

ระบบเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

นายณัฐวุฒิ พจน์ปริญญา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

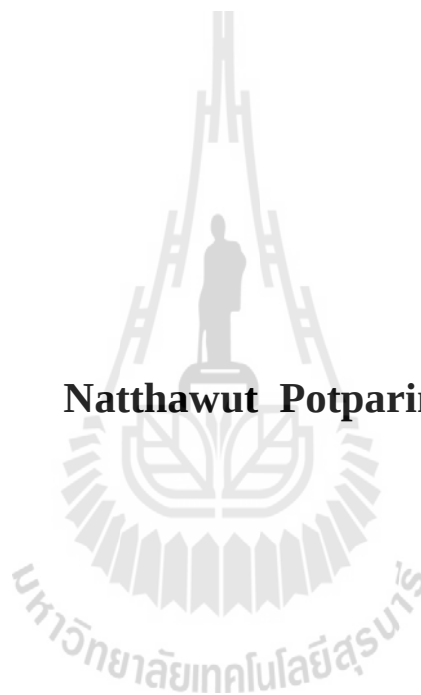
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

**AUTOMATIC SCENE LEARNING AND RECOGNITION
SYSTEM USING SENSOR FUSION**

Natthawut Potparinya



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2013**

ระบบเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐวุฒิ พจน์ปริญญา : ระบบเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน
(AUTOMATIC SCENE LEARNING AND RECOGNITION SYSTEM USING
SENSOR FUSION) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 138 หน้า

ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ได้รับการพัฒนาและมุ่งเน้นที่จะเพิ่มความแม่นยำในการจดจำสถานที่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ โดยการใช้เซ็นเซอร์ฟิวชัน ซึ่งประกอบด้วยระบบจีพีเอส เซ็นเซอร์ทิศทางและกล้อง เซ็นเซอร์เหล่านี้ถูกติดตั้งบนยานพาหนะที่ใช้ทดสอบและระบบจะมีการสร้างรูปแบบชุดข้อมูลการเรียนรู้ ซึ่งจะมุ่งเน้นในเรื่องของการฝึกสอน โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำสถานที่ จากนั้นระบบจะสามารถบ่งบอกถึงสถานที่นั้นได้อีกครั้ง เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณตำแหน่งของสถานที่เดิม โดยตำแหน่งและทิศทางของยานพาหนะในการเคลื่อนที่ ที่ได้รับจากระบบจีพีเอสและเซ็นเซอร์ทิศทางจะถูกนำมาใช้เป็นอินพุตให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมในการค้นหาสถานที่ ในขณะที่ข้อมูลภาพจากกล้องจะถูกนำมาใช้สำหรับการแสดงผลและตรวจสอบความถูกต้องของระบบ งานวิจัยนี้เป็นการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบนำทางของยานพาหนะซึ่งเป็นไปตามผลลัพธ์ที่ต้องการ ระบบที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นมอดูลการเตือนก่อนที่จะถึงเป้าหมายในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ที่ซึ่งประสิทธิภาพของการประมวลผลบนรถอาจจะมียังจำกัด

NATTHAWUT POTPARINYA : AUTOMATIC SCENE LEARNING AND
RECOGNITION SYSTEM USING SENSOR FUSION. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. ARTHIT SRIKAEW, Ph.D., 138 PP.

SCENE LEARNING/RECOGNITION/SIMPLIFIED FUZZY ARTMAP/SENSOR
FUSION

Scene learning and recognition system has been developed and focused to increase its precision for efficient usage in daily life. This work proposes an automatic scene learning and recognition using sensor fusion including GPS, digital compass, and camera. These sensors are mounted on a test vehicle and used for system input to establish patterns for learning and recognizing. The learning and recognizing processes are carried on using artificial neural network which aims to learn and recognize places. The system can then recall the place once the vehicle is back at the nearby place. The position and direction of the vehicle are fed from GPS and digital compass as the input to neural network while visual information from camera is utilized for displaying and validating the result. This work presents the application of vehicle navigation in which desirable results are achieved. The proposed system can effectively be used as an initial module priori to fine searching for target in a complex environment where the on-board computing power is very limited.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ เป็นอย่างยิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย อาทิ

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานเล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและความรู้ทางด้านวิชาการเป็นอย่างดีมาโดยตลอดระยะเวลาการเข้าศึกษา

ขอขอบคุณ คุณอัญชลี รักด่านกลาง คุณภัทรวรรณ เคนพะนาน ที่อำนวยความสะดวกด้านเอกสารระหว่างศึกษา และขอบคุณบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณสรารุท ทองขุมนุ่ม ที่แนะนำข้าพเจ้าในการเข้าศึกษาระดับปริญญาโทครั้งนี้ ขอขอบคุณ นายเทอดศิลป์ โสมูล นางสาวสมหญิง พันธุ์วิไล ที่ช่วยแนะนำในการทำงานวิจัย นายบรรณกิจ กิตติกุล นายกมล ไชยศรี และ นายเชาวลิต กิตติกุล ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้งานวิจัย นายชวลิต ปัญญาอิสระ นายโกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง และ นายภูริชญ์ งามคง ในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวัชรสาร คุณแม่สมมาตร พจน์ปริญญา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษายอดเยี่ยมมาโดยตลอด

ณัฐฤดี พจน์ปริญญา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตเบื้องต้น	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์	3
2 ปรัชญารรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ระบบการมองเห็น	5
2.3 พื้นฐานกระบวนการประมวลผลของระบบการมองเห็น	6
2.3.1 ระบบการมองเห็นจะมีกระบวนการประมวลผลทั้งหมด 4 ขั้นตอน	6
2.3.2 ระบบการมองเห็นมีคำศัพท์เฉพาะที่ควรทราบ	6
2.3.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการมองเห็น	9
2.3.4 แหล่งกำเนิดแสง	10
2.4 ระบบดาวเทียมจีพีเอส	11
2.4.1 การนำจีพีเอสมาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในการดำเนินชีวิต	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	เข็มทิศดิจิทัล	18
2.5.1	เข็มทิศ (Compass)	18
2.5.2	เข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass)	18
2.6	เครือข่ายประสาทเทียม	19
2.6.1	ประวัติความเป็นมาของเครือข่ายประสาทเทียม	20
2.6.2	ความหมายและหลักการของเครือข่ายประสาทเทียม	21
2.6.3	ลักษณะของเครือข่ายประสาทเทียม	23
2.6.3.1	เครือข่ายแบบชั้นเดียว	23
2.6.3.2	เครือข่ายแบบหลายชั้น	24
2.6.4	ประเภทของการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม	25
2.6.4.1	การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning)	25
2.6.4.2	การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)	25
2.6.5	การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายประสาทเทียม	25
2.7	การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยพีชชีอย่างง่าย	26
2.7.1	กระบวนการฝึกสอน (Training procedure)	27
2.7.2	ตัวอย่างการทำงานของ SFAM	30
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
2.8.1	ระบบการมองเห็นและการใช้เซ็นเซอร์ฟิวชัน	39
2.8.2	เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)	41
2.9	สรุป	42
3	ระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน	43
3.1	บทนำ	43
3.2	โครงสร้างของระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน	44
3.3	ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System)	45
3.3.1	การใช้งานจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์	46
3.3.2	การเชื่อมต่อจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3	รูปแบบการหาระยะทางและทิศทางจากพิกัดภูมิศาสตร์	49
3.4	การหาทิศทางด้วยมอดูลเข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass Module)	53
3.5	ระบบการมองเห็น (Vision)	54
3.5.1	รูปแบบการคำนวณหามุมมองของภาพ (FOV)	56
3.5.2	วิธีการติดตั้งกล้อง	57
3.6	อัลกอริทึมการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน	58
3.7	ผลการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน	60
3.7.1	การทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ในระยะไกล	60
3.7.2	การทดสอบระบบการค้นหาสถานที่หรือวัตถุในระยะใกล้	77
3.8	สรุป	79
4	ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม	80
4.1	บทนำ	80
4.2	การสร้างเส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่	81
4.2.1	ตัวอย่างการสร้างเส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่	82
4.2.2	การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	84
4.3	วิธีการฝึกสอนด้วยระบบเครือข่ายประสาทเทียม	89
4.4	ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ	90
4.4.1	การทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะไกล)	92
4.4.2	การทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะใกล้)	108
4.5	สรุป	115
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	116
5.1	สรุป	116
5.2	ข้อเสนอแนะ	117
	รายการอ้างอิง	118

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษา C++	120
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์อุณหภูมิกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษา C++	125
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	129
ประวัติผู้เขียน	138



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ความชัดเจนของภาพกับขนาดของเลนส์และขนาดของกล้อง.....	10
2.2 เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ	11
4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์สอคล้อง (ρ) ในช่วง 0 ถึง 1	90
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (สถานที่ หอสุรนภา).....	96
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (สถานที่ อาคารวิชาการ 2).....	99
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน).....	104
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (อาคารเครื่องมือ 9).....	107

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการประมวลผลภาพ	6
2.2 ระยะจากกล้องและมุมมองของภาพ	7
2.3 พิกัดภาพที่เกิดขึ้นจริงและพิกัดภาพที่เกิดจากกล้อง	7
2.4 พิกเซลในรูปภาพ	8
2.5 โครงสร้างของระบบการมองเห็นพื้นฐาน	9
2.6 ส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส	12
2.7 กลุ่มของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)	13
2.8 การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)	13
2.9 สถานีควบคุมของดาวเทียมจีพีเอส (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)	14
2.10 พิกัดตำแหน่งที่หาได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)	15
2.11 มอดูลเข็มทิศ (Compass Module HMC6352)	19
2.12 โครงสร้างระบบประสาท (ภาพจาก http://www.mindcreators.com/NeuronBasics.htm)	22
2.13 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	24
2.14 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	24
2.15 โครงสร้างสถาปัตยกรรมการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซี่อย่างง่าย	26
2.16 แผนผังการทำงานของการทำงานของ SFAM	29
2.17 ปัญหาวงกลมในสี่เหลี่ยมจัตุรัส	30
2.18 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.7, 0.7) ประเภท IN	31
2.19 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.3, 0.8) ประเภท IN	33
2.20 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.9, 0.9) ประเภท OUT	33
2.21 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.7, 0.9) ประเภท OUT	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22	เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.1, 0.3) ประเภท IN.....39
3.1	ยานพาหนะต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัย43
3.2	โครงสร้างระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน.....44
3.3	หลักการทำงานของระบบ GPS45
3.4	รูปแบบการเก็บข้อมูลจากตัวรับสัญญาณ GPS Module46
3.5	ตัวอย่างการแสดงผลโปรแกรมจากตัวรับสัญญาณ GPS Module48
3.6	Latitude and Longitude of the Earth48
3.7	รูปแบบการหาทิศทาง θ_j50
3.8	รูปแบบอินพุตและเอาต์พุต.....51
3.9	ตัวอย่างการคำนวณหาทิศทาง P_1, P_251
3.10	ตัวอย่างการคำนวณหาทิศทาง P_1, P_2 ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่.....52
3.11	รูปแบบการเก็บข้อมูลด้วย Digital Compass Module (HMC6352)53
3.12	ตัวอย่างการแสดงผลโปรแกรมการหาทิศทางด้วย Digital Compass Module.....54
3.13	มุมมองของภาพ (Field of View)54
3.14	รูปแบบการเก็บข้อมูลด้วย Color Camera 640x480 pixel.....55
3.15	FOV Measurement Setup.....56
3.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FOV และ Horizontal Pixel57
3.17	มุมมองของภาพจากระบบการค้นหาสถานที่.....58
3.18	แผนผังการทำงานอัลกอริทึมการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน59
3.19	เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบระบบระยะไกล (หอสุนทรภาพ)60
3.20	ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุนทรภาพ เส้นทางที่ 161
3.21	ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุนทรภาพ เส้นทางที่ 263
3.22	ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุนทรภาพ เส้นทางเส้นประสีฟ้า65
3.23	เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบระบบระยะไกล (อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน)67
3.24	ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 168
3.25	ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 270

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 3	72
3.27 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 1	74
3.28 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 2	75
3.29 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 3	75
3.30 มุมมองของภาพที่ใช้ทดสอบระบบการค้นหาสถานที่หรือวัตถุในระยะใกล้	77
3.31 ตัวอย่างการสร้างรูปแบบเส้นทางในการเรียนรู้และจดจำวัตถุระยะใกล้	78
4.1 รูปแบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ	80
4.2 โครงสร้างรูปแบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม	81
4.3 เส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่ (หอสุรนาภ)	82
4.4 เส้นทางการเรียนรู้ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด)	83
4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ	83
4.6 ระยะทางระหว่างยานพาหนะกับสถานที่	84
4.7 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ภาพจาก http://www.mathworks.com/help/curvefit/smoothing-data.html)	85
(a) ข้อมูลจุดแรกที่ไม่สามารถปรับค่าให้เรียบได้เพราะเป็นจุดที่ไม่สามารถสร้างช่วงได้ ..	85
(b) ข้อมูลจุดที่สองมีการกำหนดช่วงในการปรับเรียบข้อมูลเท่ากับ 3	85
(c),(d) กำหนดช่วงในการปรับเรียบข้อมูลเท่ากับ 5	85
4.8 การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณอินพุต	86
(ก) กำหนดช่วงเท่ากับ 50	86
(ข) กำหนดช่วงเท่ากับ 100	86
(ค) กำหนดช่วงเท่ากับ 150	86
(ง) กำหนดช่วงเท่ากับ 300	86
4.9 การเปรียบเทียบข้อมูลเอาต์พุตของระบบ ช่วงของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135	87
4.10 การเปรียบเทียบผลเอาต์พุตของระบบระหว่างชุดข้อมูลเดิมกับชุดข้อมูลที่ปรับปรุงแล้ว	
--- ชุดข้อมูลเดิมและเส้น — ชุดข้อมูลที่ถูกรับปรุง	88
4.11 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 รูปแบบการทำงานของระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ.....	91
4.13 สถานที่ทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะไกล).....	92
4.14 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1, หอสุรนภา).....	93
4.15 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่เมื่อพบเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ (เส้นทางที่ 2, หอสุรนภา).....	94
4.16 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, หอสุรนภา).....	95
4.17 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1, อาคารวิชาการ 2).....	97
4.18 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารวิชาการ 2).....	98
4.19 ตัวอย่างตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดของการค้นหาสถานที่ (เส้นทางที่ 1, อาคารวิชาการ 2).....	100
4.20 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1, อาคารศูนย์บรรณสาร และสื่อการสอน).....	101
4.21 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารศูนย์บรรณสาร และสื่อการสอน).....	102
4.22 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 3, อาคารศูนย์บรรณสาร และสื่อการสอน).....	103
4.23 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1, อาคารเครื่องมือ 9).....	105
4.24 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารเครื่องมือ 9).....	106
4.25 มุมมองของภาพที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้	108
4.26 โครงสร้างรูปแบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม (แสดงผลระยะใกล้)....	109
4.27 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายจราจร 1)	110
4.28 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายจราจร 1).....	110
4.29 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายจราจร 2)	111
4.30 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายจราจร 2).....	111
4.31 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (สัญญาณไฟจราจร 1).....	112
4.32 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (สัญญาณไฟจราจร 1).....	112
4.33 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายบอกสถานที่ 1).....	113
4.34 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายบอกสถานที่ 1).....	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถจำลองความสามารถหลายอย่างของมนุษย์ เช่น การคำนวณ การจับ การพูด การจำ การเปรียบเทียบ นักวิจัยได้พยายามทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถต่าง ๆ เหล่านี้ โดยการพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ที่สามารถเลียนแบบสติปัญญามนุษย์ เช่น การวิจัยด้านการทำงานเกี่ยวกับระบบที่มีความสามารถในการคิดหาเหตุผล การเรียนรู้ และสะสมความรู้ในการพัฒนาความสามารถทางด้านเทคนิคและการจำลองประสาทสัมผัสของมนุษย์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (A I : Artificial Intelligence) ในการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถคิดหาเหตุผลได้ เรียนรู้ได้ และทำงานได้เหมือนสมองมนุษย์

ปัญญาประดิษฐ์ เป็นสาขาหนึ่งของคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการนำคอมพิวเตอร์ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์มาใช้ ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้คล้ายมนุษย์ สามารถประมวลผลในลักษณะของการคิดหาเหตุผล การตัดสินใจในการแก้ปัญหา การที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำงานเหล่านี้ได้จะต้องพัฒนาคอมพิวเตอร์ให้มีความเร็วในการประมวลผลสูง และสามารถทำการประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัญญาประดิษฐ์นั้นจะต้องมีความรู้อยู่ด้วย เมื่อนำความรู้มาประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และระบบนี้ก็สามารถแก้ปัญหาบางอย่างได้เช่นเดียวกับมนุษย์ แต่การที่จะทำให้คอมพิวเตอร์มีความรู้ความสามารถในการประมวลผลความรู้ไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะความรู้เป็นฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากและการแก้ปัญหาของมนุษย์ก็เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน

ปัญญาประดิษฐ์สามารถสร้างให้หุ่นยนต์ทำงานกับเครื่องจักรไฟฟ้าแทนมนุษย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามปัญญาประดิษฐ์ ก็มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากมนุษย์คือไม่สามารถจำลองลักษณะพิเศษของมนุษย์ได้ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ อารมณ์ขันและอารมณ์ต่าง ๆ แต่สามารถจำลองความเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่น การหยิบสิ่งของหรือการวางตามตำแหน่งที่กำหนด และจัดเตรียมสมองของระบบโดยสามารถจำลองกระบวนการทำงานด้านความคิดของมนุษย์ภายในขอบเขตความเชี่ยวชาญเฉพาะอย่างเช่น การสำรวจทรัพยากรธรณี การวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงได้นำหลักการและแนวความคิดดังกล่าว มาทำการออกแบบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ การที่มนุษย์จะจดจำสิ่งต่าง ๆ ได้นั้นจะรับรู้อินพุตเข้ามาด้วยการมองเห็นวัตถุด้วยตาของมนุษย์ แล้วใช้สมองในการจำแนกลักษณะต่าง ๆ มีงานวิจัยอยู่

มากมายที่ใช้กล้องเป็นเซ็นเซอร์ในการค้นหาและตรวจจับวัตถุ เช่น การตรวจจับป้ายจราจร การตรวจจับยานพาหนะหรืออาคารสถานที่ สิ่งเหล่านี้ล้วนใช้ระบบการประมวลผลภาพทั้งสิ้น เมื่อระบบการเรียนรู้สามารถจำแนกสิ่งต่าง ๆ ได้แล้ว จากนั้นระบบการเรียนรู้จะสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุหรือสถานที่นั้น ๆ ได้อีกด้วย ในหลักการเรียนรู้และจดจำของมนุษย์จะใช้การเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมรอบตัวจึงจะสามารถระบุทั้งตำแหน่งและทิศทาง ณ ปัจจุบันนั้นได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) และเข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass) มาใช้ในการระบุตำแหน่งและทิศทางเพื่อให้ทราบถึงทิศทางและขอบเขตในการค้นหาสถานที่ ในปัจจุบันระบบจีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัลมีบทบาทอย่างมากต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ อย่างเช่นในอุปกรณ์มือถือหรือระบบนำทางที่ใช้ในยานพาหนะ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้รวมการทำงานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ 1) กล้องเป็นอุปกรณ์ที่เปรียบเสมือนการมองเห็นของมนุษย์ที่มีความสามารถในการตรวจจับ คัดแบ่งขอบเขต ระบุตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นภาพที่ได้จะแสดงผลภาพของสถานที่ออกทางหน้าจอแสดงผลเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของระบบ 2) ระบบจีพีเอส จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงตำแหน่งของสถานที่และตำแหน่งของยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายและสามารถบ่งบอกถึงระยะทางของสถานที่ 3) เข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass) สามารถใช้ในการบ่งบอกทิศทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและทิศทางของสถานที่ที่กำลังค้นหาเพื่อลดขอบเขตในการค้นหา

ในส่วนของด้านการเรียนรู้และจดจำงานวิจัยนี้ได้นำระบบเครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) ที่มีความคล้ายคลึงกับสมองมนุษย์ คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อของข่ายงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน สามารถนำมาใช้ในการฝึกสอนระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) ซึ่งเป็นเครือข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่ง ที่มีการเรียนรู้และจดจำในรูปแบบของชุดข้อมูล โดยมีเครือข่ายที่ไม่ซับซ้อน จึงทำให้มีความรวดเร็วในการคำนวณ และเป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบการค้นหาสถานที่ เพราะระบบต้องการความเร็วในการประมวลผลแบบเวลาจริง ในตัวอย่างงานวิจัยต่าง ๆ จะนำเครือข่ายประสาทเทียมชนิดนี้มาใช้ในการรู้จำรูปภาพโดยสามารถจำแนกลักษณะของกลุ่มภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หรือจะใช้จำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูลประเภทต่าง ๆ งานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีนี้มาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้และจดจำชุดข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ฟิวชัน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันและเครือข่ายประสาทเทียม

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ระบบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างเพียงพอและสม่ำเสมอ

1.3.2 ระบบการทำงานภายใต้สภาพท้องฟ้าปลอดโปร่งซึ่งมีผลต่อระบบการค้นหาดำเนินงานจีพีเอส

1.3.3 การทดสอบระบบใช้กับถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.4 ระบบใช้กล้อง 1 ตัว ในการรับภาพเพื่อมาประมวลผลภาพและตำแหน่งของการติดตั้งกล้องคงที่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พัฒนาระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่อัตโนมัติโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยพีชชี้อย่างง่าย

1.4.2 ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่อัตโนมัติโดยรับค่าอินพุตทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จีพีเอส เซ็นเซอร์จีพีเอส และกล้อง CMOS Color Camera

1.4.3 พัฒนาอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4.4 พัฒนาอัลกอริทึมการเรียนรู้และจดจำสถานที่อัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ได้ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ

1.5.2 เพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มขีดความสามารถความถูกต้องแม่นยำให้กับระบบนำทางของยานพาหนะส่วนบุคคล

1.6 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ รวมทั้งแนะนำเนื้อหาพอสังเขปที่เป็นองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกล่าวถึงประวัติการวิจัยที่ผ่านมา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ระบบการมองเห็น ระบบดาวเทียมจีพีเอสและการนำไปประยุกต์ใช้ ระบบการทำงานของเข็มทิศดิจิทัลและเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานและการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน ประกอบไปด้วย ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยการรับค่าอินพุตจากจีพีเอสมอดูล ระบบการค้นหาทิศทางด้วยมอดูลเข็มทิศดิจิทัล และระบบการมองเห็นนำไปใช้ในการระบุขอบเขตของสถานที่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการค้นหาสถานที่ที่ทำการเรียนรู้และจดจำ จากนั้นจะเป็นการสร้างอัลกอริทึมในการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันและจะทำการทดสอบระบบเพื่อหาประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบการค้นหาสถานที่

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม เป็นการสร้างรูปแบบของชุดข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ฟิวชันและทำการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมชนิด การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) และทำการทดสอบระบบเพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการค้นหาสถานที่ด้วยระบบอัลกอริทึมและระบบการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม แล้วทำการวิเคราะห์จุดบกพร่องของทั้งสองระบบและรวมทั้งสองระบบเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงสุดในการค้นหาสถานที่

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาคผนวก ข. โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างเข็มทิศดิจิทัลมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาคผนวก ค. รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน ซึ่งประกอบด้วย ระบบการมองเห็น (vision) ระบบการระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) ระบบบอกทิศทางด้วยเข็มทิศดิจิทัลและระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยระบบเครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) โดยเนื้อหาในบทนี้จึงนำเสนอวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำระบบต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน

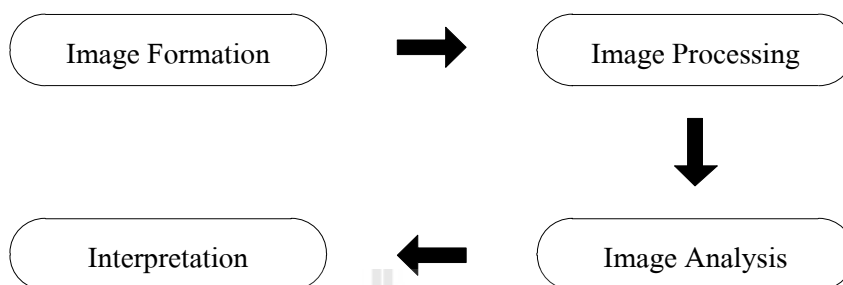
2.2 ระบบการมองเห็น

ระบบการมองเห็นเป็นระบบที่ใช้สำหรับงานตรวจสอบทางกายภาพของวัตถุ โดยมีระบบการประมวลผลที่ใกล้เคียงกับการทำงานของมนุษย์ สามารถตัดสินใจและส่งผลลัพธ์ที่ต้องการได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ เราสามารถเปรียบเทียบลักษณะการตรวจสอบที่ทำงานโดยมนุษย์กับการตรวจสอบที่ทำงาน โดยใช้ระบบการมองเห็นเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้นดังนี้

การตรวจสอบโดยมนุษย์ จะใช้ตาเป็นส่วนรับภาพ และใช้สมองทำหน้าที่ประมวลผลตัดสินใจ ซึ่งลักษณะการประมวลผลของมนุษย์จะเป็นแบบอนาล็อกทำให้การตัดสินใจขึ้นอยู่กับดุลพินิจของแต่ละบุคคล แต่สำหรับการตรวจสอบโดยระบบการมองเห็นจะใช้กล้องทำหน้าที่แทนตาและใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ทำหน้าที่ประมวลผลแทนสมอง ลักษณะการประมวลผลของระบบการมองเห็นเป็นแบบดิจิทัลทำให้มีความแม่นยำในการตรวจสอบมากกว่า เนื่องจากการกำหนดเกณฑ์เป็นมาตรฐานเดียวกัน เป้าหมายโดยทั่วไปคือ การตรวจจับ ตัดแบ่งขอบเขต ระบุตำแหน่ง และ รู้จำวัตถุที่ต้องการในภาพ เช่น การจดจำหน้าคน การติดตามวัตถุในภาพที่ต่อเนื่อง การเชื่อมโยงมุมมอง ต่าง ๆ ของทัศนียภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติและอื่น ๆ อีกมากมาย ส่วนในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ระบบการมองเห็นจึงเข้ามามีบทบาทในการตรวจเช็คคุณภาพเนื่องจากระบบสามารถตรวจเช็คได้ 100% ของผลิตภัณฑ์ และมีความละเอียดแม่นยำกว่าสายตามนุษย์สามารถควบคุมคุณภาพได้สม่ำเสมอ ต่างจากสายตามนุษย์ที่อาจมีความเหนื่อยล้าซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดได้

2.3 พื้นฐานกระบวนการประมวลผลของระบบการมองเห็น

2.3.1 ระบบการมองเห็นจะมีกระบวนการประมวลผลทั้งหมด 4 ขั้นตอน



รูปที่ 2.1 ระบบการประมวลผลภาพ

1. Image Formation ทำหน้าที่จับภาพ ซึ่งภาพที่ได้จะต้องมีความคมชัด จัดเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่สุด หากภาพที่ได้ไม่คมชัด กระบวนการต่อไปก็จะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการนี้ มีทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จะอยู่ที่ชุดคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีฟังก์ชันช่วยในการจัดแต่งภาพให้คมชัดยิ่งขึ้น เช่น ฟังก์ชันการตัดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2. Image Processing ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพที่ได้จากกล้อง CCD จากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

3. Image Analysis ทำหน้าที่วิเคราะห์ภาพตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ หรือทำงานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์กับสัญญาณที่ได้รับโดยแยกแยะความแตกต่างของสัญญาณที่ได้เปรียบเทียบกับข้อจำกัดความเบี่ยงเบนที่กำหนดไว้

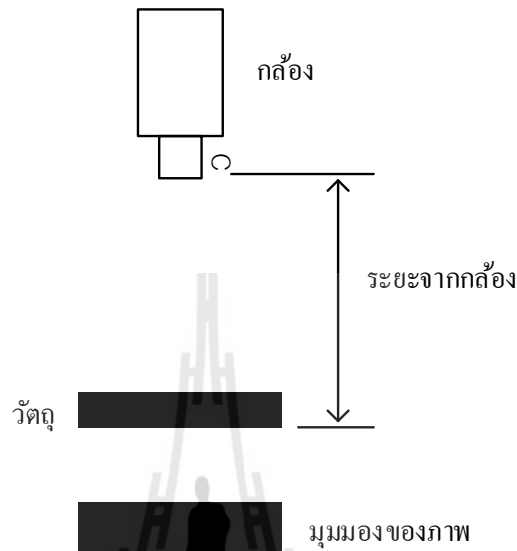
4. Image Interpretation ทำหน้าที่ตัดสินใจและส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังภาคเอาต์พุต หรืออุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ ที่นำมาต่อรวม ลักษณะของเอาต์พุตมีทั้งแบบที่เป็น ON/OFF หรือแบบข้อมูลโดยส่งผ่านพอร์ตสื่อสาร

2.3.2 ระบบการมองเห็นมีคำศัพท์เฉพาะที่ควรทราบ

- Field Of View (FOV) หรือมุมมองของภาพ หมายถึงขอบเขตที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งๆ ที่ทำการตรวจสอบได้อย่างชัดเจน

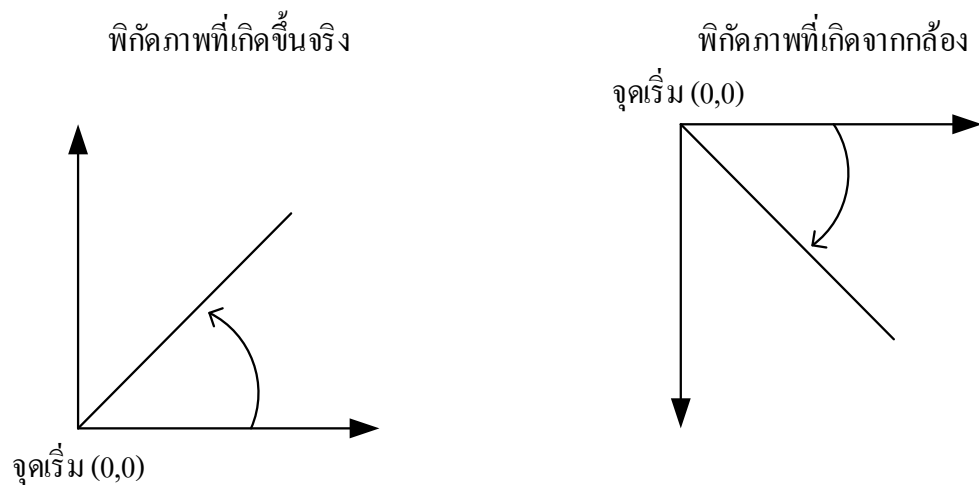
- Binary image หมายถึงภาพที่ประกอบขึ้นจากสีขาวและสีดำเป็นหลัก หรือเรียกอีกอย่างว่า Digital Image

- Raw Image หมายถึงภาพที่ปรากฏขึ้นจริง หรือเรียกอีกอย่างว่า Analog Image
- Camera Distance คือระยะความสูงจากกล้องถึงชิ้นงานที่ทำกรวัด



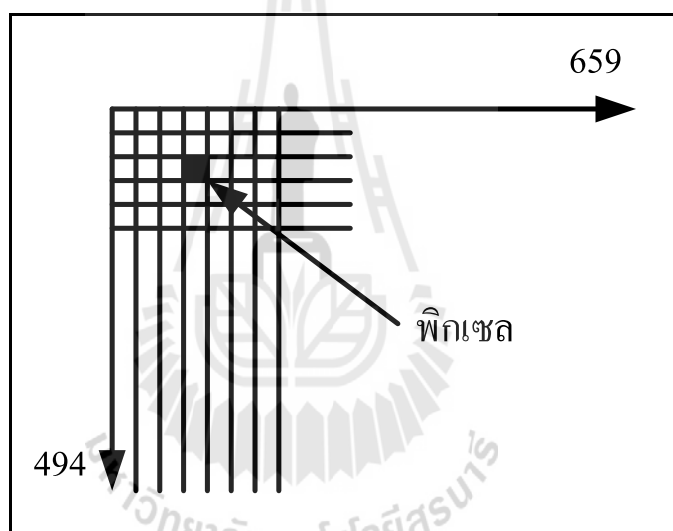
รูปที่ 2.2 ระยะจากกล้องและมูมมองของภาพ

- Coordinate system ในระบบการมองเห็นจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบได้แก่ พิกัดภาพที่เกิดขึ้นจริงและพิกัดภาพที่เกิดจากกล้อง เวลาใช้งานจะต้องระมัดระวังเนื่องจากจุดเริ่มต้นของภาพที่เกิดขึ้นจริงกับจุดเริ่มต้นของภาพที่ได้จากกล้องจะมีลักษณะการคำนวณที่แตกต่างกันดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พิกัดภาพที่เกิดขึ้นจริงและพิกัดภาพที่เกิดจากกล้อง

- Pixel (พิกเซล) สัญญาณภาพจากกล้อง CCD จะมีข้อมูลของความมืดและความสว่างในแต่ละองค์ประกอบเซลล์ของกล้อง เมื่อนำมาแสดงที่จอภาพจะถูกแทนด้วยสีเหลี่ยมเล็ก ๆ ที่วางไว้ลักษณะเป็นตะแกรง ซึ่งเรียกสิ่งนี้ว่าพิกเซล ภาพที่แสดงบนจอจะเกิดจากจำนวนพิกเซลหลาย ๆ พิกเซลมารวมกันซึ่งแต่ละพิกเซลจะมีข้อมูลความมืดความสว่างที่แตกต่างกันไป ตามข้อมูลที่ได้รับจากกล้อง และในแต่ละพิกเซลจะมีพิกัดบอกตำแหน่งที่แน่นอนตามพิกัดในแนวแกน X และแนวแกน Y ความละเอียดของภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของพิกเซลในแนวแกน X และแนวแกน Y ที่กำหนดไว้ในคุณสมบัติของกล้อง ตัวอย่างเช่น กล้องที่ใช้กับระบบการมองเห็นรุ่น F150 จะมีจำนวนพิกเซลในแนวแกน X เท่ากับ 659 พิกเซล และจำนวนพิกเซลในแนวแกน Y เท่ากับ 494 พิกเซล ดังรูปที่ 2.4 จากรูปจะมีความละเอียดของภาพเท่ากับ 325,546 พิกเซล



