ระบบการหาตำแหน่งของเครื่องมือแพทย์โดยคลื่นเสียงความถี่สูง

Medical Tool Positioning System Using Ultrasonic

สุรธนา จันทรจิต[1] และ ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ ศุทธากรณ์[1,2*]

[1]*ศูนย์เครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ **(BART LAB)** คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ*

[2]*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล*

มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

[*]*Corresponding Author อีเมล์: egjst@mahidol.ac.th โทร. 02-288921389 ต่อ 6446*

บทคัดย่อ

ในการผ่าตัด ศัลยแพทย์ต้องรับรังสีต่างๆ จากอุปกรณ์ถ่ายภาพรังสี ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสม ของอนุภาคกัมมันตรังสี จนอาจเกิดอันตรายต่อแพทย์ในระยะยาวได้ การใช้ระบบนำทางในการผ่าตัด ช่วยลดจำนวนครั้งในการใช้รังสีได้ ซึ่งระบบนำทาง และระบบอัตโนมัติที่ใช้ทางการแพทย์ เช่น หุ่นยนต์เสริมการผ่าตัด ต้องมีการระบุพิกัด ของทั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทุกอย่างที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้จะนำเสนอ วิธีการหาตำแหน่งของเครื่องมือ ที่แพทย์ต้องใช้ โดยใช้หลักการของการเดินทางของคลื่นเสียง และสมการคณิตศาสตร์ โดยตำแหน่งที่ได้มานั้น จะสามารถบ่งบอกถึง ลักษณะขององศาของเครื่องมือ ในขณะนั้น ได้ด้วย

คำสำคัญ : ระบบระบุพิกัด, อัลตราโซนิค, ระบบนำทางผ่าตัด

1. บทนำ

ในการผ่าตัดทางออร์โธปิดิกส์ จำเป็น ต้องใช้รังสีเอกซ์ เพื่อหาตำแหน่งที่เครื่องมือแพทย์ที่ใช้ในการผ่าตัดต้องเข้าไปในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งต้องมีการใช้รังสีเอกซ์ในปริมาณสูง ดังนั้นในการผ่าตัด โดยการใช้ระบบนำทาง เพื่อช่วยลดจำนวนครั้งที่ต้องใช้ในการถ่ายภาพรังสีในการบอกพิกัดและองศาในการวัสดุฝังใน สอดใส่ในตำแหน่ง จำเป็นต้องบอกพิกัดวัสดุฝังใน ที่สอดคล้องกันกับ ระบบพิกัดที่ได้จากภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่จำเป็น [1]

วิธีการที่ใช้ในการหาพิกัด ของวัตถุนั้น มีหลายวิธี เช่น ระบบทางกล และตรวจวัดด้วยเอนโคดเดอร์ (Encoder) [2] ระบบการรับรู้ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (computer vision) [3] และระบบสัญญาณเสียง เป็นต้น ซึ่งการใช้สัญญาณเสียงยังมี สัญญาณเสียงที่ใช้หลายความถี่ เช่น ความถี่ที่มนุษย์ สามารถได้ยินตามปกติ [4] และความถี่ที่สูงกว่าช่วงที่มนุษย์ได้ยิน หรือ อัลตราโซนิค (Ultrasonic)

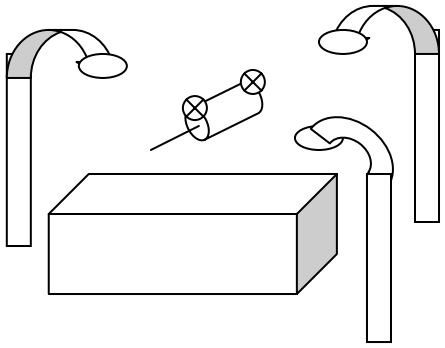
การใช้ระบบทางกลนั้น ตัวเครื่องมือที่ใช้ จะถูกติดตั้งระบบเพิ่มเติม โดยตัวระบบจะมีขนาดใหญ่ ทำให้ยากต่อการทำงาน ซึ่งทางด้านการรับรู้ภาพ จะทำการติดตั้งระบบเพิ่มเติมเข้าไปเป็นจำนวนน้อย โดยมีกล้องเป็นส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งทำให้แพทย์ ทำงานได้สะดวก แต่จะมีปัญหาในเรื่องของตำแหน่งการทำงานโดยไม่มีการปิดบังภาพ เพราะอาจทำให้ระบบไม่สามรถระบุพิกัด ขณะที่ ไม่มีสัญญาณภาพได้

