

Project 2: 2D-Rigid Body Ballistic Pose Estimation with IMU

สมาชิก

1. ธนชาติ เสถียรจารุการ รหัสนักศึกษา 63340500021
2. พชรพล เพชรรัตน์ รหัสนักศึกษา 63340500036
3. ลัทธวัฒน์ เลหาพะพันธุ์ รหัสนักศึกษา 63340500056
4. วรนิษฐา ลาภเกียรติถาวร รหัสนักศึกษา 63340500057

แนวทางการพัฒนา

1. Problem Formulation

ระบบนี้เป็นระบบคาดคะเนตำแหน่งและทิศทางการหมุนของวัตถุที่ถูกโยนและมีการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งในระนาบสองมิติ ทำให้วัตถุมีการเคลื่อนและหมุนกลางอากาศภายใต้แรงโน้มถ่วง โดยการประมาณตำแหน่งและทิศทางการหมุนของวัตถุนี้สามารถทำได้โดยใช้ Gyroscope และ Accelerometer ซึ่งอยู่ใน IMU ที่ติดตั้งแน่นกับวัตถุ โดย Gyroscope จะให้ค่าความเร็วเชิงมุม และ Accelerometer จะให้ค่าความเร่งเชิงเส้นของวัตถุ รวมถึงระบบนี้มีการใช้ Kalman Filter เพื่อปรับค่าที่ได้ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยระบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

1. Simulator เป็นการจำลองระบบทางกายภาพ โดยการทำให้ simulation ของวัตถุทั้งการเคลื่อนที่และการหมุนของวัตถุ รวมถึง IMU โดยส่วนนี้จะจำลองเป็น continuous-time
2. State Estimator เป็นการนำค่าที่ได้จาก IMU ใน simulator ไปประมาณตำแหน่งและทิศทางการหมุนของวัตถุ โดยกำหนดให้ input คือค่าความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงเส้นของวัตถุที่ได้จาก gyroscope และ accelerometer ตามลำดับ รวมถึงนำค่าที่ได้เข้า Kalman Filter ทำให้ได้ output เป็นตำแหน่งและทิศทางการหมุนของวัตถุในเวลาที่ต้องการ ซึ่งเป็นค่าที่มีการปรับให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นแล้ว ซึ่งส่วนนี้จะคำนวณเป็น discrete-time

2. แนวทางการพัฒนาโดยรวม

- 2.1 ศึกษาการทำงานของ Inertial Measurement Unit (IMU), การประมาณค่าตำแหน่งและทิศทางการหมุนจากค่าที่อ่านได้ รวมถึงการเพิ่มความแม่นยำจากค่าที่ประมาณได้โดยใช้ Kalman Filter
- 2.2 ออกแบบระบบทั้ง simulator, process model และ sensor model
- 2.3 สร้าง simulator ของวัตถุทั้งการเคลื่อนที่และ sensor (IMU)
- 2.4 สร้าง state estimator ซึ่งประกอบด้วย process model และ sensor model
- 2.5 เชื่อม simulator และ state estimator เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ระบบทั้งหมด
- 2.6 ทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบ

3. แนวทางการพัฒนาแบบจำลอง

3.1 Process Model

process model จะอยู่ในรูปแบบ discrete-time ซึ่งจะมีแนวทางการพัฒนาดังนี้

1. ศึกษาระบบเพื่อหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องและดูว่าตัวแปรใดมีผลต่อการคาดคะเน โดยตัวแปรเหล่านี้มาจาก simulator เช่น แรง ความเร่งเชิงเส้น ความเร็วเชิงมุม
2. สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งแรง ความเร็ว ความเร่ง มุม และเวลา ซึ่งสมการความสัมพันธ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเชิงเส้นคงที่ สมการความสัมพันธ์จึงหาได้จากสมการการเคลื่อนที่เชิงเส้น ดังนี้

$$\begin{aligned}v &= u + at \\s &= ut + \frac{1}{2}gt^2 \\s &= vt - \frac{1}{2}gt^2 \\s &= \frac{u+v}{2}t \\v^2 &= u^2 + 2as\end{aligned}$$

2.2 สมการความสัมพันธ์เชิงมุม โดยมาจากกฎของออยเลอร์

$$\tau = I\alpha$$

2.3 โมเมนตัม

$$M = Fd$$

3. นำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาหา state-space ของระบบ ทั้ง state equation และ output equation
4. นำ output จาก output equation เข้า Kalman Filter เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการคาดคะเน state ของระบบ

3.2 Sensor Model

Sensor Model ทำหน้าที่ estimate ค่า sensor ใน step ต่อไปซึ่งจะอยู่ในรูป

$$\hat{x}[k+1] = \hat{x}_p[k] + K[k](\hat{y}[k] - \hat{y}_p[k])$$

โดย \hat{x} แทน state, \hat{y} แทน output และ K แทนค่า gain จาก Kalman Filter

4. แนวทางการจำลองใน simulator

Simulator จะจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุและนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุหรือ state ต่อไปของระบบ ซึ่งจะจำลองเป็น continuous-time โดย simulator จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. การจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะมีค่า input คือแรงที่ใช้ในการโยนวัตถุ, ตำแหน่งที่แรงกระทำกับวัตถุ และมุมที่ใช้ในการโยน เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งในระนาบสองมิติภายใต้แรงโน้มถ่วง ทำให้มีการเลื่อนตำแหน่งในระนาบ XY และหมุนรอบแกน Z
2. การจำลอง sensor IMU ที่ยึดติดกับวัตถุทั้ง Gyroscope และ Accelerometer ซึ่งจำลองจากฟังก์ชันหรือสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับ sensor ทั้ง 2 ชนิด ทำให้ได้ output เป็นความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงเส้นของวัตถุ โดย output ที่ได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุ