

เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย
DISTAL END RADIUS FRACTURE SIMULATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงชื่อเจ้าของสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DISTAL END RADIUS FRACTURE SIMULATOR



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย
DISTAL END RADIUS FRACTURE SIMULATOR

ผู้จัดทำ นางสาวกุลธิดา โรจน์วิจิตรรัตน์ 60010092
นางสาวเกวณีน แสงดี 60010099



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย

โดย

นางสาวกุลธิดา โจรณวิจิตรรัตน์ 60010092

นางสาวเกวลิน แสงดี 60010099

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย ให้มีคุณสมบัติที่ตอบสนองความต้องการใช้งานของนักศึกษาแพทย์ โดยทำการศึกษาการแตกของกระดูกแขนส่วนปลาย และวิธีการรักษากระดูกแขนหักส่วนปลายเพื่อนำมาออกแบบเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายและโปรแกรมแสดงผลให้ตรงกับความต้องการใช้งาน นำเทคโนโลยี Triple Axis Accelerometer Sensor และ Hall-Effect Sensor มาใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนไหว เพื่อประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จำลองการรักษากระดูกแขนหัก โดยการรับค่าจากเซนเซอร์มาคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาการเคลื่อนที่ และจำลองภาพการรักษาผ่านหน้าจอแสดงผลด้วยโปรแกรม Processing ที่มีการประมวลผลตามเวลาจริง ซึ่งเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายเป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยให้นักศึกษาแพทย์มีความชำนาญสามารถเข้าถึงการเรียนรู้การฝึกฝนการรักษาอาการบาดเจ็บจากกระดูกแขนหักส่วนปลายซึ่งเป็นส่วนที่พบการหักมาก และช่วยประหยัดทรัพยากรในการฝึกฝนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DISTAL END RADIUS FRACTURE SIMULATOR

By

Miss Kunlathida Rotwijitrat 60010092

Miss Kewalin Sangdee 60010099

Advisor

Assoc.Prof.Dr. Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2020

ABSTRACT

This thesis presents the implementation of a distal end radius fracture simulator to meet the requirements of medical students. Therefore, the fracture of the distal end radius and its therapy methods are studied in order to design a simulator for distal extremity to meet the requirements of users. Triple axis accelerometer sensors and Hall-effect sensors are used for detecting the movement of objects and simulating for fracture healing. Data from sensors is employed to calculate the displacement and position of two objects. Processing program is used to show the graphic on display screen. The distal end radius fracture simulator will help medical students develop their skills, to learn and practice the treatment of distal end radius fracture, which is the most common fracture.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอันเนื่องจากความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรณิลำค่า ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในแก้ปัญหา และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้จัดทำ สนับสนุนอุปกรณ์ที่จำเป็น ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่งตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรสุภา ที่คอยให้ความรู้ คำชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและช่วยเหลือในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือ เอกสารอ้างอิง และเว็บไซต์ต่างๆ ที่คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงประกอบการศึกษา และจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้จนปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวอันเป็นที่รัก ครูอาจารย์ที่เคารพ ตลอดจนเพื่อนนักศึกษาทุกท่าน ที่คอยถามไถ่ความคืบหน้า ให้คำแนะนำแนวคิดในการแก้ไขปัญหา แนะนำข้อมูลต่างๆ ค่อยช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

กุลธิดา วิจารณ์วิจิตรรัตน์

เกวลิน แสงดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีการแตกของกระดูกส่วน Distal end Radius	4
2.1.1 กระดูกส่วน Distal end Radius	4
2.1.2 การแตกของกระดูก	4
2.1.3 การรักษากระดูกแขนหักส่วนปลาย	10
2.2 ทฤษฎีระบบแกนอ้างอิง (Reference Frame System)	12
2.2.1 Direction Cosine Matrix	12
2.2.2 Euler Angles	14
2.2.3 Quaternion	15
2.2.4 ข้อพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานจริง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การวัดระยะเชิงเส้นด้วย Hall-Effect Sensor	18
2.3.1 การคำนวณระยะเชิงเส้นของการเคลื่อนที่เข้าและออก	19
2.3.2 การคำนวณระยะเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ขึ้นและลง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	20
3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	20
3.2.1 Arduino	20
3.2.2 MPU 6050 GY-521	21
3.2.3 SS49E Linear Hall-Effect Sensor	22
3.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง	22
3.3.1 โปรแกรม Arduino IDE	22
3.3.2 โปรแกรม Processing	23
3.3.3 โปรแกรม Blender	23
3.4 การออกแบบและการวางแผนการทำงาน	23
3.4.1 การออกแบบและการวางแผนทางด้านฮาร์ดแวร์	23
3.4.2 การออกแบบและการวางแผนทางด้านซอฟต์แวร์	24
3.5 วิธีการดำเนินงาน	24
3.5.1 การทดสอบเซนเซอร์	24
3.5.2 การต่อเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.5.3 การเขียนโปรแกรมสำหรับ MPU6050	27
3.5.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับ Hall-Effect Sensor	28
3.5.5 การสร้างกราฟกระดูกแขนด้วยโปรแกรม Blender	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	34
4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย	34
4.2 ผลการออกแบบหน้าจอสื่อแสดงผลการเคลื่อนที่บนโปรแกรม Processing	35
4.3 ผลการประดิษฐ์เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย	35
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย	37
4.4.1 Orientation Tracking	37
4.4.2 Displacement Tracking	40
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	42
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	42
5.3 แนวทางการแก้ไข้ปัญหา	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	49
ภาคผนวก ค	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบกระดูกข้อมือ	4
2.2 กระดูกส่วน Distal end Radius	5
2.3 กลไกการบาดเจ็บของ Colles Fracture	6
2.4 Normal Inclination of Distal Radius Articular Surface	6
2.5 การหักแบบ Smith Fracture	8
2.6 การหักในรูปแบบ Dorsal Barton Fracture และ Volar Barton Fracture	9
2.7 กลไกการผิดรูปของ Galeazzi Fracture	9
2.8 การหักแบบ Chauffeur's Fracture	10
2.9 Transformation Matrix from Euler Angles	14
2.10 การวางตำแหน่ง Hall-Effect Sensor บนโมเดล	18
2.11 กราฟแสดงส่วนต่างค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตในแต่ละระยะ	18
3.1 Arduino UNO R3 SMD	21
3.2 MPU6050 GY-521	21
3.3 SS49E Linear Hall-Effect Sensor	22
3.4 โปรแกรม Arduino IDE	22
3.5 โปรแกรม Processing	23
3.6 โปรแกรม Blender	23
3.7 การเชื่อมต่อ MPU6050	24
3.8 ค่าจาก MPU6050 บน Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE	25
3.9 การเชื่อมต่อ Hall-Effect Sensor	25
3.10 ค่าจาก Hall-Effect Sensor บน Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE	26
3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์	26
3.12 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE สำหรับ MPU6050	27
3.13 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE สำหรับ Hall-Effect Sensor	28
3.14 ตำแหน่งการวางของเซนเซอร์ทั้งสามโมดูล	29
3.15 กราฟแสดงส่วนต่างค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตในแต่ละระยะ	31
3.16 การสร้างภาพภาพกราฟิก 3D จากโปรแกรม Blender (1)	31
3.17 การสร้างภาพภาพกราฟิก 3D จากโปรแกรม Blender (2)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 การเขียนโปรแกรม Processing สำหรับการแสดงผล	32
3.19 ผลการเคลื่อนที่ของกระดุกบนโปรแกรม Processing	33
4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย	34
4.2 หน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่กระดุกแขนหักส่วนปลายบนโปรแกรม Processing	35
4.3 การเชื่อมต่อภายในกล่อง	35
4.4 ภายนอกของเครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย	36
4.5 ด้านข้างของเครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย	36
4.6 กราฟิกกระดุกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 1	37
4.7 กราฟิกกระดุกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 2	38
4.8 กราฟิกกระดุกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 3	39
4.9 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 1	40
4.10 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 2	40
4.11 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 3	41
4.12 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 4	41
ก.1 MPU6050 Pinout	47
ข.1 ตำแหน่งขาเชื่อมต่อของ SS49E Linear Hall Effect Sensor	49
ข.2 การทำงานของ Linear Hall- Effect Sensor	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปข้อดีข้อเสียของวิธี DCM, Euler Angle และ Quaternion	17
3.1 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับ MPU6050	27
3.2 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Hall-Effect Sensor	27
3.3 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปด้านล่าง 1.5 เซนติเมตร	29
3.4 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กอยู่กึ่งกลาง	30
3.5 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปด้านบน 1.5 เซนติเมตร	30
ข.1 รายละเอียดขาเชื่อมต่อของ Hall-Effect Sensor	49
ค.1 รายละเอียด Arduino UNO R3 SMD	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในการรักษาอาการบาดเจ็บของกระดูกมีความซับซ้อน และอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้นั้นมีราคาสูง โดยในการรักษาอาการบาดเจ็บจากกระดูกหักและเคลื่อน จะอาศัยความชำนาญในการวินิจฉัยดูแลรักษาแบบองค์รวม แพทย์ที่ให้การรักษายังต้องเรียนรู้และฝึกฝนเป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันการฝึกฝนการรักษาโดยวิธีการจัดกระดูกนั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อน โดยจะต้องฝึกจัดกระดูกผ่านกระดูกจำลองแล้วนำไป X-Ray เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของกระดูกให้เข้าที่ ไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งของกระดูกในขณะที่จัดกระดูกได้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการ X-Ray ในแต่ละครั้ง อีกทั้งยังสิ้นเปลืองทรัพยากรและสิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก จึงเป็นข้อจำกัดในการฝึกฝนจัดกระดูก ทำให้นักศึกษาแพทย์ไม่สามารถเข้าถึงการศึกษาอาการและรักษาอาการบาดเจ็บได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นเพื่อเพิ่มโอกาสให้นักศึกษาแพทย์ได้ศึกษาอาการบาดเจ็บกระดูกแขนหักและฝึกฝนทักษะการรักษาผู้ป่วยกระดูกแขนหัก จึงจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่พบการหักของกระดูกมากที่สุด เพื่อตอบสนองความต้องการของนักศึกษาแพทย์ที่ต้องการใช้ในการฝึกฝนการรักษาการจัดกระดูกแขนหักส่วนปลาย ปริญญานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาอุปกรณ์จำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย โดยเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายสามารถ จำลองภาพการรักษากระดูกแขนหักส่วนปลายผ่านหน้าจอแสดงผล ด้วยการประมวลผลได้ตามเวลาจริง โดยโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวหมุนบิดไปของกระดูกแขนหักส่วนปลาย จากการนำเทคโนโลยี Triple Axis Accelerometer Sensor และ Hall-Effect Sensor มาประยุกต์ใช้ความสามารถมองเห็นตำแหน่งของกระดูกที่หักและการเคลื่อนที่ของกระดูกได้ในระหว่างการรักษานี้ ช่วยให้ประหยัดเวลาในการ X-Ray เพื่อดูตำแหน่งของกระดูก และช่วยประหยัดทรัพยากรในการ X-Ray และทำให้ผู้ศึกษาได้รับรู้จากสิ่งที่เสมือนจริง เกิดทักษะและสามารถนำความรู้ความเข้าใจไปปฏิบัติจริงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจการเคลื่อนไหวและลักษณะการเอียงหรือบิด ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดูกแขนหักส่วนปลาย

2. เพื่อช่วยให้แพทย์สามารถศึกษาและประเมินผลการรักษาของผู้ป่วยได้โดยใช้เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย

3. เพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์และโปรแกรมในการรักษากระดูกหักที่มีราคาแพง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. การใช้เทคโนโลยี Triple Axis Accelerometer Sensor และ Hall-Effect Sensor มาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้จำลองการรักษากระดูกหัก
5. ศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบโปรแกรมในลักษณะที่ซับซ้อนด้วย Object-Oriented Concept
6. พัฒนาโปรแกรมโดยใช้ Open Source Software

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการหักของกระดูก Distal end Radius และศึกษาวิธีการรักษาอาการบาดเจ็บของกระดูก Distal end Radius
2. พัฒนาชุดอุปกรณ์และโปรแกรมตรวจการเคลื่อนไหวของกระดูกแขนหักส่วนปลาย เพื่อใช้ในการศึกษาผู้ป่วยกระดูกแขนหัก
3. พัฒนาอุปกรณ์ชุดฝึกโดยใช้เทคโนโลยี Triple Axis Accelerometer Sensor และ Hall-Effect Sensor ที่มีขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการใช้และเคลื่อนย้าย
4. พัฒนาโปรแกรมแสดงการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนกระดูกหัก โดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจการเคลื่อนไหวในขณะนั้น แล้วนำมาประมวลผลออกมาเป็นภาพในทันทีเพื่อให้ทราบผลการเคลื่อนไหวของกระดูกแต่ละชิ้นในขณะนั้น
5. ออกแบบโปรแกรมที่นำมาใช้แสดงผล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาหลักการของเซนเซอร์ที่จะนำมาใช้
3. ออกแบบและวางแผนการสร้างเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย
4. สั่งซื้อเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ
5. ทดสอบเซนเซอร์ที่นำมาใช้
6. เขียนโปรแกรมตรวจการเคลื่อนไหว การบิดหมุนของกระดูกแขนหักส่วนปลาย
7. เขียนโปรแกรมการส่งค่าจากเซนเซอร์ไปแสดงผลการเคลื่อนไหวบนหน้าจอแสดงผล
8. ออกแบบและสร้างภาพกราฟิกกระดูกแขนหักส่วนปลายเพื่อใช้แสดงผลบนหน้าจอ
9. เขียนโปรแกรมตรวจทิศทางและการเคลื่อนที่ของกระดูกแขนหักส่วนปลาย
10. สร้างชุดอุปกรณ์ตามแบบที่วางแผนไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มาจากงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 12. สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานปริญญานิพนธ์ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย
2. ช่วยในการฝึกฝนทักษะในการรักษาการบาดเจ็บจากกระดูกแขนหักส่วนปลาย
3. สามารถช่วยลดทรัพยากรที่ใช้ในการฝึกฝนการรักษา

1.6 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และ 3 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงที่มาของปฏิญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการทำปฏิญานิพนธ์ ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ อุปกรณ์ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ เป็นการเพิ่มเติมความรู้ทฤษฎีและความเข้าใจในอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนจะเริ่มการทำโครงงาน

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน เป็นการอธิบายขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน เป็นการแสดงผลการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย

บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ เป็นบทสรุปภาพรวมของชิ้นงานรวมถึงสิ่งที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

ภาคผนวก ก โมดูลตรวจจับการเคลื่อนไหว MPU6050 GY-521

ภาคผนวก ข SS49E Linear Hall-Effect Sensor

ภาคผนวก ค Arduino UNO R3 SMD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

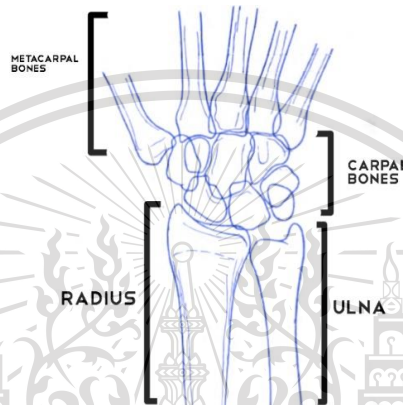
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการแตกของกระดูกส่วน Distal end Radius

2.1.1 กระดูกส่วน Distal end Radius

2.1.1.1 กระดูกข้อมือ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบกระดูกข้อมือ

1. กระดูกคาร์ปัล (Carpal Bones) กระดูกข้อมือ 8 ชิ้นที่เชื่อมต่อกับกระดูกเรเดียสส่วนปลาย (Distal Radius) และ กระดูกอัลนาส่วนปลาย (Distal Ulna)
2. กระดูกอัลนาส่วนปลาย (Distal Ulna)
3. กระดูกเรเดียสส่วนปลาย (Distal Radius)

โดย Radius (เรเดียส) คือกระดูกแขนท่อนใหญ่และ Distal (ติสทัล) หมายถึง ส่วนปลาย ดังนั้น Distal Radius จึงหมายถึง กระดูกเรเดียสส่วนปลายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระดูกข้อมือ

2.1.1.2 กระดูกแขน

1. Radius (เรเดียส) คือ กระดูกแขนท่อนใหญ่ อยู่ฝั่งหัวแม่มือ
2. Ulna (อัลนา) คือ กระดูกแขนท่อนเล็ก อยู่ฝั่งนิ้วก้อย

2.1.2 การแตกของกระดูก

เมื่อเกิดอุบัติเหตุตุลุ่ม คนส่วนใหญ่มักจะเอามือยันพื้นเพื่อป้องกันตัวเอง ซึ่งกระดูกส่วนนี้จะรับแรงกระแทกทั้งหมด และกระดูกส่วนนี้หักได้ง่ายโดยเฉพาะผู้สูงอายุที่กระดูกเริ่มบาง หรือผู้ที่มีภาวะการแคบของกระดูกพรุน (Osteoporosis) ซึ่งพบในผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป โดยเฉพาะในผู้หญิง และการล้มบ่อยจึงทำให้พบการหักของกระดูกส่วน Distal Radius มากที่สุด

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 กระดูกส่วน Distal end Radius

กระดูกหักที่พบบริเวณแขนและข้อมือเป็นภาวะที่จะพบได้บ่อย การดูแลรักษาขึ้นกับชนิด ตำแหน่ง ความผิดปกติที่พบร่วม รวมทั้งความรุนแรงของการบาดเจ็บ การวินิจฉัยจึงต้องอาศัยการถ่ายภาพรังสีร่วมด้วย การบาดเจ็บในบริเวณนี้ สามารถเป็นได้หลายภาวะ มีชื่อเรียกหลากหลาย มีลักษณะและอาการที่ต่างกัน ได้แก่ Colles Fracture, Smith Fracture และ Galeazzi Fracture เป็นต้น ดังนั้นแพทย์ควรให้การวินิจฉัยอย่างถูกต้องก่อนว่าเกิดการหักในบริเวณใด และมีความรุนแรงมากน้อยเพียงไร เพื่อนำไปสู่การให้การดูแลรักษาที่ถูกต้องและเหมาะสม

