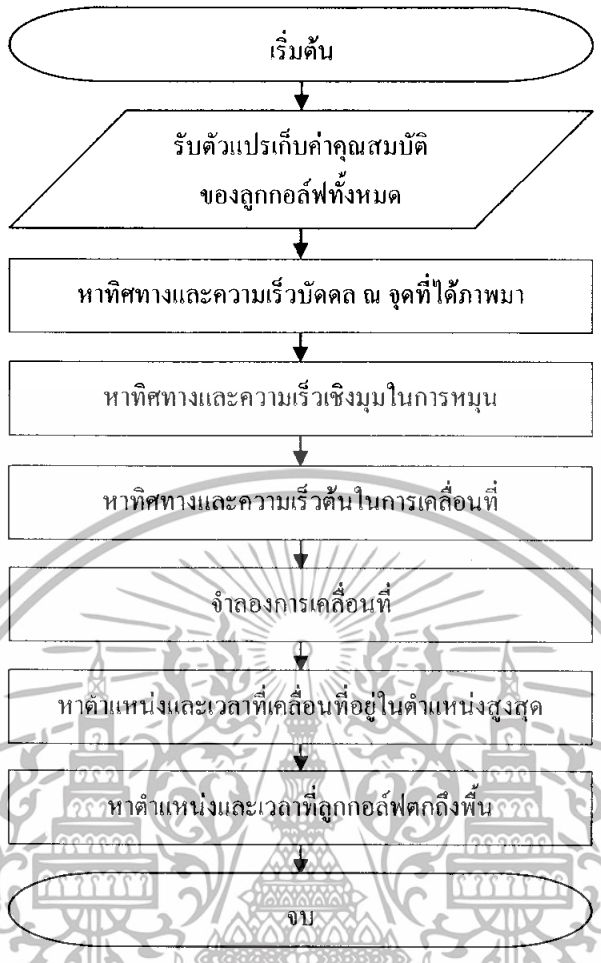
IX. เปลี่ยนตำแหน่งบนภาพเป็นตำแหน่งบนแกนอ้างอิง เริ่มจากหาระยะจากกล้องโดยใช้ขนาดของลูกกอล์ฟบนภาพคำนวณตามหลักการของการหาระยะความลึกของวัตถุจากกล้องเดี่ยว และนำค่าตำแหน่งที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งในแกนอ้างอิงของระบบเป็นแบบ 3 มิติ โดยหลักการของการเปลี่ยนตำแหน่งจาก 2 มิติเป็น 3 มิติ ในหัวข้อที่ 2.1.2.2 และ 2.1.2.3 ตามลำดับ

ส่วนการหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟสำหรับภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริงไม่สามารถทำการออกแบบและโปรแกรมการประมวลผลนี้ได้ในโครงงานนี้ เนื่องจากไม่พบหลักการหรือวิธีการในการประมวลผลภาพที่นำมาทดลองทำแล้วสามารถนำมาใช้ได้จริง และด้วยเวลาที่จำกัดจึงไม่สามารถทดลองวิธีการต่างๆ ได้ครบถ้วน

3.3.2 การโปรแกรมส่วนของการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟและจำลองการเคลื่อนที่

ไม่ว่าภาพที่ได้มาเพื่อทำการประมวลผลภาพจะเป็นไปตามสมมติฐานใดก็ตาม ในส่วนของการประมวลผลภาพหาคุณสมบัติจากภาพจะได้เป็นค่าตัวแปรคุณสมบัติของลูกกอล์ฟมาเหมือนกัน จากนั้นส่วนของการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟและจำลองการเคลื่อนที่นี้จะนำไปคำนวณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการทำงานของส่วนการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟ และจำลองการเคลื่อนที่

จากแผนภาพแสดงการทำงานของส่วนการหาคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟในการประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง สามารถอธิบายการทำงานโดยละเอียดเป็น

I. รับตัวแปรเก็บค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟทั้งหมด จากการหาค่าคุณสมบัติของลูกกอล์ฟทั้งภายนอกและภายใน

II. หาทิศทางและความเร็วบัดดล ณ จุดที่ได้ภาพมา โดยหาความเร็วและทิศทางบัดดล ณ จุดกึ่งกลางของจุด 3 จุด คือ จุดเริ่มต้นในการตี จุดที่ถ่ายภาพได้ลูกกอล์ฟลูกที่หนึ่ง และจุดที่ถ่ายภาพได้ลูกกอล์ฟลูกที่สอง ได้จุดกึ่งกลางนั้นเป็นจุดอ้างอิงของความเร็วบัดดลที่หาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. หาทิศทางและความเร็วเชิงมุมในการหมุน เนื่องจากสมมติฐานของระบบและการคำนวณตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ ใช้ความเร็วเชิงมุมในการหมุนที่คงที่ ดังนั้นจึงสามารถหาได้จากตำแหน่งของจุดอ้างอิงที่เปลี่ยนไปในการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟทั้ง 2 ลูก

IV. หาทิศทางและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ โดยคำนวณย้อนกลับตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ จากตำแหน่งจุดอ้างอิงของความเร็วบัดดลที่หาได้ โดยได้เป็นความเร็ว ณ ตำแหน่งเริ่มต้นของลูกกอล์ฟ ณ เวลาที่ t = 0

V. จำลองการเคลื่อนที่ คำนวณหาค่าตำแหน่งบนแกนอ้างอิงตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำกับลูกกอล์ฟขณะเคลื่อนที่ในอากาศ โดยเก็บเป็นค่าตำแหน่งในการเคลื่อนที่ทุกๆ เวลา 1 มิลลิวินาที ในอากาศจนถึงตำแหน่งที่ลูกกอล์ฟกระทบพื้นครั้งแรก

VI. หาตำแหน่งและเวลาที่เคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งสูงสุด จากการจำลองการเคลื่อนที่สามารถหาตำแหน่งที่อยู่สูงสุดหรือตำแหน่งที่มีค่าในแกน z มากที่สุด โดยให้เป็นตำแหน่งบนแกนอ้างอิง และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น

VII. หาตำแหน่งและเวลาที่ลูกกอล์ฟตกถึงพื้น จากการจำลองการเคลื่อนที่สามารถหาตำแหน่งที่ตกพื้น โดยนับเป็นตำแหน่งสุดท้ายของการจำลองการเคลื่อนที่ ซึ่งจะหาค่าตำแหน่งที่ตก และระยะห่างจากจุดเริ่มตี รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในอากาศ

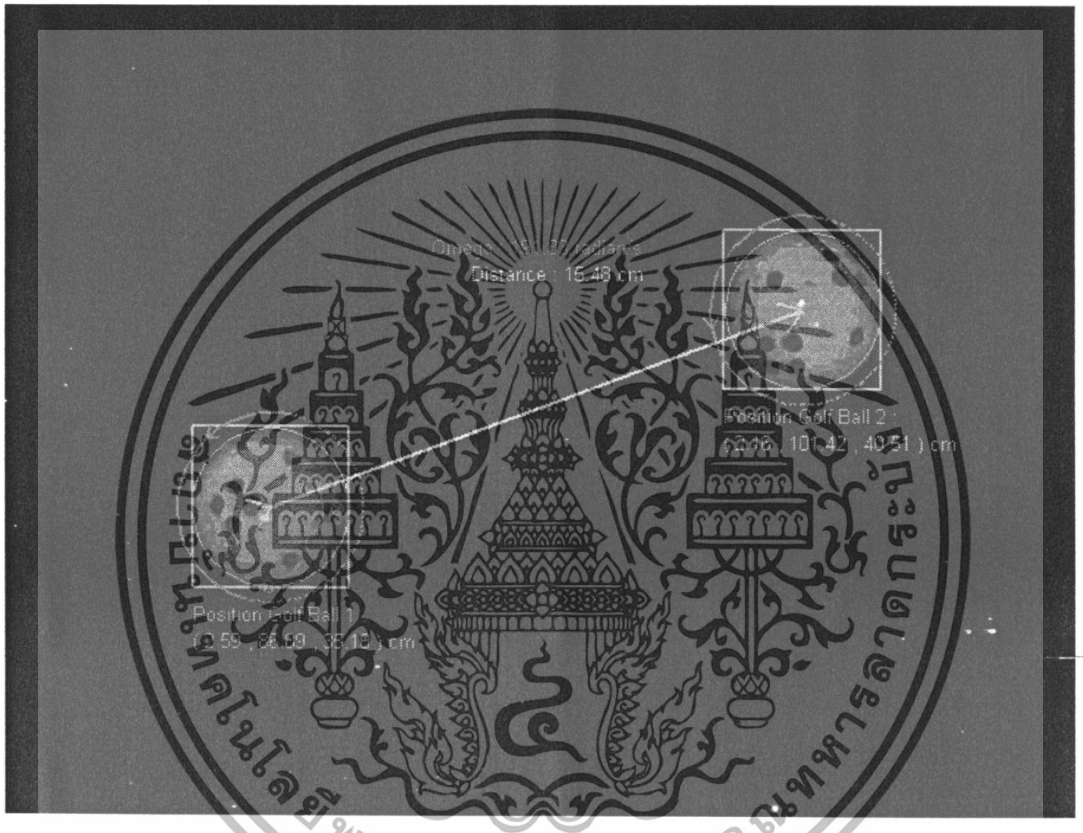
3.3.3 การโปรแกรมส่วนของการแสดงผล

สำหรับการแสดงผลจะแสดงผลเป็น 4 แบบ ซึ่งใช้ทั้งการตรวจสอบความถูกต้องและแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลและจำลองการเคลื่อนที่ โดยจะแสดงผลเป็นภาพออกมาเท่านั้นโดยไม่มีการทำ User Interface และการแสดงผลจะเป็นการแสดงค่าที่หาได้จากการประมวลผลทั้งสิ้น ซึ่งแต่ละแบบมีรายละเอียดในการแสดงผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 แสดงผลคุณสมบัติของลูกกอล์ฟบนภาพที่ใช้ประมวลผล

เป็นการแสดงผลให้ผู้ใช้สามารถเห็นภาพที่ถ่ายได้ โดยจะตัดเอาเฉพาะส่วนของลูกกอล์ฟมาแสดงผล และแสดงกรอบของลูกกอล์ฟที่หาได้ พร้อมตำแหน่งระยะห่าง และทิศทางการหมุนที่เกิดขึ้น รวมทั้งตำแหน่งจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟที่เป็นแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟที่หาได้

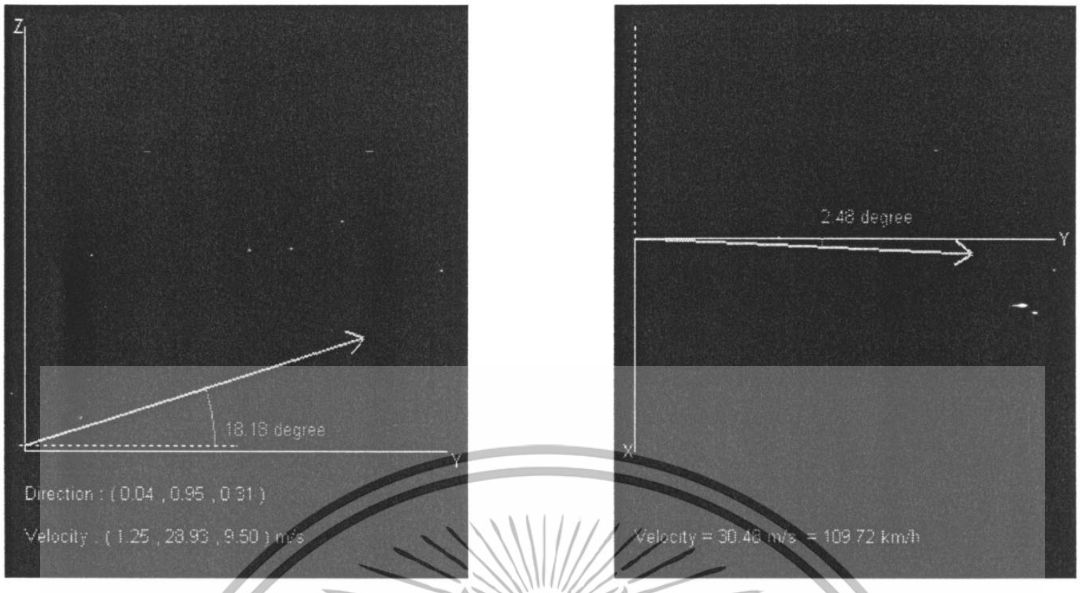


รูปที่ 3.14 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลคุณสมบัติของลูกกอล์ฟบนภาพที่ใช้ประมวลผล

3.3.3.2 แสดงผลทิศทางและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่

เป็นการแสดงผลให้ผู้ใช้เห็นทิศทางและความเร็วต้น ณ ตำแหน่งที่ตีลูกกอล์ฟเป็นอย่างไร โดยแสดงเป็นเส้นของเวกเตอร์ รวมทั้งมุมเงย และมุมที่เอียงไปจากเส้นทางการตีตามอุดมคติ ซึ่งการแสดงผลจะแบ่งเป็น 2 มุมมอง คือ มุมมองด้านข้าง และมุมมองด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

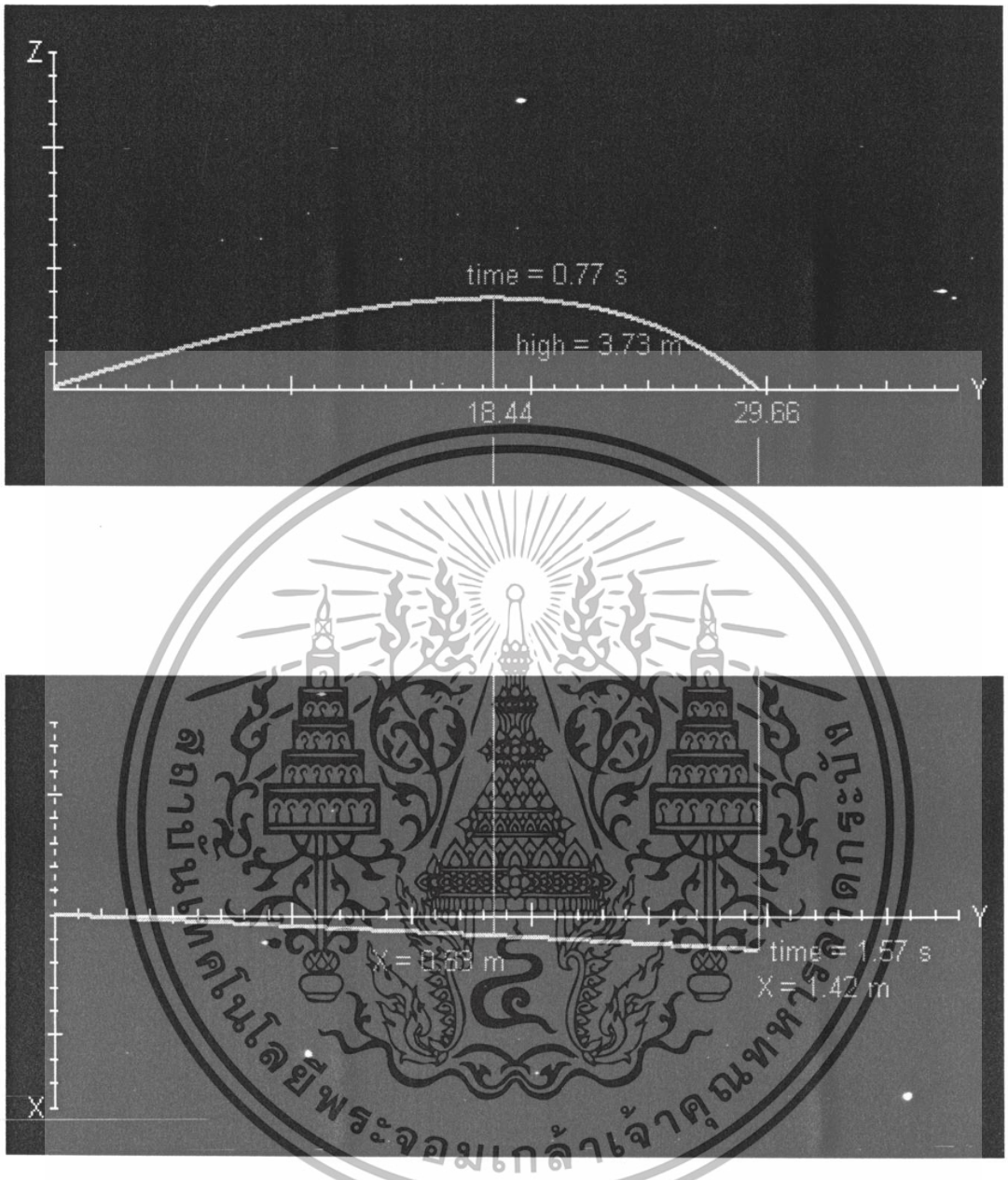


รูปที่ 3.15 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลทิศทางและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่

3.3.3.3 แสดงผลการจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

เป็นการแสดงผลให้ผู้ใช้ทราบเส้นทางที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ โดยจะแสดงเวลาและตำแหน่งที่ลูกกอล์ฟที่อยู่ในจุดสูงสุดและจุดตก โดยการแสดงผลแบ่งเป็น 2 มุมมองเช่นกัน คือ มุมมองด้านข้างและมุมมองด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

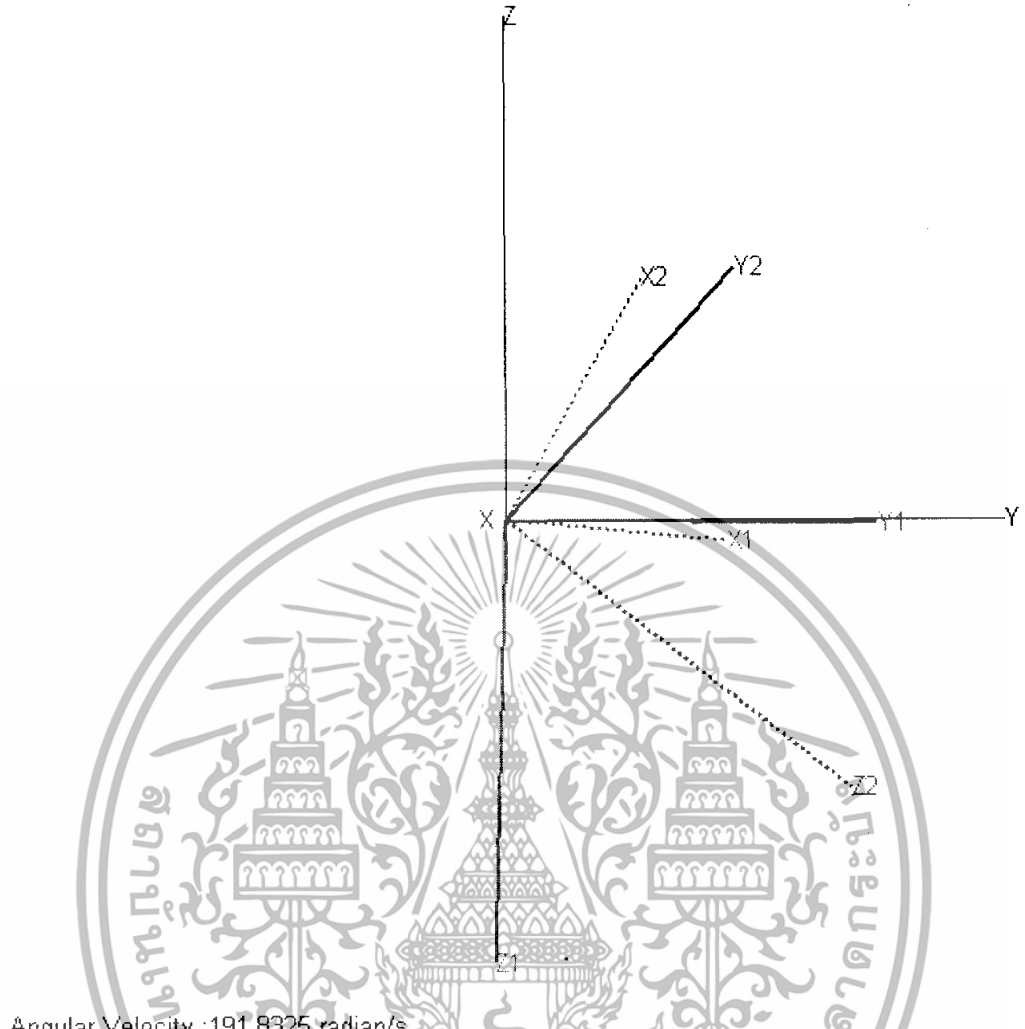


รูปที่ 3.16 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลการจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