การใช้ระบบบอกพิกัด โดยใช้สัญญาณเสียงอัลตราโซนิคนั้น จะทำให้แพทย์ ผู้ผ่าตัด สามารถทำงานได้สะดวกขึ้น กว่าวิธีอื่น ในด้านความคล่องตัว เพราะใช้คลื่นเสียง เพื่อตรวจจับตำแหน่ง และยังทำให้แพทย์สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยไม่ต้องกังวลถึงการปิดบังสัญญาณ

การหาระบบพิกัดโดยใช้สัญญาณเสียงนั้น สามารถระบุตำแหน่งได้โดย การวัดเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางใน

อากาศ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระยะทาง หลังจากได้ระยะมาแล้ว ซึ่งระยะทางเพียงค่าเดียว จะยังไม่สามารถระบุพิกัดได้ จำเป็นต้องใช้ระยะทาง จำนวน 3 ค่า จากจุดอ้างอิงที่ต่างกัน เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณพิกัด

โดยงานวิจัยชิ้นนี้ จะนำเสนอการหาระบบพิกัดของเครื่องมือแพทย์ เพื่อช่วยนำทาง ในการผ่าตัด โดยการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิค ซึ่งเมื่อระบบได้ทำการทดสอบจนเป็นที่พอใจแล้ว ระบบนำทางนี้ จะมีการขยายระบบจนกระทั่งใช้ติดตั้งจริง ในโรงพยาบาล โดยเมื่อระบบมีการขยายขึ้น ระบบจะมีตัวรับสัญญาณ อยู่โดยรอบเตียงผ่าตัด และจะมีการติดตั้งตัวส่งสัญญาณ ไว้ที่เครื่องมือแพทย์ เพื่อใช้ในการนำทาง ให้แพทย์ได้ทำงานโดยสะดวก และเกิดประสิทธิภาพสุงสุด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพจำลองระบบนำทางการผ่าตัด แบบใช้คลื่นเสียง

งานวิจัยนี้ จะทำการสร้าง แบบจำลองของระบบระบุพิกัด เพื่อนำแบบจำลองนี้ไปนำพัฒนา สร้างระบบต้นแบบ เพื่อนำไปสู่การใช้ในการแพทย์ โดยการสร้างระบบ และทำการทดลอง เพื่อหาความแม่นยำ ในการบอกพิกัดของระบบ

2. หลักการและการออกแบบระบบทดลอง

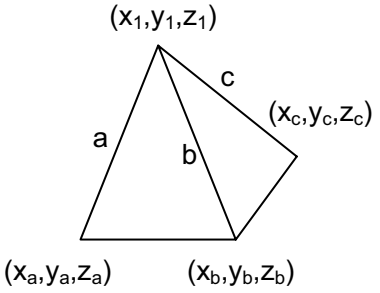
งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอการหาพิกัด โดยใช้ ตัวรับและตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิค เพื่อใช้ในการหาพิกัดของเครื่องมือแพทย์ โดยทำการจับเวลา ในการเดินทางของสัญญาณเสียง แล้วนำเวลานั้น มาคำนวณเป็นระยะทาง แล้วนำระยะทางนั้นมาคำนวณ เพื่อระบุพิกัดและองศาการทำงาน ของเครื่องมือที่ใช้ในการผ่าตัด

หลักการที่ใช้ในการทดลอง จะใช้หลักการความรู้เบื้องต้น เกี่ยวกับ การรับส่งสัญญาณอัลตราโซนิค ในการรับส่งสัญญาณ และความรู้ทางด้าน ตรีโกณมิติ เพื่อใช้ในการคำนวณระยะทาง

2.1 หลักการ

ในการคำนวณหาพิกัดนั้น ค่าระยะทางที่อัลตราโซนิค ใช้ในการเดินทางทั้ง 3 ค่า ซึ่งจะได้มาโดยการนำเวลาที่อัลตราโซนิคเดินทาง มาคูณกับความเร็ว ณ ขณะนั้น

ตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณ จะสัมพันธ์กับตัวรับสัญญาณทั้ง 3 จุด โดย