ตัวอย่างการบาดเจ็บที่พบ

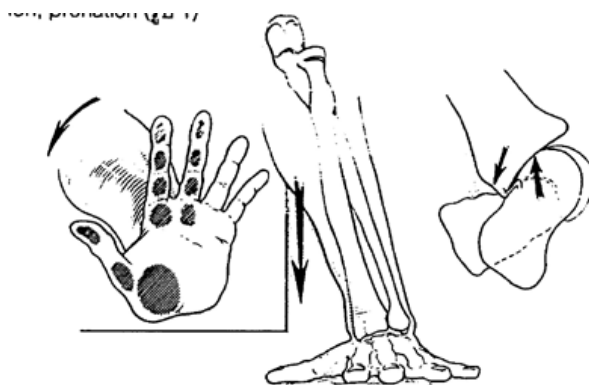
1. Colles Fracture

Colles Fracture หรือ Fracture Distal end of Radius ซึ่งเป็นรูปแบบการแตกของกระดูกที่นำมาสร้างเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย หลายคนคุ้นเคยกับชื่อของ Colles Fracture ในปัจจุบันนี้ Fracture Distal end of Radius ได้มีการพัฒนาไปกว่าเดิมมากเนื่องจาก Abraham Colles ได้ให้คำนิยามไว้เมื่อประมาณ 100 ปีก่อนว่า “The fracture just an inch proximal to the radiocarpal joint.” ซึ่งในขณะนั้นภาวะนี้มักเกิดขึ้นกับผู้ป่วยสูงอายุ (มักจะมีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้หญิง ซึ่งพบว่าภาวะกระดูกหักบริเวณนี้จะพบได้บ่อยที่สุดในบรรดากระดูกหักในกลุ่มผู้ที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป มักพบความผิดปกติของกระดูกบาง (Osteoporosis) อยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นกลุ่มอายุที่พบกระดูกหักชนิดนี้จึงอยู่ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีอายุใกล้เคียงกับกระดูกสะโพกหัก กลไกการเกิดมักจะเป็นการลื่นแล้วล้มลงเอามือท้าวพื้นทำให้กระดูกหักในท่าที่มีมืออยู่ในลักษณะของ Dorsiflexion, Pronation ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

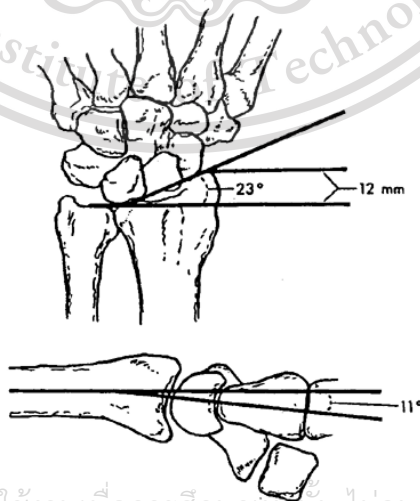


รูปที่ 2.3 กลไกการบาดเจ็บของ Colles Fracture

กระดูก Distal Fragment ของ Radius จะอยู่ในท่า Dorsal Displaced แต่ปัจจุบันนี้ ลักษณะของ Fracture Distal end of Radius พบมากขึ้นในกลุ่มที่เป็น High Energy Trauma หรือ อาการบาดเจ็บที่เกิดจากอุบัติเหตุรุนแรง และมีอายุต่ำลงมา ลักษณะการแตกของกระดูกจึงเปลี่ยนแปลงไปกว่าแต่ก่อนนี้มาก ดังนั้นการให้การรักษาในปัจจุบันนี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงไป และควรพิจารณาเป็นกรณีไป

Clinical Feature ลักษณะอาการจะตรวจพบการผิดรูปของกระดูก ที่เป็นลักษณะจำเพาะ (Dinner Fork Deformity) และมีการบวมอยู่รอบๆ ข้อมือ และบริเวณเหนือข้อมือเล็กน้อย

Radiographic Feature ภาพรังสีของ Fracture Distal end of Radius จะสามารถเห็น ลักษณะกระดูกหักว่าเป็น Stable หรือ Unstable Fracture ได้จากการแตกละเอียด สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ ความต่อเนื่องของแนวกระดูกผ่านข้อ Distal Articular Surface of Radius ซึ่งปกติมักจะมี Radial Inclination ประมาณ 11-23 องศา และมี Volar Inclination ประมาณ 0-11 องศา ดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 Normal Inclination of Distal Radius Articular Surface
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การรักษากรณี Non-Displaced Fracture Distal end of Radius จะต้องพิจารณาถึง กระบวนการดึงกลับเข้าที่ โดย Reverse Mechanism of Injury แล้วรักษาต่อ โดยการใส่เฝือกไว้เป็น ระยะเวลาประมาณ 6 สัปดาห์ ส่วน Displaced Fracture Distal end of Radius จะต้องพิจารณา การดึงกระดูกกลับเข้าที่ และพิจารณาถึงลักษณะของผิวข้อที่จะสามารถถูกดึงกลับเข้ามาเป็นปกติ ดั้งเดิมได้หรือไม่ หากผิวข้อเสีย Congruity หรือการสบของผิวข้อเสียไป จะทำให้เกิดมี Post Traumatic Arthritis ได้ในภายหลัง ดังนั้นการรักษาทั่วไปจึงมีการดึงตามแนว Longitudinal Axis เพื่อแยก Impaction ออกจากกัน และทำการดัดไปทาง Volar Flexion และ Ulna Deviation

การดึงกระดูก Fracture Distal Radius เข้าที่จำเป็นต้องมีวิธีระงับความเจ็บปวดที่ดีเพียงพอ ก่อน ซึ่งอาจใช้วิธีการ Local Block (Hematoma Block) หรือ Brachial Plexus Block หรือใช้วิธี ดมยาสลบ (General Anesthesia) แล้วแต่กรณี เช่น ในเด็กที่ขาดความร่วมมืออาจจำเป็นต้องใช้ วิธีดมยาสลบแทนการระงับปวดเฉพาะที่ ส่วนในผู้ใหญ่อาจใช้วิธี Hematoma Block อย่างไรก็ตาม การทำ Hematoma Block นี้ต้องคำนึงผลเสียที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนจาก Close Fracture กลายเป็น Open Fracture ได้ การทำ Hematoma Block จำเป็นที่ต้องใช้วิธีสะอาด (Sterile Technique)

ก่อนจะทำการดึงกระดูกเรเดียสเข้าที่ โดยพยายามดึงให้แนวแรงผ่านตามแกนแนวยาว (Longitudinal Axis) นั้น อาจจะใช้วิธีการดึงโดยอาศัยเครื่องช่วย เช่น เครื่องรัดนิ้ว ถ่วงน้ำหนัก และดึงในแนวตั้ง (Vertical Distraction Force) โดยให้มือห้อยกับราวแขวนและใช้น้ำหนักถ่วงตรง บริเวณต้นแขนเพื่อให้ตำแหน่งกระดูกหักถูกดึงแยกออก หลังจากนั้นทำการยึด (Immobilization) ด้วยการใส่เฝือกแบบสั้น (Short Arm Cast) และจำเป็นต้องดูแลเฝือกหลังใส่แล้วเป็นอย่างดี เพื่อ ป้องกันภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใส่เฝือก

ในกรณีที่ตำแหน่งกระดูกหัก Distal Radius นั้นมีลักษณะเป็นการแตกหักของกระดูกเป็นชิ้น เล็กหลายๆ ชิ้น (Comminuted Fracture) หรือในกรณีที่เกิดขึ้นกับผู้ที่อายุน้อย เช่น ในคนหนุ่ม สสาว ความจำเป็นในการที่ต้องคงแรงดึงแนวกระดูกที่หักไว้ เนื่องจากในระยะยาวอาจเกิดการยุบตัว ของตำแหน่งกระดูกหัก (Collapse) และอาจจะมีผลต่อการทำงานของแขนในภายหลัง รวมทั้ง กระดูกอ่อนผิวข้อ (Articular Surface) อาจจะไม่สามารถคืนกลับมาได้ ความจำเป็นของการผ่าตัดจึง อาจจะมีบทบาทในกลุ่มคนไข้เหล่านี้ โดยอาจจะใช้วิธีการดึงแนวกระดูกหักโดยใช้อุปกรณ์ตาม กระดูกหักที่อยู่ภายนอก (External Fixator) และจัดแนวกระดูกเพื่อให้กระดูกอ่อนผิวข้อเชื่อมต่อกัน ดังนั้นใช้การยึดด้วยเหล็กภายใน (K-Wire Fixation) อาจช่วยรักษาแนวกระดูกอ่อนผิวข้อให้กลับคืน มา และในกรณีที่มีกระดูกหักเป็นชิ้นเล็กหลายชิ้นมาก อาจจำเป็นต้องใส่ Bone Graft ตรงบริเวณ ช่องว่างของกระดูกหักที่อาจเกิดขึ้นหลังจากดึงแนวกระดูกออกจากกันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

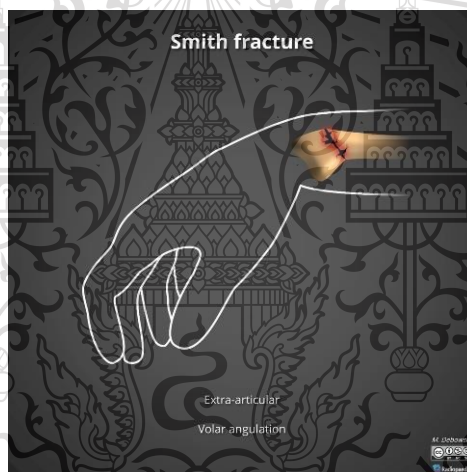
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. Smith Fracture

กระดูกหักที่เกิดบริเวณปลายกระดูกเรเดียสอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการผิดรูปไปในทางตรงกันข้ามกับ Colles Fracture อาจเรียกว่า Reverse Colles Fracture เป็นกระดูกหักที่พบไม่บ่อยเท่ากับ Colles Fracture เนื่องจากโดยปกติแล้วคนเราจะมักกลไกในการที่จะป้องกันการบาดเจ็บของตัวเองในขณะที่ล้มลง โดยการเอามือยันพื้น ซึ่งลักษณะของมือที่ยันพื้นมักจะอยู่ในท่ากระดูกข้อมือขึ้น (Dorsiflexion) ดังนั้นแนวแรงจึงก่อให้เกิดการเคลื่อนของกระดูกแขนส่วนปลายไปทางด้าน Dorsal Side ร่วมกับเกไปทางด้านนอก (Radial Deviation) แต่บางกรณีขณะได้รับบาดเจ็บนั้นข้อมือจะอยู่ในลักษณะของการงอมือ (Volar Flexion) เช่น ขณะที่กำลังกำลังของแล้วล้มลง ดังนั้นลักษณะของกระดูกหักจึงมีการเคลื่อนไปทางด้าน Volar Side เราเรียกลักษณะนี้ว่า Smith Fracture การดึงกระดูกเข้าที่ (Reduction) จะใช้วิธีตรงข้ามกับกลไกที่ใช้สำหรับ Colles Fracture กล่าวคือ ใช้แรงดึงตามแนวยาวของแขน และดัดข้อมือให้อยู่ในท่า Dorsiflexion และ Ulnar deviation แล้วทำการยึดกระดูกในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.5 การหักแบบ Smith Fracture

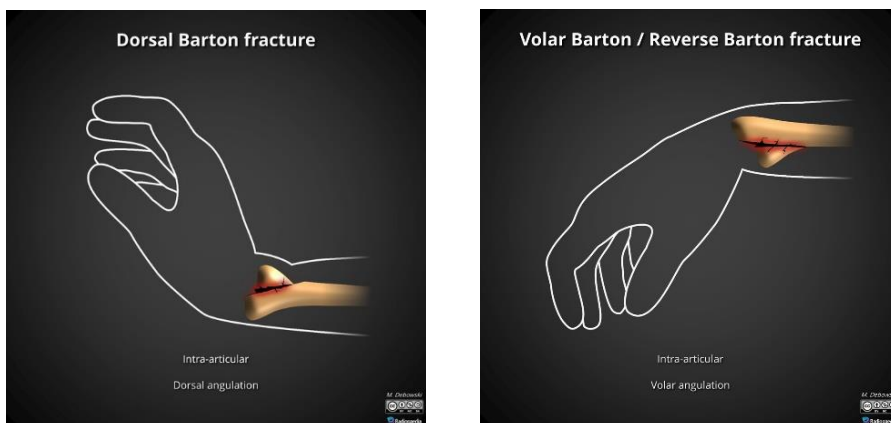
3. Barton Fracture

Barton Fracture คือกระดูกหักที่ส่วนปลายของกระดูกเรเดียส แต่รอยหักเป็นแบบเฉียง แยกจากผิวข้อ (Intraarticular) ไปทางด้าน Dorsal Lip ถ้าแตกไปทางด้าน Volar Lip จะเรียก Reverse (หรือ Volar) Barton Fracture รอยแตกจะอยู่ในแนว Coronal (ระนาบตั้งฉากกับพื้น) จึงเห็นได้ชัดในมุมมองด้านข้าง (Lateral View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การหักในรูปแบบ Dorsal Barton Fracture และ Volar Barton Fracture

4. Galeazzi Fracture

Galeazzi Fracture เป็นการหักของกระดูกแขนเรเดียส ร่วมกับการเคลื่อนที่ของข้อต่อ Distal Radio-Ulnar Joint ลักษณะของกระดูกหักชนิดนี้มักจะพบว่ากระดูก Distal ต่อส่วนต้นจะผิดรูปอยู่ในท่าคว่ำ (Pronation) เนื่องจากถูกแรงดึงของกล้ามเนื้อ Pronator Quadratus กระดูกเรเดียส Distal ต่อส่วนที่หักจะถูกกล้ามเนื้อ Supinator ดึงกลับ ทำให้กระดูกส่วนนี้แยกออกจากกัน (รูป 2.7)



รูปที่ 2.7 กลไกการผิดรูปของ Galeazzi Fracture

สำหรับวิธีการรักษาทำได้โดยการดึงกระดูกให้เข้าที่ (Close Reduction) ในกรณีไม่มีการเคลื่อนตัวของชิ้นกระดูกหักออกจากกัน โอกาสที่จะเกิดขึ้นมีน้อย หากจะทำการรักษาโดยวิธีดึงกระดูกให้เข้าที่หรือ Immobilization แล้ว ต้องใช้วิธีดึงกระดูกหักส่วนปลายเข้ามาหาชิ้นกระดูกหักส่วนต้น ดังนั้นจึงจะต้องพยายามตามกระดูกหักส่วนปลายให้อยู่ ในท่าคว่ำ (Pronate) ซึ่งในท่านี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทางการแพทย์ที่เผยแพร่โดยไม่หวังผลกำไร และสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรงกล้ามเนื้อที่ตั้งทำให้เกิดลักษณะของ Malunion หรือข้อพิการผิดรูปแบบต่างๆ หากจะต้องทำการผ่าตัด แพทย์มักจะยึดกระดูกด้วย Plate และ Screw และทำการตามกระดูกแขนในท่าหงายแขน (Supination) เพื่อให้ข้อต่อ Distal Radio-Ulnar Joint มีการหายที่สมบูรณ์

5. Hutchinson Fracture

Hutchinson Fracture หรือ Chauffeur's Fracture เป็นการแตกด้าน Lateral ของส่วนปลายของกระดูก Radius ซึ่งรอยแตกอยู่ในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับแกนยาวของลำตัว (Sagittal) จึงเห็นได้ชัดในท่า PA View



รูปที่ 2.8 การหักแบบ Chauffeur's Fracture

6. Fracture of Radius and Ulnar Bone

Fracture of Radius and Ulnar Bone เป็นการหักของกระดูกทั้ง Radius และ Ulnar ในกรณีที่เป็นแรงกระทำต่อกระดูกโดยตรงมักจะพบเห็นรอยหักเป็นแนวขวางกระดูก (Transverse Fracture) ที่ระดับเดียวกันของกระดูกทั้งสองชิ้น หากมีแรงบิดเข้ามาเกี่ยวข้อง อาจจะทำให้พบรอยกระดูกหักเป็นแนวเฉียง (Oblique Fracture) ของกระดูกแต่ละชิ้น สำหรับวิธีการรักษาอาจจะใช้วิธี Close Reduction ได้บ้างในบางกรณี ถ้าหากทำ Close Reduction แล้ว ปลายกระดูกทั้งสองเข้ามาสบกันพอดี ก็อาจจะยอมรับได้ แต่หากการบาดเจ็บที่รุนแรงเกิดขึ้น อาจจะไม่สามารถทำการดึงกระดูกเข้าหากันได้ ถ้าเป็นเช่นนั้นจะต้องทำการผ่าตัด โดยยึดด้วยโลหะต่อไป

2.1.3 การรักษากระดูกแขนหักส่วนปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ การรักษากระดูกแขนหักส่วนปลายจะต้องทำการวินิจฉัยด้วยภาพ X-Ray ซึ่งจะช่วยแพทย์ในการคัดเลือกรักษาได้ แต่ถ้าหากผู้ป่วยมีอาการบาดเจ็บที่รุนแรงหรือมีอาการบาดเจ็บที่รุนแรงกว่านี้ แพทย์อาจจะแนะนำให้ทำการผ่าตัดเพื่อรักษากระดูกให้เข้าที่และมั่นคงยิ่งขึ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3.1 ไม่ผ่าตัด

ไม่ต้องผ่าตัดจัดกระดูกให้เข้าที่แล้วใส่เฝือกไว้ (Closed Reduction and Casting)

ขั้นตอนการรักษาแบบไม่ต้องผ่าตัด

1. ฉีดยาชาเข้าไปแลกเปลี่ยนกับเลือดคั่งตรงที่กระดูกหัก (Hematoma Block)
2. ดึงกระดูกให้เข้าที่
3. ใส่เฝือกในท่า งอข้อมือเล็กน้อย และบิดข้อมือไปทางนิ้วก้อยเล็กน้อย
4. ใส่เฝือกจนกว่ากระดูกจะติด
5. ระหว่างอยู่ในเฝือก ต้องบริหาร กำ-แบมือบ่อยๆ (Six-Pack Exercise)

