



การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชันโดยใช้อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์
และระบบเสียงสามมิติ เพื่อช่วยในการเดินทางของผู้พิการทางสายตา
**Enhancing the Stereo Vision with Ultrasonic Sensors and a 3D Sound System
for Assisting the Journey of the Visually Impaired**

ธีรพล จงพิพัฒน์ศิริ

Teerapon Chongpipattanasiri

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Computer Engineering**

Prince of Songkla University

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชัน โดยใช้ อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และระบบเสียงสามมิติ เพื่อช่วยในการเดินทาง ของผู้พิการทางสายตา

ผู้เขียน นายธีรพล จงพิพัฒนศิริ

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤษภัทรานนต์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกรรมการ
.....	(ดร. ประภาศิต ภาวะสิทธิ์)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ตันฑัยย์)กรรมการ
	(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)
กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ตันฑัยย์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอ
แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....

(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายธีรพล จงพิพัฒน์ศิริ)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายธีรพล จงพิพัฒนศิริ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชัน โดยใช้ อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และระบบเสียงสามมิติ เพื่อช่วยในการเดินทางของผู้พิการทางสายตา
ผู้เขียน	นายธีรพล จงพิพัฒน์ศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนออุปกรณ์ช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตาโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชันด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และติดต่อกับผู้พิการทางสายตาด้วยระบบเสียงสามมิติ การทำงานร่วมกันของระบบสเตอริโอวิชันกับอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ใช้หลักการรวมข้อมูลของกาลมานแบบรวมข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลระยะทางที่ได้จากระบบสเตอริโอวิชัน และ เซ็นเซอร์ จะผ่านการกรองข้อมูลด้วยวิธีการ Discrete Kalman Filter เนื่องจากแสงอาจทำให้กล้องคำนวณระยะได้ไม่แม่นยำ และการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกที่ผิดพลาด นอกจากนี้พื้นผิวของวัตถุกับการใช้งานเซ็นเซอร์ร่วมหลายตัวอาจจะทำให้การรับส่งคลื่นอาจจะผิดพลาดได้ ดังนั้นการกรองข้อมูลจะทำให้ข้อมูลระยะทางที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นหลังจากนั้นข้อมูลจากสเตอริโอวิชันและเซ็นเซอร์ จะถูกรวมกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด แล้วจึงนำข้อมูลระยะทางที่ได้นั้นมาแปลงให้อยู่ในรูปของเสียงแบบสามมิติเพื่อใช้ติดต่อกับผู้พิการทางสายตาได้ โดยข้อมูลเสียงแยกออกเป็นเสียงห้าเสียงซึ่งจะสามารถบอกถึงตำแหน่งและระยะของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อุปกรณ์ตรวจพบได้

คำสำคัญ: การจับภาพด้วยหลักการการมองภาพสองตา, การรวมข้อมูลด้วยวิธีของกาลมาน การกรองข้อมูลด้วยตัวกรองแบบกาลมาน, การทำงานของอุปกรณ์ช่วยนำทางผู้พิการทางสายตา

Thesis Title	Enhancing the Stereo Vision with Ultrasonic Sensors and a 3D Sound System for Assisting the Journey of the Visually Impaired
Author	Mr. Teerapon Chongpipattanasiri
Major Program	Computer Engineering
Academic Year	2013

Abstract

This research proposes a supporting device for the visually impaired by enhancing the stereo vision with ultrasonic sensors and a 3D sound. The integration of the stereo vision with ultrasonic sensors was done by data fusion using Kalman filter. The distance data from the stereo vision and ultrasonic sensors are filtered by discrete Kalman filter for more reliability. Then, the data from stereo vision and ultrasonic sensors are fused for more accuracy. Later, the distance data is transformed into 3D sound for interfacing with the visually impaired. The sound includes 5 words for position and distance from obstacle.

KEYWORDS: Stereo vision, V-disparity image, Kalman filter based on Data Fusion, Electronic Travel Aid System.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.วชิรินทร์ แก้วอภิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้ในด้านต่างๆ รวมถึงการให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ตันชัยย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้ในด้านต่างๆ รวมถึงการให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในโครงการนวัตกรรมทางการแพทย์และสาธารณสุขที่ตอบสนองต่อความต้องการในภาคใต้ โครงการวิจัยย่อย ระบบสเตอริโอวิชันและระบบเสียงสามมิติ เพื่อช่วยในการเดินทางของผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาทางสายตา

และสุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ธีรพล จงพิพัฒน์ศิริ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ภาพรวมของระบบ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 การตรวจเอกสาร	7
2.2 หลักการมองภาพสองตา (Stereo vision).....	9
2.2.1 การจับคู่พิกเซลเพื่อความสัมพันธ์ของกล้องสเตอริโอวิชัน	11
2.2.2 Stereo matching	12
2.3 ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image)	13
2.4 สมการถดถอย (Regression).....	16
2.5 การวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์	17
2.6 การกรองข้อมูลด้วยวิธี Kalman filter.....	19
2.7 ระบบเสียงสามมิติ	20
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	23
3.1 การทดลองเพื่อหาระยะการทำงานของระบบสเตอริโอวิชัน	25
3.1.1 การทดลองหาค่าตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X.....	25
3.1.2 การทดลองหาระยะวัตถุในแนวแกน Y	26
3.1.3 การทดลองหาความสูงวัตถุในแนวแกน Z.....	26
3.2 การทดลองเพื่อหาระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์	27
3.2.1 การทดลองหาค่าตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X ของเซ็นเซอร์	27
3.2.2 การทดลองหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์.....	27
3.2.3 การทดลองหาความสูงวัตถุในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์	28

สารบัญ

หน้า

3.3	การทดลองเพื่อออกแบบการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์	28
3.3.1	การทดลองหาความแม่นยำของระยะการทำงานในแนวแกน Y	31
3.4	การทดลองแปลงข้อมูลระยะวัตถุจาก U-disparity เป็นเสียงสามมิติ	34
บทที่ 4	ผลการวิจัย	38
4.1	ผลการทดลองการหาระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชัน	38
4.1.1	ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน X ของกล้อง	38
4.1.2	ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของกล้อง	39
4.1.3	ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Z ของกล้อง	40
4.2	ผลการทดลองการหาระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์	42
4.2.1	ผลการทดลองการหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X ของเซ็นเซอร์	42
4.2.2	ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์	43
4.2.3	ผลการทดลองการหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์	44
4.3	ผลการทดลองการหาระยะการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์	45
4.3.1	ผลการทดลองการหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X ของการทำงานร่วมกัน	46
4.3.2	ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของการทำงานร่วมกัน	47
4.3.3	ผลการทดลองการหาตำแหน่งในแนวแกน Z ของการทำงานร่วมกัน	49
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1	บทสรุป	53
5.2	ข้อเสนอแนะ	54
	เอกสารอ้างอิง	55
	ภาคผนวก ก	57
	ภาคผนวก ข	59
	ประวัติผู้เขียน	71

รายการตาราง

หน้า

ตาราง 4-1 การทำนายระยะวัตถุจากเสียงมิติโดยที่ผู้ใช้ไม่เคยฟังมาก่อน.....	51
ตาราง 4-2 การทำนายระยะวัตถุจากเสียงสามมิติโดยที่ผู้ใช้เคยฟังมาก่อน	51

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1-1 ภาพรวมของระบบ	5
รูปที่ 2-1 ลักษณะทางเรขาคณิตของการมองภาพแบบกล้องสองตา	10
รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลจากกล้องซ้ายและกล้องขวา	13
รูปที่ 2-3 ระนาบของภาพที่เกิดจากจุด P ลงบนระนาบที่ภาพกล้องซ้ายและกล้องขวา	13
รูปที่ 2-4 การตั้งแกนแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V	14
รูปที่ 2-5 การตั้งแกนแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U	14
รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V	15
รูปที่ 2-7 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U.....	16
รูปที่ 2-8 การถอดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว.....	17
รูปที่ 2-9 อัลตราโซนิกเซอร์รุ่น SRF05	18
รูปที่ 2-10 ลำดับการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์	19
รูปที่ 3-1 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา	23
รูปที่ 3-2 การอ้างอิงแนวแกนจากภาพต้นแบบ.....	25
รูปที่ 3-3 แผนผัง U-disparity	26
รูปที่ 3-4 (ก) อัตราส่วน 180:240, (ข) อัตราส่วน 140:240, (ค) อัตราส่วน 120:240	26
รูปที่ 3-5 ระยะเวลาการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ซ้อนทับกับ U-disparity	27
รูปที่ 3-6 พื้นที่การทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์	28
รูปที่ 3-7 การออกแบบการวางเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์	29
รูปที่ 3-8 การออกแบบการวางเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์	29
รูปที่ 3-9 พื้นที่สามเหลี่ยมที่เกิดจากเซ็นเซอร์ 2 ตัว.....	30
รูปที่ 3-10 ระยะเวลาการทำงานของการรวมข้อมูล	31
รูปที่ 3-11 การทำงานของการรวมข้อมูลแบบคาดหมาย	32
รูปที่ 3-12 ความสัมพันธ์ของ U-disparity กับเสียงที่บอกระยะวัตถุ	34
รูปที่ 3-13 ฟังก์ชันเสียงสามมิติที่สำคัญ Irrklang	35
รูปที่ 3-14 การทำงานของไลบรารี irrklang.....	36
รูปที่ 4-1 ตำแหน่งของวัตถุที่กล้องตรวจพบ	38
รูปที่ 4-2 ตำแหน่งของวัตถุที่แบ่งตาม U-disparity	39
รูปที่ 4-3 ระยะวัตถุของกล้องสเตอริโอวิชัน	40
รูปที่ 4-4 ระยะเวลาการทำงานในแนวแกน Z ของกล้อง.....	41

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 4-5 ระยะเวลาทำงานในแนวแกน X ของเซ็นเซอร์.....	42
รูปที่ 4-6 ระยะเวลาทำงานในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์.....	43
รูปที่ 4-7 ระยะเวลาทำงานในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์.....	44
รูปที่ 4-8 ตำแหน่งการวางเซ็นเซอร์ร่วมกับกล้อง.....	45
รูปที่ 4-9 ระยะเวลาทำงานร่วมกันในแนวแกน X.....	46
รูปที่ 4-10 การรับส่งคลื่นที่ผิดพลาด.....	47
รูปที่ 4-11 การประยุกต์ใช้ตัวกรองแบบคาลมานกับเซ็นเซอร์.....	47
รูปที่ 4-12 การประยุกต์ใช้ตัวกรองแบบคาลมานกับกล้อง.....	48
รูปที่ 4-13 ค่าระยะวัตถุในแนวแกน Y จากวิธีรวมข้อมูลแบบคาลมาน.....	49
รูปที่ 4-14 (ก) อัตราส่วน 320:180, (ข) อัตราส่วน 320:80.....	49
รูปที่ 4-15 ระยะเวลาทำงานร่วมกันในแนวแกน Z.....	50

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

P2P	Pixel to Pixel
RGB	Red Green Blue
MPI	Message Passing Interface
ISM	Intensity Based Stereo Matching
FSM	Feature Based Stereo Matching
DKF	Discrete Kalman Filter

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

โดยปกติแล้ว ผู้พิการทางสายตานั้นจำเป็นต้องใช้ไม้เท้าขาวนำทาง (white cane) ช่วยตรวจหาสิ่งกีดขวางระดับพื้นดินทำให้สามารถเดินทางด้วยตัวเองได้ แต่ผู้พิการทางสายตาไม่ได้ใช้ไม้เท้านำทางตรวจหาวัตถุที่อยู่สูงจากพื้นดิน เช่น สายไฟ และ กิ่งไม้ที่พาดผ่าน ซึ่งวัตถุหรือสิ่งกีดขวางเหล่านี้ อาจก่อให้เกิดอันตรายกับผู้พิการทางสายตาได้ จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยเหลือในการเดินทางสำหรับผู้พิการทางสายตาดังนี้

อุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันนี้ได้แก่ ไม้เท้านำทางที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้สำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวาง [1] โดยเซ็นเซอร์ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ โซนาร์เซ็นเซอร์และอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ซึ่งเซ็นเซอร์เหล่านี้จะใช้วิธีการสะท้อนของคลื่นเพื่อนำมาใช้คำนวณระยะวัตถุ ซึ่งเซ็นเซอร์จะมีตัวส่งสัญญาณทำหน้าที่ส่งคลื่นออกมาเพื่อตรวจหาสิ่งกีดขวาง เมื่อคลื่นไปกระทบพื้นผิวของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางคลื่นจะสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณของเซ็นเซอร์ แล้วระบบจะคำนวณค่าระยะวัตถุจากเวลาที่ใช้ในการรับและส่งคลื่นของเซ็นเซอร์ ข้อดีของการทำงานของเซ็นเซอร์คือ สามารถคำนวณระยะวัตถุได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ แต่มีข้อจำกัดของการทำงานของเซ็นเซอร์เพื่อตรวจหาวัตถุ คือ พื้นผิวของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางต้องสามารถสะท้อนคลื่นกลับมายังเซ็นเซอร์ได้ ซึ่งพื้นผิววัตถุบางชนิดไม่สามารถสะท้อนคลื่นได้ เช่น วัตถุที่มีพื้นผิวขรุขระและวัตถุที่มีพื้นผิวโค้งมน เป็นต้น นอกจากนี้เซ็นเซอร์ยังมีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการทำงานที่น้อย ซึ่งมีระยะเวลาการทำงานประมาณ 30 องศา นอกจากนี้อุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ติดตั้งเซ็นเซอร์แล้วยังมีอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ใช้กล้องสเตอริโอวิชันในการตรวจหาสิ่งกีดขวาง

อุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ใช้กล้องสเตอริโอวิชันในการตรวจหาวัตถุ [2] ซึ่งพัฒนาออกมาในลักษณะของหมวกที่ติดตั้งกล้องสเตอริโอวิชันไว้ด้านหน้าหมวกทำให้สะดวกในการใช้งานสำหรับผู้พิการทางสายตา การทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันจะใช้กล้อง 2 ตัวทำหน้าที่รับภาพมาคำนวณหาความสัมพันธ์ แล้วจึงประมวลค่าระยะวัตถุที่อยู่ในภาพออกมาเป็นค่าระยะวัตถุจริง ซึ่งวิธีการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการหาความสัมพันธ์ของภาพโดยใช้ค่าความเข้มของพิกเซลจากภาพ (intensity based stereo matching) [3] และวิธีการหาความสัมพันธ์ของภาพโดยใช้ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุภายในภาพ (feature based stereo matching)

ระบบสเตอริโอวิชันที่ใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ของภาพด้วยวิธีการจับคู่ลักษณะเด่นของวัตถุในภาพ (feature based stereo matching) (FSM) [4] โดยกระบวนการทำงานของ FSM คือ

การแยกวัตถุที่สนใจภายในภาพออกมาหลังจากนั้นจะทำการจับคู่เฉพาะบริเวณที่สนใจนี้เพื่อคำนวณหาค่าความลึก (disparity value) ของบริเวณที่สนใจ ซึ่งวิธี FSM ใช้เวลาการประมวลผลน้อยเนื่องจากใช้เฉพาะบริเวณที่สนใจภายในภาพมาจับคู่ แต่ข้อเสียของวิธี FSM คือไม่สามารถหาวัตถุจากภาพที่ไม่มีลักษณะเด่นได้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นระบบช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา

ระบบสเตอริโอวิชันที่ใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ของภาพด้วยวิธีการจับคู่พิกเซลที่มีความเข้มเท่ากัน (intensity based stereo matching) (ISM) โดยกระบวนการทำงานของ ISM คือ การจับคู่พิกเซลที่มีค่าความเข้มเท่ากันทั้งหมดภายในภาพ เพื่อหาค่าความลึกของพิกเซล ทำให้สามารถใช้ตรวจหาวัตถุจากภาพที่ไม่มีลักษณะเด่น เช่น กำแพงและแผ่นกระดานได้ แต่การประมวลผลภาพด้วยวิธีการนี้จะใช้เวลาการประมวลผลค่อนข้างนานจึงไม่สามารถใช้งานกับระบบที่ทำงานแบบเวลาจริง (real time) เนื่องจากวิธี ISM ยังทำงานได้ไม่เร็วพอที่จะนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา จึงมีการนำเสนอวิธีลดระยะเวลาการประมวลผลของระบบสเตอริโอวิชันแบบ ISM โดยการประมวลผลแบบขนาน [5] ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการประมวลผลได้ แต่ข้อเสียของระบบสเตอริโอวิชันคือ ระยะวัตถุที่ได้ไม่แม่นยำ เนื่องจากความผิดพลาดที่มาจากแสงสว่างในสภาวะแวดล้อมจริง และความผิดพลาดจากการคำนวณค่าระยะวัตถุที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชันให้ทำงานได้ในสภาพแวดล้อมจริงและการเพิ่มส่วนที่ติดต่อกับผู้พิการทางสายตา

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ได้มีการพัฒนากับหุ่นยนต์ [6] โดยใช้วิธีการรวมข้อมูล (data fusion) โดยข้อมูลที่ได้จากกล้องแบบสเตอริโอวิชันจำนวน 1 ชุดประกอบด้วยกล้อง 2 ตัว และโซนาร์เซ็นเซอร์ 1 ตัวโดยอุปกรณ์ถูกติดตั้งไว้บนรถขนาดเล็ก ซึ่งวิธีการรวมข้อมูลจะใช้บริเวณที่กล้องและเซ็นเซอร์มีระยะการทำงานที่ซ้อนทับกัน ซึ่งการรวมข้อมูลจะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยระบบนี้เป็นการพัฒนารถสำรวจพื้นที่โดยค่าระยะวัตถุนั้นจะต้องมีความแม่นยำเพื่อให้หุ่นสามารถค้นหาเส้นทางที่เป็นบริเวณที่ปลอดภัยได้ แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้คือ ระยะการทำงานของเซ็นเซอร์นั้นยังไม่สอดคล้องกับระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันและการนำวิธีการนี้มาใช้จะต้องเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์เพื่อให้สอดคล้องกับระยะการทำงานของกล้องและเพิ่มเติมในส่วนของการติดต่อกับผู้พิการเพื่อพัฒนาเป็นระบบช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา

ระบบช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาจำเป็นต้องมีส่วนติดต่อกับผู้พิการทางสายตาเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาทราบถึงระยะวัตถุที่ถูกต้องพบโดยอุปกรณ์ ซึ่งมักเป็นระบบเสียงเตือนและระบบสั่นเตือน โดยระบบที่ใช้การสั่นเตือนจะเปลี่ยนค่าระยะวัตถุเป็นความถี่ของการสั่นที่มอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณท้อง [7] ของผู้พิการทางสายตา การสั่นเตือนนี้มีข้อดีคือ ไม่รบกวนระบบประสาทสัมผัสด้านการฟังของผู้พิการทางสายตา แต่ความละเอียดและความถูกต้องในการ

ประมาณค่าระยะวัตถุจะน้อยกว่าแบบที่ใช้เสียงเตือน ระบบเสียงเตือนที่ใช้ในอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาคจะเป็นระบบเสียงเตือนแบบสามมิติ [8] ซึ่งระบบเสียงแบบสามมิติจะใช้สื่อถึงตำแหน่งและระยะของวัตถุได้เสมือนจริงเพราะเสียงสามมิติจะสอดคล้องกับการฟังเสียงของมนุษย์ที่สามารถรับฟังเสียงจากหูฟังแบบสเตอริโอแล้วสามารถบอกได้ว่าเสียงมาจากทิศทางใดทำให้ ผู้ฟังสามารถจินตนาการตำแหน่งของวัตถุและสิ่งกีดขวางได้ตามที่มาของเสียงได้

จากระบบต่างๆที่กล่าวมาแล้วซึ่งการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันยังไม่สามารถนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้เพราะยังขาดความแม่นยำและความถูกต้องในการหาระยะวัตถุ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชันโดยใช้อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์เพื่อร่วมกันทำงานตรวจหาสิ่งกีดขวางและเปลี่ยนระยะวัตถุที่ตรวจหาได้เป็นเสียงสามมิติเพื่อใช้เตือนผู้พิการทางสายตา

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสเตอริโอวิชันโดยใช้ข้อมูลจากอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์มาช่วยด้วยวิธีการรวมข้อมูล
2. สร้างเสียงเพื่อติดต่อกับผู้พิการด้วยระบบเสียงแบบสามมิติ เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงสว่างและไม่มีแสงสว่างได้
2. สามารถค้นหาสิ่งกีดขวางด้านหน้าได้ในระยะ 1 เซนติเมตรถึง 5 เมตร
3. ใช้งานได้เฉพาะบนบก
4. รัศมีการทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 60 องศา
5. ไม่สามารถตรวจหาวัตถุที่เป็นหลุมหรือบ่อได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การใช้ข้อมูลจากอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ร่วมกับกล้องสเตอริโอวิชันจะช่วยเพิ่มความแม่นยำแก่อุปกรณ์ตรวจหาสิ่งกีดขวาง ผู้พิการทางสายตาสามารถรับรู้ข้อมูลของสภาพแวดล้อมด้านหน้าเมื่อใส่อุปกรณ์ได้ด้วยเสียงเตือนที่สามารถใช้สื่อความหมายวัตถุได้โดยระดับของความดังและทิศทางของเสียงที่ตรงกับตำแหน่งของวัตถุด้วยเสียงสามมิติ

1.5 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ สามารถอธิบายการทำงานได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

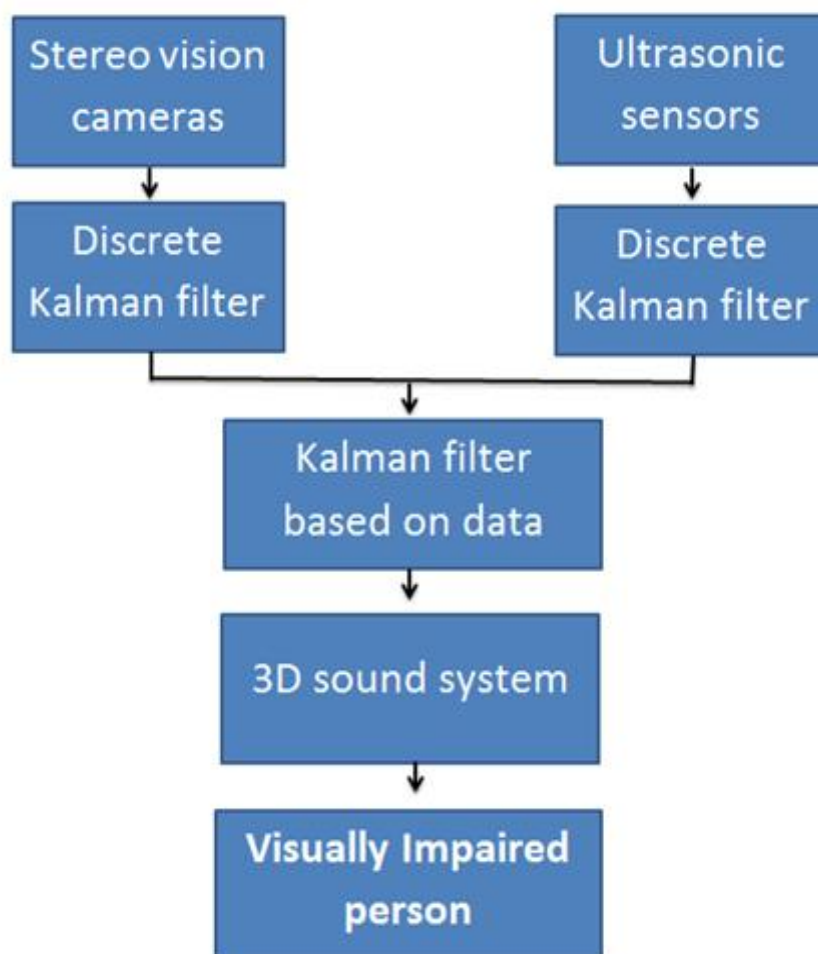
ขั้นตอนที่ 1 ระบบจะนำภาพจากกล้องสเตอริโอวิชันมาคำนวณหาระยะวัตถุและแปลงเป็นแผนผังแสดงระยะในแนวนอน (U-disparity) และระบบจะรับค่าระยะทางที่เซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวที่คำนวณโดยไม่โครคอนโทรเลอร์ได้เข้ามาในระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ระบบจะกรองข้อมูลระยะวัตถุที่ได้จากกล้องซึ่งอยู่ในรูปแบบ U-disparity โดยใช้ตัวกรองแบบคาลมานซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์และ ระบบจะกรองข้อมูลระยะวัตถุที่ไม่โครคอนโทรเลอร์คำนวณได้ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการทำงานบนไมโครคอนโทรเลอร์

ขั้นตอนที่ 3 ระบบจะนำค่าระยะวัตถุที่ผ่านตัวกรองแบบคาลมานจากเซ็นเซอร์และกล้อง สเตอริโอวิชันมารวมข้อมูลโดยประยุกต์ใช้วิธีการรวมข้อมูลแบบคาลมาน

ขั้นตอนที่ 4 ระบบจะเปลี่ยนข้อมูลระยะวัตถุที่ผ่านการรวมข้อมูลแล้วให้อยู่ในรูปแบบของเสียงสามมิติโดยใช้งานไลบรารีเสียงสามมิติ

