บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

งานวิจัยการพัฒนาอุปกรณ์การวัดข้อมูลตำแหน่งสามมิติแบบพกพา สำหรับการจำลองตัวละครหรือวัตถุในงานแอนิเมชันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ มีวิธีดำเนินการ ดังต่อไปนี้

3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่อง

3.2 การกำหนดขอบเขตของการพัฒนาโครงงาน

3.3 การวางแผนเกี่ยวกับรูปแบบของโครงงาน

3.4 การพัฒนาและออกแบบการทำงานของส่วนที่เป็นโครงสร้างฮาร์ดแวร์

3.5 การพัฒนาและออกแบบการทำงานของส่วนโปรแกรมซอฟต์แวร์ประยุกต์

3.6 สมการคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

3.7 วิธีและขั้นตอนในการทดลอง

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่อง

อุปกรณ์การวัดข้อมูลตำแหน่งสามมิติแบบพกพา สำหรับการจำลองตัวละครหรือวัตถุในงานแอนิเมชันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน โดยอาศัยการอ่านตำแหน่งจากตัวเครื่องเอง ในลักษณะแกนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันจำนวน 3 แกน คือ แกน x, แกน y และแกน z ซึ่งการทำงานของเครื่องจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นโครงสร้างฮาร์ดแวร์ (Hardware) ใช้สำหรับวัดพิกัดของวัตถุต้นแบบและส่งค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปของข้อต่อแต่ละจุด และส่วนที่เป็นโปรแกรมการทำงานซอฟต์แวร์ (Software) ทำหน้าที่การคำนวณหาพิกัด การรับค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบสถานะของโครงสร้างฮาร์ดแวร์ และการส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน การทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จะมีลักษณะเป็นแขนกลมีข้อต่อแบบหมุนระนาบเดียว วัดค่าองศาที่เปลี่ยนไปในแต่ละข้อต่อ ตามหลักการทางจลนศาสตร์ของแขนกลที่ข้อต่อแต่ละจุดมีโรตารี่ เอนโค้ดเดอร์ (Rotary Encoder) เป็นอุปกรณ์อ่านค่าพัลส์ ที่เปลี่ยนไปจาก การย้ายจุดปลายของแขนกล ไปในตำแหน่งต่างๆ ของวัตถุ แล้วส่งค่าพัลส์เข้าสู่ส่วนประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตยูเอสบี จากนั้นโปรแกรมประยุกต์จะรับค่าพัลส์ที่ได้ แล้วทำการคำนวณหาค่าพิกัดจุด x,y,z ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน โดยค่าที่ได้จะการแสดงผลตำแหน่งพิกัดทันที เมื่อผู้ใช้ทำการเก็บพิกัดต่างๆ ตามตำแหน่งที่ต้องการ จากวัตถุต้นแบบเรียบร้อยแล้ว ค่าที่ได้จะถูกแสดงผลเป็นแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ โดยเครื่องวัดพิกัดชนิดนี้จะสามารถเคลื่อนย้ายตัวเครื่องไปยังใช้งานสถานที่อื่นๆ ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทำให้ใช้งานได้สะดวกและยืดหยุ่นมากขึ้น

3.2 การกำหนดขอบเขตของการพัฒนาโครงงาน

คณะผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดขอบเขตในการพัฒนาโครงงานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นโครงสร้างฮาร์ดแวร์ และส่วนโปรแกรมซอฟต์แวร์ประยุกต์

3.2.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์

สร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ สำหรับงานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก โดยมีลักษณะเป็นแขนกล มีข้อต่อแบบหมุนระนาบเดียว จำนวน 5 ข้อต่อ มีลิงค์เชื่อมต่อจำนวน 3 ลิงค์

3.2.2 โปรแกรมซอฟต์แวร์ประยุกต์

คณะผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดขอบเขตในการพัฒนาโปรแกรมซอฟต์แวร์ประยุกต์ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) โปรแกรมควบคุมการทำงานของส่วนประมวลผลกลาง โดยการควบคุมการรับส่งค่าของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และคำนวณค่าพัลส์ของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์แต่ละตัว

2) โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ โดยการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตยูเอสบี

3) โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยมีส่วนการประมวลผลค่าพิกัดจุด x,y,z ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสามารถที่จะประมวลผลและแสดงค่าพิกัดจุด บนโปรแกรมประยุกต์ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งานและเก็บบันทึกค่าที่วัดได้ในรูปแบบของ text file และ ส่วนการแสดงผลแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ บนโปรแกรมประยุกต์โดยการนำเข้าค่าที่เก็บไว้ใน text file แล้วแสดงพิกัดจุด x,y,z ที่ได้

3.3 การวางแผนเกี่ยวกับรูปแบบของโครงงาน

การพัฒนาโครงงานเป็นการประดิษฐ์เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ในรูปแบบของแขนกล เริ่มจากสืบค้นและศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาโครงงาน ประเภทของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ การทำงานของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ การทำงานของส่วนประมวลผลกลาง การทำงานเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ และการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นทำการสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ สำหรับงานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก แล้วพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ควบคุมการทำงานของส่วนประมวลผลกลาง การโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน สุดท้ายจึงทำการทดสอบผลการทำงานของเครื่อง และวิเคราะห์สรุปผลการทำงาน

3.4 การพัฒนาและออกแบบการทำงานของส่วนที่เป็นโครงสร้างฮาร์ดแวร์

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ สำหรับงานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก เป็นการผสมผสานการทำงานของ 4 อุปกรณ์หลัก คือ แขนกล โรตารี่เอนโค้ดเดอร์ ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะนำอุปกรณ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ดังนี้

3.4.1 แขนกล

มีลักษณะของเครื่องตามหลักการทำงานของนายเดนาวิท และนายฮาร์เทนเบอร์ก คือ มีข้อต่อและลิงค์ที่เชื่อมต่อที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยเป็นข้อต่อแบบหมุนจำนวน 5 ข้อต่อ และมีลิงค์เชื่อมต่อจำนวน 3 ลิงค์ มีจุดปลายแขนกลเป็นลักษณะทรงกรวยยาวปลายแหลม (Point Probe) พัฒนาขึ้นโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุหลักของแขนกล โดยลิงค์ที่ 1 มีความยาว 184.5 มิลลิเมตร ลิงค์ที่ 2 มีความยาว 300 มิลลิเมตร ลิงค์ที่ 3 มีความยาว 212.5 มิลลิเมตร และมีการติดตั้งสวิตซ์จำนวน 2 ปุ่ม เพื่อใช้สำหรับบันทึกพิกัดที่ต้องการและลบพิกัดก่อนหน้า ไว้บริเวณข้อต่อสุดท้าย (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.1)

3.4.2 โรตารี่เอนโค้ดเดอร์

ข้อต่อทั้ง 5 จุดของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ มีโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ จุดละ 1 เครื่อง ใช้สำหรับส่งสัญญาณพัลส์ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้เป็นชนิด NPN Open-Collector Output มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีจำนวนพัลส์ 2,000 พัลส์ต่อรอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที ก.2)

3.4.3 ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การประมวลผลแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ใช้ชุดบอร์ด ET-EASY MEGA1280 (DUINO MEGA) ของบริษัท อีทีที จำกัด ซึ่งเป็นชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino เป็นอุปกรณ์ในการรับและส่งค่าที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยมีการเชื่อมต่อสายสัญญาณของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์เข้ากับชุดบอร์ด ET-EASY MEGA1280 (DUINO MEGA) แล้วใช้ชุดบอร์ดนี้เชื่อมต่อผ่าน USB Port เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.3)

3.4.4 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

แผงวงจรเล็กทรอนิกส์ มีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

1) โรตารี่เอนโค้ดเดอร์ 5 เครื่อง
2) R-Network ขนาด 1 K Ω (5 P แบบ Common) 3 ตัว
3) ชุดบอร์ด ET-EASY MEGA1280 (DUINO MEGA) 1 ชุด
4) สวิตช์ PCB 4 ขา ชนิดกดติดปล่อยดับ 2 ปุ่ม
5) สายไฟ

โดยมีการเชื่อมต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.4)

3.5 การพัฒนาและออกแบบการทำงานของส่วนโปรแกรมซอฟต์แวร์ประยุกต์

3.5.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของส่วนประมวลผลกลาง

การทำงานของโปรแกรมจะทำการพัฒนาโดยใช้โปรแกรมของ Arduino แล้วถ่ายโอนข้อมูล ไปที่ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-EASY MEGA1280 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เก็บค่าสัญญาพัลส์ของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์และปุ่ม จากนั้นถ้ากดปุ่มที่ 1 จะแสดงผล OK ออกทางหน้าจอ หากว่าไม่ จะเข้าสู่การตรวจสอบปุ่มถัดไป คือ ถ้ากดปุ่มที่ 2 จะแสดงผล NOT และหลังจากกระบวนการทำงานนี้ ในลำดับต่อไปจะเข้าสู่การทำงานของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ เมื่อโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ ตัวใดเคลื่อนที่จะแสดงผลค่าพัลส์ที่เปลี่ยนไปบนหน้าจอ สุดท้ายจะส่งค่าพัลส์ไปยังโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟแวร์ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.5)

3.5.2 โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์

พัฒนาโดยใช้โปรแกรม NetBeans IDE 7.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมภาษาจาวา โดยการทำงานเริ่มต้นจาก กำหนดค่าพอร์ตของคอมพิวเตอร์ให้ตรงกับจุดเชื่อมต่อยูเอสบี รวมไปถึงการใช้ Port Name และ Baud Rate ที่ถูกต้องในโปรแกรม Arduino หลังจากนั้นเปิดการใช้งานการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O เครื่องคอมพิวเตอร์จะค้นหา Port ที่เชื่อมต่ออยู่กับชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-EASY MEGA1280 ถ้าพบว่าเชื่อมต่อได้ จะเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือ ส่งค่า Stream และทำการตรวจสอบค่า Input จากโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ ข้อมูลที่ส่งมาจะอยู่ในรูปแบบของ String ทั้งหมด ซึ่งจะต้องทำการแยกประเภทคำสั่งการทำงาน เมื่อเสร็จสิ้นจะส่งค่าไปยังโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที ก.6)

3.5.3 โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

การทำงานเริ่มจากจะรับค่าพัลส์จากโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ สำหรับโรตารี่เอนโค้ดเดอร์แต่ละตัวที่ใช้มีค่า 2,000 พัลส์ ในการหมุน 1 รอบ ฉะนั้นจึงแปลงค่าพัลส์ที่ได้เป็นองศาเพื่อใช้ในการคำนวณเมตริกซ์ โดยในแต่ละข้อต่อมีการคำนวณเมตริกซ์แตกต่างกัน และสุดท้ายจะได้ผลพิกัด x,y,z ออกมา ซึ่งจะแสดงค่าตั้งแต่ค่าพัลส์ องศา และพิกัด x,y,z ขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อผู้ใช้งานวัดจุดตามความต้องการ ให้กดปุ่ม Add และพิจารณาว่าจะเก็บค่าพิกัด x,y,z และ ค่าพัลส์ของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์หรือไม่ แต่ถ้าข้อมูลใช้ไม่ได้ให้กด ปุ่ม delete ในลำดับถัดไปถ้าข้อมูลใช้ได้จะส่งข้อมูลจากตารางลง text file นามสกุล.xyz

การวัดวัตถุจะวัดหลายๆ จุด เพื่อให้เกิดลักษณะของรูปทรงตามที่ต้องการ แล้วส่งค่าไปแสดงผลในโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้แสดงแบบจำลองได้ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.7)

3.6 สมการคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

การคำนวณหาจุดพิกัด x,y,z ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน นั้นใช้การคำนวณสมการเมตริกซ์การหมุนและการเลื่อน มาประยุกต์ใช้งานดังนี้

3.6.1 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณหาพิกัดของข้อต่อแต่ละแกน

(ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.8)

3.6.1.1 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 1

ในการคำนวณข้อต่อที่ 1 เนื่องจากเป็นข้อต่อที่อยู่ตรงส่วนฐานของตัวเครื่อง ซึ่งมีเพียงข้อต่อเดียวและมีโรตารี่เอนโค้ดเดอร์เพียงตัวเดียวมีทิศทางการวัดแกนหมุนรอบแกน y ดังนั้น จึงกำหนดแกนหมุนให้เป็นแกน y เป็นแกนอ้างอิงในการหมุนของข้อต่อนี้ ซึ่งการคำนวณในข้อต่อที่ 1 จะใช้เมตริกซ์ในดังนี้

สมการในการคำนวณชุดของเมตริกซ์เฉพาะข้อต่อที่ 1 เป็นดังนี้

$$ {}^{0}_{1}P = T_{1o} R_{1y} T_{1b} \qquad (3.1) $$

โดย

T_{1o} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

R_{1y} คือ เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

T_{1b} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะข้อต่อที่ 1

1) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2{}' \\ y_2{}' \\ z_2{}' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

2) เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

$$\begin{bmatrix} x_\beta \\ y_\beta \\ z_\beta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,0} \\ y_{1,0} \\ z_{1,0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

3) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation back)

$$\begin{bmatrix} x_1{}' \\ y_1{}' \\ z_1{}' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\beta \\ y_\beta \\ z_\beta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

(ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.9)

3.6.1.2 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 2

ข้อต่อที่ 2 เป็นข้อต่อที่อยู่เหนือขึ้นมาจากฐานของตัวเครื่อง ซึ่งในข้อต่อนี้จะมีการกำหนดแกน z เป็นแกนอ้างอิงของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ของข้อต่อที่ 2 ดังนั้น การคำนวณเมตริกซ์ในข้อต่อที่ 2 จะต้องคำนวณเป็น 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากหมุนที่ข้อต่อที่ 2 ในแกน z โดยใช้มุมของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ตัวที่ 2 ก่อน จากนั้นจึงหมุนในแกน y โดยใช้มุมของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ของข้อต่อที่ 1 แทน แล้วจึงย้ายไปต่อกับตำแหน่งจุดปลายของข้อต่อที่ 1 เพื่อให้ค่าของแกนหมุนขยับตามจุดหมุนที่เปลี่ยนแปลงไปของข้อต่อที่ 1 ด้วย โดยมีเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

(ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.10)

สมการในการคำนวณชุดของเมตริกซ์เฉพาะข้อต่อที่ 2 เป็นดังนี้

$$^0_2P = T_{2o} R_{2y} T_{2b} \quad (3.5)$$

โดย

T_{2o} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุด Origin (Translation to Origin)

R_{2y} คือ เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

T_{2b} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะข้อต่อที่ 2

1) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -69.5 \\ 0 & 1 & 0 & -184.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3{}' \\ y_3{}' \\ z_3{}' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

2) เมตริกซ์การหมุนแกน z (Rotation Right Hand-OpenGL)

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

3) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

$$\begin{bmatrix} x_2{}' \\ y_2{}' \\ z_2{}' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 69.5 \\ 0 & 1 & 0 & 184.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

จากนั้นจึงนำค่า $\begin{bmatrix} x_2{}' \\ y_2{}' \\ z_2{}' \\ 1 \end{bmatrix}$ ไปแทนลงในสมการที่ 3.2

เพื่อนำข้อต่อที่ 2 ไปหมุนตามแกน y ของข้อต่อที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป

3.6.1.3 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 3

ข้อต่อที่ 3 เป็นข้อต่อที่อยู่ถัดมาจากข้อต่อที่ 2 ซึ่งในข้อต่อนี้จะมีการกำหนดแกน z เป็นแกนอ้างอิงของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ การคำนวณเมตริกซ์ในข้อต่อที่ 3 จะต้องคำนวณเป็น 3 ขั้นตอน โดยให้หมุนที่ข้อต่อที่ 3 ในแกน z โดยใช้มุมของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ตัวที่ 3 ก่อน พอหมุนเสร็จให้ใช้การเลื่อนไปต่อที่จุดปลายของข้อต่อที่ 2 จากนั้นจึงหมุนในแกน z โดยใช้มุมของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ของข้อต่อที่ 2 ก่อน จากนั้นให้ใช้การเลื่อน ไปต่อกับตำแหน่งจุดปลายของข้อต่อที่ 1 แล้วจึงหมุนในแกน y โดยใช้มุมของโรตารี่เอนโค้ดเดอร์ของข้อต่อที่ 1 เพื่อให้ค่าของแกนหมุนของข้อต่อที่ 3 ขยับตามแกนหมุนที่เปลี่ยนแปลงไปของข้อต่อที่ 2 และข้อต่อที่ 1 ด้วยตามลำดับ โดยมีเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

(ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.11)

สมการในการคำนวณชุดของเมตริกซ์เฉพาะข้อต่อที่ 3 เป็นดังนี้

$$^{0}_{3}P = T_{3o} R_{3y} T_{3b} \quad (3.9)$$

โดย

T_{3o} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

R_{3y} คือ เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

T_{3b} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะข้อต่อที่ 3

1) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -369.5 \\ 0 & 1 & 0 & -202.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_4{}' \\ y_4{}' \\ z_4{}' \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

2) เมตริกซ์การหมุนแกน z (Rotation Right Hand-OpenGL)

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

3) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

$$\begin{bmatrix} x_3{}' \\ y_3{}' \\ z_3{}' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 369.5 \\ 0 & 1 & 0 & 202.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

จากนั้นจึงนำค่า $\begin{bmatrix} x_3{}' \\ y_3{}' \\ z_3{}' \\ 1 \end{bmatrix}$ ไปแทนลงในสมการที่ 3.6

เพื่อนำข้อต่อที่ 3 ไปหมุนตามแกน z ของข้อต่อที่ 2 แล้วหมุนตามแกน y ของข้อต่อที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป

3.6.1.4 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 4

ข้อต่อที่ 4 จะใช้วิธีการเดียวกันกับในข้อต่อที่ 3 และข้อต่อที่ 2 ดังนั้นจะขอแสดงเฉพาะเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 4 ดังนี้

สมการในการคำนวณชุดของเมตริกซ์เฉพาะข้อต่อที่ 4 เป็นดังนี้

$$^{0}_{4}P = T_{4o} R_{4y} T_{4b} \tag{3.13}$$

โดย

T_{4o} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

R_{4y} คือ เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

T_{4b} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะข้อต่อที่ 4

1) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -409.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_5{}' \\ y_5{}' \\ z_5{}' \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.14}$$

2) เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

$$\begin{bmatrix} x_\beta \\ y_\beta \\ z_\beta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

3) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

$$\begin{bmatrix} x_4{}' \\ y_4{}' \\ z_4{}' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 409.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\beta \\ y_\beta \\ z_\beta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

จากนั้นจึงนำค่า $\begin{bmatrix} x_4{}' \\ y_4{}' \\ z_4{}' \\ 1 \end{bmatrix}$ ไปแทนลงในสมการที่ 3.11

3.6.1.5 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 5

ข้อต่อที่ 5 จะใช้วิธีการเดียวกันกับในข้อต่อที่ 4 ข้อต่อที่ 3 และข้อต่อที่ 2 ดังนั้นจะขอแสดงเฉพาะเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 5 ดังนี้

สมการในการคำนวณชุดของเมตริกซ์เฉพาะข้อต่อที่ 5 เป็นดังนี้

$$^{0}_{5}P = T_{5o} R_{5y} T_{5b} \quad (3.17)$$

โดย

T_{5o} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

R_{5y} คือ เมตริกซ์การหมุนแกน y (Rotation Right Hand-OpenGL)

T_{5b} คือ เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเฉพาะข้อต่อที่ 5

1) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดกำเนิด (Translation to Origin)

$$\begin{bmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -409.5 \\ 0 & 1 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 497.5 \\ -43 \\ 44 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

2) เมตริกซ์การหมุนแกน z (Rotation Right Hand-OpenGL)

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

3) เมตริกซ์การเลื่อนไปยังจุดเดิม (Translation Back)

$$\begin{bmatrix} x_5{}' \\ y_5{}' \\ z_5{}' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 409.5 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \\ z_\theta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

จากนั้นจึงนำค่า $\begin{bmatrix} x_5' \\ y_5' \\ z_5' \\ 1 \end{bmatrix}$ ไปแทนลงในสมการที่ 3.14

3.6.2 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณจุดปลาย

$$ {}^0_5P = {}^0_1P\ {}^1_2P\ {}^2_3P\ {}^3_4P\ {}^4_5P \qquad (3.21) $$

โดย

$ {}^0_1P $ จะเป็นชุดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 1 ทั้งหมด

$ {}^0_2P $ จะเป็นชุดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 2 ทั้งหมด

$ {}^0_3P $ จะเป็นชุดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 3 ทั้งหมด

$ {}^0_4P $ จะเป็นชุดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 4 ทั้งหมด

$ {}^0_5P $ จะเป็นชุดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณข้อต่อที่ 5 ทั้งหมด