3.3.3.4 แสดงผลแกนอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ

เป็นการแสดงผลเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องในการหาผลของการประมวลผลการหมุนเป็นหลัก ซึ่งจะแสดงเวกเตอร์ของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟทั้ง 2 ลูกในภาพเดียวกัน และให้ได้เห็นการเปลี่ยนแปลงในการหมุนไปของลูกกอล์ฟที่หาได้จากภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการออกแบบหน้าแสดงผลแกนอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ

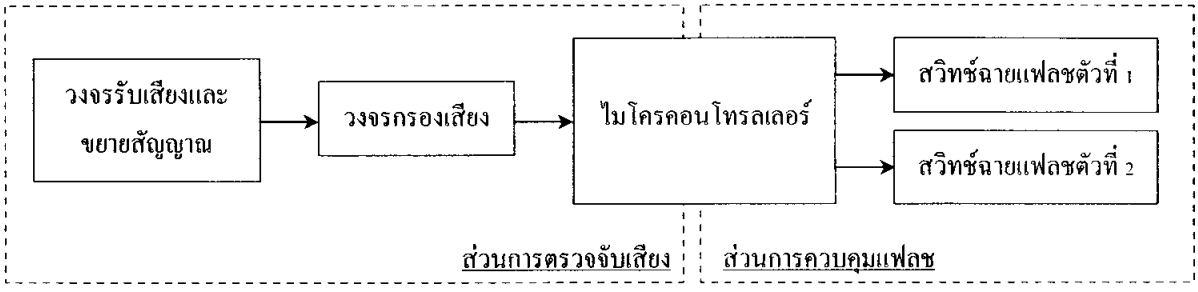
3.4 การออกแบบระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช

ระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลชมีการทำงานในการรับเสียงไม้กอล์ฟกระทบลูกกอล์ฟเพื่อเป็นสัญญาณเริ่มในการทำงานส่วนการถ่ายภาพ ซึ่งจะเป็นการสั่งงานให้แฟลชทำงานโดยการฉายแฟลชเท่านั้น

ความต้องการในการออกแบบการทำงานของระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช คือ รับเสียงการกระทบกันของไม้กอล์ฟและลูกกอล์ฟ โดยสามารถตัดเสียงรบกวนในระดับเสียงที่เบากว่าได้ และทำการหน่วงเวลาในการฉายแฟลชตามเวลาที่ต้องการในการออกแบบการทำงานของระบบ

การออกแบบระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลชได้ออกแบบเป็นส่วนๆ ในการทำงานดังแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



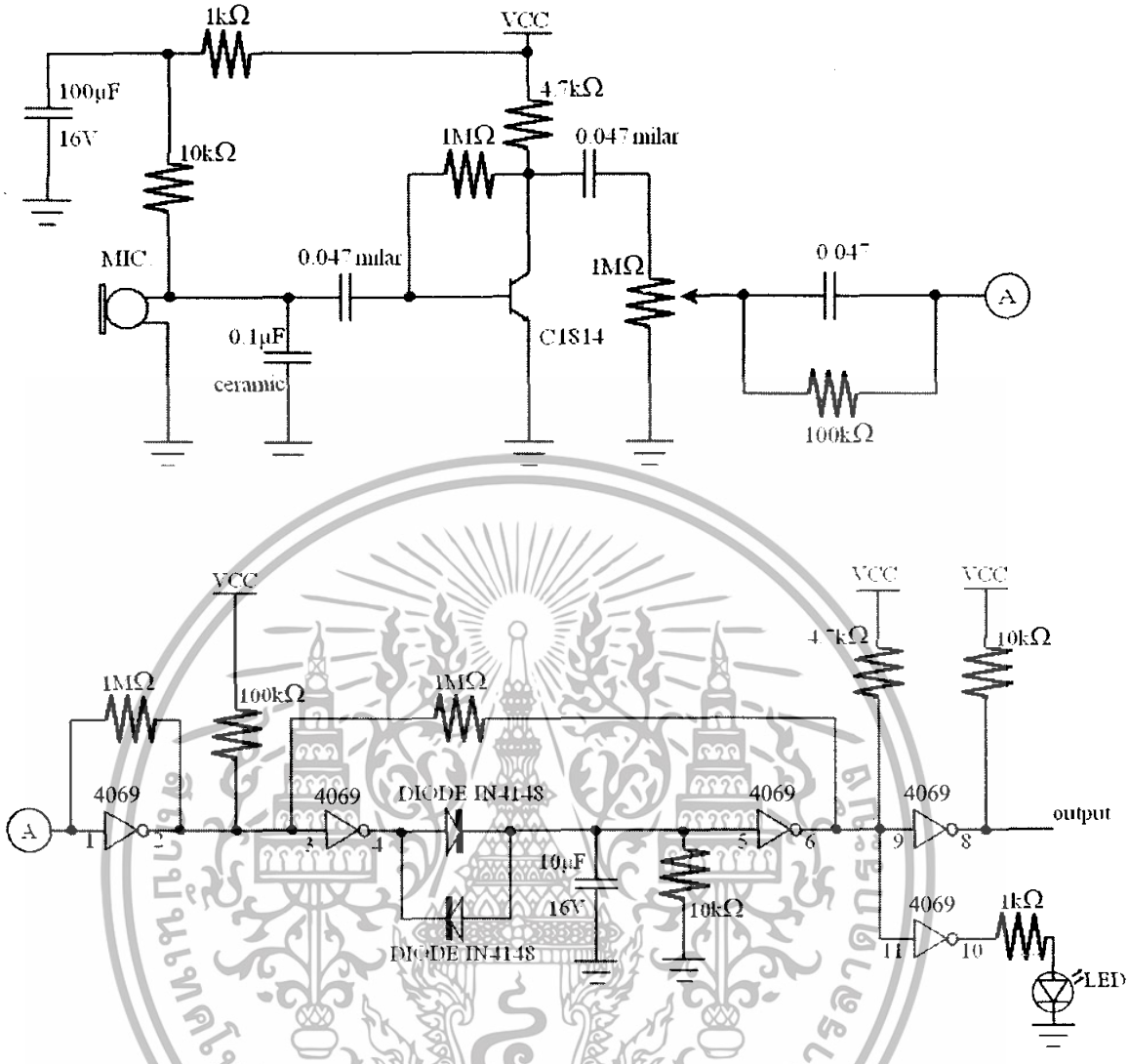
รูปที่ 3.18 แผนภาพแสดงระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช

จากรูปอธิบายการทำงานของระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลชเป็นลำดับ ดังนี้

1. วงจรรับเสียง และขยายสัญญาณ ทำงานอยู่ในส่วนการตรวจจับเสียง โดยเริ่มรับเสียงจากวงจรไมโครโฟนแปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อก (Analog) รวมทั้งทำการขยายสัญญาณอนาล็อก และส่งไปทำงานต่อ
2. วงจรกรองเสียง ทำงานอยู่ในส่วนการตรวจจับเสียงเช่นกัน โดยจะรับสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกมาทำการกรองสัญญาณให้มีลักษณะเรียบ โดยใช้ระดับของความต่างศักย์เป็นเกณฑ์ในการขยายสัญญาณให้มีความต่างศักย์เป็น 5 โวลต์ หรือลดสัญญาณให้มีความต่างศักย์เป็น 0 โวลต์ หรือเป็นตัดสัญญาณนั้นทิ้งไป โดยการใช้ระดับของความต่างศักย์ก็จะเทียบเท่ากับระดับของเสียง คือ เสียงที่ดังจะมีระดับความต่างศักย์ที่มาก ซึ่งการกรองสัญญาณเช่นนี้จะได้รับผลเป็นลักษณะสัญญาณแบบโลจิกในลักษณะของสัญญาพัลส์ (Pulse) และทำการส่งไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานต่อไป
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานเป็นตัวกลางของระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช โดยทำการรับสัญญาณพัลส์ที่ผ่านการกรองจากวงจรกรองเสียงเข้ามา และทำการหน่วงเวลาและสั่งงานให้แฟลชฉายในเวลาที่ต้องการ
4. สวิทช์ฉายแฟลชตัวที่ 1 และตัวที่ 2 จะรับสัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็นการปิดสวิทช์ ซึ่งจะทำให้แฟลชจะเกิดการลัดวงจรและเกิดการฉายแฟลชตามทันที

จากการทำการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบวงจรในส่วนการตรวจจับเสียงที่เหมาะสม จนได้รูปแบบของวงจรดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

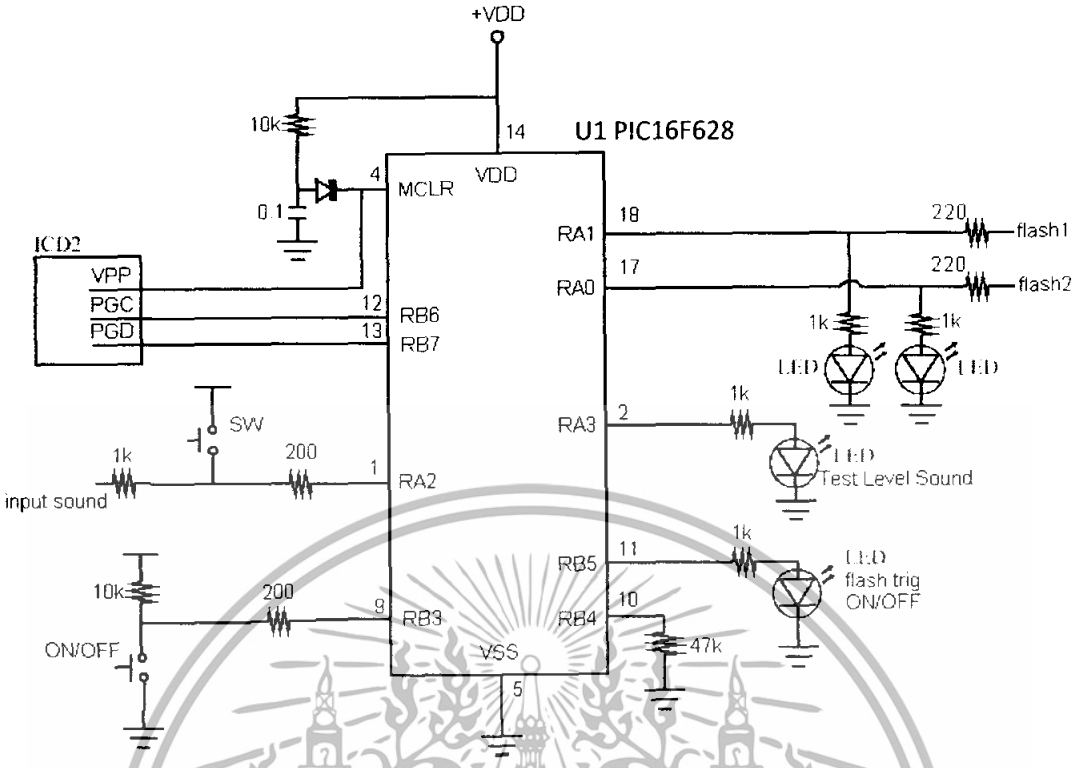


รูปที่ 3.19 แสดงวงจรในส่วนการตรวจจับเสียง

จากวงจรในส่วนการตรวจจับเสียงสามารถที่จะปรับค่าระดับความดังของสัญญาณเสียงที่เป็นสัญญาณอนาล็อก โดยการปรับค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ และทำการกรองสัญญาณเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ส่งต่อเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรเลอร์ต่อไป

สำหรับไมโครคอนโทรเลอร์ได้เลือกใช้ PIC16F628 ในการทำงาน โดยในการใช้งานจะอาศัยเครื่องโปรแกรม MCU-PIC ผ่านทาง USB พอร์ต ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบเสร็จในการโปรแกรมตัวไมโครคอนโทรเลอร์นี้ ดังนั้นจึงมีส่วนที่จะต้องต่อเพิ่มเพื่อสำหรับการโปรแกรมและประกอบรวมกับส่วนการทำงานของระบบ จึงได้เป็นแผนภาพวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



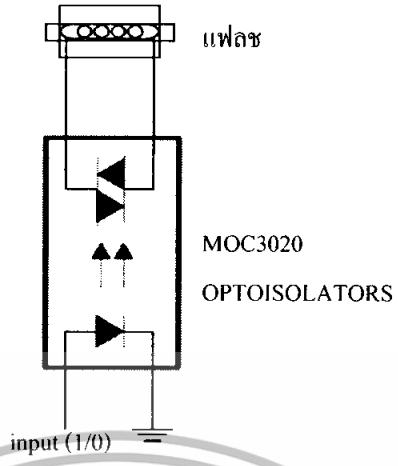
รูปที่ 3.20 แสดงวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F628

สำหรับวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ในการทำงานจะทำการรับสัญญาณพัลส์จากสัญญาณเสียงทางขา 1 หรือพอร์ต RA2 เป็นสัญญาณพัลส์เข้ามาคือได้รับสัญญาณโลจิก (Logic) เป็น 1 โดยในวงจรได้มีการต่อสวิทช์สำหรับทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการสร้างพัลส์ของสัญญาณเสียงขึ้นมาด้วย โดยถ้ามีสัญญาณพัลส์เข้าทางพอร์ต RA2 จะทำให้ไฟ LED ที่ขา 2 หรือพอร์ต RA3 สว่างขึ้น และเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงมีสวิทช์สำหรับเปิดปิดการทำงาน โดยสวิทช์จะสร้างสัญญาณพัลส์เข้าทางขา 9 หรือพอร์ต RB3 เพื่อเป็นสัญญาณว่าจะให้แฟลชทำงานหรือไม่ โดยถ้าแฟลชพร้อมทำงานอยู่จะให้ไฟ LED ที่ขา 11 หรือพอร์ต RB5 สว่างเสมอ

หลังจากไมโครคอนโทรเลอร์ได้รับสัญญาณพัลส์เข้ามาจะทำการหน่วงเวลาเป็นเวลา 30 มิลลิวินาที และทำการปล่อยสัญญาณโลจิกเป็น 1 ในการสั่งงานแฟลชตัวที่ 1 ให้ฉายแสงออกทางขา 18 หรือพอร์ต RA1 โดยปล่อยสัญญาณเป็น 1 ค้างไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยระหว่างที่ปล่อยสัญญาณค้างไว้ก็จะทำการสั่งงานแฟลชตัวที่ 2 ให้ฉายแสงออกทางขา 17 หรือพอร์ต RA0 โดยจะหน่วงเวลาให้ช้าว่าการปล่อยสัญญาณสั่งงานแฟลชตัวที่ 1 เป็นเวลา 5 มิลลิวินาที

สำหรับส่วนอื่นๆ ในวงจรจะเป็นส่วนสำหรับใช้ในการโปรแกรมตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะกล่าวถึงในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แผนภาพวงจรสวิทช์ฉายแฟลช

จากแผนภาพแสดงวงจรสวิทช์ฉายแฟลช อาศัยตัวออปโตไอโซเลเตอร์ (Optoisolators) ซึ่งจะทำงานเป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุปกรณ์ที่ต้องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ความต่างศักย์สูงๆ อย่างแฟลชที่ใช้งานที่ทำงานในความต่างศักย์ประมาณ 320 โวลต์ โดยตัวออปโตไอโซเลเตอร์จะทำให้เกิดการลัดวงจรของแฟลชแล้วแฟลชฉายแสง เมื่อได้รับสัญญาณโลจิกเป็น 1 ทางขาอินพุทของตัวออปโตไอโซเลเตอร์ ซึ่งตัวออปโตไอโซเลเตอร์จะไม่มีขั้วในการทำงานจึงสามารถต่อกับแฟลชในลักษณะใดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองที่จะกล่าวถึง จะเป็นการทดลองและผลการทดลองที่สำคัญตั้งแต่การเริ่มศึกษาข้อมูล และการออกแบบและพัฒนาจนได้มาซึ่งโครงสร้างและวิธีการสำหรับระบบ จนถึงการทดสอบระบบ โดยจะกล่าวเป็นหัวข้อเริ่มจาก การทดลองและผลการทดลองการออกแบบจุดอ้างอิง การทดลองและผลการทดลองระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช และสุดท้ายเป็นการทดลองและผลการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพ

4.1 การทดลองและผลการทดลองการออกแบบจุดอ้างอิง

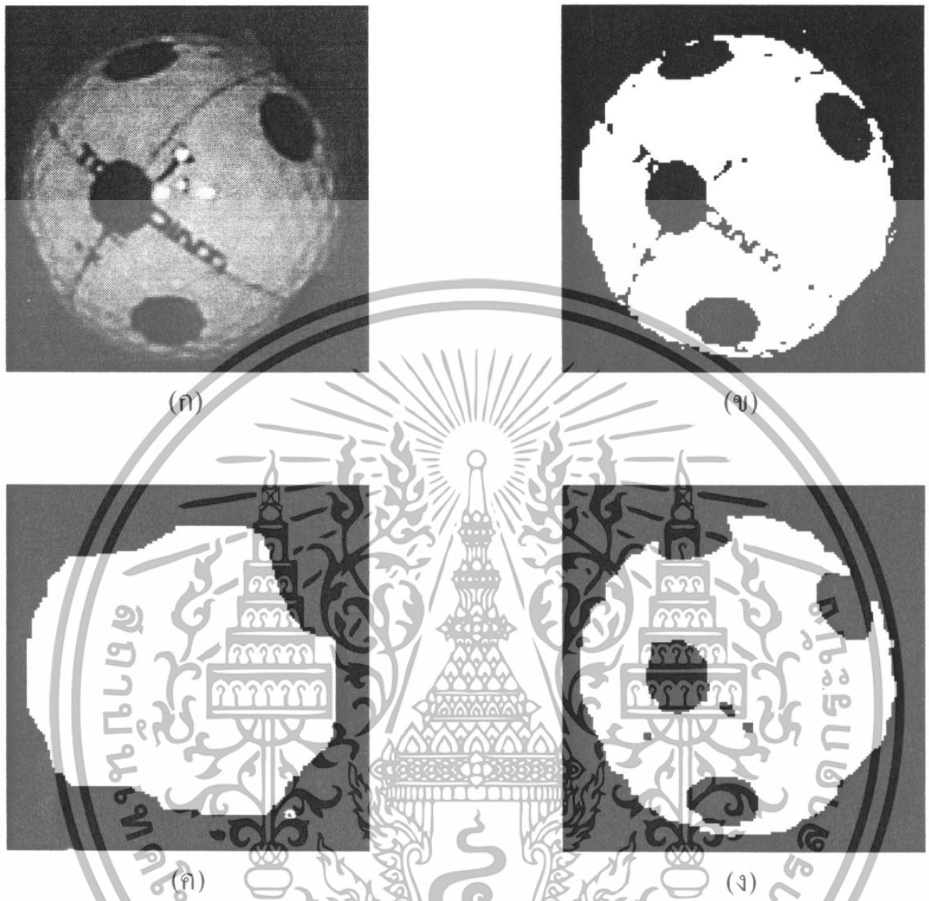
การทดลองและผลการทดลองการออกแบบจุดอ้างอิงจะเป็นไปตามการออกแบบจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟเพื่อวิเคราะห์การหมุน โดยเริ่มจากการเลือกใช้ลักษณะของจุดอ้างอิง ซึ่งใช้เป็นจุดวงกลมเป็นจุดอ้างอิง และได้ทำการทดลองเพื่อหาขนาดของจุดอ้างอิงที่เหมาะสม และทำการเลือกสีและสุดท้ายทำการพิจารณาตำแหน่งและทดลองจุดจุดอ้างอิงและพิจารณาผล โดยในส่วนของการออกแบบจุดอ้างอิงที่เป็นลำดับขั้นตอนที่ได้กล่าวมา ได้มีการทำการทดลองเพื่อหาผลเพียงส่วนเดียวคือ การทำการทดลองเพื่อหาขนาดของจุดอ้างอิงที่เหมาะสม