รูปที่ 2.4 พิกเซลในรูปภาพ

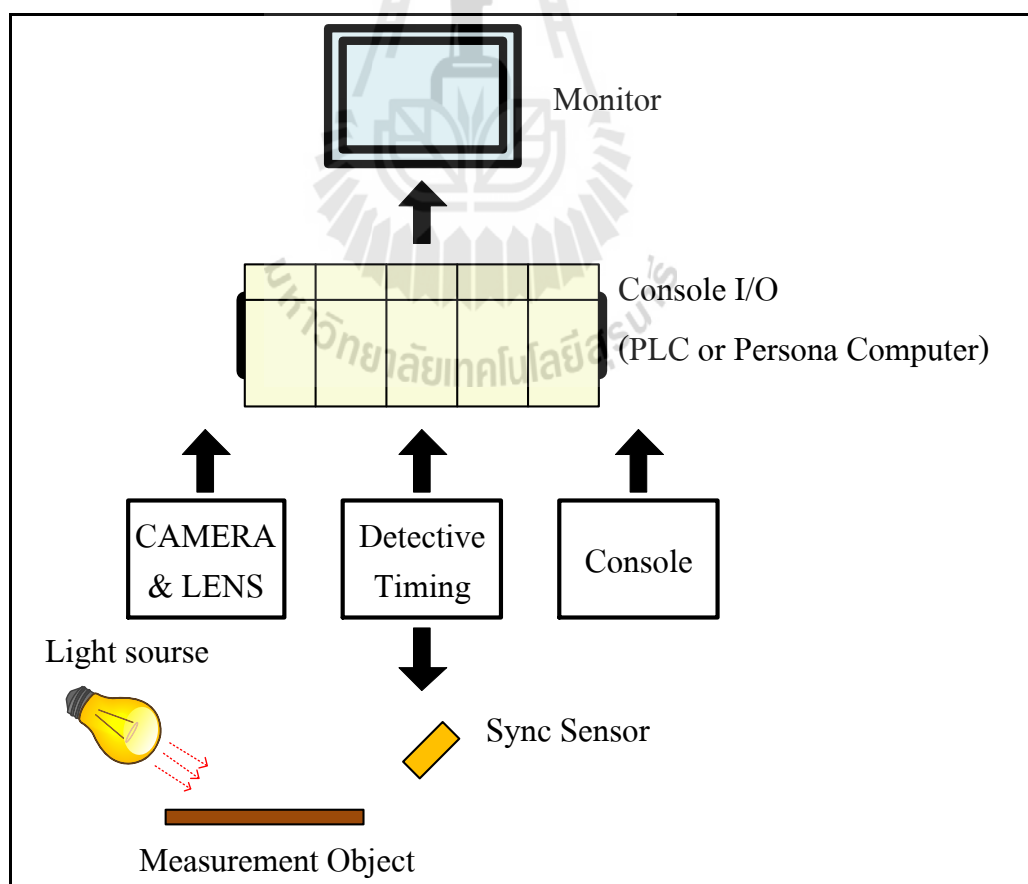
- Pixel Resolution เราสามารถที่จะกำหนดความละเอียดของภาพจากการกำหนดขนาดของพิกเซลตัวอย่างเช่น 1 ไมครอนต่อพิกเซล ($\mu\text{m}/\text{pix}$), 1 มิลลิเมตรต่อพิกเซล (mm/pix) เป็นต้น ในงานที่ต้องการทราบตำแหน่งหรือขนาดของวัตถุที่วัดเป็นค่าจริง เราสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$\text{Resolution}(\text{mm} / \text{Pix}) = \frac{\text{Field of vision in Y direction (mm)}}{\text{No. of pixels in Y direction (Pixel)}} \quad (2.1)$$

- Measurement region ขอบเขตการวัดหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วินโดว์ เราสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่การวัดบนภาพได้ตามความต้องการ ขอบเขตการวัดสามารถกำหนดได้ตามรูปร่างของวัตถุหรือตามพื้นที่ก็ได้เช่นกัน

- Position Displacement Compensation การชดเชยตำแหน่ง จะใช้การชดเชยตำแหน่งในกรณีที่ตำแหน่งและทิศทางของวัตถุที่วัดไม่คงที่ เช่น เอียงหรือตำแหน่งของวัตถุแตกต่างไปจากจุดเดิมที่จับภาพไว้ในครั้งแรก หากไม่ใช้ฟังก์ชันการชดเชยตำแหน่ง จะไม่สามารถให้ผลลัพธ์ในการตรวจสอบที่ถูกต้อง ดังนั้นฟังก์ชันชดเชยตำแหน่งจึงถูกนำมาใช้งานในกรณีที่วัตถุที่ทำการวัดเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งเดิม โดยจะคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุปัจจุบันอ้างอิงกับตำแหน่งเดิมที่เก็บค่าไว้ และชดเชยค่าในส่วนที่วัตถุเบี่ยงเบนไป ทำให้ผลการวัดถูกต้อง แม้ว่าวัตถุจะไม่อยู่ตรงตำแหน่งเดิมแล้วก็ตาม

2.3.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการมองเห็น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบการมองเห็นพื้นฐาน

ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. กล้องและเลนส์ (Camera & Lens) กล้องที่ใช้ในระบบการมองเห็นจะเป็นกล้อง CCD ส่วนเลนส์ที่ใช้จะเป็นเลนส์ประเภท CCTV ซึ่งเป็นเลนส์ที่ใช้กับกล้อง CCD เช่นกัน ความสัมพันธ์ในการเลือกขนาดของเลนส์และขนาดของกล้องมีความสำคัญอย่างยิ่งใน การเลือกใช้ เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุด ความสัมพันธ์ของขนาด CCD Element ภายในกล้องและขนาดของเลนส์ จะสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 2.2

$$CCD \text{ Sensor Size} \leq \text{Lens Format Size} \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ความชัดเจนของภาพกับขนาดของเลนส์และขนาดของกล้อง

คุณภาพ	ขนาดของ CCD		ขนาดของเลนส์
ให้ภาพไม่ชัดเจน	2/3 นิ้ว	>	1/3 นิ้ว
ให้ภาพไม่ชัดเจน	1/2 นิ้ว	>	
ให้ภาพชัดเจน	1/3 นิ้ว	=	
ให้ภาพชัดเจน	1/4 นิ้ว	<	

สำหรับการเลือกขนาดของเลนส์ จะมีหลักในการพิจารณาอยู่ 3 ข้อดังต่อไปนี้คือ

1. ขนาดมุมมองของภาพ (FOV)
2. ระยะความสูงจากกล้องถึงชิ้นงาน
3. ความละเอียดที่ต้องการ

2.3.4 แหล่งกำเนิดแสง

ในการใช้งานระบบการมองเห็น ส่วนประกอบที่สำคัญในระบบอีกส่วนหนึ่งคือ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้เกิดความชัดเจนและรักษาเงื่อนงำในการรับภาพให้คงที่ตลอดเวลาไม่ว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แหล่งกำเนิดแสงที่มีใช้งานในระบบการมองเห็นมีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังจะเปรียบเทียบให้เห็นจากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ

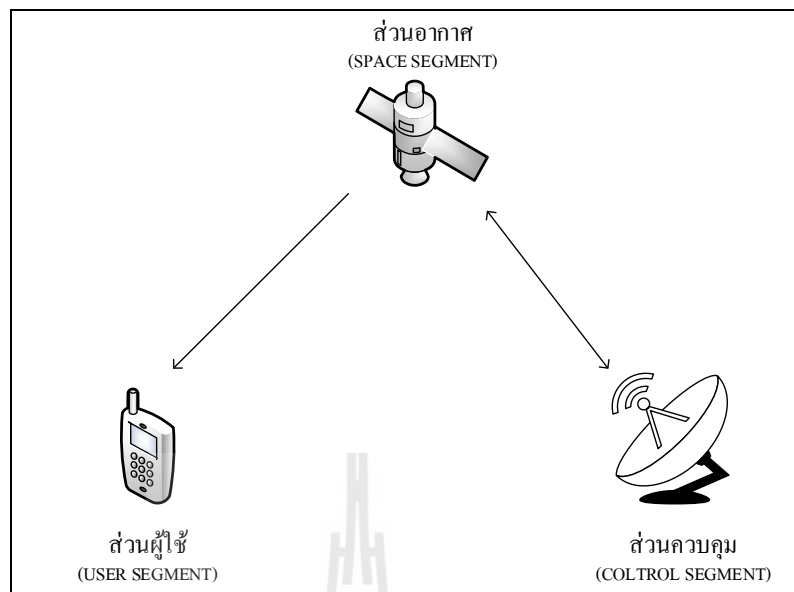
ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
Halogen	- ให้ค่าแสงที่คงที่	- กำเนิดความร้อน
Fluorescent	- ให้แสงนวลปกติ	- ต้องการความถี่สูง - มีการแกว่งของแสง
LED	- ให้ความหนาแน่นแสงคงที่ - อายุการใช้งานนาน - มีขนาดเล็ก	- ปริมาณแสงที่ปรับได้มีค่าน้อย - พื้นที่ใหญ่ ๆ จะให้แสงไม่เพียงพอ
Laser	- ให้แสงที่มีความเข้มสูง - แสงมีลักษณะเป็น Linear	- ราคาแพง - ระบบมีความซับซ้อน
Strobe (Xenon)	- ให้แสงใกล้เคียงธรรมชาติ - ใช้เวลาในการแผ่แสงสั้น	- อายุการใช้งานสั้น - มีการแกว่งของแสง

2.4 ระบบดาวเทียมจีพีเอส

จีพีเอส (Global Positioning System : GPS) ระบบจีพีเอส หมายถึง ระบบที่มีกลุ่มดาวเทียม ซึ่งโคจรรอบโลกส่งสัญญาณที่มีกำลังส่งต่ำมายังพื้นผิวโลกตลอดเวลา ซึ่งผู้ใช้ไม่ว่าจะเป็นใครก็ตามสามารถนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (GPS Receiver) มาเพื่อระบุตำแหน่งที่แน่นอนบนพื้นโลกได้ ซึ่งการระบุพิกัดตำแหน่งต่าง ๆ สามารถหาได้โดยการคำนวณระยะห่างจากดาวเทียมแต่ละดวง

ได้มีการเริ่มใช้งานระบบจีพีเอสในปี ค.ศ. 1978 โดยเริ่มแรกมีการใช้งานภายในกิจการของทางกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 ได้อนุญาตให้ทางสาธารณชนสามารถใช้ระบบจีพีเอสได้ จึงได้มีการพัฒนา และใช้ประโยชน์จากระบบจีพีเอสอย่างแพร่หลายทั้งทางบก ทางอากาศ หรือทางทะเล เช่น ติดตั้งบนรถยนต์เพื่อนำทาง การเดินป่า การเดินเรือ อีกทั้งยังมีงานวิจัย และสินค้าที่มีการใช้ระบบจีพีเอสมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง

กระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เรียกชื่อระบบจีพีเอสอย่างเป็นทางการว่า ระบบ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) และกำหนดให้ระบบมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วนด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.6 คือ ภาคอวกาศ (Space Segment) ได้แก่ ดาวเทียมภาคควบคุมการทำงาน (Control Segment) ได้แก่ สถานีภาคพื้นดิน และภาคผู้ใช้ (User Segment) ได้แก่ เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่การทำงานดังนี้



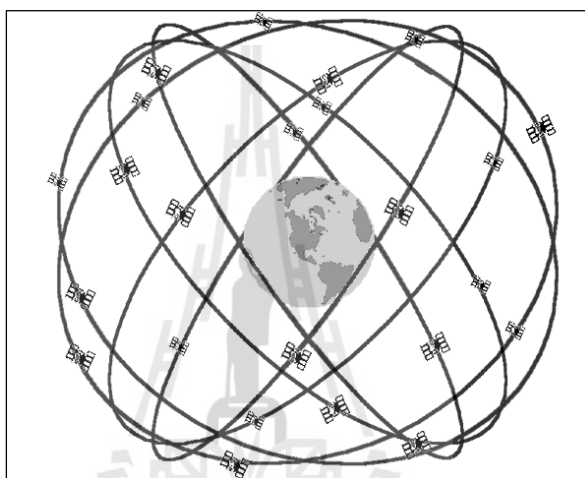
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส

ภาคอวกาศ (Space Segment) ส่วนการทำงานของภาคอวกาศนั้นประกอบไปด้วยกลุ่มดาวเทียมซึ่งโคจรรอบโลกตลอดเวลาทั้งหมด 24 ดวง (21 ดวงที่ทำงาน และ 3 ดวงที่สำรองใช้) ซึ่งดาวเทียมโคจรรอบเหนือโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร โดยมีระนาบของวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง และเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (Equator) เป็นมุม 55 องศา โดยเคลื่อนที่รอบโลกด้วยความเร็วประมาณ 11,260 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นั่นคือโคจรรอบโลก 1 รอบในเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง โดยการจัดเรียงตัวของดาวเทียมทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ซึ่งทำให้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้รับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงในเวลาเดียวกัน

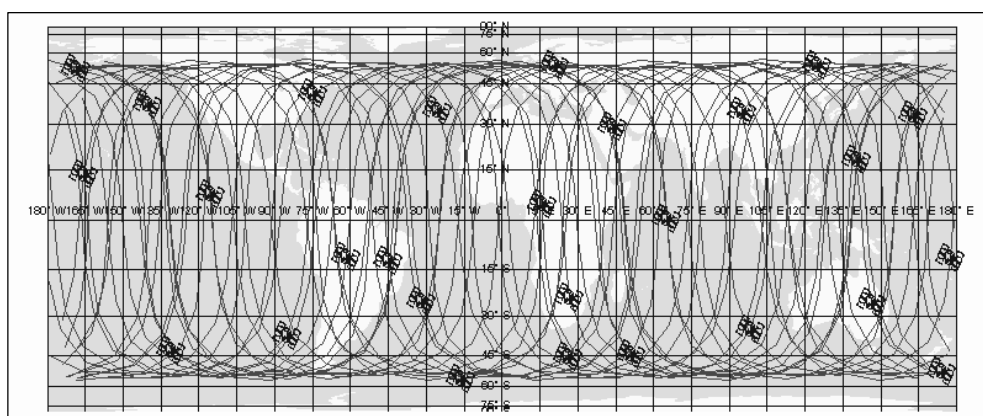
ดาวเทียมแต่ละดวงส่งสัญญาณมายังผิวโลกในหลายย่านความถี่ (เช่น L1, L2) แต่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะรับเฉพาะสัญญาณที่ความถี่ 1575.42 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ในย่าน L1 ของความถี่ในย่านยูเอชเอฟ ดาวเทียมแต่ละดวงส่งสัญญาณด้วยกำลังประมาณ 20 ถึง 50 วัตต์คลื่นสัญญาณมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Line of-Sight : LOS) และสามารถทะลุผ่านเมฆ แก้ว หรือพลาสติกได้ แต่ไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นได้ เช่น ดินสูง ใต้น้ำ ใต้ดิน หรือภูเขา

ข้อมูลที่ส่งมาจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือส่วนที่ระบุเวลาการมาถึง (Time of Arrival) ซึ่งเวลาส่วนนี้สามารถนำไปคำนวณหาระยะทางจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้จากผลคูณระหว่างอัตราเร็วของแสงในอวกาศ และเวลาการมาถึง ข้อมูลส่วนที่สอง คือ ข้อมูลพิกัดตำแหน่ง (Navigation Message) ซึ่งจะมีตำแหน่งของดาวเทียม เวลาอะตอม (Atomic Clock) ที่มีความเที่ยงตรงสูง และข้อมูลอื่น ๆ ของระบบภาค

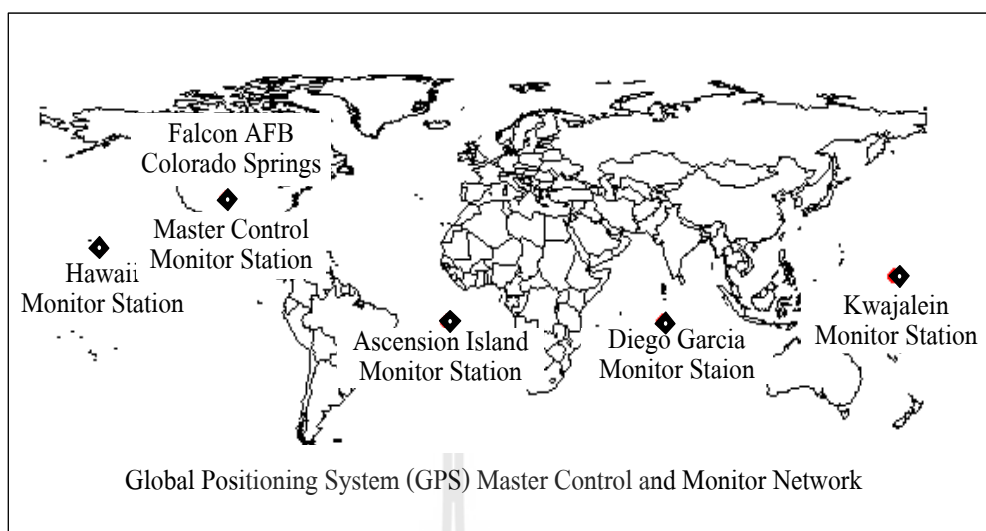
ควบคุมการทำงาน (Control Segment) สถานีภาคพื้นดินมีหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม เพื่อนำมาประมวลผล และตรวจสอบข้อมูลจากดาวเทียมว่ามีความผิดพลาดหรือไม่แล้วทำการแก้ไข ข้อมูลให้ถูกต้อง และส่งข้อมูลกลับไปยังดาวเทียมต่อไป ปัจจุบันมีสถานีควบคุมบนพื้นโลกอยู่ 5 แห่ง โดย 4 แห่งแรกเป็นสถานีที่รับข้อมูลจากดาวเทียมแล้วส่งข้อมูลกลับ ไปสถานีควบคุมหลัก ซึ่ง สถานีควบคุมหลักนี้มีหน้าที่กำหนดเส้นทางโคจรที่ถูกต้องใหม่ให้กับดาวเทียมแต่ละดวง รวมทั้ง ควบคุมการทำงานส่วนอื่น ๆ ของระบบด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.7 กลุ่มของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)



รูปที่ 2.8 การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)



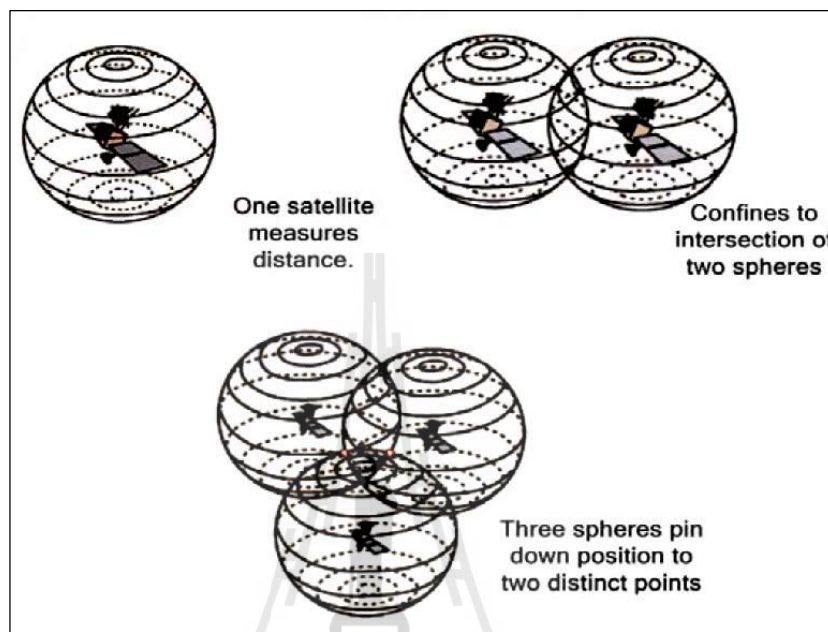
รูปที่ 2.9 สถานีควบคุมของดาวเทียมจีพีเอส (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

ภาคผู้ใช้ (User Segment) ทางด้านผู้ใช้งานมีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งมีจำหน่ายโดยผู้ผลิตหลายราย โดยมีรูปแบบและประโยชน์ใช้สอยต่าง ๆ กัน เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสรุ่นเก่า ๆ นั้นถูกออกแบบให้มียังจรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียงชุดเดียว ซึ่งจะมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถรับสัญญาณจากบริเวณที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสรุ่นใหม่ ๆ ส่วนมากนั้นจึงมียังจรับสัญญาณแบบหลายช่องขนาน (Parallel Multi-Channel Design) ซึ่งมีมียังจรับสัญญาณตั้งแต่ 5 - 12 ชุด โดยมียังจแต่ละชุดทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลเฉพาะดาวเทียมดวงใดดวงหนึ่งเท่านั้น และมีความสามารถในการรับสัญญาณไม่เท่ากัน

เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสมีหลักการทำงานของระบบคือ ทำการหาพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรอยู่ในบริเวณนั้น เมื่อทราบตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมแต่ละดวงแล้วก็จะทำการรับข้อมูลมาจากดาวเทียมแต่ละดวง แล้วคำนวณเวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมเดินทางมาถึงสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งจะสามารถคำนวณหาระยะห่างจากดาวเทียมแต่ละดวงแล้วหาจุดตัดเพื่อระบุค่าพิกัดตำแหน่งในขณะนั้นได้

การคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียม สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างอัตราเร็วแสง และเวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมเดินทางมาถึงผู้รับ ซึ่งอัตราเร็วของแสงในอวกาศนั้นมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที โดยสัญญาณที่เดินทางมายังพื้นผิวโลกนั้นมีการหน่วงเวลาเล็กน้อย เนื่องจากชั้นบรรยากาศโลก ในทางทฤษฎีแล้วการรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียง 3 ดวง ก็เพียงพอที่จะระบุค่าพิกัดตำแหน่งได้ ดังรูปที่ 2.10 แต่ในทางปฏิบัติการรับสัญญาณจีพีเอส เพื่อบอก

พิกัดตำแหน่งอย่างถูกต้องสมบูรณ์นั้นเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสต้องได้รับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงขึ้นไป เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของสัญญาณนาฬิการะหว่างดาวเทียมแต่ละดวง



รูปที่ 2.10 พิกัดตำแหน่งที่หาได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม (ภาพจาก http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถหาได้ว่าดาวเทียมโคจรอยู่ที่บริเวณใดของอวกาศได้ โดยรับข้อมูล 2 ประเภทจากดาวเทียม ส่วนแรกเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลอีเฟเมอริส (Ephemeris Data) ข้อมูลนี้ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม รวมถึงพิกัดตำแหน่ง และวงโคจรของดาวเทียมในขณะนั้น เวลาที่ทำการค้นหาดาวเทียมเรียกว่าเวลาอุ่นเครื่อง (Cold Start) แต่เนื่องจากการโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดาวเทียมแต่ละดวงจะได้รับข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องที่ได้รับการปรับค่าจากสถานีหลัก ซึ่งจะถูกส่งไปยังดาวเทียมในทุก ๆ 4 ถึง 6 ชั่วโมง ส่วนที่สองเรียกว่าข้อมูลอัลมาแนก (Almanac Data) ข้อมูลส่วนนี้จะถูกส่งมาจากดาวเทียมในทุก ๆ 1 มิลลิวินาที ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีข้อมูลชุดนี้ไม่เหมือนกัน ซึ่งภายในหน่วยความจำของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะจัดเก็บข้อมูลที่เหมือนกันของดาวเทียมแต่ละดวงไว้ด้วย เมื่อเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะทำการระบุพิกัดตำแหน่งก็จะสร้างข้อมูลชุดเดียวกัน (ดาวเทียมที่กำหนดไว้ในตอนแรก) ขึ้นมาเป็นคาบแล้วทำการเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ได้รับข้อมูลนี้มาจากดาวเทียม โดยสามารถคำนวณเวลาการมาถึงของดาวเทียมได้

ความผิดพลาดของข้อมูล โดยทั่วไปเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสมีความละเอียดถูกต้องอยู่ที่ 6 เมตร ถึง 12 เมตร แต่ข้อมูลที่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสรับได้นั้นมีโอกาสที่จะผิดพลาดได้ ซึ่งจะทำให้ระดับของความแม่นยำนั้นคลาดเคลื่อนโดยเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- เกิดการหน่วงสัญญาณโดยชั้นบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามภายในเครื่องรับสัญญาณของจีพีเอสนั้นมีรูปแบบในคำนวณเวลาเฉลี่ยที่เลื่อนไปจากเวลาจริง

- ถ้าในบริเวณนั้นมีภูเขา หรือตึกสูง สัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้มีทั้งสัญญาณที่มายังเครื่องรับโดยตรง และสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อน ลักษณะดังกล่าวเรียกว่าสัญญาณซ้อนทับ (Multipath Signal) ทำให้การคำนวณเวลาผิดพลาดได้

- สัญญาณนาฬิกาภายในเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสผิดพลาด

- จำนวนดาวเทียมที่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสรับสัญญาณได้ ซึ่งสามารถรับสัญญาณได้ดีในที่โล่งปราศจากสิ่งกีดขวาง แต่ไม่สามารถรับสัญญาณได้ในพื้นที่ภายในอาคาร ใต้น้ำ หรือใต้ดิน

2.4.1 การนำจีพีเอสมาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในการดำเนินชีวิต

จีพีเอสเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจและใกล้ตัวเราอย่างมาก และด้วยความสามารถของ GPS ทำให้ สามารถนำข้อมูลตำแหน่ง มาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น

- ระบบนำร่อง (Navigation System)

- ระบบติดตามยานพาหนะ (Automatic Vehicle Location)

- การสำรวจพื้นที่ (Survey)

- การทำแผนที่ (Mapping)

- การกำหนดพิกัดของสถานที่ต่าง ๆ การทำแผนที่ งานสำรวจ โดยส่วนใหญ่นิยมใช้อุปกรณ์ที่สามารถพกพาไปได้ง่าย มีความทนทาน กันน้ำได้ สามารถใช้กับถ่านไฟฉายขนาดมาตรฐานได้

- การนำทาง ได้รับความนิยมนอย่างกว้างขวางมีหลากหลายแบบและขนาด สามารถนำทางได้ทั้ง ภาพและเสียง ใช้ได้หลายภาษาบางแบบมีภาพเสมือนจริง ภาพสามมิติ และประสิทธิภาพอื่น ๆ เพิ่มเติมเช่น Multimedia Bluetooth hand free เป็นต้น

- การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เครือข่ายหมุดดาวเทียมจีพีเอสของกรมที่ดิน (DOLVRS)

- การกำหนดจุดเพื่อบรรเทาสาธารณภัย เช่น เสื่อกักชูชีพที่มีเครื่องส่งสัญญาณจีพีเอส

- การวางแผนสำหรับการจัดส่งสินค้า

- การนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการยุติธรรม เช่นการติดตามบุคคล การติดตามการค้า ยาเสพติด

- การนำไปใช้ประโยชน์ทางทหาร ดูรายละเอียดเกี่ยวกับอนาคตจีพีเอสทางทหารจากกระทรวง กลาโหมสหรัฐที่นี่ The Future of the Global Positioning System

- การกีฬา เช่น ใช้ในการฝึกฝนเพื่อวัดความเร็ว ระยะทาง แคลอรีที่เผาผลาญหรือใช้ในสนามกอล์ฟคำนวณระยะจากจุดที่อยู่ถึงหลุม

- การค้นหาการเช่น กำหนดจุดตกปลา หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกปลา การวัดความเร็ว ระยะทาง บันทึกเส้นทาง เครื่องบินหรือรถบังคับวิทยุ

- ระบบการควบคุมหรือติดตามยานพาหนะ การติดตามบุคคล เพื่อให้ทราบว่ายานพาหนะอยู่ที่ใด มีการเคลื่อนที่หรือไม่ มีการแจ้งเตือนให้กับผู้ติดตามเมื่อมีการเคลื่อนที่เร็วกว่าที่กำหนดหรือเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่หรือเข้าสู่พื้นที่ที่กำหนด นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้ในการป้องกัน การโจรกรรมและติดตามทรัพย์สิน

- การนำข้อมูลจีพีเอสมาประกอบกับภาพถ่ายเพื่อการท่องเที่ยว การทำรายงานกิจกรรม เป็นต้น โดยจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมติดตั้งอยู่กับกล้องบางรุ่น หรือการใช้ GPS Data Logger ร่วมกับ Software

- การประยุกต์ใช้งานกับการดำรงชีวิต มีการนำจีพีเอสมาใช้ประโยชน์ในการเดินทาง ไม่ว่าจะเป็นทางรถยนต์ ที่ผู้ผลิตรถยนต์หลายๆ ยี่ห้อ ได้ติดตั้งอุปกรณ์จีพีเอสไว้บนตัวรถ ทำงานร่วมกับแผนที่ประเทศไทย และแผนที่เมืองต่าง ๆ บนโลก เพื่อระบุตำแหน่งของรถยนต์บนแผนที่นั้น ก่อให้เกิดประโยชน์ในการเดินทาง การค้นหาสถานที่ไปยังจุดหมายที่ต้องการได้แม่นยำและรวดเร็ว ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถพัฒนาไป ถึงการแก้ไขปัญหาจราจร ที่ส่วนหนึ่งเกิดจากผู้ขับขี่ที่ไม่ชำนาญเส้นทาง จนทำให้ขับขี่ได้ช้าลง หรือหลงทางได้

- ประยุกต์ใช้ในการเดินทางโดยจักรยาน ซึ่งสามารถบันทึกเส้นทางที่เราต้องการเดินทางไป หรือนำไปยังเส้นทางที่คนอื่นได้บันทึกไว้แล้ว ยิ่งไปกว่านั้น ยังสามารถบอกถึงทิศทางที่จะต้องไป ระยะทางที่เหลือ และระยะทางที่จะถึงปลายทางด้วย (ขึ้นกับคุณสมบัติของอุปกรณ์จีพีเอส)

- ประยุกต์ใช้ในการเดินป่า โดยใช้ฐานคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละรุ่น เช่น การเก็บระยะทางโดยรวม นาฬิกา เข็มทิศ เวลาพระอาทิตย์ขึ้น-ตก เป็นต้น หรือแม้แต่การติดตามตัวก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

จะเห็นว่าประโยชน์ของจีพีเอสมีมากมายหลากหลาย ขึ้นกับว่าจะนำไปประยุกต์ใช้ในทางที่ก่อให้เกิดประโยชน์กับตัวเรา หรือในเชิงธุรกิจ อีกทั้งอุปกรณ์จีพีเอสยังสามารถหาซื้อได้ง่าย หลากหลายรุ่น หลากหลายราคา และหลากหลายฟังก์ชันการใช้งานตามความต้องการที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้อีกด้วย

2.5 เข็มทิศดิจิทัล

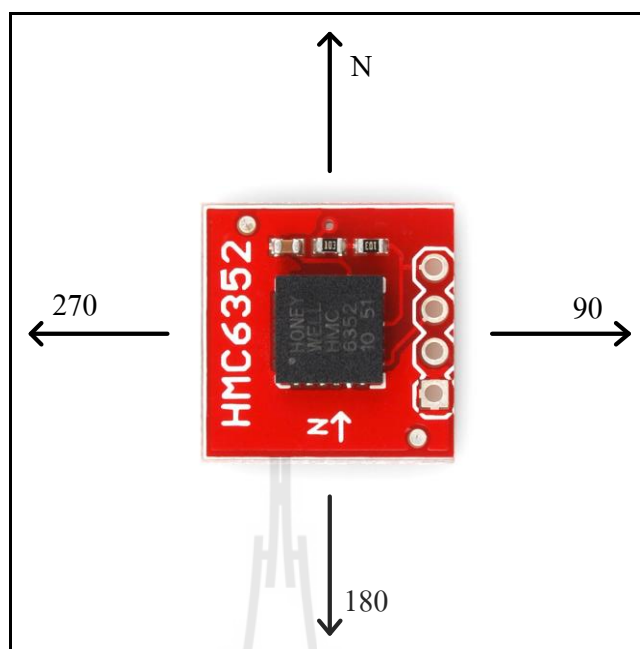
2.5.1 เข็มทิศ (Compass)

เข็มทิศ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการหาแนวทิศเหนือ (ทิศเหนือแม่เหล็ก) ประวัติผู้คิดประดิษฐ์เข็มทิศขึ้นเป็นคนแรกนั้น ไม่มีใครทราบ แต่มีหลายประเทศที่อ้างว่าคนในประเทศตนเองเป็นผู้คิดขึ้น เราทราบกันว่าในเทือกเขาบูราล ทางภาคตะวันออกของยุโรปมีหินประหลาดชนิดหนึ่ง ซึ่งคนในสมัยนั้นคิดว่าเป็นหินศักดิ์สิทธิ์เพราะมันมีอำนาจดึงดูดเหล็กได้ และเมื่อทำเป็นแท่งแขวนไว้มันจะแกว่งไกวไปมาแล้วหยุดอยู่ในแนวหนึ่งเสมอ จึงเรียกกันว่า หินนำทาง (Lodestone or Leadstone) จากการค้นพบนี้จึงได้มีการประดิษฐ์เข็มทิศขึ้น

การทำงานของเข็มทิศสัมพันธ์กับการทำงานของแม่เหล็ก คือ ปลายข้างหนึ่งจะชี้ไปทางทิศเหนือเสมอ เรียกว่า ปลายชี้เหนือ ส่วนอีกปลายหนึ่งจะชี้ไปตรงกันข้าม ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโลกมีคุณสมบัติเหมือนแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่ มีขั้วแม่เหล็ก โลกเหนือ (North magnetic pole) อยู่ที่ชายฝั่งทางเหนือของเกาะ 프린ซ์ ออฟ เวลส์ (Prince of Wales) ในแคนาดาเหนือคอยส่งอำนาจดึงดูดให้ปลายชี้เหนือของแม่เหล็กชี้ไปทางนั้น ส่วนทางขั้วแม่เหล็กโลกใต้ (South magnetic pole) อยู่ที่บริเวณ เซาท์ วิกตอเรียแลนด์ (South Victoria Land) ในทวีปแอนตาร์กติกา ตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กโลกมิได้อยู่คงที่เสมอไป มันเคลื่อนที่ไปมาได้ในแต่ละปี เมื่อเป็นเช่นนี้ขั้วเหนือของแม่เหล็กก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ว่าเพียงปีละเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อหลายปีเข้าก็สามารถคำนวณได้ว่าเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร

2.5.2 เข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass)

เข็มทิศ ดิจิตอล เป็นอุปกรณ์ใช้ตรวจจับสนามแม่เหล็กโลก พอมาถึงยุคดิจิทัลที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็เล็กลง เข็มทิศก็มีการพัฒนาจนกลายเป็นมอดูลขนาดเล็ก ๆ เพียง 6 x 6 mm. เท่านั้นเอง ซึ่งเล็กมาก ๆ สามารถนำไปติดตั้งที่อุปกรณ์เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือว่ายานพาหนะใช้สำหรับนำทางหรือติดตามได้โดยสะดวก ในส่วนของงานวิจัยนี้ได้ นำ มอดูลเข็มทิศ (Compass Module HMC6352) ใช้การเชื่อมต่อข้อมูล แบบ I2C 2 wire serial interface ใช้ไฟได้ตั้งแต่ 2.7 V – 5 V ซึ่งสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ มอดูล HMC6352 นี้ทำหน้าที่บอกทิศทางแบบ อะซิมุท (Azimuth) ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดขึ้นมาเพื่อใช้ในการบอกทิศทาง คือวัดขนาดของมุมทางราบ ที่วัดจากแนวทิศเหนือหลักเวียนตามเข็มนาฬิกามาบรรจบกับแนวเป้าหมายที่ต้องการ ทิศทางอะซิมุทนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา และเมื่อวัดมุมจากเส้นฐานทิศเหนือหลักชนิดใดก็เรียกทิศเหนือตามหลักนั้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 มอดูลเข็มทิศ (Compass Module HMC6352)