รูปที่ 2 แสดงพิกัด และระยะทาง เพื่อใช้ในการคำนวณ

$$a = \sqrt{(x_a - x_1)^2 + (y_a - y_1)^2 + (z_a - z_1)^2}$$
$$b = \sqrt{(x_b - x_1)^2 + (y_b - y_1)^2 + (z_b - z_1)^2}$$
$$c = \sqrt{(x_c - x_1)^2 + (y_c - y_1)^2 + (z_c - z_1)^2}$$

เมื่อ x_a,y_a,z_a เป็น พิกัดของชุดส่งสัญญาณ

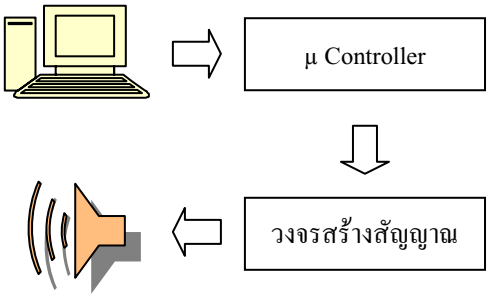
x_1,y_1,z_1 เป็น พิกัดของตัวรับสัญญาณ

a,b,c เป็น ระยะทาง

ทำการแก้สมการ เพื่อหาค่าพิกัดของ ตัวส่งสัญญาณทั้ง 2 ตัวแล้ว นำค่าพิกัดที่ได้นั้น ไปคำนวณองศาของเครื่องมือ ทำให้ทราบถึงองศาการทำงานของเครื่องมือในขณะนั้น

2.2 การออกแบบระบบ

ระบบที่ใช้การการทดลองนี้ ออกแบบมาโดยการส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ ผ่านพอร์ทอนุกรม ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้วงจร สร้างสัญญาณ ส่งสัญญาณออกไปที่ตัวส่งสัญญาณที่ถูกติดตั้ง อยู่บนเครื่องมือ เพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวรับต่อไป

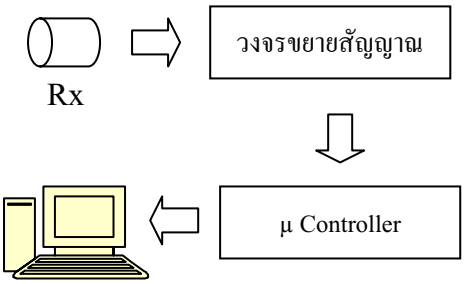


รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงาน ของตัวส่งสัญญาณ

ตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิค จะมีจำนวน 2 ตัว และถูกติดตั้งไว้ที่ด้านหัว และด้านท้าย ของเครื่องมือที่ต้องการหาตำแหน่ง

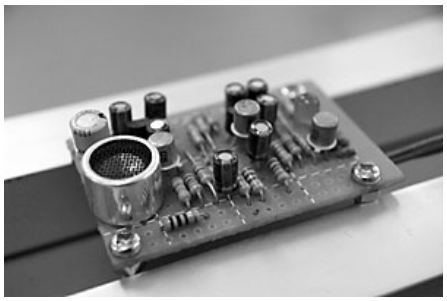
รูปที่ 4 ตัวส่งสัญญาณ

ชุดรับสัญญาณ จะรับสัญญาณอัลตราโซนิค มาจากตัวส่งสัญญาณ แล้วนำมาขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับกลับมา จะมีขนาดเล็กมาก ซึ่งหลังจากขยายสัญญาณแล้ว จะส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะบันทึกเวลาที่ได้รับสัญญาณ และส่งข้อมูลของเวลา ผ่านพอร์ทอนุกรม เข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำค่ากลับไปประมวลผล



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการทำงานของตัวรับสัญญาณ

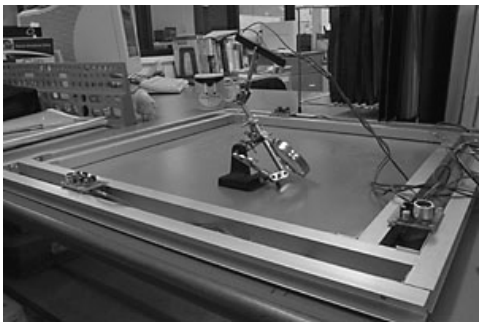
โดยใช้ชุดส่งสัญญาณอัลตราโซนิค 3 ชุด ที่ถูกติดตั้งไว้ในหลายตำแหน่ง โดยตำแหน่งในการติดตั้งนั้นสามารถระบุพิกัดได้ โดยการสมมติจุด เริ่มต้นในแนวแกน x, y และ z แล้วทำการ วัดระยะทาง เพื่อทราบพิกัดของตัวส่งทั้ง 3 ตัว