ในการทดลองเพื่อหาขนาดของจุดอ้างอิงที่เหมาะสมจะมีสมมติฐานสำหรับการทดลองเป็นจุดอ้างอิงที่เหมาะสม เมื่อจุดแล้วจะไม่มีผลกระทบกับภาพถ่ายลูกกอล์ฟเมื่อนำไปประมวลผลภาพ โดยจะไม่ทำให้ขนาดของลูกกอล์ฟเล็กลงจากที่ควรจะเป็น และการมองในแต่ละด้านจะต้องเห็นจำนวนจุดมากพอที่จะบอกรายละเอียดได้ว่าเป็นด้านไหน โดยที่ขนาดของจุดก็ไม่เล็กจนแยกแยะออกจากจุดไม่พึงประสงค์ในการถ่ายภาพไม่ได้

ตัวแปรในการทดลองจะเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจุด โดยเลือกที่จะทำการทดลองจุดเป็น 2 ขนาด ที่ลงตัว คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ซึ่งการเลือกใช้ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจุดอ้างอิงเพียง 2 ค่า เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าและเล็กกว่านี้ไม่เหมาะสมในแง่ของทฤษฎีอยู่แล้ว และขนาดระหว่างกลางถูกตัดออก เนื่องจากในการวัดทางกายภาพจะมีค่าความผิดพลาด โดยในที่นี้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ±0.1 เซนติเมตร และบวกกับการจุดบนพื้นผิวที่ไม่เรียบและเป็นรูปทรงกลมด้วยแล้วทำให้ค่าความผิดพลาดเพิ่มเป็น ±0.15 เซนติเมตร โดยประมาณ ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.85 ถึง 1.15 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.35 ถึง 0.65 ซึ่งการจะใช้ทำการทดลองในค่าที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 และ 1 เซนติเมตร จะเป็นการสิ้นเปลืองเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันเกินไป

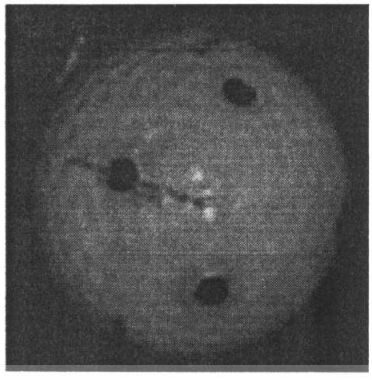
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองจะเป็นการถ่ายภาพลูกกอล์ฟและทำการประมวลผลภาพโดยเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ และกำจัดจุดไม่พึงประสงค์และเทียบภาพดูผลการทดลอง

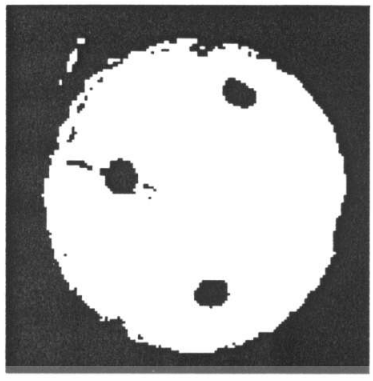


รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลการทดลองการจุดจุดอ้างอิงขนาด 1 เซนติเมตร
(ก) ภาพถ่ายลูกกอล์ฟที่โดนจุด , (ข) ผลของการประมวลผลภาพสีเป็นภาพขาวดำ
(ค) ผลของการประมวลผลกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 50 พิกเซล
(ง) ผลของการประมวลผลกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 5 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการทดลองการจุดจุดอ้างอิงขนาด 0.5 เซนติเมตร
(ก) ภาพถ่ายลูกกอล์ฟที่โดนจุด , (ข) ผลของการประมวลผลภาพสีเป็นภาพขาวดำ
(ค) ผลของการประมวลผลกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 50 พิกเซล
(ง) ผลของการประมวลผลกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 5 พิกเซล

จากภาพผลการทดลองได้แบ่งพิจารณาเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การประมวลผลภาพนอก คือภาพที่ทำการกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 50 พิกเซล โดยมีความต้องการได้ภาพที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของลูกกอล์ฟจริงที่ถ่ายได้มากที่สุด
2) การประมวลผลภายใน คือภาพที่ทำการกำจัดจุดไม่พึงประสงค์ขนาด 5 พิกเซล โดยมีความต้องการให้ได้ภาพที่เห็นขอบเขตของจุดอ้างอิงให้ชัดเจนที่สุด

จากการทดลองพบว่าจุดอ้างอิงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เป็นขนาดที่สามารถประมวลผลออกมาได้ตามความต้องการในการพิจารณาทั้ง 2 ส่วน โดยจะเห็นได้จากตัวอย่างผลการทดลอง ซึ่งในการทดลองส่วนนี้ได้ทำการถ่ายภาพในการประมวลผลไปพร้อมกับการทำการทดสอบโปรแกรมประมวลผล ซึ่งได้ถ่ายภาพจำลองไว้จำนวนหนึ่ง โดยได้ยกมาเป็นตัวอย่างผลการทดลองให้เห็นกันดังภาพ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

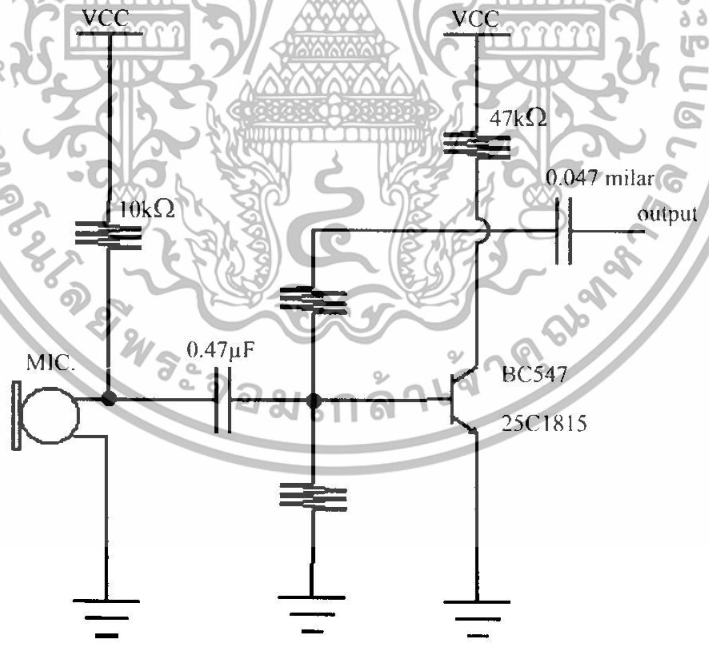
4.2 การทดลองและผลการทดลองระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช

สำหรับระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำหรับวงจรการทำงาน โดยแบ่งเป็นวงจรตรวจจับเสียง และวงจรควบคุมแฟลช ดังนั้นการทดลองจึงแบ่งการทดลองเป็นส่วนๆ ตามวงจร และสุดท้ายจะเป็นการทดลองระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลชในการถ่ายภาพ

4.2.1 การทดลองวงจรตรวจจับเสียง

การทดลองวงจรตรวจจับเสียงจะเริ่มจากการศึกษาวงจรรับเสียงและวงจรกรองเสียง ซึ่งมีอยู่มากมาย เพื่อหาวงจรที่น่าจะใช้งานในระบบได้ โดยการที่จะทราบได้ว่าวงจรใดสามารถใช้งานได้ตามความต้องการจริงๆ จะต้องทำการทดลองต่อวงจรนั้นมาทดสอบ และศึกษา จากการศึกษาจึงสามารถคัดหาวงจรที่น่าจะใช้งานในระบบได้มาจำนวนหนึ่ง โดยมีลำดับการทดลองดังนี้

- การทดลองวงจรที่ 1 วงจรส่วนรับเสียงและขยายสัญญาณเสียง

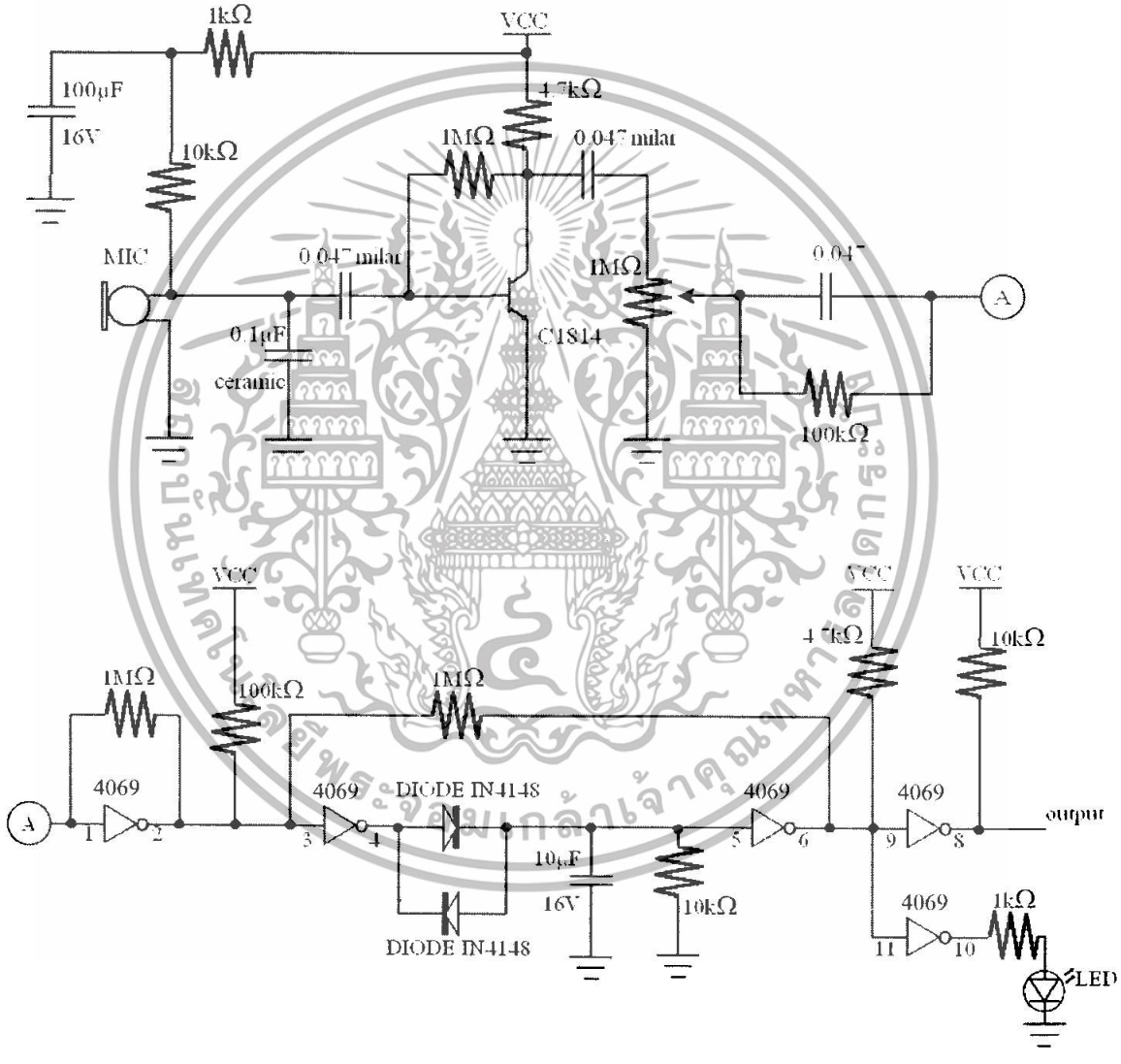


รูปที่ 4.3 แสดงวงจรตรวจจับเสียงวงจรที่ 1 ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองต่อวงจรตามแผนภาพวงจรพบสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณอนาล็อก แต่ยังไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากในการตรวจจับเสียงเพื่อส่งเป็นเอาท์พุทให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องเป็นสัญญาณแบบลอจิกเท่านั้น ดังนั้นจากแผนภาพจำเป็นต้องเพิ่มส่วนกรองข้อมูลเข้าไป

- การทดลองวงจรที่ 2 วงจรตรวจจับเสียง



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรตรวจจับเสียงวงจรที่ 2 ในการทดลอง

จากการทดลองต่อวงจรตามแผนภาพวงจรที่ 2 ซึ่งเกิดจากส่วนของวงจรที่ 1 ทำการแก้ไขให้เหมาะสมและทำการเพิ่มส่วนการกรองสัญญาณเสียง โดยผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

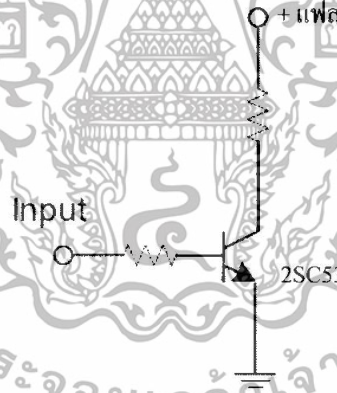
การทดลองได้พบสัญญาณไฟฟ้าเมื่อเกิดเสียง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ในระดับเสียงที่แตกต่างกัน โดยสามารถปรับค่าให้ได้ระดับเสียงที่เหมาะสมตามความดังของเสียงตีกอล์ฟ โดยภาพวงจรที่แสดงเป็นการทดลองจนสามารถหาค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้ผลตามต้องการ

4.2.2 การทดลองการวงจรควบคุมแฟลช

โดยการทำงานของแฟลช คือ แฟลชจะฉายเมื่อมีการลัดวงจรที่ขาบวกและลบของแฟลช ดังนั้นการที่จะควบคุมแฟลชได้จะต้องทำในลักษณะวงจรสวิทช์ฉายแฟลช โดยในการทดลองจะเลือกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้ง่ายมาเริ่มทำการทดลอง โดยเริ่มจาก

- การทดลองวงจรที่ 1 ทดลองใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistors)

โดยทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นทรานซิสเตอร์ที่รองรับการใช้งานกับความต่างศักย์สูงประมาณ 320 โวลต์ได้ ซึ่งทดลองใช้ High Voltage NPN Transistor เบอร์ 2SC5353 ซึ่งรอบรับการทำงานกับความต้านทานสูงสุด 800 โวลต์



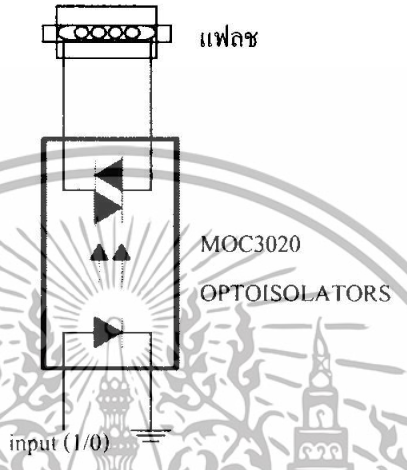
รูปที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรควบคุมแฟลชโดยทรานซิสเตอร์

จากการทดลองต่อวงจรควบคุมแฟลชโดยทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีการทดลองเปลี่ยนค่าความต้านทานในระดับต่างๆ ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากตัวทรานซิสเตอร์ในการทำงานเป็นสวิทช์ จะไม่มีการลัดวงจรโดยทันทีทันใด คือการลัดวงจรจะค่อยๆ เพิ่มความต่างศักย์ที่ผ่านตัวทรานซิสเตอร์ หรือมีการชาร์ตความต่างศักย์อย่างช้าๆ ซึ่งไม่สามารถทำให้แฟลชทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดลองวงจรที่ 2 ทดลองใช้ออปโตไอโซเลเตอร์ (Optoisolators)

โดยออปโตไอโซเลเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานเหมือนกับสวิทช์ไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์ คือ รับสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาและจะทำการลัดวงจรของขาสวิทช์ โดยออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้งานเป็นไอซี เบอร์ MOC3020 มีการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.6 แสดงภาพวงจรควบคุมแฟลชโดยออปโตไอโซเลเตอร์

สำหรับการควบคุมแฟลชโดยออปโตไอโซเลเตอร์ สามารถสั่งงานให้ทำการฉายแฟลชได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อมีอินพุทเข้าไปเป็นสัญญาณลอจิกเป็น 1 แล้วจะปิดสวิทช์ หรือลัดวงจรทันที

4.2.3 การทดลองการถ่ายภาพ

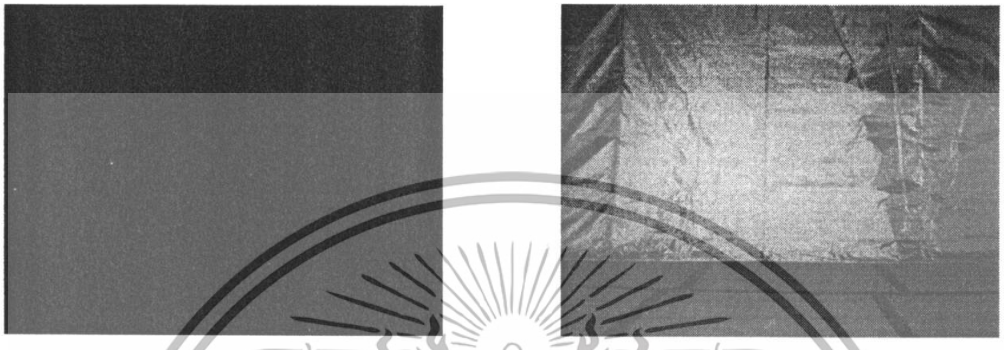
หลังจากได้ชุดอุปกรณ์ในส่วนของระบบตรวจจับเสียงและควบคุมแฟลช ซึ่งต้องทำงานร่วมกับกล้องดิจิตอลในการถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่สุดที่สามารถนำไปประมวลผลได้ โดยในการถ่ายภาพจะทำให้สภาพแวดล้อมที่จำกัด ดังนั้นจึงต้องปรับค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ต่างๆ

โดยก่อนที่จะทำการทดลองถ่ายภาพจำเป็นต้องจัดชุดอุปกรณ์ และทำการทดสอบโดยการถ่ายภาพเพื่อให้ได้สถานที่ที่มีความสว่างน้อยที่สุดจนเมื่อเปิดหน้ากล้องค้างไว้จะไม่เห็นวัตถุที่อยู่หน้ากล้องเลย

จากหลักการในการถ่ายภาพสามารถตั้งค่าต่างๆ ของกล้องได้เป็นไปตามที่ได้กล่าวไปในส่วนของการออกแบบและพัฒนาในส่วนของการเลือกใช้อุปกรณ์ โดยจากการทดลองถ่ายภาพด้วยกล้องโดยไม่มีการฉายแฟลช จะได้ภาพเป็นภาพสีดำ คือการที่ไม่เห็นวัตถุที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้ากล้องเลย และเมื่อถ่ายภาพโดยมีการฉายแฟลชจะเห็นวัตถุที่อยู่หน้ากล้องอย่างชัดเจน โดยที่มีความสว่างของแฟลชที่ทำให้ภาพพื้นหลังสีดำมีการสะท้อนแสงเป็นเงาสีขาวเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าที่ตั้งให้กับกล้องดิจิตอลสามารถใช้งานได้จริง แต่ความสว่างของแฟลชมากเกินไป

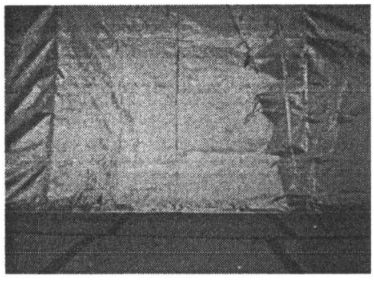


รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายที่ได้จากการทดลองกล้องโดยไม่ฉายแฟลชและฉายแฟลช

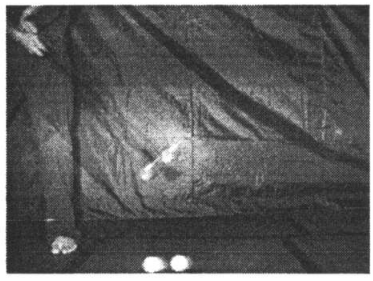
จากการทดลองจึงพบปัญหาว่าแฟลชมีความสว่างมากเกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องลดความสว่างของแฟลช