2.6 เครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียม (Neural network) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ที่เน้นด้านการคำนวณ และได้รับแรงบันดาลใจจากโมเดลทางชีวภาพ โดยมีความพยายามที่จะลอกเลียนความสามารถของสมองมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น พัฒนาการด้านสมองของเด็กตั้งแต่แรกเกิดจนถึงสามปีที่ในระยะเริ่มต้นของวัยนี้ เด็กจะเรียนรู้ว่าผู้ใดคือพ่อแม่ หรือคนแปลกหน้าในระยะต่อมาจะเริ่มตอบสนองเมื่อถูกเรียกชื่อ รู้จักแยกแยะสี และสิ่งของต่าง ๆ เริ่มเปล่งเสียงพูดเป็นคำ และเริ่มแสดงความคิดเห็น เป็นต้น จากลักษณะดังกล่าว จะเห็นว่าความสามารถในการเรียนรู้ของสมองมนุษย์มีการพัฒนาขึ้นตามลำดับ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์จะพบว่ามีการทำงานตามคำสั่งอย่างตรงไปตรงมาเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เปิดแฟ้มข้อมูล การใช้อินเตอร์เน็ต และสืบค้นข้อมูล เป็นต้น การทำงานดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะให้เครื่องแสดงความคิดเห็น หรือวิพากษ์วิจารณ์เกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ ได้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการทำงานของสมองมนุษย์มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งนักประสาทวิทยาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันได้พยายามศึกษาค้นคว้ามาอย่างต่อเนื่องที่จะสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะการประมวลผล คล้ายการทำงานของสมองมนุษย์และผลการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมา ส่วนหนึ่งก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ได้ อย่างเป็นประโยชน์อย่างมากมาย รูปแบบของเครือข่ายประสาทเทียมเป็นความก้าวหน้าอย่างหนึ่ง

ของความพยายามที่จะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันให้สามารถทำนายสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเครือข่ายประสาทเทียมสามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนำเข้า (input) และข้อมูลส่งออก (output) ได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่เป็นข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกมาก่อน

2.6.1 ประวัติความเป็นมาของเครือข่ายประสาทเทียม

ปี พ.ศ. 2486 ถือได้ว่าเป็นปีแห่งการกำเนิดของสาขาเครือข่ายประสาทเทียมในวงการวิทยาศาสตร์ โดยแม็คคัลลอค (McCulloch) และพิตส์ (Pitts) ได้เสนอแบบจำลองของเซลล์ประสาท และได้แสดงให้เห็นว่าในทางทฤษฎีนั้น เครือข่ายของแบบจำลองเซลล์ประสาทสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ต่อมาปี พ.ศ. 2492 โดแนลด์ เฮบบ์ (DonaldHebb) ได้เสนอผลงานวิจัยว่า การเรียนรู้ของสมองสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบของการประกอบเซลล์ประสาทเข้าด้วยกันเป็นเครือข่าย และได้เสนอกฎการเรียนรู้ของเฮบบ์ (Hebb's rule) ที่ทำให้เครือข่ายของเซลล์ประสาทเทียมที่แม็คคัลลอคและพิตส์เสนอไว้ สามารถเรียนรู้ปัญหาต่าง ๆ ได้สำเร็จ การเรียนรู้ในรูปแบบของเฮบบ์บนเซลล์ประสาทเทียมของแม็คคัลลอคและพิตส์นั้น เป็นการเรียนรู้แบบ “ไม่มีผู้สอน” ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเครือข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้ จะพยายามจัดกลุ่มข้อมูลที่เครือข่ายมองว่าคล้ายคลึงกัน ไปไว้ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งไม่เหมาะสมกับปัญหาประเภทที่ต้องมีการควบคุมกระบวนการเรียนรู้

ขณะที่ในช่วงปี พ.ศ. 2490 คอมพิวเตอร์ที่ทำงานเลียนแบบสมองเครื่องแรกของโลกถูกสร้างและทดสอบ โดยมินสกี (Minsk) ซึ่งได้เสนอผลงานดังกล่าวในปี พ.ศ. 2511 ว่าเมื่อคอมพิวเตอร์ดังกล่าวได้รับการป้อนตัวอย่างสำหรับการเรียนรู้เข้าไป ก็จะสามารถปรับอัตราการขยายสัญญาณในการเชื่อมโยงหรือ “ความแข็งแรงของการเชื่อมโยง” ระหว่างเซลล์ประสาทเทียมได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการแสดงการเรียนรู้ตัวอย่างที่ถูกป้อนเข้าไป

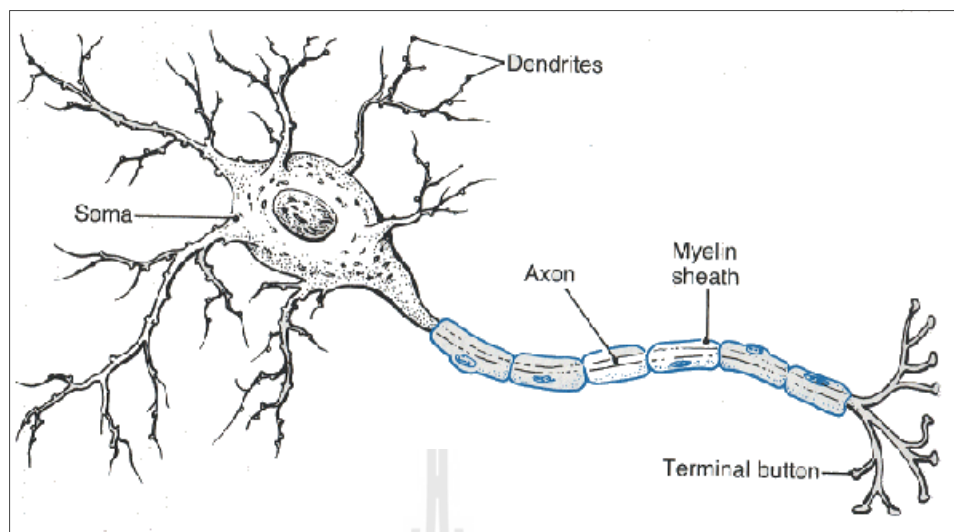
ในปี พ.ศ. 2501 (Garson, 1998) แฟรงค์ โรเซ็นแบลทท์ (Frank Rosenblatt) ได้พัฒนาลักษณะเครือข่ายประสาทเทียมขึ้นโดยใช้แบบจำลองของแม็คคัลลอคและพิตส์เป็นแนวทางรวมทั้งเสนอวิธีการเรียนรู้แบบใหม่สำหรับลักษณะเครือข่ายประสาทเทียมด้วย เครือข่ายประสาทเทียมดังกล่าวเรียกว่า เพอร์เซพตรอน (Perceptron) ซึ่งมีการเรียนรู้แบบ “มีผู้สอน” (supervised learning) โดยใช้การปรับความแข็งแรงของการเชื่อมโยง ซึ่งจะพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบความรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมกับความรู้ของ “ผู้สอน” (teacher) เพอร์เซพตรอนมีความเหมาะสมกับงานประเภท “การระบุชนิด” ซึ่งในระหว่างการเรียนรู้นั้น เพอร์เซพตรอนจะถูกสอนว่าข้อมูลตัวอย่างที่สอนเข้าไปแต่ละแบบนั้นจัดเป็นชนิดใดบ้างหากปัญหาและข้อมูลตัวอย่างมีความเหมาะสมเพอร์เซพตรอนจะสามารถระบุชนิดของข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนได้ถูกต้อง

ในช่วงปี พ.ศ. 2500 เบอรรนาร์ด วิโดรว (Bernard Widrow) และ มาร์เซียน ฮอฟฟ์ (Marcelian Hoff) ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า อดาไลน์ (ADALINE; Adaptive Linear combiner) และ กฎการเรียนรู้แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง เรียกว่ากฎการเรียนรู้ของวินโดรว-ฮอฟฟ์ (Widrow-Hoff learning rule) ที่เป็นการเรียนรู้แบบ “มีผู้สอน” ซึ่งในเวลาต่อมา อุปกรณ์ดังกล่าวได้รับการขยายแนวคิดไปเป็นมาดาไลน์ (MADALINE, Many ADALINEs) และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการรู้จำรูปแบบ (pattern recognition) การพยากรณ์อากาศ และระบบควบคุมที่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบไปตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

2.6.2 ความหมายและหลักการของเครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียม คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ โดยที่เครือข่ายประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) และจุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (Synapses) โดยโครงสร้างของการส่งสัญญาณประสาทประกอบจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทหลายพันล้านเซลล์ เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ประกอบด้วยแขนงรับสัญญาณประสาทซึ่งเป็นเสมือนหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้า เรียกว่า “เดนไดรต์” (dendrites) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทในการส่งสัญญาณประสาทซึ่งเป็นเสมือนหน่วยส่งข้อมูลออกของเซลล์ เรียกว่า “แอกซอน” (axon) โดยการส่งสัญญาณประสาทดังกล่าว อาจทำให้เกิดได้ทั้งการกระตุ้นและยับยั้ง ทั้งนี้ นอกจากลักษณะดังกล่าวแล้ว วิธีการประมวลผลภายในเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ยังมีการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณอีกด้วย โดยสัญญาณจากเดนไดรต์ต่าง ๆ จะรวมกันเข้าสู่เซลล์ประสาท และหากสัญญาณรวมมีความแรงเกินค่าระดับ (threshold) ของเซลล์ประสาทรานั้น ๆ เซลล์ประสาทก็จะส่งสัญญาณออกทางแอกซอนต่อไป

กระบวนการเรียนรู้ในสิ่งมีชีวิตจะมีผลให้เกิดการสร้างไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทขึ้นมาใหม่ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของไซแนปส์ต่าง ๆ ในเครือข่ายของเซลล์ประสาท เครือข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้ทำงานแบบเป็นลำดับขั้นตอน (sequential) แต่เพียงอย่างเดียว แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างระบบประสาท (ภาพจาก <http://www.mindcreators.com/NeuronBasics.htm>)

เครือข่ายประสาทเทียมมีคุณลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองของมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (learning process) และความรู้เหล่านี้จะจัดเก็บอยู่ในเครือข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ เข้าไป ค่าน้ำหนักทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์ การประมวลผลต่าง ๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อย เรียกว่า โหนด (node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณ (signal) ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน (connection) จำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ ดังรูปที่ 2 เครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. ข้อมูลป้อนเข้า (input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่เครือข่ายประสาทเทียมยอมรับได้
2. ข้อมูลส่งออก (output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (actual output) จากกระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม
3. ค่าน้ำหนัก (weights) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation function: S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า (input) และค่าน้ำหนัก (weights)

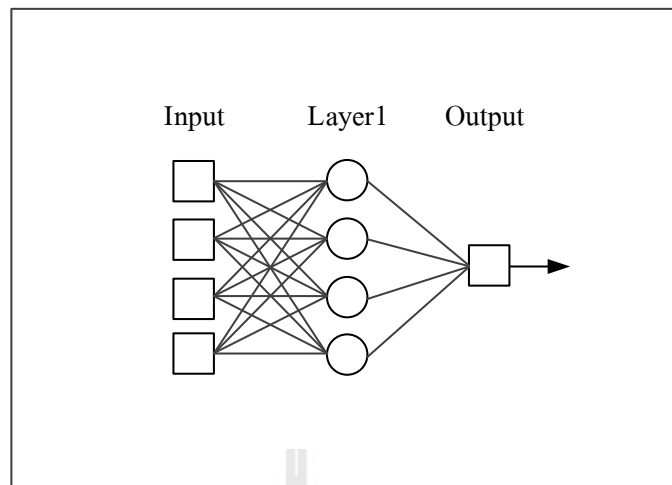
5. ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (sigmoid function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function) เป็นต้น

2.6.3 ลักษณะของเครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียม หรือโหนดจำนวนมาก เชื่อมต่อกันซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกว่า ชั้น (layer) ชั้นแรก เป็นชั้นนำข้อมูลเข้า เรียกว่า ชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (input layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่าชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเรียกว่า ชั้นแอบแฝง (hidden layer) ซึ่งโดยทั่วไปชั้นแอบแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถแบ่งประเภทของเครือข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของเครือข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ ได้แก่ เครือข่ายแบบชั้นเดียว (single layer) และ เครือข่ายแบบหลายชั้น (multi-layer)

2.6.3.1 เครือข่ายแบบชั้นเดียว

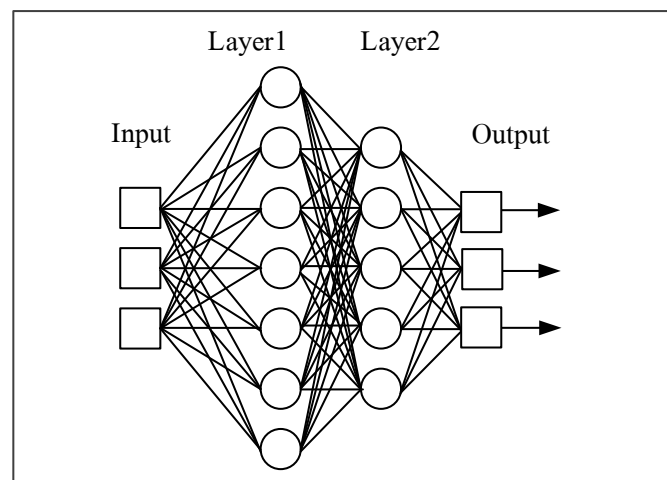
เครือข่ายแบบชั้นเดียว เป็นเครือข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่มีเพียงชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเท่านั้น โหนดในชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า (input value) แล้วส่งข้อมูลผ่านเส้นเชื่อมโยงต่าง ๆ ไปให้โหนดในชั้นส่งข้อมูลออก ความเข้มของสัญญาณ หรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโยง โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะนำข้อมูลที่ได้รับมาคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ที่เหมาะสมกับปัญหา แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลส่งออก เช่น เครือข่ายแบบชั้นเดียวแบบเพอเซปตรอนอย่างง่าย (simple perceptron) และ เครือข่ายโฮปฟิลด์ (hopfield networks) ลักษณะเครือข่ายแบบชั้นเดียวแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

2.6.3.2 เครือข่ายแบบหลายชั้น

เครือข่ายแบบหลายชั้น เป็นเครือข่ายที่มีชั้นแอบแฝงตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป เครือข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่ปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งเครือข่ายแบบชั้นเดียวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จึงเพิ่มจำนวนโหนดที่มีการคำนวณหรือชั้นแอบแฝงให้กับเครือข่าย ตัวอย่างของเครือข่ายแบบหลายชั้นเช่น การแพร่ย้อนกลับ (back propagation) แผนที่จัดการกลุ่มเอง (self-organizing maps) และ counter propagation เป็นต้น ลักษณะโครงสร้างเครือข่ายแบบหลายชั้นแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

2.6.4 ประเภทของการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม

2.6.4.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning)

ข้อมูลจะประกอบด้วยตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการสอน และผลลัพธ์ที่ต้องการให้เครือข่ายสร้าง เมื่อมีการนำข้อมูลในลักษณะเดียวกันมาเป็นข้อมูลป้อนเข้า เครือข่ายจะกำหนดค่าผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว เครือข่ายจะนำค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าผลลัพธ์ที่ได้ มาใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด ถ้าหากเปรียบเทียบกับมนุษย์จะเหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยให้คำแนะนำ ตัวอย่างแบบจำลองนี้ได้แก่ การแพร่ย้อนกลับ และเพอเซปตรอน (perceptron) เป็นต้น

2.6.4.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)

การเรียนรู้แบบนี้จะสอนเครือข่ายโดยการนำข้อมูลป้อนเข้าอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียว ไม่มีการส่งค่าผลลัพธ์เป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว การปรับน้ำหนักจะใช้ข้อมูลที่นำมาสอนเป็นตัวปรับค่า โดยค่าน้ำหนักจะปรับตามกลุ่มที่ข้อมูลป้อนเข้าที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันถ้าหากเปรียบเทียบกับมนุษย์จะเหมือนกับการที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้ด้วยตนเอง ตัวอย่างแบบจำลองนี้ได้แก่ Counter propagation แบบจำลองอะแดปทีฟรีโซแนนซ์เทียรี (Adaptive Resonance Theory neural networks) เป็นต้น

2.6.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายประสาทเทียม

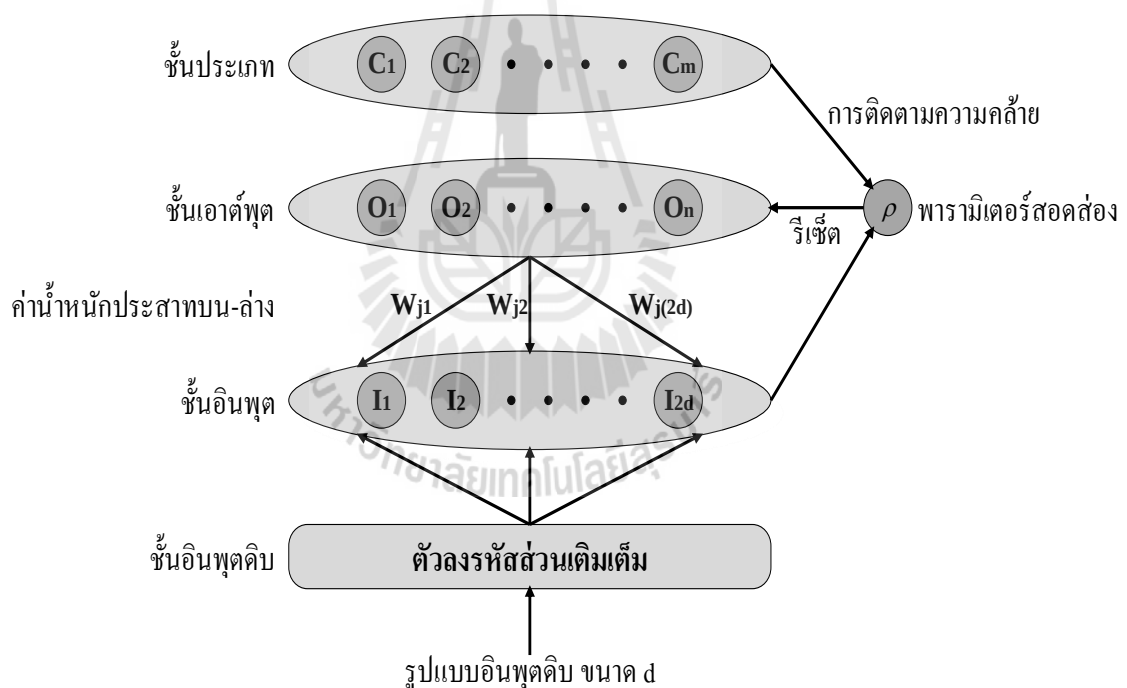
เครือข่ายประสาทเทียมเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้ความรู้จากหลากหลายสาขามารวมเข้าด้วยกัน นับว่าเป็นศาสตร์ที่กำลังมีบทบาทอย่างยิ่งในปัจจุบัน กล่าวโดยสรุปเครือข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การจำแนกรูปแบบ (pattern recognition) เช่น การมองเห็นวัตถุ หรือการวิเคราะห์เสียงพูดเพื่อแปลความหมาย
2. การทำนาย (prediction) หรือการพยากรณ์ (forecasting) เช่น การทำนายราคาหุ้นของตลาดหลักทรัพย์ การพยากรณ์อัตราการไหลของน้ำ การพยากรณ์ราคาสินค้า เป็นต้น
3. การควบคุม (control) เช่น การควบคุมระบบของเครื่องปรับอากาศ การควบคุมระบบเครื่องยนต์ และการควบคุมหุ่นยนต์ เป็นต้น
4. การหาความเหมาะสม (optimization) เช่น การเลือกกระยะทางที่ใกล้ หรือสั้นที่สุดในการเดินทาง (shortest path)

5. การจัดกลุ่ม (clustering) และการจัดหมู่ (categorization) เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพถ่ายทางอากาศ

2.7 การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย

การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplified Fuzzy ARTMAP: SFAM) เป็นเครือข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่ง ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซี (Fuzzy Artmap: FAM) คิดค้นโดย Kasuba (T. Kasuba, 1993) โดยสถาปัตยกรรม SFAM จะถูกลดความซ้ำซ้อน (redundancy) ของสถาปัตยกรรมทำให้มีความเร็วในการคำนวณที่เร็วกว่า FAM สถาปัตยกรรม SFAM โดยพื้นฐานมีชั้นเครือข่ายสองชั้น คือ ชั้นอินพุต (input layer) และชั้นเอาต์พุต (output layer) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างสถาปัตยกรรมการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย

เมื่อมีการป้อนข้อมูลอินพุตดิบไปยังเครือข่าย ข้อมูลอินพุตดิบจะถูกส่งไปยังตัวแปลงรหัสส่วนเติมเต็ม (complement coder) ซึ่งอินพุตที่ถูกแปลงรหัสส่วนเติมเต็ม จะขยายออกเป็นสองเท่าของขนาดเดิม อินพุตเวกเตอร์ที่ถูกแปลงรหัสส่วนเติมเต็ม เรียกว่า I และจะถูกส่งไปยังชั้นอินพุต ในส่วนค่าน้ำหนักประสาท (weights) มาจากแต่ละจุดของประเภทเอาต์พุต (output nodes) ซึ่งเคลื่อนที่ลงมา

ในชั้นอินพุต ในขณะที่ชั้นประเภท (category layer) เป็นชั้นที่มีจำนวนประเภทซึ่งมาจากเครือข่ายที่ได้รับการเรียนรู้ พารามิเตอร์สอดส่อง (vigilance parameter: ρ) และการติดตามความคล้าย (match tracking) เป็นกลไกของสถาปัตยกรรมในเครือข่ายซึ่งใช้ก่อนการทดสอบเครือข่าย ในการทดสอบเครือข่ายจะกำหนดค่า ρ ซึ่งค่าที่กำหนดสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดย ρ จะไปควบคุมขนาดของชั้นเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่การปรับ ρ ให้มีค่าสูงทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพในการจำแนกที่ดีขึ้น ในขณะที่กลไกการติดตามความคล้ายจะแสดงการทำงานตามการปรับค่า ρ เช่น เมื่อจุดเอาต์พุตที่ถูกเลือกไม่สามารถนำไปแทนประเภทเอาต์พุตที่เหมือนกันได้ ทำให้มีการเรียกใช้งานการติดตามความคล้ายเกิดขึ้น

2.7.1 กระบวนการฝึกสอน (Training procedure)

กระบวนการฝึกสอนของ SFAM (S. Rajasekaran and G.A.V. Pai, 2006) มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สอดส่องให้มีค่า $0 < \rho < 1$
2. จากค่าองค์ประกอบหลัก (a_i) ที่ได้จากการฉายเวกเตอร์ลักษณะนำไปเป็นอินพุตของเครือข่าย จะได้ $I_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{id})$ ของมิติ d และเป็นอินพุตของประเภท C_i
3. คำนวณอินพุตเวกเตอร์แต่งเติม (augmented input vector)

$$I_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{id}, 1-a_{i1}, 1-a_{i2}, \dots, 1-a_{id}) \quad (2.3)$$

4. ถ้า I_i เป็นอินพุตแรกของเครือข่ายจะถูกกำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักประสาทบน-ล่าง (top-down weight)

5. คำนวณหาฟังก์ชันการทำงาน (activation function)

$$T_j(I_i) = \frac{|I \wedge W_j|}{\alpha + |W_j|} \quad (2.4)$$

เมื่อ W_j คือ ค่าน้ำหนักประสาทบน-ล่าง (top-down weight)

α คือ ค่าที่เข้าใกล้ศูนย์โดยปกติมีค่าประมาณ 0.0000001

6. หาผู้ชนะจากค่าฟังก์ชันการทำงานที่สูงที่สุด

$$T_k(I_i) = \max_j T_j(I_i) \quad (2.5)$$

ในการป้อนอินพุตตัวแรก จะข้ามไปยังขั้นตอนที่ 9

7. คำนวณหาฟังก์ชันคล้าย (match function) ของผู้ชนะที่จุด k จาก

$$MF_k(I_i) = \frac{|I_i \wedge W_j|}{|I_i|} \quad (2.6)$$

8. ตรวจสอบเงื่อนไขเรโซแนนซ์

ถ้า $MF_k(I_i) > \rho$ และ C_i เป็นประเภทเดียวกันทำให้ C_k จะถูกเชื่อมโยง W_k ต่อมาทำการปรับปรุง (update) เวกเตอร์น้ำหนักประสาท ด้วยสมการ

$$W_j^{new} = \beta(I \wedge W_j^{old}) + (1 - \beta)W_j^{old} \quad (2.7)$$

เมื่อกำหนดให้ $\beta = 1$ จะได้

$$W_k^{new} = I \wedge W_k^{old} \quad (2.8)$$

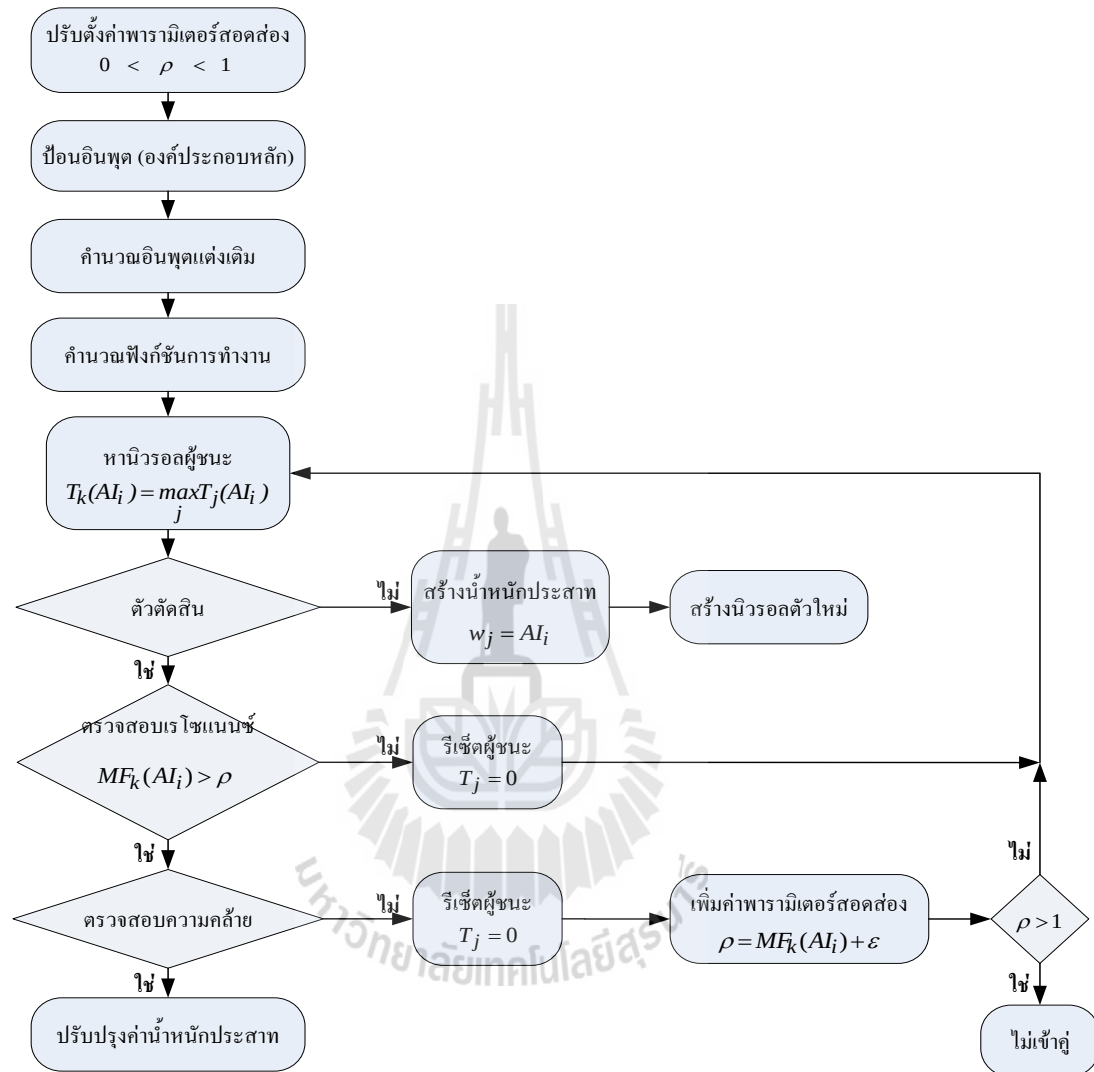
ถ้า $MF_k(I_i) > \rho$ และ C_i ไม่เป็นประเภทเดียวกันทำให้ C_k จะไม่ถูกเชื่อมโยงกับ W_k ดังนั้นต้องปรับค่า ρ ใหม่ ด้วยการเพิ่มค่า ε เพียงเล็กน้อยดังสมการ

$$\rho = MF_k(I_i) + \varepsilon \quad (2.9)$$

ต่อมารีเซ็ต (reset) ผู้ชนะตัวเก่าและย้อนไปยังขั้นตอนที่ 6 และหาผู้ชนะตัวถัดไป
ถ้า $\rho > 1$ ให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1

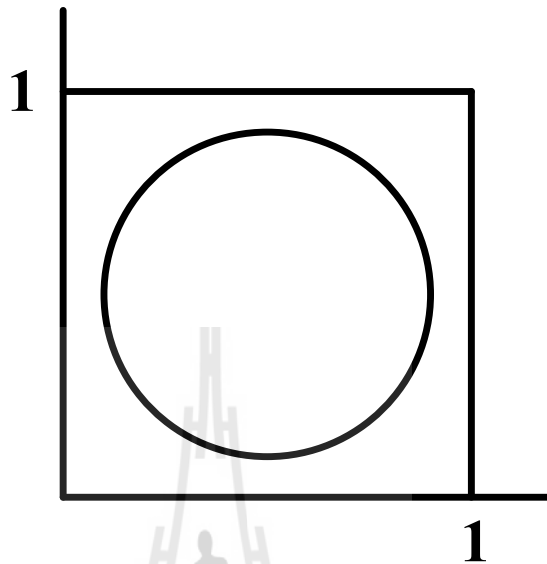
ถ้า $MF_k(I_i) > \rho$ จะรีเซ็ตผู้ชนะตัวเก่าและย้อนไปยังขั้นตอนที่ 6 และหาผู้ชนะตัวถัดไป

9. สร้างค่าน้ำหนักประสาทบน-ล่าง ของผู้ชนะที่จุด k



รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานของ การฝึกสอน SFAM

2.7.2 ตัวอย่างการทำงานของ SFAM



รูปที่ 2.17 ปัญหาวงกลมในสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตัวอย่างการทำงานของ SFAM สามารถจำลองการทำงานในรูปแบบปัญหาวงกลมในสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูปที่ 1 ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหามาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพสถาปัตยกรรมเครือข่ายนิวรอล ในการทดสอบประสิทธิภาพเครือข่าย SFAM เราจะนำอินพุตไปทำการฝึกสอน โดยจะกำหนดเป็นจุด (x, y) และมีประเภทด้วยกันสองประเภท คือ IN เป็นประเภทที่อยู่ภายในวงกลม และ OUT เป็นประเภทที่อยู่ภายนอกวงกลม ซึ่งประกอบด้วยการฝึกสอนและการวินิจฉัย (inferring) สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

1. การฝึกสอน (Training)

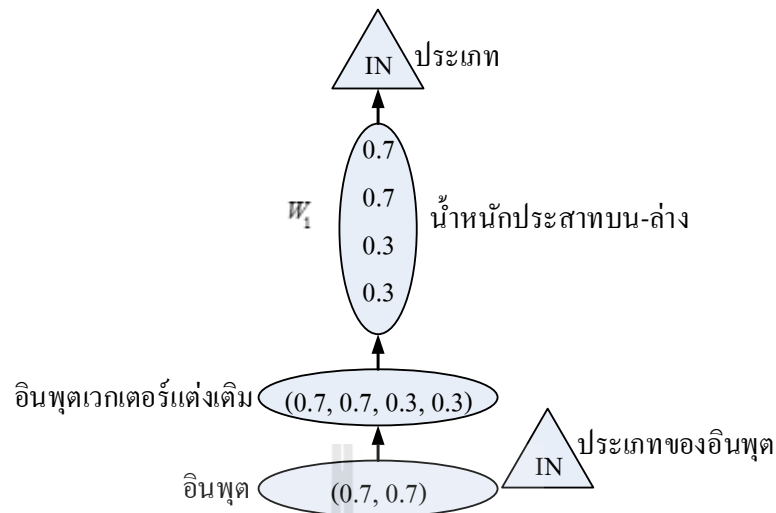
ตัวอย่างที่ 1.1 การฝึกสอนอินพุต $(0.7, 0.7)$ ประเภท IN

พิจารณาที่จุด $(0.7, 0.7)$ ให้เป็นอินพุต I ซึ่งอยู่ในประเภท IN

$$\text{ส่วนเติมเต็มของ } I = (1-0.7, 1-0.7) = (0.3, 0.3)$$

$$\text{อินพุตแต่งเติมของ } I = (0.7, 0.7, 0.3, 0.3)$$

เนื่องจาก I เป็นอินพุตแรกที่ป้อนให้กับเครือข่าย ดังนั้นค่าน้ำหนักประสาทบน-ล่างจะมีค่าเท่ากับอินพุตแต่งเติม นั่นคือ $W_1 = (0.7, 0.7, 0.3, 0.3)$ ในส่วนของฟังก์ชันการทำงานไม่ต้องคำนวณ เพราะว่าเป็นอินพุตประเภท IN ชุดแรกที่ถูกป้อนให้กับเครือข่าย ซึ่งสามารถแสดงเครือข่าย ดังรูปที่



รูปที่ 2.18 เครื่องมือการฝึกสอนของอินพุต (0.7, 0.7) ประเภท IN

ตัวอย่างที่ 1.2 การฝึกสอนอินพุต (0.3, 0.8) ประเภท IN

พิจารณาที่จุด (0.7, 0.7) ให้เป็นอินพุต I ซึ่งอยู่ในประเภท IN

ส่วนเติมเต็มของ $I = (0.7, 0.2)$

อินพุตแต่งเติมของ $I = (0.7, 0.7, 0.3, 0.3)$

$$\text{ฟังก์ชันการทำงาน} = T_1(I) = \frac{|I \wedge W_1|}{\alpha + |W_1|} \quad (\text{เลือกค่า } \alpha = 0.0000001)$$

$$= \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.8 \\ 0.7 \\ 0.2 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}} = \frac{1.5}{0.0000001 + 2}$$

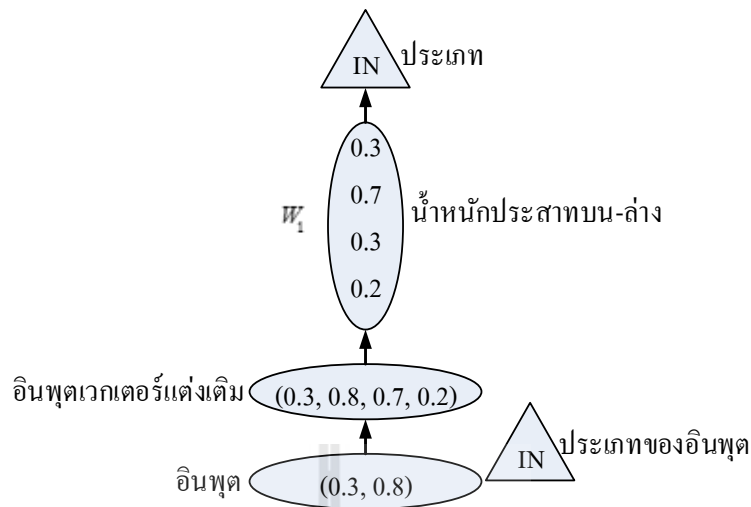
$$= 0.7499$$

$$\text{ฟังก์ชันคล้าย} = MF(I) = \frac{|I \wedge W_1|}{|I|} = \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.8 \\ 0.7 \\ 0.2 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}} = \frac{1.5}{2} = 0.75$$