2.1.3.2 ผ่าตัด

ผ่าตัดเข้าไปจัดกระดูกให้เข้าที่ พร้อมกับตามด้วยโลหะ และยึดด้วยสกรู (Open Reduction Internal Fixation) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

1. อายุ การใช้งาน ความคาดหวัง ความร่วมมือของผู้ป่วย
2. รูปแบบการหัก
3. คุณภาพของกระดูก
 - กระดูกยิงบาง ยิ่งโอกาสใส่เฝือกล้มเหลวสูง
 - แต่กระดูกบางมาก ก็ทำให้การผ่าตัดทำได้ยาก และมีโอกาสล้มเหลวได้เช่นกัน
4. โรคประจำตัวผู้ป่วยและความเสี่ยงในการผ่าตัด

ในขณะที่ใส่เฝือก ผู้ป่วยสามารถเคลื่อนไหวข้อไหล่ ข้อศอก และนิ้วมือได้ เพื่อป้องกันข้อต้อ ยึดติด ในขณะที่นอนควรใช้หมอนรองแขนให้สูงกว่าระดับหัวใจเพื่อป้องกันไม่ให้แขนบวม ประมาณ 6 สัปดาห์เมื่อแพทย์ดูภาพ X-Ray เห็นว่ากระดูกที่หักเชื่อมติดกันจึงอนุญาตให้ถอดเฝือกได้

การใส่เฝือกเป็นเวลานานทำให้มีการยึดติดของข้อต่ออื่นๆ บริเวณข้อมือและนิ้วมือ รวมถึง ความตึงตัวของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นต่างๆ การฟื้นฟูหลังจากถอดเฝือก มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ ผู้ป่วยต้องทำกายภาพบำบัด

การทำกายภาพบำบัดช่วยลดบวม ลดปวด เพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ลดความตึงตัว ของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็น เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ นอกนี้ยังจำเป็นต้องฝึกการทำกิจกรรมที่ ต้องใช้มือเช่น เปิดขวดน้ำดื่ม หรือติดกระดุมเสื้อ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถกลับมาใช้งานมือได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายนี้ จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการฝึกฝนการจัดกระดูกให้ เข้าที่ของนักศึกษาแพทย์ โดยจำลองกระดูกที่เกิดการหักเพียงสองชิ้นได้แก่ Radius (เรเดียส) กระดูก แขนท่อนใหญ่ฝั่งนิ้วโป้ง และ Distal Radius (กระดูกเรเดียสส่วนปลาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ทฤษฎีระบบแกนอ้างอิง (Reference Frame System)

Inertial Frame (I-Frame) คือแกนอ้างอิงที่ไม่เคลื่อนที่ (สมมติว่าอยู่นิ่งเมื่อเทียบกับดวงดาวที่อยู่ไกลออกไป) เป็นแกนอ้างอิงที่ใช้บรรยายความเร่งเชิงเส้นที่วัดได้ด้วย Accelerometers และความเร่งเชิงมุมที่วัดได้ด้วย Gyroscope

Body Frame (B-Frame) เป็นแกนอ้างอิง Inertial Measurement Unit (IMU) Axes เปรียบเสมือนแกนอ้างอิงที่สมบูรณ์ (Ideal) ของแกนเซนเซอร์ (Sensor Axes)

2.2.1 Direction Cosine Matrix

กำหนดให้ $r^i = [x^i \ y^i \ z^i]^T$ และ $r^b = [x^b \ y^b \ z^b]^T$ คือเวกเตอร์ใน I-Frame และ B-Frame ตามลำดับ Direction Cosine Matrix (DCM) C_b^i คือ เมทริกซ์ (Transformation Matrix) ที่ใช้เปลี่ยนเวกเตอร์ r^b เป็นเวกเตอร์ r^i เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง C_b^i , r^i , r^b ได้คือ

$$r^i = C_b^i r^b = \begin{bmatrix} x^i \\ y^i \\ z^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}x^b & c_{12}x^b & c_{13}x^b \\ c_{21}y^b & c_{22}y^b & c_{23}y^b \\ c_{31}y^b & c_{32}y^b & c_{33}y^b \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมื่อ c_{jk} คือ Cosine ของมุมระหว่างแกน j^{th} ของ I-Frame และแกน k^{th} ของ B-Frame ($j^{th} = 1,2,3$ คือแกน X,Y,Z และ $k^{th} = 1,2,3$ คือแกน x,y,z ตามลำดับ) เราสามารถกล่าวได้ว่าการใช้ DCM คือการแตกแรงของ r^b ในแนวแกน x-y-z ไปตามแนวแกน X-Y-Z ใน I-Frame ด้วย Dot Product DCM มีคุณสมบัติที่สำคัญคือเป็น Orthogonal Matrix กล่าวคือ

$$[C_b^i]^{-1} = [C_b^i]^T = C_i^b \quad (2)$$

เมื่อ $[C_b^i]^{-1}$ คือ Inverse ของ C_b^i และ $[C_b^i]^T$ คือ Transpose ของ C_b^i เราสามารถใช้ DCM เพื่อแสดงว่าวัตถุทำมุมเอียงกับแกนอ้างอิงอย่างไร เช่น จากกรณีข้างต้น หากกำหนดให้ B-frame เป็นแกนอ้างอิงที่ยึดติดกับวัตถุ และ I-Frame เป็นแกนอ้างอิงที่ยึดติดกับผิวโลก C_b^i จะเป็นตัวบ่งชี้ว่า ณ เวลาหนึ่ง วัตถุทำมุมเอียงกับผิวโลกอย่างไร

สมมติให้วัตถุหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ดังนั้นมุมเอียงของวัตถุ (และ DCM) จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา เราสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ DCM ได้โดยกำหนดให้ $\sigma = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z]^T$ เป็นเวกเตอร์มุมของการหมุน (Rotation Angle Vector) ที่เมื่อหมุน B-Frame ที่เวลา t_k โดยใช้ σ เป็นแกนหมุนด้วยมุมขนาด $|\sigma| = \sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$ จะได้ผลลัพธ์คือ B-Frame ที่เวลา t_{k+1} สามารถเขียน σ ในรูป Skew-Symmetric ได้

$$[\sigma \times] = \begin{bmatrix} 0 & -\sigma_z & \sigma_y \\ \sigma_z & 0 & -\sigma_x \\ -\sigma_y & \sigma_x & 0 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (3) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ให้ b_k และ b_{k+1} หมายถึง B-Frame ที่เวลา t_k และ t_{k+1} ตามลำดับ และเราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$C_{b_{k+1}}^n = C_{b_k}^n C_{b_{k+1}}^{b_k} = C_{k+1} = C_k \exp[\sigma \times] \quad (4ก)$$

$$C_{b_{k+1}}^{b_k} = \exp[\sigma \times] = I + [\sigma \times] + \frac{[\sigma \times]^2}{2!} + \frac{[\sigma \times]^3}{3!} + \frac{[\sigma \times]^4}{4!} + \dots \quad (4ข)$$

$$C_{b_{k+1}}^{b_k} = I + \sin \sigma \frac{[\sigma \times]}{\sigma} + (1 - \cos \sigma) \left(\frac{[\sigma \times]}{\sigma} \right)^2 \quad (4ค)$$

หรือ

$$C_{b_{k+1}}^{b_k} = I + a_1 [\sigma \times] + a_2 [\sigma \times]^2 \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } a_1 = 1 - \frac{\sigma^2}{3!} + \frac{\sigma^4}{5!} - \dots \text{ และ } a_2 = \frac{1}{2!} - \frac{\sigma^2}{4!} + \frac{\sigma^4}{6!} - \dots$$

สำหรับการหมุนด้วยมุมที่มีขนาดเล็ก ($\sigma = [\delta\sigma_x \ \delta\sigma_y \ \delta\sigma_z]^T$ ให้ $\delta\sigma_x \rightarrow 0, \delta\sigma_y \rightarrow 0, \delta\sigma_z \rightarrow 0$) เราสามารถประเมินค่า $C_{b_{k+1}}^{b_k}$ ได้จาก

$$C_{b_{k+1}}^{b_k} \approx I + [\varphi x] \text{ เมื่อ } [\varphi x] = \begin{bmatrix} 0 & -\delta\sigma_y & \delta\sigma_z \\ \delta\sigma_z & 0 & -\delta\sigma_x \\ -\delta\sigma_y & \delta\sigma_x & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

เราสามารถหาเวกเตอร์มุมของการหมุน σ จากความเร็วเชิงมุม ω ได้คือ

$$\sigma = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \omega dt \quad (7)$$

โดยทั่วไปถ้า ω มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางในช่วงเวลาที่พิจารณา เราจะไม่สามารถหาค่า σ ได้อย่างแม่นยำด้วยการรวม (Sum) ค่าของมุมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ (Direct Numerical Integration ของสมการที่ (7)) และในทางทฤษฎี Closed-Form Solution ของ σ สำหรับการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปสามารถหาได้จาก

$$\dot{\sigma} = \omega + \frac{1}{2} \sigma \times \omega + \frac{1}{\sigma^2} \left\{ 1 - \frac{\sigma \sin \sigma}{2(1 - \cos \sigma)} \right\} \sigma \times (\sigma \times \omega) \quad (8)$$

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ เราสามารถหา σ จากสมการที่ (7) โดยเขียน sine และ cos ในรูปของ Series Expansion แล้วไม่พิจารณาเทอมที่มี Order สูง เช่น สมการที่ (9) หรือ 4th Order Approximation ของสมการที่ (7)

$$\dot{\sigma} = \omega + \frac{1}{2} \sigma \times \omega + \frac{1}{12} \sigma \times (\sigma \times \omega) \quad (9)$$

นอกจากนี้ เรายังสามารถประมาณ σ ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $\sigma = \alpha(t_{k+1}) + \delta\alpha(t_{k+1})$ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า (10)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น $\delta\alpha(t_k) = \frac{1}{2} \int_{t_k}^t (\alpha \times \omega) dt$ และ $\alpha(t) = \int_{t_k}^t \omega dt$ ต้องการอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

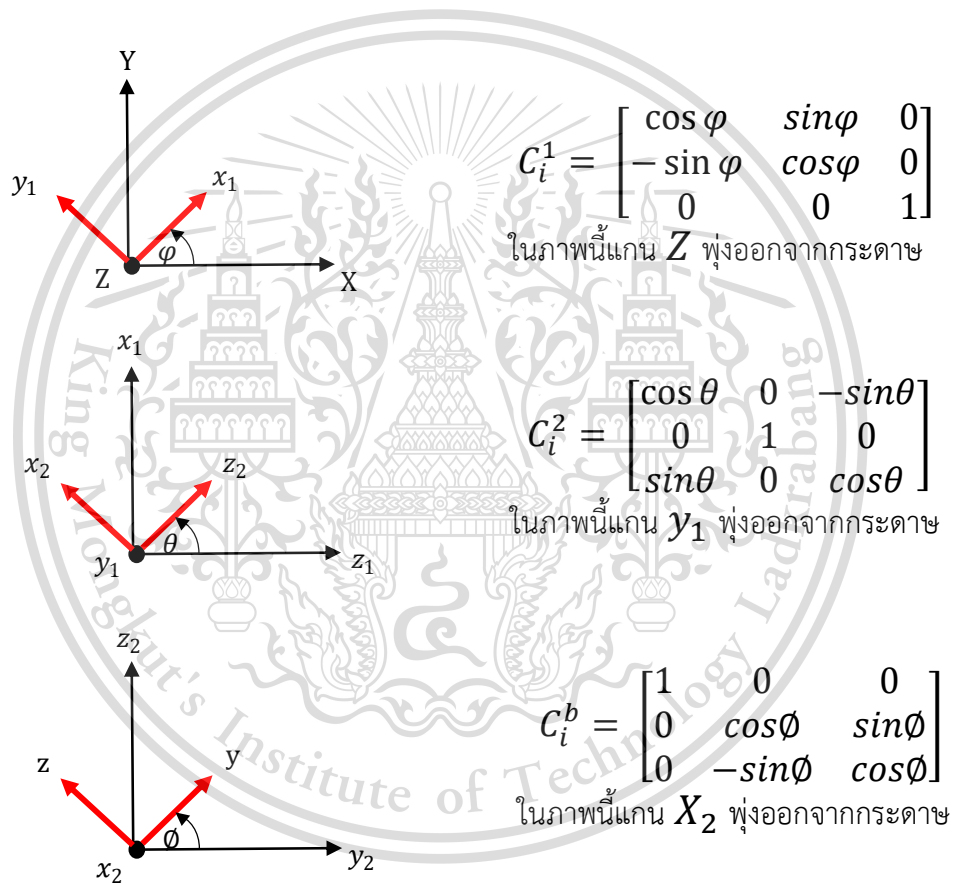
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 Euler Angles

Euler Angles เป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับใช้แสดงว่าวัตถุเอียงท่ามุมกับแกนอ้างอิงอย่างไร นิยามของ Euler Angles คือมุมที่เมื่อหมุน I-Frame ตามลำดับดังนี้แล้วจะได้ B-Frame

1. มุม Yaw φ รอบแกน z ของ I-Frame
2. มุม Pitch θ รอบแกน z ของ I-Frame
3. มุม Roll ϕ รอบแกน x ของ I-Frame

การหมุน I-Frame ตามลำดับ Yaw-Pitch-Roll ที่กำหนดข้างต้นมีความสำคัญ เพราะการหมุนแกนด้วยลำดับที่ต่างกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์คือ Transformation Matrix ที่ต่างกัน เมื่อหมุนแกนตามลำดับข้างต้นแล้วจะได้ Transformation Matrix ในรูปของ Euler Angles คือ



รูปที่ 2.9 Transformation Matrix from Euler Angles

$$C_i^b = C_2^b C_1^2 C_i^1 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$C_i^b = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & \cos \theta \sin \varphi & -\sin \theta \\ \sin \theta \sin \theta \cos \varphi - \cos \theta \sin \varphi & \sin \theta \sin \theta \sin \varphi + \cos \theta \cos \varphi & \sin \theta \cos \theta \\ \cos \theta \sin \theta \cos \varphi + \sin \theta \sin \varphi & \cos \theta \sin \theta \sin \varphi - \sin \theta \cos \varphi & \cos \theta \cos \theta \end{bmatrix} \quad (11)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถใช้สมการตามรูปที่ 2.9 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Euler Angles ตามความเร็วเชิงมุมของวัตถุ (หรือ B-Frame) ได้จาก

$$\omega_{ib}^b = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + C_2^b \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} + C_2^b C_1^2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (12)$$

สามารถเขียนและจัดรูป ได้ใหม่เป็น

$$\dot{\phi} = (\omega_y \sin\theta + \omega_z \cos\theta) \tan\theta + \omega_x \quad (13ก)$$

$$\dot{\theta} = \omega_y \cos\theta - \omega_z \sin\theta \quad (13ข)$$

$$\dot{\phi} = (\omega_y \sin\theta + \omega_z \cos\theta) \sec\theta \quad (13ค)$$

2.2.3 Quaternion

พิจารณา Complex Number ในรูปของ Polar $z_1 = e^{i\theta_1}$ (z_1 ถูก Normalized ให้มีขนาดเท่ากับ 1) และให้ Complex Number $z_2 = r_2 e^{i\theta_2}$ เมื่อคูณ Complex Numbers ทั้งสอง จะได้ $z_1 z_2 = r_2 e^{i(\theta_1 + \theta_2)}$

จะเห็นได้ว่าการคูณกันของ Normalized Complex Number เทียบเท่ากับการหมุนเวกเตอร์ใน 2 มิติ ในลักษณะเดียวกัน Quaternion เปรียบเสมือนการเขียน Complex Number ขึ้นสูงเพื่อหมุนเวกเตอร์ใน 3 มิติ

กำหนดให้ $\sigma = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z]$ เป็นเวกเตอร์มุมของการหมุน (Rotation Angle) เช่นเดียวกับในหัวข้อ Direction Cosine matrix นิยามของ Quaternion q คือ

$$q = \left[\cos \frac{\sigma}{2} \quad \frac{\sigma_x}{2} \sin \frac{\sigma}{2} \quad \frac{\sigma_y}{2} \sin \frac{\sigma}{2} \quad \frac{\sigma_z}{2} \sin \frac{\sigma}{2} \right]^T = [a \ b \ c \ d]^T \quad (14)$$

ให้ $N = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$ เราสามารถหา Normalized q ได้จาก

$$\tilde{q} = \frac{q}{N} = \frac{1}{N} [a \ b \ c \ d]^T = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3]^T \quad (15)$$

สามารถเปลี่ยนแกนอ้างอิงระหว่าง I-Frame และ B-Frame โดยการคูณ Normalized q ดังนี้

$$r^i = \tilde{q} r^b \tilde{q}^* \quad (16)$$

และ

$$r^b = \tilde{q}^* r^i \tilde{q} \quad (17)$$

$\tilde{q}^* = [-q_0 \ -q_1 \ -q_2 \ -q_3]^T$ คือ Complex Conjugate ของ \tilde{q}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สามารถเขียนสมการที่ (16) ในรูปของ Matrix Multiplication ได้คือ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$r^i = \begin{bmatrix} 1 - 2(q_2^2 + q_3^2) & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_0q_2 - q_1q_3) \\ 2(q_0q_3 - q_1q_2) & 1 - 2(q_1^2 + q_3^2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_0q_1 - q_2q_3) & 1 - 2(q_1^2 + q_2^2) \end{bmatrix} r^b = C_b^i r^b \quad (18)$$

สามารถหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ q กับความเร็วเชิงมุมของวัตถุ (B-Frame) ได้จากการคูณ Quaternion

$$\dot{q} = 0.5qp \quad (19)$$

หรือในรูปของเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (20)$$

โดยที่ $\omega_{ib}^b = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ และ $p = [0 \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ ถ้าความเร็วเชิงมุม ω_{ib}^b คงที่ในช่วงเวลาสั้นๆ ที่พิจารณา เราสามารถเขียนได้ว่า

$$q_{k+1} = q_k \cdot r_k \quad (21)$$

เมื่อ

$$r_k = [a_c \ a_s \sigma_x \ a_s \sigma_y \ a_s \sigma_z]^T$$

$$a_c = \cos\left(\frac{\sigma}{2}\right) = 1 - \frac{(0.5\sigma)^2}{2!} + \frac{(0.5\sigma)^4}{4!} - \dots$$

$$a_s = \frac{\sin\left(\frac{\sigma}{2}\right)}{2} = 0.5 \left\{ 1 - \frac{(0.5\sigma)^2}{2!} + \frac{(0.5\sigma)^4}{4!} - \dots \right\}$$

$$(0.5\sigma)^2 = 0.25(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)$$

ในขณะที่ q_k คือ Quaternion ที่บรรยายความสัมพันธ์ระหว่าง I-Frame และ B-Frame จะเห็นได้ว่า r_k คือ Quaternion ที่บอกความสัมพันธ์ระหว่าง B-Frame ที่เวลา t_k กับ t_{k+1} σ คือเวกเตอร์มุมของการหมุน (Rotation Angle) ซึ่งสามารถหาได้ตามที่บรรยายในหัวข้อ Direction Cosine Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4 ข้อพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานจริง

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดีข้อเสียของวิธี DCM, Euler Angle และ Quaternion

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
Direction Cosine Matrix	<ol style="list-style-type: none"> ทำงานได้ทุกทิศทางบนระนาบ โดยไม่มีภาวะเอกฐานหรือตรรกศาสตร์ ตัวแปรทั้ง 9 ให้ความหมายทางกายภาพที่ชัดเจน 	<ol style="list-style-type: none"> ใช้ตัวแปรมากที่สุด 9 ตัว
Euler Angles	<ol style="list-style-type: none"> ให้ความหมายทางกายภาพที่ชัดเจน (มุม Roll, Pitch, Yaw) ใช้ตัวแปรน้อยที่สุดคือ 3 ตัว 	<ol style="list-style-type: none"> การคำนวณมากและใช้หน่วยความจำมากกว่า Quaternion มีปัญหาเกี่ยวกับ Gimbal Lock เมื่อมุม pitch θ เข้าใกล้ 90 องศา $\tan \theta \rightarrow \infty$
Quaternion	<ol style="list-style-type: none"> ใช้ตัวแปรน้อยกว่า DCM การคูณและการแปลงเมทริกซ์กลับไปมาทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ 	<ol style="list-style-type: none"> หาคำนวณมาก เทอมยกกำลังสองใน (17)

จะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญที่ทำให้สามารถคำนวณมุมเอียงของวัตถุเทียบกับแกนอ้างอิงได้คือ จำเป็นต้องรู้ความเร็วเชิงมุมของวัตถุนั้นๆ โดยปกติมักตั้งสมมติฐานว่าสามารถวัดความเร็วเชิงมุมได้อย่างแม่นยำโดยไม่มี ความคลาดเคลื่อน แต่ในทางปฏิบัติทำให้ต้องวัดค่าเหล่านี้ด้วยเซนเซอร์ซึ่งจะต้องถูกรบกวนโดย Noise ทำให้ค่าความเร็วเชิงมุมที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากการหามุมเอียงเป็นการอินทิเกรต ความเร็วเชิงมุม ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์จะถูกถ่ายทอดและสะสมอยู่ในค่าของมุมเอียงที่คำนวณได้ ด้วยเหตุนี้ ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมเอียงที่คำนวณได้จึงเพิ่มสูงขึ้นตามเวลา

จากการพิจารณาวิธีการแสดงมุมเอียงของวัตถุเทียบกับแกนอ้างอิงทั้ง 3 วิธี ได้แก่ Direction Cosine Matrix, Euler Angles และ Quaternion จึงเลือกใช้วิธี Quaternion เนื่องจากการจำลองวัตถุ 3 มิติต้องการความแม่นยำสูงและไม่ต้องการใช้ตัวแปรจำนวนมาก นอกจากนี้การเขียนโปรแกรมเพื่อหา Quaternion ยังทำได้ง่ายด้วยโปรแกรม Processing IDE โดยใช้ Library ที่มีชื่อว่า Toxic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

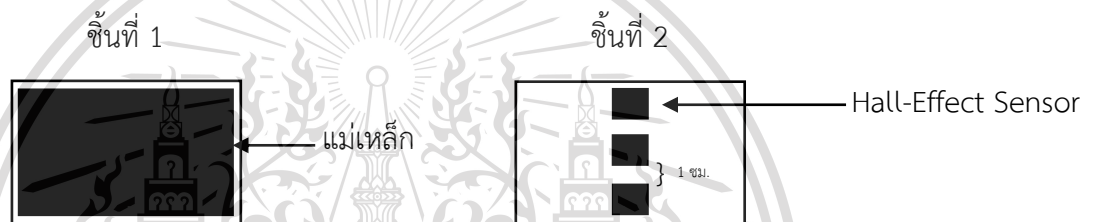
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

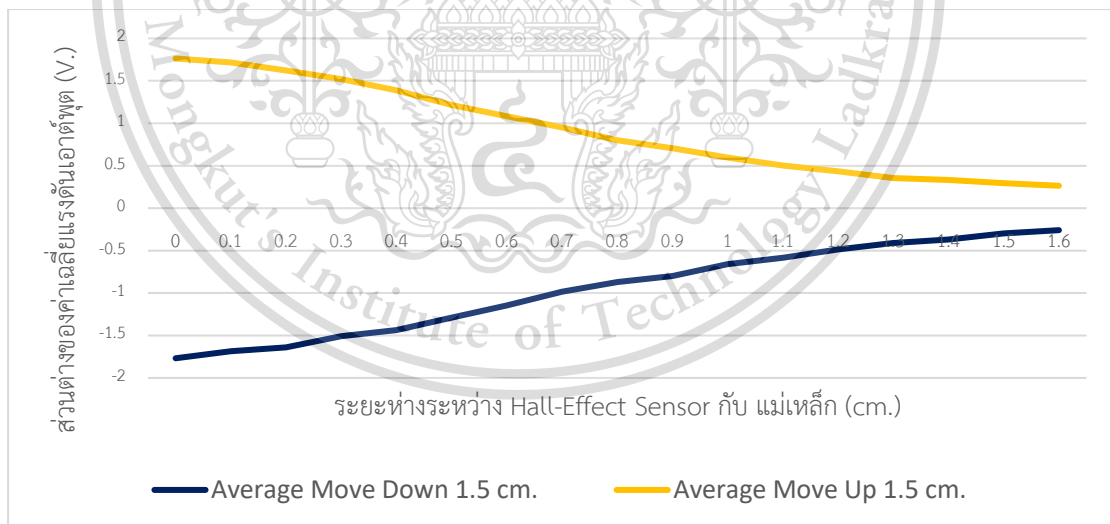
2.3 การวัดระยะเชิงเส้นด้วย Hall-Effect Sensor

Hall-Effect Sensor คือ เซนเซอร์แม่เหล็กอีกรูปแบบหนึ่งที่จะทำงานก็ต่อเมื่อมีสนามแม่เหล็กอยู่ในบริเวณรอบๆเซนเซอร์ โดยสนามแม่เหล็กมีคุณลักษณะที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) และขั้วแม่เหล็ก (เหนือ-ใต้) ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของ Hall-Effect Sensor นั้นเป็นฟังก์ชันที่เกิดจากความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กรอบๆได้เกินค่าที่กำหนดไว้ จะเกิดแรงดันที่เอาต์พุต เรียกว่า แรงดันฮอลล์ (Hall Voltage)

การทดลองเพื่อศึกษาการนำ Hall-Effect Sensor ไปใช้ในการวัดระยะเชิงเส้น ใช้ Hall-Effect Sensor ทั้งหมด 3 โมดูล วางเรียงกันในตำแหน่งห่างกัน 1 เซนติเมตร และกำหนดให้แรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ ทดลองโดยการเลื่อนแม่เหล็กไปในระยะต่างๆและบันทึกผล



รูปที่ 2.10 การวางตำแหน่ง Hall-Effect Sensor บนโมเดล



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงส่วนต่างค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตในแต่ละระยะ

จากการทดลองเคลื่อนที่แม่เหล็กขึ้นและลงในระยะ 1.5 เซนติเมตร จากจุดอ้างอิง ซึ่งเป็นระยะที่ไกลที่สุดที่ Hall-Effect Sensor จะตรวจจับสนามแม่เหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่า เอกสารนี้เป็นในช่วงที่เลื่อนแม่เหล็กขึ้นด้านบนเอาต์พุตคล้ายเชิงเส้นความชันเป็นลบ ส่วนช่วงที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ลงการค่าไม่ว่ากรณีได้เอาต์พุตคล้ายเชิงเส้นความชันเป็นบวกก็ตามระยะการเคลื่อนที่เข้าและออกของแม่เหล็ก

ส่วนการทดลองหาระยะเคลื่อนที่เข้าและออกพบว่าระยะที่แม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าและออกจะมีผลต่อแรงดันเอาต์พุตที่ออกมา จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตที่มากที่สุดจะอยู่ประมาณ 0.25 เซนติเมตร และหลังจากนั้นแรงดันก็จะลดลงเรื่อยๆตามลำดับจนน้อยที่สุดในระยะไม่เกิน 2 เซนติเมตร

จากผลการทดลองข้างต้นจึงนำมาคำนวณหาระยะเชิงเส้นได้ โดยแบ่งออกเป็นระยะการเคลื่อนที่เข้าและออก และระยะการเคลื่อนที่ขึ้นและลง

2.3.1 การคำนวณระยะเชิงเส้นของการเคลื่อนที่เข้าและออก

การเคลื่อนที่เข้าและออกระหว่างแม่เหล็กและ Hall-Effect Sensor ทั้ง 3 โมดูลจะมีเอาต์พุตที่ต่างกันตามระยะที่ต่างกัน สามารถคำนวณได้โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตของ Hall-Effect Sensor ทั้ง 3 โมดูล จากนั้นเลือกค่าเอาต์พุตของโมดูลที่มากที่สุดมาใช้แทนระยะเชิงเส้น เนื่องจากค่าที่มากที่สุดนั้นแทนด้วยตำแหน่งบริเวณที่แม่เหล็กเลื่อนไป

ค่าเอาต์พุตที่ถูกเลือกจะถูกนำมาแสดงการเคลื่อนที่ในรูปกราฟิก โดยการแปลงค่าในช่วงแรงดัน 0 – 5 โวลต์ เป็นช่วงระยะทางที่กำหนดในโปรแกรมแสดงกราฟิก เช่น ค่าที่อ่านได้จาก Hall-Effect Sensor 0 – 5 โวลต์ แปลงเป็นตำแหน่งของโมเดลกราฟิกได้ $width/2-300$ ถึง $width/2$ คือระยะทางจริง 0 ถึง 1.6 มิลลิเมตร จากจุดอ้างอิง เป็นต้น

2.3.2 การคำนวณระยะเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ขึ้นและลง

การเคลื่อนที่ขึ้นและลงระหว่างแม่เหล็กและ Hall-Effect Sensor ทั้ง 3 โมดูล ในแต่ละตำแหน่งจะมีช่วงของค่าเอาต์พุตที่ต่างกัน จึงใช้ช่วงเหล่านี้มาเป็นเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรม คือนำค่าที่มากที่สุดของการเคลื่อนที่เข้าและออกมาเป็นเงื่อนไข หากค่าที่มากที่สุดนั้นอยู่ในช่วงใดๆ แสดงว่าค่าการเคลื่อนที่เข้าและออกก็จะอยู่ในช่วงนั้นๆด้วย เช่น ค่าเอาต์พุตที่มากที่สุดของการเคลื่อนที่เข้าและออกในขณะนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 4.13 ถึง 4.23 โวลต์ แปลงเป็นตำแหน่งของโมเดลกราฟิกได้ $height/2+100$ ถึง $height/2-100$ คือระยะทางจริง 0 ถึง 0.2 มิลลิเมตร จากจุดอ้างอิง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนของการดำเนินงานได้วางแผนไว้ดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาหลักการของเซนเซอร์ที่จะนำมาใช้
3. ออกแบบและวางแผนการสร้างเครื่องจำลองกระดุกแขนห้กส่วนปลาย
4. สั่งซื้อเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ
5. ทดสอบเซนเซอร์ที่นำมาใช้
6. เขียนโปรแกรมตรวจการเคลื่อนไหว การบิดหมุนของกระดุกแขนห้กส่วนปลาย
7. เขียนโปรแกรมการส่งค่าจากเซนเซอร์ไปแสดงผลการเคลื่อนไหวบนหน้าจอสแสดงผล
8. ออกแบบและสร้างภาพกราฟิกกระดุกแขนห้กส่วนปลายเพื่อใช้แสดงผลบนหน้าจอ
9. เขียนโปรแกรมตรวจทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดุกห้กแขนส่วนปลาย
10. สร้างชุดอุปกรณ์ตามแบบที่วางแผนไว้
11. ทดสอบเครื่องจำลองกระดุกแขนห้กส่วนปลายและแก้ไขข้อผิดพลาดของเครื่องจำลองกระดุกแขนห้กส่วนปลาย
12. สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานการวิจัย

3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ทำหน้าที่รับค่าจากเซนเซอร์ MPU6050 และ Hall-Effect Sensor เพื่อทำการประมวลผลหาการเคลื่อนที่ของกระดุกแขนห้กส่วนปลาย และส่งค่าการเคลื่อนที่ไปแสดงผลบนหน้าจอ บอร์ด Arduino ที่ใช้คือ Arduino UNO R3 SMD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 Arduino UNO R3 SMD

3.2.2 MPU 6050 GY-521

GY-521 หรือ MPU6050 คือโมดูลเซนเซอร์ที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวและความเอียงของวัตถุ โดยตรวจจับจากความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม เป็นอุปกรณ์แบบ 6 DOF (6 Degrees of Freedom) คืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับค่าได้ทั้ง 6 แกน ได้แก่ Ax, Ay, Az, Gx, Gy และ Gz จากนั้นจะส่งค่าที่วัดได้ไปประมวลผลยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (บอร์ด Arduino)



รูปที่ 3.2 MPU6050 GY-521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 SS49E Linear Hall-Effect Sensor

Hall Effect Sensor เป็นเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก และให้ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าตามทิศทางและความแรงของสนามแม่เหล็ก โดยในโครงการนี้ใช้ Hall-Effect Sensor ตรวจจับสนามแม่เหล็ก เพื่อหาระยะทางระหว่างกระดูกที่หักทั้งสองชิ้น



รูปที่ 3.3 SS49E Linear Hall-Effect Sensor

3.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 โปรแกรม Arduino IDE

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับบอร์ด Arduino คือโปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์โปรแกรม Arduino IDE

ไลบรารีที่เกี่ยวข้องในการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

1. I2Cdev
2. MPU6050_6Axis
3. Wire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 โปรแกรม Processing

เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมเกี่ยวกับการสร้างภาพเคลื่อนไหวและการมีปฏิสัมพันธ์ ที่เรียกว่า GUI (Graphics User Interface) ในโครงการนี้ได้ใช้งานโปรแกรม Processing แสดงภาพจำลองการเคลื่อนที่ของกระดูกผ่านมอนิเตอร์



รูปที่ 3.5 สัญลักษณ์โปรแกรม Processing

ไลบรารีที่เกี่ยวข้องในการเขียนโปรแกรม Processing

1. OpenGL
2. Toxiclibs
3. Serial

3.3.3 โปรแกรม Blender

Blender เป็นซอฟต์แวร์เสรีสำหรับงานคอมพิวเตอร์กราฟิกสามมิติ ใช้ออกแบบกราฟิกสามมิติของกระดูกแขนหักส่วนปลายเพื่อจำลองภาพเสมือนจริง



รูปที่ 3.6 สัญลักษณ์โปรแกรม Blender

3.4 การออกแบบและการวางแผนการทำงาน

3.4.1 การออกแบบและการวางแผนทางด้านฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ศึกษาและเลือกเซ็นเซอร์ที่ต้องการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก 2. ศึกษาและเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานนี้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ทดสอบผลการวัดของเซนเซอร์ทุกโมดูล
4. เลือกอุปกรณ์สำหรับแสดงผล แหล่งจ่ายไฟ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องใช้ในการต่อ
ร่วมกัน
5. ออกแบบเครื่องจำลองกระตุกแขนหักส่วนปลาย
6. ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปแบบที่ออกแบบไว้

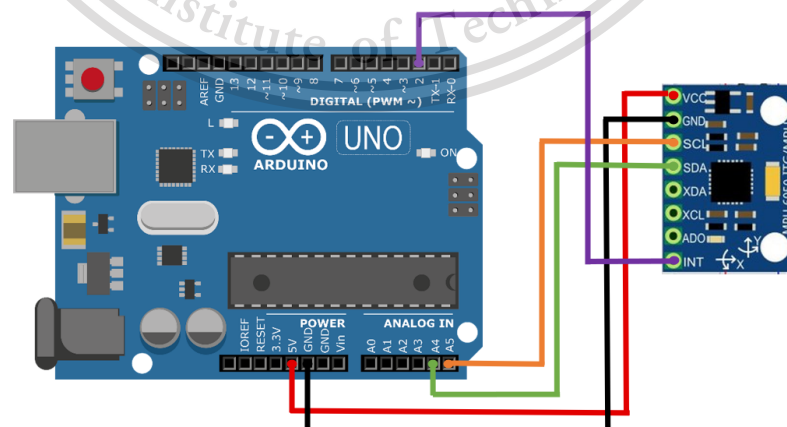
3.4.2 การออกแบบและการวางแผนทางด้านซอฟต์แวร์

1. ศึกษาโปรแกรมที่จะนำมาเขียนให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ศึกษาโปรแกรมที่จะนำมาเขียนแสดงผลผ่านหน้าจอ
3. เขียนโปรแกรม Arduino เพื่อรับค่าจากเซนเซอร์ และส่งค่าไปแสดงผลตามรูปแบบ
ที่กำหนด
4. เขียนโปรแกรม Processing เพื่อรับค่ามาแสดงผลบนโปรแกรม
5. สร้างภาพกราฟิกสามมิติบนโปรแกรม Blender
6. ทดสอบโปรแกรม กับเครื่องจำลองกระตุกแขนหักส่วนปลายที่ประกอบไว้