วิธีการในการลดความสว่างของแฟลชที่ช่วงภาพโดยทั่วไปใช้กันในการถ่ายภาพ คือ การใช้วัตถุโปร่งแสงในระดับต่างๆ มาปิดหน้าแฟลชเพื่อให้แสงแฟลชที่ออกไปลดน้อยลง ดังนั้นในระบบจึงใช้วิธีเดียวกันนี้ โดยวัตถุโปร่งแสงที่หามาใช้งานได้ง่ายที่สุด คือ กระดาษขาว ซึ่งจำเป็นต้องทดลองเพื่อหาว่าควรใช้วัตถุที่มีความโปร่งแสงในระดับใดจึงจะได้ภาพที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

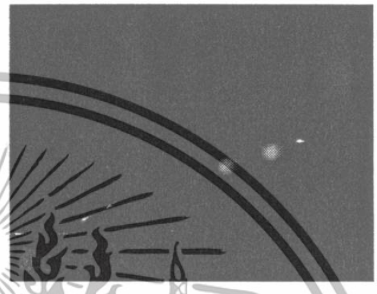


(ก)



(ข)

(ค)



(ง)

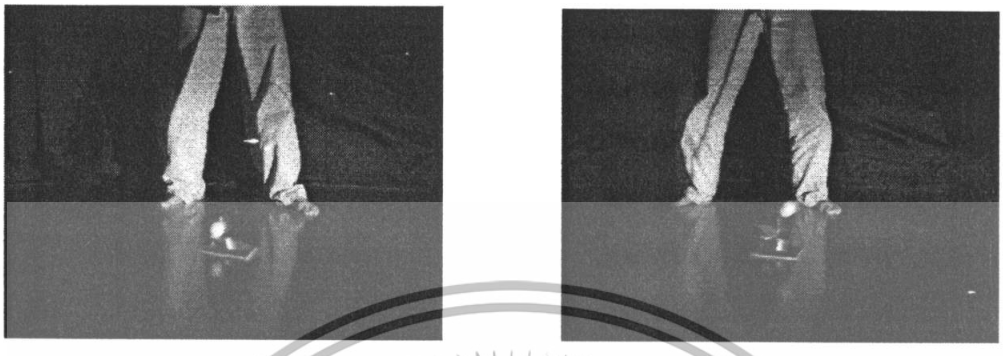
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายทดสอบแฟลชในการใช้วัตถุกรองแสงแบบต่างๆ
(ก) ไม่มีวัตถุกรองแสง (ข) ใช้กระดาษ 80 แกรม 1 แผ่น
(ค) ใช้กระดาษ 80 แกรม 2 แผ่น (ง) ใช้กระดาษ 80 แกรม 1 แผ่น และ กระดาษไข 1 แผ่น

จากการทดลองพบว่าการใช้กระดาษ 80 แกรม 1 แผ่นและกระดาษไข 1 แผ่นเป็นวัตถุในการกรองแสงแฟลชเป็นวิธีการที่ดีที่สุดโดยสามารถเห็นภาพลูกกอล์ฟได้มีความแตกต่างกับพื้นหลังมากที่สุด โดยกระดาษไขที่ใช้เป็นกระดาษที่มีความโปร่งแสงน้อยกว่ากระดาษ 80 แกรม ประมาณครึ่งหนึ่ง ดังนั้นกระดาษไขที่ใช้เทียบได้กับกระดาษ 40 แกรม 1 แผ่น ดังนั้นวัตถุที่ใช้กรองแสงเทียบเท่าได้กับกระดาษ 120 แกรมสีขาว โดยเหตุผลที่เลือกกระดาษไขมาใช้งานเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วกระดาษ 40 แกรมสีขาวไม่มีการผลิตออกขายตามท้องตลาด

ในระหว่างการทำการทดลองเพื่อหาวัตถุกรองแสงแฟลชที่ดีที่สุดได้ทำการทดลองระบบตรวจจับเสียงและแฟลชด้วย เนื่องจากเกิดปัญหาว่าควรจะใช้วัตถุกรองแสดงเป็นอะไรถึงจะเหมาะสม จึงได้ทำการทดลองระบบตรวจจับเสียงและแฟลชไปพร้อมกัน ซึ่งจากการคำนวณด้วยความเร็วสูงสุดในการตีกอล์ฟ คือ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าการตีด้วยความเร็วในระดับนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการถ่ายภาพความเร็วระดับนั้นไม่พบภาพลูกกอล์ฟบนภาพ ดังนั้นจึงต้องหาความเร็วในการตีกอล์ฟที่จะใช้ในระบบใหม่ โดยการถ่ายภาพการตีกอล์ฟที่ตำแหน่งตีโดยการฉายแฟลชทันทีก่อนเพื่อหาความเร็วที่วงจรตรวจจับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

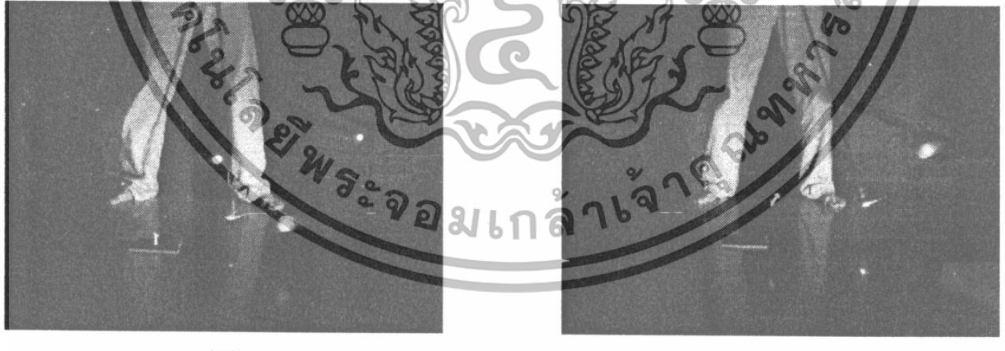
ได้รับเสียงและเวลาที่ฉายแฟลชทันที เพื่อหาเวลาหน่วงที่สามารถจะถ่ายภาพได้ในขอบเขตที่ต้องการ



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพที่ถ่าย ณ ตำแหน่งที่ดีแบบฉายแฟลชทันที

จากภาพแสดงว่าหลังจากวงจรตรวจจับเสียงได้รับเสียง สามารถทำการฉายแฟลชได้ทันทีตามที่คำนวณไว้ว่าระยะระหว่างตำแหน่งตีกอล์ฟกับไมโครโฟนไม่มีผลกับเวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงกับลูกกอล์ฟ

และทำการทดลองโดยให้แฟลชฉายหลังจากได้รับเสียงเป็นเวลา 10 มิลลิวินาที และ 20 มิลลิวินาทีตามลำดับ



(ก) (ข)

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพที่ถ่าย ณ ตำแหน่งที่ดี
(ก) แฟลชฉายหลังได้รับเสียง 10 มิลลิวินาที (ข) แฟลชฉายหลังได้รับเสียง 20 มิลลิวินาที

จากภาพลูกกอล์ฟที่ได้ ซึ่งมีความต้องการให้ได้ภาพลูกกอล์ฟอยู่ที่บริเวณในการถ่ายภาพ ซึ่งห่างจากตำแหน่งตีมากกว่า 40 เซนติเมตร และจากภาพที่ได้จึงสรุปที่จะใช้เวลาหน่วงหลังจากได้รับเสียงและทำการฉายแฟลชตัวแรกเป็นเวลา 30 มิลลิวินาที และจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองข้างต้นและทำการทดลองในการถ่ายภาพจริงตามเวลาหน่วงที่หาได้ สามารถประมาณความเร็วต้นในการตีกอล์ฟอยู่ในช่วง 70 ถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จึงได้กำหนดเป็นสมมติฐานของระบบในการพัฒนาต่อไป

หลังจากสามารถกำหนดความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ได้ จึงสามารถหาเวลาหน่วงที่ใช้ในการฉายแฟลชตัวที่ 2 ซึ่งถ้าคำนวณโดยการตีกอล์ฟไม่มีการเอียงในการตีกอล์ฟ สามารถใช้เวลาหน่วงเป็น 3 มิลลิวินาทีก็เพียงพอที่จะได้ภาพลูกกอล์ฟห่างกันเสมอทุกกรณีความเร็วต้น แต่ถ้ามีการตีเอียงจากเส้นทางการตีอุดมคติมากสุดตามสมมติฐานของระบบ เวลาหน่วงเป็น 3 มิลลิวินาที จะทำให้ตำแหน่งของลูกกอล์ฟที่เห็นอยู่ซ้อนทับกัน และเพิ่มเวลาหน่วงเป็น 4 มิลลิวินาที ลูกกอล์ฟจะอยู่ห่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาหน่วงแฟลชตัวที่ 2 อยู่ที่ 5 มิลลิวินาที เพื่อให้ระยะห่างที่เหมาะสม

ในระหว่างทำการทดลองสามารถพบปัญหาว่าสถานที่มีการสะท้อนของแสงแฟลชจากวัตถุในสถานที่ทดลอง จึงจำเป็นต้องใช้สีดำและวัตถุดำมาบังเพื่อลดลำแสงที่เกิดขึ้นเป็นแนวการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างที่ได้จากการถ่ายภาพในการตีจริงหลังการปรับค่าเวลาการหน่วงและวัตถุกรองแสงแฟลช

4.3 การทดลองและผลการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพ

การทดลองและผลการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพจะกล่าวถึงผลจากการทำงานของระบบเป็นสำคัญ โดยจะไม่กล่าวถึงการทดลองในระหว่างทำการออกแบบและโปรแกรม เนื่องจากในส่วนการทดลองนั้นเป็นเพียงการทดลองเพื่อหาค่าและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมประมวลผลภาพของระบบ ซึ่งได้สรุปเป็นผลการออกแบบและพัฒนาแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นส่วนนี้จึงเป็นการทดลองและผลการทดลองของโครงงานโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองโปรแกรมประมวลผลจะแบ่งเป็น 2 ส่วนตามการออกแบบ ตามสมมติฐานเกี่ยวกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพ ได้แก่ โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง และ โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง

4.3.1 การทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่ง

วิธีการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งจะเป็นการถ่ายภาพจำลองตามสมมติฐานที่ว่า การถ่ายภาพได้ภาพลูกกอล์ฟ 2 ลูก ในลักษณะหยุดนิ่ง ตามหลักการถ่ายภาพด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งวิธีในการถ่ายภาพจะจัดฉากให้ลูกกอล์ฟอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้คำนวณมาไว้ก่อนหน้าตามสมมติฐานของระบบ และนำภาพที่ได้ไปประมวลผล

ในการวัดผลสำหรับโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การวัดผลหาคุณสมบัติภายนอก และ การวัดผลหาคุณสมบัติภายใน

- การทดลองวัดผลหาคุณสมบัติภายนอก

สำหรับการวัดผลหาคุณสมบัติภายนอกจะนำผลของโปรแกรมไปเทียบเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวัดผลเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ และการวัดผลเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลกับค่าที่ได้จากการวัดค่าบนภาพ

การถ่ายภาพจำลองเพื่อวัดผลหาคุณสมบัติภายนอก จะถ่ายภาพการจัดฉากเฉพาะกลุ่มที่ไม่มีการหมุน โดยจะจำลองทิศทางให้มุมเงยเป็น 10 , 20 และ 30 องศา และให้ทิศทางเอียงจากแนวแกน y เป็น -20 , 0 และ +20 องศา โดยให้แต่ละกรณีมีความเร็วต้นเป็น 70 , 90 และ 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยจะยกเว้นกรณีเอียง +20 องศาที่มีมุมเงย 10 องศา ในกรณีความเร็วต้น 70 และ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากอยู่นอกสมมติฐานของระบบ และออกนอกขอบเขตของการถ่ายภาพด้วย

การถ่ายภาพจำลองจะอาศัยค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพเป็น ทิศทางของความเร็วต้นเป็น มุมเอียง มุมเงย และความเร็วต้น ซึ่งจะประมวลผลภาพหาตำแหน่งของลูกกอล์ฟในระบบในตำแหน่งในการถ่ายภาพได้เป็นตำแหน่งลูกกอล์ฟทั้ง 2 ลูก ซึ่งได้ผลเป็นไฟล์ภาพและรายละเอียดค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพแต่ละภาพตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงไฟล์ภาพจำลอง และค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพแต่ละภาพ สำหรับภาพจำลอง

ชื่อไฟล์ (.jpg)	มุมเอียง (องศา)	มุมเงย (องศา)	ความเร็วต้น (km/h)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 1 x , y , z (cm)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 2 x , y , z (cm)
A 000 0 -20 10 70	-20	10	70	-19.53 , 53.67 , 13.02	-22.76 , 62.53 , 14.43
A 000 0 -20 10 90	-20	10	90	-25.16 , 69.12 , 15.75	-29.32 , 80.56 , 17.60
A 000 0 -20 10 110	-20	10	110	-30.78 , 84.57 , 18.47	-35.88 , 98.58 , 20.78
A 000 0 -20 20 70	-20	20	70	-18.73 , 51.47 , 22.29	-21.83 , 59.97 , 25.23
A 000 0 -20 20 90	-20	20	90	-24.13 , 66.29 , 27.69	-28.12 , 77.26 , 31.52
A 000 0 -20 20 110	-20	20	110	-29.52 , 81.11 , 33.08	-34.41 , 94.55 , 37.81
A 000 0 -20 30 70	-20	30	70	-17.40 , 47.81 , 31.16	-20.28 , 55.71 , 35.56
A 000 0 -20 30 90	-20	30	90	-22.41 , 61.58 , 39.11	-26.12 , 71.77 , 44.84
A 000 0 -20 30 110	-20	30	110	-27.42 , 75.35 , 47.06	-31.97 , 87.83 , 54.11
A 000 0 +0 10 70	0	10	70	0 , 57.01 , 13.61	0 , 66.43 , 15.11
A 000 0 +0 10 90	0	10	90	0 , 73.42 , 16.51	0 , 85.58 , 18.49
A 000 0 +0 10 110	0	10	110	0 , 89.84 , 19.40	0 , 104.73 , 21.87
A 000 0 +0 20 70	0	20	70	0 , 54.40 , 23.36	0 , 63.38 , 26.47
A 000 0 +0 20 90	0	20	90	0 , 70.06 , 29.06	0 , 81.65 , 33.12
A 000 0 +0 20 110	0	20	110	0 , 85.72 , 34.76	0 , 99.93 , 39.77
A 000 0 +0 30 70	0	30	70	0 , 50.13 , 32.50	0 , 58.41 , 37.12
A 000 0 +0 30 90	0	30	90	0 , 64.57 , 40.84	0 , 75.25 , 46.85
A 000 0 +0 30 110	0	30	110	0 , 79.00 , 49.17	0 , 92.09 , 56.57
A 000 0 +20 10 110	+20	10	110	30.71 , 84.57 , 18.47	35.88 , 98.58 , 20.78
A 000 0 +20 20 70	+20	20	70	18.73 , 51.47 , 22.29	21.83 , 59.97 , 25.23
A 000 0 +20 20 90	+20	20	90	24.13 , 66.29 , 27.69	28.12 , 77.26 , 31.52
A 000 0 +20 20 110	+20	20	110	29.52 , 81.11 , 33.08	34.41 , 94.55 , 37.81
A 000 0 +20 30 70	+20	30	70	17.40 , 47.81 , 31.16	20.28 , 55.71 , 35.56
A 000 0 +20 30 90	+20	30	90	22.41 , 61.58 , 39.11	26.12 , 71.77 , 44.84
A 000 0 +20 30 110	+20	30	110	27.42 , 75.35 , 47.06	31.97 , 87.83 , 54.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้ภาพจำลองจึงนำไปประมวลผล เพื่อนำค่าจากการประมวลผลเฉพาะค่าที่เป็นคุณสมบัติตรงตามค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ ซึ่งผลของการประมวลผลจะแสดงตามตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงไฟล์ภาพจำลองและและค่าที่ได้จากการประมวลผล เพื่อเทียบกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง

ชื่อไฟล์ (.jpg)	มุมเอียง (องศา)	มุมเงย (องศา)	ความเร็วต้น (km/h)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 1 x , y , z (cm)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 2 x , y , z (cm)
A 000 0 -20 10 70	-18.66	2.94	58.74	-17.27 , 51.15 , 10.78	-21.07 , 63.37 , 12.94
A 000 0 -20 10 90	-15.78	5.23	83.83	-19.45 , 69.09 , 13.95	-24.86 , 81.52 , 16.35
A 000 0 -20 10 110	-17.62	6.08	108.12	-27.21 , 85.15 , 16.42	-29.37 , 99.57 , 19.44
A 000 0 -20 20 70	-18.41	14.81	58.70	-16.51 , 49.47 , 21.18	-23.57 , 59.75 , 24.48
A 000 0 -20 20 90	-18.64	15.30	85.87	-22.75 , 67.26 , 25.95	-25.77 , 79.79 , 31.20
A 000 0 -20 20 110	-18.34	17.05	112.49	-27.96 , 82.93 , 32.77	-27.14 , 95.75 , 35.96
A 000 0 -20 30 70	-18.85	26.64	60.96	-15.49 , 45.43 , 30.55	-19.59 , 54.73 , 35.46
A 000 0 -20 30 90	-17.26	27.13	85.53	-18.96 , 60.97 , 38.75	-22.11 , 71.84 , 43.54
A 000 0 -20 30 110	-15.33	27.81	104.39	-20.70 , 75.85 , 47.63	-26.22 , 89.73 , 53.93
A 000 0 +0 10 70	-0.99	5.14	66.45	-0.95 , 56.34 , 12.67	-1.63 , 66.74 , 13.95
A 000 0 +0 10 90	-0.32	6.31	88.97	-0.42 , 74.16 , 15.66	-0.41 , 86.95 , 17.96
A 000 0 +0 10 110	-0.59	6.94	117.66	-1.05 , 91.71 , 18.06	-0.28 , 102.70 , 20.79
A 000 0 +0 20 70	0.09	15.11	69.10	0.25 , 55.07 , 22.19	-1.82 , 63.56 , 25.57
A 000 0 +0 20 90	1.71	16.40	89.34	2.22 , 71.22 , 28.36	1.22 , 83.08 , 32.58
A 000 0 +0 20 110	-2.44	16.87	107.75	-3.78 , 87.22 , 33.99	-3.18 , 102.96 , 39.45
A 000 0 +0 30 70	1.42	26.24	66.43	1.45 , 50.19 , 32.25	-1.92 , 58.58 , 36.92
A 000 0 +0 30 90	-0.10	26.66	88.08	-0.18 , 65.44 , 40.25	0.72 , 76.38 , 46.55
A 000 0 +0 30 110	0.01	27.51	106.62	0.04 , 79.54 , 48.93	-0.39 , 93.73 , 56.75
A 000 0 +20 10 110	29.22	6.98	109.57	47.79 , 85.49 , 18.45	63.46 , 100.09 , 18.39
A 000 0 +20 20 70	26.38	16.31	74.05	25.45 , 51.18 , 22.18	28.47 , 58.59 , 24.03
A 000 0 +20 20 90	29.27	17.22	92.80	36.66 , 65.58 , 27.90	44.35 , 76.59 , 30.34
A 000 0 +20 20 110	29.21	17.00	107.18	45.81 , 81.87 , 33.06	61.78 , 96.36 , 36.98
A 000 0 +20 30 70	27.02	27.46	70.77	23.86 , 46.67 , 31.61	27.13 , 54.50 , 35.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงไฟล์ภาพจำลองและและค่าที่ได้จากการประมวลผล เพื่อเทียบกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง

ชื่อไฟล์ (.jpg)	มุมเอียง (องศา)	มุมเงย (องศา)	ความเร็วต้น (km/h)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 1 x , y , z (cm)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 2 x , y , z (cm)
A 000 0 +20 30 90	29.50	27.17	97.73	35.36 , 62.28 , 39.04	39.17 , 71.12 , 44.88
A 000 0 +20 30 110	29.94	27.66	111.05	43.27 , 75.23 , 47.03	52.59 , 88.82 , 55.55