ขั้นตอนที่ 5 ระบบจะส่งเสียงออกทางหูฟังเพื่อเตือนผู้พิการทางสายตาให้ทราบตำแหน่งและระยะวัตถุที่ระบบตรวจพบ กระบวนการ โดยรวมแสดงได้ดังภาพประกอบ 1-1



รูปที่ 1-1 ภาพรวมของระบบ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพกล้องสเตอริโอวิชันด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และการใช้ระบบเสียงสามมิติเพื่อช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตาซึ่งจะเป็นการพัฒนาต่อยอดจากงานวิทยานิพนธ์ของนายธนชาติ ลิ้มนา [1] ของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ซึ่งได้นำเสนอระบบสเตอริโอวิชันที่ใช้ U-disparity ในการบอกตำแหน่งและระยะของวัตถุและลดระยะเวลาการทำงานของโปรแกรมด้วยการประยุกต์ใช้การประมวลผลแบบขนาน ซึ่งยังขาดความแม่นยำเนื่องจากกล้องไม่สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่แสงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อีกทั้งกล้องไม่สามารถตรวจหาวัตถุที่มีขนาดเล็กและอยู่ในระยะที่น้อยกว่า 1 เมตรได้ อีกทั้งกล้องสเตอริโอวิชันไม่สามารถตรวจหากระจกใสซึ่งอาจเป็นประตูหรือผนังกั้นแบบกระจกซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้พิการทางสายตาได้ และระบบช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาควรมีส่วนที่ติดต่อกับผู้พิการทางสายตาซึ่งอาจจะเป็นการสั่นเตือนหรือเป็นเสียงเตือนซึ่งยังไม่ได้มีการพัฒนาต่อยอดในส่วนนี้

งานวิจัยนี้จะพัฒนาและออกแบบระบบให้พร้อมใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง โดยนำเสนอวิธีการนำเซ็นเซอร์มาทำงานร่วมกันกับระบบกล้องสเตอริโอวิชัน และ interface ช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตาด้วยเสียงดังนี้

- เพิ่มประสิทธิภาพให้กับ U-disparity โดยการนำ discrete Kalman filter มาช่วยกรองข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องให้กับ U-disparity
- หาสมการและค่าคงที่ที่เหมาะสมในการรวมข้อมูลโดยประยุกต์ใช้ Kalman based data fusion
- ปรับความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลจาก U-disparity ที่สอดคล้องกับการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว เพื่อให้ระยะการทำงานของกล้องและเซ็นเซอร์มีความสอดคล้องกันมากขึ้นและสะดวกในการทำงานร่วมกัน
- ปรับลดขนาดภาพ disparity ให้แคบลง เนื่องจากเซ็นเซอร์มีระยะการทำงานที่น้อยกว่ากล้องสเตอริโอวิชัน ซึ่งช่วยให้ลดเวลาการประมวลผลภาพ
- เลือกจำนวนคอลัมน์ที่เหมาะสมกับ U-disparity โดยทดลองเพิ่มและลดจำนวนเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมกับการร่วมกันทำงานของเซ็นเซอร์และกล้อง
- ติดต่อกับผู้พิการทางสายตาด้วยระบบเสียงแบบสามมิติ โดยนำค่าระยะวัตถุที่ได้จากกล้องและเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกันแปลงเป็นเสียงตามจำนวน U-disparity ที่เหมาะสม และเลือกใช้เสียงพูดเพื่อให้ง่ายต่อการสื่อสารและสะดวกในการฟัง โดยระยะวัตถุจะถูกปรับเป็นระดับเสียงและตำแหน่งของวัตถุจะถูกปรับเป็นเสียงพูดและการแสดงผลของเสียงนั้นจะอยู่ในรูปแบบของเสียงแบบสามมิติ โดยระบบเสียงสามมิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ซึ่งก็คือหูฟังแบบสเตอริโอสามารถแสดงเสียงที่ดังและเบา และแยกเป็นเสียงซ้ายและขวาได้
- พัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กโดยลดขนาดของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบสวมกอดฝังตัว (embedded personal computer) และเพิ่มเติมในส่วนของ initial script เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงานอัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่องโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์ต่อพ่วงเช่น หน้าจอ เมาส์ และคีย์บอร์ด เพื่อเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นต้อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การตรวจเอกสาร

1. Low-cost Stereo Vision System for Supporting the Visually Impaired's Walk [1]

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการหาความลึกจากภาพจากกล้องสเตอริโอวิชันเพื่อนำมาช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา โดยวิธีการทำงานจะอาศัยการประมวลผลภาพที่มาจากกล้องสเตอริโอวิชันและหลักการจับคู่พิกเซลโดยใช้ความเข้มของพิกเซล (intensity based stereo matching) ซึ่งสามารถใช้ค้นหาสิ่งกีดขวางได้ในระยะ 1-7 เมตร และยังสามารถค้นหาวัตถุที่ไม่มีลักษณะเด่น (feature less objects detection) ได้โดยได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหลักการจับคู่พิกเซลด้วยการประมวลผลแบบขนานซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาการจับคู่พิกเซลเพื่อหาความลึกจากภาพได้ดีขึ้น

2. Wearable Real-Time Stereo Vision for the Visually Impaired [2]

บทความนี้นำเสนออุปกรณ์ช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตาโดยใช้หลักการประมวลผลภาพแบบสเตอริโอวิชันและสร้างเสียง acoustic sound เพื่อใช้สื่อบอกตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ตรวจพบให้กับผู้พิการทางสายตา วิธีการสเตอริโอวิชันที่ใช้คุณลักษณะเด่นจากภาพในการจับคู่ (feature based stereo matching) ซึ่งวิธีการนี้จะมีข้อดีคือ สามารถตรวจหาความลึกของวัตถุโดยใช้กับภาพลักษณะเด่นได้อย่างรวดเร็ว แต่วิธีการนี้ไม่สามารถตรวจหาวัตถุที่ไม่มีลักษณะเด่นได้

3. Obstacle Detection System for Visually Impaired People Based on Stereo Vision [3]

บทความนี้นำเสนออุปกรณ์เพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยใช้วิธีการสเตอริโอวิชัน ด้วยการปรับปรุงคุณภาพของภาพความลึกซึ่งเกิดจากการใช้วิธีการจับคู่ภาพซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะเด่น ซึ่งมักมีปัญหาในกรณีของภาพของวัตถุที่มีสีพื้นหรือกลืนกับพื้นหลังทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าสิ่งนั้นเป็นวัตถุหรือไม่ วิธีการที่ใช้การแก้ปัญหาคือการกรองภาพที่ไม่มีลักษณะเด่นออกก่อน และหลังจากนั้นจะปรับปรุงภาพระยะลึกในบริเวณที่ปัญหาด้วยการเติมพื้นที่ที่ขาดไปด้วยค่าที่อยู่บริเวณข้างเคียงเพื่อให้ได้ภาพระยะลึกที่สมบูรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลในงานวิจัยนี้จะมีขนาดเล็กจึงสามารถพกพาได้สะดวกและกล้องถูกติดตั้งไว้บนหมวก โดยมีหูฟังสำหรับสร้างเสียงเตือนเพื่อบอกตำแหน่งวัตถุหรือสิ่งกีดขวางให้กับผู้พิการทางสายตาทราบเวลานำไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง

4. Preserving Visual Information in Low Resolution Images During Navigation of Visually Impaired [7]

บทความนี้ได้นำเสนออุปกรณ์ที่ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาด้วยวิธีการค้นหาตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ากล้องด้วยหลักการสเตอริโอวิชัน และใช้หลักการการสันเตือนด้วยแผ่นมอเตอร์ ลักษณะเด่นของงานวิจัยนี้คือ การลดความละเอียดของภาพที่บอกระยะลึกให้เหลือขนาด 4x4 เพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนของแผ่นมอเตอร์ที่ใช้ในการสันเตือนเพื่อบอกตำแหน่งและระยะวัตถุที่ตรวจหาได้จากกล้องสเตอริโอวิชัน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้คือ งานวิจัยนี้จะใช้เสียงแบบสามมิติเพื่อใช้สำหรับบอกระยะและตำแหน่งของวัตถุจาก U-disparity แทนการสันเตือนด้วยมอเตอร์

5. Ultrasonic and Stereo Vision Data Fusion [8]

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการรวมข้อมูลระยะวัตถุที่ตรวจพบด้วยวิธีสเตอริโอวิชันและอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์โดยนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถขนาดเล็กเพื่อตรวจหาวัตถุและสิ่งกีดขวาง วิธีการในการรวมข้อมูลที่ใช้คือ Extended Kalman Filtering (Numeric Data Fusion) ข้อดีของวิธีการนี้จะเปรียบเทียบข้อมูลที่รับมาตลอดเวลาเพื่อประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในรอบถัดไปซึ่งเป็นลักษณะเด่นของวิธีการกรองข้อมูลของคาลมาน ตัวเซ็นเซอร์จะจัดวางเป็นแนวแถว โดยตำแหน่งจะสอดคล้องกับระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันด้วยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งต่างจากงานวิจัยนี้คือ การกรองข้อมูลก่อนที่จะนำมารวมกัน โดยจะกรองข้อมูลค่าระยะวัตถุที่มาจาก U-disparity และกรองค่าที่มาจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวก่อนเพื่อเพิ่มความแม่นยำก่อนนำมารวมกันด้วยวิธี Kalman fusion

6. Sensing Surrounding 3-D Space for Navigation of the Blind [9]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ากล้องด้วยหลักการ มองภาพสองตา การสร้างภาพแสดงค่าความลึกและการสร้างภาพแยกบริเวณที่คาดว่าจะป็นวัตถุออกจากภาพ ในการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มเติมในส่วนของการแยกชนิดของสิ่งกีดขวางที่อยู่หน้าผู้พิการทางสายตา โดยการแยกสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าเป็นวัตถุที่อยู่นิ่งหรือเป็นวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะมีเสียงเตือนในรูปแบบของเสียงสามมิติที่สร้างจากการนำค่าระยะลึกของวัตถุไปแปลงเป็นเสียงเพื่อสื่อสารกับผู้พิการทางสายตาซึ่งเสียงสามมิติจะใช้หลักการสร้างความถี่ของคลื่นเสียงที่แตกต่างกันตามค่าระยะลึกของวัตถุที่สามารถตรวจพบด้วยกล้องแบบสเตอริโอวิชัน

งานวิจัยนี้ได้นำข้อดีและข้อเสียจากการตรวจเอกซเรย์มาระบุวิธีการและหลักการที่ใช้ในระบบซึ่งระบบที่ผู้วิจัยต้องการออกแบบนี้จะเป็นระบบช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ใช้วิธีการตรวจหาวัตถุโดยใช้กล้องสเตอริโอวิชันทำงานร่วมกับอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และเปลี่ยนค่าระยะวัตถุที่หาได้เป็นเสียงแบบสามมิติเพื่อง่ายต่อการฟังและทำความเข้าใจ ส่วนการออกแบบอุปกรณ์จะพัฒนาให้มีขนาดเล็ก ราคาถูก และสามารถใช้งานได้ในสภาวะแวดล้อมจริง

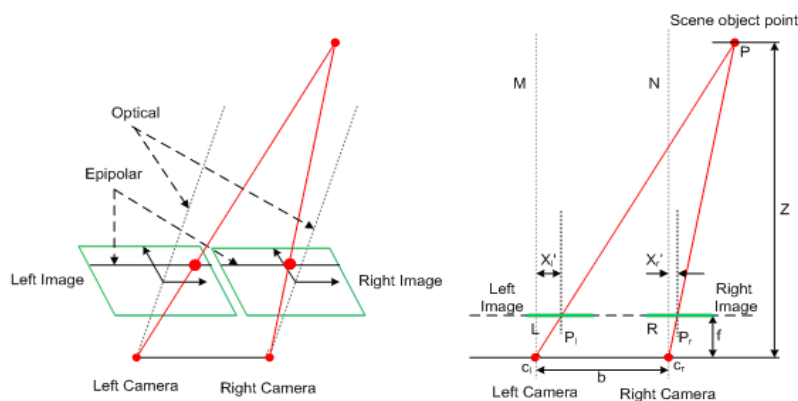
ในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาออกมาในรูปแบบของไม้เท้านำทางที่ติดตั้งเซ็นเซอร์โดยเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์ที่อาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งอาจจะเป็นคลื่นแสงหรือคลื่นเสียง การใช้งานอุปกรณ์ไม้เท้านำทางที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ [10] จะใช้ตรวจหาสิ่งกีดขวางบนพื้นซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับระยะที่เซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ ข้อดีของไม้เท้านำทางที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ คือสามารถค้นหาสิ่งกีดขวางได้ไกลกว่าไม้เท้านำทางแบบทั่วไปที่ไม่ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์ นอกจากนี้ยังมีหมวกที่ติดตั้งกล้องสเตอริโอวิชันเพื่อใช้ตรวจหาสิ่งกีดขวางให้กับผู้พิการทางสายตา [11] ซึ่งกล้องที่ติดตั้งบนหมวกจะทำหน้าที่เสมือนดวงตาเพื่อนำภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัว มาคำนวณหาระยะวัตถุที่อยู่ภายในภาพ และระยะทางที่ได้จะถูกแปลงเป็นเสียงหรือการสั่นเพื่อเตือนผู้พิการทางสายตาให้ทราบว่าวัตถุอยู่ในตำแหน่งใด อุปกรณ์เหล่านี้ยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ให้ทำงานได้เร็วตอบสนองได้แบบทันทีทันใด และเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำด้วยการปรับปรุงวิธีการคำนวณหรือการประมวลผลภาพเพื่อให้มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ควรจะมีควมน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งจึงจะสามารถนำมาใช้ช่วยเหลือผู้พิการในการนำทางหรือค้นหาสิ่งกีดขวางได้จริง

2.2 หลักการมองภาพสองตา (Stereo vision)

การมองภาพแบบสองตา [12] นั้นจะอาศัยความสัมพันธ์ของภาพสองภาพ ซึ่งวิธีการมองจะคล้ายคลึงกับการมองเห็นของมนุษย์ โดยหลักการมองเห็นของมนุษย์นั้นจะใช้สมองในการวิเคราะห์หาความลึกของสิ่งที่ตามองเห็นด้วยตาทั้งสองข้างทำให้เราสามารถประมาณค่าระยะวัตถุที่ตามองเห็นนั้นได้ในระดับหนึ่ง โดยการวิเคราะห์ภาพสองภาพเพื่อหาความลึกของสมมอมนั้นตาทั้งสองข้างจะต้องมีลักษณะตำแหน่งอยู่ในระนาบเดียวกันจึงสามารถนำค่าจากระยะห่างของตาทั้งสองข้างมาใช้ประมาณค่าระยะวัตถุที่ตามองเห็นได้

หลักการของกล้องแบบสองตา สามารถเปรียบได้กับการมองด้วยตาของมนุษย์นั้น แสดงดังภาพประกอบที่ 2-1 วิธีการประมาณหาค่าระยะลึกของวัตถุของกล้องสองตานั้น จะเป็นไปตามแบบจำลองพื้นฐานของกล้องซึ่งจะแยกจากกันเพียงทิศทางเดียวคือ ในทิศทางแกน X โดยมี

ระยะห่างเท่ากับ b (ระยะห่างของกล้อง baseline) และระนาบของภาพ (image plane) ของกล้องทั้งสองตัวนั้นต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นจุดที่เราสนใจของภาพจากภายนอกจะปรากฏลงบนระนาบของกล้องทั้งสองที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งระยะระหว่างตำแหน่งภาพบนระนาบนั้นเรียกว่าค่าความลึกและระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของกล้องทั้งสองและจุดที่เราสนใจนั้นเรียกว่าระนาบอีพิโพลาร์ (Epipolar plane) เส้นที่เกิดขึ้นจากการตัดกันของระนาบภาพกับระนาบอีพิโพลาร์นั้นถูกกำหนดให้เป็นเส้นตรงอีพิโพลาร์ (Epipolar line) ซึ่งแบบจำลองของภาพประกอบ 2-1 แสดงลักษณะจุดของภาพจากระนาบหนึ่งจะอยู่ในแถวเดียวกันกับอีกระนาบหนึ่งหมายความว่าเส้นตรงอีพิโพลาร์จะอยู่ที่ตำแหน่งแถวเดียวกันของระนาบภาพของกล้องทั้งสอง แต่ในการกำหนดให้เป็นแบบนี้ได้นั้นจะต้องกำหนดให้ค่าความลึกในแนวแกนตั้ง (Vertical disparity) มีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2-1 ลักษณะทางเรขาคณิตของการมองภาพแบบกล้องสองตา [12]

การหาค่าระยะความลึกจากลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องสองตาสามารถทำการคำนวณได้จากคุณลักษณะของสามเหลี่ยมคล้าย จากภาพประกอบ 2-1 จุด P จะปรากฏเป็นจุด p_l และ p_r บนระนาบภาพด้านซ้ายและระนาบภาพด้านขวาตามลำดับ และกำหนดให้จุดกำเนิดของพิกัดอยู่บนตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งศูนย์กลางเลนส์ของกล้องด้านซ้าย หากเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้าย PMC_l และ P_lLC_r จะได้สมการที่ (2-1)

$$\frac{x}{z} = \frac{x_l'}{f} \tag{2-1}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสามเหลี่ยมคล้าย PNC_r และ P_rLC_r จะได้สมการที่ (2-2)

$$\frac{x-b}{z} = \frac{x_r'}{f} \tag{2-2}$$

รวมสมการ (2-13) และ (2-14) เข้าด้วยกันจะได้สมการที่ (2-3)

$$z = \frac{bf}{(x'_l - x'_r)} \quad (2-3)$$

2.2.1 การจับคู่พิกเซลเพื่อความสัมพันธ์ของกล้องสเตอริโอวิชัน

วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การจับคู่พิกเซลโดยใช้ค่าความเข้มของพิกเซล (intensity-based matching) และ การจับคู่พิกเซลโดยใช้คุณลักษณะเด่น (feature-based matching) สำหรับ intensity-based matching เป็นการจับคู่โดยตรงระหว่างพิกเซลที่มีความเข้มเดียวกันของภาพสองภาพ และ feature-based matching เป็นการจับคู่ส่วนของลักษณะเฉพาะออกจากรูปเป็นลำดับแรก และจับคู่ลักษณะเด่นนั้นๆ ในภาพทั้งสองภาพ

- **Intensity-based stereo matching**

ลักษณะการทำงานของ Intensity-based stereo matching (ISM) คือการนำค่าความเข้มของพิกเซลที่อยู่บนเส้น Scanline ระหว่างภาพสองภาพที่ได้จากกล้องสเตอริโอวิชันมาเปรียบเทียบกัน หากบริเวณพิกเซลที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความเข้มเท่ากันแสดงว่า พิกเซลที่มาจากภาพทั้งสองนั้นเป็นพิกเซลเดียวกัน ซึ่งอาจอยู่ต่างตำแหน่งกันทำให้ได้ค่าระยะระหว่างตำแหน่งนั้นเพื่อนำมาคำนวณประมาณหาค่าความลึกของพิกเซลนั้นได้ต่อไป

- **Feature-based stereo matching**

Feature-based stereo matching (FSM) จะใช้วิธีการดึงบริเวณที่อาจจะเป็นวัตถุหรือลักษณะเด่นที่เราสนใจออกมาจากภาพด้วยวิธีการต่างๆ เช่น edge elements, corners, line segments และ curve segments เป็นต้น หลังจากนั้นจะจับคู่เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของบริเวณที่เราสนใจนี้เพื่อหาค่าความต่างกันของพิกเซลที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อนำไปใช้คำนวณประมาณค่าความลึกของบริเวณที่สนใจนี้ได้

ในงานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองภาพในวิธีการจับคู่ความสัมพันธ์ด้วยความเข้มของพิกเซล (Intensity-based stereo matching) ซึ่งต่างจากวิธีการจับคู่ความสัมพันธ์ด้วยคุณลักษณะเด่นของภาพ (Feature-based stereo matching) เพราะวิธีการนี้ต้องระบุจุดสนใจหรือขอบเขตที่สนใจ และจะ สร้างภาพแสดงค่าความลึกของวัตถุที่ ระบุตำแหน่งเอาไว้เพียงตำแหน่งนั้นเท่านั้น และในงานวิจัยนี้การค้นหาลักษณะที่อยู่ที่ด้านหน้าผู้พิกรทางสายตาจะมีตำแหน่งที่ไม่

แน่นอนเมื่อผู้พิจารณาการเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีการจับคู่ความสัมพันธ์ด้วยความเข้มของพิกเซลจะมีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้มากกว่าวิธีจับคู่ความสัมพันธ์ด้วยคุณลักษณะเด่นของภาพและในงานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึม Intensity-based stereo matching เพื่อหาความลึกของวัตถุ โดยการจับคู่พิกเซลด้วยวิธีการ Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [13]

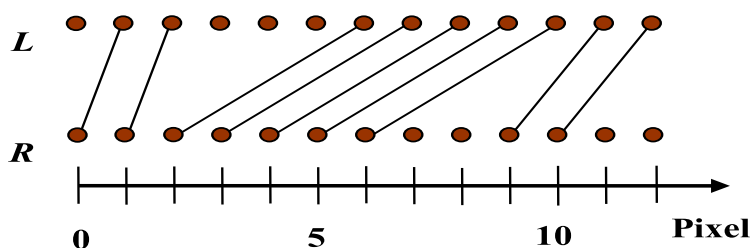
2.2.2 Stereo matching

วิธีการจับคู่พิกเซลที่มีความสัมพันธ์กันนั้นจะใช้การจับคู่ สองวิธี คือการจับคู่โดยใช้ค่าความเข้มของพิกเซล และการใช้คุณลักษณะเด่นของบริเวณที่สนใจ โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ อัลกอริทึมในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของ Stan Birchfield นั่นก็คือ การหาความลึกของวัตถุ โดยการจับคู่พิกเซล Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [13] ซึ่งอัลกอริทึม P2P นี้จะทำงานอยู่บนพื้นฐานของหลักการ intensity-based matching และอัลกอริทึม P2P นี้ยังเป็น อัลกอริทึมที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และยังเป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันพื้นฐานในการพัฒนา โปรแกรมด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ OpenCV ซึ่งเป็นไลบรารีที่นิยมใช้ในการพัฒนา โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) คือ อัลกอริทึมสำหรับใช้ คำนวณหาค่าความลึกของวัตถุที่มาจากกล้องแบบสเตอริโอวิชัน โดยใช้วิธี intensity-based matching ซึ่งวิธีการนี้เป็นการจับคู่พิกเซลที่มีค่าความเข้มใกล้เคียงกันในคู่แถวเดียวกัน โดยใช้ สมการความสัมพันธ์ของกลุ่มลำดับ (Cost function) ที่ใช้สำหรับการหาลำดับของตำแหน่งพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงที่เหมือนกันระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา (เรียกว่ากลุ่มลำดับ M) โดยแสดงใน สมการ (2-4)

$$\gamma(M) = N_{occ} \kappa_{occ} - N_M \kappa_r + \sum_{i=1}^{N_M} d(x_i, y_i) \quad (2-4)$$

จากสมการ (2-4) ค่าคงที่ κ_{occ} คือค่าคงที่ Occlusion penalty, κ_r คือค่าคงที่ของ match reward, $d(x_i, y_i)$ คือ ระยะห่างระหว่างพิกเซลในแนวแกน x_i และ y_i และ N_{occ}, N_M คือ จำนวนพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กัน (Occlusion pixel) และ จำนวนคู่อันดับที่สัมพันธ์กันแสดงใน ภาพประกอบที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลจากกล้องซ้ายและกล้องขวา [8]

2.3 ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image)

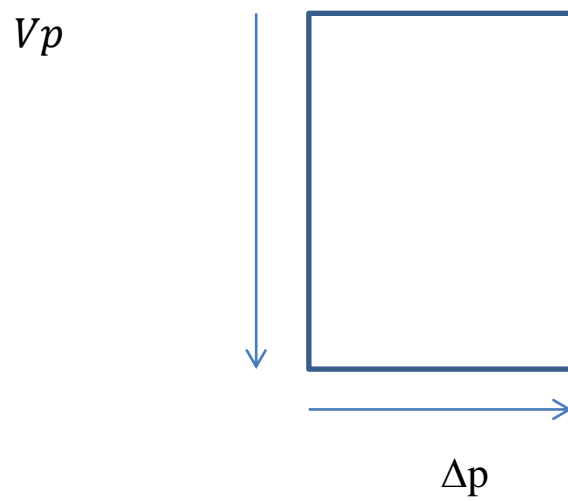
ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image) [14] แสดงในภาพประกอบที่ 2-3 การใช้แนวแกน U และ V มาช่วยในการประมาณค่าความลึกของวัตถุ หรือสิ่งที่เราสนใจภายในภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแกนเส้นตรงที่มีค่าความเข้มที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความเข้มนั้นสามารถนำไปคำนวณหาค่าความลึกของวัตถุที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับเส้นตรงในภาพ



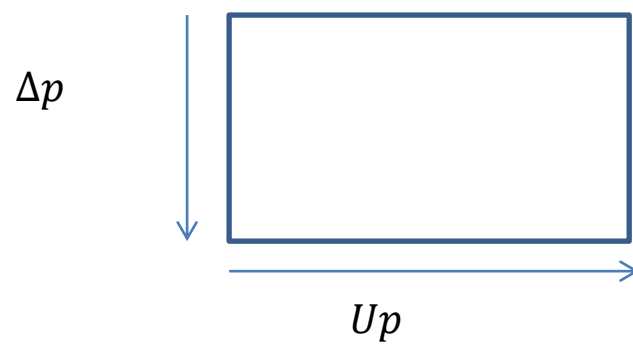
รูปที่ 2-3 ระนาบของภาพที่เกิดจากจุด P ลงบนระนาบที่ภาพกล้องซ้ายและกล้องขวา

ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะ คำนวณมาจากการสะสมจำนวน พิกเซลที่มีค่าความลึกที่เหมือนกันหรือเท่ากัน ตามแนวแกน u ในระนาบ (u_p, v_p) และนำจำนวน พิกเซลที่มีค่าความลึกที่เท่ากัน ไปสร้างเป็นภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยการ สร้างนั้นจะใส่ค่าความลึกตามแนวแกน Δ_p ตามภาพประกอบ 2-4 โดย Δ_p ก็คือค่าความลึก

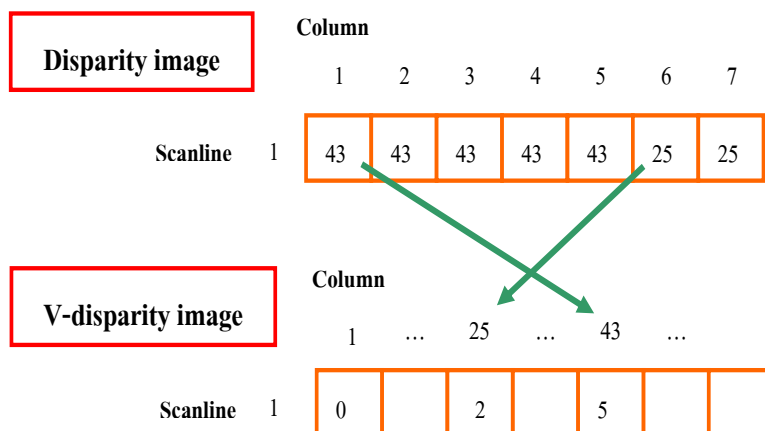
ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U คำนวณมาจากการสะสมจำนวน พิกเซลที่มีค่าความลึกที่เหมือนกันหรือเท่ากัน ตามแนวแกน v ในระนาบ (u_p, v_p) และนำมาสร้าง เป็นภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกใน แนวแกน U นั้นจะใส่ค่าความลึกตามแนวแกน Δ_p ตามภาพประกอบ 2-5 โดย Δ_p ก็คือค่าความลึก



รูปที่ 2-4 การตั้งแกนแสดงการสะสมค่าความถี่ในแนวแกน V
(V-disparity image)

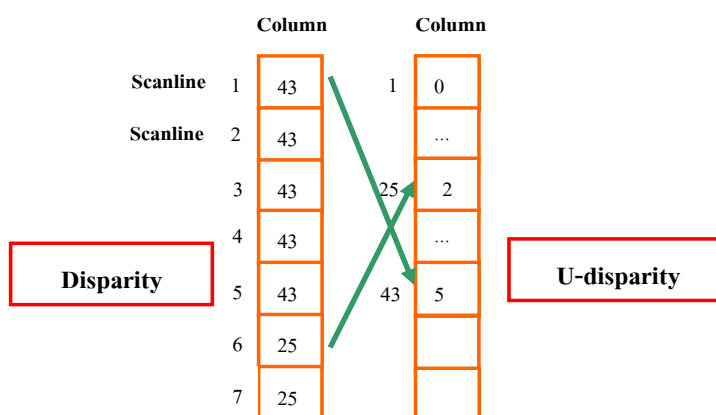


รูปที่ 2-5 การตั้งแกนแสดงการสะสมค่าความถี่ในแนวแกน U
(U-disparity image)



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V [14]

จากภาพประกอบ 2-6 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยจะเริ่มต้นจากการแบ่งภาพออกเป็นระนาบ (u_p, v_p) โดยจะ แบ่งออกเป็นแถวๆ ตามแกน v_i ในภาพประกอบ 2-7 โดยจะ เปรียบเทียบค่าความลึกของแต่ละพิกเซลในแถว v_i ไปที่ละคอลัมน์ ตามแนวแกน u_i ของภาพแสดงค่าความลึกและ นับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกภายในที่เท่ากันที่อยู่ในแถว v_i เดียวกัน หลังจากทำงานจนครบตามจำนวนคอลัมน์ u_i หรือตามความกว้าง (width) ของภาพแสดงค่าความลึกแล้ว จึงนำค่าความลึกที่เท่ากันไปเป็นตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และนำจำนวนพิกเซลที่ทำการนับจำนวนไว้ในขั้นตอนแรกในแต่ละแถวไปเป็นค่าที่ใช้ระบุตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และทำงานจนครบทุกแถวของภาพในระนาบ (u_p, v_p)



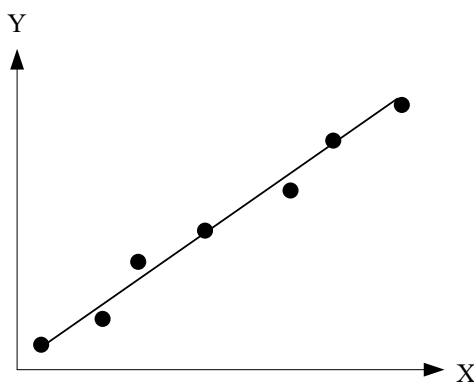
รูปที่ 2-7 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U [14]

จากภาพประกอบ 2-7 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยจะเริ่มต้นจากการแบ่งภาพออกเป็นระนาบ (u_p, v_p) โดยจะแบ่งออกเป็นคอลัมน์ๆตามแกน u_i ในภาพประกอบ 2-7 โดยจะเปรียบเทียบค่าความลึกของแต่ละพิกเซลในคอลัมน์ u_i ไปทีละแถว ตามแนวแกน v_i ของภาพแสดงค่าความลึกและนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกภายในที่เท่ากันที่อยู่ในคอลัมน์ u_i เดียวกัน หลังจากทำงานจนครบตามจำนวนแถว v_i หรือตามความสูง (height) ของภาพแสดงค่าความลึกแล้ว จึงนำค่าความลึกที่เท่ากันไปเป็นตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และนำจำนวนพิกเซลที่ทำการนับจำนวนไว้ในขั้นตอนแรกในแต่ละคอลัมน์ไปเป็นค่าที่ใช้ระบุตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และทำงานจนครบทุกคอลัมน์ของภาพในระนาบ (u_p, v_p)

2.4 สมการถดถอย (Regression)

สมการถดถอย [15] เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับหาความเป็นไปได้ของเส้นตรงที่มีโอกาสมากที่สุดที่จะใช้แทนตำแหน่งชุดข้อมูลที่กระจายตัวกันในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น การปรับแต่งเส้นโค้ง (Curve fitting) เพื่อ หาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่มีตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการทดลองได้ การถดถอยแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ การถดถอยเชิงเดียว (Simple regression) การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression) และการถดถอยแบบเส้นโค้ง (Curvilinear regression)

1.) การถดถอยเชิงเดียว (Simple regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชุดคือตัวแปรต้น 1 ชุด และตัวแปรตาม 1 ชุด โดยอยู่ในรูปฟังก์ชัน $Y=f(X)$ โดย X แทนตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (independent variable) และ Y แทนตัวแปรตาม (dependent variable) ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นเส้นตรงเรียกว่า การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว (Simple linear regression) ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 2-8 และยังมีการหาความสัมพันธ์ที่ไม่แปรผันกันตามเส้นตรง โดยวิธีนี้จะต้องกำหนดกำลังสูงสุดของโพลีโนเมียล



รูปที่ 2-8 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว [15]

2.) การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ชุด ขึ้นไป โดยมีตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ 1 ชุดและตัวแปรตาม 2 ชุดขึ้นไปฟังก์ชันของการถดถอยเชิงซ้อนคือ $Y=f(X)$ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นเส้นตรงเรียกว่า การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงซ้อน (Multiple linear regression)

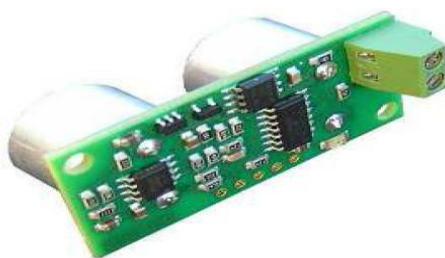
3.) การถดถอยแบบเส้นโค้ง (Curvilinear regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามจะอยู่ในลักษณะของเส้นโค้ง ในการพิจารณาการถดถอยแบบเส้นโค้งนี้อาจจะเป็นได้ทั้งกรณีที่เป็นการถดถอยเชิงเดียว (Simple regression) และการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regressions) ซึ่งวิธีการนี้ได้นำมาใช้ประมาณค่าระยะวัตถุที่ได้จากภาพ U-disparity

2.5 การวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

ในปัจจุบันเซ็นเซอร์วัดระยะทางได้มีการพัฒนาและออกแบบมามากมายหลายรูปแบบ โดยรูปแบบที่ได้รับความนิยมกันมากคือ อุปกรณ์อัลตราโซนิกที่มีตัวรับและตัวส่งอยู่บนอุปกรณ์ชิ้น

เดียวกันซึ่งมีขนาดของเซ็นเซอร์ที่จะใช้ในวิทยานิพนธ์นี้แสดงดังภาพประกอบ 2-10 [16] โดยมีขนาดอยู่ที่ 23x20x17 มิลลิเมตร ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะและความเหมาะสมในการเลือกนำมาใช้งาน โดยระยะทางของการทำงานของอุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบมีทั้งตัวรับและตัวส่งที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ อยู่ในช่วง 0.01–4 เมตร และในบางรุ่นยังสามารถทำงานได้สูงสุดถึง 6 เมตร โดยความถี่ที่ใช้ของคลื่นอัลตราโซนิก อยู่ที่ 40 กิโลเฮิรท์ใช้การเชื่อมต่อสื่อสารผ่านการส่งสัญญาณพัลส์ และใช้แรงดันที่ 5 โวลต์ ต้องการกระแสที่ 30 มิลลิแอมป์

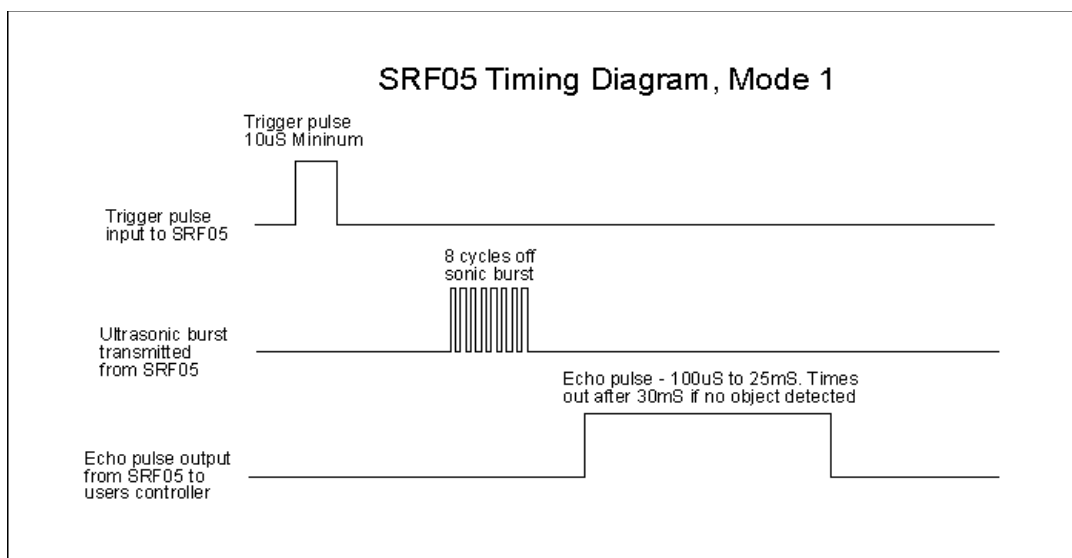
เนื่องจากอุปกรณ์อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์มีราคาที่ถูก ควบคุมการทำงานได้ง่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องมีแสงสว่าง เพราะใช้คลื่นเสียงในการทำงานซึ่งเสียงอัลตราโซนิกไม่ใช่เสียงที่อยู่ในช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยินจึงไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์



รูปที่ 2-9 อัลตราโซนิกเซอร์รุ่น SRF05 [16]

การทำงานของเซ็นเซอร์ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมส่งสัญญาณไปกระตุ้นเพื่อให้อุปกรณ์เริ่มทำงาน โดยต้องส่งคลื่นพัลส์ความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาทีจากตัวควบคุมไปยังขา Trigger ของเซ็นเซอร์ หลังจากนั้นเซ็นเซอร์จะส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปจากตัวส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่ที่ส่งคือ 40 กิโลเฮิรท์ หลังจากนั้นเซ็นเซอร์จะรอสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อคลื่นไปกระทบวัตถุในรัศมีที่ทำงานซึ่งอยู่ในช่วง 30 องศา และในช่วงระยะทาง ที่ 0.01 – 4 เมตร เมื่อตัวรับสัญญาณได้รับคลื่นกลับมา จะคำนวณระยะทางจากการประมาณเวลาของการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจากหลักอ้างอิงที่ว่า ความเร็วของคลื่นเสียงเป็น 346 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้นเซ็นเซอร์จะสร้างคลื่นพัลส์ที่มีความกว้าง 100 ไมโครวินาที ถึง 25 มิลลิวินาที เพื่อส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมาณระยะทางจากคลื่นที่ได้รับกลับมาได้ แสดงสัญญาณ Trigger pulse เป็นการส่งสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังเซ็นเซอร์เพื่อกระตุ้นให้เซ็นเซอร์ทำงานหลังจากเซ็นเซอร์ได้รับสัญญาณ เซ็นเซอร์จะส่ง Ultrasonic burst ออกจากตัวส่งไปในอากาศซ้ำอีก 8 รอบ (Echo Plus) เพื่อตรวจหาวัตถุที่อยู่ด้านหน้าในรัศมี 30 องศา ในระยะทำงาน 0.01-4 เมตร โดยหากพบวัตถุคลื่นก็จะถูก

สะท้อนกลับไปที่ตัวรับ หลังจากที่ได้รับคลื่นที่สะท้อนกลับมาเซ็นเซอร์จะสร้างสัญญาณ Echo pulse ออกมาเพื่อส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณระยะทางที่เซ็นเซอร์ตรวจพบวัตถุจากสมการ $s = vt$ ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทาง s ความเร็ว v และเวลา t ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-11



รูปที่ 2-10 ลำดับการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ [16]

2.6 การกรองข้อมูลด้วยวิธี Kalman filter

ตัวกรองข้อมูลแบบคาลมาน (Kalman Filter) [17] เป็นวิธีการในการประมาณสถานะของระบบ เป็นที่ยอมรับและนำมาใช้งานกันแพร่หลายกันมากในด้านการประมาณค่าและการกรองข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำให้มากยิ่งขึ้น การทำงานและการใช้งานตัวกรองข้อมูลแบบคาลมานนั้นเริ่มจากการประมาณค่าหรือทำนายค่าล่วงหน้าให้กับสถานะที่อุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ยังไม่สามารถวัดค่าได้ โดยมักเป็นช่วงครั้งแรกของการเริ่มใช้งานอุปกรณ์หรืออยู่ในระยะการเตรียมข้อมูลก่อนการเริ่มทำงานของอุปกรณ์

$$X_k^- = \Phi_{k-1} X_{k-1} \quad (2-5)$$

$$P_k^- = \Phi_{k-1}^2 P_{k-1} + Q_k \quad (2-6)$$

การทำงานของตัวกรองแบบคาลมานในช่วงแรกจะเป็นช่วงของการทำนายค่าให้กับอุปกรณ์ดังสมการที่ (2-5) โดยตัวแปร X_k^- คือค่าทำนายของอุปกรณ์ ซึ่งหาได้จาก ค่าของอุปกรณ์ในสถานะก่อนหน้าซึ่งก็คือ X_{k-1} จากนั้นจะทำนายค่าความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ P_k^- ซึ่งหาได้จาก ความค่าเชื่อมั่นของระบบ P_{k-1} ในสถานะก่อนหน้า บวกกับค่าความแปรปรวนของระบบ (process noise) Q_k ของอุปกรณ์ ดังสมการที่ (2-6)

$$K_k = P_k^- H_k (P_k^- H_k^2 + R_k)^{-1} \quad (2-7)$$

$$P_k^+ = (1 - K_k H_k)^2 P_k^- + K_k^2 \quad (2-8)$$

$$X_k^+ = X_k^- + K_k (Z_k - H_k X_k^-) \quad (2-9)$$

การทำงานของตัวกรองแบบคาลมานในช่วงที่สอง คือการปรับปรุงข้อมูลเมื่อสามารถอ่านค่าจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ได้แล้ว โดยการปรับปรุงค่าใหม่ของตัวแปร X_k^+ นั้นสามารถหาได้จากค่าผลลัพธ์ในสถานะก่อนหน้า X_k^- ร่วมกับ ผลลัพธ์ของค่าคงที่ของคาลแมน K_k คูณกับผลต่างของ ค่าที่วัดมาจากอุปกรณ์จริง Z_k กับค่าที่ทำนายไว้คือ X_k^- ดังแสดงในสมการที่ (2-7) โดยค่าคงที่ของคาลแมน K_k นั้นสามารถหาได้จาก ผลหารของค่าความเชื่อมั่นในสถานะก่อนหน้า P_k^- กับผลรวมของ ค่าความเชื่อมั่นในสถานะก่อนหน้า P_k^- กับค่าความแปรปรวนของการวัด (maserement noise) R_k ดังแสดงในสมการที่ (2-8) และการหาค่าความเชื่อมั่นของระบบโดยรวม P_k^+ หาได้จากผลบวกของผลต่างหนึ่งกับค่าคงที่คาลแมน K_k ยกกำลังสองคูณกับค่าความเชื่อมั่นในสถานะก่อนหน้า P_k^- ทั้งหมดบวกกับผลคูณของค่าคงที่คาลแมน K_k ยกกำลังสองคูณกับค่าความแปรปรวนของระบบ R_k ดังสมการที่ (2-9) การทำงานของตัวกรองแบบคาลมานนั้นจะค่อยๆ ปรับปรุงค่าผลลัพธ์ใหม่เรื่อยๆ จนกว่าระบบจะเสถียร ซึ่งความเสถียรของระบบนั้นมีความจำเป็นในการนำมาช่วยทำให้ผลลัพธ์จากกล้องสเตอริโอวิชันนั้นมีความแม่นยำขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในส่วนอื่นต่อไป เช่น นำไปแปลงเป็นเสียงสำหรับเตือนผู้พิการทางสายตาได้

2.7 ระบบเสียงสามมิติ

ระบบเสียงสามมิติเป็นการแสดงเสียงที่เลียนแบบการได้ยินเสียงของมนุษย์ โดยทั่วไปหลักการฟังเสียงของมนุษย์คือได้ยินเสียงที่ความถี่ในช่วง 20-20 kHz เสียงที่ได้ยินจากหูทั้งสองข้าง

จะทำให้มนุษย์สามารถจินตนาการได้ว่าเสียงที่ได้ยินมาจากทิศทางใด ซึ่งการจำแนกเสียงตามตำแหน่งของแหล่งที่มาของเสียงแบบสามมิติ

การสร้างเสียงสามมิติในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้การสร้างเสียงด้วยหูฟังสเตอริโอ เพื่อให้สามารถพกพาได้ ซึ่งวิธีการสร้างเสียงสามมิติสำหรับหูฟังที่นิยมใช้งานในปัจจุบันได้แก่ stereo widening [18] เป็นการสร้างเสียงสามมิติด้วยการแบ่งการคำนวณสัญญาณเสียงส่วนกลาง C และเสียงสำหรับด้านข้าง S ดังสมการที่ (2-10) โดยสัญญาณ C ที่คำนวณได้จะถูกส่งไปแสดงผลในลำโพงทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา ส่วนสัญญาณ S จะถูกแบ่งเป็นสัญญาณ positive ซึ่งนำมาแสดงในลำโพงฝั่งซ้าย และ negative จะแสดงในลำโพงฝั่งขวา

$$C = \frac{L+R}{2} ; S = \frac{L-R}{2} \quad (2-10)$$

การนำเสียงมานำเสนอในรูปแบบของเสียงสามมิติในงานวิจัยนี้เป็นการแยกเสียงที่มีความแตกต่างกัน 5 เสียงเพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของวัตถุที่มาจาก U-disparity และมีระดับความดังของเสียงที่ใช้แทนระยะวัตถุที่ได้จากการร่วมกันทำงานของกล้องและสเตอริโอวิชันและการแปลงข้อมูลเสียงเป็นระบบเสียงแบบสามมิตินั้นจะเลือกใช้ไลบรารี irrklang [19] เป็นไลบรารีเสียงที่เป็นแบบ open source และใช้งานกันแพร่หลายในการพัฒนาในด้านเกมส์ และการพัฒนาเป็นสื่อการสอน เป็นต้น ฟังก์ชันที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างเสียงสามมิติ คือ

setMinDistance: ทำหน้าที่กำหนดระยะและตำแหน่งใกล้สุดของเสียงที่จะแสดงแทนวัตถุหรือสิ่งกีดขวางซึ่งค่าระยะวัตถุที่เป็นค่า default ของฟังก์ชันนี้คือ 1

setListenerPosition: ทำหน้าที่กำหนดพิกัดของผู้ฟังโดยผู้ฟังในงานวิจัยนี้คือ ผู้พิการทางสายตา ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดจะมี 3 ตัวแปร คือ พิกัด X พิกัด Y และพิกัด Z

play3D: ทำหน้าที่สังเกนเสียงสามมิติ โดยตัวแปรที่ใช้กับฟังก์ชันนี้คือ ชื่อไฟล์เสียงที่ต้องการจะเล่น และตัวแปรที่ใช้กำหนดพิกัดของวัตถุที่ต้องการเปลี่ยนเป็นเสียงสามมิติซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดพิกัดวัตถุจะมี 3 ตัวแปร คือ ตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X ระยะวัตถุในแนวแกน Y และความสูงของวัตถุในแนวแกน Z

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานและเทคนิควิธีการประมวลผลภาพจากกล้องสเตอริโอวิชันและหลักการรวมข้อมูลระยะวัตถุด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ โดยมุ่งเน้นไปที่การอธิบายทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณภาพจิจิตอลจากกล้องสเตอริโอวิชัน ในส่วนการรวมข้อมูลจะใช้ตัวกรองของกาลมานมาช่วย การแบ่งร่วมกันทำงานเพื่อให้ค่าระยะวัตถุที่ใกล้ค่าความเป็นจริงมากที่สุดเพื่อนำไปใช้เตือนหรือช่วยนำทางให้กับผู้พิการทางสายตาด้วยเสียงแบบสามมิติได้

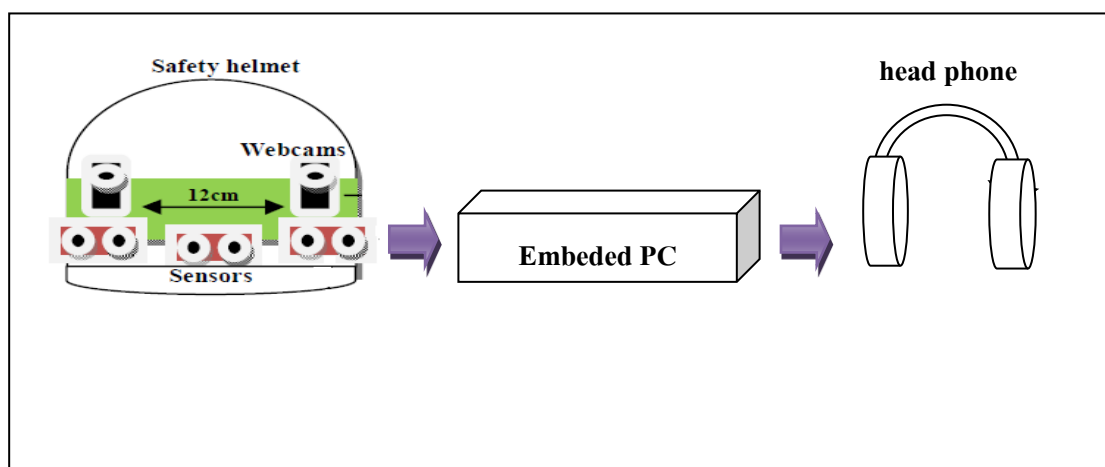
ต่อไปซึ่งการนำไปใช้จริงได้ควรได้รับการพัฒนาความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่พัฒนาเพื่อกำหนดถึง
ความสะดวกในการพกพาสำหรับผู้พิการทางสายตาต่อไป

บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการมุ่งเน้นไปในทางการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ซึ่งอาศัยตัวกรองข้อมูลแบบกาลมานเพื่อรวมข้อมูลระยะลึกจากกล้องสเตอริโอวิชันและอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์เข้าด้วยกัน หลังจากนั้นจะแปลงข้อมูลระยะวัตถุที่ได้นั้นเป็นเสียงสามมิติเพื่อใช้เตือนผู้พิการทางสายตาด้วยหูฟังแบบสเตอริโอ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เป็นงานวิจัยที่พัฒนาต่อยอดมาจากงานเดิมคือ การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยใช้กล้องสเตอริโอวิชันที่พัฒนาโดยนายธนาธิป ลีมนานา ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่ผู้วิจัยได้ออกแบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจหาวัตถุซึ่งเป็นหมวกเพื่อการสะดวกในการสวมใส่ซึ่งพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่พัฒนาโดยนายธนาธิป ลีมนานาโดยเพิ่มเติมอุปกรณ์เซ็นเซอร์เพื่อร่วมกันทำงานกับกล้องสเตอริโอวิชัน ผู้วิจัยเลือกใช้คอมพิวเตอร์แบบสวมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กและเบามาทำหน้าที่ประมวลผลภาพ และส่วนการติดต่อกับผู้พิการทางสายตาจะใช้หูฟังแบบสเตอริโอ โดยใช้เสียงเตือนแบบสามมิติเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-1