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การทดสอบเซนเซอร์ การทดสอบ MPU6050

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อมีการเคลื่อนไหวและความเอียงของ
วัตถุ โดยตรวจวัดจากความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไปในแต่ละแกน โดยในการทดสอบ
จะเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์ MPU6050 1 โมดูล การเชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 3.7

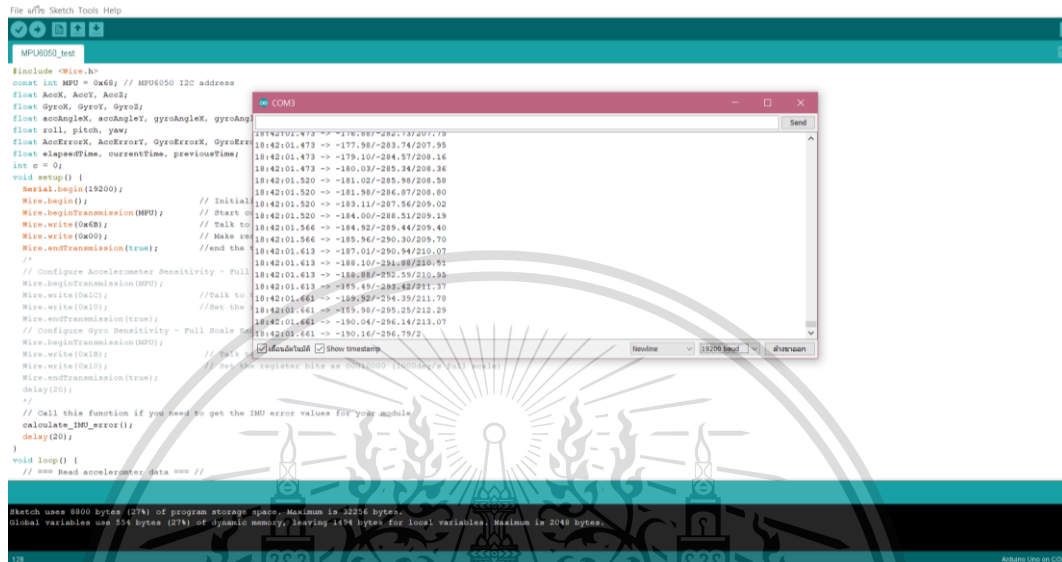


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเขียนโปรแกรม Arduino IDE รับค่าจากเซนเซอร์ MPU6050 เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ เอกลักษณ์แสดงค่าการหมุน Yaw, Pitch และ Roll ที่ประมวลผลจากแอกเซลอโรมิเตอร์และไจโรสโคปเพื่อให้ได้ค่า 3 มิติที่แม่นยำ

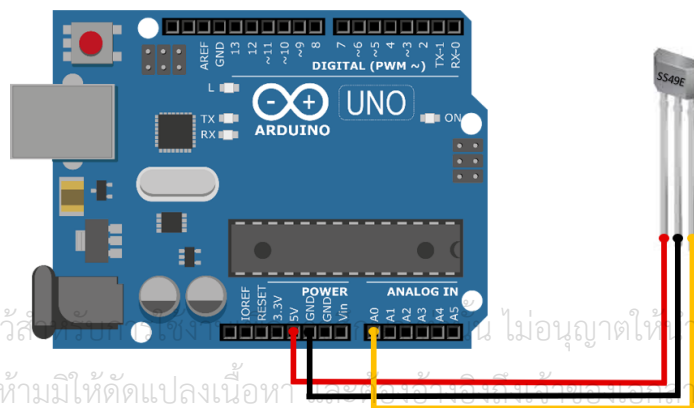


รูปที่ 3.8 ค่าจาก MPU6050 บน Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

ใช้เวลาประมาณ 10 วินาที ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ MPU6050 จึงจะเริ่มคงที่และสามารถอ่านค่าที่แม่นยำได้

การทดสอบ Hall-Effect Sensor

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อมีการตรวจจับสนามแม่เหล็ก ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของสนามแม่เหล็ก ในการทดสอบจะเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์ Hall-Effect Sensor 1 โมดูล การเชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อ Hall-Effect Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

combine_halfeffect:
  sensor_data_packet[18] = MPU6050_read();

  sensor_data_packet[19] = voltage;
  //Serial.write(sensor_data_packet, 24);
  //For (int i=0;i<24;i++){
  //Serial.print(sensor_data_packet[i]); Serial.print(" ");
  Serial.print("voltage");
  Serial.print(" : ");
  Serial.println(voltage);
  // increment packet counter;
  //sensor_data_packet[21]++;
  //Serial.println(millis());
  }

  MPU6050_read_data = false;
  voltage_read_data = false;
}

void setup() {
  // Initialize I2C
  #if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
  Wire.begin();
  TWBR = 24; // 400kHz I2C clock (200kHz if CPU is 8MHz)
  #elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_I2C
  #endif

  // Setup I2C
  Serial.begin(115200);
  //Serial.println(128000);
}

Sketch uses 15049 bytes (46%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 1514 bytes (74%) of dynamic memory, leaving 532 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

```

Serial Monitor Output:

```

23:40:29.019 -> voltage : 2.75
23:40:29.067 -> voltage : 2.76
23:40:29.067 -> voltage : 2.76
23:40:29.067 -> voltage : 2.76
23:40:29.067 -> voltage : 2.77
23:40:29.067 -> voltage : 2.77
23:40:29.113 -> voltage : 2.77
23:40:29.113 -> voltage : 2.77
23:40:29.113 -> voltage : 2.70
23:40:29.113 -> voltage : 2.80
23:40:29.113 -> voltage : 2.83
23:40:29.158 -> voltage : 2.88
23:40:29.158 -> voltage : 2.96
23:40:29.158 -> voltage : 3.08
23:40:29.158 -> voltage : 3.32
23:40:29.158 -> voltage : 3.93
23:40:29.203 -> voltage : 4.24
23:40:29.203 -> voltage : 4.24
23:40:29.203 -> voltage : 4.24
23:40:29.249 -> voltage : 4.23
23:40:29.249 -> voltage : 4.21
23:40:29.249 -> voltage : 4.20
23:40:29.249 -> voltage : 4.17

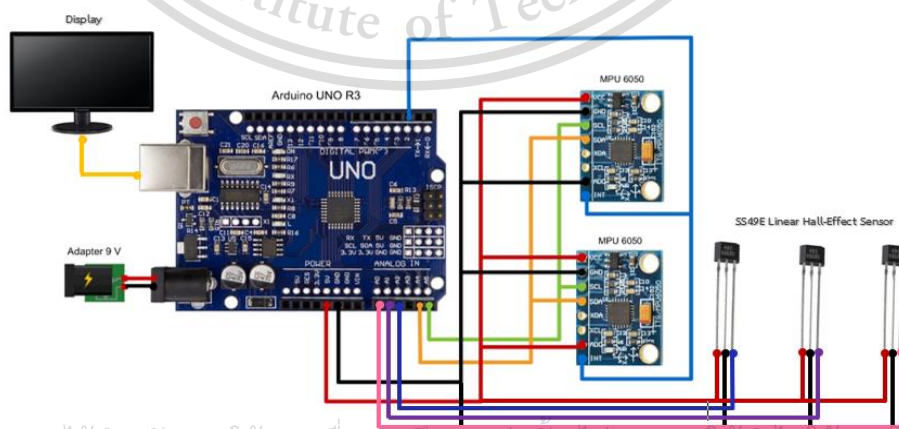
```

รูปที่ 3.10 ค่าจาก Hall-Effect Sensor บน Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุต Hall-Effect Sensor แปรผันตามความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กหรือแปรผันตามระยะห่างจากแม่เหล็ก ดังนั้นจึงนำ Hall-Effect Sensor มาประยุกต์ใช้ในการหาระยะและทิศทางในการเคลื่อนที่ของกระดูกแขนท่อนปลาย

3.5.2 การต่อเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ภายในวงจรจะมีแหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ ซึ่งต่อกับไฟบ้านและจ่ายไฟให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจ่ายไฟแรงดัน 5 โวลต์ให้กับ MPU6050 โมดูลวัดค่าความเร่ง 2 โมดูล และ Hall-Effect Sensor เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก 3 โมดูล ส่วนจอแสดงผลเป็นการส่งแบบ I²C จะใช้ขา A5 (SCL) และ A4 (SDA) การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และ MPU6050 เชื่อมต่อดังตารางที่ 3.1 และการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และ Hall-Effect Sensor เชื่อมต่อดังตารางที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับ MPU6050

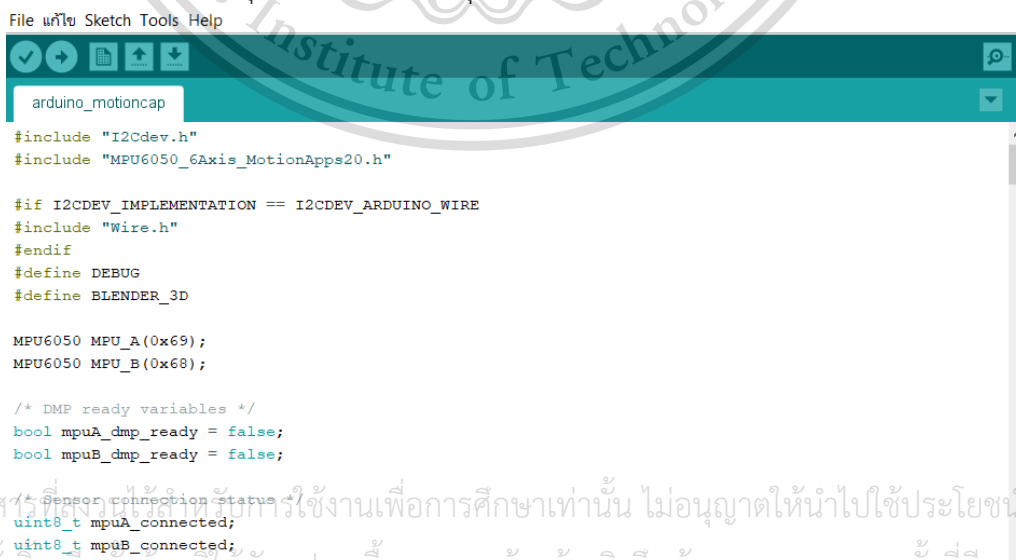
Arduino	MPU6050 1	MPU6050 2
5V	VCC, ADO	VCC
GND	GND	GND, AD0
A4	SDA	SDA
A5	SCL	SCL
D2	INT	INT

ตารางที่ 3.2 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Hall-Effect Sensor

Arduino	Hall-Effect Sensor 1	Hall-Effect Sensor 2	Hall-Effect Sensor 3
5V	PIN 1	PIN 1	PIN 1
GND	PIN 2	PIN 2	PIN 2
A0	PIN 3	-	-
A1		PIN 3	-
A2		-	PIN 3

3.5.3 การเขียนโปรแกรมสำหรับ MPU6050

ขั้นตอนนี้เป็นการเขียนโปรแกรม Arduino IDE เพื่อรับค่าจากเซนเซอร์ MPU6050 2 โมดูล แต่ละโมดูลแทนกระดูกแขนแต่ละชิ้น นำค่าที่อ่านได้มาประมวลผลหาการบิดเอียงไปจากหยุดนิ่งของเซนเซอร์ และส่งค่าการหมุนเอียงผ่านพอร์ตอนุกรมไปยังโปรแกรมแสดงผล



```
File แก้ไข Sketch Tools Help
arduino_motioncap
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"

#if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
#include "Wire.h"
#endif
#define DEBUG
#define BLENDER_3D

MPU6050 MPU_A(0x69);
MPU6050 MPU_B(0x68);

/* DMP ready variables */
bool mpuA_dmp_ready = false;
bool mpuB_dmp_ready = false;

/* Sensor connection status */
uint8_t mpuA_connected;
uint8_t mpuB_connected;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE สำหรับ MPU6050

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับ Hall-Effect Sensor

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าจาก Hall-Effect Sensor มาประมวลผล โดยเริ่มจากการเขียนโปรแกรม Arduino IDE เชื่อมต่อและรับค่าของ Hall-Effect Sensor 3 โมดูล ที่เพิ่มเข้ามา โดยในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมนี้นี้ จะต้องทดลองเพื่อหาค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก เซนเซอร์เมื่อเข้าใกล้แม่เหล็กในแต่ละระยะเพื่อนำมาใช้คำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งและกำหนด จุดในการแสดงผล

```

curtime_subscribe_ 15:17:18.834 -> 41.86 , 33.70 , 24.61
// sensor 11
sensor_data_packet[11] = mg 15:17:18.834 -> 41.81 , 34.38 , 24.51
sensor_data_packet[12] = mg 15:17:18.834 -> 41.76 , 36.14 , 24.51
sensor_data_packet[13] = mg 15:17:18.834 -> 41.62 , 36.79 , 24.41
sensor_data_packet[14] = mg 15:17:18.834 -> 41.62 , 41.08 , 24.26
sensor_data_packet[15] = mg 15:17:18.880 -> 41.86 , 42.35 , 24.17
sensor_data_packet[16] = mg 15:17:18.880 -> 42.06 , 42.30 , 24.02
sensor_data_packet[17] = mg 15:17:18.880 -> 42.10 , 42.54 , 24.07
sensor_data_packet[18] = mg 15:17:18.928 -> 42.10 , 42.54 , 24.41
15:17:18.928 -> 42.71 , 43.09 , 25.40
15:17:18.928 -> 35.51 , 36.00 , 31.89
15:17:18.928 -> 36.28 , 35.02 , 32.04
15:17:18.976 -> 39.01 , 32.47 , 31.11
15:17:18.976 -> 30.52 , 31.30 , 30.28
15:17:18.976 -> 28.57 , 30.08 , 29.49
15:17:18.976 -> 27.39 , 29.03 , 28.84
15:17:18.976 -> 26.74 , 28.22 , 28.62
//Serial.print(sensor_data
Serial.print(voltage));mg 15:17:19.023 -> 26.02 , 27.44 , 27.83
Serial.print(voltage));mg 15:17:19.023 -> 25.73 , 27.15 , 27.54
// Increment packet counter
// sensor_data_packet[2]++
15:17:19.023 -> 25.68 , 27.00 , 23.49
15:17:19.023 -> 25.54 , 26.30 , 27.49
15:17:19.072 -> 25.45 , 26.76 , 27.34
15:17:19.072 -> 25.35 , 26.66 , 27.39
15:17:19.072 -> 25.25 , 26.41 , 27.35
15:17:19.072 -> 25.28 , 26.46 , 27.38
15:17:19.118 -> 25.23 , 26.26 , 27.44
15:17:19.118 -> 25.16 , 26.21 , 27.45
15:17:19.118 -> 25.16 , 26.36 , 27.64
15:17:19.118 -> 25.10 , 26.42 , 27.66
15:17:19.118 -> 25.05 , 26.44 , 27.93
void setup() {
  // Initialize I2C
  }
  
```

รูปที่ 3.13 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE สำหรับ Hall-Effect Sensor

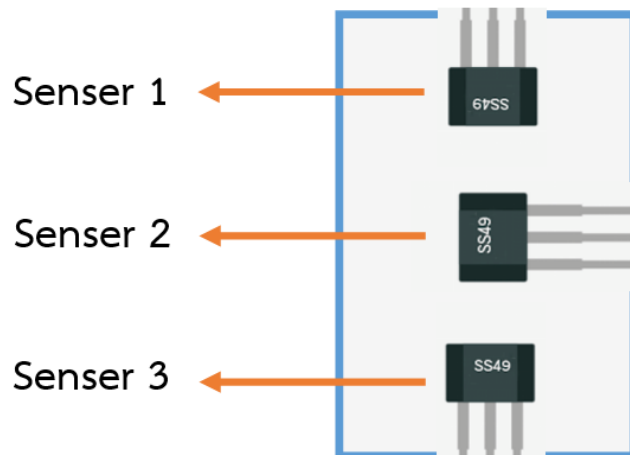
ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนทดลองหาค่าของแรงดันของ Hall-Effect Sensor แต่ละโมดูลวาง ในตำแหน่งที่ต่างกันเมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ในแต่ละระยะ โดยในการทดลองจะกำหนดให้ขอบเขตของ ระยะที่ห่างที่สุดจากจุดศูนย์กลางไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะนำค่าที่ไปใช้ในการเขียน โปรแกรมต่อไป

โดยการทดลองนี้จะทดลองหาค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก Hall-Effect Sensor ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ในการทดลองใช้ทิศแม่เหล็กชี้เหนือเมื่อเข้าใกล้ค่าแรงดัน เอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามระยะทางหรือความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยการทดลองจัดทำขึ้น เพื่อหาช่วงของค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตในแต่ละระยะ เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งของ ภาพกราฟที่แสดงบนโปรแกรม Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการวางของเซนเซอร์ทั้งสามโมดูล

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปด้านล่าง 1.5 เซนติเมตร

Distance (cm.)	V _{Out} Move Down 1.5 cm. (V.)			V _{Out} (Sensor1-Sensor3) (V.)
	Sensor1	Sensor2	Sensor3	
0	2.4064	3.8456	4.1748	-1.7684
0.1	2.4534	3.9734	4.1386	-1.6852
0.2	2.4818	3.9140	4.1212	-1.6394
0.3	2.5376	3.7702	4.0468	-1.5092
0.4	2.5230	3.4908	3.9610	-1.4380
0.5	2.5688	3.4878	3.8564	-1.2876
0.6	2.6100	3.4008	3.7556	-1.1456
0.7	2.6426	2.7514	3.6248	-0.9822
0.8	2.6074	3.2160	3.4786	-0.8712
0.9	2.6134	3.1818	3.4138	-0.8004
1.0	2.6398	3.1418	3.2976	-0.6578
1.1	2.6300	3.0812	3.2144	-0.5844
1.2	2.6418	3.0680	3.1294	-0.4876
1.3	2.6522	3.0398	3.0620	-0.4098
1.4	2.6710	3.0036	3.0386	-0.3676
1.5	2.6828	2.9788	2.9798	-0.2970
1.6	2.6798	2.9568	2.9388	-0.2590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กอยู่ที่กึ่งกลาง