จากผลของค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ และค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพ จะมีความแตกต่างกันอยู่ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ ส่วนหนึ่งเกิดจากการจัดฉากที่มีการวัดที่คลาดเคลื่อนไป โดยตามมาตรฐานการวัดจะมีค่าความผิดพลาดอยู่เสมอ ซึ่งในการวัดค่าในการจัดฉากสำหรับถ่ายภาพจะมีค่าความผิดพลาดในส่วนของตำแหน่งอยู่ที่ ±0.1 เซนติเมตร จากค่าความละเอียดในการวัดเสมอ แต่ตำแหน่งของลูกกอล์ฟจะเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง ซึ่งจากส่วนโค้งของทรงกลมทำให้ความผิดพลาดคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นและไม่แน่นอน

จากผลการประมวลผลภาพนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ โดยให้ค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลองเป็นตัวตั้งสำหรับการหาว่าการประมวลผลภาพว่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเท่าไร

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละไฟล์ภาพ

ชื่อไฟล์ (.jpg)	มุมเอียง (องศา)	มุมเงย (องศา)	ความเร็วต้น (km/h)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 1 x , y , z (cm)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 2 x , y , z (cm)
A 000 0 -20 10 70	-1.34	7.06	11.26	-2.26 , 2.52 , 2.24	-1.69 , -0.84 , 1.49
A 000 0 -20 10 90	-4.22	4.77	6.17	-5.71 , 0.03 , 1.80	-4.46 , -0.96 , 1.25
A 000 0 -20 10 110	-2.38	3.92	1.88	-3.57 , -0.58 , 2.05	-6.51 , -0.99 , 1.34
A 000 0 -20 20 70	-1.59	5.19	11.30	-2.22 , 2.00 , 1.11	1.74 , 0.22 , 0.75
A 000 0 -20 20 90	-1.36	4.70	4.13	-1.38 , -0.97 , 1.74	-2.35 , -2.53 , 0.32
A 000 0 -20 20 110	-1.66	2.95	-2.49	-1.56 , -1.82 , 0.31	-7.27 , -1.20 , 1.85
A 000 0 -20 30 70	-1.15	3.36	9.04	-1.91 , 2.38 , 0.61	-0.69 , 0.98 , 0.10
A 000 0 -20 30 90	-2.74	2.87	4.47	-3.45 , 0.61 , 0.36	-4.01 , -0.07 , 1.30
A 000 0 -20 30 110	-4.67	2.19	5.61	-6.72 , -0.50 , -0.57	-5.75 , -1.90 , 0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละไฟล์ภาพ

ชื่อไฟล์ (.jpg)	มุมเอียง (องศา)	มุมเงย (องศา)	ความเร็วต้น (km/h)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 1 x , y , z (cm)	ตำแหน่งลูกกอล์ฟลูกที่ 2 x , y , z (cm)
A 000 0 +0 10 70	0.99	4.86	3.55	0.95 , 0.67 , 0.94	1.63 , -0.31 , 1.16
A 000 0 +0 10 90	0.32	-0.28	1.03	0.42 , -0.74 , 0.85	0.41 , -1.37 , 0.53
A 000 0 +0 10 110	0.59	3.06	-7.66	1.05 , -1.87 , 1.34	0.28 , 2.03 , 1.08
A 000 0 +0 20 70	-0.09	4.89	0.90	-0.25 , -0.67 , 1.17	1.82 , -0.18 , 0.90
A 000 0 +0 20 90	-1.71	3.60	0.66	-2.22 , -1.16 , 0.70	-1.22 , -1.43 , 0.54
A 000 0 +0 20 110	2.44	3.13	2.25	3.78 , -1.50 , 0.77	3.18 , -3.03 , 0.32
A 000 0 +0 30 70	-1.42	3.76	3.57	-1.45 , -0.06 , 0.25	1.92 , -0.17 , 0.20
A 000 0 +0 30 90	0.10	3.34	1.92	0.18 , -0.87 , 0.59	-0.72 , -1.13 , 0.30
A 000 0 +0 30 110	-0.01	2.49	3.38	-0.04 , -0.54 , 0.24	0.39 , -1.64 , -0.18
A 000 0 +20 10 110	-9.22	3.02	0.43	-17.08 , -0.92 , 0.02	-27.58 , -1.51 , 2.39
A 000 0 +20 20 70	-6.38	3.69	-4.05	-6.72 , 0.29 , 0.11	-6.64 , 1.38 , 1.20
A 000 0 +20 20 90	-9.27	2.78	-2.80	-12.53 , 0.71 , -0.21	-16.23 , 0.67 , 1.18
A 000 0 +20 20 110	-9.21	3.00	2.82	-16.29 , -0.76 , 0.02	-27.37 , -1.81 , 0.83
A 000 0 +20 30 70	-7.02	2.54	-0.77	-6.46 , 1.14 , -0.45	-6.85 , 1.21 , 0.24
A 000 0 +20 30 90	-9.50	2.83	-7.73	-12.95 , -0.70 , 0.07	-13.05 , 0.65 , -0.04
A 000 0 +20 30 110	-9.94	2.34	-1.05	-15.85 , 0.12 , 0.03	-20.62 , -0.99 , -1.44

จากค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบพบว่าค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพ โดยสามารถจัดกลุ่มในการเปรียบเทียบและหา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน คือ การนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยกันโดยพิจารณาเครื่องหมาย และค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างซึ่งไม่มีการพิจารณาเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี

ค่าความแตกต่าง / กรณีและตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	ค่าความแตกต่างต่ำสุด	ค่าความแตกต่างสูงสุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
มุมเอียง -20 องศา และมุมเงย 10 องศา				
มุมเอียง	-2.6467	1.34	4.22	2.6467
มุมเงย	5.2500	3.92	7.06	5.2500
ความเร็วต้น	6.4367	1.88	11.26	6.4367
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-4.0333	1.69	6.51	4.0333
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.1367	0.03	2.52	0.9867
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	1.6950	1.25	2.24	1.6950
มุมเอียง -20 องศา และมุมเงย 20 องศา				
มุมเอียง	-1.5367	1.36	1.66	1.5367
มุมเงย	4.2800	2.95	5.19	4.2800
ความเร็วต้น	4.3133	2.49	11.30	5.9733
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-2.1733	1.38	7.27	2.7533
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.7167	0.22	2.53	1.4567
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	1.0133	0.31	1.85	1.0133
มุมเอียง -20 องศา และมุมเงย 30 องศา				
มุมเอียง	-2.8533	1.15	4.67	2.8533
มุมเงย	2.8067	2.19	3.36	2.8067
ความเร็วต้น	6.3733	4.47	9.04	6.3733
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-3.7550	0.69	6.72	3.7550
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	0.2500	0.07	2.38	1.0733
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.3300	0.10	1.30	0.5200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี

ค่าความแตกต่าง / กรณีและตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	ค่าความแตกต่างต่ำสุด	ค่าความแตกต่างสูงสุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
มุมเอียง -20 องศา				
มุมเอียง	-2.3456	1.15	4.67	2.3456
มุมเงย	4.1122	2.19	7.06	4.1122
ความเร็วต้น	5.7078	1.88	11.30	6.2611
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-3.3205	0.69	6.51	3.5139
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.2011	0.03	2.53	1.1722
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	1.0128	0.10	2.24	1.0761
มุมเอียง 0 องศา และมุมเงย 10 องศา				
มุมเอียง	0.6333	0.32	0.99	0.6333
มุมเงย	2.5467	0.28	4.86	2.7333
ความเร็วต้น	-1.0267	1.03	7.66	4.0800
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	0.7900	0.28	1.63	0.7900
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.2650	0.31	2.03	1.1650
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.9833	0.53	1.34	0.9833
มุมเอียง 0 องศา และมุมเงย 20 องศา				
มุมเอียง	0.2133	0.09	2.44	1.4133
มุมเงย	3.8733	3.13	4.89	3.8733
ความเร็วต้น	1.2700	0.66	2.25	1.2700
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	0.8483	0.25	3.78	2.0783
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-1.3283	0.18	3.03	1.3283
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.7333	0.32	1.17	0.7333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี

ค่าความแตกต่าง / กรณีและตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	ค่าความแตกต่างต่ำสุด	ค่าความแตกต่างสูงสุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
มุมเอียง 0 องศา และมุมเงย 30 องศา				
มุมเอียง	-0.4433	0.01	1.42	0.5100
มุมเงย	3.1967	2.49	3.76	3.1967
ความเร็วต้น	2.9567	1.92	3.57	2.9567
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	0.0467	0.04	1.92	0.7833
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.7350	0.06	1.64	0.7350
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.2333	0.18	0.59	0.2933
มุมเอียง 0 องศา				
มุมเอียง	0.1344	0.01	2.44	0.8522
มุมเงย	3.2056	0.28	4.89	3.2678
ความเร็วต้น	1.0667	0.66	7.66	2.7689
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	0.5617	0.04	3.78	1.2172
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.7761	0.06	3.03	1.0761
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.6500	0.18	1.34	0.6700
มุมเอียง +20 องศา และมุมเงย 20 องศา				
มุมเอียง	-8.2867	6.38	9.27	8.2867
มุมเงย	3.1567	2.78	3.69	3.1567
ความเร็วต้น	-1.3433	2.80	4.05	3.2233
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-14.2967	6.64	27.37	14.2967
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	0.0800	0.29	1.81	0.9367
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.5217	0.02	1.20	0.5917

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี

ค่าความแตกต่าง / กรณีและตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	ค่าความแตกต่างต่ำสุด	ค่าความแตกต่างสูงสุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
มุมเอียง +20 องศา และมุมเงย 30 องศา				
มุมเอียง	-8.8200	7.02	9.94	8.8200
มุมเงย	2.5700	2.34	2.83	2.5700
ความเร็วต้น	-3.1833	0.77	7.73	3.1833
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-12.6300	6.46	20.62	12.6300
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	0.2383	0.12	1.21	0.8017
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	-0.2650	0.03	1.44	0.3783
มุมเอียง +20 องศา				
มุมเอียง	-8.6486	6.38	9.94	8.6486
มุมเงย	2.8857	2.34	3.69	2.8857
ความเร็วต้น	-1.8786	0.43	7.73	2.8071
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-12.2900	6.4600	27.5800	14.7300
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.0371	0.1200	1.8100	0.9186
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.2821	0.0200	2.3900	0.5879
ความเร็วต้น 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง				
มุมเอียง	-2.2500	0.09	7.02	2.4975
มุมเงย	4.4187	2.54	7.06	4.4187
ความเร็วต้น	4.3500	0.77	11.30	5.5550
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-1.8175	0.2500	6.8500	2.8250
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	0.6600	0.0600	2.5200	0.9388
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.7512	0.1000	2.2400	0.8075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี

ค่าความแตกต่าง / กรณีและตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	ค่าความแตกต่างต่ำสุด	ค่าความแตกต่างสูงสุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
ความเร็วต้น 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง				
มุมเอียง	-3.5475	0.10	9.50	3.6525
มุมเงย	3.0762	0.28	4.77	3.1463
ความเร็วต้น	0.9812	0.66	7.73	3.6137
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-4.9544	0.1800	16.2300	5.0806
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.5787	0.0300	2.5300	0.9125
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.7050	0.0400	1.8000	0.7363
ความเร็วต้น 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง				
มุมเอียง	-3.7844	0.01	9.94	4.4578
มุมเงย	2.9000	2.19	3.92	2.9000
ความเร็วต้น	0.5744	0.43	7.66	3.0633
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-8.1961	0.0400	27.5800	9.1606
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-1.0783	0.1200	3.0300	1.3172
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.5878	0.0200	2.3900	0.8311
รวม				
มุมเอียง	-3.2176	0.01	9.94	3.5728
มุมเงย	3.4424	0.28	7.06	3.4648
ความเร็วต้น	1.9128	0.43	11.30	4.0368
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน x	-5.1176	0.0400	27.5800	5.8276
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน y	-0.3622	0.0300	3.0300	1.0666
ตำแหน่งลูกกอล์ฟในแกน z	0.6776	0.0200	2.3900	0.7932

จากผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง แต่ละกลุ่มกรณี จะพิจารณาได้แก่

- ส่วนตำแหน่งของลูกกอล์ฟในแกน x จะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด แต่จะมีความผิดพลาดมากสุด และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าอื่นๆ มีความคลาดเคลื่อนไป โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าในแกน x จะมีความผิดพลาดมากเมื่ออยู่ในกรณีที่ตีกอล์ฟแบบเอียงไปจากเส้นทางการตีในอุดมคติ และมีความผิดพลาดมากขึ้นอีกเมื่อตำแหน่งของลูกกอล์ฟยิ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางภาพ

- ส่วนของตำแหน่งของลูกกอล์ฟในแกน y และแกน z ซึ่งจะมีผลกับการจัดตำแหน่งในการถ่ายภาพโดยตรง โดยผลที่ได้โดยเฉลี่ยแล้วค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากสุดประมาณ 2 เท่าของค่าความผิดพลาดในการถ่ายภาพ แต่จะมีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเมื่อการตีนั้นมีทิศทางเอียงไปจากเส้นทางการตีในอุดมคติ และจะผิดพลาดแปรตามค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในแกน x
- ส่วนของทิศทางและความเร็วต้น ซึ่งในโปรแกรมประมวลผลเกิดจากการเอาตำแหน่งที่หาได้มาคำนวณ ดังนั้นยิ่งค่าความผิดพลาดของตำแหน่งยิ่งมากก็ทำให้ค่าความผิดพลาดของทิศทางและความเร็วต้นยิ่งมากขึ้น

สรุปความผิดพลาดในส่วนของตำแหน่งจะมีความผิดพลาดมากขึ้นเมื่อลูกกอล์ฟอยู่ในตำแหน่งยิ่งห่างจากจุดกึ่งกลางของภาพ และมีความผิดพลาดมากขึ้นเมื่ออยู่ในกรณีที่ตีเอียงจากตำแหน่งเส้นทางการตีอุดมคติมากขึ้น โดยค่าความผิดพลาดที่หาได้จากวิธีการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าจริงที่ใช้ในการถ่ายภาพจำลอง ไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าการประมวลผลมีความผิดพลาดเพียงไร เนื่องจากการถ่ายภาพมีความผิดพลาดที่ไม่แน่นอนอยู่ แต่ถ้าคิดความผิดพลาดของตำแหน่งในการถ่ายภาพประมาณเป็น 0.5 เซนติเมตร จะทำให้คิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในแกน y และ z มากสุดประมาณเป็น 2 เท่าของความความผิดพลาดในการถ่ายภาพ โดยจะแปรผันกับค่าความผิดพลาดในแกน x ด้วย โดยค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในแกน x ในทิศทางตามการตีในอุดมคติ มีค่าสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของค่าความผิดพลาดในการถ่ายภาพ แต่ถ้าเป็นทิศทางที่เอียงไปจากทิศทางการตีในอุดมคติ จะมีค่าความผิดพลาดถึง 10 เท่าของค่าความผิดพลาดในการถ่ายภาพ

สำหรับการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งซึ่งได้ทำการวัดผลเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลกับค่าที่ได้จากการวัดค่าบนภาพ โดยจะทำการพิจารณาขนาดและตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลูกกอล์ฟแต่ละลูก โดยในการวัดค่าบนภาพจะทำการหากรอบสี่เหลี่ยมมุมฉากของรูปลูกกอล์ฟแต่ละลูก แล้วทำการหาจุดซ้ายบนและขวาล่าง ป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมให้แต่ละไฟล์ภาพในการประมวลผล ก็จะได้เป็นค่าความแตกต่างของขนาดและตำแหน่งบนภาพ ซึ่งได้ผลตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพจำลอง (หน่วยเป็นพิกเซล)

ชื่อไฟล์ (.jpg)	ลูกกอล์ฟลูกที่ 1			ลูกกอล์ฟลูกที่ 2		
	x_{center}	y_{center}	ขนาด	x_{center}	y_{center}	ขนาด
A 000 0 -20 10 70	0.4918	1.7337	6.1894	-3.0599	1.0696	8.0647
A 000 0 -20 10 90	-0.1582	0.9292	4.1994	-1.5370	2.2467	7.4314
A 000 0 -20 10 110	-0.6968	1.5813	5.6416	-1.0116	0.8904	7.1251
A 000 0 -20 20 70	0.1417	-0.7573	4.3113	-1.4109	-0.8768	8.9461
A 000 0 -20 20 90	-1.2201	0.4580	7.4976	-1.6556	-0.1388	6.9854
A 000 0 -20 20 110	-0.4599	0.3661	9.5000	-1.4280	0.4335	7.0573
A 000 0 -20 30 70	-0.6505	-1.0927	4.6334	-1.7710	-0.5579	4.8610
A 000 0 -20 30 90	0.4385	0.5816	5.6368	-1.5050	2.0060	5.7688
A 000 0 -20 30 110	-0.1625	-0.0727	3.1427	-1.8514	0.6566	7.0000
A 000 0 +0 10 70	-1.1112	1.0145	5.8838	-3.3919	0.7512	6.1717
A 000 0 +0 10 90	-1.1029	1.5120	4.2767	-2.7864	1.8247	4.7599
A 000 0 +0 10 110	1.1211	-0.5610	6.5000	-1.0597	0.1604	5.1120
A 000 0 +0 20 70	-0.6272	-0.1481	2.0086	-2.1290	0.4866	3.8900
A 000 0 +0 20 90	-0.2347	-0.7279	0.2390	-2.0264	-0.1620	-0.1157
A 000 0 +0 20 110	0.9212	0.7462	5.6457	-1.5027	0.2857	3.9557
A 000 0 +0 30 70	-0.0055	-0.7786	2.1164	-1.6391	0.2436	7.0000
A 000 0 +0 30 90	-0.0225	-0.8116	3.0000	-1.9712	-1.0804	0.9591
A 000 0 +0 30 110	-0.0073	-1.6690	3.2415	-1.9956	0.3121	3.2393
A 000 0 +20 10 110	0.7906	-0.8723	2.7307	-3.0942	1.2090	2.6755
A 000 0 +20 20 70	-0.7306	-0.6126	1.4691	-3.2016	1.6289	2.9935
A 000 0 +20 20 90	-0.7545	-0.4990	0.5552	-3.7050	0.6805	3.1954
A 000 0 +20 20 110	0.7466	0.7805	3.5159	-2.0708	1.5966	1.1120
A 000 0 +20 30 70	-4.3504	0.9410	3.7985	-7.7562	0.3352	6.0335
A 000 0 +20 30 90	-0.5109	-0.9709	0.0556	-1.0873	0.3495	1.1648
A 000 0 +20 30 110	-0.5842	-0.3782	-1.5569	-1.0855	-0.6762	-0.8028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งของขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ซึ่งภาพส่วนใหญ่เกิดการผิดพลาดในส่วนของตำแหน่งจุดศูนย์กลางขอลูกกอล์ฟระหว่างการตัดสินใจกับการประมวลผลน้อยมาก คือไม่ถึง 1 พิกเซล ซึ่งมีผลกับตำแหน่งของลูกกอล์ฟน้อยมาก เมื่อเทียบเป็นตำแหน่งในแกน y และแกน z แต่ส่วนของการผิดพลาดของขนาด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง +10 พิกเซล ซึ่งเทียบเป็นระยะแกน x จะได้เป็นอยู่ระหว่าง +2.05 ถึง -2.05 เซนติเมตร และจะมีผลกับตำแหน่งในแกน y และ z เป็นอย่างมาก

จากการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติภายนอกทั้ง 2 วิธี สามารถสรุปได้ว่า ระบบยังคงมีค่าความผิดพลาด โดยเฉพาะการหาตำแหน่งแกน x ซึ่งจะเป็นสามารถให้เกิดความผิดพลาดในการหาค่าคุณสมบัติอื่นๆ โดยค่าผิดพลาดมีความสัมพันธ์กับลักษณะของภาพด้วย

- การทดลองการวัดผลหาคุณสมบัติภายใน

สำหรับการวัดผลหาคุณสมบัติภายในจะนำผลของโปรแกรมไปเทียบเฉพาะ และการวัดผลเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลกับค่าที่ได้จากการวัดค่าบนภาพ โดยจะเทียบค่าเป็นตำแหน่งของจุดบนลูกกอล์ฟบนภาพ