การฝึกสอนของเครือข่ายนี้ กำหนดให้พารามิเตอร์สอดคล้องเท่ากับ 0.5 ($\rho = 0.5$) จากการหาฟังก์ชันคล้ายจะได้ค่ามากกว่าค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ดังนั้นอินพุต I ที่เป็นประเภท IN จุดนี้จะมีค่าน้ำหนักประสาท W_1 เหมาะสมเพียงพอต่อการเรียนรู้ สำหรับการปรับค่าน้ำหนักประสาทใหม่ แสดงไว้ในสมการที่ 2.7 ที่ค่า $\beta = 1$ จะได้

$$W_1^{new} = |I \wedge W_1^{old}| = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.8 \\ 0.7 \\ 0.2 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix} = (0.3, 0.7, 0.3, 0.2)$$

สามารถแสดงเครือข่ายได้แสดงดังรูปที่ 2.19

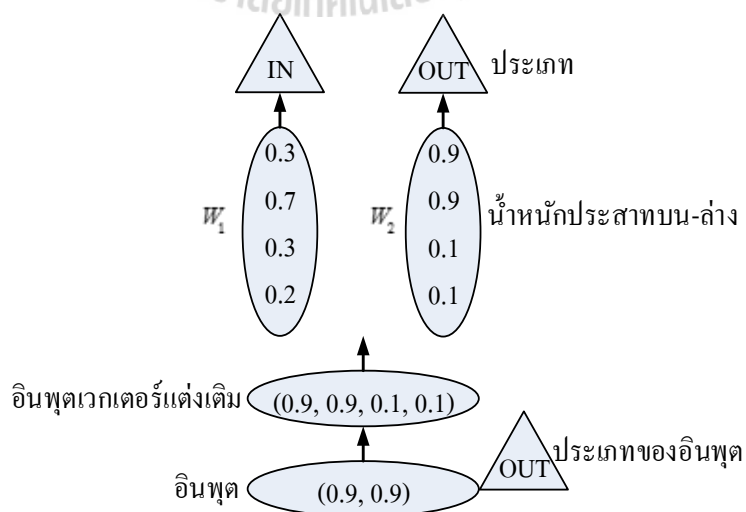


รูปที่ 2.19 เครื่องมือการฝึกสอนของอินพุต (0.3, 0.8) ประเภท IN

ตัวอย่างที่ 1.3 การฝึกสอนอินพุต (0.9, 0.9) ประเภท OUT

พิจารณาที่จุด (0.9, 0.9) ให้เป็นอินพุต I ซึ่งอยู่ในประเภท OUT

เนื่องจากอินพุตชุดนี้เป็นประเภทใหม่ ต้องคำนวณรอบใหม่ตั้งแต่ตัวอย่างที่ 1.1 โดยมีค่าน้ำหนักประสาทบน-ล่าง เป็น $W_2 = (0.9, 0.9, 0.1, 0.1)$ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1.1 อินพุตชุดนี้เป็นประเภท OUT ซึ่งเป็นข้อมูลชุดแรกของเครือข่าย ดังนั้นจึงไม่ต้องคำนวณฟังก์ชันการทำงาน โดยจะได้เครือข่ายแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เครื่องมือการฝึกสอนของอินพุต (0.9, 0.9) ประเภท OUT

ตัวอย่างที่ 1.4 การฝึกสอนอินพุต (0.7, 0.9) ประเภท OUT

พิจารณาที่จุด (0.7, 0.9) ให้เป็นอินพุต I ซึ่งอยู่ในประเภท OUT

ส่วนเติมเต็มของ $I = (0.7, 0.9)$

อินพุตแต่งเติมของ $I = (0.7, 0.9, 0.3, 0.1)$

เนื่องจากมีน้ำหนักประสาทด้วยกันสองโหนด จึงต้องทำการเลือกน้ำหนักประสาทดใดมีการเรียนรู้ที่เหมาะสมเพียงพอต่ออินพุตตัวใหม่ โดยการคำนวณฟังก์ชันการทำงานของน้ำหนักประสาทดทั้งสองว่าน้ำหนักประสาทดใดมีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_1(I) = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}} = \frac{1.4}{1.5000001} = 0.9333$$

$$T_2(I) = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{1.8}{2.0000001} = 0.8999$$

จากการคำนวณฟังก์ชันการทำงานของน้ำหนักประสาทดทั้งสองโหนด จะได้ค่าฟังก์ชันการทำงานที่ $w_1 > w_2$ ดังนั้น w_1 จึงถูกเลือกให้เป็นการเรียนรู้ใหม่และนำไปคำนวณฟังก์ชันคล้ายได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันคล้าย } (W_1) = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{1.4}{2} = 0.7$$

จากการคำนวณฟังก์ชันคล้ายมีค่ามากกว่าค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ($0.7 > 0.5$) แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า อินพุตชุดนี้กับน้ำหนักประสาทที่ได้ใช้คำนวณหาฟังก์ชันคล้ายมีประเภทที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าน้ำหนักประสาท W_1 จึงไม่เหมาะสมต่อการเรียนรู้ ก่อนที่จะไปกระบวนการต่อไปต้องมีการปรับปรุงพารามิเตอร์สอดคล้องตามสมการที่ 2.30 โดยกำหนดให้ $\epsilon = 0.001$ จะได้ $\rho^{new} = 0.701$

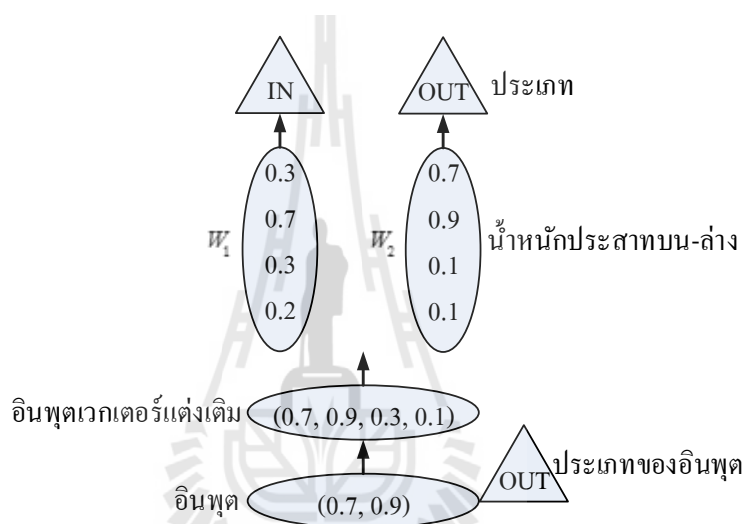
เนื่องจากน้ำหนักประสาท W_1 ไม่เหมาะสมต่อการเรียนรู้จึงต้องพิจารณาน้ำหนักประสาท W_2 ซึ่งสามารถคำนวณหาฟังก์ชันคล้ายได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันคล้าย } (W_2) = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{1.8}{2} = 0.9$$

จากการคำนวณ ฟังก์ชันคล้ายที่ W_2 มีค่ามากกว่าค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ($0.9 > 0.701$) ดังนั้น น้ำหนักประสาทที่ W_2 เหมาะสมต่อการเรียนรู้ ดังนั้นการปรับค่าน้ำหนักประสาทใหม่ จะได้

$$W_2^{new} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \end{bmatrix} = (0.7, 0.9, 0.1, 0.1)$$

สามารถแสดงเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.7, 0.9) ประเภท OUT

ตัวอย่างที่ 1.5 การฝึกสอนอินพุต (0.1, 0.3) ประเภท IN

พิจารณาที่จุด (0.1, 0.3) ให้เป็นอินพุต I ซึ่งอยู่ในประเภท IN

ส่วนเดิมเต็มของ $I = (0.1, 0.3)$

อินพุตแต่งเติมของ $I = (0.1, 0.3, 0.9, 0.7)$

คำนวณฟังก์ชันการทำงานของน้ำหนักประสาททั้งสอง

$$T_1(I) = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}} = \frac{0.9}{1.5000001} = 0.5999$$

$$T_2(I) = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{0.0000001 + \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}} = \frac{0.6}{1.8000001} = 0.3333$$

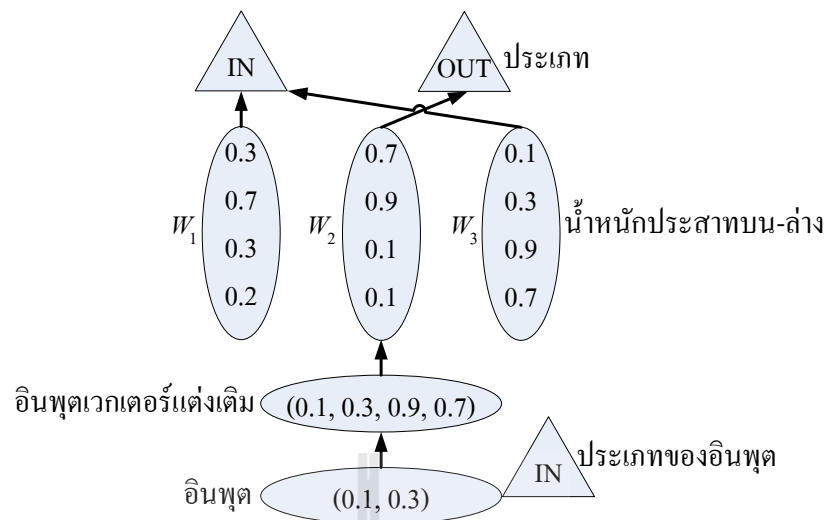
จากการคำนวณฟังก์ชันการทำงานของน้ำหนักประสาททั้งสองโหนด จะได้ค่าฟังก์ชันการทำงานที่ $w_1 > w_2$ ดังนั้น w_1 จึงถูกเลือกให้เป็นการเรียนรู้ใหม่และนำไปคำนวณฟังก์ชันคล้ายได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันคล้าย } (W_1) = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix}} = \frac{0.9}{2} = 0.45$$

จากการคำนวณ ฟังก์ชันคล้ายที่ W_1 มีค่าน้อยกว่าค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ($0.45 < 0.701$) ดังนั้น น้ำหนักประสาทที่ W_1 เหมาะสมต่อการเรียนรู้ ต้องไปพิจารณาที่น้ำประสาท W_2 จะได้

$$\text{ฟังก์ชันคล้าย } (W_2) = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.9 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.7 \end{bmatrix}} = \frac{0.6}{2} = 0.3$$

จากการคำนวณ ฟังก์ชันคล้ายที่ W_2 มีค่าน้อยกว่าค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ($0.3 < 0.701$) เช่นเดียวกับที่ W_1 ดังนั้นเครือข่ายนี้จะมีน้ำหนักประสาทบน-ล่างค่าใหม่โดยเรียกว่า W_3 ซึ่งอยู่ในประเภท IN มีค่าเป็น $W_3 = (0.1, 0.3, 0.9, 0.7)$ สามารถแสดงเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เครือข่ายการฝึกสอนของอินพุต (0.1, 0.3) ประเภท IN

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการนำเสนองานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้องกับระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่หรือวัตถุที่น่าสนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบและนำเทคนิคต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีผลงานวิจัยจำนวนมากที่ได้นำเสนอ วิธีการค้นหาสถานที่หรือวัตถุด้วยวิธีการต่าง ๆ และใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการฝึกสอนให้รู้จำสถานที่หรือวัตถุนั้น ๆ ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อได้ดังต่อไปนี้

2.8.1 ระบบการมองเห็นและการใช้เซ็นเซอร์ฟิวชัน

Cesar Cadena and Jose Neira ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการรู้จำสถานที่ โดยใช้ระบบ SLAM ซึ่งเป็นวิธีการระบุตำแหน่งพร้อมกับการสร้างแผนที่ จะใช้กล้องสเตอริโอ พิจารณาทั้งลักษณะรูปร่างและรูปทรงทางเรขาคณิตของวัตถุ มีกระบวนการที่สามารถรับรู้ได้ทั้งในระยะใกล้และระยะไกล โดยจะใช้วิธีการรู้จำแบบ BoW+CRFs โดยระบบ BoW เป็นโครงสร้างแบบถุงคำ (bag of words) ซึ่งโครงสร้างนี้จะเป็นการทำงานโดยนำภาพมาประมวลผลและทำการจำแนกลักษณะและสร้างแบบจำลองทางสถิติ คอนดิชันนอลแรนคอมฟิลด์ส (CRFs) และลักษณะรูปแบบของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการรู้จำสถานที่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปทั้งภายในและภายนอกอาคาร

Sei Ikeda, Tomokazu Sato, Koichiro Yamaguchi and Naokazu Yokoya ได้นำเสนอวิธีการสร้างลักษณะรูปแบบฐานข้อมูลที่ใช้ในการรู้จำสถานที่สำคัญ โดยการใช้กล้องวิดีโอที่สามารถมอง

เห็นได้รอบทิศทาง (Omnidirectional Videos) และได้้นำระบบจีพีเอสมาใช้ในการระบุตำแหน่งของสถานที่ ณ ตำแหน่งที่ทำการรู้จำ และลักษณะรูปแบบของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการรู้จำสถานที่ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง โดยสามารถรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบและตำแหน่งของสถานที่สำคัญนั้น ๆ

D. Sostaric, G.Martinovic and D.Zagar ได้นำเสนอวิธีการออกแบบชุดพื้นฐานในการสร้างรถไฟฟ้า 2 ล้อ (Segway) และการใช้เซ็นเซอร์ฟิวชันในการเชื่อมต่อระบบต่าง ๆ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังนำมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมในระบบ Android ที่สามารถแสดงสถานะการทำงานของยานพาหนะบนหน้าจอแสดงผลและแสดงตำแหน่งของยานพาหนะบนแผนที่และยังสามารถค้นหาเส้นทางไปยังเป้าหมายของการเดินทางได้อีกด้วย

Frank Ivis ได้เสนอบทความเกี่ยวกับ วิธีการคำนวณหาระยะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานและแนวความคิดที่ใช้ในวิธีการคำนวณ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สามารถยกตัวอย่างของการคำนวณได้ดังนี้ เช่น การหาระยะทางในสองมิติระหว่างจุดสองจุดบนพื้นที่ราบทางภูมิศาสตร์พร้อมกับสูตรการคำนวณที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้อย่างสะดวก

I-Sak Choi และ Jong-Eun Ha ได้เสนอวิธีการรู้จำสถานที่ด้วยกล้องเพียงหนึ่งตัว โดยจะใช้โมเดล Bag-of-Words (Bow) ในการรู้จำหมวดหมู่ของภาพในสภาพแวดล้อมของห้องที่แตกต่างกันออกไป และจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของแต่ละห้อง และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าห้องที่มีลักษณะที่เด่น คือห้องมีอุปกรณ์ที่อยู่ภายในค่อนข้างมากเช่น ห้องทำงาน (Work shop) มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องถึง 85% แตกต่างจากห้องครัวที่ลักษณะเด่นค่อนข้างน้อย โทนสีค่อนข้างจะเรียบ มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพียง 52%

Xuejie Zhang ได้เสนอวิธีการรู้จำสถานที่โดยใช้เซ็นเซอร์ฟิวชันและทำการฝึกสอนโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม เซ็นเซอร์ที่ใช้ประกอบไปด้วย กล้อง เข็มทิศ จีพีเอส และเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) โดยหลักการทำงานจะใช้ภาพจากกล้องและทิศทางมุมมองของภาพจากเข็มทิศ เป็นอินพุตให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมชนิด Fast Learning Artificial Neural Network (FLANN) ในการฝึกสอน และในส่วนอินพุตของภาพที่ใช้ในการฝึกสอนนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพโดยใช้โมเดล Bag-of-Words (Bow) ในการบ่งบอกลักษณะของภาพก่อนที่จะส่งต่อให้กับเครือข่ายประสาทเทียมในการรู้จำ สรุปผลของงานวิจัยนี้สามารถบ่งบอกตำแหน่งของสถานที่ได้เมื่อยานพาหนะได้เคลื่อนเข้ามายังตำแหน่งและทิศทางมุมมองของภาพเดิมที่เคยเรียนรู้และจดจำ

2.8.2 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

ในงานวิจัยนี้ได้้นำเครือข่ายประสาทเทียมที่มีชื่อเรียกว่า การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplifies Fuzzy ARTMAP) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกสอนชุดข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ฟิวชัน โดยเครือข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาจากเครือข่ายประสาทเทียมชนิด ทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว Adaptive Resonance Theory Network (ART) เป็นทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นโดย Stephen Grossberg และ Gail Carpenter โดยประเภทของเครือข่าย ART สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท โดยจะแตกต่างกันไปตามข้อมูลที่รับเข้ามาและรูปแบบของการเรียนรู้ สรุปโดยย่อ ๆ ดังต่อไปนี้

- เครือข่าย ART1 (Carpenter and Grossberg, 1987) เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด โดยจะรับข้อมูลอินพุตที่มีค่าเป็น 0 และ 1 เท่านั้น โดยข้อมูลอินพุตจะส่งให้ชั้นเปรียบเทียบตัดสินใจว่าข้อมูลอินพุตนั้นควรเป็นข้อมูลกลุ่มชุดข้อมูลใด

- เครือข่าย ART2 (Carpenter and Grossberg, 1987) เป็นระบบที่ทำการพัฒนาต่อจาก ART1 ให้สามารถรับข้อมูลเชิงอุปมาน (analog data) จึงมีโครงสร้างของระบบที่ซับซ้อนมากกว่า ART1 โดยที่ ART2 นั้นจะมีโครงสร้างเหมือนกับ ART1 ยกเว้นในชั้นเปรียบเทียบ จะทำการเพิ่มชั้นย่อย (sublayers) เพื่อให้สามารถรับข้อมูลแบบเชิงอุปมานได้ โดยข้อมูลอินพุตเชิงอุปมานนั้นมีขนาดใหญ่และมีความแตกต่างของข้อมูลมากกว่าข้อมูลอินพุตที่มีค่าเป็น 0 และ 1 เท่านั้น ที่ป้อนให้เครือข่าย ART1 ดังนั้นชั้นย่อยที่เพิ่มมาในชั้นเปรียบเทียบ จึงทำหน้าที่ย่อยข้อมูลขนาดใหญ่ให้เล็กลง

- เครือข่าย ARTMAP (Carpenter, Grossberg, and Reynolds, 1991) เป็นระบบที่มีผู้ฝึกสอน (supervised) และเสมือนมีเครือข่าย ART 2 ชุด โดยชุดแรกจะทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุต และชุดที่ 2 รับข้อมูลเอาต์พุตที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอินพุต ระบบจะทำการเรียนรู้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตกับเอาต์พุตนั้น โดยคำว่า ARTMAP นั้นมีความหมายว่า ระบบจะดำเนินการเรียนรู้เพื่อจับคู่หรือแมตช์ (match) ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ถูกต้อง โดยอินพุตก่อนเข้าเครือข่ายต้องผ่านการทำตัวเข้ารหัสแบบเติมเต็ม (Complement Coder) เพื่อปรับข้อมูลอินพุตให้มีขนาดเป็นสองเท่า ทำให้เครือข่ายสามารถพิจารณาขอบเขตของรูปแบบข้อมูลได้ครอบคลุมขึ้น จากนั้นส่งข้อมูลไปทำการเปรียบเทียบเพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด

- เครือข่าย Fuzzy ART หรือ Fuzzy ARTMAP (Carpenter, Grossberg, and Rosen, 1991) เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนามาจากเครือข่าย ART และเครือข่าย ARTMAP โดยนำตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) มารวมกับเครือข่าย ดังนั้นในการเปรียบเทียบข้อมูลอินพุตกับค่าน้ำหนักประสาทจึงใช้กฎตรรกศาสตร์มาพิจารณาด้วย

- เครือข่าย Simplifies Fuzzy ARTMAP (SFAM) เป็นเครือข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่ง

ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซี (Fuzzy Artmap) คิดค้นโดย (T. Kasuba, 1993) โดยสถาปัตยกรรม SFAM จะถูกลดความซ้ำซ้อนของสถาปัตยกรรม ทำให้มีความเร็วในการคำนวณที่เร็วกว่า FAM สถาปัตยกรรม SFAM โดยพื้นฐานมีชั้นเครือข่ายสองชั้นคือชั้นอินพุต (input layer) และชั้นเอาต์พุต (output layer)

ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยต่าง ๆ ได้นำเครือข่าย ART แต่ละประเภทนำไปอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและโครงสร้างเพื่อจะนำไปประยุกต์กับการใช้งานแต่ละประเภท และส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานเกี่ยวกับการรู้จำลักษณะเด่นของภาพ และในงานวิจัยนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ให้จํารูปแบบของชุดข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนและให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว

2.9 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยการเรียนรู้และจดจำสถานที่หรือวัตถุด้วยวิธีการต่าง ๆ และค้นหาสถานที่หรือวัตถุด้วยภาพหรือการนำเซ็นเซอร์แต่ละชนิดมาทำงานร่วมกัน โดยในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการและแนวความคิดที่จะนำเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิดมาใช้ในการค้นหาสถานที่ ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบจีพีเอส ที่ได้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของระบบจีพีเอส ที่จะนำไปใช้ในการค้นหาตำแหน่ง ตำแหน่งหาระยะทางและทิศทางของสถานที่โดยจะทำงานร่วมกันกับเข็มทิศดิจิทัล และในส่วนของการมองเห็นในงานวิจัยนี้ได้แนะนำแนวความคิดเกี่ยวกับมุมมองของภาพหรือขอบเขตที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้ เพื่อนำไประบุตำแหน่งของสถานที่หรือวัตถุที่กำลังค้นหา

ในส่วนของการงานวิจัยที่นำระบบเครือข่ายประสาทเทียมเข้ามาทำการฝึกสอนให้จดจำรูปแบบของชุดข้อมูลนั้นมีหลากหลายวิธีการ เช่น การใช้ภาพจากกล้องมาเป็นอินพุตในการฝึกสอน หรือการใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ฟิวชันมาเป็นอินพุต ซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมก็สามารถทำหน้าที่ในการเรียนรู้และจดจำได้เป็นอย่างดีในแต่ละรูปแบบของชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน หรือในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป แต่ในงานวิจัยบางอย่างจำเป็นต้องมีการจำกัดขอบเขตของงานวิจัยที่อาจจะส่งผลให้ข้อมูลอินพุตที่ส่งต่อไปให้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น สภาพแวดล้อมภายในอาคารอาจจะมีผลต่อการรับค่าสัญญาณของระบบจีพีเอส หรือในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ อาจทำให้มีผลต่อการรับภาพจากกล้อง สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อาจเป็นข้อจำกัดในการรับค่าอินพุตจากเซ็นเซอร์แต่ละชนิด ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียมลดลง ดังนั้น งานวิจัยและทฤษฎีดังกล่าวทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้และรู้ถึงขีดความสามารถและข้อจำกัดของเซ็นเซอร์แต่ละชนิด เพื่อทำให้งานวิจัยเกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดต่อไป

บทที่ 3

ระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

3.1 บทนำ

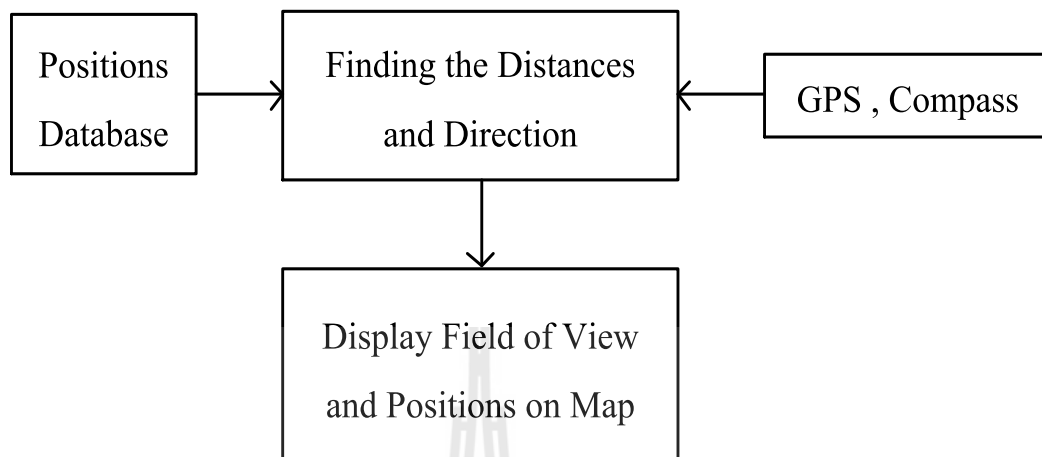
ระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน ซึ่งระบบจะมีหลักการทำงานโดยการรับค่าอินพุตมาจากเซ็นเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่ กล้อง จีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัล ระบบการทำงานจะใช้อัลกอริทึมในการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัติ โดยระบบการค้นหาสถานที่ที่จะทำการค้นหาและระบุตำแหน่งของสถานที่ด้วยระบบจีพีเอส ซึ่งเป็นระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลกและยังสามารถบอกถึงระยะทางและทิศทางของเป้าหมายที่ทำการค้นหาว่าทำมุมกี่องศากับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ในส่วนของการแสดงผลเมื่อเป้าหมายที่ทำการค้นหาปรากฏอยู่ในขอบเขตของจอแสดงผล ระบบจะสามารถตีกรอบแสดงขอบเขตของสถานที่นั้นได้ สำหรับในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเส้นทางรถและสถานที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการเก็บผลข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของชุดข้อมูลที่รับค่าจากเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลภาพ ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดและทิศทางรถเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ยานพาหนะต้นแบบที่ใช้สำหรับเก็บผลข้อมูลของงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ ตำแหน่งที่ 1 ติดตั้งกล้องรับภาพโดยใช้กล้องเพียงหนึ่งตัวและในตำแหน่งที่ 2 ติดตั้งจีพีเอสมอดูลและเข็มทิศดิจิทัลมอดูล



รูปที่ 3.1 ยานพาหนะต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัย

3.2 โครงสร้างของระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน



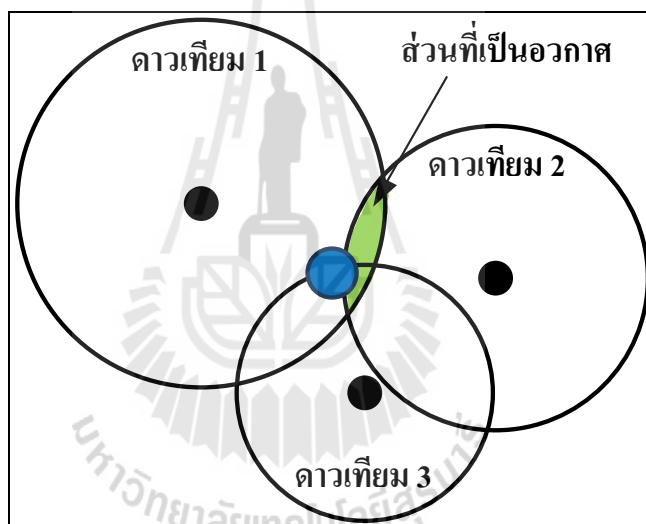
รูปที่ 3.2 โครงสร้างระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

รูปที่ 3.2 เป็นการแสดงโครงสร้างของระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน ซึ่งมีหลักการทำงานของระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 เป็นการค้นหาตำแหน่งของสถานที่ด้วยระบบจีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัล โดยระบบสามารถระบุตำแหน่ง ระยะทางและทิศทางของสถานที่ได้ สำหรับส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการแสดงผล โดยการนำภาพที่ได้จากระบบการมองเห็นมาทำการแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผล เพื่อใช้ในการแสดงผลขอบเขตของเป้าหมายที่ทำการค้นหานอกจากระบบสามารถแสดงมุมมองของภาพในการเคลื่อนที่แล้ว ระบบยังสามารถแสดงตำแหน่งของยานพาหนะและตำแหน่งของเป้าหมายที่ทำการค้นหานบนแผนที่แบบออฟไลน์ได้อีกด้วย

จากโครงสร้างของระบบมีหลักการทำงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยเริ่มจากการรับค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด) จากระบบจีพีเอสמודูล ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่เพื่อทำการคำนวณหาระยะทางและทิศทางของสถานที่ที่ทำการค้นหา และระบบจะนำทิศทางของเป้าหมายที่คำนวณได้มาทำการเปรียบเทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่รับค่ามาจาก เข็มทิศดิจิทัลมอดูลว่าทำมุมกี่องศา จากนั้นระบบจะทำการส่งค่าเอาต์พุตที่ได้ให้กับระบบการแสดงผล ถ้าเป้าหมายที่ทำการค้นหาอยู่ในขอบเขตมุมมองของภาพ ระบบจะทำการตีกรอบระบุตำแหน่งของเป้าหมาย และทำการแสดงชื่อและระยะทางบนหน้าจอแสดงผล นี่คืลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันโดยรวม ในหัวข้อต่อไปเป็นการกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

3.3 ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System)

ระบบการค้นหาสถานที่จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ซึ่งเป็นการรับค่าอินพุตมาจาก GPS Module หลักการของเครื่อง GPS กล่าวคือการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่อง GPS โดยใช้ระยะทางจากดาวเทียมอย่างต่ำ 3 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่นอน เมื่อเครื่อง GPS สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 3 ดวงขึ้นไป แล้วจะมีการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมถึงเครื่อง GPS โดยจากสูตรคำนวณทางฟิสิกส์คือ ความเร็ว $\times$ เวลา = ระยะทาง โดยดาวเทียม ทั้ง 3 ดวงจะส่งสัญญาณที่เหมือนกันมายังเครื่อง GPS ด้วยความเร็วแสง (186,000 ไมล์ต่อวินาที) แต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณได้จากดาวเทียมแต่ละดวงนั้นจะไม่เท่ากัน เนื่องจากระยะทางไม่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของระบบ GPS

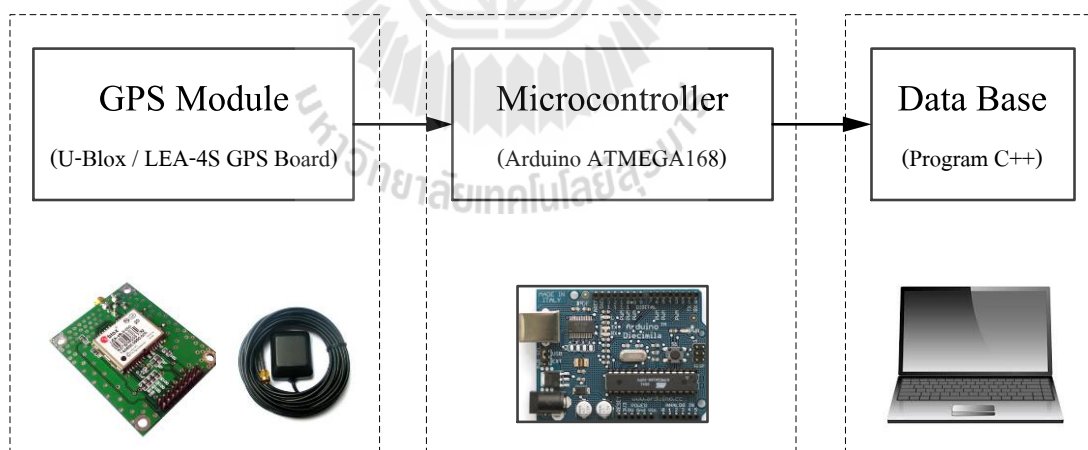
- ดาวเทียม 1 ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.10 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 18,600 ไมล์ ($186,000 \text{ ไมล์ต่อวินาที} \times 0.10 \text{ วินาที} = 18,600 \text{ ไมล์}$) ฉะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในวงกลมที่มีรัศมี 18,600 ไมล์ ซึ่งจะเห็นว่าดาวเทียมเพียงดวงเดียวยังไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้

- ดาวเทียม 2 ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.08 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 13,200 ไมล์ ($186,000 \text{ ไมล์ต่อวินาที} \times 0.08 \text{ วินาที} = 13,200 \text{ ไมล์}$) ฉะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในจุด Intersect ระหว่างวงกลมจากดาวเทียมดวงแรกกับดาวเทียมดวงที่ 2

- ดาวเทียม 3 ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.06 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 11,160 ไมล์ (186,000 ไมล์ต่อวินาที $\times$ 0.06 วินาที = 11,160 ไมล์) ฉะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในจุด Intersect ระหว่างวงกลมจากดาวเทียมทั้ง 3 ดวง

จะเห็นได้ว่า เหลือตำแหน่งอยู่ 2 จุดที่บริเวณวงกลมทั้ง 3 ตัดกันคือตำแหน่งที่อยู่ในอวกาศ ซึ่งแน่นอนว่าเราไม่สามารถไปอยู่ในอวกาศได้ ตำแหน่งนี้จะไม่พิจารณาอัตโนมัติ โดยเครื่อง GPS อีกตำแหน่งคือตำแหน่งบนพื้นโลกซึ่งเป็นตำแหน่งที่ยืนถือเครื่อง GPS อยู่นั่นเอง ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้น หากมีมากกว่า 3 ดวงก็就会有ความละเอียดมากขึ้นและยังขึ้นอยู่กับเครื่อง GPS ด้วยว่าเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงหรือไม่ (ซึ่งมักใช้เฉพาะงาน) หากเป็นเครื่องประสิทธิภาพที่สูงก็就会有ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ณ ปัจจุบันมีตัวรับสัญญาณ GPS Module ที่มีให้เลือกใช้อย่างมากมายในราคาที่ไม่สูงมากนัก ตามประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำตัวรับสัญญาณ GPS Module ซึ่งเป็นโมดูลที่ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง เพื่อความสะดวกในการรับส่งข้อมูล

3.3.1 การใช้งานจีพีเอสโมดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์



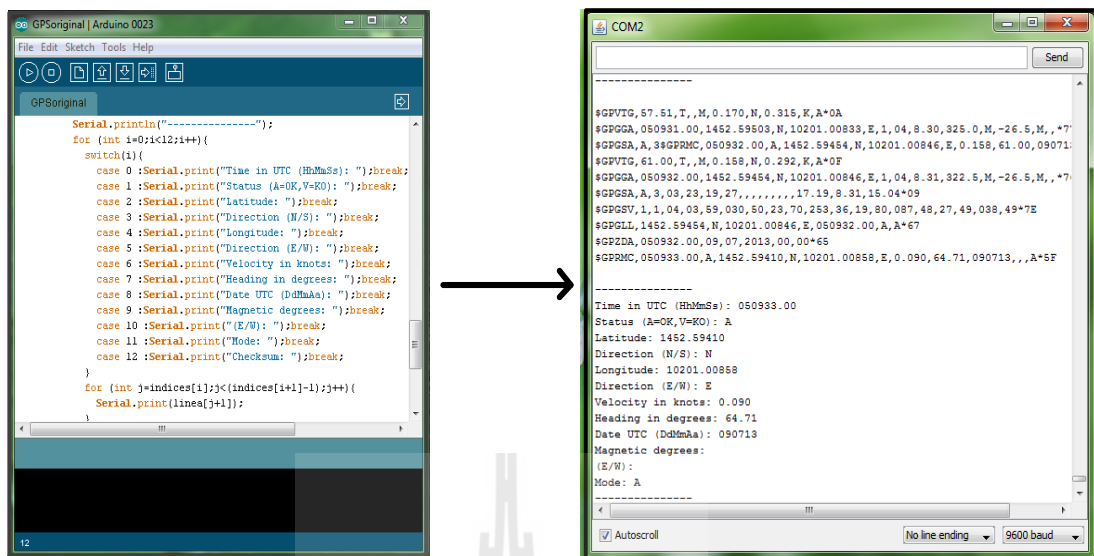
รูปที่ 3.4 รูปแบบการเก็บข้อมูลจากตัวรับสัญญาณ GPS Module