รูปที่ 3-1 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา

งานวิจัยนี้ได้แนวคิดมาจากการทบทวนวรรณกรรมทางด้านรถอัจฉริยะที่สามารถระบุตำแหน่งสิ่งกีดขวางด้วยกล้องและเซ็นเซอร์หลายๆตัวที่ทำงานอย่างสอดคล้องกัน เป็นที่มาในการคิดปรับปรุงประสิทธิภาพของกล้องสเตอริโอวิชัน ซึ่งกล้องสเตอริโอวิชันนั้นมีข้อจำกัดอยู่ในเรื่องของกรอบการรับภาพจากแสงที่ไม่สม่ำเสมอในสภาวะแวดล้อมจริง และกล้องไม่สามารถบอกได้ว่ากระจกใสนั้นเป็นวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง อีกทั้งยังไม่สามารถค้นหาวัตถุที่อยู่ใกล้กว่าระยะ 1 เมตรได้ ซึ่งวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่ใกล้ๆอาจเป็นอันตรายต่อผู้พิการทางสายตาได้

ในส่วนของการออกแบบขั้นตอนการทำงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่มาจากกล้องสเตอริโอวิชันเดิม และศึกษาผลลัพธ์ที่มาจากอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ หลังจากนั้นจะวิเคราะห์ผลลัพธ์จากอุปกรณ์ทั้งสอง แล้วนำมาหาข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการ ซึ่งก่อนการทดลองได้ ตั้งสมมติฐานไว้ว่า อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์นั้นจะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำกว่ากล้องสเตอริโอวิชัน แต่ข้อเสียของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์คือ มีระยะเวลาการทำงานที่น้อยและไม่สามารถตรวจหาวัตถุที่มีพื้นผิวขรุขระและเป็นอุปสรรคต่อการสะท้อนกลับของคลื่น ได้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระยะวัตถุที่กล้องหาได้มาช่วยเมื่อเซ็นเซอร์ทำงานผิดพลาด ข้อมูลระยะวัตถุที่ได้จะถูกกรองก่อนเพื่อเพิ่มความแม่นยำด้วยวิธีการกรองข้อมูลแบบกาลมาน หลังจากนั้นจะใช้วิธีการรวมข้อมูลผลลัพธ์ที่มาจากกล้องและเซ็นเซอร์เข้าด้วยกันด้วยวิธีการของกาลมาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นคาดว่าจะมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นจะแปลงข้อมูลผลลัพธ์สุดท้ายให้อยู่ในรูปแบบของเสียงสามมิติเพื่อเตือนผู้พิการทางสายตา โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดลองหาพื้นที่การทำงานของกล้องสเตอริโอวิชัน โดยใช้การแสดงผลแบบ U-disparity ซึ่งการทดลองจะแบ่งเป็นเป็น 3 ส่วนคือ การทดลองในแนวแกน X จะใช้ค่าผลลัพธ์จากการ U-disparity เป็นตัวแสดงผลตำแหน่งวัตถุ การทดลองในแนวแกน Y จะใช้ค่าระยะวัตถุที่คำนวณได้จาก U-disparity เป็นตัวแสดงผลค่าระยะวัตถุ การทดลองในแนวแกน Z จะใช้ค่าอัตราส่วนของภาพที่มาจากกล้องสเตอริโอวิชัน

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองเพื่อหาพื้นที่การทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ซึ่งการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การทดลองเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์เพื่อใช้บอกตำแหน่งในแนวแกน X เพื่อนำไปปรับให้สอดคล้องกับบอกตำแหน่งของกล้อง การทดลองเพื่อหาระยะทำงานในแนวแกน Y หรือระยะวัตถุของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ และการทดลองเพื่อหาระยะทำงานในแนวแกน Z เพื่อนำไปปรับให้สอดคล้องกับอัตราส่วนภาพของกล้อง

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองวัดประสิทธิภาพการด้านความแม่นยำของกล้องและเซ็นเซอร์ก่อนการร่วมกันทำงานและหลังร่วมกันทำงาน

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองเรื่องการแปลงข้อมูลระยะวัตถุจาก U-disparity เป็นเสียงแบบสามมิติโดยการทดลองใช้งานไลบรารี Irrklang [19]

ภาพประกอบที่ 3-2 เป็นการแสดงแนวแกนจากภาพต้นแบบโดยจะใช้สำหรับอ้างอิง ระยะวัตถุ ความสูง และตำแหน่งของวัตถุ



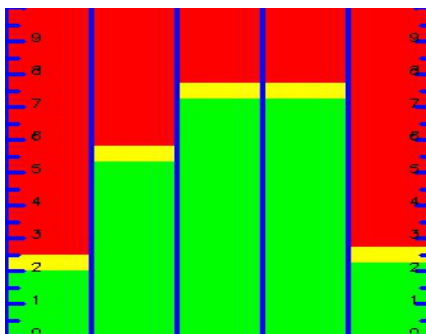
รูปที่ 3-2 การอ้างอิงแนวแกนจากภาพต้นแบบ

3.1 การทดลองเพื่อหาระยะการทำงานของระบบสเตอริโอวิชัน

ระบบสเตอริโอวิชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบที่แสดงผลด้วย U-disparity ซึ่งการแสดงผลโดยยึดตามตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในภาพ ดังนั้นการพิจารณาพื้นที่การทำงานโดยรวมจะไม่นำค่าความสูงของวัตถุมาใช้ ซึ่งข้อดีของการไม่นำความสูงมาใช้คือ ลดระยะเวลาในการประมวลผล ในส่วนการคำนวณความสูงของวัตถุ ระยะวัตถุ และตำแหน่ง

3.1.1 การทดลองหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X

การระบุตำแหน่งของวัตถุจากภาพของกล้องสเตอริโอวิชันในงานวิจัยนี้จะใช้การระบุตำแหน่งของวัตถุจากแผนผัง U-disparity ซึ่งการแบ่งจำนวนคอลัมน์ของ U-disparity จะมีผลต่อการแสดงผลความละเอียดในการบอกตำแหน่งของวัตถุในภาพซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 3-2 จำนวนคอลัมน์ใน U-disparity มีจำนวน 5 คอลัมน์ดังนั้น พื้นที่การแสดงผลตำแหน่งจะมีความละเอียดเป็น 5 ตำแหน่งด้วย โดยมีพื้นที่สีเขียวคือระยะที่ไม่มีวัตถุ และพื้นที่สีแดงคือระยะที่มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง



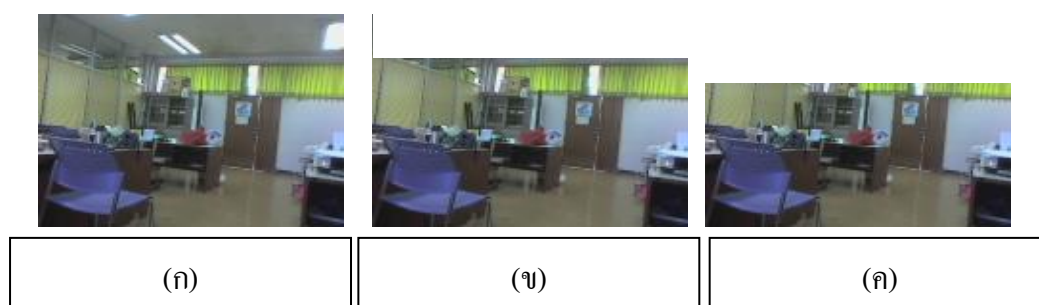
รูปที่ 3-3 แผนผัง U-disparity

3.1.2 การทดลองหาระยะวัตถุในแนวแกน Y

การหาระยะวัตถุหรือระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุนั้นสามารถใช้ U-disparity เป็นตัวบอกเช่นเดียวกัน จากภาพประกอบที่ 3-1 จะมีระยะบอกว่าวัตถุบอกละเอียดในการบอกระยะจะมีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งการทดลองจะทดลองเพื่อหาระยะวัตถุที่กล้องสามารถทำงานได้ดีที่สุด โดยวัดระยะวัตถุจากระยะใกล้แล้วค่อยขยับวัตถุไกลออกไปโดยจะเก็บค่าตำแหน่งของวัตถุจำนวน 100 ค่าต่อหนึ่งจุดเพื่อนำมาคำนวณหาความผิดพลาดที่ระยะวัตถุ 0-5 เมตร

3.1.3 การทดลองหาความสูงวัตถุในแนวแกน Z

เนื่องจากความสูงของวัตถุในภาพนั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการแสดงผลแบบ V-disparity ซึ่งไม่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะงานวิจัยนี้ไม่ได้นำเสนอค่าความสูงของระยะวัตถุ ดังนั้นการหาความสูงของวัตถุจึงเป็นการประมาณจากอัตราส่วนของภาพที่รับเข้ามาจากกล้องซึ่งความสูงของวัตถุในงานวิจัยนี้จะทดลองเพียงเพื่อต้องการหาระยะการทำงานในแนวแกน Z ที่สอดคล้องกับการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์เท่านั้น โดยอัตราส่วนของภาพจะแสดงในภาพประกอบที่ 3-3 ซึ่งภาพที่อัตราส่วนความสูงที่ลดลงจะทำให้กล้องมองเห็นเฉพาะวัตถุที่อยู่ระดับเดียวกับกล้องเท่านั้น นั่นคือส่วนของหลอดไฟและพื้นดินจะหายไปบางส่วนซึ่งทำให้การคำนวณค่าระยะวัตถุมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



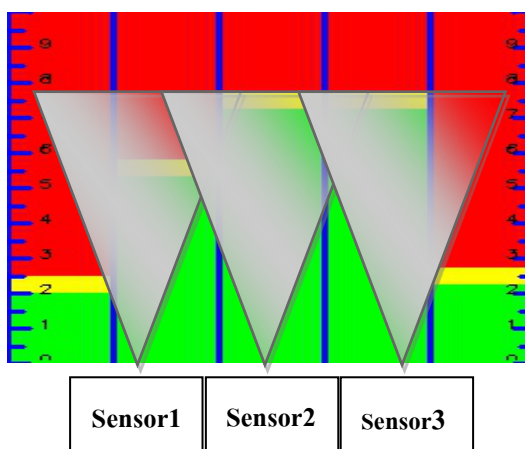
รูปที่ 3-4 (ก) อัตราส่วน 180:240, (ข) อัตราส่วน 140:240, (ค) อัตราส่วน 120:240

3.2 การทดลองเพื่อหาระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การทดลองหาระยะการทำงานในแนวแกน X การทดลองหาระยะวัตถุที่เซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ในแนวแกน Y และการทดลองเพื่อหาระยะการทำงานในแนวแกน Z เพื่อนำไปปรับอัตราส่วนของภาพเพื่อให้ทำงานสอดคล้องกับเซ็นเซอร์

3.2.1 การทดลองหาค่าตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X ของเซ็นเซอร์

เนื่องจากการหาค่าตำแหน่งของวัตถุโดยใช้อินตราโซนิกเซ็นเซอร์ตัวเดียวไม่สามารถทำได้เนื่องจากเซ็นเซอร์สามารถระบุได้แค่ระยะวัตถุที่อยู่ในขอบเขตของเซ็นเซอร์ที่ใช้เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุตามตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ โดยในการทดลองจะเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์ขึ้นเป็น 3 ตัวเนื่องจากต้องการทดลองเพื่อหาค่าตำแหน่งที่มีความสอดคล้องกับระยะการทำงานของกล้องในแนวแกน X ของแผนผัง U-disparity ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ระยะการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ซ้อนทับกับ U-disparity

3.2.2 การทดลองหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์

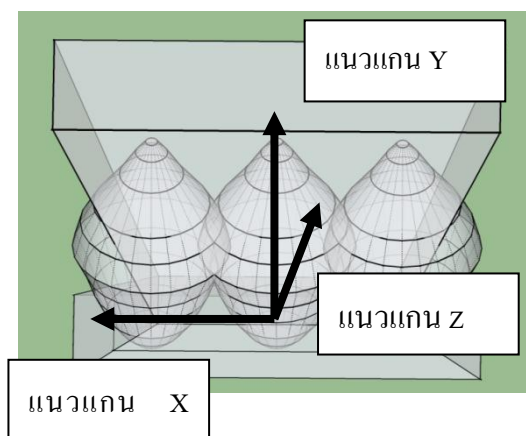
การหาระยะวัตถุในแนวแกน Y สามารถทำได้โดยการทดลองกับเซ็นเซอร์เพียงตัวเดียวโดยทดลองวางวัตถุในระยะที่ใกล้กับเซ็นเซอร์แล้วจึงเพิ่มระยะห่างของวัตถุกับเซ็นเซอร์ขึ้นเรื่อยๆทีละ 1 เซนติเมตรโดยเริ่มทดลองที่ระยะเริ่มต้นมีค่าเป็น 0 จนได้ค่าระยะที่สูงสุดที่เซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ และเก็บบันทึกค่าระยะวัตถุทีละตำแหน่ง ซึ่งจะบันทึกค่าระยะวัตถุตำแหน่งละ 100 ครั้ง เพื่อนำมาคำนวณหาความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ต่อไป

3.2.3 การทดลองหาความสูงวัตถุในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์

การทดลองเรื่องความสูงของเซ็นเซอร์นั้นจะไม่สามารถทำได้โดยละเอียดเนื่องจากเซ็นเซอร์ไม่สามารถใช้งานเพื่อบอกตำแหน่งในแนวแกน Z ได้ถ้าใช้เซ็นเซอร์ 1 ตัว ในงานวิจัยนี้จึงทดลองเพื่อหาขอบเขตของคลื่นที่ส่งไปในแนวแกน Z เพื่อประมาณค่าระยะการทำงานของเซ็นเซอร์เพื่อนำไปปรับให้สอดคล้องกับความสูงของภาพที่ได้จากกล้องเท่านั้น

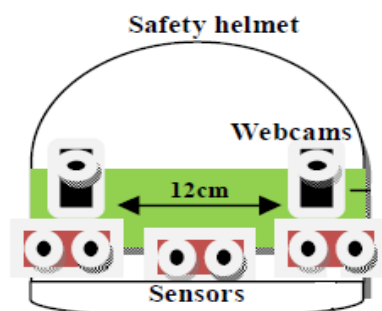
3.3 การทดลองเพื่อออกแบบการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์

การทดลองเรื่องการออกแบบการทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชัน โดยใช้อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์นั้น จะต้องนำผลระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันที่ใช้ U-disparity ในการแสดงผล และระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยตั้งสมมติฐานว่าเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีระยะการทำงาน 30 องศา และกล้องมีระยะการทำงานประมาณ 60 องศา ดังนั้นสามารถกำหนดพื้นที่การทำงานโดยประมาณโดยอ้างอิงจากแนวแกน X คือการบอกตำแหน่งของวัตถุ แนวแกน Y คือการบอกระยะของวัตถุและแนวแกน Z คือการบอกความสูงของวัตถุ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-6



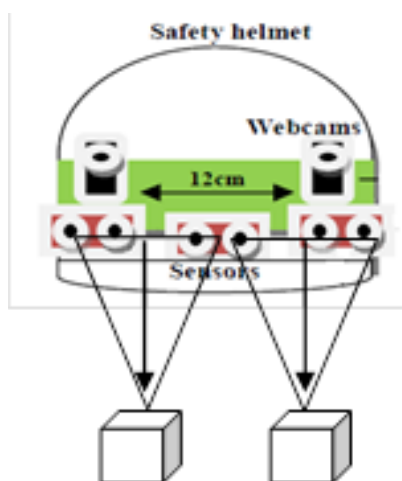
รูปที่ 3-6 พื้นที่การทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์

หลังจากได้ส่วนพื้นที่ทำงานร่วมกันแล้วจึงออกแบบอุปกรณ์เพื่อติดตั้งเซ็นเซอร์เข้ากับหมวกเพื่อทำงานร่วมกับกล้องสเตอริโอวิชัน โดยลักษณะการออกแบบจะวางเซ็นเซอร์ด้านหน้ากล้องจำนวน 3 ตัวและอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของกล้องเพื่อให้การคำนวณค่าระยะวัตถุมีความสอดคล้องกันดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-7



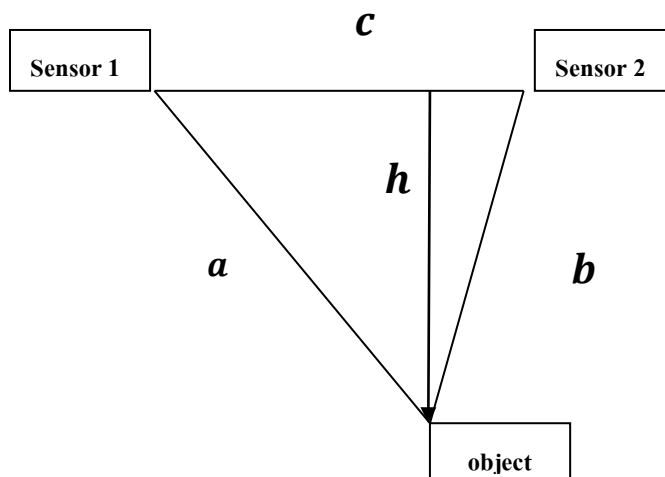
รูปที่ 3-7 การออกแบบการวางเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์

ผู้วิจัยได้ออกแบบให้จำนวนของเซ็นเซอร์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 3 ตัวเนื่องจาก ระยะเวลาทำงานของเซ็นเซอร์ 1 ตัวไม่พอดีกับระยะเวลาทำงานของกล้องไม่สอดคล้องกับจำนวนคอลัมน์ของ U-disparity ที่มีจำนวน 5 คอลัมน์ กระบวนการนำพื้นที่การทำงานของเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่ ซ้อนทับมาคำนวณหาตำแหน่งของระยะวัตถุที่สอดคล้องกับค่า U-disparity ได้ด้วยวิธีการ ประมาณค่าระยะวัตถุจากรูปสามเหลี่ยมดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-8



รูปที่ 3-8 การออกแบบการวางเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์

การคำนวณค่าระยะวัตถุที่อยู่ระหว่างเซ็นเซอร์ 2 ทำได้โดยการใช้หลักการหาพื้นที่ของ รูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า ซึ่งจะใช้ค่าของความยาวแต่ละด้านของสามเหลี่ยมมาเป็นตัวคำนวณจาก ภาพประกอบที่ 3-9 จะทราบค่าความยาวของด้าน a , b และ c โดยความยาวด้าน a คือระยะวัตถุ ที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 คำนวณได้ ความยาวด้าน b คือ ระยะวัตถุที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 คำนวณได้ และความ ยาวด้าน c คือระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 กับเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ส่วนค่าระยะทาง h คือค่า ระยะห่างที่ต้องการหาซึ่งอยู่ในบริเวณที่ซ้อนทับกันของเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัว



รูปที่ 3-9 พื้นที่สามเหลี่ยมที่เกิดจากเซ็นเซอร์ 2 ตัว

สูตรที่ใช้ในการหาพื้นที่รูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าจะต้องหาผลรวมของความยาวด้านทั้ง 3 ก่อนกำหนดเป็นค่าตัวแปร S ในสมการที่ (3-1) โดย a b c คือความยาวแต่ละด้านของสามเหลี่ยม

$$S = \frac{a+b+c}{2} \quad (3-1)$$

ขั้นตอนถัดไปจะคำนวณค่าพื้นที่รูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าจากสมการที่ (3-2) ตัวแปร A คือค่าพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า

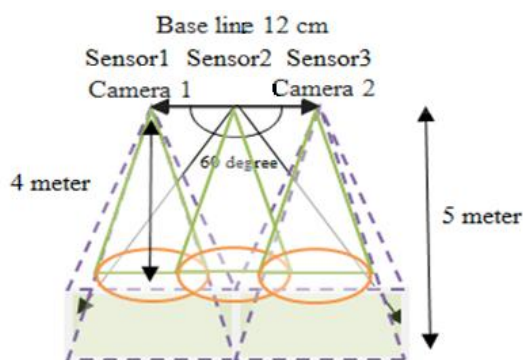
$$A = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (3-2)$$

ขั้นตอนการหาระยะวัตถุที่อยู่ระหว่างเซ็นเซอร์ 2 ตัวทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ของส่วนสูงกับพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมดังสมการที่ (3-3) h คือค่าระยะวัตถุที่อยู่ระหว่างเซ็นเซอร์

$$h = \frac{2A}{c} \quad (3-3)$$

การออกแบบระบบซึ่งรวมเซ็นเซอร์และกล้องสเตอริโอวิชันเข้าด้วยกันจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าระยะทางที่ได้ทั้งเซ็นเซอร์และกล้องต้องมีความสอดคล้องกันมากที่สุดซึ่ง โดยได้จัดวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์ให้ตรงตามระยะ base line ของกล้องสเตอริโอวิชัน คือ 12 เซนติเมตร ใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว วางได้ตำแหน่งของกล้องทั้งสอง และเซ็นเซอร์อีกตัวจะวางอยู่ตรงกลาง ที่ระยะเป็น

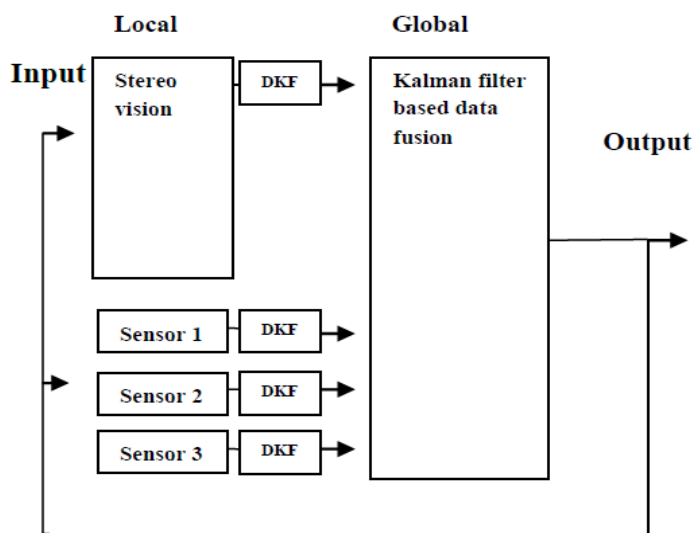
ครึ่งหนึ่งของ base line คือ 6 เซนติเมตร ซึ่งจำเป็นที่จะต้องนำไปพัฒนาและทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยหาค่าความผิดพลาดต่อไปอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ที่เลือกใช้นั้นเป็นแบบที่มีราคาถูกและมีระยะทางการทำงานในช่วง 1 เซนติเมตรถึง 4 เมตรใกล้เคียงกับค่าระยะทางของกล้องสเตอริโอวิชันที่ใช้ในงานเดิม โดยกล้องมีค่าระยะการทำงานในช่วง 1 เมตร ถึง 5 เมตร ซึ่งมากกว่าเซ็นเซอร์ 1 เมตรแสดงในภาพประกอบที่ 3-10



รูปที่ 3-10 ระยะการทำงานของการรวมข้อมูล

3.3.1 การทดลองหาความแม่นยำของระยะการทำงานในแนวแกน Y

ในการทดลองหาความแม่นยำของระยะในแนวแกน Y หรือระยะวัตถุการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กระบวนการด้วยกันคือ ขั้นตอนการกรองข้อมูลระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชัน ขั้นตอนการกรองข้อมูลระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 จะเรียกว่า Local ขั้นตอนสุดท้าย คือการรวมข้อมูลที่ได้จากการกรองด้วยวิธีการของคาลมานจะเรียกว่า Global โดยค่า Input ของระบบการทำงานนี้คือวัตถุสิ่งกีดขวางที่อยู่ในสภาพแวดล้อมจริง เมื่อผ่านกระบวนการ Local จะได้ค่าระยะวัตถุที่มาจากกล้องและเซ็นเซอร์ จากนั้นกระบวนการ Global จะทำหน้าที่รวมข้อมูลจากกล้องและเซ็นเซอร์เข้าด้วยกัน Output ที่ได้คือค่าระยะวัตถุที่ผ่านกระบวนการรวมข้อมูลแบบคาลมานภาพประกอบที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การทำงานของการรวมข้อมูลแบบคาลมาน

การรวมข้อมูลโดยวิธีการคาลมานนั้นจะใช้ค่าความเชื่อมั่นที่ระบบใช้ทำนายค่าผลลัพธ์ซึ่งจำเป็นต้อง ทดลองเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นและความแปรปรวนของอุปกรณ์ที่ได้จากการนำผลลัพธ์ในการทดลองเรื่องการหาระยะวัดในแนวแกน Y ซึ่งค่าเหล่านี้จะช่วยทำให้การทำนายของคาลมานมีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มขึ้น

การพิจารณาคูสมบัติของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และกล้องสเตอริโอวิชันเพื่อหาข้อดีและข้อเสียทำให้ต้อง ทดลองเพื่อหาความแตกต่างและความเหมือนกันเพื่อหาจุดเด่นและจุดด้อยของข้อมูลได้เพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการรวมข้อมูลต่อไป จากการทดลองตั้งสมมติฐานไว้ว่าเซ็นเซอร์จะทำงานได้ในระยะทางองศาการมองเห็นน้อยกว่ากล้องสเตอริโอวิชัน จึงสามารถออกแบบการรวมข้อมูลโดยเป็นลักษณะการช่วยกันทำงานเมื่ออุปกรณ์ตัวใดอยู่นอกขอบเขตก็จะใช้ข้อมูลจากอีกตัวมาทดแทนและในส่วนระยะการทำงานที่ซ้อนทับกันจะใช้วิธีการรวมข้อมูลด้วยวิธีการของคาลมาน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลของสเตอริโอวิชันพบว่ามีข้อดี คือ มีระยะทำงานที่ไกลกว่า แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมาก และ ทำงานได้ไม่ดีถ้าในกรณีที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ ส่วนข้อดีของเซ็นเซอร์ คือ ใช้เวลาการประมวลผลน้อยและทำงานได้ในกรณีที่ไม่มีแสงสว่าง ข้อเสียคือ มุมองศาการทำงานน้อยและไม่สามารถคำนวณระยะทางได้ถ้าคลื่นไปกระทบวัตถุที่ทึบมที่ไม่สามารถสะท้อนคลื่นกลับมาได้ จึงสามารถสรุปค่าความเชื่อมั่นเพื่อใช้ในสมการที่ (2-11) เนื่องจากกล้องและเซ็นเซอร์มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำระบบทั้ง 2 มาทำงานร่วมกันให้ได้ผลที่ดีควรมีการประมาณค่าระยะทางและคำนึงถึงค่าความเชื่อมั่นของระบบทั้ง 2 อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สมการ Kalman filter ข้อดีของ Kalman filter คือ สามารถ

ประมาณค่าได้ตลอดเวลากว่าค่าจะถูกตั้งที่สุดโดยค่าผลลัพธ์จากการทำนายจะเท่ากับค่าระยะทางจริง จึงได้นำมาประยุกต์ใช้แบบ data fusion ดังสมการที่ (2-10) โดยตัวแปร *Fusion* คือผลลัพธ์ของระยะทางที่เกิดจากการรวมข้อมูล *Distance* คือผลลัพธ์ของระยะทางก่อนหน้าซึ่งหาได้จาก ผลรวมของ ข้อมูล จากกล้องและเซ็นเซอร์ ที่คูณกับค่าความเชื่อมั่นหรือค่าน้ำหนัก ดัง *Distance* สมการที่ (2-11) หลังจากนั้นนำมารวมกับ ค่าคงที่ค่าความเชื่อมั่น K_k ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของค่าความเชื่อมั่นของกล้องและเซ็นเซอร์แสดงในสมการที่ (2-11) หลังจากนั้นนำมา *Dstereo* คูณกับผลต่างของข้อมูลจากกล้อง *Dstereo* กับค่าข้อมูลที่มาจากเซ็นเซอร์ *Dsensor* ในสมการที่ (2-11) ค่า α และ γ คือความเชื่อมั่นของกล้องและเซ็นเซอร์ จะเป็นไปตามเงื่อนไขโดยได้เงื่อนไขจากการทำการทดลองมาแล้วหลังจาก รวมข้อมูลแล้วจะได้ข้อมูลระยะทาง 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งวัตถุที่อยู่ซ้าย, กลาง และขวา ที่มีความเที่ยงตรงพอที่จะนำไปใช้แปลงเป็นเสียงสามมิติเพื่อติดต่อผู้พิการทางสายตาได้

$$fusion = Distance + K_k(Dstereo - Dsensor) \quad (2-10)$$

$$Distance = \alpha Dstereo + \gamma Dsensor \quad (2-11)$$

$$K_k = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

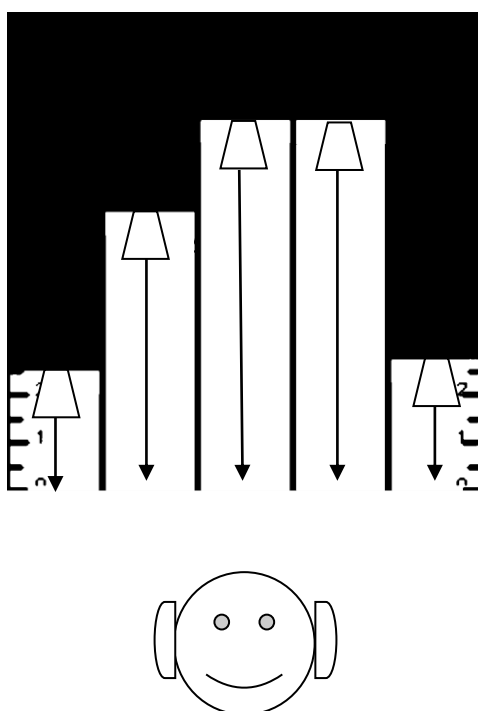
$$\alpha = \begin{cases} 0.5, & \text{if } Dstereo < 4 \\ 1, & \text{if } Dstereo > 4 \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 0.5, & \text{if } Dsensor < 4 \\ 0, & \text{if } Dsensor > 4 \end{cases}$$

การทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทดลองหาระยะการทำงานของกล้องและเซ็นเซอร์ที่ซ้อนทับกันเพื่อประสิทธิภาพในการตรวจหาวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่ถูกต้องและแม่นยำในการทำงานร่วมกัน เพื่อนำค่าระยะวัตถุที่ตรวจหาพบไปแปลงเป็นเสียงแบบสามมิติเพื่อใช้สำหรับเตือนผู้พิการทางสายตาในส่วนถัดไปได้้อย่างถูกต้อง

3.4 การทดลองแปลงข้อมูลระยะวัตถุจาก U-disparity เป็นเสียงสามมิติ

การทดลองฟังเสียงเป็นวิธีการทดลองเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถเข้าใจระยะที่กล้องและเซ็นเซอร์ร่วมกันทำงานและแสดงเสียงของตำแหน่งของวัตถุเป็นเสียงที่แตกต่างกันตามตำแหน่งและระยะวัตถุ โดยเป็นรูปแบบเดียวกับแผนผัง U-disparity ที่มาจากกล้องสเตอริโอวิชัน โดยแนวผู้วิจัยได้ออกแบบเสียงที่ต่างกัน 5 ชนิดเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุ ในส่วนของระยะวัตถุจะใช้ระดับความดังของเสียงแทน โดยเปลี่ยนเสียงที่ได้ทั้งหมดเป็นเสียงสามมิติเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาได้ฟังด้วยหูฟังแบบสเตอริโอคังภาพประกอบที่ 3-12



รูปที่ 3-12 ความสัมพันธ์ของ U-disparity กับเสียงที่บอกระยะวัตถุ

ในการทดลองเรื่องการแปลงข้อมูลระยะทางเป็นเสียงสามมิติ ค่าระยะวัตถุที่ได้จาก U-disparity กำหนดให้มีระยะวัตถุทั้งหมด 5 คอลัมน์ซึ่งผ่านการรวมข้อมูลด้วยวิธีการของกาลมาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำ การเปลี่ยนระยะวัตถุเป็นเสียงในงานวิจัยนี้จะใช้งานไลบรารีเสียงของ irrklang โดยการกำหนดค่าตำแหน่งของวัตถุเป็นเสียงที่มีความแตกต่างกัน 5 เสียงตามจำนวนคอลัมน์ของ U-disparity และระยะทางที่ได้จากการรวมข้อมูลจะถูกเปลี่ยนเป็นเสียงสามมิติ

การเรียกใช้ฟังก์ชัน `setMinDistance` เพื่อกำหนดระยะวัตถุที่น้อยที่สุด โดยค่า default ของค่าระยะที่น้อยที่สุด คือ 1 ตัวแปร `distance` คือค่าระยะวัตถุ

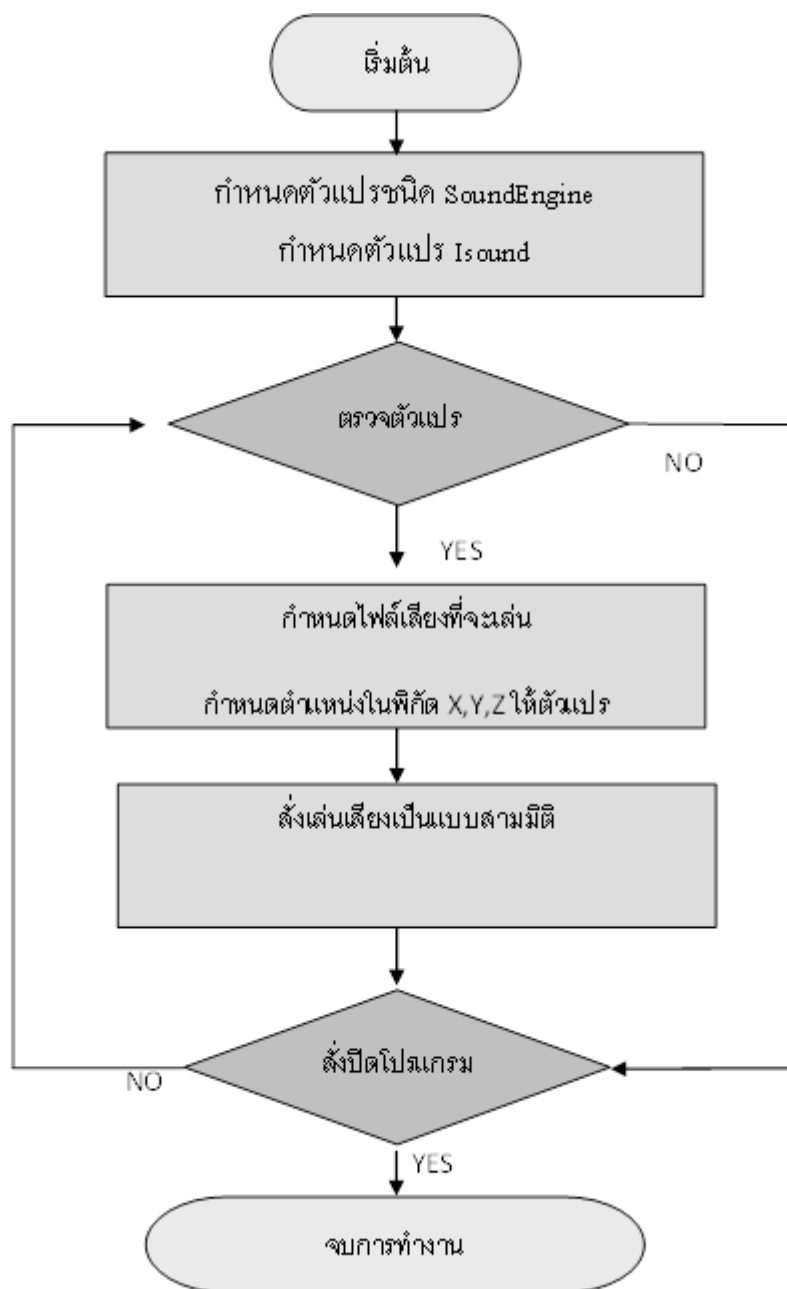
การเรียกใช้ฟังก์ชัน `setListenerPosition` เพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิงของผู้ฟังให้กับระบบเสียงสามมิติ ตัวแปร `position` คือค่าพิกัดตำแหน่งของผู้ฟัง

การเรียกใช้ฟังก์ชัน play3D เพื่อกำหนดการเล่นเสียงสามมิติ ตัวแปร filename คือการอ้างอิงไฟล์เสียงที่จะใช้แสดงเสียงสามมิติ และตัวแปร position คือ การกำหนดตำแหน่งและระยะของวัตถุที่จะเปลี่ยนเป็นเสียงแบบสามมิติ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-13

```
setMinDistance(distance);
setListenerPosition(position);
play3D(filename, position);
```

รูปที่ 3-13 ฟังก์ชันเสียงสามมิติที่สำคัญ Irrklang [19]

หลักการทำงานของไลบรารีจะมีการสร้างตัวแปรที่ทำหน้าที่เป็น SoundEngine สำหรับติดต่อกับการ์ดเสียงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และกำหนดตัวแปรชนิดเสียงที่สามารถกำหนดคุณสมบัติของเสียงเช่น ตำแหน่งของผู้ฟัง ตำแหน่งของวัตถุ และไฟล์เสียงที่ใช้แสดงผล ขั้นตอนการทำงานถัดไปเป็นการตรวจสอบการกำหนดตัวแปรและตรวจสอบว่าการ์ดเสียงพร้อมให้ติดต่อกำหนดแล้วหรือไม่ ถ้าไม่พร้อมโปรแกรมจะจบการทำงาน ในทางกลับกันถ้าตัวแปรสามารถติดต่อกับการ์ดเสียงและกำหนดตัวแปรถูกต้อง ก็จะสามารถกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรเสียง Isound ได้ โดยวิธีการกำหนดตัวแปรเสียงในการทดลองจะเริ่มจากการกำหนดค่าพิกัด X ซึ่งเป็นตำแหน่งของเสียงวัตถุซึ่งจะกำหนดค่าเสียงในตำแหน่งวัตถุที่อยู่ทางซ้าย เป็นค่า -2 ตำแหน่งถัดมาคือ -1 ตำแหน่งวัตถุที่อยู่ตรงกลางจะกำหนดเป็นค่า 0 ตำแหน่งถัดมาทางขวากำหนดเป็น 1 และตำแหน่งขวามือจะกำหนดเป็น 2 และกำหนดค่าระยะวัตถุตามระยะทางที่คำนวณได้จากการรวมข้อมูลด้วยวิธีการของกาลมาน แล้วเรียกใช้ฟังก์ชันเล่นเสียงเพื่อสร้างเสียงสามมิติออกมา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-14



รูปที่ 3-14 การทำงานของไลบรารี irrklang [19]

การทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาพื้นที่ทำงานร่วมกันของระบบสเตอริโอวิชันและอัลตราโซนิคเซ็นเซอร์ โดยจะ ทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการตรวจหาวัตถุของกล้อง และระยะการทำงานในการระบุตำแหน่งวัตถุของกล้อง จากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการตรวจหาวัตถุของเซ็นเซอร์ และระยะการทำงานเพื่อระบุขอบเขตที่เซ็นเซอร์สามารถทำงาน ได้ถูกต้องและแม่นยำและจะทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์โดยวัดประสิทธิภาพความแม่นยำและถูกต้องในการหาระยะวัตถุที่ระยะ 5 เมตรและสุดท้ายจะเป็นการทดลองเปลี่ยนระยะวัตถุและตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการร่วมกันทำงานในรูปแบบของ U-disparity เป็นเสียงสามมิติเพื่อใช้ติดต่อกับผู้พิการทางสายตา

บทที่ 4

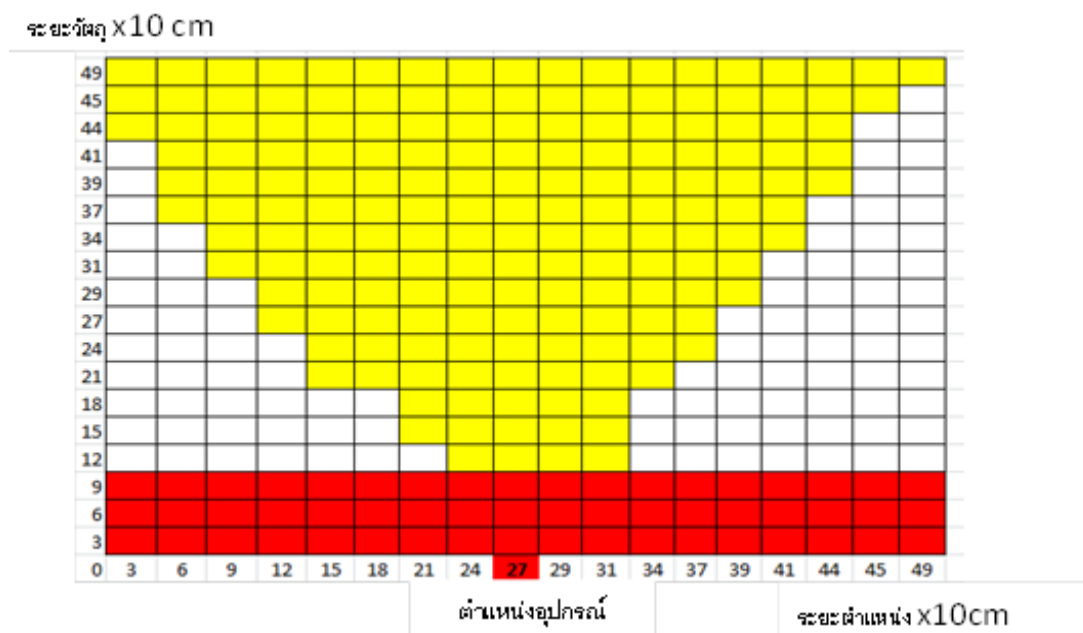
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จากการทดลองซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลเพื่อแสดงให้เห็นว่า กล้องสเตอริโอวิชันและอัลตราโซนิคเซ็นเซอร์นั้นมีผลการทำงานเป็นอย่างไร การรวมข้อมูลเพื่อดูประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในด้านความถูกต้องแม่นยำ หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและเป็นแนวทางในการศึกษาแล้วนำไปพัฒนาต่อยอดได้

4.1 ผลการทดลองการหาระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชัน

ผลทดลองการหาระยะการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันในงานวิจัยนี้จะแสดงผลการหาระยะการทำงานออกเป็น 3 ส่วนตามการทดลอง คือ ผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน X การหาระยะวัตถุในแนวแกน Y และการหาความสูงของวัตถุในแนวแกน Z

4.1.1 ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน X ของกล้อง

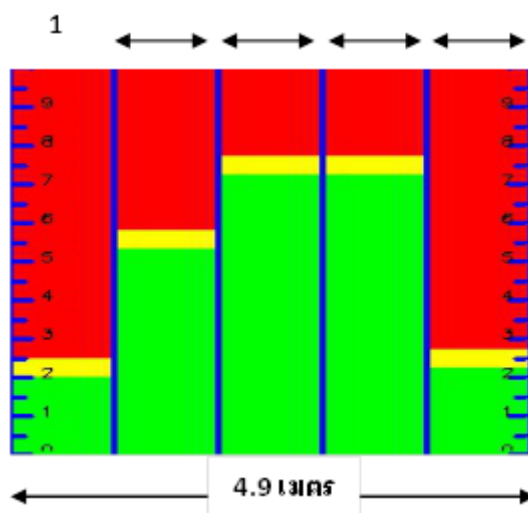


รูปที่ 4-1 ตำแหน่งของวัตถุที่กล้องตรวจพบ

จากภาพประกอบที่ 4-1 ผลการทดลองที่ได้คือ ระยะเวลาหาค่าตำแหน่งวัตถุที่กล้องสามารถตรวจพบโดยวัตถุที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยวางอุปกรณ์ไว้ที่ระยะตำแหน่ง 270 เซนติเมตรนับจากตำแหน่งแรกที่วางวัตถุทางด้านซ้าย

สีแดงคือตำแหน่งวัตถุที่อยู่ในระยะน้อยกว่า 90 เซนติเมตรนับจากด้านหน้าอุปกรณ์ไปจนถึงระยะวัตถุซึ่งเป็นระยะที่กล้องไม่สามารถตรวจหาวัตถุได้ เพราะวัตถุอยู่ใกล้กับกล้องมาก และสีเหลืองแทนตำแหน่งวัตถุที่กล้องตรวจพบ โดยในการทดลองจะเพิ่มค่าระยะวัตถุขึ้นครั้งละ 30 เซนติเมตรและเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุไปที่ละตำแหน่งตำแหน่งละ 30 เซนติเมตร

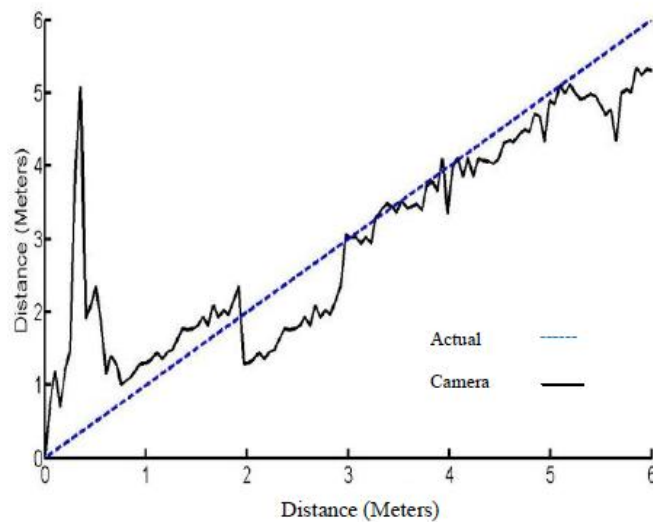
จากการทดลองทำให้ทราบขอบเขตของการบอกตำแหน่งวัตถุจากกล้องสเตอริโอวิชัน ซึ่งพบว่าที่ระยะวัตถุ 4.9 เมตรตำแหน่งวัตถุที่ตรวจพบมีมากที่สุดคือ 18 ตำแหน่งตำแหน่งละ 30 เซนติเมตร ซึ่งระบุเป็นค่าระยะในแนวแกน X ได้คือ 4.9 เมตร ผู้วิจัยได้นำค่านี้มาเป็นตัวตัดสินว่าควรใช้จำนวนคอลัมน์ของ U-disparity เป็น 5 จำนวน เพราะผู้วิจัยต้องการให้คอลัมน์ของ U-disparity 1 คอลัมน์มีความกว้างเพียงพอให้ผู้พิการทางสายตาเดินผ่านได้ ซึ่งในที่นี้คือประมาณ 1 เมตรดังนั้นจำนวนคอลัมน์ของ U-disparity ที่ผู้วิจัยเลือกใช้มีจำนวนทั้งสิ้น 5 คอลัมน์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ตำแหน่งของวัตถุที่แบ่งตาม U-disparity

4.1.2 ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของกล้อง

ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y หรือค่าระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องสเตอริโอวิชัน ซึ่งในการทดลองจะวางวัตถุที่มีขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตรไว้ที่ระยะเริ่มต้นที่ 0 เซนติเมตรและเพิ่มระยะห่างครั้งละ 1 เซนติเมตร โดยการเก็บผลลัพธ์ระยะวัตถุจะเก็บระยะวัตถุในตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางของ U-disparity ตำแหน่งละ 100 ครั้ง ในสภาพแวดล้อมจริงซึ่งแสงสว่างจะไม่คงที่ ผลการทดลองนี้แสดงในภาพประกอบที่ 4-3

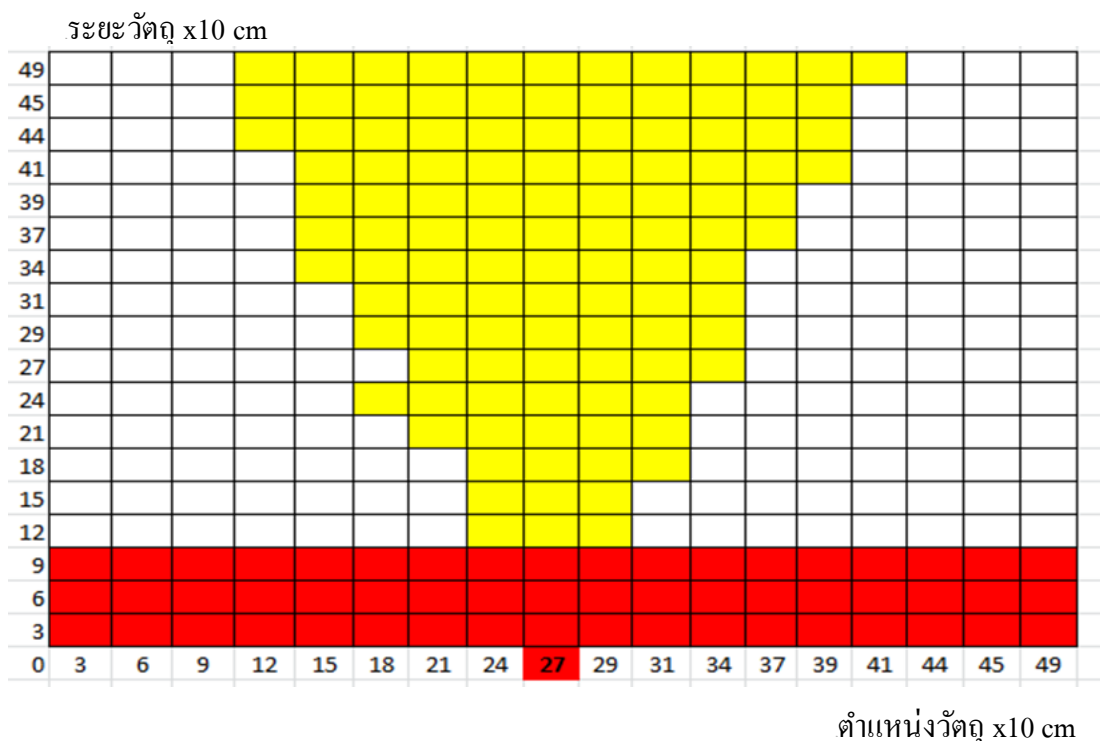


รูปที่ 4-3 ระยะวัตถุของกล้องสเตอริโอวิชัน

จากผลการทดลองในภาพประกอบที่ 4-3 ระยะวัตถุที่ได้จากกล้องสเตอริโอวิชัน คือ เส้นสีดำซึ่งในระยะการทำงานตั้งแต่ 0-1 เมตรกล้องไม่สามารถบอกระยะวัตถุได้ เนื่องจากวัตถุอยู่ใกล้กล้องมากจนระบบไม่สามารถคำนวณค่าระยะที่ถูกต้องได้และระยะการทำงานของกล้องจะอยู่ที่ระยะ 1 เมตรเป็นต้นไป โดยค่าผลลัพธ์ของกล้องเมื่อเทียบกับค่าระยะทางจริงของวัตถุจะพบว่ายังมีความผิดพลาดอยู่ เนื่องจากระบบกล้องสเตอริโอวิชันมีความไวต่อแสงที่เปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากระยะวัตถุที่แตกต่างกันมีความแปรปรวนที่ไม่เท่ากัน