Distance (cm.)	V _{Out} Center (V.)			AVERAGE V _{Out} Center (V.)
	Sensor1	Sensor2	Sensor3	
0	4.1964	4.1612	4.2706	4.2094
0.1	4.1424	4.1398	4.2414	4.1745
0.2	4.0894	4.0770	4.1388	4.1017
0.3	4.0266	3.9970	4.0850	4.0362
0.4	3.9034	3.8984	3.9968	3.9329
0.5	3.7926	3.8418	3.8318	3.8221
0.6	3.6596	3.746	3.6658	3.6905
0.7	3.5488	3.6264	3.5400	3.5717
0.8	3.3740	3.5024	3.3446	3.4070
0.9	3.2906	3.4624	3.2828	3.3453
1.0	3.1736	3.3618	3.1834	3.2396
1.1	3.0844	3.2794	3.1078	3.1572
1.2	3.0504	3.2698	3.0498	3.1233
1.3	3.0132	3.2186	3.0034	3.0784
1.4	2.9574	3.1208	2.9516	3.0099
1.5	2.9084	3.0936	2.9066	2.9695
1.6	2.8910	3.0590	2.8664	2.9388

ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปด้านบน 1.5 เซนติเมตร

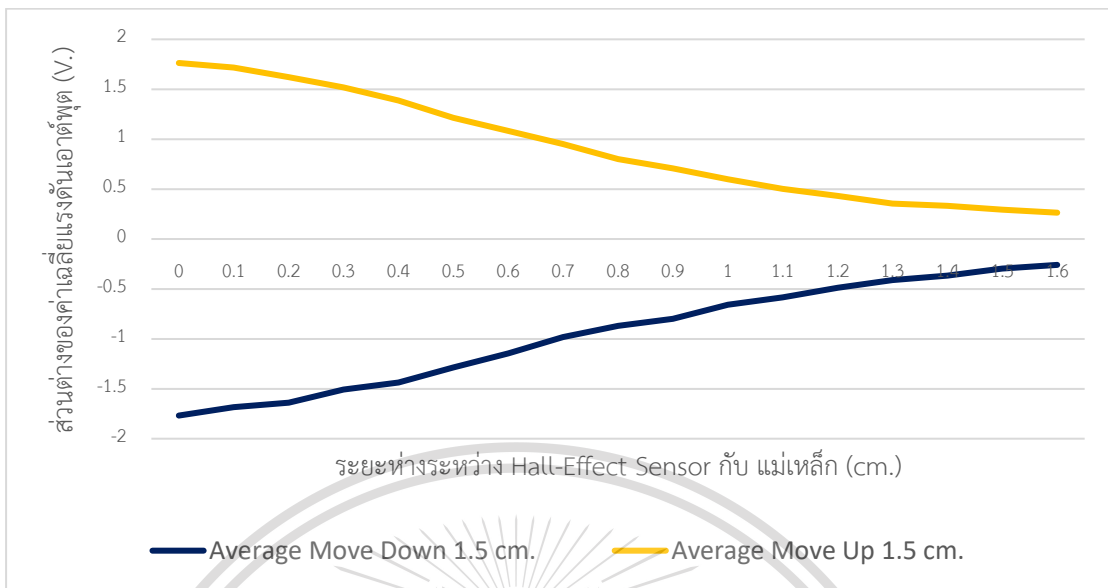
Distance (cm.)	V _{Out} Move Up 1.5 cm. (V.)			V _{Out} (Sensor1-Sensor3) (V.)
	Sensor1	Sensor2	Sensor3	
0	4.1862	3.7378	2.4232	1.7630
0.1	4.1574	3.8886	2.4400	1.7174
0.2	4.1208	3.5118	2.4980	1.6228
0.3	4.0400	3.4908	2.5198	1.5202
0.4	3.9216	3.4594	2.5334	1.3882
0.5	3.7898	3.4232	2.5756	1.2142
0.6	3.6964	3.2718	2.6122	1.0842
0.7	3.5702	3.1864	2.6178	0.9524
0.8	3.4132	3.1642	2.6114	0.8018
0.9	3.3308	3.1046	2.6232	0.7076
1.0	3.2272	3.0734	2.6300	0.5972
1.1	3.1478	3.0744	2.6456	0.5022
1.2	3.0826	3.0458	2.6494	0.4332
1.3	3.0112	2.9732	2.6554	0.3558
1.4	2.9908	2.9586	2.6586	0.3322
1.5	2.9670	2.9682	2.6728	0.2942
1.6	2.9202	2.9428	2.6564	0.2638

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆของเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

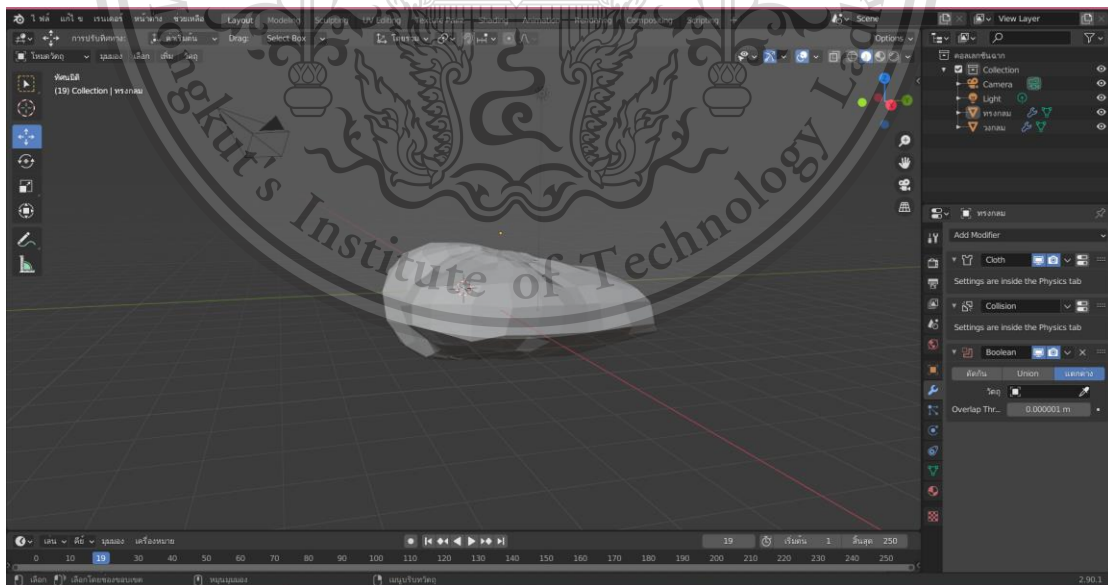
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงส่วนต่างค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตในแต่ละระยะ

3.5.5 การสร้างกราฟิกกระดูกแขนด้วยโปรแกรม Blender

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการจำลองภาพกระดูกแขนที่สลายเป็นภาพกราฟิก 3D เสมือนจริงจากโปรแกรม Blender มาใช้แสดงผลบนโปรแกรม Processing

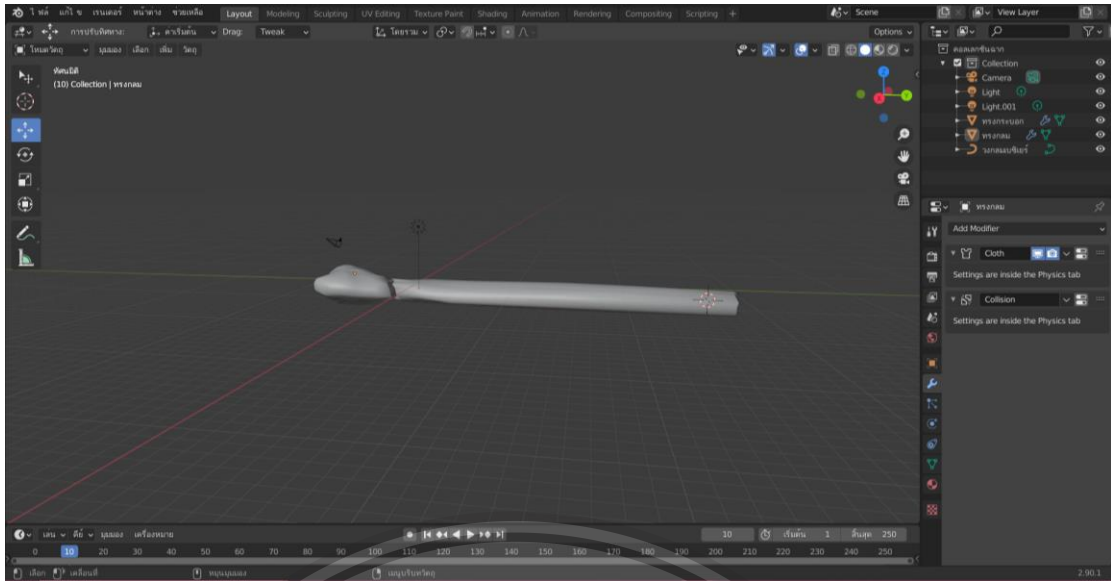


รูปที่ 3.16 การสร้างภาพภาพกราฟิก 3D จากโปรแกรม Blender (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

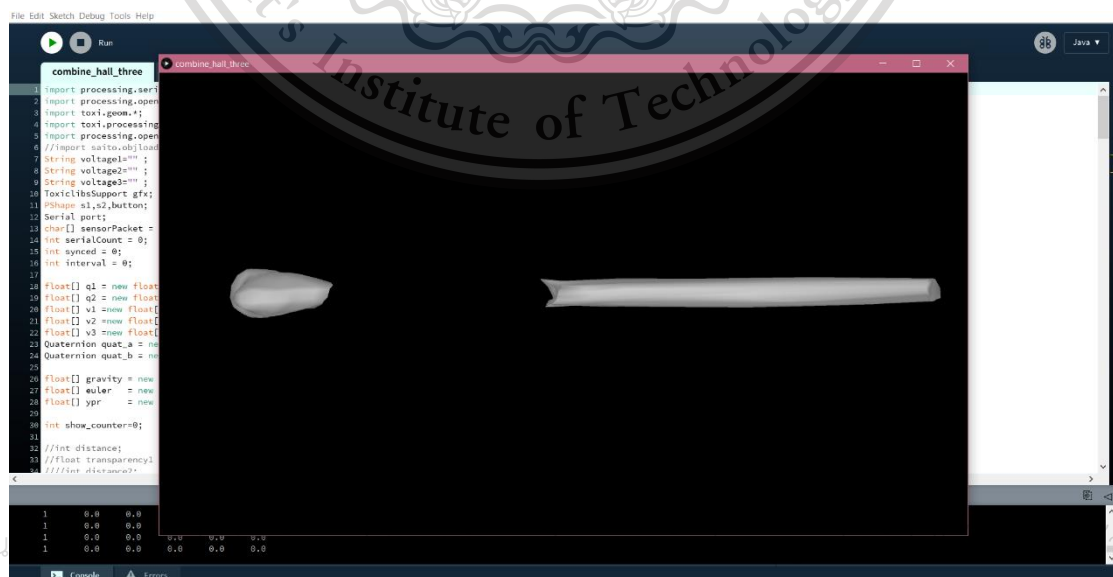
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.17 การสร้างภาพภาพกราฟิก 3D จากโปรแกรม Blender (2)

3.5.6 การเขียนโปรแกรม Processing แสดงผล

ขั้นตอนนี้เป็น การเขียนโปรแกรม Processing เพื่อรับค่าที่ประมวลผลจาก Arduino มาใช้ในการหาการบิดหมุนและระยะการเคลื่อนที่ของกระดูก โดยค่าการหมุนได้จากการคำนวณหาค่า Quaternion และระยะการเคลื่อนที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ในแต่ระยะที่ได้จากการทดลอง และนำมาใช้ในการหาทิศทางการเคลื่อนที่จากการวาง Hall-Effect sensor 3 โมดูล ในตำแหน่งที่ต่างกันเพื่อนำค่าแรงดันที่วัดได้เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ หลังจากนั้นนำค่าแรงดันจาก Hall-Effect sensor 3 โมดูลมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาทิศทางและนำมาเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลการเคลื่อนที่ของกระดูก



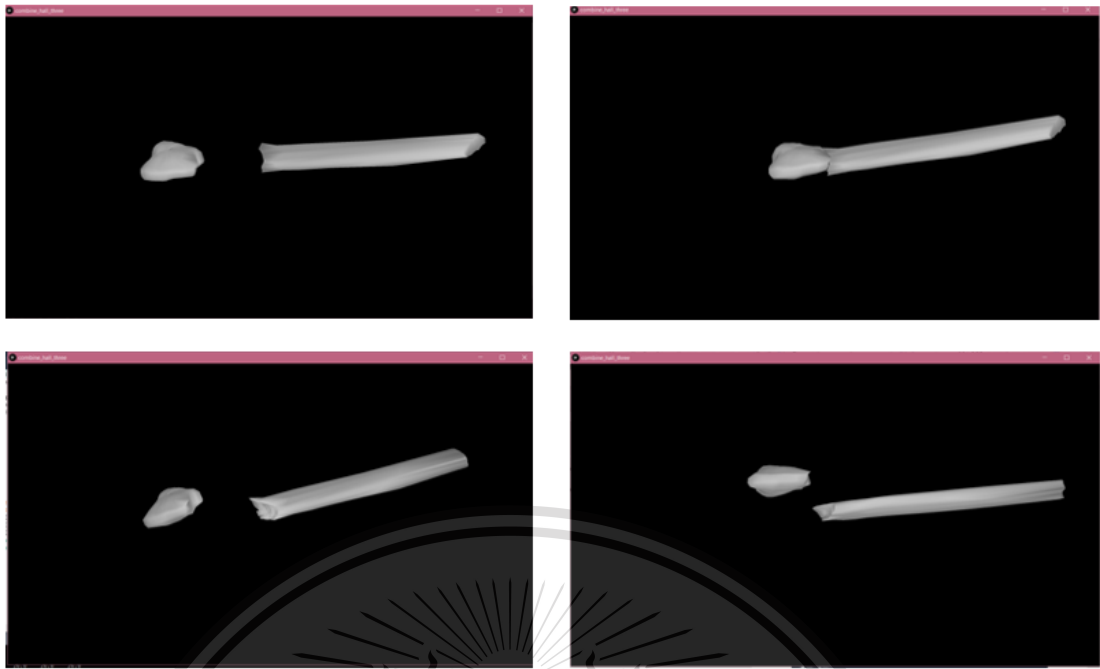
เอกสารนี้เป็น

อนการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งที่รูปที่ 3.18 การเขียนโปรแกรม Processing สำหรับการแสดงผลทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.19 ผลการเคลื่อนที่ของกระดุกบนโปรแกรม Processing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

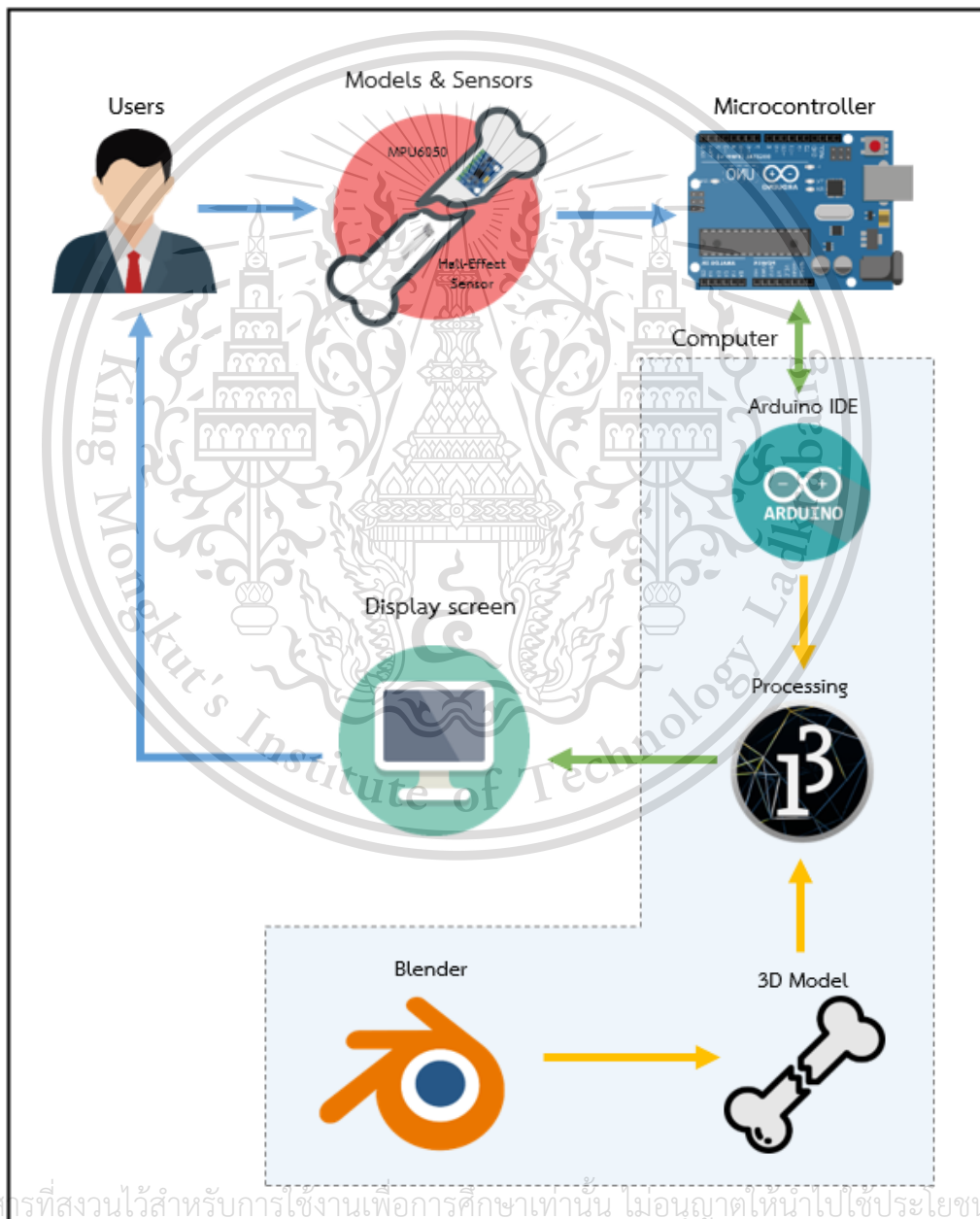
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย

เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายจะสื่อสารระหว่างเซนเซอร์ที่ติดกับกระดูกจำลองไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลตามโปรแกรมที่อัปโหลดไว้ และส่งค่าไปแสดงผลการเคลื่อนที่ผ่านหน้าจอบนโปรแกรม Processing



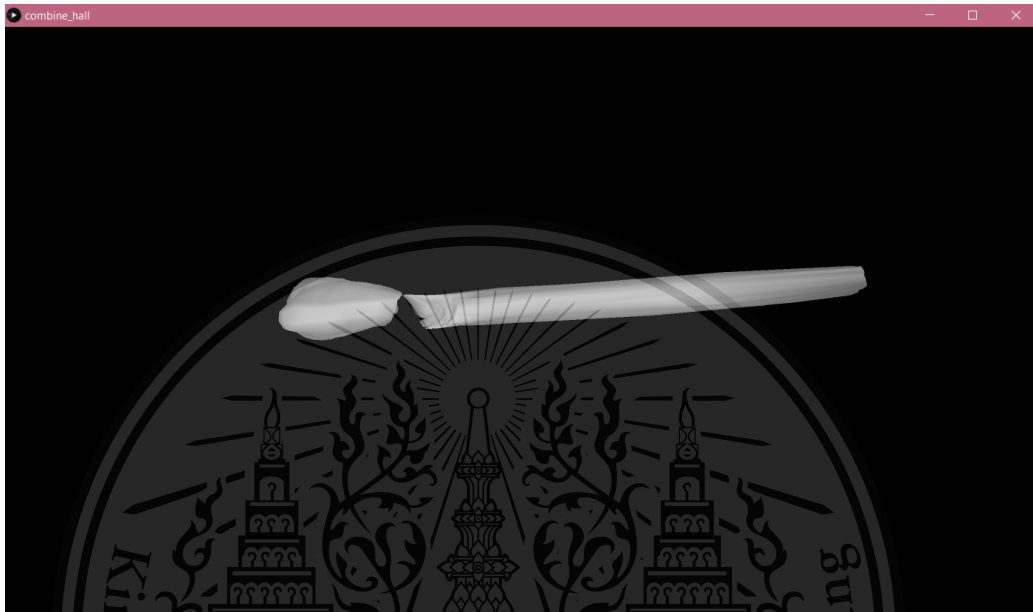
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายครั้งนี้มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

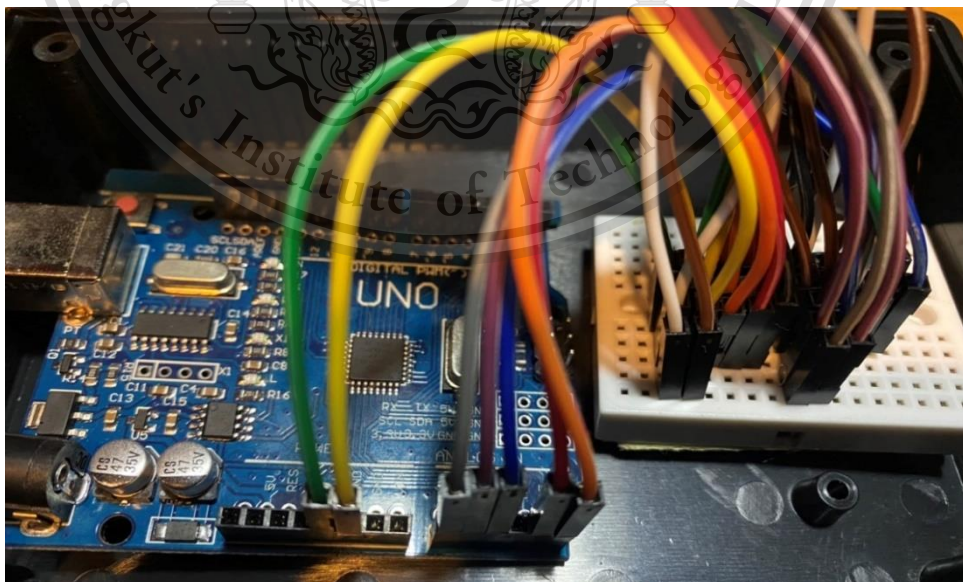
4.2 ผลการออกแบบหน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่บนโปรแกรม Processing

ภาพในหน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่ที่กระดุกแขนหักส่วนปลายบนโปรแกรม Processing จะแสดงผลการเคลื่อนที่ ทิศทางการเคลื่อนที่และการบิดหมุนของกระดุกทั้งสองชิ้น โดยนำภาพกราฟิกที่สร้างจากโปรแกรม Blender มาใช้แสดงผลการเคลื่อนที่ เพื่อให้มีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่ที่กระดุกแขนหักส่วนปลายบนโปรแกรม Processing

4.3 ผลการประดิษฐ์เครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย



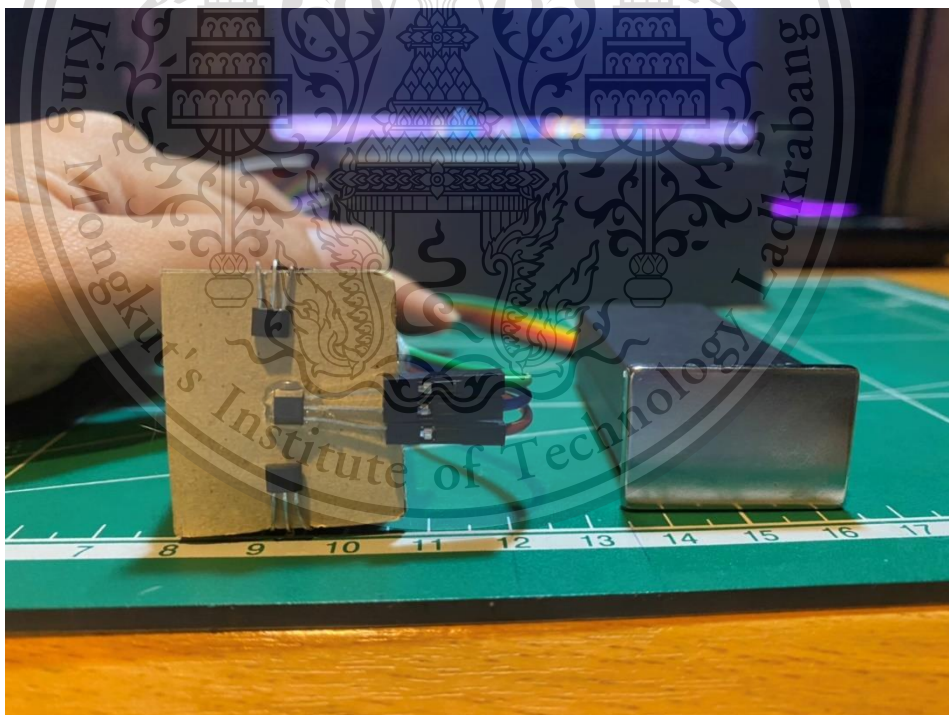
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อภายในกล่อง นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 ภายนอกของเครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย



รูปที่ 4.5 ด้านข้างของเครื่องจำลองกระดุกแขนหักส่วนปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลาย

4.4.1 Orientation Tracking

การทดลองที่ 1 หมุนกระดูกแขนรอบแกน Z 90° ตามเข็มนาฬิกา $\rightarrow 90^{\circ}$ ทวนเข็มนาฬิกา

ผลการทดลอง กราฟิกกระดูกแขนทั้งสองชิ้นหมุนรอบแกน z ไป 90° ตามเข็มนาฬิกา และ 90° ทวนเข็มนาฬิกา ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟิกกระดูกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 2 หมุนกระดุกแขนรอบแกน Y 90° ตามเข็มนาฬิกา \rightarrow หยุดนิ่ง 5 วินาที \rightarrow 90° ทวนเข็มนาฬิกา

ผลการทดลอง กราฟิกกระดุกแขนทั้งสองขึ้นหมุนรอบแกน Y ไป 90° ตามเข็มนาฬิกา และ 90° ทวนเข็มนาฬิกา ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยหลังจากหยุดนิ่งเป็นเวลา 5 วินาที



รูปที่ 4.7 กราฟิกกระดุกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 2

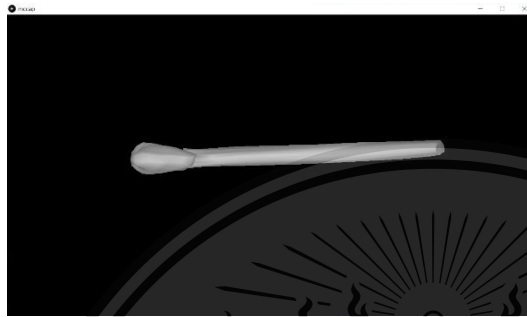
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

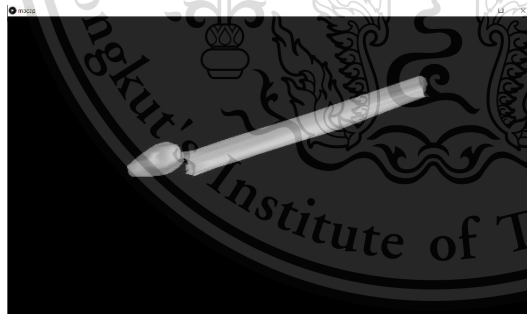
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 3 หมุนกระดูกแขนรอบแกน X 90° ตามเข็มนาฬิกา \rightarrow หยุดนิ่ง 5 วินาที \rightarrow 45° ทวนเข็มนาฬิกา \rightarrow หยุดนิ่ง 10 วินาที \rightarrow 45° ทวนเข็มนาฬิกา

ผลการทดลอง กราฟิกระดูกแขนทั้งสองชิ้นหมุนรอบแกน X ไป 90° ตามเข็มนาฬิกา หลังจากหยุดนิ่ง 5 วินาทีที่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเล็กน้อย จากนั้น 45° ทวนเข็มนาฬิกา และ 45° ทวนเข็มนาฬิกา ภาพแสดงการหมุนมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นตามเวลาเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสะสม



จุดอ้างอิง

 90° ตามเข็มนาฬิกา 45° ทวนเข็มนาฬิกา 45° ทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

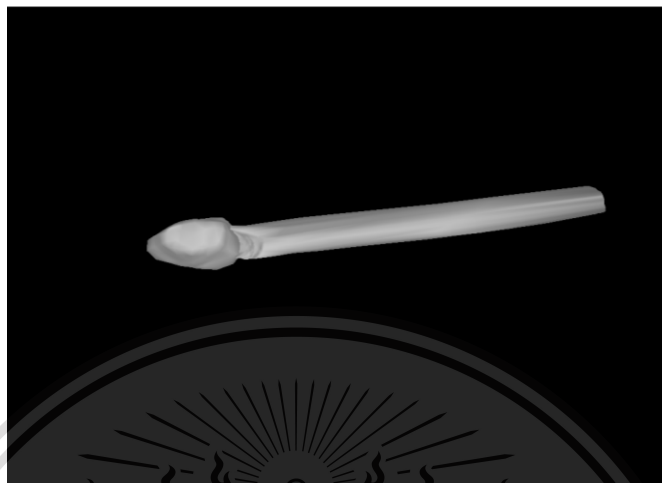
รูปที่ 4.8 กราฟิกระดูกแขนทั้งสองในการทดลองที่ 3

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 Displacement Tracking

การทดลองที่ 1 เลื่อนโมเดลกระดุกแขนชั้นที่ 1 ขึ้นสูงกว่าชั้นที่ 2 ระยะ 0.5 เซนติเมตร และห่างกัน 0.2 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 เลื่อนโมเดลกระดุกแขนชั้นที่ 1 ขึ้นสูงกว่าชั้นที่ 2 ระยะ 1 เซนติเมตร และห่างกัน 0.5 เซนติเมตร



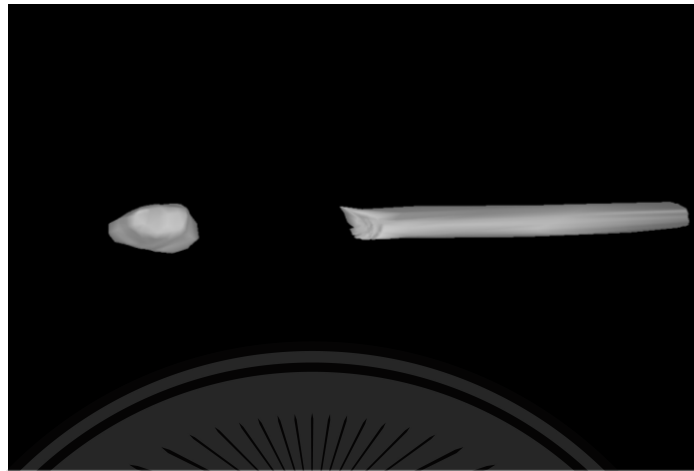
รูปที่ 4.10 ผลการเลื่อนโมเดลกระดุกในการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 3 เลื่อนโมเดลกระดูกแขนชั้นที่ 1 ห่างจากชั้นที่ 2 ระยะ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 ผลการเลื่อนโมเดลกระดูกในการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 4 เลื่อนโมเดลกระดูกแขนชั้นที่ 1 ลงต่ำกว่าชั้นที่ 2 ระยะ 1 เซนติเมตร และห่างกัน 1 เซนติเมตร



รูปที่ 4.12 ผลการเลื่อนโมเดลกระดูกในการทดลองที่ 4

ผลการทดลองครั้งที่ 1-4 พบว่า โปรแกรมสามารถแสดงผลการเคลื่อนที่ของโมเดลกระดูกแขนได้อย่างถูกต้อง สามารถนำไปใช้ในการตรวจจัดการเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมา เริ่มจากขั้นตอนแรกคือ ขั้นตอนของการศึกษา ทฤษฎีและหลักการพร้อมทำความเข้าใจกับขอบเขตของโครงการ ดังนั้นจึงได้แบ่งส่วนของการดำเนินงานเป็นทั้งหมด 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของการสร้างด้านฮาร์ดแวร์ ในส่วนนี้ได้ศึกษาถึงการแตกหักของกระดูกแขนส่วนปลาย และวิธีการรักษาอาการบาดเจ็บ ขอบเขตของการออกแบบชิ้นงานในคราวแรกต้องการสร้างชิ้นส่วนกระดูกแขนส่วนปลายให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับกระดูกส่วน Distal End Radius ให้สมจริงมากที่สุด แต่เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 จึงได้ปรับชิ้นงานให้เป็นกล่องขนาดใกล้เคียงกับกระดูกแขนแทน และสามารถนำมาใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์เดิม

2. ส่วนของการเขียนโปรแกรมด้านซอฟต์แวร์ เป็นส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าการเคลื่อนไหวที่ได้จาก MPU6050 และรับค่าระยะที่เคลื่อนที่จาก Hall-Effect Sensor ด้วยโปรแกรม Arduino IDE และเขียนโปรแกรม Processing เพื่อรับค่ามาแสดงผลการเคลื่อนไหวเป็นภาพกราฟิกผ่านหน้าจอ อีกทั้งทำการออกแบบภาพกระดูกแขนส่วนปลายเป็นภาพกราฟิกสามมิติเพื่อให้ได้ภาพเสมือนจริง

3. หลังจากที่ได้ออกแบบและประดิษฐ์เครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายเรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานมาทำการทดสอบการใช้งานด้วยการบิดและเคลื่อนที่กระดูกแขนส่วนปลาย พบว่าเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายสามารถแสดงผลการเคลื่อนไหวของกระดูกได้แบบ Real-Time และเป็นไปตามการเคลื่อนที่จริง และมีค่าความคลาดเคลื่อนสะสมอยู่เพียงเล็กน้อยโดยผู้จัดทำคาดหวังว่าหากมีการนำไปพัฒนาต่อในอนาคตจะมีการพัฒนาในการลดค่าความคลาดเคลื่อนลงได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. เนื่องจากโครงการนี้ต้องอาศัยทักษะที่ยังไม่เชี่ยวชาญ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อที่จะนำมาใช้ในโครงการนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ในการศึกษาโครงการที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นความรู้ในการเขียนโปรแกรมตรวจสอบการเคลื่อนไหวจาก MPU6050 ทั้งสองชิ้น ด้วยโปรแกรม Arduino IDE และเขียนโปรแกรมรับค่ามาแสดงภาพกราฟิกบนโปรแกรม Processing ค่อนข้างมีจำกัดและข้อมูลยังไม่แพร่หลาย จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษา แก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการเขียนโปรแกรม

3. การใช้งาน Hall-Effect Sensor มีข้อจำกัดในการใช้งานเป็นอย่างมาก ทั้งระยะที่ตรวจจับได้และตำแหน่งในการติดตั้ง การรับส่งค่าระหว่างโปรแกรมแสดงผล

4. เนื่องจากในระยะเวลาจัดทำโครงการนี้เกิดการระบาดของโรคโควิด-19 จึงส่งผลกระทบต่อในการวางแผนทำโครงการ