รูปที่ 4.12 แสดงภาพจากการประมวลผลลูกกอล์ฟเพื่อวิเคราะคุณสมบัติภายในลูกกอล์ฟ

จากภาพจะเห็นจุดวงกลมขนาดเล็ก ซึ่งจะระบุตำแหน่งของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟ จากนั้นสามารถหาจุดอ้างอิงที่น่าจะเป็นจากภาพ และนำมาเปรียบเทียบกันได้ผลตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพ (หน่วยเป็นพิกเซล)

ชื่อไฟล์ (.jpg)	ลูกกอล์ฟลูกที่ 1		ลูกกอล์ฟลูกที่ 2	
	Δx , Δy	ระยะห่าง	Δx , Δy	ระยะห่าง
A 000 0 -20 20 70	2.1 , 1.8	2.7659	2.3 , 1.3	2.6420
A 000 0 -20 20 90	3.0 , 2.5	3.9051	2.4 , 2.8	3.6878
A 000 0 -20 20 110	3.0 , 0.6	3.0594	2.1 , 0.8	2.2472
A 000 0 -20 30 70	1.6 , 0.8	1.7889	0.7 , 1.0	1.2207
A 000 0 -20 30 90	2.4 , 1.1	2.6401	1.6 , 1.4	2.1260
	0.3 , 2.4	2.4187	1.9 , 5.6	5.9135
A 000 0 -20 30 110	1.9 , 0.4	1.9416	1.0 , 2.4	2.6000
	0.5 , 2.0	2.0616	1.6 , 1.6	2.2627
A 000 0 +0 20 70	3.0 , 2.6	3.9699	2.1 , 2.5	3.2650
A 000 0 +0 20 90	2.4 , 1.6	2.8844	2.9 , 2.1	3.5805
	0.8 , 0.5	0.9434	3.2 , 1.8	3.6715
A 000 0 +0 20 110	1.0 , 1.5	1.8028	2.7 , 1.2	2.9547
	1.5 , 3.1	3.4438	3.7 , 2.3	4.3566
	2.6 , 2.9	3 8949	0.1 , 7.1	7.1007
A 000 0 +0 20 70	2.2 , 3.0	3.7202	2.7 , 2.0	3.3601
A 000 0 +0 20 90	2.8 , 5.5	6.1717	0.3 , 0.3	0.4243
	1.7 , 1.7	2.4042	2.0 , 0.6	2.0881
	2.6 , 7.2	7.6551	1.2 , 1.9	2.2472
A 000 0 +0 20 110	1.1 , 1.6	1.9416	1.9 , 0.1	1.9026
	3.8 , 1.1	3.9560	5.0 , 2.9	5.7801
	2.9 , 3.6	4.6228	4.0 , 2.8	4.8826
A 000 0 +20 20 70	1.5 , 2.0	2.5000	1.9 , 3.3	3.8079
	0.9 , 5.8	5.8694	3.0 , 8.6	9.1082
	3.1 , 2.7	4.1110	0.2 , 6.8	6.8029
A 000 0 +20 20 90	1.2 , 0.7	1.3892	3.8 , 0.4	3.8210
	3.9 , 9.0	9.8087	1.6 , 0.9	1.8358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติภายใน ซึ่งมีความผิดพลาดในส่วนของตำแหน่งอยู่ในระดับหนึ่ง โดยเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 4 พิกเซล เมื่อเทียบกับขนาดและความละเอียดที่ใช้ในการคิดหาตำแหน่งมีผลทำให้ตำแหน่งของแกนอ้างอิงของจุดอ้างอิงบนลูกกอล์ฟมีความผิดพลาดอย่างมาก แต่เมื่อนำไปคิดเป็นความเร็วการหมุนซึ่งจะคิดจากระดับมิลลิวินาทีเป็นวินาที ซึ่งจะทำให้ค่าทิศทางและความเร็วในการหมุนมีค่าผิดพลาดไปน้อยมากเมื่อนำไปคำนวณการเคลื่อนที่ด้วยแล้ว

ตามสมการการเคลื่อนที่ตามทฤษฎีแล้ว การหมุนมีผลกับการเคลื่อนที่ แต่สำหรับการโปรแกรมซึ่งการหมุนมีผลน้อยมากกับการเคลื่อนที่เพราะเป็นเพียงการเคลื่อนที่ในระยะสั้นๆ เท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทิศทางและความเร็วต้นที่ผิดพลาดจะเกิดจากความผิดพลาดอยู่ที่ตำแหน่งแกน x และจะมีค่าความผิดพลาดน้อยลงเมื่อลูกกอล์ฟอยู่ใกล้กับจุดกึ่งกลางของภาพในแนวการตีอุดมคติ และการหมุนที่เกิดขึ้นแม้จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้างแต่ก็มีผลกับการคำนวณการเคลื่อนที่โดยเฉพาะการนำไปหาทิศทางและความเร็วต้นด้วยแล้วยิ่งไม่มีผลกับการคำนวณนั้น แต่การผิดพลาดการหมุนในกรณีที่ตีด้วยความเร็วต่ำ จะทำให้การจำลองการเคลื่อนที่ผิดพลาดในระยะยาว

4.3.2 การทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง

โปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริงจะเป็นการหาค่าคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟเท่านั้น เนื่องจากระบบยังไม่สามารถหาคุณสมบัติภายในของลูกกอล์ฟได้

วิธีการทดลองโปรแกรมประมวลผลภาพลูกกอล์ฟจากการตีจริง จะเป็นการถ่ายภาพลูกกอล์ฟโดยทำการตีกอล์ฟจริงในระบบ เพื่อนำมาประมวลผล และสำหรับการวัดผลจะเป็นการวัดผลโดยเทียบขนาดและตำแหน่งบนภาพจากการโปรแกรมประมวลผลและการวัดค่าบนภาพด้วยมือ

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพที่เกิดจากการตีจริง

ชื่อไฟล์ (.jpg)	ลูกกอล์ฟลูกที่ 1			ลูกกอล์ฟลูกที่ 2		
	x_{center}	y_{center}	ขนาด	x_{center}	y_{center}	ขนาด
DSCO1324	3.0426	-0.9670	0.2743	0.2066	-1.9685	-3.8336
DSCO1325	1.3654	-4.8794	2.7008	-7.5911	-1.2838	4.4245
DSCO1326	4.0699	-3.6653	7.7116	-2.2295	-2.4394	2.4554
DSCO1327	1.7589	1.0293	1.3210	0.5489	-1.5704	4.4410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ ของแต่ละไฟล์ภาพที่เกิดจากการตีจริง

ชื่อไฟล์ (.jpg)	ลูกกอล์ฟลูกที่ 1			ลูกกอล์ฟลูกที่ 2		
	x_{center}	y_{center}	ขนาด	x_{center}	y_{center}	ขนาด
DSCO1347	2.5969	-0.0274	2.4691	0.9420	-0.9750	-0.1488
DSCO1348	1.6194	-1.2079	1.0973	1.5573	-1.2029	1.7550
DSCO1349	3.4565	-1.3359	2.2016	1.4673	-1.1604	-0.4128
DSCO1351	2.4417	-1.6747	1.1942	1.5201	-2.0148	0.8807
DSCO1352	0.5768	-2.5547	0.6935	-0.5445	-1.9878	1.7229
DSCO1354	0.9968	-2.3210	0.2257	-1.0009	-0.1646	-4.5450
DSCO1356	2.0655	-6.2880	4.4863	-2.3046	-2.5709	-1.0948
DSCO1358	-1.5968	-1.0427	-1.2659	-2.5238	-1.4448	0.4249
DSCO1464	1.9850	-2.0450	0.0473	-0.4737	-3.1923	-0.0783
DSCO1468	1.7795	-3.4078	2.2114	0.0787	-3.2676	2.0048
DSCO1471	-1.7005	0.0431	-2.5524	-2.9438	-0.6977	-3.1117
DSCO1566	-0.7075	-0.2495	-0.8434	-0.6205	-1.0034	-4.5351
DSCO1567	0.2585	-2.6732	0.0348	-3.1014	1.4773	-6.1537
DSCO1577	-0.6237	-0.8258	-3.6563	-1.4829	-1.6592	-0.9808
DSCO1579	2.8190	-3.1605	3.6192	-0.1877	-4.0156	-0.3779
DSCO1588	0.5805	-1.9127	0.2219	2.3151	-4.4754	1.6100

จากการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งและขนาดบนภาพจากการประมวลผลและการวัดค่าด้วยมือ พบว่าค่าที่ผิดพลาดไปมีค่าของตำแหน่งจุดศูนย์กลางอยู่ในช่วงไม่เกิน 6 พิกเซล ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่มากในระดับหนึ่ง แต่สำหรับค่าเฉลี่ยแล้วยังมีค่าไม่เกิน 1.5 พิกเซล ซึ่งเป็นค่าที่น้อยใกล้เคียงกับการประมวลผลแบบหยุดนิ่ง และสำหรับค่าความผิดพลาดในส่วนของขนาดก็มีความผิดพลาดน้อยกว่าค่าความผิดพลาดในการประมวลผลภาพหยุดนิ่งเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

จากการดำเนินงานที่ผ่านมาได้จัดทำระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ ซึ่งในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนิน และบทวิจารณ์สำหรับโครงงานนี้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ จะนำการประมวลผลภาพทางคอมพิวเตอร์จากการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในตอนต้น เป็นแนวทางในการหาคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟ คือ ทิศทาง ความเร็ว และการหมุน และประมวลผลเป็นภาพจำลองการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟที่เกิดขึ้น โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในการสร้างระบบ โดยการทำโครงงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเพื่อศึกษาหาจุดประสงค์และขอบเขตของโครงงาน เพื่อให้ได้ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟที่มีประสิทธิภาพ สำหรับระบบในโครงงานนี้จะเป็นการทำงานในการควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อให้ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัดในด้านคุณภาพทั่วไปที่หาได้ง่ายสามารถรองรับการทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยวิธีการในการถ่ายภาพมาช่วยให้สามารถใช้อุปกรณ์จำกัดในการถ่ายภาพลูกกอล์ฟที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ จึงได้ใช้การเปิดหน้ากล้องหรือชัตเตอร์ค้างแล้วใช้แสงแฟลชในการยิงเพื่อให้ได้ภาพที่เกิดจากแสงแฟลชที่ยิงสะท้อนวัตถุเข้ากล้อง และการคำนวณการเคลื่อนที่ได้จะต้องรู้จุดอย่างน้อย 2 จุด ดังนั้นวิธีการถ่ายภาพจึงอาศัยแฟลชยิง 2 ครั้งในเวลาสั้น แต่เนื่องด้วยแฟลชโดยทั่วไปต้องอาศัยเวลาในการชาร์ตไฟจึงต้องใช้แฟลช 2 ตัวในการทำงาน และการถ่ายภาพที่จะเกิดขึ้นจำเป็นต้องรู้เวลาที่ลูกกอล์ฟจะเคลื่อนที่อยู่ในขอบเขตการถ่ายภาพ จึงอาศัยสัญญาณที่แสดงว่าลูกกอล์ฟเริ่มเคลื่อนที่ คือ เสียงที่ไม้กอล์ฟกระทบกับลูกกอล์ฟ ดังนั้นในส่วนการถ่ายภาพจึงอาศัยวงจรตรวจจับเสียงเป็นตัวรับสัญญาณเริ่มถ่าย และให้เริ่มกระบวนการถ่ายภาพ แต่ด้วยอุปกรณ์ที่จำกัดทำให้การถ่ายภาพจึงไม่สามารถควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้โดยเฉพาะกล้องถ่ายรูปดิจิตอล เนื่องจากไม่สามารถหากล้องถ่ายรูปดิจิตอลที่รองรับกับความต้องการและควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นการถ่ายภาพจึงต้องอาศัยผู้ใช้งานระบบเป็นผู้กดชัตเตอร์เริ่มเปิดหน้ากล้องค้าง และให้ทำการเริ่มตีกอล์ฟในเวลาที่กำหนด และในการทำงานแต่ละครั้งจะต้องตรวจสอบความพร้อมของกล้องรวมทั้งการชาร์ตแฟลชที่ใช้ในการถ่ายภาพ หลังจากได้ภาพจึงนำภาพไปทำการประมวลผลโดยโปรแกรมประมวลผลภาพที่สร้างขึ้นด้วย MATLAB โดยการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มทำการโปรแกรมตามสมมติฐานในการถ่ายภาพที่จะได้ภาพลูกกอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดนิ่ง 2 ลูก มาทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจากการโปรแกรมสามารถทำการประมวลผลหาทิศทาง ความเร็ว และการหมุน พร้อมทั้งคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นได้ โดยมีความผิดพลาดอยู่ที่การประมวลผลหาระยะห่างจากลูกกอล์ฟถึงกล้อง เนื่องจากใช้กล้องตัวเดียวในการถ่ายภาพจึงไม่สามารถหาระยะห่างจากลูกกอล์ฟถึงกล้องได้โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ แต่ด้วยระบบอุปกรณ์ในการถ่ายภาพมีประสิทธิภาพจำกัดจึงไม่สามารถถ่ายภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งตามสมมติฐานเริ่มแรกได้ จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมต่อเพื่อให้สามารถใช้งานกับการถ่ายภาพในระบบได้ โดยในโครงงานนี้สามารถพัฒนาให้หาได้เฉพาะคุณสมบัติภายนอกของลูกกอล์ฟ คือ ตำแหน่ง และขนาดของลูกกอล์ฟเท่านั้น ซึ่งสามารถคำนวณหาการเคลื่อนที่โดยสมมติให้ไม่มีการหมุนเกิดขึ้นได้ โดยผลของการประมวลผลมีความผิดพลาดในส่วนระยะลูกกอล์ฟถึงกล้องใกล้เคียงกับการประมวลผลภาพหยุดนิ่ง แต่ความผิดพลาดในส่วนของตำแหน่งบนภาพมีความผิดพลาดมากกว่าการประมวลผลภาพหยุดนิ่ง ซึ่งจากการทำงานในโครงงานนี้แม้ว่าจะมีปัญหาและอุปสรรคบางประการทำให้ไม่สามารถทำให้ระบบสมบูรณ์ได้ แต่ก็สามารถทำงานได้ตามความต้องการสำหรับโครงงานนี้

5.2 บทวิจารณ์โครงงาน

จากผลการดำเนินงานของโครงงานระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในการตีกอล์ฟ สามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ คือ การประมวลผลหาค่าคุณสมบัติทางจลน์ของลูกกอล์ฟ เป็นทิศทาง ความเร็วและการหมุน และทำการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟได้ ตามสมมติฐานที่ว่าการถ่ายภาพได้ลูกกอล์ฟ 2 ลูกหยุดนิ่ง ด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องตัวเดียวและเปิดหน้ากล้องและแฟลชถ่ายแสงในการถ่ายภาพ โดยมีปัญหาสำหรับระบบ เริ่มที่การถ่ายภาพไม่สามารถสร้างระบบที่ทำงานโดยมีผู้ใช้งานเข้าไปเกี่ยวข้องให้น้อยที่สุดได้ เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัดด้านคุณภาพและคุณทรัพย์ และปัญหาในการคำนวณการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ ซึ่งเป็นการคำนวณโดยการประมาณ เนื่องจากการคำนวณการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟเป็นเรื่องที่มีความละเอียดสูงมากและกำลังอยู่ในระดับการวิจัยเป็นจำนวนมาก โดยการคำนวณตามทฤษฎีที่มีอยู่จะเป็นการคำนวณเฉพาะสภาพแวดล้อมที่จำกัด หรือเป็นการประมาณในช่วงตัวแปรที่จำกัดเท่านั้น ดังนั้นทำให้ขอบเขตการทำงานได้ของระบบจึงถูกจำกัดให้แคบลง และด้วยการถ่ายภาพที่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้ได้ในสภาพแวดล้อมที่สม่ำเสมอและคงที่ทุกครั้งในการทำงานของระบบแต่ละครั้ง ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลขึ้นในช่วงที่มีความแตกต่างกันมากตามลักษณะของภาพที่ถ่ายได้ และด้วยสาเหตุทั้งหมดทำให้การทำงานของระบบไม่สมบูรณ์โดยประสิทธิภาพและความสะดวกเท่าที่ควร แต่ยังคงสมบูรณ์ตามจุดประสงค์ของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

เนื่องด้วยข้อจำกัดในหลายๆ ด้านทำให้ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟจากการตีกอล์ฟขาดความสมบูรณ์ในหลายๆ ด้าน เป็นเหตุมีความต้องการที่จะให้มีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้ระบบที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นไป จากผลการดำเนินงานทำให้ทางคณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อดังนี้

5.3.1 ด้วยการทำงานที่อาศัยการถ่ายภาพจากกล้องตัวเดียวทำให้การประมวลผลระยะห่างระหว่างลูกกอล์ฟกับกล้องมีความผิดพลาดมากขึ้น ดังนั้นการทำให้ระบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรจะต้องมีการประกอบการประมวลผลในลักษณะอื่นด้วย หรือจะเป็นการถ่ายภาพในมุมมองอื่นๆ เพิ่มขึ้น

5.3.2 ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพที่ใช้ MATLAB ในการประมวลผลทำให้การประมวลผลช้ามาก ดังนั้นการพัฒนาให้ใช้ภาษาอื่น ในการประมวลผลจะช่วยให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

5.3.3 ด้วยปัญหาด้านสถานที่ที่กำหนดให้มีขนาดจำกัด และมีการควบคุมสภาพแวดล้อม แต่ด้วยสถานที่ที่จัดขึ้นยังมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้านจึงไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ที่เท่าที่ควรทำให้ภาพถ่ายที่ได้มีความผิดพลาดที่ไม่สม่ำเสมอ โดยจะเห็นได้จากภาพเทียบกับผลความผิดพลาดที่ออกมา

5.3.4 สำหรับการคำนวณการเคลื่อนที่ที่อาศัยหลักการที่ใช้การประมาณทำให้งานเคลื่อนที่ผิดพลาดไป และด้วยงานวิจัยในการคิดหาหลักการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง น่าจะพบหลักการที่คำนวณหาการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟได้ดีกว่าหลักการที่ใช้อยู่

5.3.5 ด้วยการติดตั้งตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยอุปกรณ์พื้นฐานเป็นอุปกรณ์วัดทั่วไปจึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการติดตั้งตำแหน่งของอุปกรณ์อย่างยิ่ง ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรมีการติดตั้งตำแหน่งของอุปกรณ์ที่มีคุณภาพกว่าโครงงานนี้ รวมถึงการจุดจุดอ้างอิงผลผิวลูกกอล์ฟด้วย

5.3.6 ด้วยปัญหาในการถ่ายภาพที่ไม่ได้ภาพลูกกอล์ฟหยุดนิ่งเนื่องจาก แฟลชที่มีการฉายแสงนานเกินไป และมีการฉายแสงที่สว่างเกินไป รวมทั้งกล้องดิจิตอลที่มีการค้างของเซนเซอร์รับแสงช่วงเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดเป็นภาพลูกกอล์ฟแบบเป็นลำแสดงในการตี ดังนั้นการจะแก้ไขได้จำต้องอาศัยแฟลชที่มีความเร็วสูงขึ้นและมีแสงสว่างที่น้อยกว่าที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยไม่สามารถใช้แฟลชที่มีอยู่โดยทั่วไปได้ ดังนั้นอาจแก้ไขโดยการออกแบบวงจรแฟลชหรือหลอดไฟแบบสว่างพิเศษในการฉายแสงแทน

5.3.7 ด้วยปัญหาด้านกล้องถ่ายภาพซึ่งต้องอาศัยผู้ใช้งานระบบในการควบคุมและสั่งงานโดยตรง เนื่องจากไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่มีการทำงานได้ตามความต้องการจากคุณทรัพย์ที่จำกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เดอะ รอยัล แอนด์เอนเชี่ยน กอล์ฟคลับ ออฟ เซนต์ แอนด์ดรูวส์ และสมาคมกอล์ฟแห่งสหรัฐอเมริกา แปลและเรียบเรียงโดย สมาคมกอล์ฟแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. **กฎข้อบังคับกีฬากอล์ฟ และสถานภาพนักกอล์ฟสมัครเล่นมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2547 – 31 ธันวาคม 2550.** พิมพ์ครั้งที่ 1.