4.1.3 ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Z ของกล้อง

เนื่องจากระยะการทำงานในแนวแกน Z ของงานวิจัยนี้เริ่มทดลองกับอัตราส่วนเดิมของกล้องคือ อัตราส่วนที่ 4:3 หรือ 320x240 พิกเซลโดยบริเวณสี่เหลี่ยมคือ บริเวณที่อุปกรณ์ตรวจพบวัตถุ บริเวณสีขาวคือ บริเวณที่ไม่สามารถตรวจพบวัตถุ ซึ่งการทดลองนี้ใช้วัตถุที่มีขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร ซึ่งจะเพิ่มระยะวัตถุครั้งละ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-4



รูปที่ 4-4 ระยะการทำงานในแนวแกน Z ของกล้อง

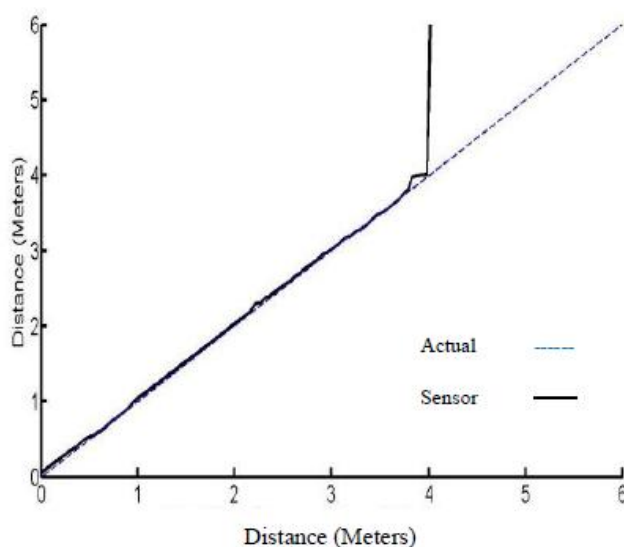
จากการทดลองหาระยะวัตถุในแนวแกน Z ของกล้องเพื่อหาระยะการทำงานของกล้องที่สอดคล้องกับระยะการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ โดยการทดลองจะวางอุปกรณ์ไว้ที่ระยะ 2.7 เมตร บริเวณสีแดง คือบริเวณที่กล้องไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งวัตถุได้ เพราะวัตถุที่อยู่ในระยะที่น้อยกว่า 1 เมตรจะอยู่ใกล้กล้องมากจนกล้องไม่สามารถบอกระยะวัตถุได้ และบริเวณสีเหลืองคือ ตำแหน่งที่กล้องตรวจพบวัตถุ วัตถุที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร โดยทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุครั้งละ 30 เซนติเมตรในแนวแกน Z แสดงในภาพประกอบที่ 4-4

จากการผลการทดลองที่ได้ของระบบสเตอริโอวิชันในแนวแกน X,Y,Z สามารถสรุปการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันในแนวแกน X หรือการบอกตำแหน่งวัตถุของกล้องได้ว่า กล้องสเตอริโอวิชันในงานวิจัยนี้สามารถบอกตำแหน่งวัตถุได้ 60 องศาและมีระยะการบอกตำแหน่งกว้างประมาณ 4.9 เมตรในแนวแกน X เมื่อวัตถุอยู่ที่ระยะ 5 เมตรเมื่อนำมาแสดงในรูปแบบของ U-disparity ที่แบ่งจำนวนของคอลัมน์เป็น 5 คอลัมน์จะมีระยะวัตถุของแต่ละคอลัมน์อยู่ที่ประมาณ 1 เมตร ซึ่งเพียงพอที่ผู้พิการทางสายตาสามารถเดินทางไปทางคอลัมน์ที่ไม่มีวัตถุอยู่ที่ระยะ 5 เมตร

ผลการทดลองหาค่าแหน่งวัตถุที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจหาได้จะแสดงในบริเวณ สีเหลือง และตำแหน่งของเซ็นเซอร์อยู่ที่ตำแหน่งสีแดง แสดงในภาพประกอบที่ 4-5 จากผลการทดลองมุมที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุของเซ็นเซอร์ในแนวแกน X คือประมาณ 30 องศาแต่ระยะที่สามารถบอกตำแหน่งของวัตถุได้ถูกต้องมากที่สุดอยู่ในช่วง 1.8 เมตรถึง 3.4 เมตร แล้วจึงค่อยๆ ลดลงเนื่องจากความเข้มของคลื่นลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์

ผลการ ทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองวางวัตถุไว้ห่างจากเซ็นเซอร์ที่ระยะ 0 เซนติเมตรถึงระยะ 4 เมตร แล้วเพิ่มระยะวัตถุขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร โดยเก็บผลลัพธ์ระยะวัตถุตำแหน่งละ 100 ครั้ง เพื่อหาความผิดพลาดและความแม่นยำของเซ็นเซอร์ของการบอกระยะวัตถุ ในการทดลองนี้จะใช้เซ็นเซอร์จำนวน 1 ตัวและวัตถุที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 30x30 เซนติเมตรดังภาพประกอบที่ 4-6



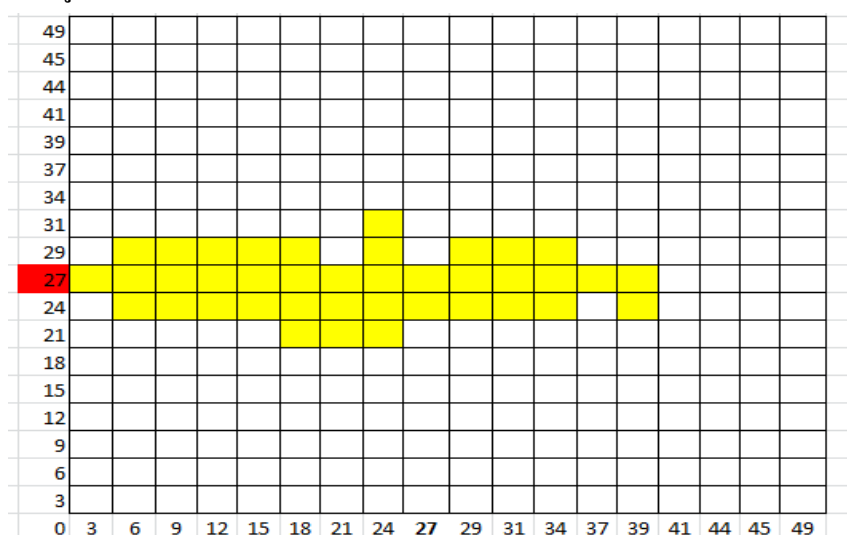
รูปที่ 4-6 ระยะการทำงานในแนวแกน Y ของเซ็นเซอร์

ผลการทดลอง หาระยะวัตถุของเซ็นเซอร์ คือเส้นสีดำ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-6 พบว่าเซ็นเซอร์สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ตั้งแต่ระยะวัตถุ 1 เซนติเมตรไปจนถึงระยะวัตถุ 4 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเซ็นเซอร์มีระยะวัตถุอยู่ในช่วง 1 เซนติเมตรถึง 4 เมตร

4.2.3 ผลการทดลองการหาคำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์

ผลการทดลอง หาคำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์เพื่อนำไปใช้ในการปรับเพื่อหาพื้นที่การทำงานร่วมกันของกล้องสเตอริโอวิชันกับอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ในการทดลองนี้จะใช้เซ็นเซอร์ 1 ตัวโดยเก็บข้อมูลตำแหน่งวัตถุที่ความสูงต่างกันเพื่อหาระยะความสูงที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจพบวัตถุโดยเพิ่มระยะวัตถุครั้งละ 30 เซนติเมตรและเปลี่ยนตำแหน่งความสูงของวัตถุแล้วบันทึกผลว่าเซ็นเซอร์สามารถตรวจพบวัตถุ ที่อยู่ในตำแหน่งใดได้เพื่อนำไปใช้ออกแบบเพื่อหาระยะที่สอดคล้องกับการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์

ระยะความสูง x10cm



ระยะวัตถุ x10cm

รูปที่ 4-7 ระยะการทำงานในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์

จากผลการทดลอง หาคำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์สามารถประมาณค่าระยะการทำงานของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 30 องศา ที่ระยะวัตถุ 1.8 เมตรถึงระยะ 2.4 เมตร แล้วค่อยๆลดลงเพราะความเข้มของคลื่นที่ลดลง ซึ่งพื้นที่การทำงานเซ็นเซอร์จะคล้ายกับการบอกตำแหน่งในแนวแกน X ซึ่งมีองศาการทำงานที่คล้ายกัน โดยการทดลองจะวางเซ็นเซอร์ไว้ตำแหน่งที่มีสีแดง แสดงในภาพประกอบที่ 4-7

จากผลการทดลอง หาคำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์สามารถประมาณค่าระยะการทำงานของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 30 องศา ที่ระยะวัตถุ 1.8 เมตรถึงระยะ 2.4 เมตร แล้วค่อยๆลดลงเพราะความเข้มของคลื่นที่ลดลง ซึ่งพื้นที่การทำงานเซ็นเซอร์จะคล้ายกับการบอกตำแหน่งในแนวแกน X ซึ่งมีองศาการทำงานที่คล้ายกัน โดยการทดลองจะวางเซ็นเซอร์ไว้ตำแหน่งที่มีสีแดง แสดงในภาพประกอบที่ 4-7

ระยะเวลาการทำงานของเซ็นเซอร์ในแนวแกน X จะมีค่าประมาณ 30 องศาที่ระยะวัตถุ ในช่วง 1.8 ถึง 3.4 เมตร ระยะเวลาทำงานในแนวแกน Y ตั้งแต่ 1 เซนติเมตรถึง 4 เมตร และมีระยะเวลาทำงานในแนวแกน Z ที่ประมาณ 30 องศา ที่ระยะวัตถุในช่วง 1.8 ถึง 2.4 เมตร

จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการทำงานของเซ็นเซอร์ในแนวแกน X เพื่อใช้ในการออกแบบจำนวนเซ็นเซอร์ที่จะใช้เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ในส่วนถัดไป และจากผลการทดลองเพื่อหาคำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์ทำให้สามารถนำไปออกแบบการทดลองในส่วนการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ในส่วนถัดไป

4.3 ผลการทดลองการหาระยะเวลาการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์

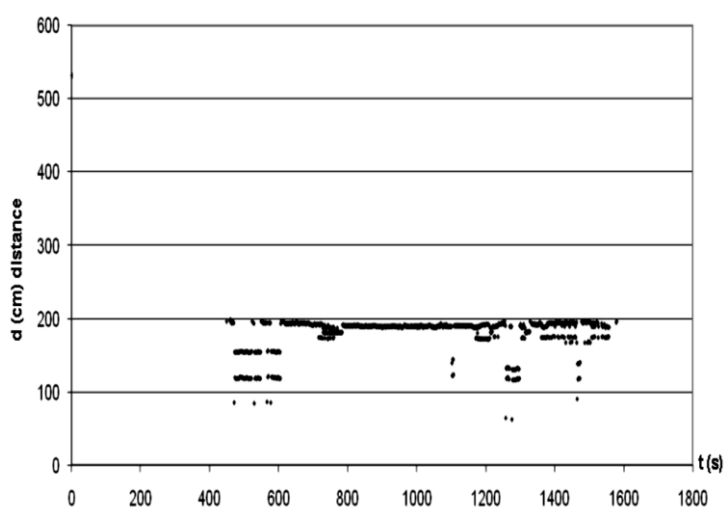
จากผลการทดลองเรื่องการหาระยะเวลาการทำงานของกล้องและเซ็นเซอร์ในแนวแกน X ในแนวแกน Y และแนวแกน Z ทำให้ทราบขอบเขตการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ให้วางด้านล่างของกล้องจำนวน 3 ตัว มีระยะห่างกันตัวละ 4 เซนติเมตรเพื่อให้สอดคล้องกับกล้องที่วางห่างกัน 12 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-8 โดยนำระบบสเตอริโอวิชันที่ติดตั้งไว้บนหมวกนิรภัยมาเพิ่มเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัวเพื่อให้มีระยะเวลาการทำงานในแนวแกน X ที่สอดคล้องกัน และได้ออกแบบการทดลองเพื่อปรับอัตราส่วนภาพเพื่อลดพื้นที่การทำงานในแนวแกน Z ของกล้องสเตอริโอวิชันให้สอดคล้องกับระยะเวลาการทำงานในแนวแกน Z ของเซ็นเซอร์ และ ทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้องในแนวแกน Y โดยประยุกต์ใช้วิธีการรวมข้อมูลแบบกาลมานให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น



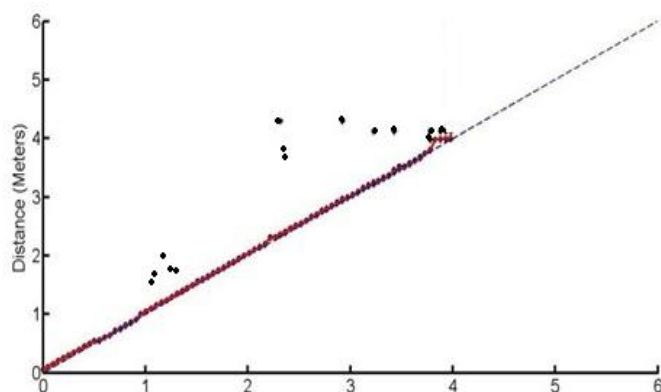
รูปที่ 4-8 ตำแหน่งการวางเซ็นเซอร์ร่วมกับกล้อง

4.3.2 ผลการทดลองการหาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของการทำงานร่วมกัน

การทดลอง หาระยะวัตถุในแนวแกน Y ของการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ทำได้โดยประยุกต์ใช้วิธีการรวมข้อมูลของกาลมาน โดยเมื่อนำกล้องและเซ็นเซอร์มาทำงานร่วมกันพบว่าเซ็นเซอร์มีปัญหาเรื่องการคำนวณระยะที่ผิดพลาด เนื่องจากการเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์ทำให้มีการรับส่งคลื่นที่ไม่ตรงกันของคลื่นสะท้อน (false echo effect) เกิดจากเซ็นเซอร์ตัวแรกส่งคลื่นไปยังวัตถุแต่สะท้อนกลับมาที่เซ็นเซอร์ตัวที่สองที่อยู่ติดกันทำให้อ่านค่าระยะวัตถุผิดพลาดหนึ่ง แสดงในภาพประกอบที่ 4-10 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการกรองข้อมูลด้วยตัวกรองแบบกาลมานก่อนนำไปทำการรวมข้อมูลซึ่งผลจากการกรองข้อมูลระยะวัตถุของเซ็นเซอร์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-11



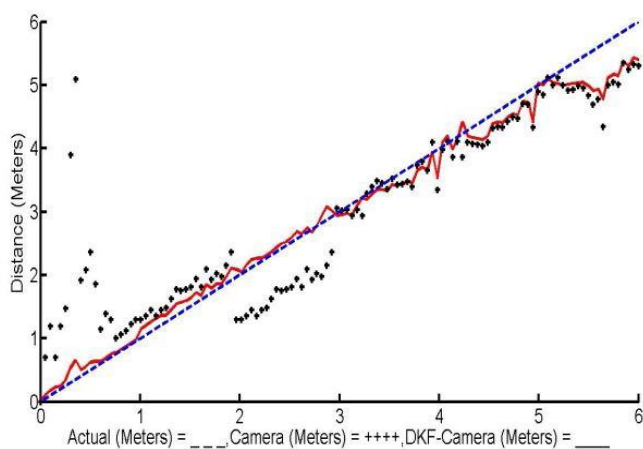
รูปที่ 4-10 การรับส่งคลื่นที่ผิดพลาด



รูปที่ 4-11 การประยุกต์ใช้ตัวกรองแบบกาลมานกับเซ็นเซอร์

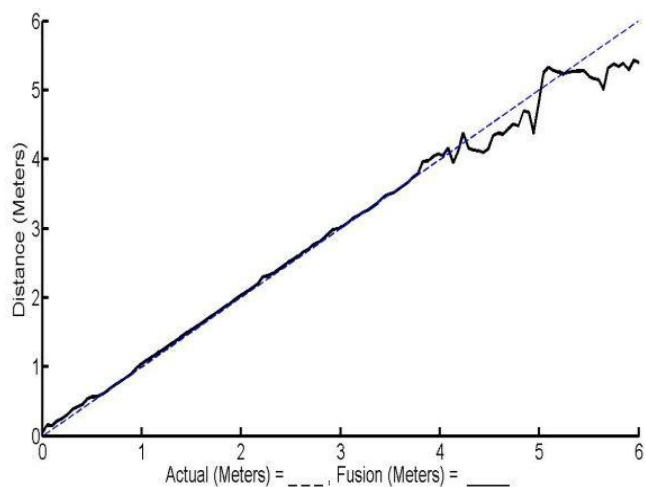
ผลการทดลองการแก้ปัญหาการรับส่งคลื่นผิดพลาดของเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกันจำนวน 3 ตัวด้วยวิธีการกรองข้อมูลด้วยตัวกรองแบบคาลมาน จากภาพประกอบที่ 4-11 ซึ่งเส้นสีแดงคือค่าระยะวัตถุในแนวแกน Y ที่ผ่านการกรองข้อมูลด้วยตัวกรองแบบคาลมาน จุดสีดำคือระยะวัตถุในแนวแกน Y ที่ไม่ผ่านการกรองข้อมูล และเส้นประสีน้ำเงินคือ ค่าระยะวัตถุจริง

เนื่องจากผลลัพธ์จากการหาระยะวัตถุของกล้องพบว่ามีปัญหาเรื่องความไม่แม่นยำในการคำนวณค่าระยะวัตถุ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทดลองเรื่องการเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำในการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันด้วยการกรองข้อมูลด้วยวิธีการกรองข้อมูลกล้องด้วยตัวกรองแบบคาลมานซึ่งผลการทดลองแสดงดังในภาพประกอบที่ 4-12



รูปที่ 4-12 การประยุกต์ใช้ตัวกรองแบบคาลมานกับกล้อง

ผลการทดลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำด้วยตัวกรองแบบคาลมานกับกล้องและเซ็นเซอร์ทำให้ได้ค่าระยะวัตถุในแนวแกน Y ที่แม่นยำขึ้นทำให้สามารถนำวิธีการรวมข้อมูลแบบคาลมานมาช่วยในการรวมข้อมูลของเซ็นเซอร์และกล้องเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ซึ่งการทำงานของกล้องและเซ็นเซอร์ในแนวแกน Y ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-13



รูปที่ 4-13 ค่าระยะวัตถุในแนวแกน Y จากวิธีรวมข้อมูลแบบกาลมาน

จากภาพประกอบที่ 4-13 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานร่วมกันหลังจากที่ผ่านกระบวนการรวมข้อมูลแบบกาลมานแล้วคือ เส้นสีดำและเส้นประสีน้ำเงินคือค่าระยะวัตถุจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแม่นยำในช่วง 1-4 เมตร เนื่องจากเซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ 4 เมตร ดังนั้นระยะวัตถุที่มากกว่า จะเป็นค่าระยะวัตถุที่มาจากกล้องและการทำนายของกาลมาน

4.3.3 ผลการทดลองการหาตำแหน่งในแนวแกน Z ของการทำงานร่วมกัน

การทดลองหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ในการทำงานร่วมกันของกล้องและเซ็นเซอร์ จากผลการทดลองการหาตำแหน่งวัตถุในแนวแกน Z ของกล้องพบว่า มีระยะการทำงานที่สูงกว่าเซ็นเซอร์ ดังนั้นการปรับลดอัตราส่วนภาพเพื่อให้สอดคล้องกับระยะการหาวัตถุของเซ็นเซอร์สามารถทำได้โดยการปรับลดขนาดอัตราส่วนในแนวแกน Y ของกล้องลงจากเดิม 16:9 เป็น 16:4 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-14



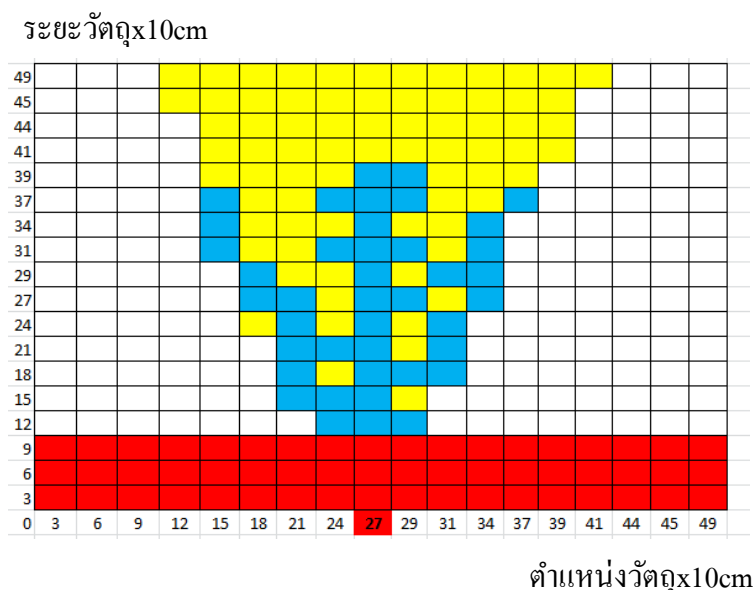
(ก)



(ข)

รูปที่ 4-14 (ก) อัตราส่วน 320:180, (ข) อัตราส่วน 320:80

ผลการทดลองลดขนาดภาพเหลือ 4:1 ทำให้ภาพมีการลดขนาดลงแต่วัตถุหรือสิ่งกีดขวางอาจโดนตัดออกไป ดังนั้นผู้ใช้ต้องใช้การก้มลงเพื่อหาวัตถุที่อยู่บนพื้นและเงยขึ้นถ้าต้องการหาวัตถุที่อยู่ระดับเพดาน เมื่อนำเซ็นเซอร์มาทำงานร่วมกับกล้อง โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นบริเวณที่ทำงานร่วมกันในแนวแกน Z ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-15



รูปที่ 4-15 ระยะการทำงานร่วมกันในแนวแกน Z

จากผลการทดลองหาคำแหน่งที่ซ้อนทับกันของระยะในแนวแกน Z ของกล้องและเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกันค่อนข้างน้อยเนื่องจากเซ็นเซอร์มีระยะการทำงานแค่ 30 องศาและขึ้นอยู่กับความเข้มของคลื่นอีกด้วย ดังนั้นระยะการทำงานของกล้องจึงดีกว่าเซ็นเซอร์

ผลการทดลองที่ได้จากการหาระยะวัตถุในแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z ในงานวิจัยนี้จะถูกนำเสนอในรูปแบบของเสียงสามมิติโดยเปลี่ยนค่าระยะในแนวแกน X จะเป็นเสียงเพื่อบอกตำแหน่งวัตถุ เปลี่ยนค่าระยะในแนวแกน Y เป็นเสียงเพื่อบอกระยะวัตถุ และเปลี่ยนค่าระยะในแนวแกน Z เป็นเสียงบอกระยะความสูงของวัตถุ ซึ่งเสียงที่ใช้ในการทดลองนี้มีด้วยกัน 5 เสียงเพื่อแยกตามตำแหน่งของวัตถุที่แตกต่างกัน 5 ตำแหน่ง ผลการทดลองนำเสียงที่แทนตำแหน่งวัตถุไปให้ผู้ฟังเพื่อบอกว่าด้านหน้ามีสิ่งกีดขวางหรือไม่โดยการการบันทึกข้อมูลจากการตอบกลับของผู้ใช้ก่อนการทดลองฟังเสียง 10 ครั้ง โดยความถูกต้องของการทดลองอยู่ที่ประมาณ 70 % แสดงดังตารางที่ 4-1

ตาราง 4-1 การทำนายระยะวัตถุจากเสียงมิติโดยที่ผู้ใช้ไม่เคยฟังมาก่อน

ครั้งที่	ปลอดภัย	ไม่ปลอดภัย	ผลลัพธ์
1			F
2			T
3			T
4			T
5			F
6			T
7			T
8			F
9			T
10			T

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองฟังเสียงสามมิติของผู้ใช้ที่ไม่เคยฟังมาก่อนจำนวน 10 ครั้ง โดยผลการทดลองเทียบกับกับระยะวัตถุจริงที่อยู่ในระยะที่ปลอดภัยคือ มีระยะประมาณ 5 เมตรเป็นต้นไป ส่วนระยะที่ไม่ปลอดภัยคือ มีระยะประมาณ 0-4 เมตร ซึ่งผลลัพธ์ได้จากการฟังแล้วตรวจสอบกับระยะวัตถุจริงตามแถบสีน้ำเงิน สัญลักษณ์ T คือผลลัพธ์ที่ฟังจากผู้ตรงกับระยะวัตถุจริงและสัญลักษณ์ F คือผลลัพธ์ที่ฟังจากผู้ไม่ตรงกับระยะวัตถุจริง โดยการทดสอบจะวางวัตถุในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