รูปที่ 6 ตัวรับสัญญาณ และวงจรขยายสัญญาณ

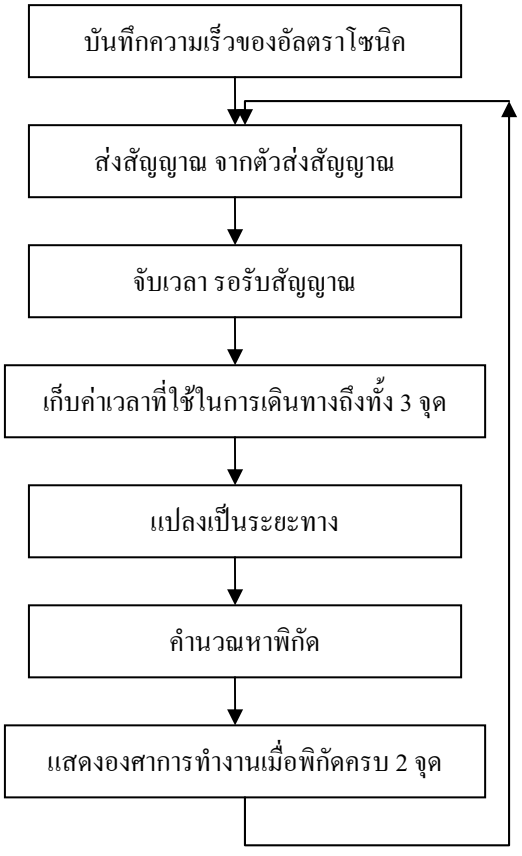
3. วิธีการทดลอง

เตรียมการทดลอง ด้วยการเก็บค่าของความเร็วของอัลตราโซนิค ที่อุณหภูมิ ของสถานที่นั้น ด้วยการนำตัวส่ง และตัวรับสัญญาณ มาวางห่างกัน ในระยะที่ตั้งค่าไว้ โดนระยะนี้สามารถใช้อุปกรณ์วัดระยะทาง ในการตั้งค่าระยะ จากนั้นให้ทำการส่งสัญญาณอัลตราโซนิค แล้วจับเวลาที่อัลตราโซนิคเดินทางไปยังตัวรับ จากนั้นนำมาคำนวณความเร็ว โดยเอาระยะที่ตั้งค่าไว้ หารด้วยเวลาที่อัลตราโซนิคเดินทาง จะได้ค่าความเร็วออกมา เก็บค่าความเร็วไว้ ใช้ในการคำนวณต่อไป



รูปที่ 7 ชุดการทดลอง

ตัวส่งสัญญาณตัวที่ 1 จะส่งสัญญาณ อัลตราโซนิค ออกมา ไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มจับเวลา รอจนตัวรับสัญญาณ ด้าสัญญาณกลับมา แล้วทำการบันทึกค่าเวลาไว้ เมื่อบันทึกค่าเวลาครบทั้ง 3 ค่า แล้ว จะทำการส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 8 แสดงการทำงานของระบบบอกพิกัด

เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว จะนำค่าเวลา ที่ตัวรับสัญญาณที่แต่ละตัวได้ นำมาคำนวณเป็นระยะทาง โดยใช้ค่าความเร็ว ของสภาพแวดล้อมในห้อง ขณะนั้น ซึ่งได้บันทึกค่าไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

นำค่าระยะทางที่ได้ ทั้ง 3 ค่า มาคำนวณเพื่อหาพิกัดของตัวส่งตัวที่ 1 แล้วเก็บค่าพิกัดนั้นไว้ จากนั้น คอมพิวเตอร์จะสั่งการ ผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ตัวส่งสัญญาณ ตัวที่ 2 ทำการส่งส่งสัญญาณ แล้ว ทำตามขั้นตอนเดิม จนได้พิกัด ของตัวส่งสัญญาณที่สอง

เมื่อได้พิกัด ของตัวส่งสัญญาณทั้ง 2 ตัว จะสามารถหาองศาของการทำงาน ของเครื่องมือแพทย์ได้