[2] SportsCoach. **"Golfotron Golf Simulator."** [Online]. Available : http://www.golfotron.com/. 2007.

[3] GOLFZON Vertrieb Europe & Business Development. **"Golfzon."** [Online]. Available : http://www.golfzon.info/. 2007.

[4] Wikimedia Foundation. **"กอล์ฟ."** [Online]. Available : http://th.wikipedia.org/wiki/กอล์ฟ. 2007.

[5] Wikimedia Foundation. **"Golf."** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Golf. 2007.

[6] Stalker Applied Concepts. **"Stalker Radar Speed Sensor."** [Online]. Available : http://www.stalkerradar.com/stalker-speed-sensor/. 2005.

[7] John Steinbreder. "Cover Story All Wired." **The Met Golfer.** 2006, August/September. pp.30-38.

[8] Dow Jones & Company. **"Swinging in Cyberspace."** [Online]. Available : http://online.wsj.com/article/0,,SB111323407237703547,00.html. 2005.

[9] Golf Achiever Focaltron. "The Ultimate Golf Analyzer." **Golf Achiever Manual.** 2002.

[10] Katsuhiko Masuda, Koji Yataka, Yasuyuki Chujo, Katsuhumi Kondo, and Kenzaburo Iijima YAMAHA Corporation, Technical Development Laboratory. "Measurement of Initial Conditions of a Flying Golf Ball" **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, 1994. IMTC/94.

[11] Raquel Urtasun, David J. Fleet, and Pascal Fua. **Temporal Motion Models for Monocular and Multiview 3–D Human Body Tracking.** Swiss National Science Foundation. 2006.

[12] Tetsuya S. Shimizu, Yoshiyuki Mochizuki, Taku Komura, and Ryutaro Himeno. "A Prototype of Technique Training System for Human Motion (Swing)." **Computational Biomechanics. RIKEN Symposium.** 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] T. Hayashida, K. Kitamura, M. Yamada, H. Ootake, H. Maruyama, K. Tanioka, H. Miyakoshi, T. Goji Etoh, T. Yoshida, Y. Kondo, and S. Kanayama. "Development of an Ultrahigh-Speed High-Sensitivity 3-CCD Camera." **NAB BEC Proceedings**. 2004, pp.415-418.

[14] Friend for Golfers. **"GOLF OPTIMIZER."** [Online]. Available : http://www.friend-for-golfers.com/. 2007.

[15] Vincenzo Caglioti and Alessandro Giusti. "Ball trajectory reconstruction from a single long-exposure perspective image." **Artificial Intelligence and Robotics Laboratory.** 2006.

[16] Giacomo Boracchi, Vincenzo Caglioti, and Alessandro Giusti. "Ball Position and Motion Reconstruction from Blur in a Single Perspective Image." **Artificial Intelligence and Robotics Laboratory.** 2007.

[17] Steve Haake. "Sports Engineering." **Ingenia.** 2002, May. pp.23-30.

[18] Canon Flash Work. **"Flash special effects."** [Online]. Available : http://eosseries.ifrance.com/eosseries/en/flashwork/flashwork_effets.html. 2000.

[19] Andrew Davidhazy. **Introduction to Digital Stroboscopic Motion photography.** Rochester Institute of Technology. 2002.

[20] Alasdair McAndrew. **Introduction to Digital Image Processing with MATLAB.** Thomson. 2004.

[21] Rafael C. Gonzalez , Richard E. Woods ,and Steven L. Eddins. **Digital Image Processing Using MATLAB.** Pearson Education. 2004.

[22] คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **ฟิสิกส์1.** พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2532.

[23] Kevin Edward Warring. **"The Aerodynamics of Golf Ball Flight."** Ph.D. Thesis of University of St. Mary's College of Maryland. 1993.

[24] Probable Golf Instruction, Ken Tannar. **"Science and Mathematics of Golf Research."** [Online]. Available : http://probablegolfinstruction.com/science_golf_ball_flight.htm. 2007.

[25] Nature Physics Portal. **"The Dynamics of a Golf Ball"** [Online]. Available : http://www.nature.com/physics/looking-back/tait/index.html#f15. 2006.

[26] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตรน์ ภัทรอมรกุล. **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1.** อินโฟเพรส. 2543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[27] ไพศาล โมลิสกุลมงคล. **คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ใช้ OpenGL (Computer Graphics using OpenGL).** ดวงกมลสมัย. เมษายน 2550.

[28] D. Hearn and M.P. Baker, "**Computer Graphics with OpenGL**," 3nd Edition., Prentice Hall, 2004, ISBN 0-13-015390-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ

ทฤษฎีสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟในอากาศ ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้จะช่วยทำให้เราคำนวณหาตำแหน่งปลายทางที่ลูกกอล์ฟจะตกได้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น ทฤษฎีสำคัญที่จะกล่าวถึงคือทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลม

เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านลมจะเกิดปรากฏการณ์ที่ลมสัมผัสกับวัตถุและติดไปกับวัตถุ เนื่องจากเกิดการดึงดูดกันระหว่างโมเลกุลของลมกับวัตถุ เมื่อลมพัดผ่านพื้นผิวของวัตถุความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคของลมที่อยู่ใกล้กับวัตถุและวัตถุจะเท่ากับศูนย์ ยิ่งห่างออกไปจากพื้นผิวของวัตถุนั้นโมเลกุลของลมยังคงมีความหนืดอยู่แต่โมเลกุลของลมสามารถเคลื่อนที่ได้บ้าง และยิ่งอยู่ห่างออกไปมากระยะห่างระหว่างลมกับพื้นผิววัตถุมากพอที่ความหนืดจะไม่สร้างความเสียดทานในการเคลื่อนที่ของลม ระยะทางจากพื้นผิวไปยังจุดที่ความเสียดทานหรือความฝืดนี้จะถูกละได้นั้นเรียกว่าชั้นขอบ(boundary layer)[Walker, Jearl. "More in boomerangs, including their connection with the dimpled golf ball ," Scientific American, April 1979,p 180]

เหตุการณ์ที่สามารถเห็นได้ชัดเช่นฝุ่นที่เกาะอยู่บนแก้วซึ่งใกล้พอที่อยู่ในเขตของชั้นขอบเวลาที่เราล้างแก้วจะทำให้ฝุ่นเหล่านั้นไม่ถูกล้างออกไปด้วยซึ่งเกิดจากแรงหนืดของชั้นขอบนั่นเอง

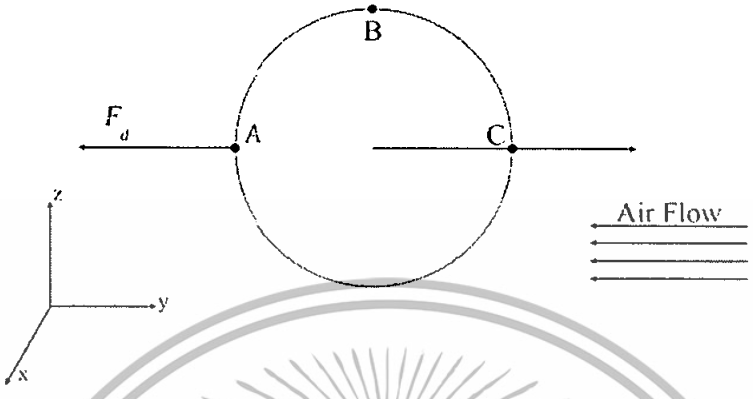
ทฤษฎีที่จะกล่าวถึงคือทฤษฎีแรงฉุดหรือทฤษฎีแรงต้านอากาศ (drag force) และแรงแมกนัส(Magnus force) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการหมุนตัวของวัตถุทำให้เกิดการเสียดสีกับลมทำให้เกิดแรงฉุดตามมา

ในเรื่องของแรงฉุดนั้น ลักษณะทางกายภาพของลูกกอล์ฟจะมีผลต่อแรงฉุดด้วย ถ้าเราลองพิจารณาจากรูปดังต่อไปนี้ควบคู่ไปกับทฤษฎีของชั้นขอบ ในลูกกอล์ฟที่มีความเรียบของพื้นผิวนั้น ลมที่เคลื่อนที่จาก A ไป B เป็นการเคลื่อนที่จากพื้นที่มีความดันสูงไปยังพื้นที่ความดันต่ำ ความดันตรงนี้จะช่วยทำให้ลมมีความเร็วมากยิ่งขึ้นแต่เมื่อลมเคลื่อนที่จาก B ไปยัง C เป็นการเคลื่อนจากพื้นที่ความดันต่ำไปยังพื้นที่ความดันสูงซึ่งทำให้สูญเสียความเร็ว เมื่อผลของความหนืดในชั้นขอบนั้นมากพอจะทำให้ลมที่อยู่ใกล้พื้นผิวของลูกกอล์ฟถูกทำให้หยุดก่อนที่จะไปถึง C

แต่สำหรับลูกกอล์ฟที่มีรอยบุ๋มทั่วลูกนั้นมีความแตกต่างกัน พื้นผิวของรอยบุ๋มเหล่านั้นจะไปกวนชั้นขอบทำให้ลมเปลี่ยนแปลงโดยเปลี่ยนจากการสะสมไว้ที่ B โดยลมที่มีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจะพัดพาเอาชั้นขอบไปด้วยซึ่งช่วยเพิ่มลมที่ไหลบนพื้นผิวของลูกจากพื้นที่ความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B ไปยังพื้นที่ C ที่มีความดันสูงกว่า [Jorgensen, Theodore P. The Physics of Golf, 2nd edition. New York: Springer-Verlag, 1999,p. 71-72]



รูปที่ ก.1 แสดงทิศทางของแรงฉุดที่กระทำกับลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศ

ลูกกอล์ฟที่มีรอยบุ๋มทั่วลูกจะช่วยให้เกิดชั้นขอบเพิ่มขึ้นที่พื้นผิวรอบลูกกอล์ฟทำให้เวคของลม(wake) หรือคลื่นที่เคลื่อนกระจายออกไปด้านหลังน้อยลงเป็นผลให้ความดันต่ำลงและทำให้ลมไหลไปรอบๆลูกง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถึงเวกจะน้อยลงแต่ก็ยังเป็นจุดกำเนิดที่มีความดันสูง ความดันสูงนี้เป็นแรงต้าน แรงที่ต้านการไหลของอากาศจากพื้นที่ความดันต่ำ B ไปยังพื้นที่ความดันสูง C นั้นคือแรงฉุดที่คอยฉุดลูกกอล์ฟในขณะเคลื่อนที่ในอากาศ สมการของการฉุดเป็นสัดส่วนกับสัมประสิทธิ์การฉุด C_d สัมประสิทธิ์การฉุดเป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นฟังชั่นของตัวเลขเรย์โนลด์หรือ Re สำหรับทรงกลมที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศ

$$\mathrm{Re} = (\rho v D)/\eta \tag{1}$$

ในสมการนี้ทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ลมมีความหนาแน่น ρ และมีความหนืดทางจลศาสตร์ η สมการของแรงฉุดคือ

$$F_d = (.5)C_d \rho_{air} A v^2 \tag{2}$$

ซึ่ง A เป็นพื้นที่ตัดขวางบนลูกกอล์ฟและ

$$A = \pi r^2 \tag{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ r เป็นรัศมีของลูกกอล์ฟ จะสังเกตได้ว่าแรงฉุดเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็ว ดังนั้นถ้าวัตถุยิ่งเคลื่อนที่เร็วมากเท่าไรจะยิ่งทำให้แรงฉุดมีค่ามากเท่านั้น

ตัวเลขเรโนลด์เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงหนืดและแรงเริ่มต้นที่กระทำบนวัตถุเคลื่อนผ่านของไหล แรงเริ่มต้นถูกอ้างอิงด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$F_i = (\rho l S v)/t \tag{4}$$

$$F_v = (\mu S v)/l \tag{5}$$

$$\mathrm{Re} = {F_i}/{F_v} = ({\rho v l}/{\eta}) \tag{6}$$

โดยที่ l ในที่นี้หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกอล์ฟ[Vogel, Steven. Life's Devices, New Jersey: Princeton University Press, 1988, p.115]

ในของไหลหรืออากาศที่กำหนดนั้นสามารถจัดการขนาดและความเร็วได้ ลูกกอล์ฟเมื่อเทียบกับลูกบาสเก็ตบอลนั้นมีขนาดเล็กกว่าและความเร็วสูงกว่าอาจมีค่าตัวเลขเรโนลด์ได้เท่ากัน หากมีการเปลี่ยนค่าตัวเลขเรโนลด์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนโค้งของวัตถุได้ หากค่าตัวเลขเรโนลด์ต่ำลักษณะการโค้งของคลื่นจะเป็นชั้นและเป็นลำดับแต่ถ้าค่าสูงลักษณะคลื่นจะเพิ่มความไม่เป็นระเบียบซึ่งความปั่นป่วนของอากาศจะเกิดขึ้น[Vogel, Steven. Life's Devices, New Jersey: Princeton University Press, 1988, p.117]

สัมประสิทธิ์การฉุดมาจากการแบ่งการฉุดต่อหนึ่งพื้นที่โดยความดัน เป็นผลลัพธ์ให้เกิดค่าคงที่ที่ต่างกันที่ตัวเลขเรโนลด์ สัมประสิทธิ์การฉุดคือ

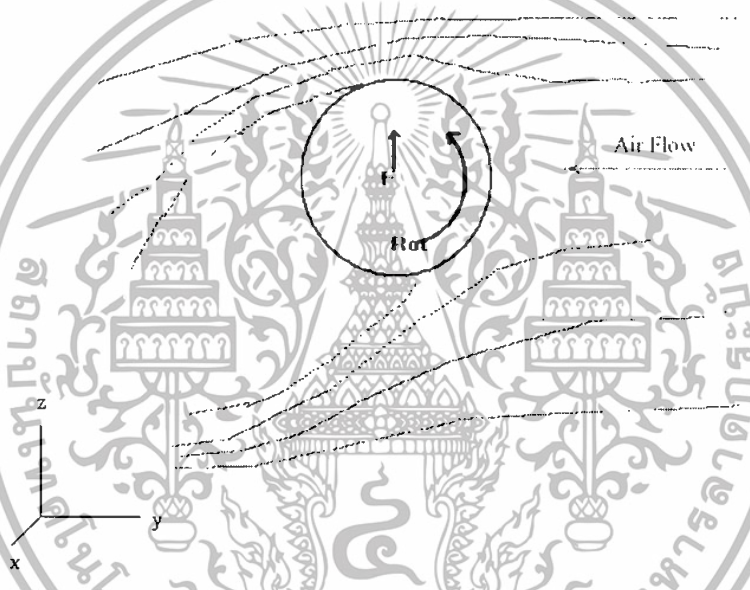
$$C_d = 2D/S/\rho v^2 \tag{7}$$

ที่ค่าตัวเลขเรโนลด์ที่แตกต่างกันสัมประสิทธิ์การฉุดจะมีผลเฉพาะเมื่อมีการอธิบายการฉุดกับรูปร่างเฉพาะ สมการสัมประสิทธิ์การฉุดและค่าตัวเลขเรโนลด์ที่ให้มาของรูปร่างเฉพาะสามารถถูกคำนวณแรงฉุดที่ขนาด ความเร็วและของไหลใดๆได้[Vogel, Steven. Life's Devices, New Jersey: Princeton University Press, 1988, p.143-144]

แรงที่สองซึ่งเป็นแรงหลักที่กระทำบนลูกกอล์ฟคือผลจากการหมุน การหมุนจะช่วยทำให้ลูกกอล์ฟเปลี่ยนแปลงทิศทางแต่ไม่เปลี่ยนแปลงขนาดของเวคเพราะการหมุนเป็นสาเหตุให้เวคเปลี่ยนรูปร่าง การเปลี่ยนรูปร่างของเวคเนื่องจากการหมุนนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับชั้นขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับผลของรอยบุ๋ม การเคลื่อนที่โดยการหมุนทำให้เกิดการหมุนของชั้นขอบเพราะความหนืดของลม โดยที่ฝั่งที่เคลื่อนที่เข้าหาลมนั้นมีแรงต้านแนวของชั้นขอบทำให้เกิดการแยกกันของลมก่อนและมีเวคแรงดันสูง ส่วนอีกด้านที่มีการหมุนออกจากลมนั้นมีแรงที่ช่วยทำให้ชั้นขอบไหลไปรอบๆลูกบอลทำให้เกิดการแยกตัวของลมช้าลงและเกิดเวคที่มีความดันต่ำ ทั้งสองกรณีนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนจากทางด้านที่หมุนเคลื่อนที่ต้านลมซึ่งเปรียบได้กับลูกบอลที่กำลังกลิ้งตกจากเนินเขา หลักการคือลูกกอล์ฟจะเคลื่อนที่ไปทางด้านที่มีความต้านทานต่ำและความดันเวคต่ำ การตีลูกให้เกิดการหมุนย้อนกลับหรือแบ็คสปินจะทำให้เกิดแรงยกและช่วยเพิ่มระยะในการตีได้แต่ก็มีข้อเสียในการทำให้เกิดการฮุค(hook)หรือสไลด์(slide)ทำให้ลูกเอียงไปด้านข้าง การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกที่ไม่คิดแรงแมกนัสอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่สมจริง



รูปที่ ก.2 แสดงทิศทางของแรงแมกนัสที่กระทำกับลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศ

แรงแมกนัสนั้นคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้โดยที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนด้วยความเร็ว v และหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω

$$F_M = kv\omega \tag{8}$$

และ

$$k = (2/3)\pi r^3 \rho_{air} \tag{9}$$

โดยที่ r คือรัศมีของลูกกอล์ฟและ ρ_{air} คือความหนาแน่นของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกกอล์ฟที่เป็นมาตรฐานของ United States Golf Association จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 1.680 นิ้วหรือ 42.67 มิลลิเมตร ส่วนน้ำหนักของลูกกอล์ฟไม่เกิน 1.620 ออนซ์หรือ 45.93 กรัม[United States Golf Association web page. "Appendix 3 The Ball," accessed 4/10/03.<http://www.usga.org/rules/index.html>]

พิจารณาลูกกอล์ฟที่ตกในอากาศโดยที่ไม่มีการหมุนและได้รับผลจากแรงดึงดูดโลกกับแรงฉุดของอากาศ จากกฎข้อที่สามของนิวตันจะได้สมการว่า

$$F_d = (.5)C_d A\rho v^2 = mg(v/v_t)^2 \tag{10}$$

แรงลัพธ์ทั้งหมดที่ทำต่อลูกกอล์ฟคือ

$$F_{net} = m\ dv/dt = mg - mg(v/v_t)^2 \tag{11}$$

เมื่อแก้สมการแล้วจะได้ผลลัพธ์ของ dv/dt คือ

$$dv/dt = g(1-(v/v_t)^2) \tag{12}$$

และ

$$dy/dt = v \tag{13}$$

หลังจากได้สมการการเคลื่อนที่ตกลงของลูกกอล์ฟ ต่อไปจะเป็นการใช้การเคลื่อนที่ของออยเลอร์เพื่อแก้ปัญหา สมการกฎการเคลื่อนที่ของออยเลอร์เป็นไปตามนี้เมื่อพิจารณาความเร็วที่เวลา $t_1 = t_0 + \Delta t$

$$v_x(t_1) = v_x(t_0 + \Delta t) \approx v_x(t_0) + (dv_x(t_0)/dt)\Delta t \tag{14}$$

$$v_y(t_1) = v_y(t_0 + \Delta t) \approx v_y(t_0) + (dv_y(t_0)/dt)\Delta t \tag{15}$$

และนำมาหาค่าตำแหน่งต่างๆ

$$y(t_1) = y(t_0 + \Delta t) \approx y(t_0) + v_y(t_0)\Delta t \tag{16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(t_1) = x(t_0 + \Delta t) \approx x(t_0) + v_x(t_0)\Delta t \tag{17}$$

[Kevin. The Aerodynamic of Golf Ball Flight, St. Mary's City: St.Mary's College, spring 2003, p.12-13]