การใช้งาน GPS Module ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ GPS Module รุ่น U-Blox / LEA-4S GPS Board เป็นบอร์ดที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับ RS-232 เรียบร้อยแล้ว สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ โดยจะทำการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ด Arduino เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน และยังเป็น Open Source ที่สามารถดัดแปลงการใช้งานได้ทั้ง Hardware และ software ได้ทันที และภาษาที่ใช้กับบอร์ดจะเป็นลักษณะของ C/C++ โดยมี Libraries ต่าง ๆ ให้พร้อมสามารถเรียกใช้งานได้ทันที และครอบคลุมการติดต่อกับพอร์ต I/O ต่าง ๆ ได้กว้างมาก การใช้งานก็ง่ายเพียงแค่เสียบสาย USB ติดตั้งโปรแกรมที่ให้กับสามารถประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที

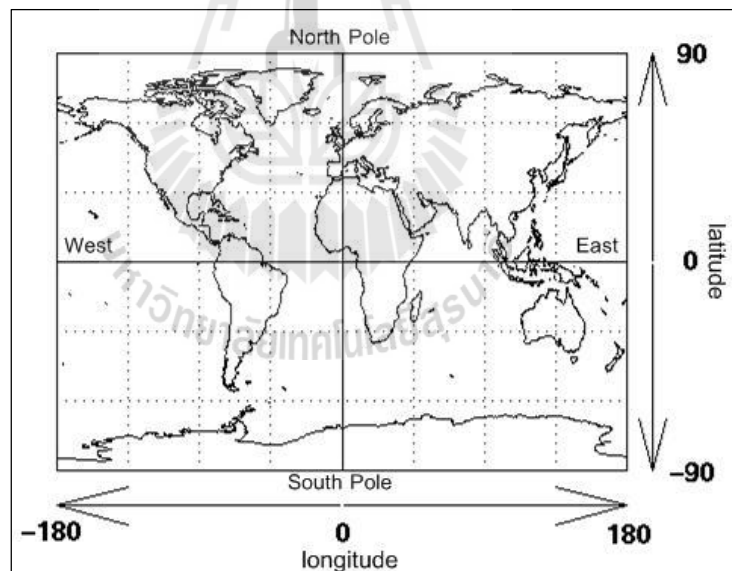
3.3.2 การเชื่อมต่อจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

การเริ่มต้นใช้งานบอร์ด Arduino ATMEGA 168 อันดับแรกต้องทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้จาก <http://arduino.cc/en/Main/Software> และ libraries สำหรับ Arduino ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับ GPS Module ได้แก่ 1.string.h 2.ctype.h และตัวอย่างโค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในภาคผนวก ก รูปแบบของการแสดงผล GPS Module สามารถแสดงค่าต่าง ๆ ได้มากมาย แสดงดังรูปที่ 3.5 แต่ค่าที่จะนำมาใช้งานวิจัยนี้ได้แก่ 1.Latitude 2.Direction (N/S) 3. Longitude 4.Direction (E/W) 5.Heading in degrees จากตัวอย่างค่าที่นำมาใช้ในการทดสอบให้แต่ละระบบคือค่า latitude และ longitude มีค่าเป็น degree/ minute /second (DMS) เช่น 14° 52' 594"N, 102° 01' 008" E และจะต้องนำค่า latitude, longitude มาทำการแปลงค่าเป็น Decimal degrees (DD) จากสมการ (3.1) และจะได้ค่าใหม่เป็น 14.876567, 102.0168 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่สามารถใช้แสดงบนแผนที่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.6 เพื่อใช้แสดงตำแหน่งของยานพาหนะบนแผนที่แบบออฟไลน์และเป็นอินพุตให้กับระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันต่อไป

$$DD = D + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการแสดงผลโปรแกรมจากตัวรับสัญญาณ GPS Module



รูปที่ 3.6 Latitude and Longitude of the Earth

3.3.3 รูปแบบการหาระยะทางและทิศทางจากพิกัดภูมิศาสตร์

พิกัดภูมิศาสตร์ คือสิ่งที่บอกให้เราทราบถึงตำแหน่งของสถานที่ต่าง ๆ บนผิวโลก โดยยึดตามระบบพิกัดทรงกลม (spherical coordinate system) พิกัดภูมิศาสตร์ในปัจจุบันประกอบด้วยสองส่วน คือละติจูดและลองจิจูด ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้ ละติจูด คือมุมที่วัดระหว่างจุดใด ๆ กับเส้นศูนย์สูตร มีค่าสูงสุด 90 องศา เส้นที่ลากต่อเชื่อมทุกจุดที่มีละติจูดเท่ากันเราเรียกว่า เส้นขนาน (parallel) เวียนเป็นวงกลมรอบโลก โดยขั้วโลกแต่ละขั้วจะมีค่าละติจูดเป็น 90 องศา เช่น ขั้วโลกเหนือมีละติจูด 90 องศาเหนือ เป็นต้น ลองจิจูด คือมุมที่วัดระหว่างจุดใด ๆ กับเส้นเมริเดียนที่ศูนย์ มีค่าสูงสุด 180 องศา ซึ่งพาดผ่านหอดูดาวหลวงกรีนิช สหราชอาณาจักร เส้นที่ลากต่อเชื่อมทุกจุดที่มีลองจิจูดเท่ากันจะเรียกว่า เส้นเมริเดียน (meridian)

รูปแบบการหาระยะทางจะเป็นการหาระยะจากตำแหน่ง ละติจูดและลองจิจูด ระหว่างตำแหน่งของยานพาหนะที่เคลื่อนที่กับสถานที่หรือวัตถุที่ต้องการค้นหา การคำนวณหาระยะทางระหว่างละติจูดและลองจิจูด 2 ตำแหน่ง จะมีรูปแบบดังต่อไปนี้ ระยะทางแทนด้วย สัญลักษณ์ D จะเป็นการคำนวณระหว่างจุดสองจุด (P_1, P_2) พิกัดทางภูมิศาสตร์ของทั้งสองจุดเป็นคู่ (ละติจูด, ลองจิจูด) เป็น (ϕ_1, λ_1) และ (ϕ_2, λ_2) ตามลำดับ สามารถคำนวณหาระยะทาง ดังสมการที่ 3.2

$$D = R\sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\cos(\phi_m)\Delta\lambda)^2} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \Delta\phi &= \phi_2 - \phi_1 \\ \Delta\lambda &= \lambda_2 - \lambda_1 \\ \Delta\phi \text{ and } \Delta\lambda &\text{ are in radian} \\ \phi_m &= \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \text{ (Mean latitude)} \end{aligned}$$

$$1^\circ = (\pi / 180) \text{ radians}$$

$$R = 6374 \text{ km (The average radius of the Earth)}$$

ตัวอย่างการหาระยะทางตำแหน่ง (P_1, P_2) เท่ากับ $P_1(14.870, 102.022), P_2(14.873, 102.023)$

$$\Delta\phi = 14.873 - 14.870 = 0.003 \times (3.1416 / 180)$$

$$\Delta\lambda = 102.023 - 102.022 = 0.001 \times (3.1416 / 180)$$

$$\phi_m = 2.168^{(-5)}$$

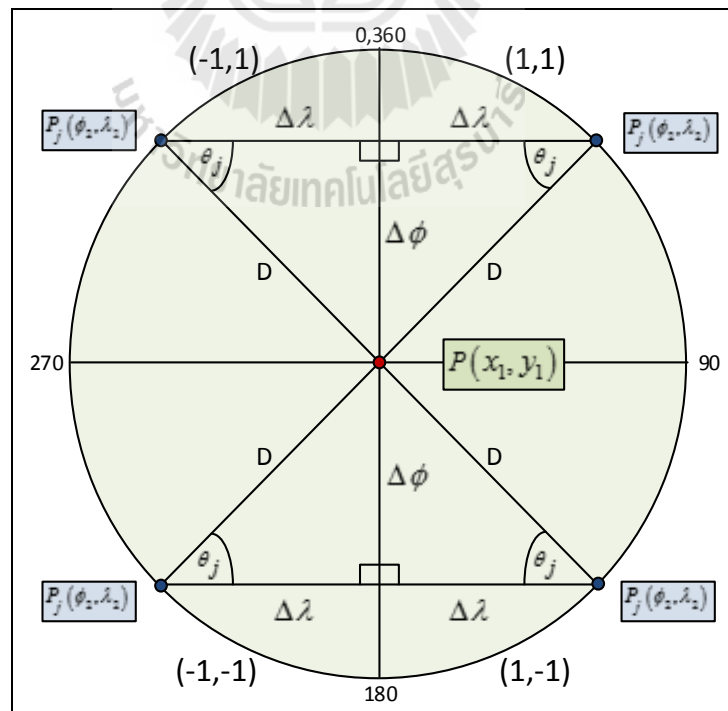
$$D = 6374 \times 5.5192^{(-5)} = 0.351 \text{ km.}$$

รูปแบบการหาทิศทางจะใช้หลักการสร้างรูปแบบของอินพุตและเอาต์พุตให้กับโปรแกรม Look Up Table คือการเก็บบันทึกข้อมูลแบบตารางในหน่วยความจำโปรแกรม เพื่อจะนำข้อมูลมาใช้งานภายหลังหรืออาจจะหมายถึงการดูข้อมูลโดยการเปิดจากตารางขึ้นมา โดยรูปแบบของชุดข้อมูลจะใช้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของทั้งสองจุดในการหามุมองศา θ_j ระหว่าง $P(\phi_1, \lambda_1)$ และ $P_j(\phi_2, \lambda_2)$ แสดงดังรูปที่ 3.7 เป็นรูปแบบการหาทิศทางของสถานที่หรือวัตถุที่อยู่รอบตำแหน่ง P ในรัศมีขอบเขตที่กำหนด หลักการสร้างรูปแบบการหาทิศทางอธิบายได้ดังต่อไปนี้

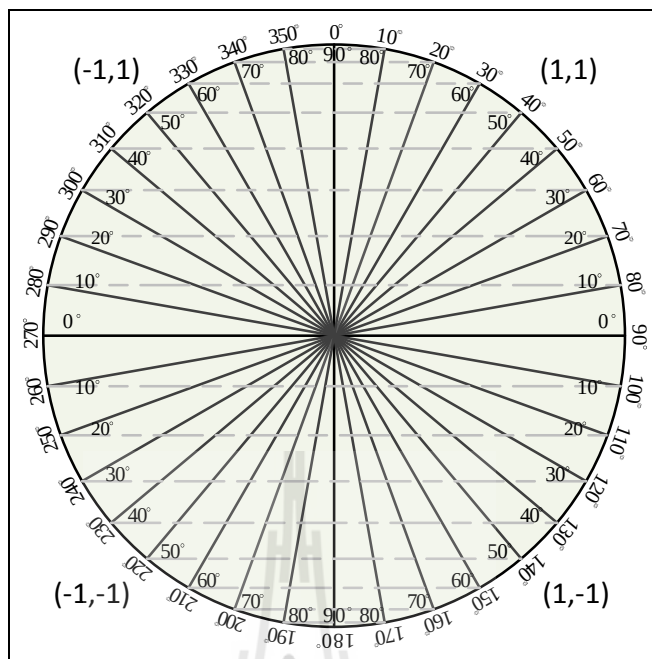
จะแบ่งรูปแบบออกเป็น 4 กรณี (1,1) (1,-1) (-1,-1) และ (-1,1) ในแต่ละกรณีสามารถหามุมองศา θ_j ได้จากสมการที่ 3.4 ในแต่ละกรณีแบ่งรูปแบบอินพุตออกเป็น 91 ช่วงมีค่าเท่ากับ 0-90 องศา ช่วงละ 1 องศา ส่วนข้อมูลเอาต์พุตมีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา แสดงดังรูปที่ 3.8

$$\sin \theta_j = \frac{\text{opposite side}}{\text{hypotenuse}} = \frac{\Delta \phi}{D} \quad (3.3)$$

$$\theta_j = \arcsin\left(\frac{\Delta \phi}{D}\right) \quad (3.4)$$



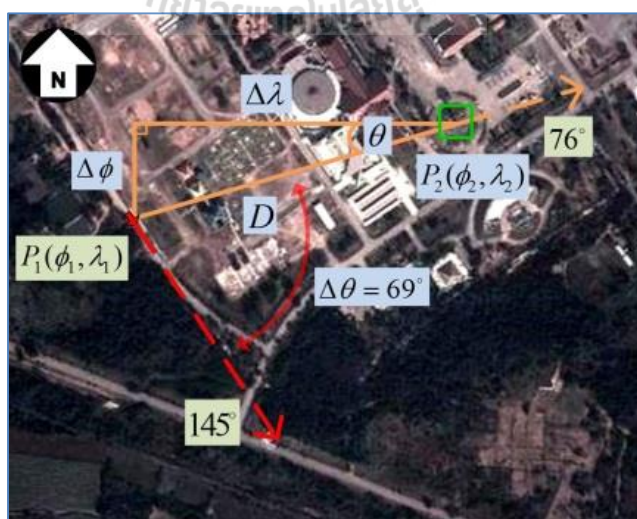
รูปที่ 3.7 รูปแบบการหาทิศทาง θ_j



รูปที่ 3.8 รูปแบบอินพุตและเอาต์พุต

ตัวอย่างการหาทิศทางของพิกัด P_1, P_2

- ตำแหน่งของยานพาหนะ P_1 (14.87184, 102.019246)
- ตำแหน่งของสถานที่ P_2 (14.872941, 102.023699)



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการคำนวณหาทิศทาง P_1, P_2

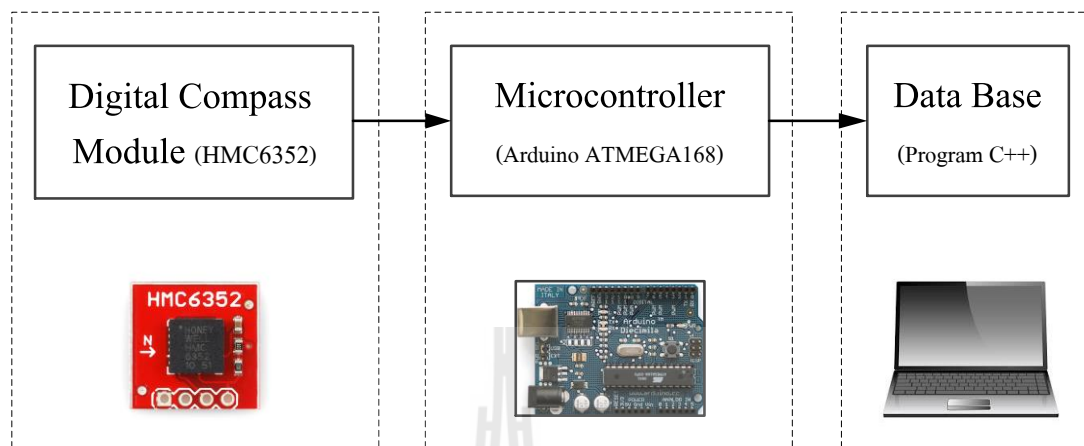
รูปที่ 3.9 เป็นรูปแบบของการคำนวณหาทิศทางของสถานที่ เพื่อบ่งบอกว่าทำมุมกี่องศากับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ณ ตำแหน่งปัจจุบัน จากตัวอย่างยานพาหนะมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่มุม 145 องศา และทราบตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ทั้ง 2 ตำแหน่งก็จะสามารถคำนวณหาระยะทาง $D = 0.49$ km ตามตัวอย่างของการหาระยะทาง และวิธีการคำนวณหาทิศทางแสดงดังรูปที่ 3.9 มีรูปแบบอยู่ในกรณี (1,1) และคำนวณหามุมทิศทางของสถานที่ดังสมการที่ 3.4 จะได้มุม $\theta = 14$ องศา ดังนั้นรูปแบบอินพุตที่ส่งให้กับโปรแกรม Look Up Table มีค่าเท่ากับ $[(1,1), 0.14]$ และผลลัพธ์ที่ได้เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ 76 องศา จะทำให้สามารถทราบทิศทางของสถานที่ P_2 ทำมุม 69 องศาทางด้านซ้ายของยานพาหนะ P_1

ในกรณีที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่พิกัด $P_1 (14.870511, 102.021498)$ และทิศทางในการเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ทิศทาง 30 องศา แสดงดังรูปที่ 3.10 สามารถคำนวณหาระยะทาง $D = 0.36$ km มีรูปแบบอยู่ในกรณี (1,1) และมุมทิศทางของสถานที่ $\theta = 49$ องศา รูปแบบอินพุตที่ส่งให้กับโปรแกรม Look Up Table มีค่าเท่ากับ $[(1,1), 0.49]$ และผลลัพธ์ที่ได้เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 41 องศา จะเห็นได้ว่าทิศทางของสถานที่ P_2 ทำมุม 11 องศาทางด้านขวาของยานพาหนะ P_1 จากตัวอย่างการหาทิศทางของสถานที่ระบบจะสามารถค้นหาทิศทางของสถานที่ได้ทุกตำแหน่งรอบยานพาหนะเมื่อทราบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (P_1, P_2)



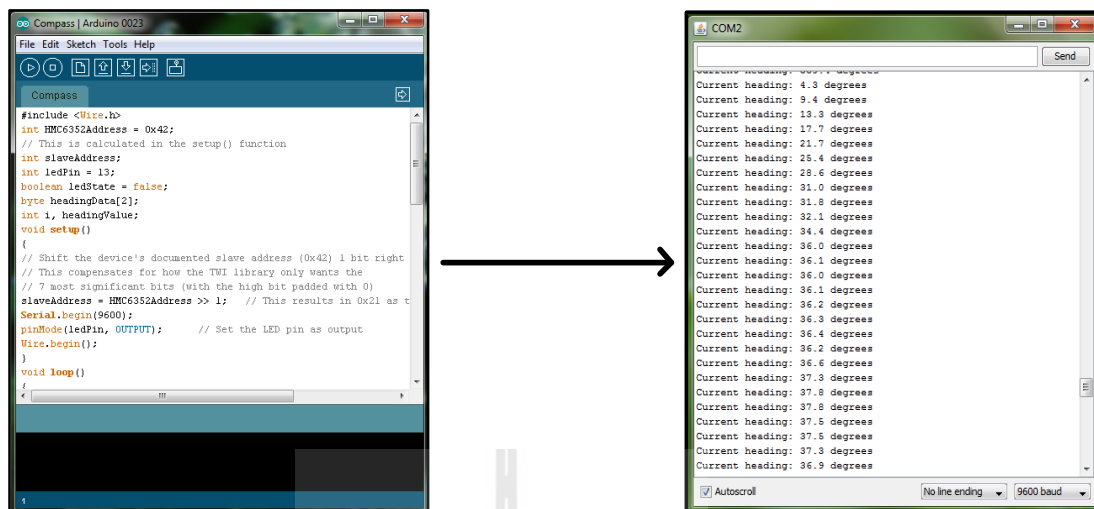
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการคำนวณหาทิศทาง P_1, P_2 ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่

3.4 การหาทิศทางด้วยมอดูลเข็มทิศดิจิทัล (Digital Compass Module)



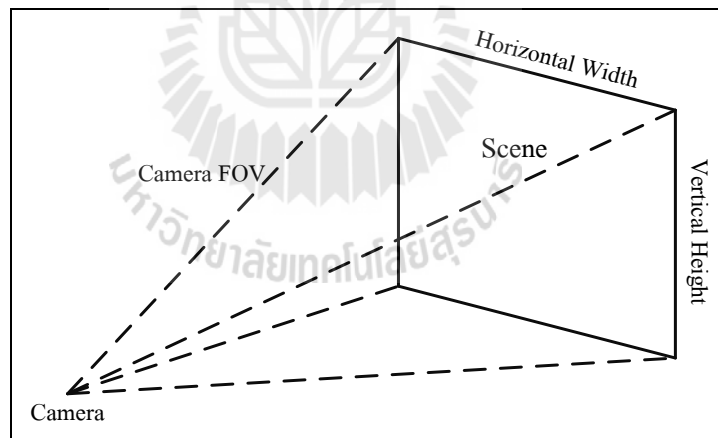
รูปที่ 3.11 รูปแบบการเก็บข้อมูลด้วย Digital Compass Module (HMC6352)

ระบบการหาทิศทางด้วยมอดูลเข็มทิศดิจิทัล จะใช้มอดูลที่มีรหัสว่า HMC6325 เป็นเข็มทิศดิจิทัลที่มีการพัฒนาจนกลายมาเป็นมอดูลที่มีขนาดเล็ก เพียง 6 mm. x 6 mm. เท่านั้น ซึ่งมีขนาดที่เล็กมาก สามารถนำไปติดตั้งที่อุปกรณ์เช่น มือถือหรือยานพาหนะได้ทันที รูปแบบการใช้งานมีลักษณะคล้ายกับ GPS Module โดยใช้บอร์ด Arduino ATMEGA 168 เชื่อมต่อกับ HMC6325 โดยใช้การเชื่อมต่อข้อมูล แบบ I2C 2 wire serial interface มอดูล HMC6352 นี้จะทำการบอกทิศทางแบบอะซิมุท (Azimuth) ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดขึ้นมาเพื่อใช้ในการบอกทิศทาง คือวัดขนาดของมุมทางราบที่วัดจากแนวทิศเหนือหลักเวียนตามเข็มนาฬิกามาบรรจบกับแนวเป้าหมายที่ต้องการ ทิศทางแบบอะซิมุทนี้ จะมีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา และเมื่อวัดมุมจากเส้นฐานทิศเหนือหลักชนิดใด ก็เรียกทิศเหนือตามหลักนั้น ค่าทิศทางที่ได้จะเป็นการบ่งบอกทิศทางของการเคลื่อนของยานพาหนะ เพื่อจะใช้ในการเปรียบเทียบหาทิศทางของสถานที่นั่นเอง การเขียนโปรแกรมติดต่อกับ HMC6352 จะใช้ libraries ชื่อว่า Wire.h และตัวอย่างโค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบมีตัวอย่างอยู่ใน ภาคผนวก ข และรูปแบบของการแสดงผลทิศทางของมอดูลเข็มทิศดิจิทัลสามารถแสดงตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 3.12 โดยค่าแสดงของมุมอยู่ระหว่าง 0-360 องศา มีความละเอียดที่ทศนิยม 1 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการแสดงผลโปรแกรมการหาทิศทางด้วย Digital Compass Module

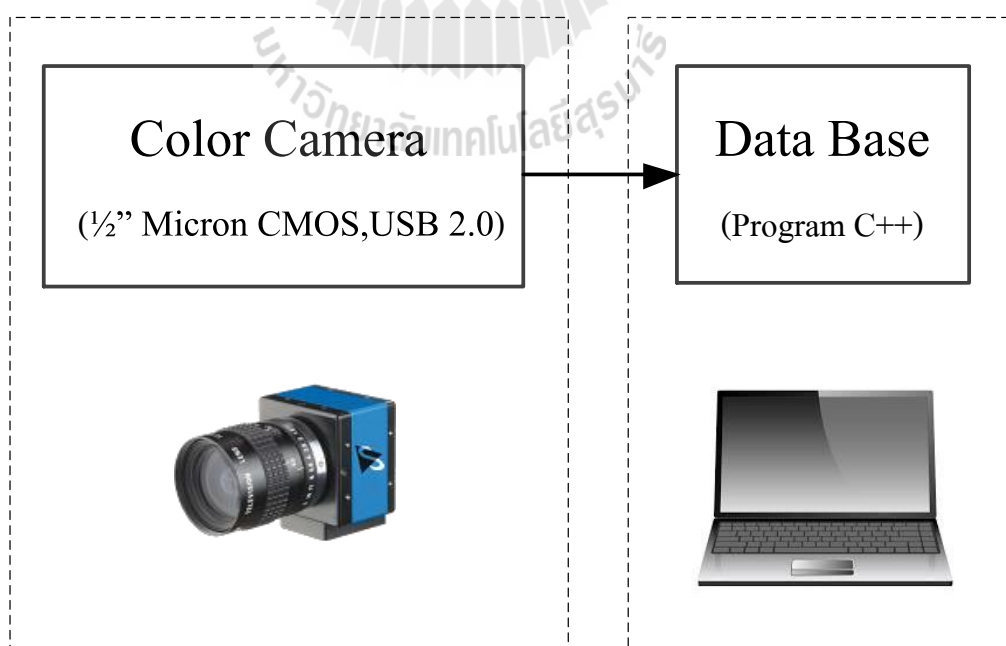
3.5 ระบบการมองเห็น (Vision)



รูปที่ 3.13 มุมมองของภาพ (Field of View)

มุมมองของภาพ (Field of View) รูปที่ 3.13 หมายถึงขอบเขตที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้อย่างชัดเจน เมื่อระบบการค้นหาสถานที่สามารถใช้อัลกอริทึมในการค้นหาตำแหน่ง ระยะทางและทิศทางของสถานที่จากเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ระบบจีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัล จากนั้นระบบจะต้องทำการแสดงผลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน โดยการดีกรอบระบุมุมมองของสถานที่ที่ทำการค้นหาภายในภาพ ที่มีการรับค่าอินพุตของภาพมาจากกล้อง

ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ชนิดที่ 3 ทำหน้าที่ในการแสดงผลของระบบการค้นหาสถานที่ และในการเลือกใช้กล้องของงานวิจัยนี้ ซึ่งในปัจจุบันมีกล้องที่มีเซ็นเซอร์รับภาพอยู่เพียง 2 แบบใหญ่ ๆ เท่านั้น ซึ่งก็คือ CCD และ CMOS โดย CCD (Charge Coupled Device) เป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดยส่วนที่เป็นเซ็นเซอร์แต่ละพิกเซลจะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกที ในส่วนของ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) เป็นเซ็นเซอร์ที่มีลักษณะการทำงาน โดยแต่ละพิกเซลจะมีวงจรย่อย ๆ เปลี่ยนค่าแสงที่เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิทัลในทันที ไม่ต้องส่งออกไปแปลงเหมือน CCD และยังมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของการบริโภคพลังงานต่ำและมีความร้อนสะสมต่ำ โดยการทำงานอาศัยทรานซิสเตอร์พื้นฐานหลาย ๆ ตัว เป็นที่นิยมมากในการนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ประเภท Microprocessor หรือ Microcontroller งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้กล้อง (Color CMOS) รุ่น DFK 61BUC02 มีขนาดเซ็นเซอร์ 1/2 นิ้ว มีขนาดของภาพสูงสุด 2048x1536 พิกเซล แต่งานวิจัยนี้จะใช้ขนาดของภาพเพียง 640x480 พิกเซลเพื่อให้ฐานข้อมูลในการทดลองมีขนาดเล็กและมีความรวดเร็วในการประมวลผลการเชื่อมต่อเป็นแบบ USB 2.0 ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้งาน ในส่วนของเลนส์ที่ใช้คือ รุ่น SV-0814H ทางยาวโฟกัส 8 mm รูรับแสง 1.4-16 องศารับภาพ 44.85x57.58 ขนาดของเซ็นเซอร์ 2/3 นิ้ว ในส่วนของการเก็บข้อมูลในการทดลองจะใช้รูปแบบในการเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมภาษา C++ ในการเขียนรับข้อมูลภาพ แสดงดังรูปที่ 3.14



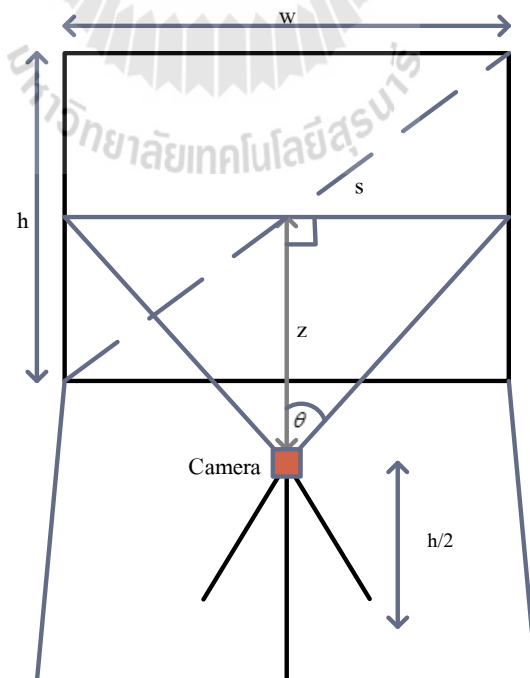
รูปที่ 3.14 รูปแบบการเก็บข้อมูลด้วย Color Camera 640x480 pixel

3.5.1 รูปแบบการคำนวณหามุมมองของภาพ (FOV)

การที่มุมมองของภาพจะสามารถมองเห็นในมุมมองที่กว้างหรือแคบมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับมุมมองของการถ่ายภาพเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้จะทำการติดตั้งกล้องที่มีทิศทางมองเห็นขนานไปกับพื้นผิวโลก จะสามารถมองเห็นสถานที่ได้ในระยะไกล แสดงดังรูปที่ 3.17 มุมมองของภาพ (FOV) ที่สามารถแสดงได้ มีทั้งแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยง โดยมีความสัมพันธ์กับขนาดความกว้าง (w) และระดับความสูง (h) และระยะทาง (z) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตเพื่อจะหาขนาดมุมมองของภาพ ในงานวิจัยนี้จะหามุมมองของภาพในแนวนอน โดยขอบเขตที่จะสามารถมองเห็นพื้นที่ของฉากได้กว้างที่สุดเท่ากับกล้องนั้น เราจะสามารถทำการติดตั้งระบบการมองเห็นตามรูปแบบ ดังรูปที่ 3.15 เพื่อจะคำนวณหามุมมองของภาพ

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{(1/2)W}{Z} \right) \quad (3.5)$$

$$FOV = 2 \cdot \theta_w \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.15 FOV Measurement Setup

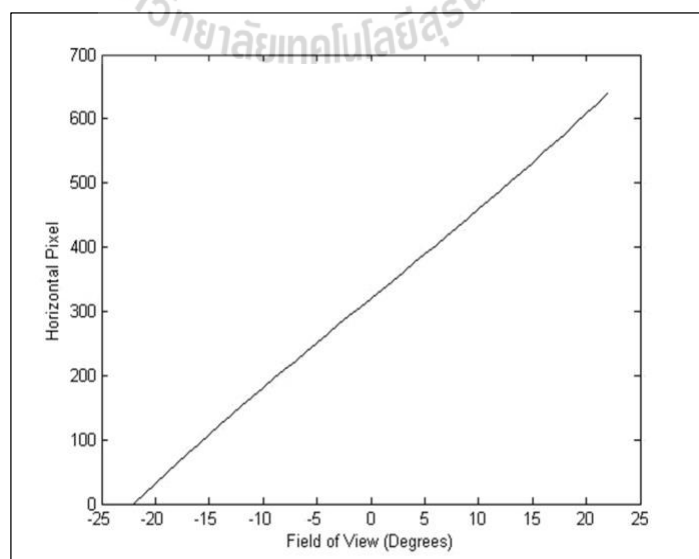
3.5.2 วิธีการติดตั้งกล้อง

การติดตั้งกล้องมีระดับความสูงจากพื้น 54 นิ้ว ($h/2 = 54$) ระดับความสูงขึ้นอยู่กับยานพาหนะที่จะใช้ทดสอบและเป็นระดับใกล้เคียงกับสายตาของมนุษย์ และทำการจำลองจากหลังขึ้นมา วัดค่าระยะห่างจากฉากเท่ากับ 180 นิ้ว ($z = 180$) ความกว้างเท่ากับ 144 นิ้ว ความสูงเท่ากับ 108 นิ้ว ($w = 144$, $h = 108$)

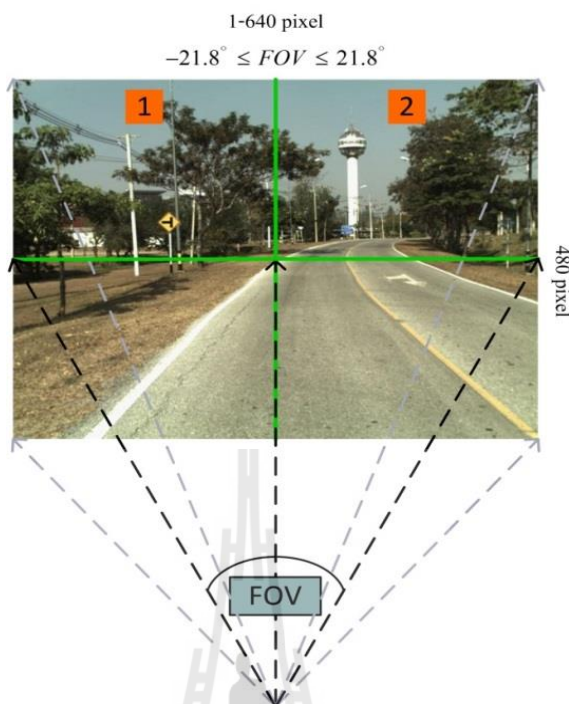
$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{(1/2)(144)}{180} \right)$$

$$FOV = 2(21.8) = 43.6^\circ$$

การค้นหาคำแหน่งของสถานที่ในแนวระนาบจะมีขอบเขตในการมองเห็นสถานที่ในแนวราบมี $FOV \leq 43.6^\circ$ และทำการแบ่งขอบเขตตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนภาพออกเป็น Quadrant (1,2) และมีมุมมองของภาพอยู่ระหว่าง $-21.8^\circ \leq FOV \leq 21.8^\circ$ Quadrant (1,2) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.17 และจะนำค่ามุมมองของภาพไปหาความสัมพันธ์กับตำแหน่งพิกัดบนภาพในแนวนอน (Horizontal Pixel) แสดงดังรูปที่ 3.16 ดังนั้นเมื่อเราทราบทิศทางของสถานที่หรือวัตถุก็จะสามารถบ่งบอกถึงตำแหน่งของสถานที่หรือวัตถุที่ปรากฏบนภาพได้