4. การทดลองขั้นต้น

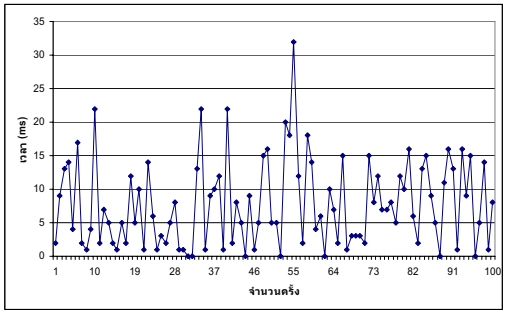
ส่วนสำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ ระบบอัลตราโซนิค ซึ่งต้องการความแม่นยำสูง เพื่อใช้ในการระบุพิกัด โดยการทดลองต่อไปนี้ เป็นการทดลอง เพื่อวัดความแม่นยำ ของตัวรับและตัวส่งอัลตราโซนิค

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง เพื่อทดสอบความเสถียร ของอัลตราโซนิค, ความสามารถในการบอกพิกัด และ ความสามารถในการบอกองศาการทำงาน

4.1 การทดลองเพื่อหาความเสถียร

ในการทดลองเพื่อหาความเสถียรนั้น จะทำการตั้งระบบ โดยกำหนดระยะ ระหว่างตัวรับ และตัวส่งสัญญาณ แล้วทำการรับ-ส่งสัญญาณ โดยทำการจับเวลาในการเดินทางของอัลตราโซนิค โดยทำการจับสัญญาณ 100 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน ของข้อมูล ในระยะทางที่ต่างกัน

การทดลองหาความเสถียร ที่ระยะทาง 30 เซนติเมตร ผลการทดลองนั้นมี ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน เป็น 6.45 ms โดยทีมีค่าเฉลี่ย และ ค่ามัธยฐานเป็น 7.74 ms และ 6 ms ตามลำดับ



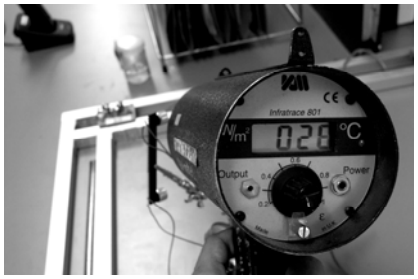
รูปที่ 9 การทดลองหาความเสถียรที่ระยะทาง 30 เซนติเมตร

เมื่อคำนวณเป็นความเร็ว โดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐาน จะได้ความเร็วเป็น 38.76 และ 50 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ตามปกติแล้ว ความเร็วเสียงเดินทางในอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการ

*ความเร็ว = 331.5 + 0.6 * อุณหภูมิ (เซลเซียส)*

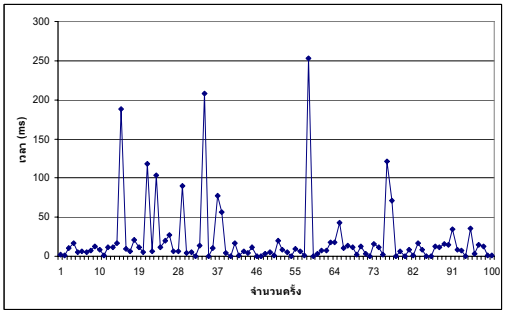
ซึ่งอุณหภูมิขณะที่ทดลองเป็น 28 องศาเซลเซียส ดังนั้น ความเร็วในการเดินทางของเสียงควรจะเป็น 348.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเห็นว่ามีความต่างมาก



รูปที่ 10 แสดงการวัดอุณภูมิขณะทำการทดลอง

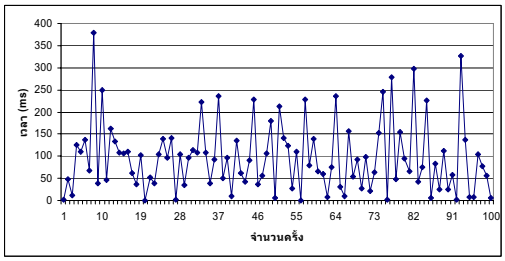
เมื่อทดลองหาความเสถียรที่ ระยะทาง 50 เซนติเมตร ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานเป็น 20.71 ms และ 8 ms ตามลำดับ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานเป็น 41.98 ms

ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นความเร็ว โดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐาน จะได้ความเร็วเป็น 24.14 และ 62.5 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



รูปที่ 11การทดลองหาความเสถียรที่ระยะทาง 50 เซนติเมตร

การทดลองหาความเสถียร ยังได้ทดลอง ที่ระยะ 70 เซนติเมตร ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานเป็น 97.41 ms และ 91 ms ซึ่งมีความเร็ว เป็น 7.18 และ 7.69 ตามลำดับ โดยมีส่วนเบี่ยนเบนค่าเฉลี่ยเป็น 79.06 ซึ่งมากกว่า ใน 2 กรณี ข้างต้น



รูปที่ 12 การทดลองหาความเสถียรที่ระยะทาง 70 เซนติเมตร

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบการระบุพิกัด

การทดลองนี้ จะนำชุดรับสัญญาณ เพียงตัวเดียว แต่นำไปไว้ในตำแหน่งต่างๆกัน เพื่อทดสอบการระบุพิกัดของระบบ เมื่อทราบค่าเวลาจากจุดต่างๆกัน โดยค่าเวลาที่ได้นั้น จะกรองออกมาเฉพาะค่าที่คิดว่า เป็นค่าที่ถูกต้อง จำนวน 5 ครั้ง โดยใช้ค่าเฉลี่ย จากการทดลองแรก เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ

ผลการทดลอง เป็นไปตามตารางที่ 1,2 และ 3 ทำการคำนวณ เพื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดจริง กับพิกัดที่คำนวณได้ คำนวณโดยการนำค่าเฉลี่ย ของในแต่ละกรณีมาคำนวณ

ในกรณีที่ 1 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณไปไว้ที่ พิกัด (20,20,20) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (7.17,11.08,12.27)

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
X	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	12	7	12	5	2	7.6
40	55	4	6	10	9	5	6	7.2
20	0	4	9	5	4	9	5	6.4

ตารางที่ 1 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (20,20,20)

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
x	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	22	12	19	21	25	19.8
40	55	4	11	7	9	15	17	11.8
20	0	4	13	17	9	18	12	13.8

ตารางที่ 2 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (40,30,35)

ในกรณีที่ 2 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณไปไว้ที่ พิกัด (40,30,35) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (8.27,10.88,11.19)

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
X	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	12	8	24	22	20	17.2
40	55	4	7	11	5	7	8	7.6
20	0	4	7	5	8	9	7	7.2

ตารางที่ 3 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (40,5,15)

ในกรณีที่ 3 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณไปไว้ที่ พิกัด (40,5,15) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (8.21,10.71,11.88)

ซึ่งค่าพิกัด ที่คำนวณได้ ยังมีความแตกต่าง จากพิกัดอยู่ ในทั้ง 3 กรณี

4.3 การทดลองเพื่อหาองศาการทำงาน

การทดลองเพื่อหาองศาการทำงาน เป็นการทดลองต่อจาก การหาพิกัด ที่ได้ทดลองไว้แล้ว โดยการเปิดสัญญาณ ตัวส่งที่ 2 แล้วจับเวลา เพื่อหาพิกัด เหมือนการทดลองการหาพิกัด

เมื่อทำการ ส่งสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณที่ 2 ได้ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4,5 และ 6 โดยมีพิกัดสัมพันธ์กับตารางที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
x	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	10	4	6	9	5	6.8
40	55	4	6	14	11	13	8	10.4
20	0	4	7	3	14	5	5	6.8

ตารางที่ 4 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (17,21,15)

ในตารางที่ 4 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณที่ 2 ไปไว้ที่ พิกัด (17,21,15) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (6.87,11.02,12.18)

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
x	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	15	20	19	15	18	17.4
40	55	4	16	15	13	9	8	12.2
20	0	4	9	10	10	17	19	13.0

ตารางที่ 5 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (32,30,30)

ในตารางที่ 5 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณที่ 2 ไปไว้ที่ พิกัด (32,30,30) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (7.83,10.94,11.35)

ตัวรับสัญญาณ			เวลา (ms)					ค่าเฉลี่ย
X	y	z	1	2	3	4	5	
0	55	4	13	18	15	32	18	19.2
40	55	4	7	6	6	8	10	7.6
20	0	4	3	7	10	4	12	7.2