สมการต่อไปเป็นการพิจารณาการเคลื่อนที่สองมิติที่ไม่มีการหมุนของลูกกอล์ฟโดยมีแรงฉุดเข้ามาเกี่ยวข้อง

$$\begin{aligned} F_{dx} &= (-)mg(v/v_t)^2 \cos\theta \\ &= (-)mg(v/v_t)^2 (v_x/v) \\ &= (-)mg(v/v_t)^2 (vv_x/v_t^2) \end{aligned} \tag{18}$$

$$F_{dy} = (-)mg(v/v_t)^2 (vv_y/v_t^2) \tag{19}$$

จากกฎของนิวตันข้อที่สองจะได้ว่า

$$dv_x/dt = (-)g(vv_x/v_t^2) \tag{20}$$

$$dv_y/dt = (-)g(1 + vv_y/v_t^2) \tag{21}$$

เมื่อคิดรวมผลของแรงแมกนัสจากสมการ(7) โดยที่ k และ ω เป็นค่าคงที่ที่เป็นส่วนประกอบของแรงแมกนัส F_{Mx} และ F_{My} ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของความเร็ว $v\sin\theta$ และ $v\cos\theta$ จะได้

$$F_{Mx} = (-)k\omega v\sin\theta \tag{22}$$

$$F_{My} = k\omega v\cos\theta \tag{23}$$

ใช้กฎข้อที่สองของนิวตันอีกครั้งเพื่อแก้สมการ (22) และ (23)และแสดงเป็น dv_x/dt และ dv_y/dt ซึ่งเป็นผลจากแรงแมกนัส แต่จะต้องพิจารณารวมแรงฉุดเข้าไปด้วย จากสมการที่ (20) และ (21) จะต้องทำการเพิ่มผลของแมกนัส สมการที่รวมผลของแรงฉุดและแรงแมกนัสแล้วจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dv_x / dt_{net} = (-)g(vv_x / v_t^{\,2}) + ((-)k\omega v \sin\theta / m) \quad (24)$$

$$dv_y / dt_{net} = (-)g(1 + vv_y / v_t^{\,2}) + (k\omega v \cos\theta / m) \quad (25)$$

สุดท้ายจะได้สมการสองรูปแบบที่เป็น x(t) และ y(t) ที่รวมทั้งแรงฉุดและแรงแมกนัส ต่อไปต้องทำการแก้สมการโดยกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นต่างๆให้สมการที่ (24) และ (25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

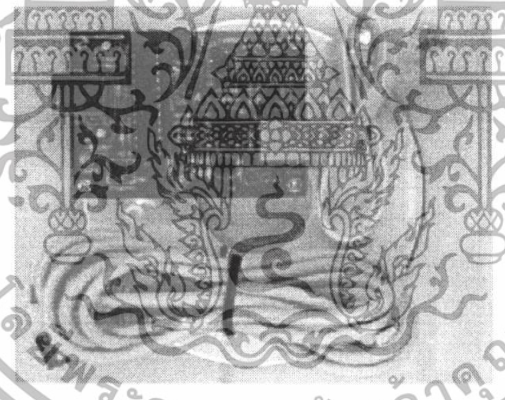
ภาคผนวก ข

การโปรแกรม MCU-PIC

การทำโครงงานจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์หลายอย่างเพื่อช่วยให้โครงงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในโครงงานเพื่อทำให้โครงงานสามารถทำงานได้

เครื่องโปรแกรม MCU-PIC ผ่านทางพอร์ต USB

ในการเบิร์นโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ในการเบิร์นโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ช่วย ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาดโดยใช้ชื่อว่า PROPICUSB 1.0 โดยจะมีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยเครื่องโปรแกรม MCU-PIC ที่ใช้จะทำงานผ่านพอร์ต USB โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ ICD2 ตามมาตรฐานไมโครชิพ



รูปที่ ข.1 รูปของ PROPICUSB 1.0

หลังจากที่บริษัทไมโครชิปได้ผลิต PICkit 2 ออกมาทำให้บอร์ดพัฒนาต่างๆได้บรรจุพอร์ต ICD2 ไว้เป็นมาตรฐาน สำหรับการโปรแกรมชิปและยังได้แจกวงจรและซอร์สโค้ดเพื่อเป็นแนวทางให้นักพัฒนาได้ศึกษากันซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://www.microchip.com

ลักษณะที่สำคัญของ PICkit 2 จะมีดังนี้คือ

- เป็นเครื่องที่โปรแกรม MCU-PIC ผ่านพอร์ต USB ทำให้สามารถใช้งานได้บนเครื่องที่ไม่มีพอร์ตอนุกรมหรือพอร์ตขนานเช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะรุ่นใหม่ๆ
- มีความเร็วในการโปรแกรมสูง มีขนาดเล็ก แต่ในประเทศไทยยังมีราคาสูงอยู่

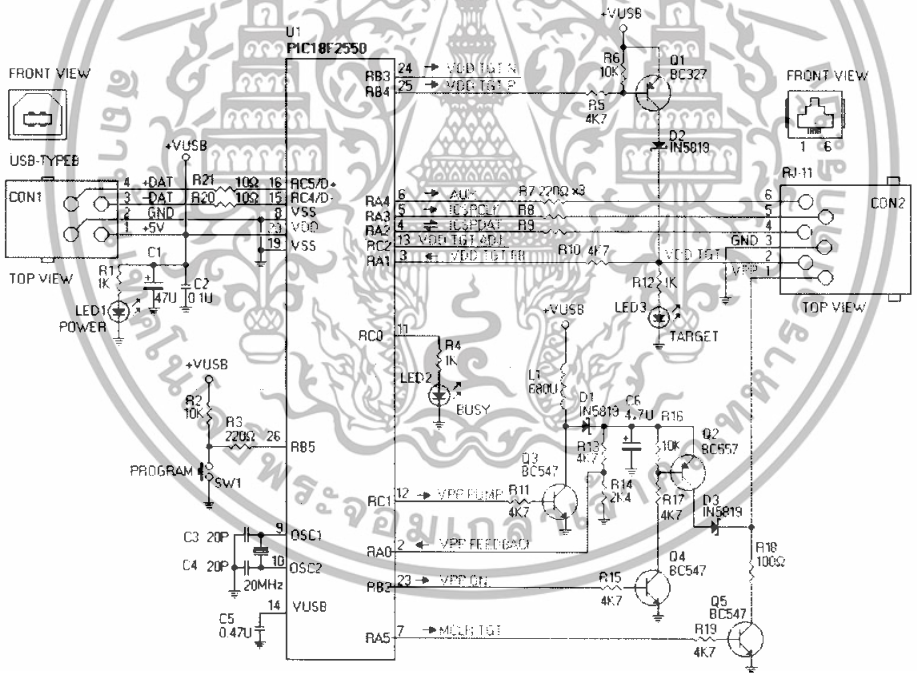
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถอัพเดทเฟิร์มแวร์ได้เมื่อมีเวอร์ชั่นใหม่ๆ
- ICD2 คือ In Circuit Debugging

ขาและสัญญาณของ PICkit2 จะเป็นมาตรฐานสำหรับการโปรแกรมชิป ส่วนคอนเนคเตอร์จะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเช่น RJ11-6 pin , Sip6 , IDC-8 แต่จะมีขาและหน้าที่เหมือนกันโดยขาทางด้านตัวโปรแกรมจะมีดังนี้

- VPP คือขาแรงดันไฟสูง 13 โวลต์ ต่อกับขา MCLR
- VDD คือแรงดันไฟเลี้ยงให้กับ MCU ต่อกับ VDD ของ MCU
- GND Ground ต่อกับ Ground ของบอร์ด
- ICSPDAT Program Data ต่อกับขา PGD (RB7)
- ICSPCLK Program Clock ต่อกับขา PGC (RB6)
- AUX Auxiliary จะไม่ได้ใช้

ต่อไปเป็นภาพวงจรของตัวโปรแกรม MCU-PIC



รูปที่ ข.2 วงจร เครื่องโปรแกรม MCU-PIC

คุณสมบัติของเครื่องโปรแกรม MCU-PIC คือ

- สามารถโปรแกรม MCU-PIC ที่เป็นแบบแฟลชได้ตามมาตรฐานเช่นเดียวกับ PICkit2
- ออกแบบวงจรอินเตอร์เฟซใหม่โดยใช้อุปกรณ์พื้นฐาน สามารถหาซื้อได้ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

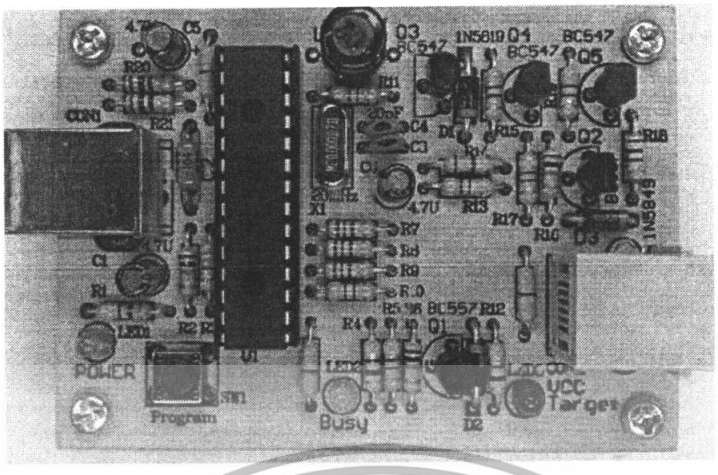
- เนื่องจากมีอุปกรณ์ไม่มากที่สามารถออกแบบ PCB แบบหน้าเดียว ทำให้ง่ายต่อการสร้างด้วยตัวเองเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เริ่มต้นในการศึกษา MCU ตระกูล PIC
- การเชื่อมต่อใช้แบบ RJ-11 ซึ่งสามารถถอดเข้าออกได้สะดวกหรืออาจจะแปลงเป็นแบบ SIP-6 , IDC-8 เพื่อให้ใช้กับบอร์ดทดลองหรือบอร์ดเอนกประสงค์ได้

หลักการทำงานของเครื่องโปรแกรม MCU-PIC คือ

- อุปกรณ์หลักในการทำงานคือ U1-PIC18F2550 ซึ่งได้ถูกโปรแกรมด้วยเฟิร์มแวร์เวอร์ชั่น 2.0 ที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บ http://www.microchip.com โดยจะมีหน้าที่รับข้อมูล hex file ที่ผ่านการคอมไพล์แล้วผ่านทางพอร์ต USB เพื่อใช้ในการโปรแกรมชิปผ่านทางตัวเชื่อมต่อแบบ ICD2
- เนื่องจากระดับแรงดันจาก USB มีขนาด 5 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องสร้างแรงดันไฟสูง 13V ที่ใช้ในการโปรแกรมที่ขา MCLR ด้วยวงจร DC to DC converter ซึ่งจะประกอบไปด้วย Q3 และ L1 สัญญาณควบคุมแบบ PWM จะถูกสร้างผ่านขา 12 (VPP PUMP) ผ่าน R11 เข้าที่ขาเบสของ Q3 ส่วนเอาต์พุตของวงจรจะออกมาที่ขา C ของ Q3 ซึ่งจะถูกเรียงกระแสผ่าน schotky diode D1 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะถูกป้อนกลับด้วยวงจร R13 และ R14 เข้าสู่ขา 2 ของ U1 (VPP FEEDBACK) เพื่อควบคุมระดับแรงดัน
- แรงดันที่ได้จากการเรียงกระแสแล้วจะมีค่าเท่ากับ 13.8 โวลต์ เมื่อผ่าน Q2 และ D1 จะเหลือ 13V พอดี (เนื่องจาก Q2 เป็นแบบซิลิกอน เมื่อแอคทีฟจะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 0.6 โวลต์ และ D1 เป็นแบบ schotky diode จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 0.2 โวลต์)
- LED3 จะแสดงแรงดัน VDD ที่ Target Board จะติดเมื่อมีการโปรแกรมหรือแสดงแรงดันที่เข้ามาจาก target board
- ขา 3 ของ U1 (VDD TGT FB) จะทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันจากตัวเชื่อมต่อแบบ ICD2 ว่า target มีแรงดันเข้ามาหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะทำให้ขา 3 ของ U1 (VDD TGT FB) เป็น low ทำให้ Q1 ซึ่งเป็นแบบ PNP activd เพื่อจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ ให้กับ target ขณะทำการโปรแกรมอยู่
- D2 มีหน้าที่ป้องกันแรงดันจาก target board เข้าสู่แรงดันไฟที่ได้จาก USB พอร์ต

ต่อไปเป็นภาพวงจรของเครื่องโปรแกรมที่ใช้จริงจะเป็นดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 เครื่องโปรแกรมที่ใช้งานจริง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้งาน

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด ในโครงงานนี้จะเลือกใช้ PIC (Peripheral Interface Controller) เนื่องจาก PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากมาย จากความสามารถที่สูงและราคาที่ถูกเมื่อเทียบกับชิปตระกูลอื่นที่มีความสามารถเท่าๆกัน นอกจากนี้ PIC ยังมีข้อดีอื่นๆอีกดังนี้

- กินกำลังไฟต่ำและสามารถใช้กับแบตเตอรี่ได้
- เอาต์พุตสามารถจ่ายกระแสได้สูงและขับอุปกรณ์ต่างๆได้โดยไม่ต้องมีตัวไดรเวอร์ไอซ์เข้ามาช่วยอย่างเช่น 74LS245,74LS373 ทำให้ลดอุปกรณ์และขนาด PCB ลงไปได้มาก
- ความเร็วสูงเนื่องจากคำสั่งเป็นแบบ RISC และบางรุ่นสามารถใช้คริสตัลได้ถึง 40 เมกกะเฮิร์ต จึงสามารถใช้กับงานที่ต้องการความเร็วสูงๆเช่นการวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องนับความถี่เป็นต้น

โดยโครงงานนี้จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC เบอร์ 16F628 ซึ่งจะมีคุณสมบัติของ PIC ดังนี้

- ซีพียู มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- ความถี่สัญญาณนาฬิกามีค่าตั้งต่าไฟตรงไปจนถึงสูงสุด 20 เมกกะเฮิร์ต
- ขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 2 กิโลเวิร์ด
- หน่วยความจำแรมข้อมูล 224 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ 10 แหล่ง
- มีแสต็ก 8 ระดับ

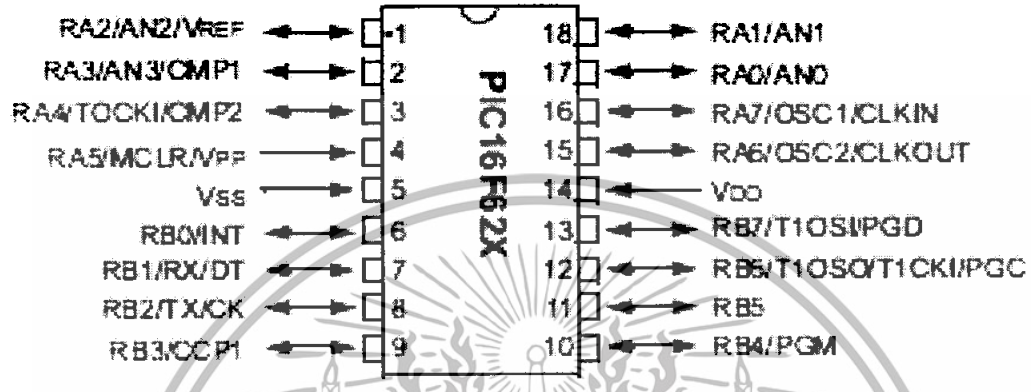
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรพาวเวอร์ออนรีเซต (POR) พาวเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัพไทเมอร์ (OST)
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 6 โหมดหลักคือ
    - โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
    - โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก
    - โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครชิป PIC16F268 ซึ่งมี 2 ความถี่ให้เลือก
    - โหมด LP ใช้คริสตัลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200 กิโลเฮิร์ต
    - โหมด XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100 กิโลเฮิร์ตสูงสุดไม่เกิน 4 เมกกะเฮิร์ต
    - โหมด HS ใช้คริสตัลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20 เมกกะเฮิร์ต โดยต้องใช้กับรุ่นที่รอบรับความถี่ 20 เมกกะเฮิร์ต
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 โวลต์ได้
- สามารถโปรแกรมในวงจรได้
- ไฟเลี้ยง +3 โวลต์ ถึง +5.5 โวลต์
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 มิลลิแอมป์
- ขาพอร์ตปกติ 15 บิต สูงสุด 16 บิต เมื่อทำงานในโหมด INTRC และกำหนดให้ MCLR เป็นพอร์ตอินพุต
- ไทเมอร์ 3 ตัว
- มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 1 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อก 2 ชุด
- มีโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเท็กชั่น (Brown-out detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซตซีพียูหรือที่เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลดน้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ร์ที่ +5 โวลต์และสัญญาณนาฬิกา 4 เมกกะเฮิร์ต 15 ไมโครแอมป์ ที่ +3 โวลต์ และสัญญาณนาฬิกา 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลดน้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์ในโหมดประหยัดพลังงานหรือแสตนด์บายที่ไฟเลี้ยง +3 โวลต์

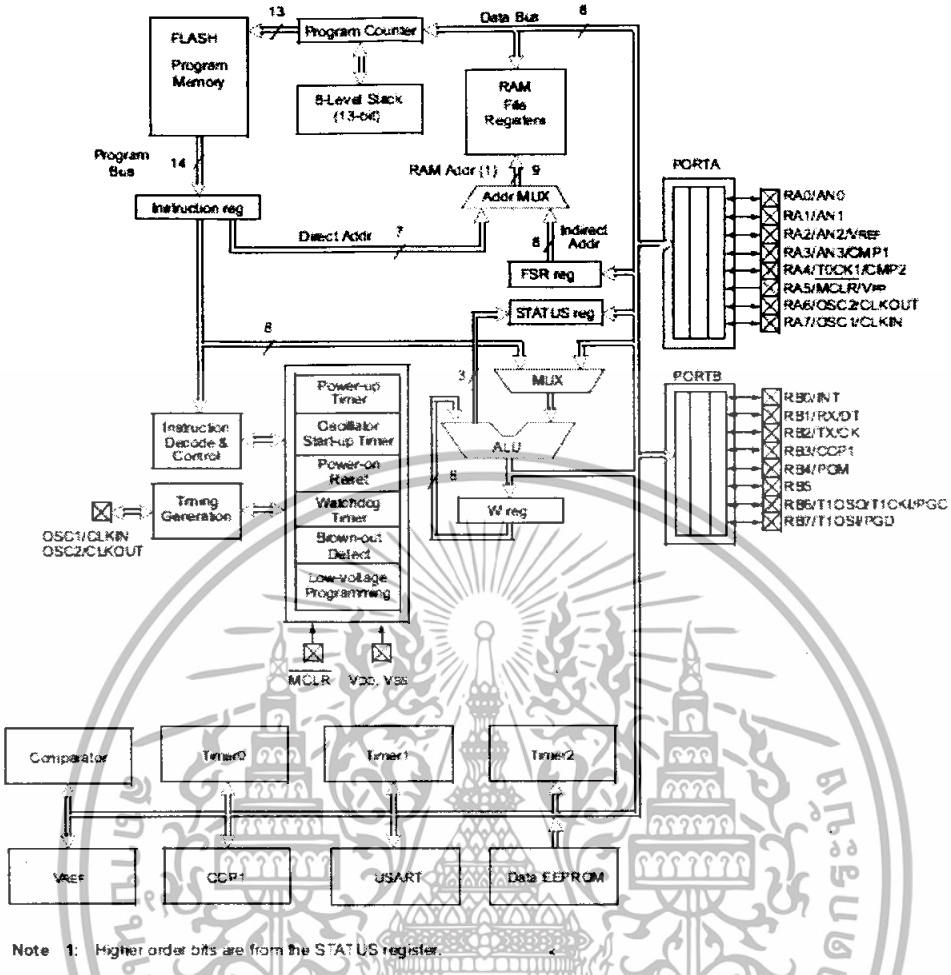
จากคุณสมบัติต่างๆที่ครบถ้วนและเพียงพอที่จะนำมาใช้ในโครงงานนี้ของ PIC เบอร์ 16F628 โครงงานนี้จึงเลือกใช้ PIC เบอร์นี้ ต่อไปนี้จะเป็นภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ข.4 แสดงหน้าที่ของพอร์ตต่างๆบนไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 แสดงบล็อคไดอะแกรมอธิบายโครงสร้างภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้