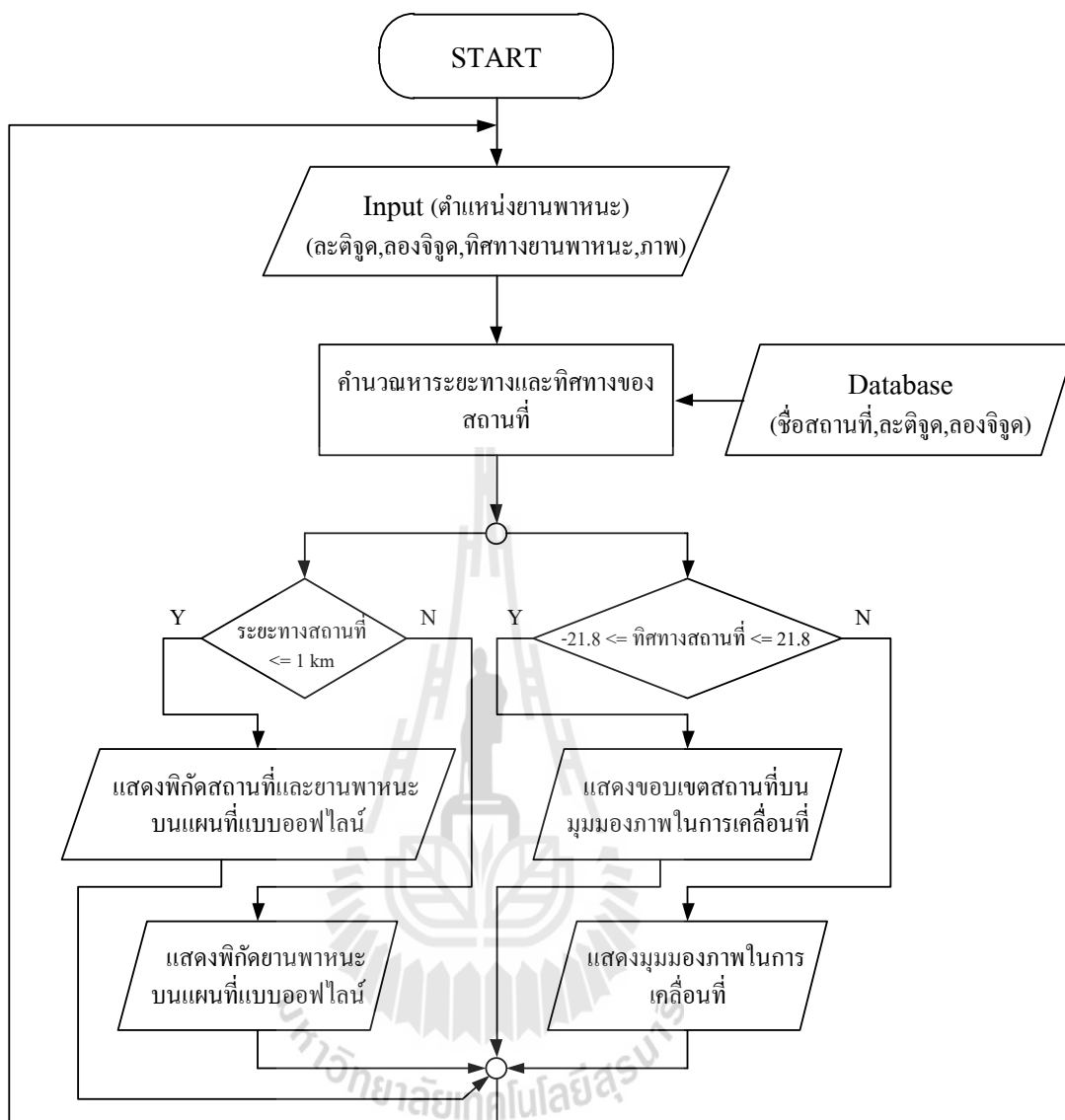
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FOV และ Horizontal Pixel



รูปที่ 3.17 มุมมองของภาพจากระบบการค้นหาสถานที่

3.6 อัลกอริทึมการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

ระบบการค้นหาสถานที่ที่ได้ถูกออกแบบให้สามารถค้นหาสถานที่ได้ทุกทิศทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ โดยระบบจะสามารถบ่งบอกถึงระยะทางและทิศทางของสถานที่และแสดงมุมมองของภาพที่ปรากฏบนฉาก ดังนั้นรูปแบบการค้นหาสถานที่ด้วยอัลกอริทึม ระบบจะเริ่มทำการค้นหาสถานที่จากฐานข้อมูลที่เคยจดจำที่อยู่ในรูปแบบ ชื่อและพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด) ของสถานที่ที่เคยจดจำ ต่อจากนั้นระบบจะทำการรับค่าอินพุต คือ ตำแหน่ง (ละติจูด, ลองจิจูด) และทิศทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากเซ็นเซอร์ แล้วทำการคำนวณหา ระยะทางและทิศทางของสถานที่กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ แล้วระบบจะส่งผลการคำนวณในการค้นหาสถานที่ ซึ่งขอบเขตของการค้นหาสถานที่ มีระยะทางไม่เกิน 1 กิโลเมตรและทิศทางของสถานที่ ทำมุมอยู่ระหว่าง -21.8 ถึง 21.8 องศาับทิศทางของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ผลจากการคำนวณอาจจะมีจำนวนสถานที่มากกว่าหนึ่งสถานที่ก็ได้ ถ้าสถานที่ที่ทำการค้นหาอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด ต่อจากนั้นระบบจะทำการแสดงพิกัดของสถานที่และแสดงพิกัดของยานพาหนะบนแผนที่แบบออฟไลน์และแสดงขอบเขตสถานที่บนมุมมองของภาพพร้อมทั้งระบุชื่อและระยะทาง ในกรณีที่มีจำนวนเป้าหมายที่ทำการค้นหามากกว่าหนึ่งสถานที่ ระบบจะทำการแสดงสถานที่ที่มีระยะทางใกล้กับยานพาหนะมากที่สุด แผนผังการทำงานของระบบสามารถแสดง ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานอัลกอริทึมการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์พวซ์

3.7 ผลการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันและในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ โดยงานวิจัยนี้จะใช้พื้นที่บนเส้นทางการเดินรถภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและทำการจดจำสถานที่สำคัญต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยและขอบเขตในการเก็บผลชุดข้อมูลในการทดลอง ในสภาพท้องฟ้าที่ต้องปลอดโปร่ง ซึ่งมีผลต่อการรับค่าสัญญาณจีพีเอสและแสงสว่างที่เพียงพอเพื่อการแสดงผลของภาพที่ชัดเจน ข้อมูลในการทดสอบระบบจะใช้โปรแกรมภาษา C++ เขียนรับค่าเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิดพร้อมกัน โดยข้อมูลภาพอยู่ในรูปแบบไฟล์วิดีโอ (.avi) มีขนาดของภาพ 640x480 พิกเซล, 15 เฟรมต่อวินาทีและข้อมูลจีพีเอสกับเข็มทิศดิจิทัลอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Text (.txt) ส่วนโปรแกรมที่ใช้เขียนในการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่คือโปรแกรม Matlab version 2012 ซึ่งรูปแบบการค้นหาสถานที่นี้จะแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 รูปแบบคือ 1) การแสดงผลในระยะไกล คือการจดจำสถานที่ที่มีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกล เช่น อาคารหรือตึกที่มีขนาดใหญ่ 2) การแสดงผลในระยะใกล้ คือการจดจำวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณไฟหรือป้ายจราจร ป้ายบอกสถานที่ เป็นต้น ต่อไปจะนำเสนอการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ในรูปแบบต่าง ๆ ดังหัวข้อต่อไปนี้

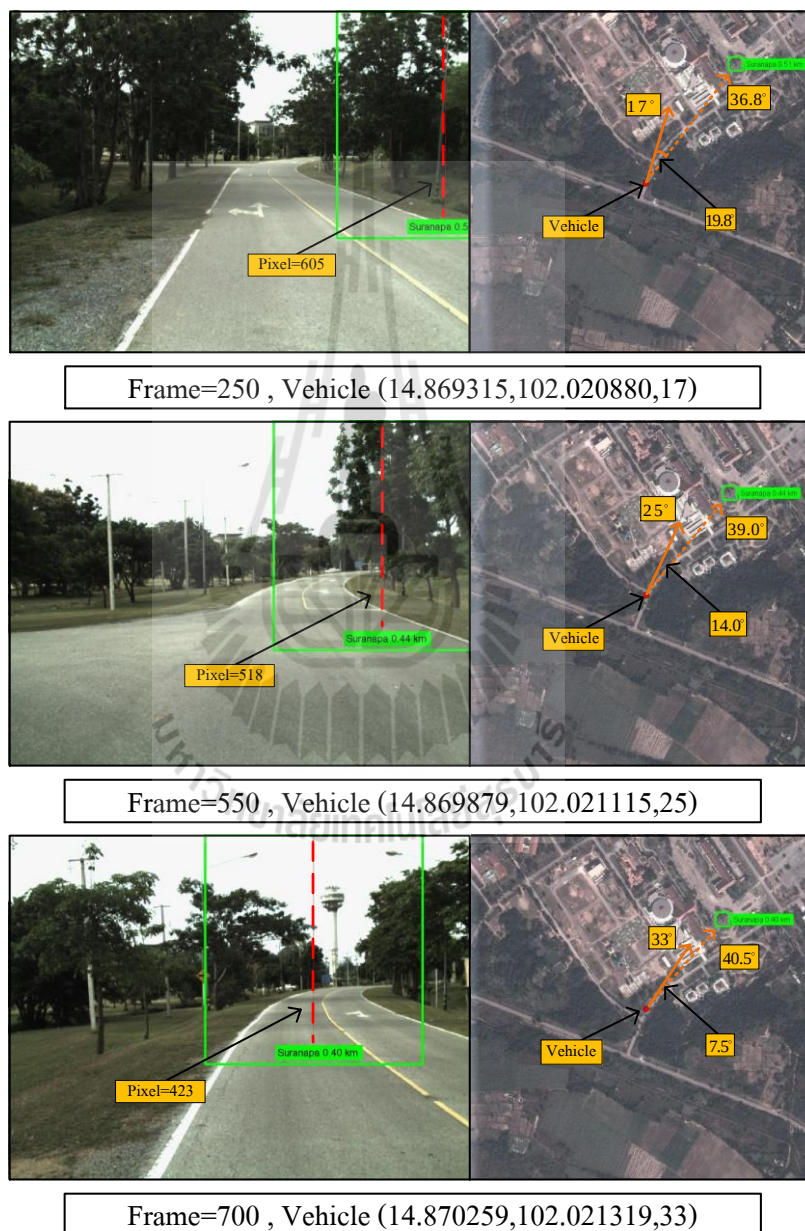
3.7.1 การทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ในระยะไกล

สถานที่ใช้ในการทดสอบ หอสุรนภา พิกัดทางภูมิศาสตร์(14.872941,102.023699)



รูปที่ 3.19 เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบระบบระยะไกล (หอสุรนภา)

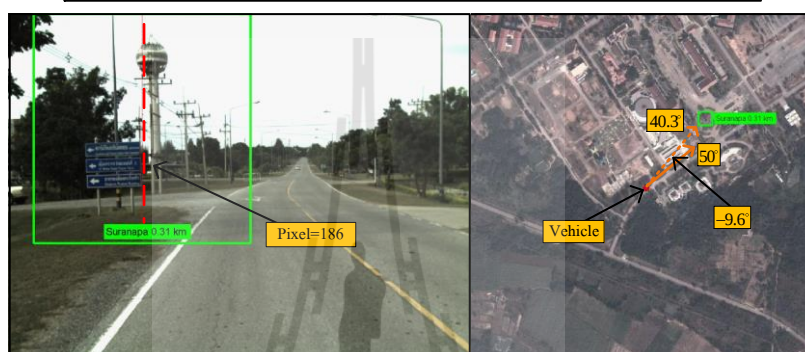
ในรูปที่ 3.19 แสดงเส้นทางที่ใช้ทดสอบระบบค้นหาสถานที่ตามรอยเส้นประสีฟ้าและสีแดง โดยตามเส้นทางเส้นประสีฟ้า คือสถานที่ที่อยู่ในรัศมีขอบเขตระยะทางการค้นหา แต่ไม่สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ในมุมมองภาพได้ และตามเส้นประสีแดงเป็นเส้นทางที่สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ในมุมมองภาพได้ โดยแบ่งออกเป็น เส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2



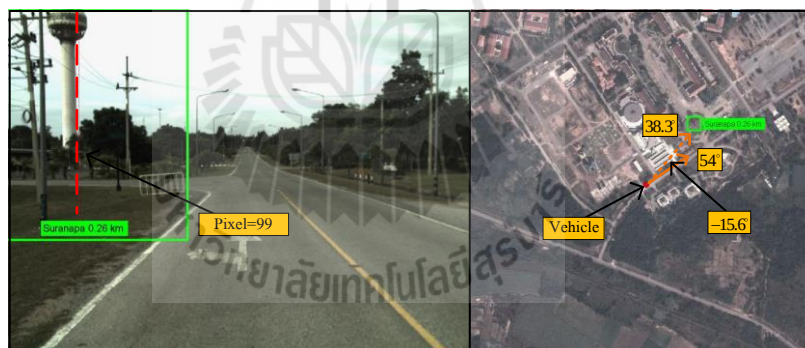
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรณา เส้นทางที่ 1



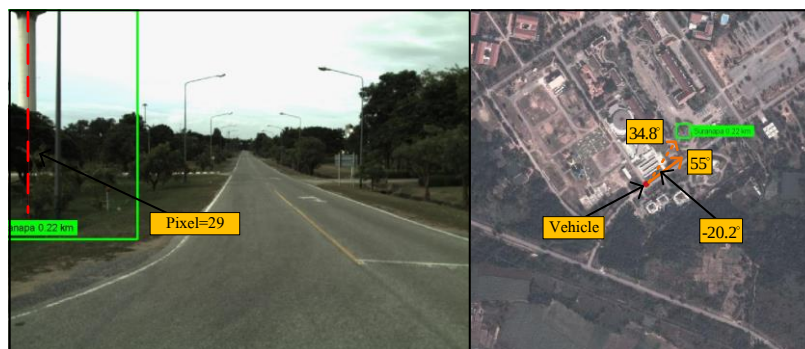
Frame=850 , Vehicle (14.870575,102.021563,38)



Frame=1000 , Vehicle (14.870854,102.021849,50)



Frame=1150 , Vehicle (14.871126,102.022198,54)



Frame=1300 , Vehicle (14.871360,102.022550,55)

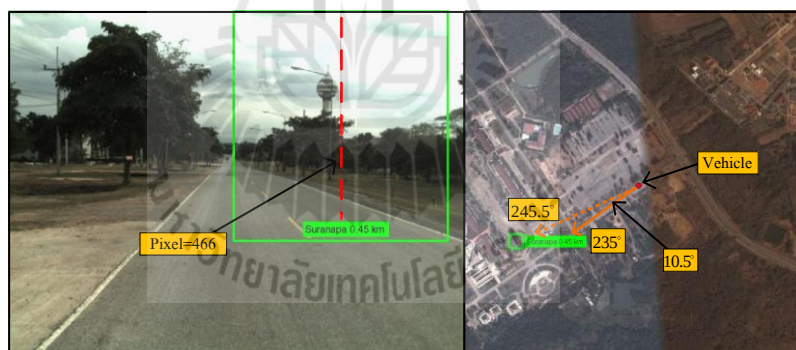
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรนาภ เส้นทางที่ 1 (ต่อ)



Frame=100 , Vehicle (14.875256,102.028475,235)



Frame=250 , Vehicle (14.875047,102.028163,235)

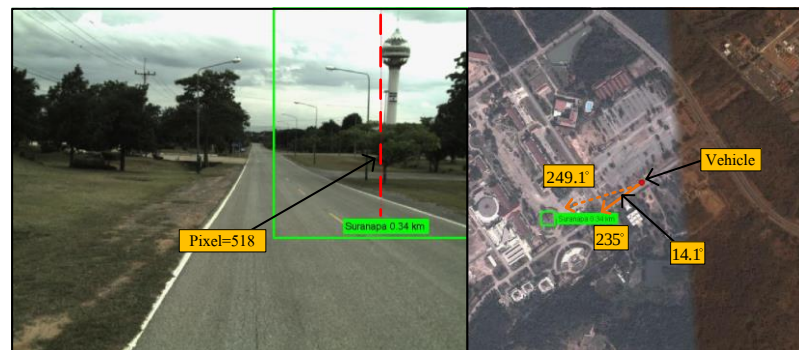


Frame=550 , Vehicle (14.874653,102.027542,235)



Frame=700 , Vehicle (14.874449,102.027241,235)

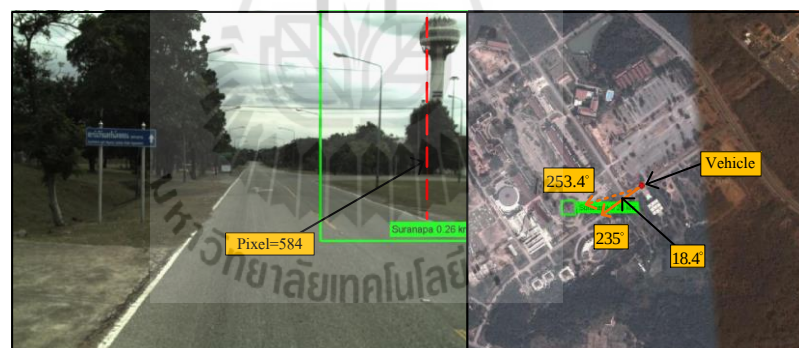
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรนาภา เส้นทางที่ 2



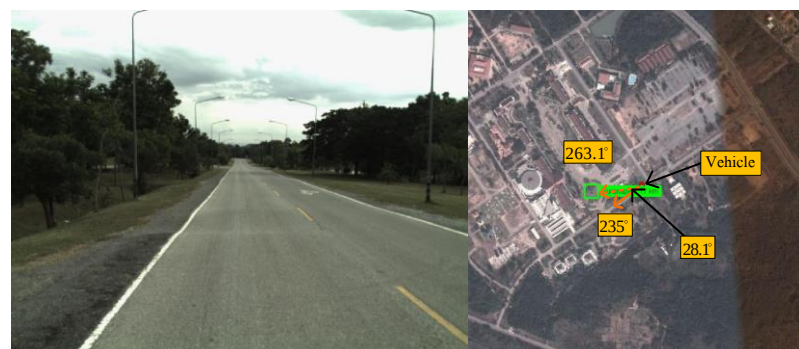
Frame=1000 , Vehicle (14.874048,102.026637,235)



Frame=1150 , Vehicle (14.873815,102.026284,235)



Frame=1300 , Vehicle (14.873624,102.025990,235)



Frame=1600 , Vehicle (14.873150,102.025278,235)

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรนาภ เส้นทางที่ 2 (ต่อ)



Frame=10 , Vehicle (14.876658,102.023142,145)



Frame=1500 , Vehicle (14.874043,102.024956,145)



Frame=200 , Vehicle (14.875140,102.019898,148)

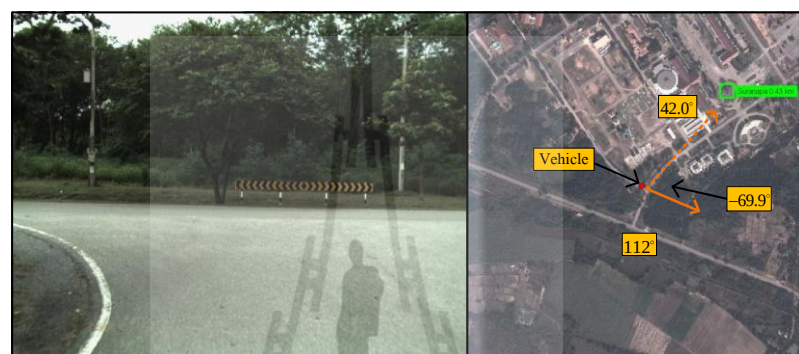


Frame=2130 , Vehicle (14.871823,102.022208,144)

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรนา เส้นทางเส้นประสีฟ้า



Frame=630 , Vehicle (14.872749,102.018583,145)



Frame=1850 , Vehicle (14.870080,102.021016,112)

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ หอสุรณา เส้นทางเส้นประสีฟ้า (ต่อ)

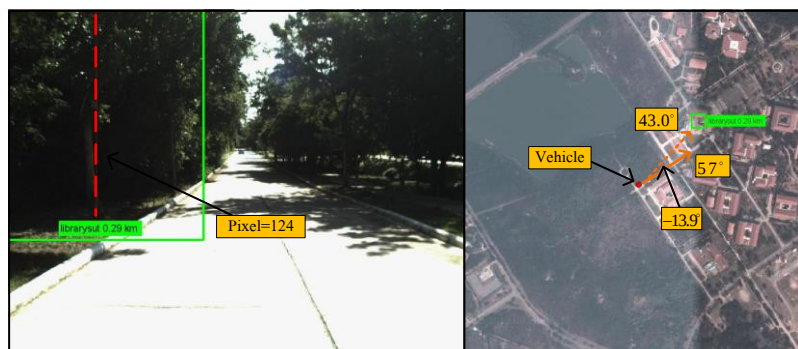
จากผลการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ หอสุรณาเป็นสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่สามารถแสดงผลการค้นหาขอบเขตของสถานที่ได้อย่างชัดเจน เมื่อยานพาหนะอยู่ในระยะไกล จากตัวอย่าง ผลของการทดสอบในเส้นทางที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.18 การทำงานของระบบ ณ ตำแหน่งเฟรมรูปภาพที่ 250 ระบบจะรับค่าอินพุตจากเซ็นเซอร์คือค่า ละติจูด ลองจิจูดและทิศทางการเคลื่อนของยานพาหนะ ระบบจะใช้อัลกอริทึมในการคำนวณหาทิศทางของสถานที่ที่ทำการค้นหาได้ดังนี้ ทิศทางของสถานที่ที่มีมุม 36.8 องศา ยานพาหนะเคลื่อนที่ในทิศทาง 17 องศา มุมระหว่างยานพาหนะกับสถานที่เท่ากับ 19.8 องศา ซึ่งเป็นมุมที่อยู่ในขอบเขตมุมมองของภาพที่อยู่ระหว่าง -21.8 ถึง 21.8 องศา และจะนำค่ามุมมองของภาพไปหาความสัมพันธ์กับตำแหน่งพิกัดบนภาพในแนวนอน ซึ่งได้ผลเอาต์พุตตำแหน่งพิกเซลบนภาพที่ 605 จะคือกรอบที่มีขนาด 300x320 พิกเซลโดยจุดกึ่งกลางของกรอบอยู่ที่ตำแหน่งเอาต์พุตของระบบ และเมื่อตำแหน่งยานพาหนะเปลี่ยนแปลง ระบบก็จะทำการค้นหาสถานที่ใหม่ นี่คือนิยามวิธีการค้นหาสถานที่โดยรวมของระบบ และจากผลการทดสอบในแต่ละเฟรมของรูปภาพ ระบบจะสามารถค้นหาทิศทางของสถานที่ได้ทุกตำแหน่งและจะแสดงขอบเขตของสถานที่ที่ต่อเนื่องเมื่อสถานที่อยู่ในขอบเขตมุมมองของภาพเท่านั้น

สถานที่ใช้ในการทดสอบ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน พิกัดทางภูมิศาสตร์
(14.872941,102.023699)

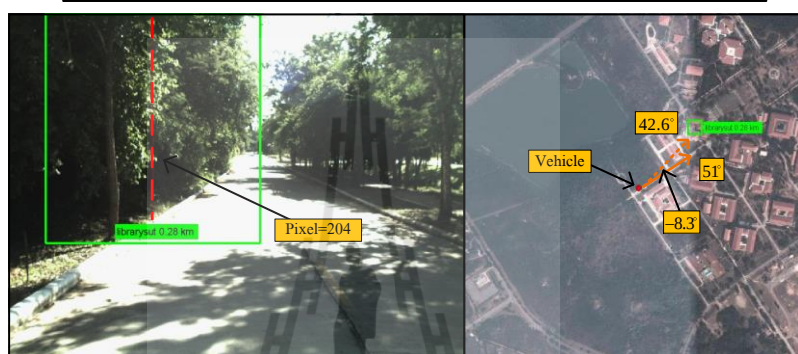


รูปที่ 3.23 เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบระบบระยะไกล (อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน)

ในรูปที่ 3.23 แสดงเส้นทางที่ใช้ทดสอบระบบค้นหาสถานที่ ซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูงประมาณ 3 ชั้น จากตัวอย่างของเส้นทางที่ใช้ทดสอบ พยายามจะทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ให้ได้โดยรอบตัวอาคาร แต่บางเส้นทางอาจจะเป็นทางเดินเท้า ยานพาหนะไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยการทดสอบครั้งนี้จะมีความแตกต่างกับการทดสอบกับสถานที่หอสมุดฯ ซึ่งตัวอาคารมีความสูงที่ต่ำกว่าหอสมุดฯ ระยะทาง การมองเห็นตัวอาคารจะมองเห็นในระยะทางที่ใกล้กว่า และเส้นทางทดสอบมีระยะทางที่ใกล้กับยานพาหนะมากกว่าหอสมุดฯ จึงทำให้ผลการทดสอบระบบมีมุมมองของภาพที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะสามารถแสดงมุมมองของภาพในการค้นหาสถานที่ตามเส้นทางที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ



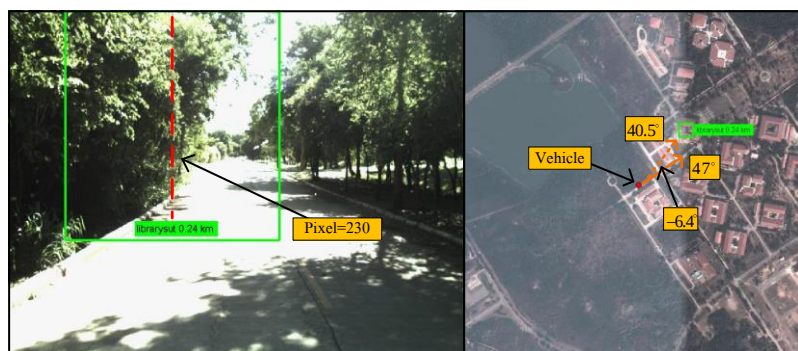
Frame=100 , Vehicle (14.876801,102.014210,57)



Frame=190 , Vehicle (14.876879,102.014316,51)

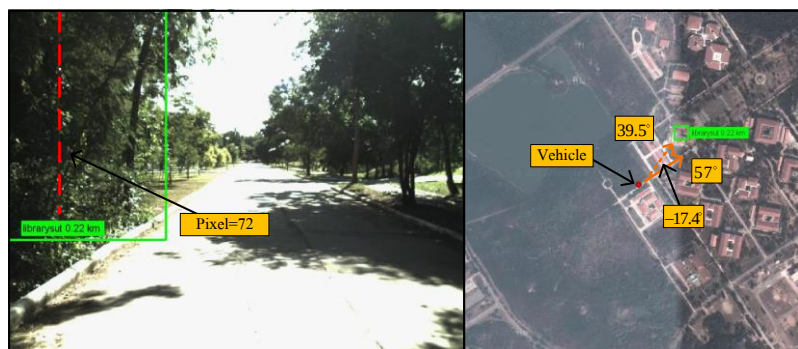


Frame=280 , Vehicle (14.876970,102.014454,56)



Frame=370 , Vehicle (14.877056,102.014595,47)

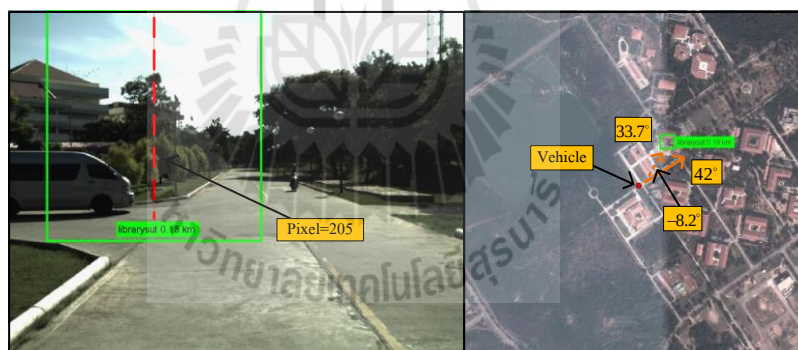
รูปที่ 3.24 แสดงตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 1



Frame=460 , Vehicle (14.877165,102.014738,57)



Frame=550 , Vehicle (14.877253,102.014862,44)

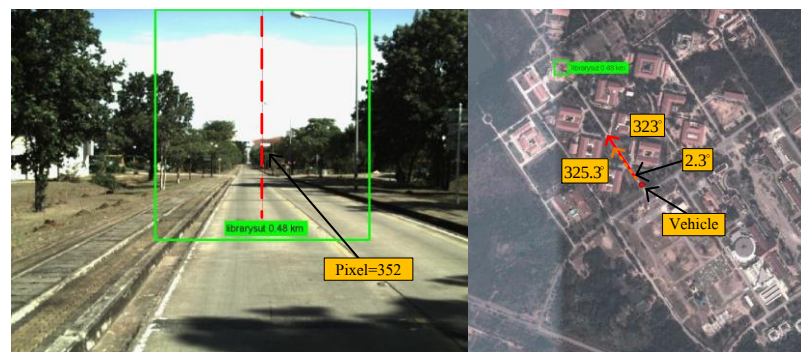


Frame=730 , Vehicle (14.877413,102.015167,42)



Frame=850 , Vehicle (14.877530,102.015241,271)

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 1 (ต่อ)



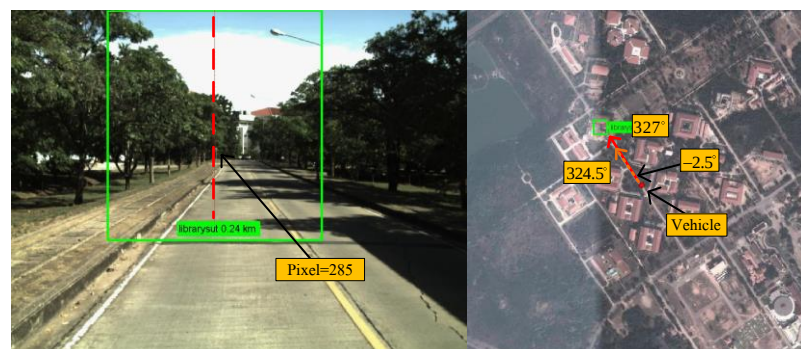
Frame=430 , Vehicle (14.875188,102.018595,323)



Frame=670 , Vehicle (14.875908,102.018145,332)

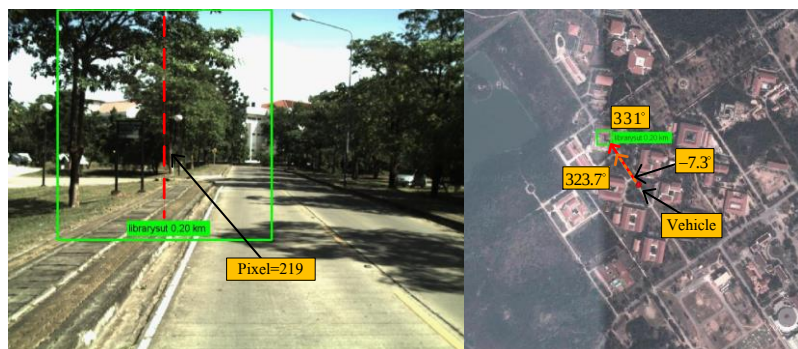


Frame=910 , Vehicle (14.876615,102.017621,322)

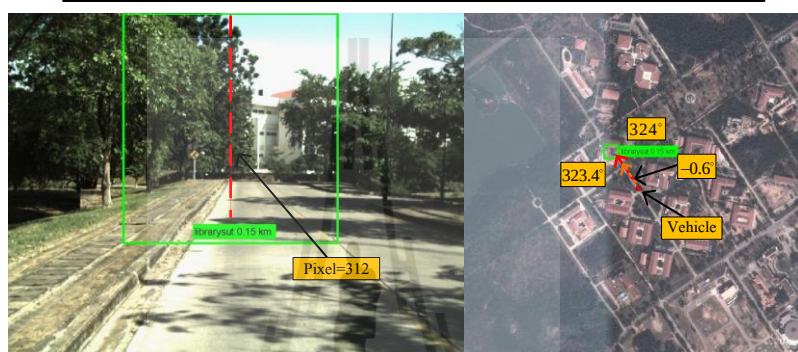


Frame=1030 , Vehicle (14.876969,102.017366,327)

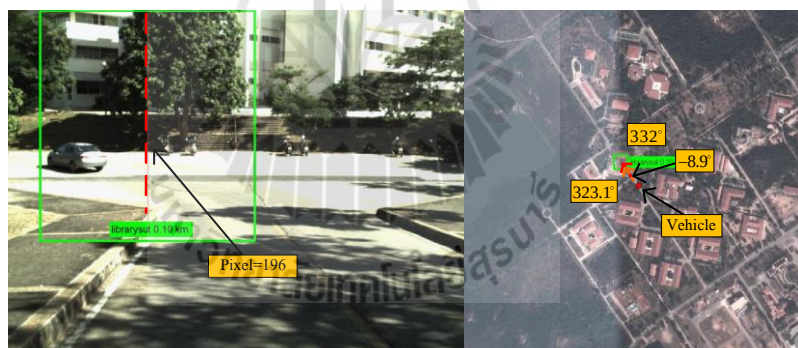
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 2



Frame=1150 , Vehicle (14.877295,102.017153,331)



Frame=1270 , Vehicle (14.877610,102.016925,324)

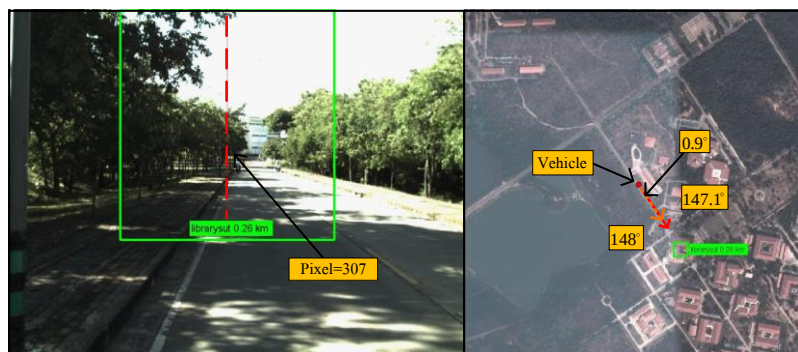


Frame=1390 , Vehicle (14.878006,102.016628,332)

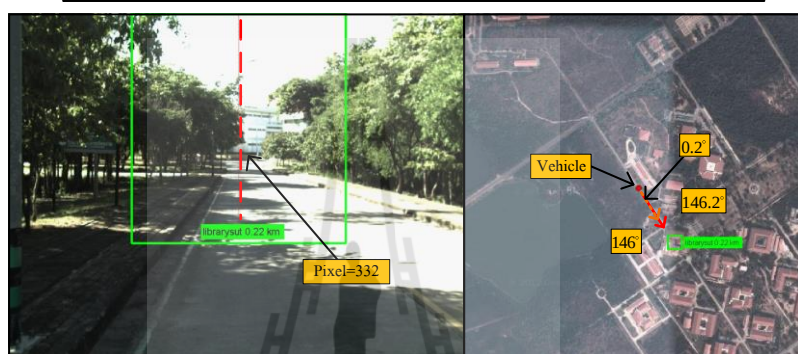


Frame=1480 , Vehicle (14.878143,102.016468,291)

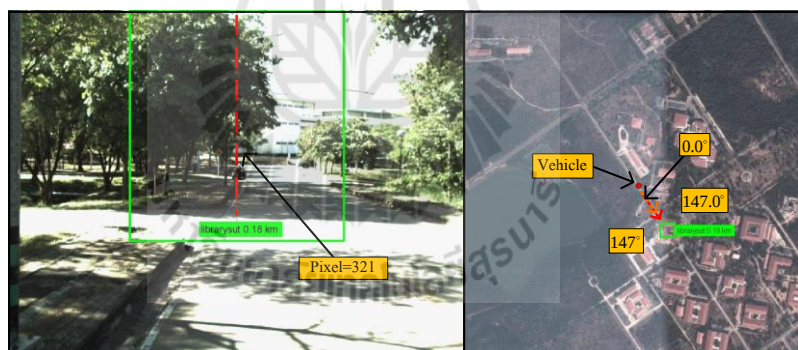
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 2 (ต่อ)