การคำนวณจุดปลายซึ่งเป็นตำแหน่งของข้อต่อที่ 5 ดังนั้น จะต้องคำนวณเมตริกซ์จากข้อต่อที่ 5 จนถึงข้อต่อที่ 1 โดยในการคำนวณเมตริกซ์จะเป็นการคำนวณจากข้างหลังไปข้างหน้าซึ่งเป็น $ {}^4_5P $ ก่อนแล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณต่อไปจนถึงข้อต่อที่ 1 ซึ่งเป็น $ {}^0_1P $ เมื่อทำการคำนวณครบทุกตัวแล้วก็จะได้ตำแหน่ง ณ จุดปลายของเครื่อง

เนื่องจากการใช้เมตริกซ์การเลื่อนสำหรับการคำนวณเมตริกซ์ของแต่ละข้อต่อ จะต้องมีการใช้จุดเริ่มต้นเวกเตอร์และจุดปลายเวกเตอร์ในการคำนวณ จึงมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวเครื่องโดยเป็นท่ารูปแบบเริ่มต้นให้เป็นไปตามแบบของแขนกลได้ (ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.12)

จากรูปที่ ก. 12 สามารถนำมากำหนดค่าพารามิติของแต่ละข้อต่อได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละข้อต่อ

ข้อต่อ	แกนหมุน	จุดเริ่มต้นเวกเตอร์			จุดปลายเวกเตอร์			องศา
		x_i	y_i	z_i	x_i	y_i	z_i	
1	Y	0	0	0	x_2'	y_2'	z_2'	β
2	Z	69.5	184.5	0	x_3'	y_3'	z_3'	θ
3	Z	369.5	202.5	0	x_4'	y_4'	z_4'	θ
4	Y	409.5	0	0	x_5'	y_5'	z_5'	β
5	Z	409.5	-10	0	497.5	-43	44	θ

3.7 วิธีและขั้นตอนในการทดลอง

การทดลองจะใช้วัตถุที่ทราบค่าความยาว ความกว้าง ความลึก แน่นอน เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ สำหรับงานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก โดยแบ่งการทดลองได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.7.1 การเก็บรวบรวมและบันทึกค่าพิกัดจุด

ขั้นตอนที่ 1 จัดเตรียมเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้

1) ติดตั้งเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

2) ยึดติดเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ ให้ติดแน่นอยู่กับโต๊ะ โดยเครื่องจะต้องไม่เคลื่อนได้ในขณะที่ทำการทดลอง

3) กำหนดตำแหน่งจุดปลายของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ เป็นท่ารูปแบบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมวัตถุที่ใช้ในการทดลอง

1) กำหนดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการวัด

2) จัดวางวัตถุที่ต้องการวัด

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมโปรแกรมประยุกต์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลองวัดพิกัดจุดของวัตถุ

1) กดปุ่ม “connect usb” บน โปรแกรมประยุกต์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

2) ย้ายปลายจุดวัดไปยังตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการวัด

3) กดปุ่ม “enter” บนเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้

4) ทำข้อ ที่ 2 และ 3 ไปเรื่อยๆ จนครบตำแหน่ง

ขั้นตอนที่ 5 ทำการบันทึกผลพิกัดที่วัดได้ในรูปแบบของ text file โดยการกดปุ่ม “print txt”

3.7.2 การแสดงผล

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ส่วนการแสดงผล

ขั้นตอนที่ 2 แสดงผลการทดลองโดยการนำเข้า text file สกุล .xyz ที่ได้จากการบันทึกผล

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

3.8.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตรวจสอบหาค่าความถูกต้องของพิกัดที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบเคลื่อนย้ายได้ สำหรับงานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก นั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบวัตถุมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง และการเทียบเคียงระหว่างวัตถุต้นแบบกับแบบจำลองวัตถุ 3 มิติที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน

3.8.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากวัตถุมาตรฐาน

1) นำค่าที่วัดได้ในแต่ละพิกัดมาเปรียบเทียบกับวัตถุที่ทราบค่าความยาวแน่นอน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน

2) นำค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้มา คำนวณหาค่าเฉลี่ย

3) นำค่าเฉลี่ยมาคำนวณหาเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อน

3.8.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากวัตถุที่นำมาใช้งานสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก

นำค่าพิกัดที่เก็บรวบรวมได้มาแสดงผล แล้วทำการเทียบเคียงลักษณะของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติกับวัตถุต้นแบบ