ตาราง 4-2 การทำนายระยะวัตถุจากเสียงสามมิติโดยที่ผู้ใช้เคยฟังมาก่อน

ครั้งที่	ปลอดภัย	ไม่ปลอดภัย	ผลลัพธ์
1			T
2			T
3			T
4			T
5			F
6			T
7			T

8			F
9			T
10			T

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองฟังเสียงสามมิติของผู้ใช้ที่เคย์ฟังมาแล้วจำนวน 10 ครั้ง โดยผลการทดลองเทียบกับกับระยะวัตถุจริงที่อยู่ในระยะที่ปลอดภัยคือ มีระยะประมาณ 5 เมตรเป็นต้นไป ส่วนระยะที่ไม่ปลอดภัยคือ มีระยะประมาณ 0-4 เมตร ซึ่งผลลัพธ์ได้จากการฟังแล้วตรวจสอบกับระยะวัตถุจริงตามแถบสีน้ำเงิน สัญลักษณ์ T คือ ผลลัพธ์ที่ฟังจากผู้ใช้ตรงกับระยะวัตถุจริงและสัญลักษณ์ F คือผลลัพธ์ที่ฟังจากผู้ใช้ไม่ตรงกับระยะวัตถุจริง โดยการทดสอบจะวางวัตถุในตำแหน่งที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับตารางที่ 4-1

ผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบฟังเสียงเพื่อบอกว่าตำแหน่งด้านหน้าผู้ฟังมีวัตถุอยู่ในระยะที่อันตรายต่อการเดินทางหรือไม่ ได้ผลที่น่าพอใจซึ่งเสียงสามมิติที่ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการสำหรับผู้พิการทางสายตาในการนำไปใช้งานจริงงานวิจัยนี้ได้ใช้เสียงที่มีความแตกต่างกัน 5 เสียงเพื่อบอกตำแหน่งวัตถุว่าอยู่ในตำแหน่งใดด้วยเสียงพูด เช่น เสียงพูดว่า “left” แทนตำแหน่งวัตถุด้านซ้าย เสียงพูดว่า “nextleft” แทนตำแหน่งระหว่างด้านซ้ายและตรงกลาง เสียงพูดว่า “mid” แทนตำแหน่งตรงกลาง เสียงพูดว่า “nextright” แทนตำแหน่งระหว่างตรงกลางและทางขวา และเสียงพูดว่า “right” แทนตำแหน่งด้านขวาซึ่งการใช้งานเสียงในงานวิจัยนี้ควรให้ผู้ฟังได้ทดลองฟังและทำความเข้าใจในการแทนตำแหน่งและระยะของเสียงสามมิติก่อนเพื่อความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานจริง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนออุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้องสเตอริโอวิชันด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และใช้เสียงสามมิติในการติดต่อกับผู้พิการทางสายตาโดยในส่วนของบทนี้จะกล่าวสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำงานวิจัย

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและออกแบบระบบให้พร้อมใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง โดยนำเสนอวิธีการนำเซ็นเซอร์มาทำงานร่วมกันกับระบบกล้องสเตอริโอวิชัน และ interface ช่วยนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตาด้วยเสียงดังนี้

- 1) เพิ่มประสิทธิภาพให้กับ U-disparity โดยการนำ discrete Kalman filter มาช่วยกรองข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องให้กับ U-disparity
- 2) หาสมการและค่าคงที่ที่เหมาะสมในการรวมข้อมูลโดยประยุกต์ใช้ Kalman based on data fusion
- 3) ปรับความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลจาก U-disparity ที่สอดคล้องกับการทำงานของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว เพื่อให้ระยะเวลาการทำงานของกล้องและเซ็นเซอร์มีความสอดคล้องกันมากขึ้นและสะดวกในการทำงานร่วมกัน
- 4) ปรับลดขนาดภาพ disparity ให้แคบลง เนื่องจากเซ็นเซอร์มีระยะเวลาการทำงานที่น้อยกว่ากล้องสเตอริโอวิชัน จึงนำเสนอวิธีการ และยังคงช่วยให้ลดเวลาการประมวลผลภาพ
- 5) เลือกจำนวนคอลัมน์ที่เหมาะสมกับ U-disparity โดยทดลองเพิ่มและลดจำนวนเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมกับการร่วมกันทำงานของเซ็นเซอร์และกล้อง
- 6) ติดต่อกับผู้พิการทางสายตาด้วยระบบเสียงแบบสามมิติ โดยนำค่าระยะวัตถุที่ได้จากกล้องและเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกันแปลงเป็นเสียงตามจำนวน U-disparity ที่เหมาะสม และเลือกใช้เสียงพูดเพื่อให้ง่ายต่อการสื่อสารและสะดวกในการฟัง โดยระยะวัตถุจะถูกปรับเป็นระดับเสียง และตำแหน่งของวัตถุจะถูกปรับเป็นเสียงพูดและการแสดงผลของเสียงนั้นจะอยู่ในรูปแบบของเสียงแบบสามมิติ โดยระบบเสียงสามมิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ซึ่งก็คือหูฟังแบบสเตอริโอสามารถแสดงเสียงที่ตั้งและเบา และแยกเป็นเสียงซ้ายและขวาได้
- 7) พัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กโดยลดขนาดของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบสวมองกลฝังตัว (Embedded personal computer) และเพิ่มเติมในส่วน

ของ initial script เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงานอัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่องโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์ต่อพ่วงเช่น หน้าจอ เม้าส์ และคีย์บอร์ด เพื่อเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นออก

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถค้นหาตำแหน่งวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่นก้อนหิน หรือบ่อน้ำได้ดังนั้น ผู้พิการทางสายตาจึงควรใช้งานอุปกรณ์ร่วมกับไม้เท้านำทาง เพื่อความปลอดภัยและเพื่อความมั่นใจในการเดินทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับใช้เพื่อตรวจหาช่องทางที่ปลอดภัย ตั้งแต่ระยะ 1 เซนติเมตร ถึง 5 เมตรที่ความสูงระดับศีรษะของผู้ใช้ ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ตรวจหาวัตถุที่อยู่บนพื้นดินได้โดยผู้ใช้แค่ก้มหน้าลงเพื่อให้อุปกรณ์หาวัตถุในระดับพื้นดินได้

การใช้งานจากการพึ่งจำเป็นต้องอาศัยเวลาในการทำความเข้าใจเพื่อการประมาณระยะวัตถุและตำแหน่งที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ข้อระวังในการใช้งานคือ ถ้าพบว่าอุปกรณ์ไม่มีเสียงออกมาทางหูฟังเลย หมายถึงเกิดความผิดพลาดในการติดต่ออุปกรณ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับกล้องและเซ็นเซอร์ หรือแบตเตอรี่อาจจะหมดทำให้เครื่องไม่สามารถทำงานได้ จึงควรใช้ไม้เท้าเพื่อนำทางแทนเพื่อความปลอดภัยในการเดินทางสำหรับผู้พิการทางสายตาซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด

จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในเรื่องเสียงที่ใช้เตือนผู้พิการทางสายตา คือ ไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมากซึ่งอาจจะใช้ลักษณะการเตือนด้วยเสียงสามมิติโดยให้ผู้พิการอยู่ที่จุดศูนย์กลางและให้แหล่งที่มาของเสียงวัตถุอยู่ด้านหน้าผู้พิการทางสายตา ซึ่งอาจจะแสดงเป็นพื้นที่ระนาบการทำงานเป็นรูปร่างจำลองเพื่อให้คล้ายกับการมองเห็นด้วยเสียงและในส่วนนี้อาจจะนำไปเพิ่มเติมและต่อยอดงานวิจัยนี้ในส่วนการติดต่อกับผู้พิการทางสายตาได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Limna, P.Tandayya, and N. Suvanvorn, “Low-cost Stereo Vision System for Supporting the Visually Impaired’s Walk”, in *International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (I-CREATE)*, 22-26 April 2009.
- [2] R.Labayrade, D. Aubert, and J.Tarel, “Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through v-disparity representation. in Intellingent Vehicle”, In *Versailles*, France, June 2002.
- [3] G. Balakrishnan, G. Sainarayanan, R. Nagarajan and S. Yaacob, “Wearable Real-Time Stereo Vision for the Visually Impaired”, in *Engineering Letters (EL _14_2_2)*, 16 May 2007.
- [4] L. Chen, B. Guo, and W. Sun, “Obstacle Detection System for Visually Impaired People Based on Stereo Vision”, in *Proceedings of 2010 4th International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC)*, 2010.
- [5] G. Balakrishnan, G. Sainarayanan, R. Nagarajan, and S. Yaacob, “Stereo image to stereo sound methods for Vision based ETA”, in *Proceedings of 1st International Conference on Computers, Communications, Signal Processing with Special Track on Biomedical Engineering*, 2005.
- [6] T. Limna and P. Tandayya, “Enhancing the Pixel-to-Pixel Depth Discontinuities Algorithm Using MPI”, in *Proceedings of 6th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2009)*, Phuket, Thailand, 13th – 15th May 2009, pp 86-90.
- [7] Roger Meier¹, Terrence Fong, Charles Thorpe, and Charles Baur, “A Sensor Fusion Based User Interface for Vehicle Teleoperation”, in *IEEE*, 1999.
- [8] D. Dakopoulos, N. Bourbakis, “Preserving Visual Information in Low Resolution”, in *International conference on Pervasive technologies for assistive environment (PETRA)*, 16 Jul 2008.
- [9] M. Sohail , A. Gilgiti and I. Rahman , “Ultrasonic and Stereo Vision Data Fusion”, in *Multitopic Conference Proceedings of INMIC 8th International*, 24-26 December 2004
- [10] N. Bourbakis, “Sensing Surrounding 3-D Space for Navigation of the Blind”, *Engineering in Medicine and Biology Magazine IEEE*, Jan.-Feb. 2008.
- [11] Ando, B. Electronic Sensory Systems for the “Visually Impaired. Instrumentation & Measurement”, in *IEEE Volume 6, Issue2*, June 2003.

- [12] J. M. Loomis, R. G. Golledge, R. L. Klatzky, & J. R. Marston, "Assisting wayfinding in visually impaired travelers", in *G. Allen(Ed.), Applied spatial cognition: From research to cognitive technology. Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates*, 2006
- [13] Diner, Daniel B., and Fender, Derek H., "Human Engineering in Stereoscopic Viewing Device", in *McGill University*, 1993.
- [14] Birchfield, S. Tomasi, C, "A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling Pattern Analysis and Machine Intelligence", in *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, 4 April 1998.
- [15] Zhencheng Hu, Francisco Lamosa, and Keiichi Uchimura, "A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment Analysis", in *Proceedings of the Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'05)*, Ottawa, Ontario, Canada June 13-16, 2005
- [16] Nicolas Soquet, Didier Aubert, and Nicolus Hautiere, "Road Segmentation Supervised by an Extended V-disparity Algorithm for Autonomous Navigation", in *Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul*, Turkey, June 13-15, 2007
- [17] H. Carey, "SRF05 -Ultra-Sonic Ranger Technical Specification", in <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf05tech.htm>, 23 February 2012
- [18] G. Welchand, G. Bishop, "An Introduction to the Kalman filter", in *University of North Carolina at Chapel Hill Chapel Hill, NC, USA*, July 24 2006.
- [19] Paul M. Hofman, "Relearning sound localization with new ear", in *Nature Neuroscience 1 (5): pp. 417-421*, 1998.
- [20] N. Gebhardt, The irrKlang Engine, "<http://www.ambiera.com/irrklang>", in *Documentation*, 2003-2009.

ภาคผนวก ก
แนะนำการใช้อุปกรณ์

ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา

1. เริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย หมวก, เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก, แบตเตอรี่, และหูฟัง
2. ประกอบสาย USB 3 เส้นซึ่งประกอบไปด้วยสายที่มาจากกล่อง 2 เส้น และมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 เส้น
3. เชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับช่องเสียบด้านหลังของเครื่องคอมพิวเตอร์
4. เสียบหูฟังเข้ากับช่องเสียบหูฟังด้านหน้าของเครื่องคอมพิวเตอร์
5. เริ่มเปิดสวิตช์เพื่อใช้งาน โดยจำเป็นต้องรอชุดเครื่องสักระยะหนึ่ง
6. ถ้าเครื่องทำงานปกติจะมีเสียงเตือนบอกระยะวัตถุออกจากหูฟัง
7. เก็บอุปกรณ์และสายไฟให้เรียบร้อยเพื่อสะดวกในการพกพา
8. ควรให้ผู้พิการทางสายตาพกพาไม้เท้านำทางเพื่อความมั่นใจ
9. การเก็บอุปกรณ์โดยการกด สวิตช์ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และถอดแบตเตอรี่ออกจากเครื่องทุกครั้ง

ภาคผนวก ข
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



The 10th
International
PSU Engineering
Conference (IPEC-10)
May 14 - 15, 2012

At the 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne
International Convention Center (PSUICC),
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, Thailand

First Announcement and Call for Papers

The stereo vision and distance sensors fusing for the visually impaired

Teerapon Chongpipattanasiri¹, Watcharin Kaewapichai², Pichaya Tandayya^{*}

Computer Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
E-mail: 5410120072@email.psu.ac.th¹, watcharin@coe.psu.ac.th², pichaya@coe.psu.ac.th^{*}

Abstract

Classical methods to support the visually impaired include using a cane and a guided dog. These methods enable the visually impaired to identify only nearby obstacles. However, they fail to allow them to detect obstacles that are located relatively farther and are mostly visible to normal sighted people. In order to address this problem, we propose the Pixel-to-Pixel (P2P) stereo matching algorithm to find objects that are in front of the visually impaired. The computing time of this algorithm is reduced by the use of parallel computing that uses Message Passing Interface (MPI), but the algorithm results in noise or inaccuracy of the object distance approximation. In this work, the distance data from the stereo vision and distance sensors are used to approximate the distance and increase the accuracy by applying the discrete Kalman filter. This paper presents an obstacle detection system for the visually impaired by enhancing P2P with MPI while Kalman filter is applied to improve accuracy of system.

Keywords: Stereo Vision, Sensor Fusion, the Visually Impaired.

1. Introduction

Traditional navigation systems for the visually impaired are white canes and guide dogs. The white cane is used to find objects on the ground sight within the range of 1 meter. Its risk is that the accident is very high, especially in case of "floating objects obstructed along the walkway" such as tree-branches, damaged wire, and others. Possible working areas of the traditional navigation systems are limited. Therefore, many support devices and electronic technologies have been developed for so many years to help the visually impaired's walk, called "Electronic Travel Aids (ETA)" [1]. ETA has been classified into two groups which are the distance sensor system and stereovision system. Two popular products from distance sensor systems are ultrasonic canes [2] and glasses [14] communicating to the user with sounds and/or vibration. Ultrasonic wave is the most useful and produces high accuracy in approximating the distance of objects along the walkway. Comparing with another distance measurement, the laser-based sensor system, the ultrasonic system gives lower resolution and magnitude and is less expensive. Advantages of the ultrasonic system are that it can detect the obstacles

with high confidence and require no light sources. The ultrasonic system provides a good result of object distances within the range of 5 meters and 30 degrees of the working area. However, the working area of the ultrasonic system is limited, and only the closest objects in the working area are detected with poor angular resolution.

The stereovision system has been popularly mounted on helmets and communicates to the users with sounds [3] and vibration [4]. The distance of the object is estimated by a disparity image created by stereo matching algorithms. These algorithms have been classified into two groups: Intensity-based Stereo Matching (ISM) and Feature-based Stereo Matching (FSM) techniques [5]. The ISM technique [6, 7] is a matching algorithm of the pixel to pixel (P2P) algorithm by finding the intensity of pixels. An advantage of ISM is that this system can work very well with low texture images. However, the computational cost is the main problem of this technique. There are other techniques applied to reduce the computation time of the P2P technique: Message Passing Interface (MPI) [9] and V-disparity [10]. The accuracy of both stereo vision systems is within the range of 5 meters using low-cost web cams. However, the stereo vision system does not work if there is no external light source.

In this paper, we present a new ETA for the visually impaired, integrating the advantages of the ultrasonic sensor system and stereo vision system in order to increase the efficiency and effectiveness.

2. System overview

Our system consists of two main parts: Distance measurement and Data Fusion. Distance measurement values are extracted from the stereo vision device and ultrasonic sensors. The distance values are fed into Data Fusion. Sensor noise, system noise, and user movement are modeled by the Kalman filter which is an algorithm to increase the accuracy of the system by linear approximation model. However, the reliability areas of both systems are overlapped with each other. Data Fusion is applied to increase the reliability and accuracy of the system.

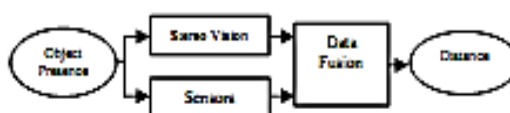


Figure 1. Flow chart of our system.

2.1 System design

There are three main scopes of the system: 5 meters working area, mobility system (light weight and low power consumption), and keeping it low cost. Two webcams and 3 ultrasonic sensors are mounted on a safety helmet. The distance between the cameras is 12 centimeters and the working area of the ultrasonic system is 15 degrees as shown in Figure 2.

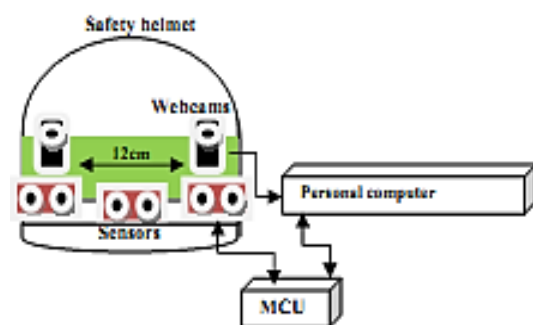


Figure 2. The prototype of the system.

Two images from webcams are fed into the embedded personal computer (EPC) for "Stereo Distance Estimation" explained in Section 2.2. Three distance values from ultrasonic sensors are calculated by the microcontroller (Atmega 168) and sent to EPC via RS-232.

2.2. Stereo vision and distance sensors fusion for the visually impaired

1 Distance Estimation of the Stereovision

We use the V-disparity [10] technique to approximate the distances of objects. The V-disparity is calculated from the disparity map produced from the stereo image processing in the Intensity-based Stereo Matching category. We use the Pixel-to-Pixel stereo matching technique [7] to create a disparity map because it is a widely used technique in intensity matching.

1. Pixel-to-Pixel stereo matching algorithm

Birchfield and Tomasi proposed Pixel-to-Pixel Stereo Matching (P2P) [7] in 1998. There are two processes: scan line matching and post-processing. Scan line matching matches equivalent pixels between left and right images on the same scan lines. Post-processing manipulates data between the scan lines, and selects the best disparity value to identify the position. As a result, the scan line matching process takes a long computing time when running the P2P algorithm sequentially. To reduce the cost of computation, Parallel programming [9] is applied because the scan line matching process independently computes in each scan line.

2. V-disparity

The disparity map created from the P2P algorithm is the depth distance equivalent pixels of left and right images. The V-disparity map is accumulative of the disparities in each scan line. Hough transform is used to find the depth line in V-disparity. It represents the depth distance information uses for approximate the object distance. The depth line from the V-disparity compared with the real distance of object is shown in Figure 3.

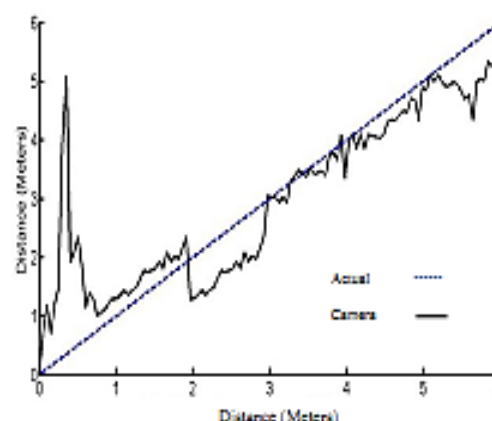


Figure 3. Comparing the V-disparity distance with the actual distance.

The dash line is the actual value. The continuous line is the distance data from V-disparity (100 measurements per step).

2.3 Distance Estimation of Distance Sensors

In this paper, we use the PING [15] ultrasonic sensor for object detection by sending a short ultrasonic burst and waiting for reflects from the echo PING signal from the object. The ultrasonic burst wave is 40 kHz. The burst travels through the air with the speed of 340 meters per second, when the burst hits an object and echo-back to the sensor. The time travel of the burst signal from the sensor to the object and back to the sensor is used to calculate the distance as shown in Equation 1 as follows:

$$s = vt/2 \quad (1)$$

When s is the distance between the sensor and the object, v is the speed of the ultrasonic wave (340 meters/second), and t is the time travel of the burst signal from the sensor to the object and back to the sensor.

In Figure 4, the actual and measurement distances are plotted to compare the accuracy. The results show that the ultrasonic sensor working area is within the range of 4 meters.

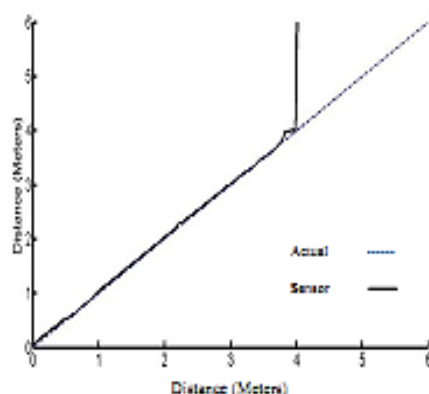


Figure 4. Distance measurement and actual distances of the ultrasonic sensor.

3. The Discrete Kalman Filter Algorithm

In 1960, R.E. Kalman published his famous paper describing a recursive solution of the discrete-data linear filtering problem. Kalman filter is a set of mathematical equations [12] which can be applied to the distance Measurement and Multi-sensor Data Fusion [13]. Kalman filter is a process that is a form of feedback control: Kalman filter runs the process state at some time and obtains feedback in forms of noise measurements of the Kalman filter algorithm which are classified into two groups: time update equations and measurement update equations. The time update equations are responsible for analyzing the current state and error covariance estimation to obtain the priori estimates for the next step shown in Figure 5. The measurement update equations are responsible for feedback of incorporating new measurement into the priori estimate. It is a method to improve the posteriori estimate for next iteration.

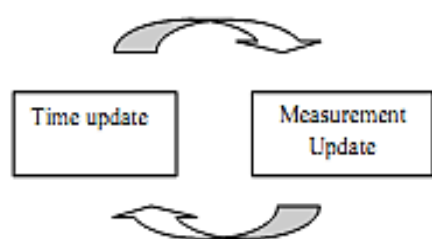


Figure 5. Discrete Kalman filter cycle.

In this paper, we apply the discrete Kalman filter (DKF) for distance measurements (Ultrasonic and Stereo vision). There are two main processes. First is estimating distances by using the initial distance values from (\hat{x}_{k-1}) in Equation 2. Initially, a priori (P_k^-) is an estimation error covariance by processing noise covariance from (Q_k) in Equation 3. Second, measurement update shown in Equation 3 uses the result from the first process (\hat{x}_k^-) and the result from a sensor to update the distance value of the system (\hat{x}_k^*)

In Equation 4. We used the Kalman gain (K_k) in Equation 5 to update the final result (\hat{x}_k^*) . The Posteriori estimates error covariance (P_k^*) in Equation 6 is used to find the Kalman gain (K_k) . R is a noise measurement covariance. The process of Kalman filter is used to reduce noise from systems by using a form of feedback control.

$$\hat{x}_k^- = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1} \quad (2)$$

$$P_k^- = \Phi_{k-1}^2 P_{k-1} + Q_k \quad (3)$$

$$\hat{x}_k^* = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (4)$$

$$K_k = P_k^- H_k (P_k^- H_k^2 + R_k)^{-1} \quad (5)$$

$$P_k^* = (1 - K_k H_k)^2 P_k^- + K_k^2 R_k \quad (6)$$

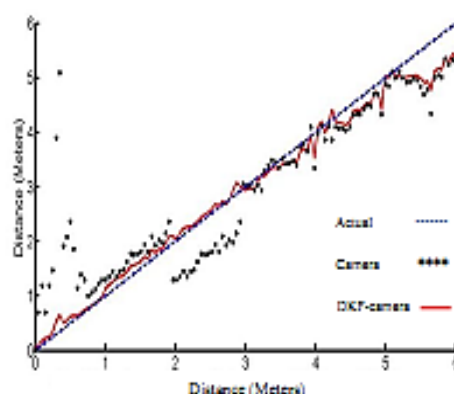


Figure 6. Result of applying Discrete Kalman filter (DKF) to the stereo vision.

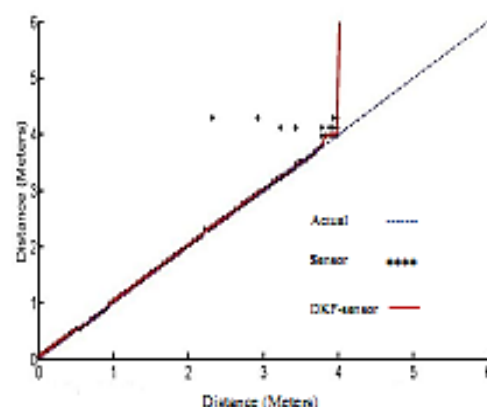


Figure 7. Result of applying Discrete Kalman filter (DKF) to the ultrasonic sensor.