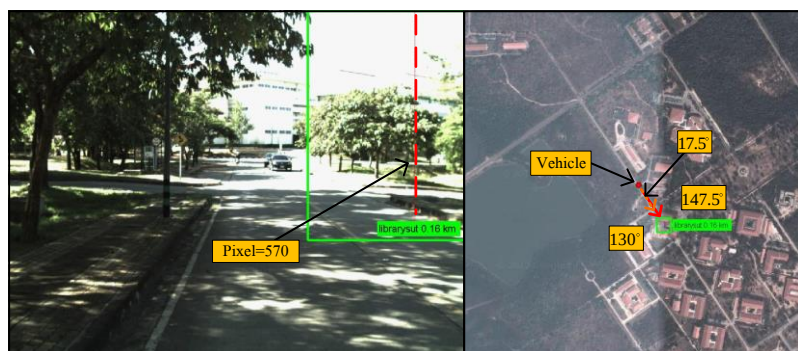
Frame=2890 , Vehicle (14.880675,102.014763,148)



Frame=3010 , Vehicle (14.880369,102.014934,146)

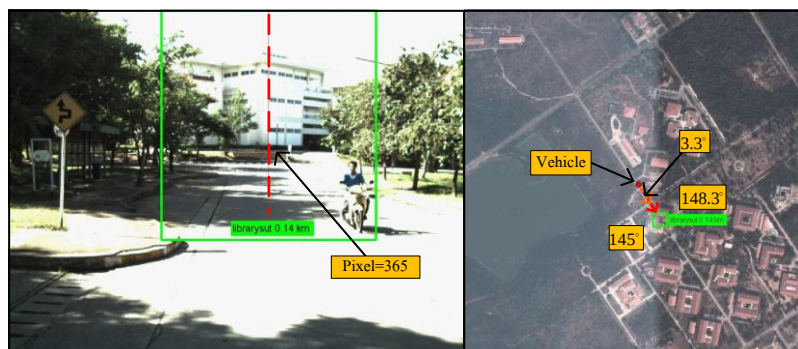


Frame=3130 , Vehicle (14.880071,102.015169,147)

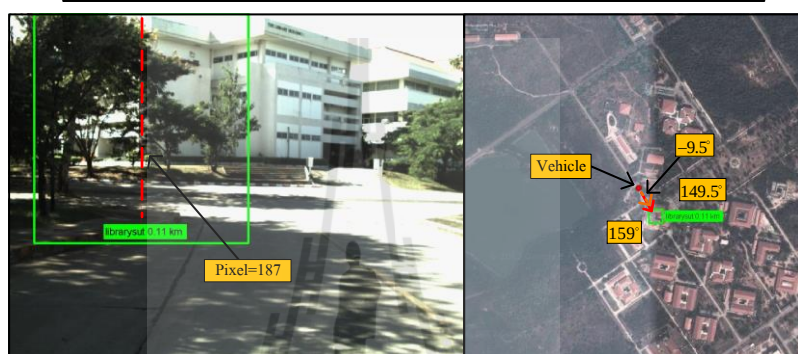


Frame=3190 , Vehicle (14.879923,102.015282,130)

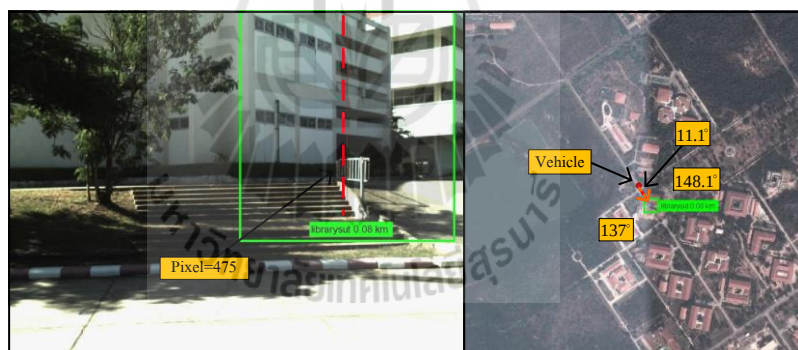
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 3



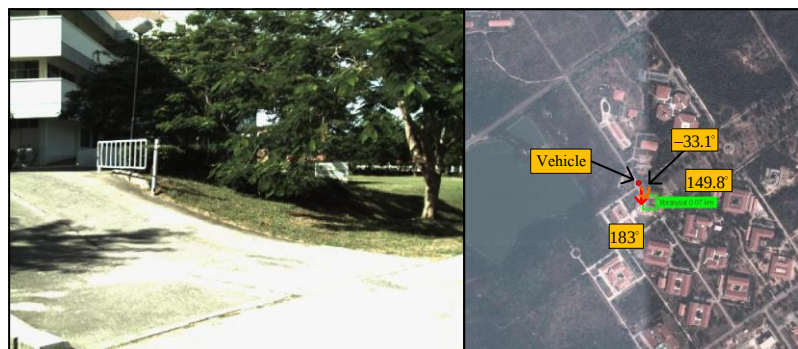
Frame=3250 , Vehicle (14.879773,102.015401,145)



Frame=3310 , Vehicle (14.879584,102.015545,159)



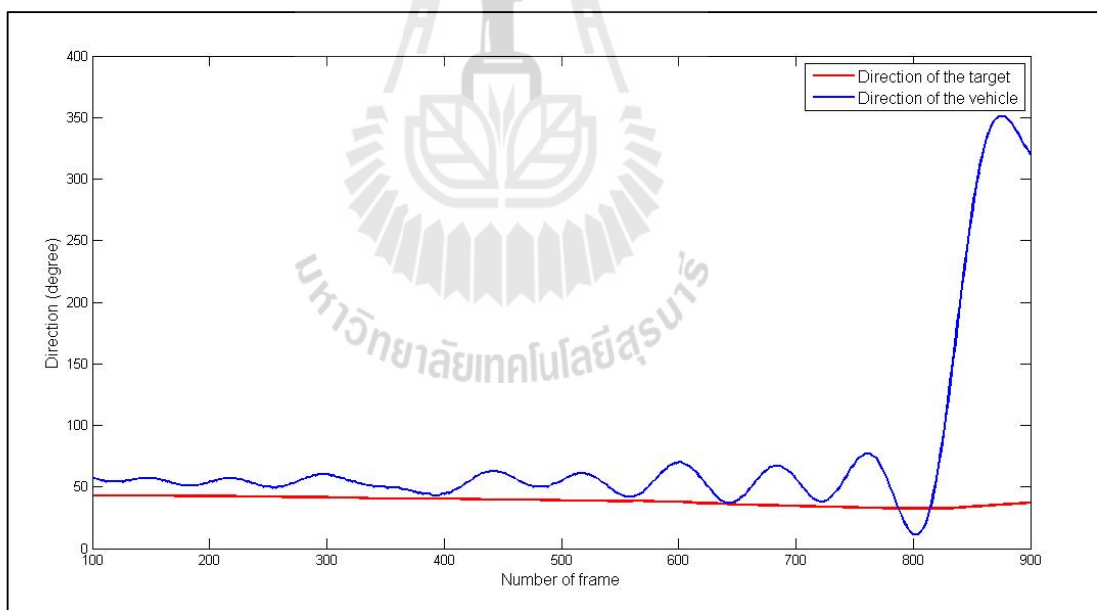
Frame=3430 , Vehicle (14.879330,102.015682,137)



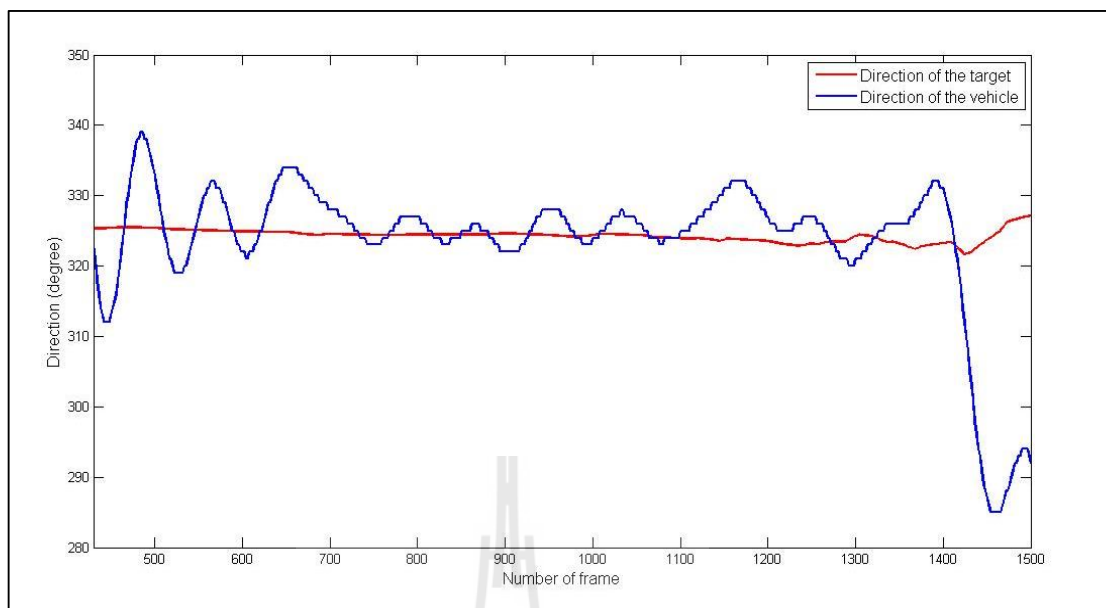
Frame=3460 , Vehicle (14.879299,102.015725,183)

รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน เส้นทางที่ 3 (ต่อ)

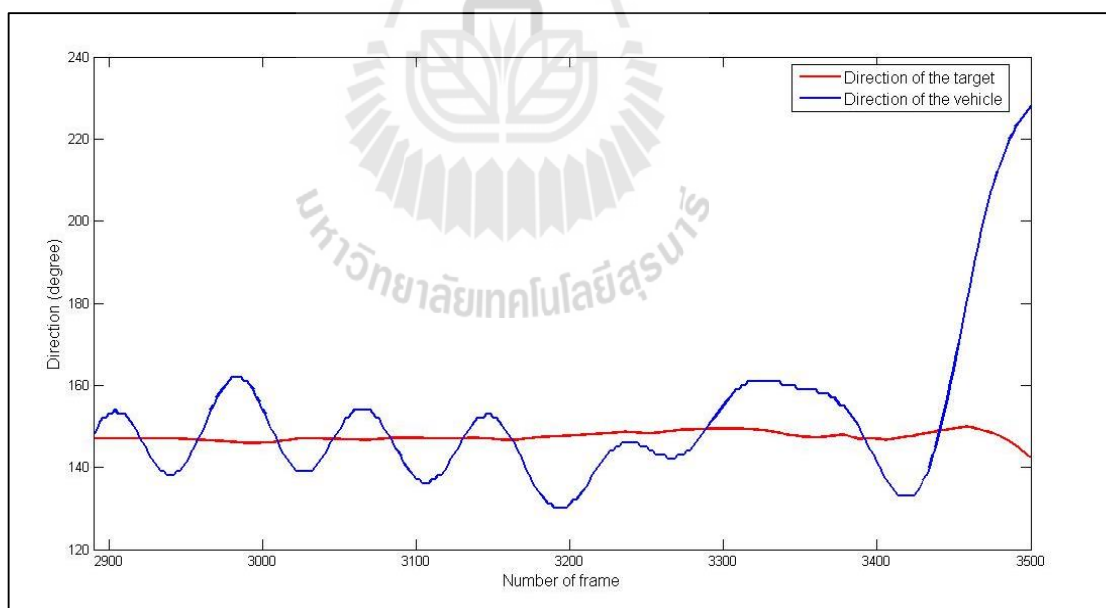
จากผลการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน จากตัวอย่างทั้ง 3 เส้นทาง และรูปตัวอย่างที่ทำการแสดงผลพบได้ว่าสถานที่ซึ่งเป็นสิ่งก่อสร้างมีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงทำให้ขอบเขตในการแสดงผลในแนวนอนไม่สามารถครอบคลุมสถานที่ได้ทั้งหมด เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าใกล้ ดังนั้นจึงใช้จุดกึ่งกลางของกรอบแสดงผลเป็นตัวชี้วัดความแม่นยำ จะเห็นได้ว่าเส้นทางทั้งสามเส้นทางอยู่ในรูปแบบของเส้นทางตรง ดังนั้นจากความน่าจะเป็น จุดกึ่งกลางของกรอบแสดงผลควรจะอยู่ที่ตำแหน่งเดิมหรือคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าหาสถานที่ เพราะมีทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศทางตรง แต่ผลการทดลองที่ออกมาจะเห็นได้ว่าบางเฟรมของภาพกรอบที่แสดงผลมีการเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งฟิกเซลเดิมค่อนข้างมากจึงทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำลดลงตามไปด้วย ดังนั้น จึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนโดยการพล็อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างทิศทางการค้นหาสถานที่กับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของแต่ละเส้นทางด้วยกราฟ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.27 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 1



รูปที่ 3.28 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 2

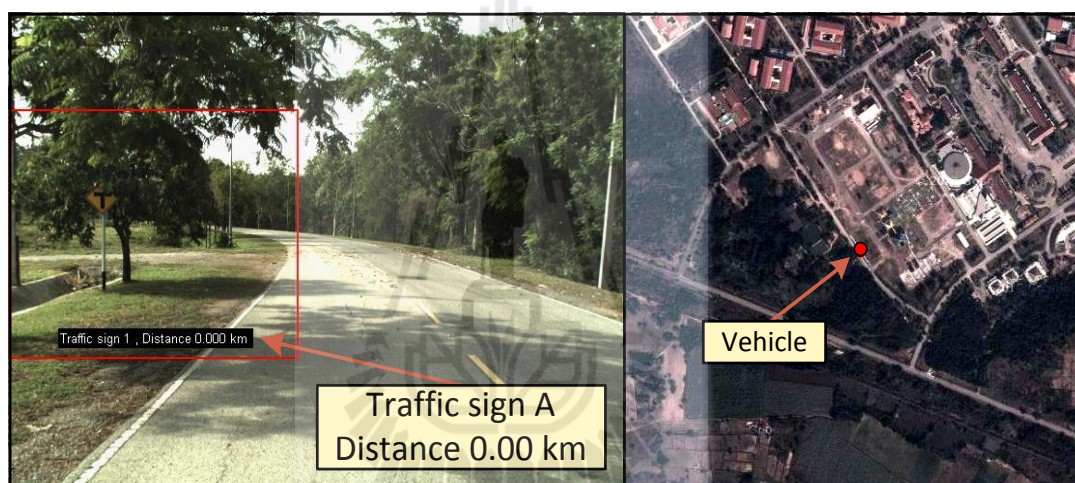


รูปที่ 3.29 ทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เส้นทางที่ 3

ในรูปที่ 3.27-3.29 เป็นกราฟแสดงทิศทางของสถานที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ กราฟเส้นสีแดง คือ ทิศทางของเป้าหมายที่ค้นหา เส้นสีน้ำเงิน คือ ทิศทางของยานพาหนะ จากการสังเกตจะเห็นได้ว่าเมื่อยานพาหนะเริ่มเคลื่อนที่จากระยะที่ไกลและเริ่มเข้าใกล้ตำแหน่งของเป้าหมาย สังเกตได้จากกราฟในแกน X ซ้ายไปขวา ทิศทางการค้นหาสถานที่ที่มีมุมมองสาที่เที่ยงตรงโดยการคำนวณทิศทางจากอัลกอริทึม ซึ่งแตกต่างจากทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีมุมมองสาที่เที่ยงตรงน้อยกว่า โดยค่าทิศทางที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์โดยตรง โดยระบบการทำงานของอัลกอริทึม รูปที่ 3.18 ระบบจะหาค่าความแตกต่างระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะกับทิศทางการค้นหาสถานที่ว่าอยู่ระหว่าง -21.8 ถึง 21.8 หรือไม่ ถ้าอยู่ ระบบจะส่งค่าความต่างไปหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลบนภาพในแนวนอน ดังรูปที่ 3.16 และเมื่อระบบได้ตำแหน่งพิกเซล จะทำการตีกรอบแสดงขอบเขตของสถานที่ โดยมีตำแหน่งของพิกเซลเป็นจุดกึ่งกลางของกรอบ ดังนั้นสรุปได้ว่า จุดกึ่งกลางของกรอบแสดงผลมีการเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งพิกเซลเดิมค่อนข้างมากเกิดจากทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่รับค่าอินพุตมาจากเซ็นเซอร์เข็มทิศดิจิทัลซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำลดลง สาเหตุที่ทำให้ค่าเอาต์พุตของเข็มทิศดิจิทัลเกิดความคลาดเคลื่อน เกิดจากการรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอก เพราะยานพาหนะที่ใช้เป็นการขับเคลื่อนด้วยระบบมอเตอร์ หรืออาจเกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวรถเวลาขับเคลื่อนซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่อาจจะสามารถควบคุมได้ ดังนั้น จะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณอินพุตที่ได้จากเซ็นเซอร์ และจะนำระบบเครือข่ายประสาทเทียมมาช่วยในด้านการเรียนรู้และจดจำสถานที่ โดยการสร้างรูปแบบชุดข้อมูลของเส้นทางการเรียนรู้ให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมในการจดจำสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

3.7.2 การทดสอบระบบการค้นหาสถานที่หรือวัตถุในระยะใกล้

การแสดงผลในระยะใกล้ คือการจดจำวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณไฟหรือป้ายจราจร ป้ายบอกสถานที่ต่าง ๆ โดยเป็นวัตถุที่ยานพาหนะสามารถเข้าใกล้ได้มากที่สุด ในช่วง 5-10 เมตร ซึ่งวัตถุยังคงอยู่ในมุมมองของภาพ วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้และจดจำวัตถุในระยะใกล้นี้ สามารถเป็นระบบการเตือนภัยในการขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนน ซึ่งสามารถบ่งบอกระยะทางและเตือนก่อนที่จะถึงสัญญาณไฟหรือป้ายจราจรหรือเป็นการจดจำป้ายบอกสถานที่ที่สามารถทำให้ผู้ขับขี่ทราบจุดมุ่งหมายล่วงหน้าของการเดินทาง ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอการค้นหาวัตถุในระยะ ใกล้โดยใช้อัลกอริทึม และนำเสนอตัวอย่างโดยการใช้ป้ายจราจร ดังแสดงในรูปที่ 3.30



Traffic Sign A

รูปที่ 3.30 มุมมองของภาพที่ใช้ทดสอบระบบการค้นหาสถานที่หรือวัตถุในระยะใกล้

ในรูปที่ 3.30 เป็นการแสดงตำแหน่งมุมมองของภาพในการค้นหาวัตถุในระยะใกล้ จากการทดสอบระบบจะสามารถเริ่มมองเห็นวัตถุได้ในช่วง 0.2–0.5 กิโลเมตรในช่วงทางตรงจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ และในช่วงทางโค้งระยะทางไม่เกิน 100 เมตร ในการทดสอบระบบจะใช้หลักการเดียวกันกับการค้นหาสถานที่ในระยะใกล้ ซึ่งผลการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตำแหน่งและทิศทางของวัตถุเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุระยะทางน้อยกว่า 100 เมตรซึ่งความถูกต้องน้อยกว่า 50 % สาเหตุที่เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบคือ ค่าเซ็นเซอร์จาก GPS และเข็มทิศดิจิทัล ซึ่งในการทดลองนี้มีความคลาดเคลื่อนพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ในช่วง 10-15 เมตรซึ่งเป็นผลต่อการค้นหาตำแหน่งของวัตถุที่มีระยะใกล้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบการค้นหาตำแหน่งของวัตถุโดยผสมระหว่างการใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม

ในการเรียนรู้และจดจำตำแหน่งของวัตถุ และจะใช้อัลกอริทึมในการหาระยะทางและทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะไปยังวัตถุ เพื่อตรวจสอบว่าวัตถุยังอยู่ในขอบเขตมุมมองภาพหรือไม่ ซึ่งตัวอย่างในการค้นหาวัตถุ แสดงได้ดังรูปที่ 3.31 เป็นการค้นหาวัตถุจากพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม โดยเริ่มจากตำแหน่งที่สามารถแสดงขอบเขตของวัตถุในมุมมองภาพได้ จนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่สามารถมองเห็นวัตถุ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการค้นหาสถานที่หรือวัตถุในระยะใกล้โดยละเอียดจะกล่าวในบทต่อไป



รูปที่ 3.31 ตัวอย่างการสร้างรูปแบบเส้นทางในการเรียนรู้และจดจำวัตถุระยะใกล้

3.8 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์พีวชัน ซึ่งอธิบายวิธีการเชื่อมต่อและการนำไปใช้งานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิด โดยเริ่มจากการรับค่าอินพุตจากระบบจีพีเอส และเข็มทิศดิจิทัลแล้วทำการส่งค่าอินพุตที่ได้ให้กับระบบอัลกอริทึมทำการคำนวณหาระยะทางและทิศทางของสถานที่ แล้วทำการแสดงผลขอบเขตของสถานที่ออกทางหน้าจอแสดงผล ตำแหน่งของสถานที่และยานพาหนะบนแผนที่แบบออฟไลน์ โดยแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 รูปแบบคือการแสดงผลสถานที่ในระยะใกล้และการแสดงผลวัตถุในระยะไกล จากผลการทดลองทั้งสองรูปแบบแสดงให้เห็นว่าการค้นหาทิศทางของสถานที่ในระยะทางที่ไกลมีมุมมองที่แม่นยำมากกว่าในระยะทางที่ใกล้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามสถานที่ที่ยังอยู่ในขอบเขตของการแสดงผลที่กำหนดไว้โดยสาเหตุที่เกิดความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลเนื่องมาจากการรับค่าอินพุตจากเซ็นเซอร์ จากวิธีการทดลองดำเนินงานวิจัยทำให้เราทราบถึงรูปแบบของการค้นหาสถานที่ ชุดข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและยังทำให้ทราบถึงปัญหาในด้านต่าง ๆ ส่วนเนื้อหาในบทถัดไปจะเป็นการสร้างรูปแบบของชุดข้อมูลแล้วนำระบบเครือข่ายประสาทเทียมมาทำการฝึกสอนเพื่อจะทำให้ประสิทธิภาพในการค้นหาสถานที่หรือวัตถุ ที่มีความรวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

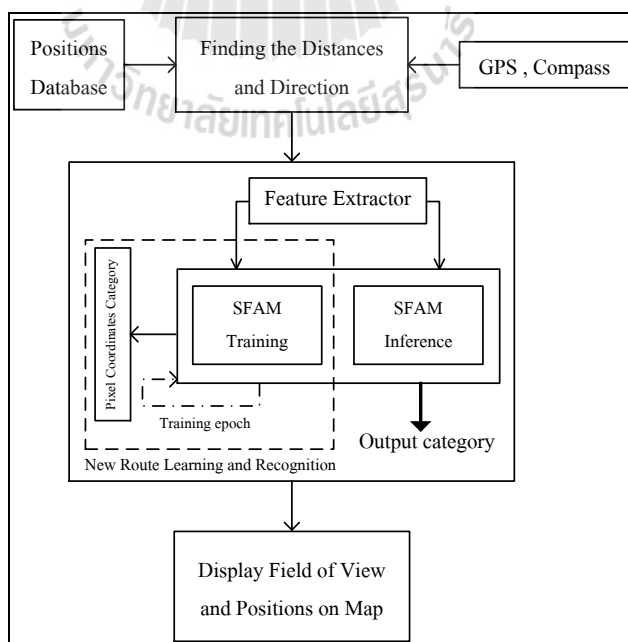


บทที่ 4

ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

4.1 บทนำ

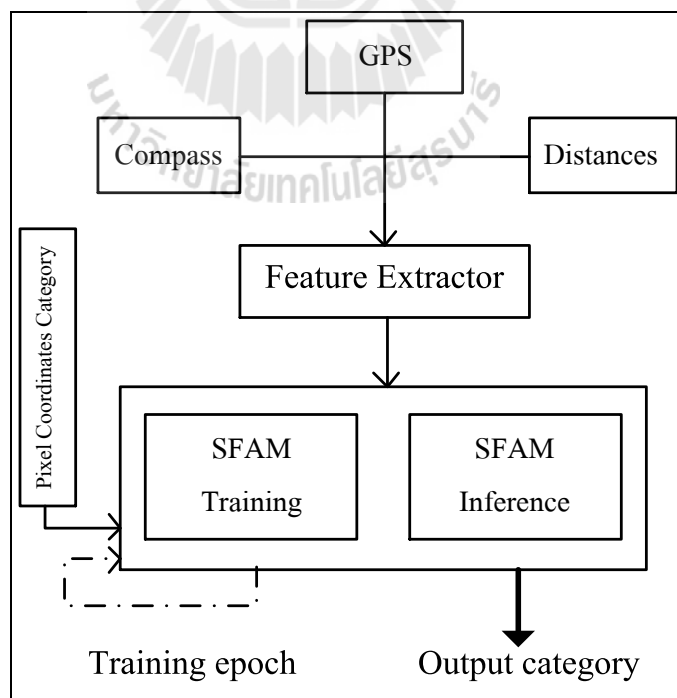
เนื้อหาในบทนี้นำเสนอกระบวนการสร้างรูปแบบของระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นการสร้างรูปแบบของชุดข้อมูลที่ได้รับค่าจากเซ็นเซอร์ฟิวชันและทำการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมชนิดการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) โดยรูปแบบของชุดข้อมูลจะเป็นการสร้างเส้นทางการเรียนรู้ให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียม โดยใช้อัลกอริทึมในการค้นหาเส้นทางของสถานที่ที่สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ภายในภาพได้ ในการทดสอบระบบ เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่มายังเส้นทางการเรียนรู้ที่ได้ทำการฝึกสอน ระบบจะสามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ภายในภาพได้ และสามารถค้นหาเส้นทางการเรียนรู้ใหม่โดยอัตโนมัติในทุกเส้นทางที่ยานพาหนะเคลื่อนไปได้ และระบบจะทำการเรียนรู้และจดจำสถานที่เพิ่มเติมจากฐานข้อมูลเดิมที่ได้ทำการฝึกสอนในครั้งแรกแบบอัตโนมัติ ซึ่งรูปแบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ

4.2 การสร้างเส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่

วิธีการสร้างเส้นทางการเรียนรู้ ได้นำระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันมาทำการสร้างเส้นทางของระบบ โดยรูปแบบชุดข้อมูลของเส้นทางที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยระบบเครือข่ายประสาทเทียมจะเป็นรูปแบบของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งข้อมูลอินพุตประกอบไปด้วย พิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด) ทิศทางการเคลื่อนที่และระยะทางระหว่างยานพาหนะกับเป้าหมาย ส่วนข้อมูลเอาต์พุตคือตำแหน่ง (พิกเซล) ที่แสดงขอบเขตของสถานที่บนภาพ ในระบบการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัตินี้ มนุษย์จะต้องเป็นผู้ระบุชื่อและตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่ในครั้งแรกของการฝึกสอนให้กับระบบ ต่อจากนั้นระบบจะทำการค้นหาเส้นทางการเรียนรู้ที่ยานพาหนะได้เคลื่อนที่ผ่านมาแล้ว ว่าเส้นทางใดที่เป้าหมายอยู่ในขอบเขตที่สามารถแสดงผลได้ แล้วระบบจะทำการสร้างรูปแบบชุดข้อมูลของเส้นทางการเรียนรู้ โดยรับค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากระบบจีพีเอส ทิศทางจากเข็มทิศดิจิทัลและระยะทางระหว่างยานพาหนะกับสถานที่ ที่ได้จากการคำนวณ แล้วระบบจะนำชุดข้อมูลทั้งหมดที่ได้ ไปคำนวณหาตำแหน่ง (พิกเซล) ที่แสดงขอบเขตของสถานที่บนภาพเพื่อเป็นเอาต์พุตให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบของเส้นทาง สามารถแสดงโครงสร้างของรูปแบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างรูปแบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

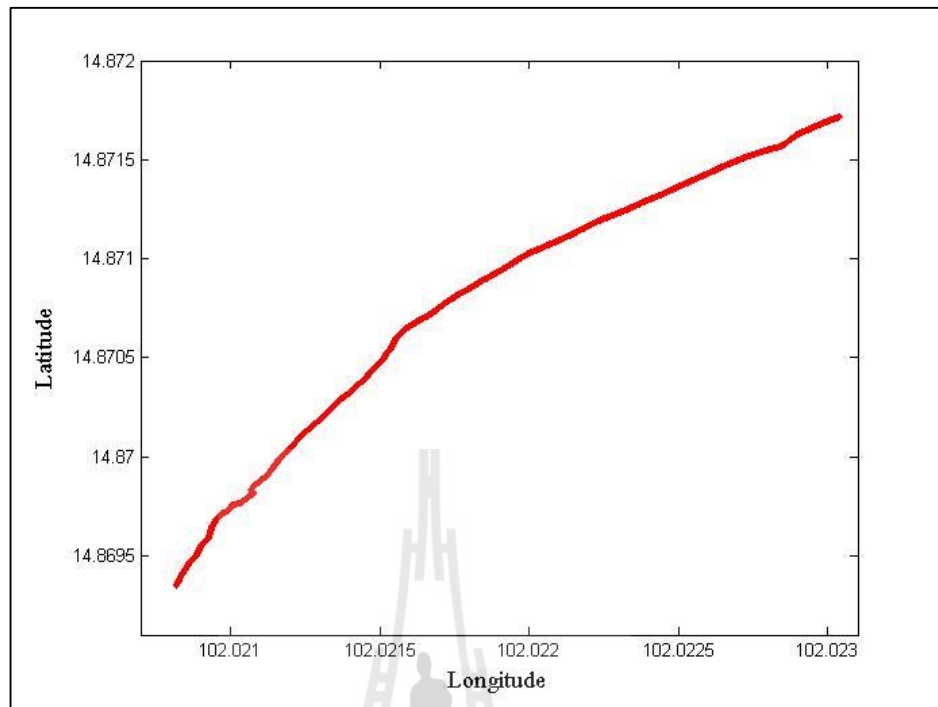
4.2.1 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่

สถานที่ที่ใช้ในการสร้างเส้นทางการเรียนรู้ หอสุรนาซึ่งเป็นสถานที่เดิมที่ใช้ในการทดสอบกับระบบการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมในบทที่ 3 หัวข้อ 3.7.1 โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ (14.872941, 102.023699) จากการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมทำให้ทราบว่าเส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ได้ จึงได้นำเส้นทางที่ 1 มาเป็นตัวอย่างในการทดสอบระบบและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึม

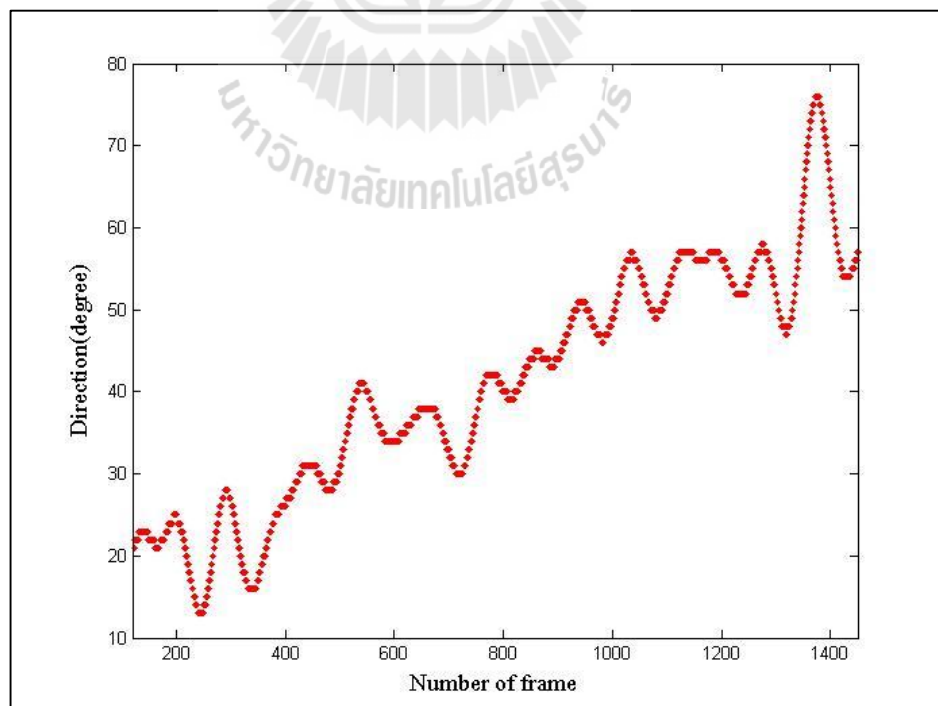


รูปที่ 4.3 เส้นทางการเรียนรู้และจดจำสถานที่ (หอสุรนา)

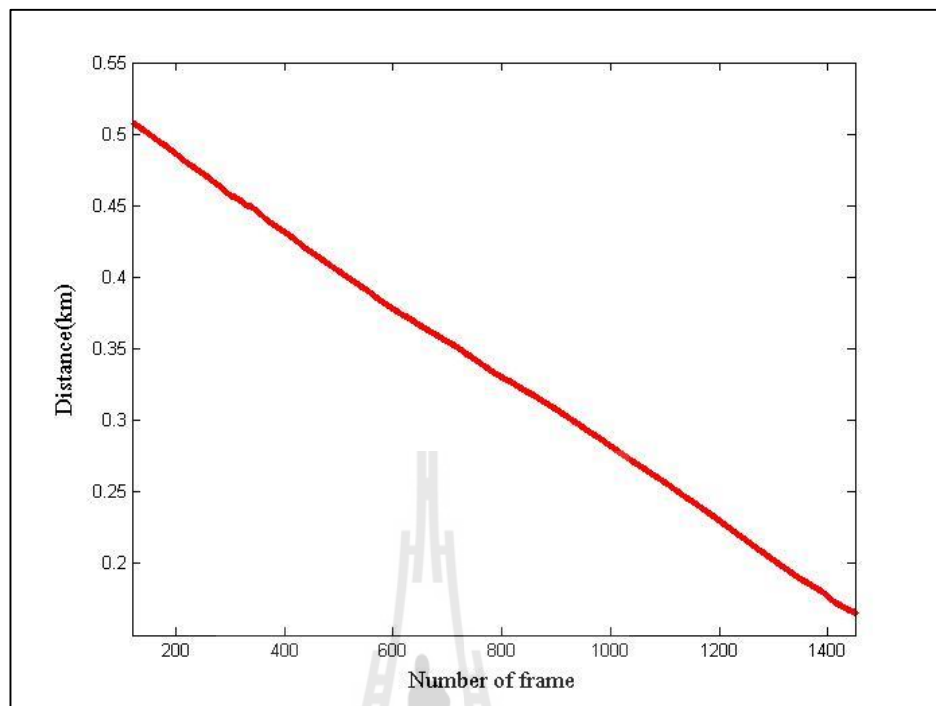
ในรูปที่ 4.3 ตามเส้นประสีแดง เป็นเส้นทางการเรียนรู้จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายมีความยาวประมาณ 350 เมตร ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะอยู่ระหว่างมุมมององศาที่ 15-56 องศา ซึ่งชุดข้อมูลที่จะใช้ในการฝึกสอนประกอบด้วยพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด) แสดงดังรูปที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแสดงดังรูปที่ 4.5 และระยะทางระหว่างยานพาหนะกับสถานที่ในแต่ละตำแหน่งของการเคลื่อนที่แสดงดังรูปที่ 4.6 จากผลการทดสอบระบบการค้นหาสถานที่ด้วยอัลกอริทึมจากบทที่ 3 ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดความคลาดเคลื่อนจากทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบลดลง ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณอินพุตที่ได้รับจากเซ็นเซอร์เข็มทิศดิจิทัลที่เกิดความแปรปรวน โดยการปรับเรียบสัญญาณข้อมูลด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average filter)