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ศึกษาหาข้อมูลต่างๆ ที่สามารถนำมาปรับใช้ได้
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรม ทดลองวิธีต่างๆ และสอบถามแนวทางเพิ่มเติมจากอาจารย์ที่ปรึกษาและเพื่อน เพื่อนำแนวคิดมาปรับใช้ในการเขียนโปรแกรม
3. ในการสร้างเครื่องจำลองกระดูกแขนหักส่วนปลายมีข้อจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์จึงปรับเปลี่ยนรูปแบบและสร้างแบบจำลองที่คำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์
4. เนื่องจากเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 จึงปรับเปลี่ยนแผนการทำงานและขอบเขตการจัดทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] ดร.ปลาหวาพ. “กระดูกเรเดียสส่วนปลายหัก” เข้าถึงได้จาก : <https://doctorplawan.com/?p=3654>
- [2] รศ.นพ.สมศักดิ์ คุปต์นิรัตศิษย์กุล. ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “การรักษาการบาดเจ็บของแขนและข้อศอก” เข้าถึงได้จาก : <http://ortho2.md.chula.ac.th/phocadownload/data-sheet/Injury-of-the-wrist-SomsakMD.pdf>
- [3] Dr. Mostafa El-Feky., & Assoc.Prof. Frank Gaillard., “**Barton Fracture**” เข้าถึงได้จาก : <https://radiopaedia.org/articles/barton-fracture>
- [4] ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล “กายวิภาคของข้อมือ” เข้าถึงได้จาก : <https://med.mahidol.ac.th/ortho/sites/default/files/public/images/icons/pdf/sheet-Varawat.pdf>
- [5] “คำศัพท์ทางกายวิภาคศาสตร์” เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/kaywiphakhsastr/bth-thi-1-khwam-ru-beuxng-tn-keiyw-kab-kaywiphakhsastr-aeasrirwithya>
- [6] น.ตร.ดร. กฤษณา แสงเพ็ชรส่อง. “การแสดงผลมูเมียมและการเปลี่ยนแกนอ้างอิง” เข้าถึงได้จาก : http://www.rtnalibrary.com/web/RTNA_Journal/y.5c.1/4.pdf
- [7] ปิจิราวุช เวียงจันดา. “การพัฒนาตัวจำลองความเร่งและความเร็วเชิงมุมสำหรับระบบนำทาง” เข้าถึงได้จาก : <http://www.tsme.org/home/phocadownload/MENETT30/AME/ame0002.pdf>
- [8] “Using Quaternion to Perform 3D rotations” เข้าถึงได้จาก : <https://www.cprogramming.com/tutorial/3d/quaternions.html>
- [9] Peyman Massoudi., “Unit Quaternion vs Euler Angles” เข้าถึงได้จาก : <http://peyman-mass.blogspot.com/2013/04/unit-quaternions-vs-euler-angles.html>
- [10] Thai Easy Elec (2017), “Arduino” เข้าถึงได้จาก : <https://blog.thaieasyelec.com/what-is-arduino-ch1/>
- [11] “Arduino UNO R3 SMD” เข้าถึงได้จาก : <https://commandronestore.com/products/ca002.php>
- [12] “GY-521 MPU6050” เข้าถึงได้จาก : <https://commandronestore.com/products/bo100.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำมีเหตุที่จำเป็นเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณินไปใช้

[13] Roobeek, M. (2017), “Motion Tracking” เข้าถึงได้จาก : <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A090dcd14-2a40-4d0d-9537-9f6eb59dba38>

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [14] ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ และ ดร.วีระยุทธ ศรีธรรวานิช. “MEMS Gyroscope” เข้าถึงได้จาก : <http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?%20title=%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%A5%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84>
- [15] “MPU6050 Pin Configuration” เข้าถึงได้จาก : <https://components101.com/sensors/mpu6050-module>
- [16] Aleksandar Zdravkovic (2017), “Motion capture suit based on two MPU6050” เข้าถึงได้จาก : <https://github.com/alexandarZ/Mocap-suit>
- [17] “Hall-Effect Sensor” เข้าถึงได้จาก : https://ene314.blogspot.com/2015/02/3-hall-effect-sensor.html?fbclid=IwAR3geyeBbu6TZkd9D0imLcuou1LI80h4MA_qIvzUq4VDIJ5wNE87dFXJMpg
- [18] “Linear Hall-Effect Sensor” เข้าถึงได้จาก : <https://303739ene.wordpress.com/2015/02/08/hall-effect-sensor/>
- [19] “SS49E Hall-Effect Sensor” เข้าถึงได้จาก : <https://www.electroschematics.com/inexpensive-diy-gauss-meter-project/>
- [20] “SS49E Linear Hall-Effect Sensor” เข้าถึงได้จาก : <https://www.mcucity.com/product/3062/ss49e-49e-linear-hall-effect-sensor>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

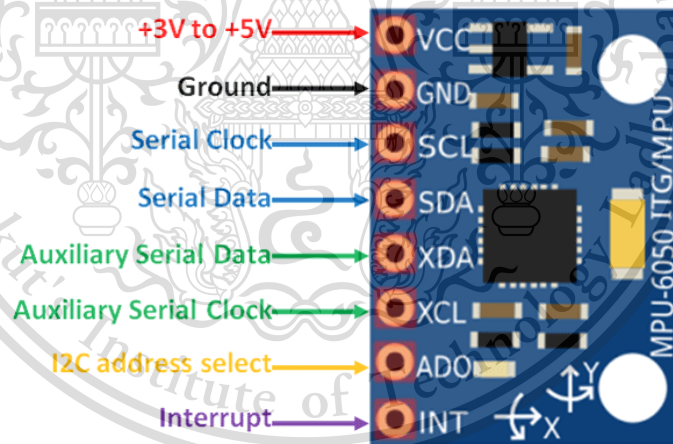
ภาคผนวก ก

โมดูลตรวจจับการเคลื่อนไหว MPU6050 GY-521

คุณสมบัติ MPU6050 GY-521

- MEMS 3-Axis Accelerometer และ 3-Axis Gyroscope รวมกัน
- แหล่งจ่ายไฟ: 3-5V
- การสื่อสาร: โพรโตคอล I² C
- ADC 16 บิตในตัวให้ความแม่นยำสูง
- DMP(Digital Motion Processor) ในตัวให้พลังการคำนวณสูง
- สามารถใช้เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I² C อื่น ๆ เช่น Magnetometer
- ที่อยู่ I² C ที่กำหนดค่าได้
- มีเซนเซอร์อุณหภูมิในตัว

อธิบายการเชื่อมต่อ MPU6050 GY-521



รูปที่ ก.1 MPU6050 Pinout

MPU 6050 สื่อสารกับ Arduino ผ่านโปรโตคอล I2C MPU 6050

1. GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ MPU6050
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ MPU6050 มีขนาด +5VDC
3. SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา กรุณาอย่าเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุจำเป็นอื่นที่จำเป็นต้องใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

MPU6050 เป็นทางเลือก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. XCL (Auxiliary Serial Clock) สามารถใช้เพื่อเชื่อมต่อโมดูล I²C อื่น ๆ กับ MPU6050 เป็นทางเลือก
7. ADO หากใช้ MPU6050 มากกว่าหนึ่งตัวใน MCU เดียวก็สามารถใช้พินนี้เพื่อเปลี่ยนที่อยู่ได้
8. INT (Interrupt) ขัดจังหวะพินเพื่อระบุว่าข้อมูลให้ MCU อ่าน

Gyroscope

ไจโรสโคปเป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบการเคลื่อนที่และการหมุนของวัตถุซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในเครื่องเล่นเกมส ฤงลมนิรภัย และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกนำไปติดตั้งบนวัตถุที่ต้องการตรวจสอบการเคลื่อนที่ เมื่อวัตถุเกิดการเคลื่อนที่ มวล (Proof Mass) ของไจโรสโคป จะเคลื่อนที่เช่นกันแต่เคลื่อนที่ช้ากว่าเนื่องจากความเฉื่อยและทำให้ตำแหน่งของปลายทั้งสองด้านของมวลเปลี่ยนแปลงไป หนึ่งตำแหน่งที่เปลี่ยนไปนี้สามารถวัดได้ด้วยเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitive Sensing) ทำให้รู้ค่าความเร่งเชิงเส้นและความเร่งเชิงมุมของการเคลื่อนที่นั้นได้ ข้อดีของ MEMS Gyroscope คือมีขนาดเล็กทำให้มีความไวในการตอบสนองสูงและสามารถขยายช่วงความถี่ในการทำงานให้ครอบคลุมความถี่ที่สูงขึ้นได้อีกด้วย

Accelerometer

เป็นอุปกรณ์วัดความเร่ง 3 แกน ในกรณีการตกอิสระ Accelerometer ในอุดมคติ ค่าในทุกแกนจะเท่ากับศูนย์ ถ้าหาก Accelerometer ถูกวางไว้ในตำแหน่งเหนือพื้นดิน ทำให้เกิดแรงต้านต่อแรงโน้มถ่วงของโลก ค่าในแกน Z จึงเป็นบวก

MEMS Accelerometer ในอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่เป็น Piezoelectric accelerometer ประกอบด้วย มวลที่เชื่อมต่อกับองค์ประกอบเพียโซอิเล็กทริก แรงบนเซนเซอร์ทำให้เกิดการกระจัดของมวลซึ่งนำไปสู่การเสีรูปขององค์ประกอบเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งในทางกลับกันสร้างแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่สัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

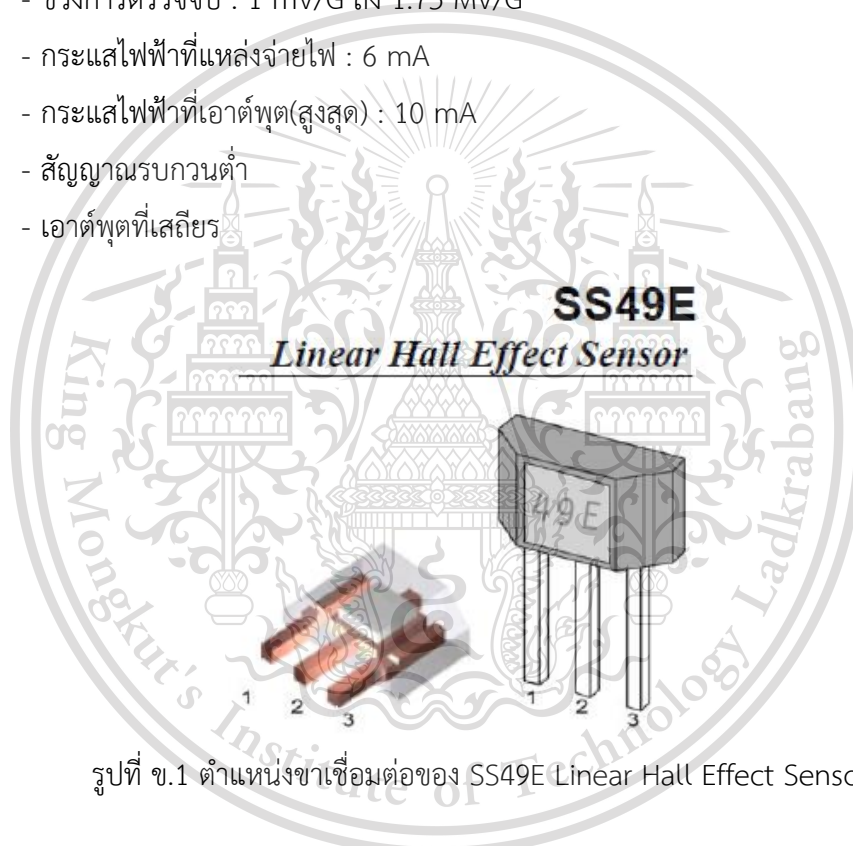
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

SS49E Linear Hall-Effect Sensor

คุณสมบัติ SS49E Linear Hall Effect Sensor

- โครงสร้างขนาดเล็ก : ออกแบบเพื่อใช้งานสำหรับงานที่มีพื้นที่จำกัด
- แหล่งจ่ายไฟ : แรงดันไฟฟ้า ช่วง 2.7 Vdc ถึง 6.5 Vdc
- อุณหภูมิในการทำงาน : -40 °C ถึง 100 °C
- ช่วงการตรวจจับ : 1 mV/G ถึง 1.75 MV/G
- กระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟ : 6 mA
- กระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุต(สูงสุด) : 10 mA
- สัญญาณรบกวนต่ำ
- เอาต์พุตที่เสถียร



รูปที่ ข.1 ตำแหน่งขาเชื่อมต่อของ SS49E Linear Hall Effect Sensor

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดขาเชื่อมต่อของ Hall-Effect Sensor

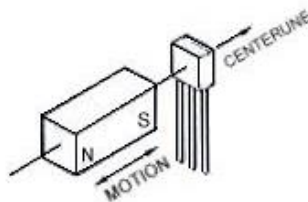
Name	No	Status	Description
V _{DD}	1	P	Supply Voltage pin
GND	2	P	Ground pin
Output	3	O	Open Drain Output pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำงานของ Linear Hall-Effect Sensor



รูปที่ ข.2 การทำงานของ Linear Hall- Effect Sensor

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ Active Area ของ Linear Hall-Effect Sensor ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ซึ่งเป็นไปตาม ทฤษฎี Hall-Effect Sensor

ทฤษฎี Hall-Effect

ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall-Effect) หรือฮอลล์เอฟเฟค เป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่ค้นพบโดย เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) ในปี พ.ศ. 2422 สิ่งที่เราค้นพบมีหลักการโดยสรุปดังนี้

แผ่นตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านเมื่อมีฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มากกระทำในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นตัวนำ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเรียกว่าแรงดันฮอลล์ (Hall Voltage) ขึ้นที่ตัวนำในทิศทางตั้งฉากกับกระแสและฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแสคงที่ให้แผ่นตัวนำจะทำให้กระแสไหลผ่านแผ่นตัวนำอย่างคงที่ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วลบไปขั้วบวก

เมื่อมีฟลักซ์แม่เหล็กมากกระทำกับแผ่นตัวนำในทิศทางตั้งฉากจะทำให้ประจุพาหะ (Charge Carrier) ของตัวนำเบี่ยงเบนไปด้านบนของตัวนำ จากรูป ประจุพาหะเป็นอิเล็กตรอนมีประจุเป็นประจุลบทำให้ด้านบนของแผ่นตัวนำมีขั้วไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนด้านล่างของแผ่นตัวนำจะมีขั้วตรงข้ามกับด้านบนนั่นคือมีประจุบวก เมื่อวัดความต่างศักย์ระหว่างด้านบนกับด้านล่างทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกมาเป็นแรงดันลบ โดยขนาดของแรงดันที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่มากระทำ หากความเข้มสนามแม่เหล็กมากก็จะทำให้เกิดแรงดันมาก และถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กน้อย แรงดันก็จะน้อยตามไปด้วย

ส่วนกรณีที่มีการกลับขั้วแม่เหล็กจะทำให้แรงดันเอาต์พุตกลับขั้วกับกรณีที่เราว่ามา ตัวนำที่มีประจุพาหะเป็นอิเล็กตรอนได้แก่ ตัวนำไฟฟ้าทั่วไป สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type) ส่วนตัวนำที่มีประจุพาหะเป็นประจุบวกได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ปัจจุบันฮอลล์เอฟเฟคจะอยู่ในรูปของวงจรรวมหรือ IC (Integrated Circuit) ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากสารกึ่งตัวนำจะให้แรงดันเอาต์พุตสูงกว่าตัวนำไฟฟ้าทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค

Arduino UNO R3 SMD

SMD หรือ Surface Mount Device คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถติดตั้งบนแผ่นวงจร PCB ได้ โดยไม่ต้องทำการเจาะรู ซึ่งอาจจะใช้วิธีการบัดกรีติดกับผิวหน้าด้านบนของ PCB หรือใช้ตะกั่วเหลวเป็นต้น ดังนั้น Arduino UNO R3 SMD จึงหมายถึง Arduino UNO ที่เลือกใช้ IC Microcontroller แบบ SMD จึงทำให้มีขนาดเล็กลง และเหลือพื้นที่ว่างบนแผ่นวงจรมากขึ้น อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่า Arduino UNO R3 แบบปกติด้วย และด้วยพื้นที่ที่มากขึ้นนี้ ทำให้เราสามารถบัดกรีก้านปลาเพิ่ม สำหรับทำเป็น Ports หรือ Pins ต่างๆ แบบตัวผู้ได้อีกด้วย (แต่เดิมให้มาเป็นแบบตัวเมีย) สำหรับข้อมูลทางเทคนิคของ Arduino UNO R3 แบบ SMD ก็จะเหมือนกับ Arduino UNO R3 แบบปกติ ต่างกันเพียงแค่ประเภทของ Microcontroller และราคา

ตารางที่ ค.1 รายละเอียด Arduino UNO R3 SMD

Technical Specs	Value
Microcontroller	ATmeg328P SMD(8 bit)
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital Input / Output Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per Input / Output Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (0.5 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Length x Width	68.6 x 53.4 mm
Weight	25 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อธิบายรายละเอียด

- Operating Voltage คือแรงดันที่บอร์ดใช้ทำงาน ซึ่งเมื่อเราเสียบสาย USB ต่อ Arduino กับคอมพิวเตอร์ ก็จะมีแรงดันเข้า 5 V อยู่แล้ว
- Input Voltage คือแรงดันที่เราป้อนเข้าไปเมื่อไม่ได้ต่อ Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะเป็นแรงดันจากแบตเตอรี่หรือ Adapter ซึ่งห้ามต่ำกว่า 6 V และเกิน 20 V โดยสามารถต่อแบตเตอรี่เข้าที่จาก Vin หรือต่อ Adapter ที่หัวแจ๊คของบอร์ด
- Digital I/O Pins คือจำนวนขาใช้งานแบบดิจิทัล(ON/OFF) มีทั้งหมด 14 ขา และ 6 จาก 14 ขา สามารถใช้งาน PWM ได้
- Analog Input Pins คือจำนวนขาใช้งานสำหรับรับค่าสวิตช์ หรืออุปกรณ์คอนโทรลแบบ Analog
- DC Current per I/O Pin ปริมาณกระแสไฟฟ้าของขาดิจิทัลเมื่ออยู่ในโหมด ON (มีค่าเพียง 20 mA แต่ก็เพียงพอที่จะใช้ในการคอนโทรลอุปกรณ์)
- Flash Memory คือหน่วยความจำหลัก ซึ่งจะเก็บ Code ทั้งหมดที่เราเขียนไว้และจะไม่สูญหายต่อให้ไม่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด เป็นหน่วยความจำที่ควรพิจารณาก่อนเวลาจะเลือกใช้ MCU
- SRAM คือหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าตัวแปร (Variable) ต่างๆ แบบชั่วคราว เมื่อไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลต่างๆก็จะสูญหายไป
- EEPROM คือหน่วยความจำแบบพิเศษ ที่แม้ไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะไม่สูญหาย
- Clock Speed ความเร็วของสัญญาณนาฬิกา มีผลต่อการทำงานและประมวลผลของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.