ตารางที่ 6 การทดลองหาระบบพิกัด เมื่อวางตัวส่งสัญญาณไว้ที่พิกัด (40,13,15)

ในตารางที่ 6 เมื่อนำตัวส่งสัญญาณที่ 2 ไปไว้ที่ พิกัด (40,13,15) แล้วนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นระบบพิกัด จะได้ระบบพิกัดเป็น (8.54,10.6,11.81)

เมื่อนำพิกัดทั้งสองค่า มาคำนวณองศาการทำงาน โดยการหาความต่าง ในแนวแกน x, y และ z มาเปรียบเทียบ ดังในตารางที่ 7 ผลการทดลองแสดงว่า มุมองศาของเครื่องมือ มีความต่างกับองศาที่ได้จากการการคำนวณ

พิกัดจริง			พิกัดจากการคำนวณ		
dx	dy	dz	dx	dy	dz
3	-1	5	0.3	0.06	0.09
8	0	5	0.44	-0.06	-0.16
0	-8	0	-0.33	0.11	0.07

ตารางที่ 7 ความแตกต่างของพิกัดที่ตัวส่งสัญญาณในแนวแกน x, y และ z

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองขั้นต้น การทดลองเพื่อหาความเสถียร ของอัลตราโซนิค จากการทดลองเห็นได้ว่าสัญญาณมีการแตกออกจากลุ่ม จนทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานที่สูง ซึ่งเมื่อเทียบกันกับความเร็วเสียงนั้น จึงทำให้เกิดความต่างกันมาก

การทดลองเพื่อหาระบบพิกัดนั้น พิกัดที่ได้จากการคำนวณ มีความผิดพลาด จากตำแหน่งของวัตถุจริง เนื่องจาก การไม่เสถียรของ อัลตราโซนิค จนทำให้ต้องการมีการกรองค่า ที่ไม่ต้องการออก โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน ซึ่งค่าที่คัดออกมา ก็ยังมีความไม่แน่นอน จนอาจทำให้หาระยะทาง ในการเดินทางของคลื่นสัญญาณ ผิดพลาด และทำให้ระบบพิกัดบอกค่าได้ไม่ถูกต้อง

การทดลองเพื่อหาองศาการทำงาน ต้องใช้การระบุพิกัด ของตัวส่งสัญญาณทั้ง 2 ตัว ซึ่งผลการทดลองที่ออกมา องศาของการทำงาน มีความแตกต่างกับพิกัดจริง เนื่องจาก ต้องบอกพิกัดของ ตัวส่งสัญญาณทั้ง 2 ตัว ซึ่งถ้าการบอกพิกัดของตัวส่งสัญญาณ ไม่แม่นยำแล้ว การบอกองศาการทำงานย่อมไม่แม่นยำเช่นกัน

ปัญหาที่เกิดในการทดลอง ส่วนใหญ่ อยู่ที่ระบบอัลตราโซนิคที่ขาดความแม่นยำ และความเสถียรของสัญญาณ ซึ่งอาจมีสาเหตุจาก คุณภาพของตัวรับ และตัวส่ง อัลตราโซนิคที่ใช้ในการทดลอง หรือ อุปกรณ์วงจรไฟฟ้า ในการทดลอง แต่ส่วนของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และการประมวลผล ของคอมพิวเตอร์ ยังทำงานได้ดี

6. สรุป

บทความวิจัยชิ้นนี้ จะนำเสนอหลักการ การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ ของระบบบอกพิกัด 3 มิติ โดยใช้สัญญาณสียงอัลตราโซนิค เพื่อใช้ประโยชน์ในระบบนำทาง และระบบหุ่นยนต์เสริมการผ่าตัดต่อไป

7. บรรณานุกรม

[1] Paweena U, Saowapak S., Jackrit S., "An Implementation on recovery of Intramedullary Nail Distal Hole's Orientation" ,*Proceeding of the ISBME 2006* p.111-115.

[2] Micheal L. and Manfred S., "PSM Drive with Fault-Tolerent Position Detection", *2005 IEEE* p.753-756.

[3] Ali A. and Degless E., "Alternative Pratical Methods for Moving Object Detection" , University of Bristol, UK, p.77-80.

[4] Naoshi M., Horoki K. and Shigemi N., “Speaker Position Detection System Using Audio-visual Information” , *FUJISU Sci. Tech*. J.,35,2 p.212-220 (1999)