4. Data Fusion

We set off connections with three front overlapping sonar sensors and the stereo vision in the viewing area. After running the Kalman filter process to improve the accuracy of distance approximation, there are 4 results from stereo vision and sensors. We can combine results from sensors and stereo vision by using the value of confidence that is the probability of sensors and stereo vision. The result shows that the output from this step is more accurate as shown in Figure 8.

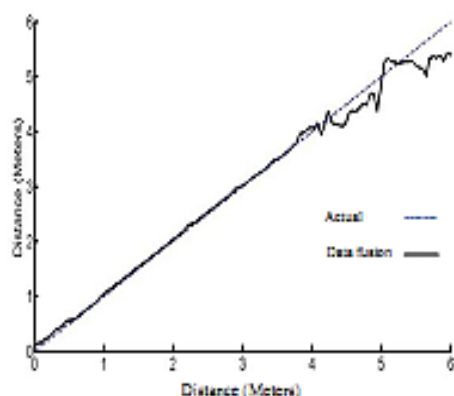


Figure 8. Comparing the result of the data fusion distance with the actual distance

5. Result and discussions

5.1 Stereo vision distances estimation

The result from stereo vision is non-linear and made-up with noises. Stereo vision algorithm working area is within the range of 5 meters. There are 3 positions of distances which are left, right and center positions. The primary advantage of stereo vision is that it gives good angular resolution and can be done at low cost, but the output becomes noisy due to smooth surfaces or low contrast image. The result is shown in Figure 6.

5.2 Sensors distances estimation

The result from ultrasonic sensors is linear and gives high accuracy sensors is that they do not require 1-4 meter distance. The primary advantage of sensor is not requires light source. The result is shown in Figure 7.

6. Conclusion

In our work, we have implemented the supporting system for the visually impaired using the fusing distances from the ultrasonic sensors and the stereo vision applying parallel computing in order to reduce the response time. We have used stereo vision and sensors of which the estimation of relative distances is improved by using the Kalman filter algorithm. This system can accurately detect objects within the range of 5 meters, 60 degree angular resolutions and 0.79

second for the image of 320x240 pixels. The future work can be construction of an appropriate interface for the visually impaired in 3D sound.

Acknowledgments

This research has been funded by the National Research University project to Prince of Songkla University.

References

- [1] Risha Patra, M. Manjunatha, J. Mukhopadhyay and A. K. Majumdar Amit, An Electronic Travel Aid for Navigation of Visually Impaired Persons, (COMSNETS), 2011 4-8 Jan. 2011.
- [2] Ando, B. Electronic Sensory Systems for the Visually Impaired. *Instrumentation & Measurement Magazine*, IEEE Volume 6, Issue 2, pp. 62 - 67, June 2003.
- [3] L. Dunai, G. P. Fajarnes, V. S. Praderas, B. D. Garcia, L. Lengua, Real-Time Assistance Prototype –a new Navigation Aid for blind people, IECON, 2010.
- [4] D. Dakopoulos, N. Bourbakis Preserving, Visual Information in Low Resolution Images During Navigation of Visually Impaired, PETRA 08, 2008.
- [5] Meers S., Ward, K. A, Vision system for providing 3D perception of the environment via transcutaneous electro neural stimulation. *Information Visualisation*, 2004. IV 2004, 14-16 July 2004.
- [6] Robyn Owens. http://homepages.inf.ed.ac.uk/rb/CVonline/LOCAL_COPIES/OWENS/LECT11/ect11.html. Available on 4 Jan 2009.
- [7] Birchfield, S., Tomasi, C. Depth discontinuities by pixel-to-pixel stereo. *Computer Vision*, 1998. Sixth International Conference. pp. 1073-1080. 4-7 Jan 1998.
- [8] Birchfield, S., Tomasi, C. A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions. Volume:2, 4 Apr 1998.
- [9] Thanathip Limna, P. Tandayya and N. Suvanvom, Low-cost Stereo Vision System for Supporting the Visually Impaired's Walk, I-CRETe, 22-26 April 2009.
- [10] Labayrade, R. Aubert, D. Tarel, J.-P. Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through "v-disparity" representation, IEEE 17-21 June 2002.
- [11] Roger Meierl, Terrence Fong, Charles Thorpe, and Charles Baur, A Sensor Fusion Based User Interface for Vehicle Teleoperation, IEEE, 1999.
- [12] Greg Welch and Gary Bishop, An Introduction to the Kalman filter, July 24, 2006.
- [13] Brown, Robert Grove and Patrick Y. C. Hwang. *Introduction to random signals and applied Kalman filtering*. John Wiley & Sons., 1997.
- [14] Nikolaos Bourbakis, Sensing Surrounding 3-D Space for Navigation of the Blind, *Engineering in Medicine and Biology Magazine IEEE*, Jan.-Feb. 2008.

ICSEC 2012

The International Computer Science and Engineering Conference

Proceedings - conference program included
Digital Security : Secure Cyber World

The 16th International Computer Science and Engineering Conference 2012
October 17-19, 2012 • Garden Cliff Resort & Spa • Pattaya • Thailand



GCCO
GRAND COLLEGE OF COMPUTER
TECHNOLOGY
MAHACHULALONGKORAJIT
UNIVERSITY

nanu.
NBTC

NCS

NECTEC
a member of NSTDA

Data Fusion of Stereo Vision and Ultrasonic Sensing for the Visually Impaired's Travelling Guide

Teerapon Chongpipattanasiri^[1], Dr. Watcharin Kaewapichai^[2], Dr. Pichaya Tandayya^[3]
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand
E-mail: 5410120072@email.psu.ac.th^[1], watcharin@coe.psu.ac.th^[2], pichaya@coe.psu.ac.th^[3]

Abstract

This paper presents an electronic travel aid for the visually impaired using the stereo vision and sensing methods to find obstacles within the range of 5 meters, 60-degrees resolution and interface for visually impaired using a 3D sound system. The proposed system applies the Kalman fusion to fuse data from sensors and stereo cameras with overlapping areas after filtering two results using the discrete Kalman filter algorithm. The enhanced and more accurate results are used to navigate the visually impaired. We also apply parallel computing to reduce the computing time and then transform the distance results into 3D sounds.

Key Words: Stereo Vision, Sensor Fusion, Visually Impaired, Travelling Guide, Kalman Fusion

1. Introduction

Free travelling is a special desire for the visually impaired. The major travelling problems are obstacles avoidance and navigation. A new electronic travel aid (ETA) [1] is the device that uses a multisensory architecture and a post processing to ensure the reliability of the information about obstacles. However, holes cannot be detected. A new Navigation Aid for blind people [2] is used to detect the static and dynamic objects from the nearby environment and transform them into acoustical sounds. This system design is called a safety helmet. Currently, we can classify obstacle detection methods into two groups: the stereo vision system and the sensing system. In previous work, an obstacle detection for the visually impaired [3] using stereo vision and applying parallel computing to reduce the computing time using message passing interface (MPI) [4] has been presented. The object distances are found by applying the V-disparity. The stereo vision system gives high resolution and more ranges. Unfortunately, the main problem with stereo vision is that the output becomes noisy when intensity is low or objects are close to the camera. This system cannot

work well without external light sources. The sensor system [5] is an ultrasonic sensor system produces high accuracy in approximating the distance of the object. There are two processes of ultrasonic sensing; firstly, the transmitters transmit ultrasonic pulses toward objects close to the location of user that using travelling aid. Secondly, the receiver detects reflected ultrasound pulses from the object. This gives an easy to understand indication of the location of detected obstacles. The advantage of the sensing system is that it gives high confidential results and requires no light sources. These two methods are good choices for obstacle detection systems but there are limits of a single sensor such as specular reflection and low angular resolution.

In a sensor fusion system, robust behavior against sensory removal can be achieved by using sensors with overlapping views of the object [5]. This works with a set of sensors in the same type. The Kalman Filter and Bayesian reasoning are the most frequently used methods in sensor fusion. The Kalman fusion method [6] fuses data measured in successive time intervals providing a maximum likelihood estimate of a parameter. Sensor fusion offers a great opportunity to increase performance of systems. Data fusion systems are used to keep missing information by reusing data obtained from sensors with an overlapping area [7].

In this paper, we present an ETA for the visually impaired, fusing the advantages of the ultrasonic sensor system and stereo vision system by applying the Kalman fusion algorithm. This system's interface is 3D sound systems.

2. Back ground

2.1 Stereo vision for visually impaired

The stereo vision system for the visually impaired is the system to find obstacles in the environment by using image processing [3]. This system used Pixel-to-Pixel (P2P) stereo matching algorithm to match the same points from stereo cameras. The stereo matching can be classified into two groups: intensity-based stereo matching (ISM) [8] and feature-based

stereo matching (FSM) [9]: ISM used intensity value to matching same points from stereo camera and FSM uses feature value to match the same point from stereo cameras. The primary advantage of stereo vision is its good angular resolution. The advantage of intensity based stereo matching is that it can work when object surfaces are smooth but this method takes a lot of computing time that can reduced by applying parallel programming.

2.2 Ultrasonic sensor for visually impaired

The ultrasonic sensor for the visually impaired is an obstacle detection device and then transform distance results into audio or vibrating signals in response to nearby objects such as Sonic-Guide [10] and NavBelt. They can detect obstacles with high confident measurements if the objects have good ultrasonic reflectivity. This sensor uses the time of flight. The advantage of using ultrasonic sensors is independent from external light sources and produces high accuracy output. The problems of this sensor are secular reflections and low angular resolution that can be solved by using multi sensors.

2.3 Stereo vision and sensing data fusion

The stereo vision and the ultrasonic sensing fusion is multi-sensor data fusion collecting data from stereo cameras and an ultrasonic sensor all mounted on a mobile platform [11]. This system applies a numeric data fusion algorithm that is an updating process for applying to the Kalman filter. There are two different kinds of 3D data: 3D segments which are coordinate points from the stereovision system, and a cross section of the scene from ultrasonic sensors. The basic problem in a multi-sensor system is about integrating data from different sensors into a single best estimate of the state of the environment.

3. System configuration



Figure 1. Overview of support system.

Figure 1. shows the system designed as a safety helmet used to get images into the embedded personal computer (EPC). Three distance values from ultrasonic sensors are calculated by the microcontroller (Atmega 168) and sent to EPC via RS-232. The output of this system is for providing 3D sounds for the visually impaired.

3.1 Hardware

There are two stereo cameras with a 12-centimeters base line and three ultrasonic sensors. The stereo cameras used are low cost Logitech Quick cameras providing images of 320x240 pixels. Low cost SRF-05 ultrasonic sensors. Produce ultrasonic burst waves of which frequency is 40 kHz. The range of the ultrasonic sensor is 4 meters wide. Ultrasonic sensors are controlled by the microcontroller. The stereo camera and ultrasonic sensors communicate with the eBox620 embedded personal computer used for processing data and creating responding sounds for the visually impaired by using a headphone.

3.2 User interface

This system provides 3D sounds for interfacing with the visually impaired using irrKlang library that provides buffered sounds as well as giant, streamed sounds in 3D sounds [11].

- irrKlang has a high performance 3D sound buffer emulator built-in, causing a sound experience nearly as it is a real 3D sound buffer.
- Multiple roll off models: irrKlang supports linear as well as logarithm models.
- The distance results are converted into three dimensional virtual sounds for the user.

3.3 Architecture

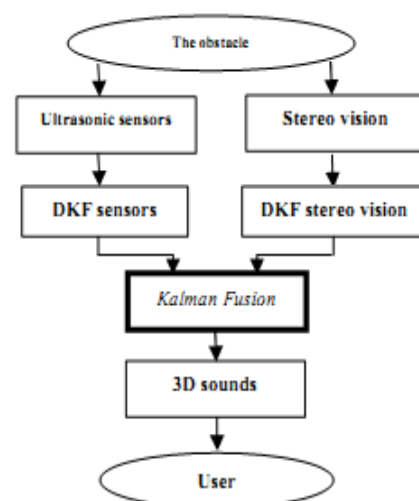


Figure 2. System architecture.

Figure 2. shows the obstacles in the environment which are inputs of this system. There are two methods to process the inputs: the stereo vision system and the ultrasonic sensor system. Each side provides data mixed up with noises. Then we use the Discrete Kalman Filter (DKF) algorithm [13] to reduce noises from the measurement methods. The reliability areas of both systems are overlapped with each other. Kalman Fusion is applied to increase the reliability and accuracy of the system and transfer distance results into 3D sounds for the user.

3.4 Stereo vision and sensing fusion method

The disparity map from the stereo vision is created from the Pixel-to-Pixel (P2P) algorithm [3]. The disparity map is the depth distance from images. The V-disparity map [12] is accumulative of the disparities in each scan line. Hough transform is used to find the depth line in V-disparity. It represents the depth distance information used for approximating the object distance. The depth line from the V-disparity compared with the real distance of object is shown in Figure 3.

We use the SRF 05 ultrasonic sensor for object detection by sending a short ultrasonic burst and waiting for echo wave reflection from the object. The ultrasonic burst wave is 40 kHz. The burst travels through the air with the speed of 340 meters per second. When the burst hits an object and echoes back to the sensor. The time travel of the burst signal from the sensor to the object and back to the sensor is used to calculate the real object distances.

In this system, the discrete data linear filtering problem is solved by (DKF) [13]. The Kalman filter is a set of mathematic equations main processes, time update equations and measurement update equations. The time update equation produces estimates of the current state variables, along with their uncertainties. The measurements update equation's uses a weighted average to estimate with higher certainty. We use the DKF to reduce noises of the outputs from the stereo vision and ultrasonic sensors.

$$\hat{X}_k^- = \Phi_{k-1} \hat{X}_{k-1} \quad (1)$$

$$P_k^- = \Phi_{k-1}^2 P_{k-1} + Q_k \quad (2)$$

$$\hat{X}_k^+ = \hat{X}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{X}_k^-) \quad (3)$$

$$K_k = P_k^- H_k (P_k^- H_k^2 + R_k)^{-1} \quad (4)$$

$$P_k^+ = (1 - K_k H_k)^2 P_k^- + K_k^2 R_k \quad (5)$$

There are two main processes. First is estimating distances by using the initial distance values from (\hat{X}_{k-1}) in (1). Initially, a priori (P_k^-) is an estimation error covariance by processing noise covariance from

(Q_k) in (2). Second, measurement update shown in (3) uses the result from the first process (\hat{X}_k^-) and the result from a sensor to update the distance value of the system (\hat{X}_k^+). We used the Kalman gain (K_k) in (4) to update the final result (\hat{X}_k^+). The Posteriori estimates error covariance (P_k^+) in (5) is used to find the Kalman gain (K_k). R is a noise measurement covariance. The process of Kalman filter is used to reduce noises from systems by using a form of feedback control.

The process of integrating information by the Kalman fusion algorithm [14] can improve the accuracy of more specific inferences than single sensor data alone. We can assume that the object is detected with a discrete Kalman filter associated with sensors. The object's state vector has two components: stereo vision data and ultrasonic data that is homogeneous information. We consider two independent vectors; $X1$ and $X2$ in (6) and initial P priori estimates error covariance matrix in (7). We initialize the parameter $P = 1$ because that the choice is not critical and the filter would finally converge. If $X = 0$ then we can set $P = 0$.

$$X = \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

An estimate X_{k+1} of the state vector X is computed in the measurement update as show in

$$X_{k+1} = X_k + K_k (z_1, z_2) \quad (8)$$

Where z_1 is the distance answer from cameras.

z_2 is the distance answer from sensor.

K_k is the Kalman gain vectors.

Matrix P is computed as show in

$$P_{k+1} = (I - K_k H) P_k \quad (9)$$

Where I is an identity matrix as shown in

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Vector H is corresponding Jacobian vector.

4. Results

4.1 Stereo vision distance estimation

The result from stereo vision is non-linear and made-up with noises. The stereo vision algorithm working area is within the range of 5 meters further from the user. However, the output becomes noisy due to smooth surfaces or low contrast images. We can reduce noises by using DKF. The DKF results are more accurate comparing to corresponding actual distances shown as in Figure. 3.

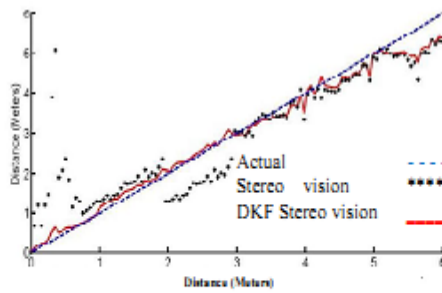


Figure 3. The result of DKF stereo vision and stereo vision.

4.2 Ultrasonic sensor distance estimation

The results from ultrasonic sensors are nearly linear and give high accuracy results within the range of 1-4 meters. The primary advantage of sensor is that they do not require light sources. After applying DKF, the results are shown in Figure. 4.

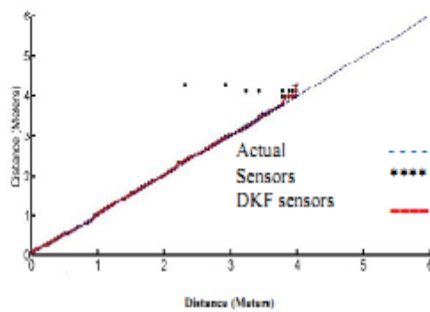


Figure 4. The result of DKF sensors and sensors.

4.3 Data fusion distance estimation

After running the Discrete Kalman filter process to improve the accuracy of distance approximation, there are two results from stereo vision and sensors. We can combine them by using Kalman fusion that is a method we used to fuse data from sensors and stereo vision. The combined result is compared with the actual data. The combined result gives high accuracy within the range of 0-4 meters because the object is on the overlapping area. The combined results are shown in Figure 5.

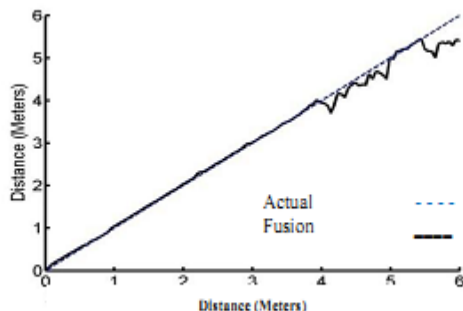


Figure 5. The Compare result from Kalman fusion and the actual.

4.4 Data fusion results of an object movement

This system can also detect the user movement and results from the object movement as shown in Figure 6-10. We used a 50 × 50 cm plastic plate as the standard object. The results are compared with the actual data when velocity of an object is 0.077 cm/s. We have tested and got the result by using a moving object that is moved from the maximum range to the minimum range using a stepping motor. There are five levels of the range for testing. This system increase the accuracy of results when running the Kalman fusion for a long time as the Kalman gain value will stabilize as shown in Fig. 8-10. The actual result comes from relation of velocity of an object and times. The red continuous line represents the actual result and the blue dash line represents the result of Kalman fusion shown in Figure 6-10.

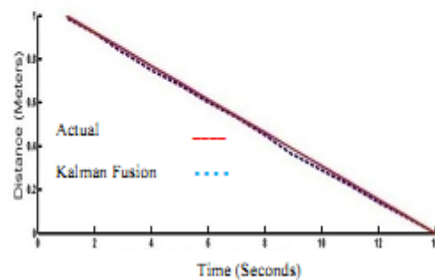


Figure 6. The result within the range of 0-1 meters.

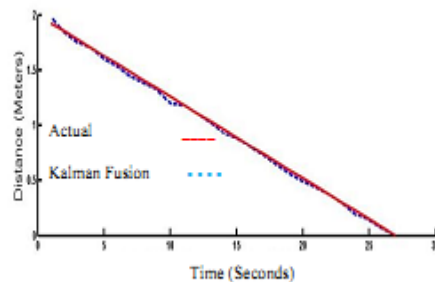


Figure 7. The result within the range of 0-2 meters.

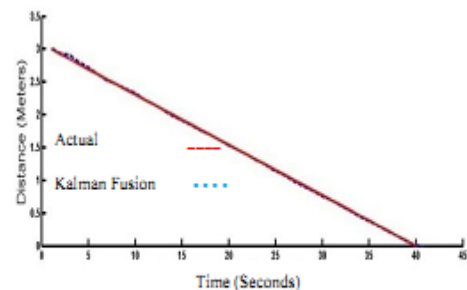


Figure 8. The result within the range of 0-3 meters.

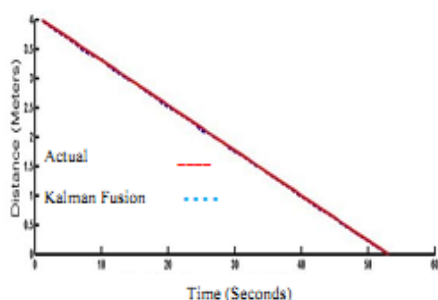


Figure 9. The result within the range of 0-3 meters.

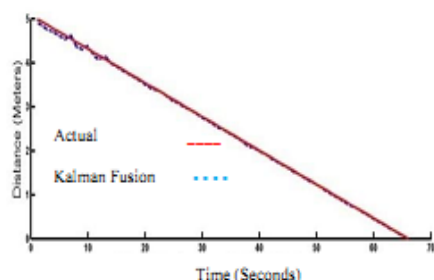


Figure 10. The result within the range of 0-3 meters.

5. Conclusion

In our work, we have implemented the supporting system for the visually impaired using the fusing distances from the ultrasonic sensors and the stereo vision applying parallel computing in order to reduce the response time. We have used stereo vision and sensors which the estimation of relative distances is improved by using the Kalman filter algorithm. This system can accurately detect objects within the range of 5 meters, 60 degree angular and it take about 0.79 second for the 320x240 pixels resolution images. This system output can be used to construct an appropriate simple sound interface for the visually impaired. Full 3D sounds system interface for visually impaired is one of the main features to be developed in the future work.

6. Acknowledgment

This work is funded by the Higher Education Research Promotion and National Research University Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission.

7. References

[1] S. Shoval, J. Borenstein, and Y. Koren, "The NavBelt- A computerized travel aid for the blind based on mobile robotics technology," *Biomedical Engineering IEEE*, vol. 45, no 11, pp. 1376-1386, 1998.

[2] L. Dunai, G. P. Fajarnes, V. S. Praderas, B. D. Garcia, L. Lengua, "Real-Time Assistance Prototype -a new Navigation Aid for blind people", *IECON*, 2010.

[3] T. Limna, P. Tandayya and N. Suvanvorn, "Low- cost Stereo Vision System for Supporting the Visually Impaired's Walk", *I-CREATE*, 22-26 April 2009.

[4] The Message Passing Interface (MPI) standard. <http://www.unix.mcs.anl.gov/mmpi/>. Available on 4 Jan 2009.

[5] W. Elmenreich, *An Introduction to Sensor Fusion*, Vienna University of Technology Austria, Research Report 47/2001, November 19, 2002.

[6] A. Juan, Corrales, A. Francisco, Candelas and F. Torres, "Kalman Filtering for Sensor Fusion in a Human Tracking System, Kalman Filter", *Vedran Kordic (Ed.)*, ISBN: 978-953-307-094-0, 2010.

[7] N. Bourbakis, *Sensing Surrounding 3-D Space for Navigation of the Blind*, *Engineering in Medicine and Biology Magazine IEEE*, Jan.-Feb. 2008.

[8] R. Owens., <http://hompages.inf.ed.ac.uk>, 4Jan 2009.

[9] S. Meers, K. Ward, "A vision system for providing 3D perception of the environment via transcutaneous electroneural stimulation", *IV 2004*, pp. 546 - 552, 14-16 July 2004.

[10] J. Barth, and E. Foulhe, "Preview: A neglected variable in orientation and mobility," *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 73, no.2, pp. 41-48, 1979.

[11] Roger Meierl, Terrence Fong, Charles Thorpe, and Charles Baur, *A Sensor Fusion Based User Interface for Vehicle Teleoperation*, *IEEE*, 1999.

[12] IrrKlang 3D sound, " www.ambiera.com/irrklang/", 4 Jan 2012.

[13] Labayrade, R. Aubert, D. Tarel, J.-P. "Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through "v-disparity" representation". *IEEE Transactions on Intelligent Vehicle Symposium*, pp. 646- 651 vol.2, 17-21 June 2002.

[14] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman filter", July 24, 2006.

[15] Brown, R. Grove and Y. Patrick. C. Hwang, "Introduction to random signals and applied Kalman filtering. John Wiley & Sons", 1997.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายธีรพล จงพิพัฒน์ศิริ	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5410120072	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนสนับสนุนจากโครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในโครงการนวัตกรรมทางการแพทย์และสาธารณสุขที่ตอบสนองต่อความต้องการในภาคใต้ในโครงการวิจัยย่อย ระบบสเตอริโอวิชันและระบบเสียงสามมิติ เพื่อช่วยในการเดินทางของผู้สูงอายุ หรือผู้ที่มีปัญหาทางสายตา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. Teerapon Chongpipattanasiri, Watcharin Kaewapichai, Pichaya Tandayya, "The stereo vision and distance sensors fusing for the visually impaired" The 10th International PSU Engineering Conference May 14-15, 2012.
2. Teerapon Chongpipattanasiri, Watcharin Kaewapichai, Pichaya Tandayya, "Data Fusion of Stereo Vision and Ultrasonic Sensing for the Visually Impaired's Travelling Guide", International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), ,) October 17-19, 2012.