รูปที่ 4.4 เส้นทางการเรียนรู้ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด)



รูปที่ 4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ



รูปที่ 4.6 ระยะทางระหว่างยานพาหนะกับสถานี

4.2.2 การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นตัวกรองเชิงดิจิทัลที่ง่ายที่สุด มีหลักการทำงานที่เรียบง่าย โดยจะเป็นการหาผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองโดยใช้ค่าข้อมูลดิบผ่านการคำนวณที่ง่ายและไม่ซับซ้อน การปรับเรียบสัญญาณข้อมูลในแต่ละจุดจะเป็นการหาค่าเฉลี่ยกับข้อมูลที่อยู่ใกล้เคียงในช่วงที่กำหนดไว้ กระบวนการนี้จะเทียบเท่ากับการกรองผ่านความถี่ต่ำ ซึ่งทำให้ข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น สามารถหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ได้จากสมการที่ 4.1

$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N)) \quad (4.1)$$

เมื่อ $y_s(i)$ คือ ค่าที่ถูกปรับเรียบ ณ ตำแหน่งข้อมูล (i)

N คือ จำนวนของจุดข้อมูลที่อยู่ใกล้เคียงที่ด้านข้างของ $y_s(i)$

$2N+1$ คือ ช่วงของค่าเฉลี่ย

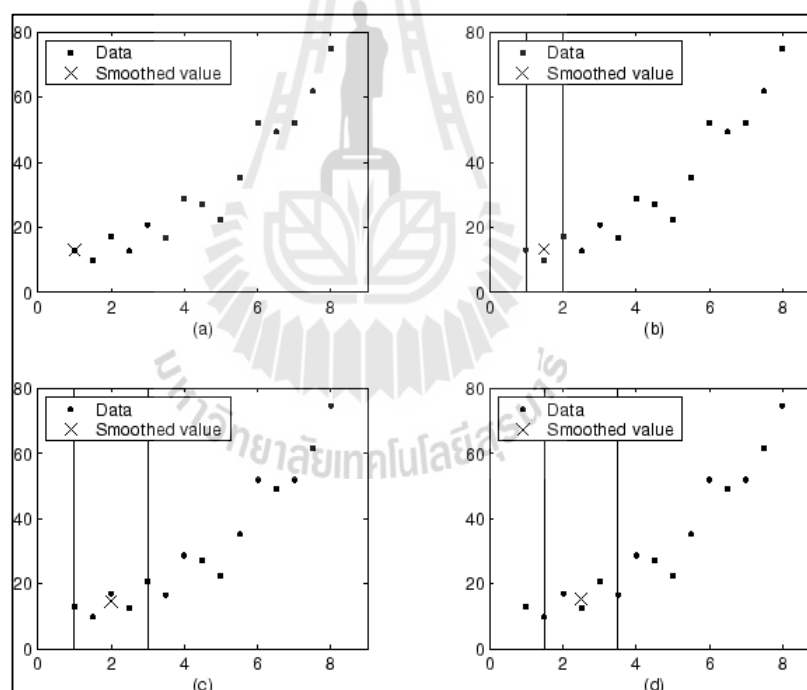
ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ กำหนดช่วงของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 สามารถอธิบายจากกฎข้างต้นได้ดังนี้

$$y_s(1) = y(1) \quad (4.2)$$

$$y_s(1) = (y(1) + y(2) + y(3)) / 3 \quad (4.3)$$

$$y_s(3) = (y(1) + y(2) + y(3) + y(4) + y(5)) / 5 \quad (4.4)$$

$$y_s(4) = (y(2) + y(3) + y(4) + y(5) + y(6)) / 5 \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.7 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ภาพจาก <http://www.mathworks.com/help/curvefit/smoothingdata.html>)

- (a) ข้อมูลจุดแรกที่ไม่สามารถปรับค่าให้เรียบได้เพราะเป็นจุดที่ไม่สามารถสร้างช่วงได้
- (b) ข้อมูลจุดที่สองมีการกำหนดช่วงในการปรับเรียบข้อมูลเท่ากับ 3
- (c),(d) กำหนดช่วงในการปรับเรียบข้อมูลเท่ากับ 5

การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้มีความเรียบจะใช้ฟังก์ชันใน โปรแกรม Matlab ดังสมการที่ 4.6 เป็นฟังก์ชันที่สามารถปรับค่าของข้อมูลอินพุตที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์เข็มทิศดิจิทัลให้มีความเที่ยงตรง สามารถอธิบายการทำงานของฟังก์ชันดังต่อไปนี้

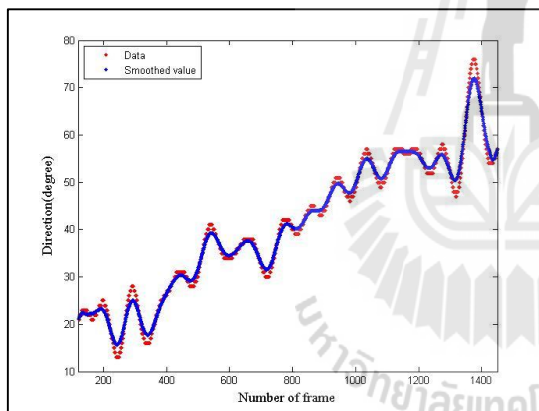
$$yy = \text{smooth}(y, \text{span}, \text{method}) \quad (4.6)$$

เมื่อ y คือ ข้อมูลอินพุต

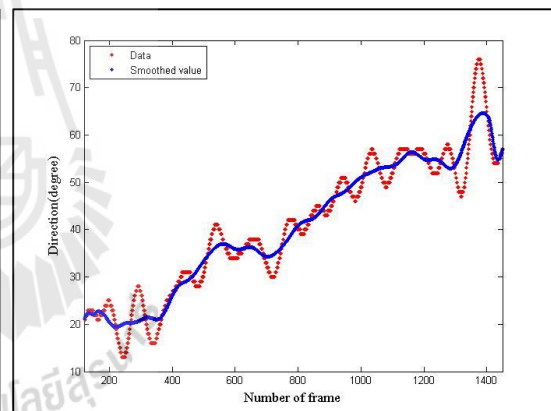
span คือ กำหนดช่วงของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ให้ครอบคลุมข้อมูล กำหนดในช่วงเลขที่

method คือ 'moving' เป็นตัวกรองผ่านความถี่ต่ำที่มีสัมประสิทธิ์ตัวกรองเท่ากับกฎของช่วง

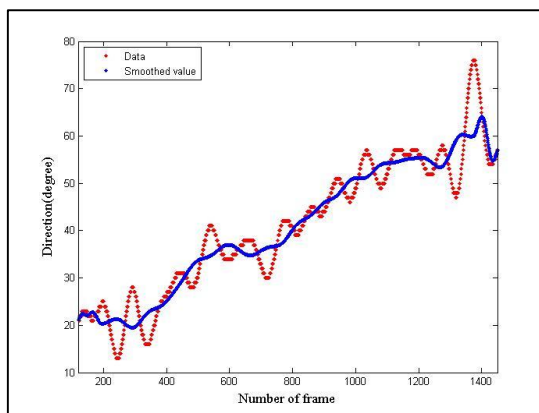
ตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณอินพุต



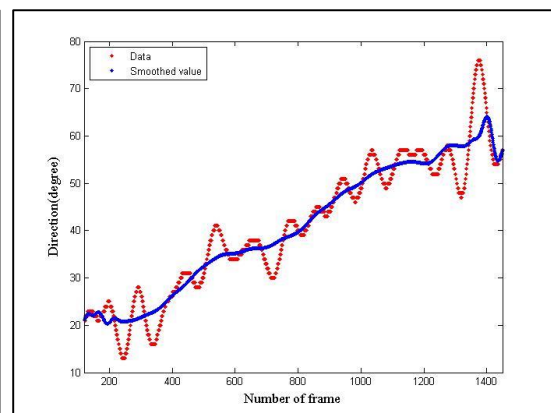
ก) กำหนดช่วงเท่ากับ 50



ข) กำหนดช่วงเท่ากับ 100



ค) กำหนดช่วงเท่ากับ 150

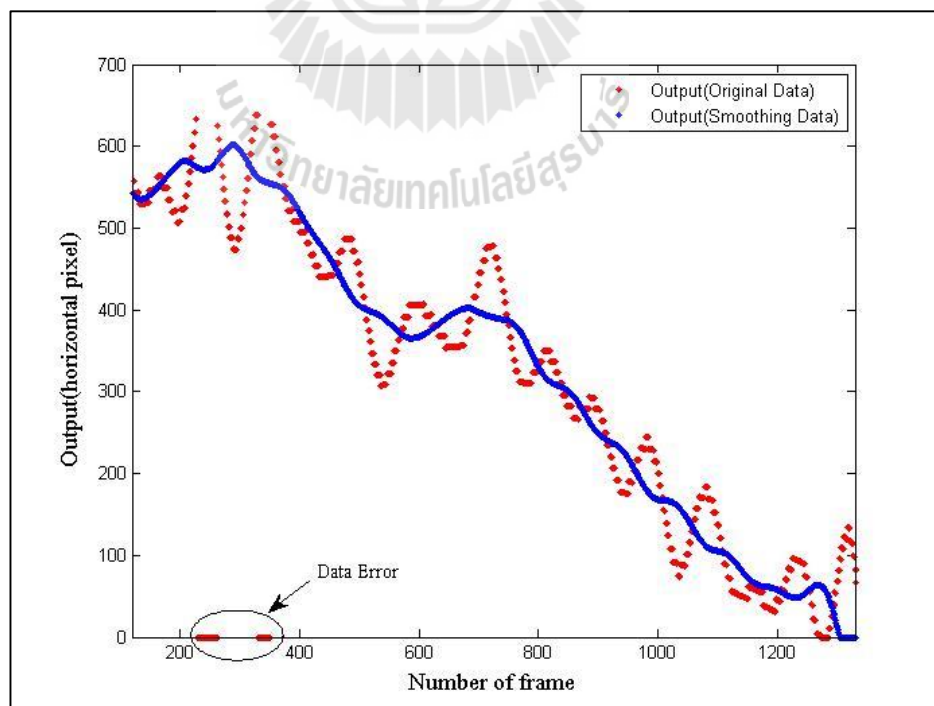


ง) กำหนดช่วงเท่ากับ 300

รูปที่ 4.8 การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณอินพุต

ในรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จากตัวอย่าง การกำหนดช่วงของค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก จะเห็นได้ว่ากราฟคุณภาพของสัญญาณ ที่ถูกปรับปรุงมีแนวโน้มของสัญญาณที่เรียบขึ้นในช่วงของค่าเฉลี่ยที่มีค่ามาก อย่างไรก็ตามการ กำหนดช่วงของค่าเฉลี่ยในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณจะต้องดูผลลัพธ์ที่ได้ของระบบด้วยว่ามีความถูกต้องแม่นยำเพียงใดเพื่อหาช่วงของค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม

เมื่อทำการปรับปรุงข้อมูลอินพุตให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมแล้ว ต่อไปจะเป็นการสร้างข้อมูลเอาต์พุตของระบบคือ ตำแหน่งพิกเซลที่แสดงขอบเขตของสถานที่ภายในภาพ เพื่อทำการหาช่วงของค่าเฉลี่ยว่าค่าใดที่ทำให้เอาต์พุตของมีความแม่นยำมากที่สุด วิธีการหาค่าเอาต์พุตของระบบจะใช้อัลกอริทึมเดียวกันกับการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน จากในตัวอย่างของบทที่ 3 โดยจะทำการคำนวณหาข้อมูลเอาต์พุตจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้ายของเส้นทางการเรียนรู้และจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลเอาต์พุตระหว่างชุดข้อมูลอินพุตเดิมกับชุดข้อมูลที่ถูกปรับปรุง จากการทดลองสามารถหาช่วงของค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมได้เท่ากับ 135 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลดังรูปที่ 4.9 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการปรับปรุงสัญญาณอินพุตให้ดีขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าเอาต์พุตของระบบดีขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยการแสดงขอบเขตของสถานที่บนรูปภาพระหว่างชุดข้อมูลอินพุตเดิมกับชุดข้อมูลที่ถูกปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 4.10



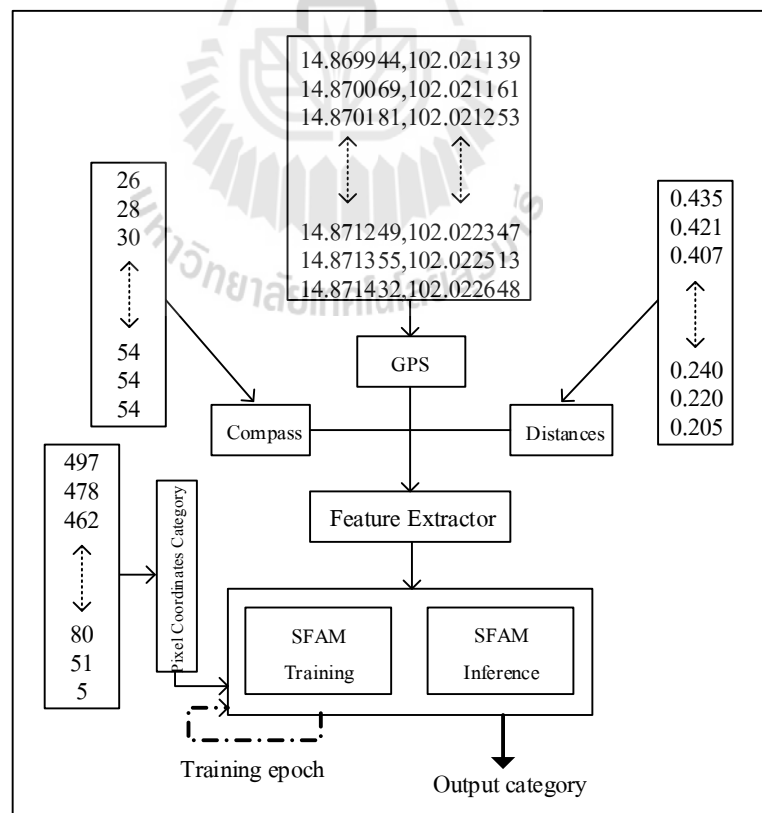
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบข้อมูลเอาต์พุตของระบบ ช่วงของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลเอาต์พุตของระบบระหว่างชุดข้อมูลเดิมกับชุดข้อมูลที่ถูกปรับปรุง
 เส้น --- ชุดข้อมูลเดิมและเส้น — ชุดข้อมูลที่ถูกปรับปรุง

4.3 วิธีการฝึกสอนด้วยระบบเครือข่ายประสาทเทียม

ในรูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนที่ได้รับค่าจากเซ็นเซอร์ฟิวชัน จะถูกฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม สามารถดูโครงสร้างสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมได้ในบทที่ 2 รูปที่ 2.15 เพื่อประกอบการอธิบาย เมื่อมีการป้อนข้อมูลอินพุตคิบไปยังเครือข่าย จากนั้นระบบจะทำการแยกคุณลักษณะของข้อมูลอินพุตคิบ เพื่อส่งไปยังตัวลงรหัสส่วนเดิมเต็ม (complement coder) ซึ่งอินพุตที่ถูกลงรหัสส่วนเดิมเต็มนั้น จะขยายออกเป็นสองเท่าของขนาดเดิม อินพุตเวกเตอร์ที่ถูกลงรหัสส่วนเดิมเต็ม เรียกว่า Z และจะถูกส่งไปยังชั้นอินพุต ในส่วนค่าน้ำหนักประสาท (weights) มาจากแต่ละจุดของประเภทเอาต์พุต (output nodes) ซึ่งเคลื่อนที่ลงมาในชั้นอินพุต ในขณะที่ชั้นประเภท (category layer) เป็นชั้นที่มีจำนวนประเภทมาจากเครือข่ายที่ได้รับการเรียนรู้พารามิเตอร์สอดคล้อง (vigilance parameter: ρ) และการติดตามความคล้าย (match tracking) เป็นกลไกของสถาปัตยกรรมในเครือข่ายซึ่งใช้ก่อนการทดสอบเครือข่าย ในการทดสอบเครือข่ายจะกำหนดค่า ρ ซึ่งค่าที่กำหนดสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดย ρ จะไปควบคุมขนาดของชั้นเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่การปรับ ρ ให้มีค่าสูงทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพในการจำแนกที่ดี



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน

วิธีการฝึกสอนด้วยระบบเครือข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับรูปแบบของชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนว่ามีความละเอียดและซับซ้อนมากน้อยเพียงใด และการปรับค่าพารามิเตอร์สอดส่อง (vigilance parameter: ρ) ให้สอดคล้องกับรูปแบบของชุดข้อมูล เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์สอดส่องเพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับระบบการฝึกสอน สามารถสรุปดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้สำหรับการฝึกสอนให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ $\rho = 0.999$ มีความถูกต้องแม่นยำถึง 99.40%

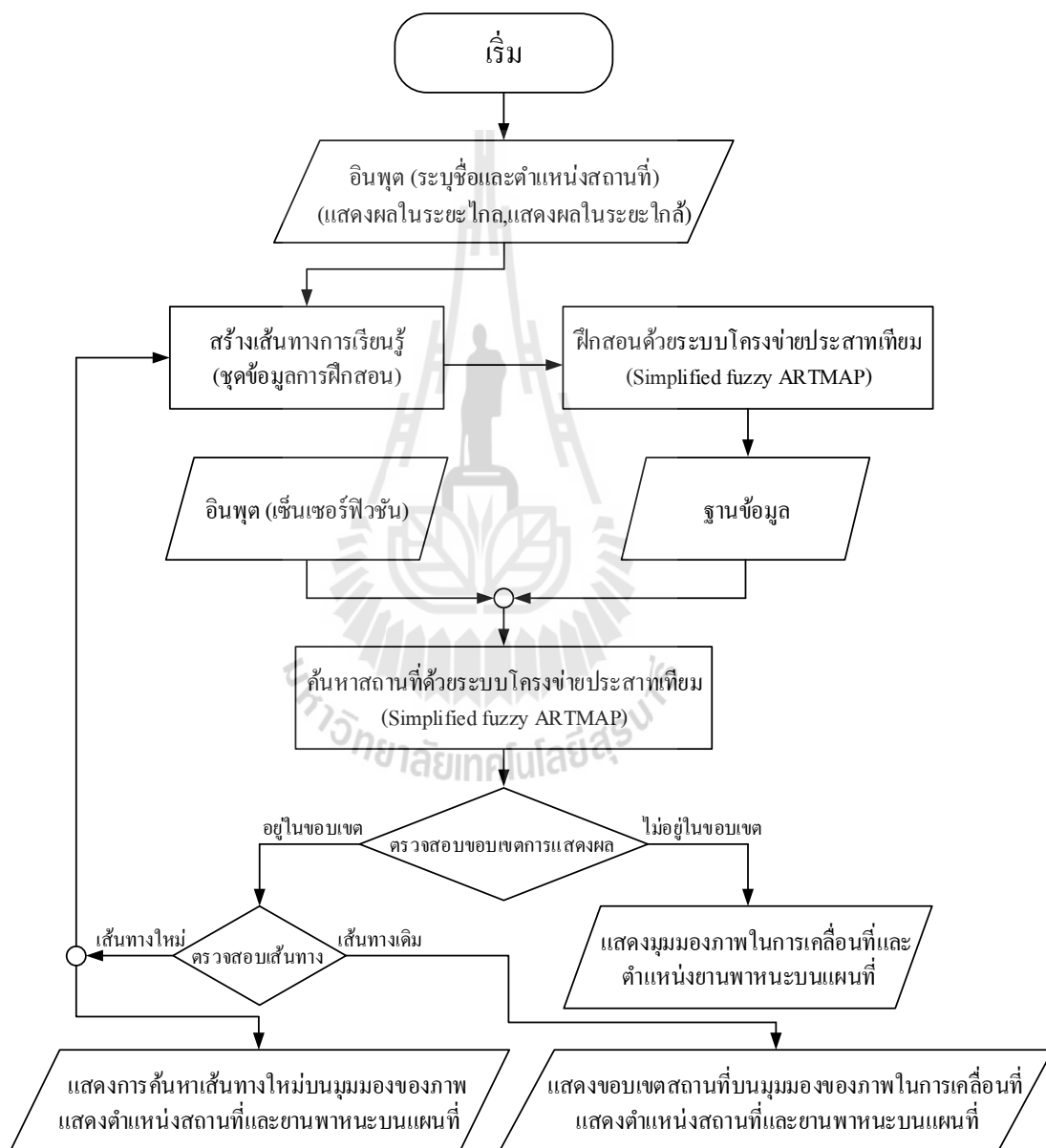
ตารางที่ 4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์สอดส่อง (ρ) ในช่วง 0 ถึง 1

ค่าพารามิเตอร์สอดส่อง (ρ)	ความถูกต้องแม่นยำ
0 – 0.965	52.62%
0.97	56.13%
0.98	69.33%
0.99	78.27%
0.995	85.66%
0.997	92.03%
0.999	99.40%
0.9991	99.27%
0.9995	91.43%
0.9999	62.43%
1	51.33%

4.4 ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบให้มีความเฉลียวฉลาดสามารถเรียนรู้และจดจำสถานที่หรือวัตถุต่าง ๆ โดยการฝึกสอนในครั้งแรกเท่านั้น โดยการระบุตำแหน่งของสถานที่หรือวัตถุที่ต้องการจดจำโดยมนุษย์ เมื่อระบบทำการค้นหาสถานที่ที่จะสามารถค้นหาสถานที่ได้ทุกทิศทางรอบยานพาหนะ เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าสู่เส้นทางที่เคยฝึกสอนระบบจะทำการแสดงผลขอบเขตของสถานที่บนจอแสดงผลและตำแหน่งของสถานที่กับยานพาหนะบนแผนที่แบบออฟไลน์ ระบบยังสามารถค้นหาเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ได้ด้วยตัวเองแล้วจะทำการสร้างชุดข้อมูลของเส้นทางใหม่เพื่อที่จะส่งต่อไปให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้และจดจำโดยอัตโนมัติ

ในรูปแบบของการแสดงผลระบบจะทำการแสดงผลออกเป็นสองรูปแบบคือ การแสดงผลในระยะใกล้และการแสดงผลในระยะไกล เนื่องจากระยะทางมีผลต่อมุมมองของภาพในการมองเห็น จึงทำให้ต้องมีการแยกลักษณะของชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอนออกเป็นสองรูปแบบสามารถแสดงรูปแบบการทำงานของระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 รูปแบบการทำงานของระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ

4.4.1 การทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะไกล)

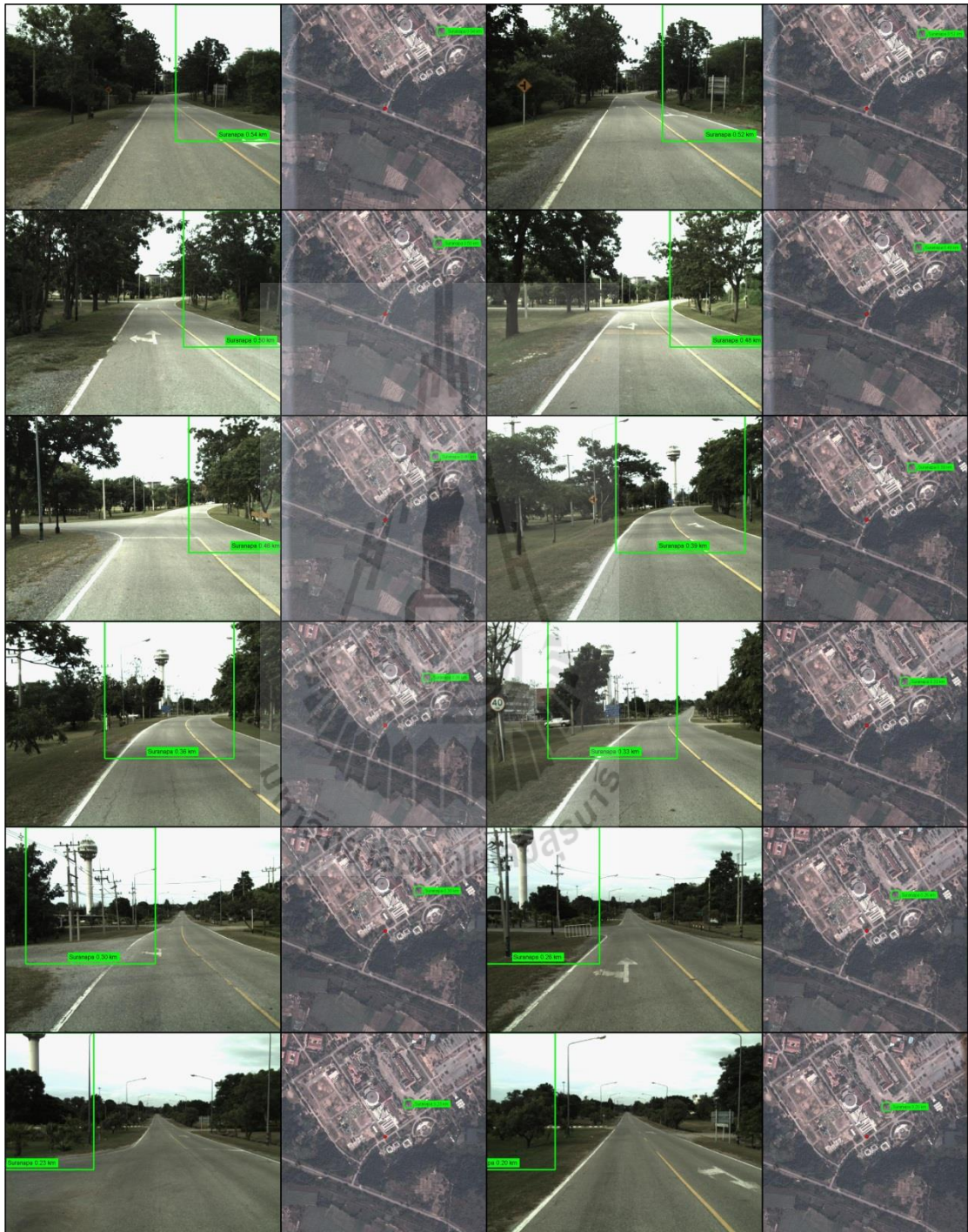
การทดสอบระบบ ขั้นตอนแรกจะทำการระบุชื่อและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่ให้กับระบบ ขั้นตอนที่สองจะทำการป้อนชุดข้อมูลอินพุต (ไฟล์วีดีโอ, จีพีเอส, เซ็มทิสคิจิตอล) ให้กับระบบ จากนั้นระบบจะทำการค้นหาสถานที่และสร้างเส้นทางการเรียนรู้ แล้วทำการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมโดยอัตโนมัติ ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำข้อมูลอินพุตชุดใหม่มาทำการทดสอบเพื่อจะหาประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน สถานที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบระบบ แสดงดังรูปที่ 4.13

1. หอสุรนภา
2. อาคารวิชาการ 2
3. อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน
4. อาคารเครื่องมือ 9

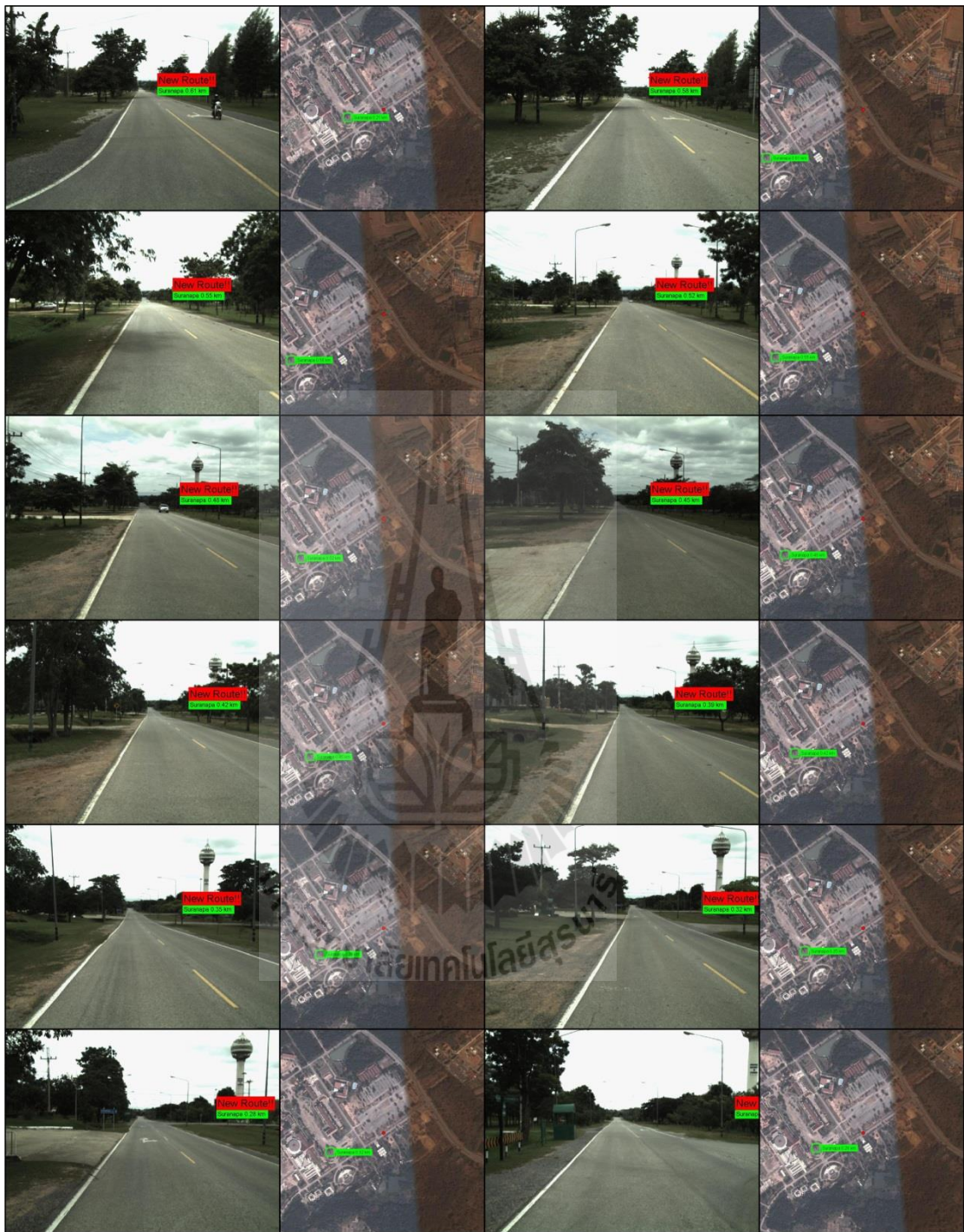


รูปที่ 4.13 สถานที่ทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะไกล)

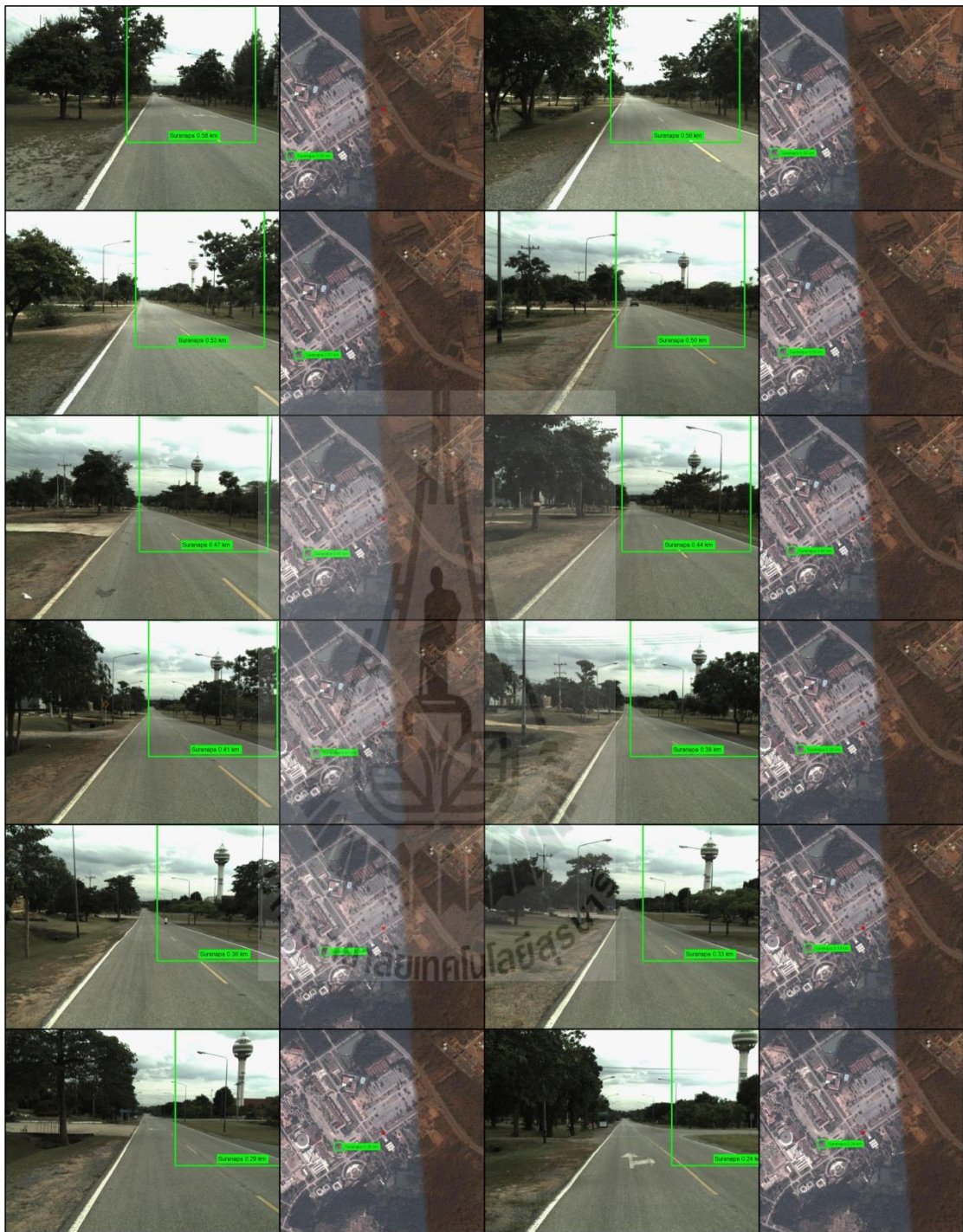
1. หอสุรนภา (14.872968,102.023708) มีจำนวน 2 เส้นทาง



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1,หอสุรนภา)



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่เมื่อพบเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ (เส้นทางที่ 2, หอสุรนภา)



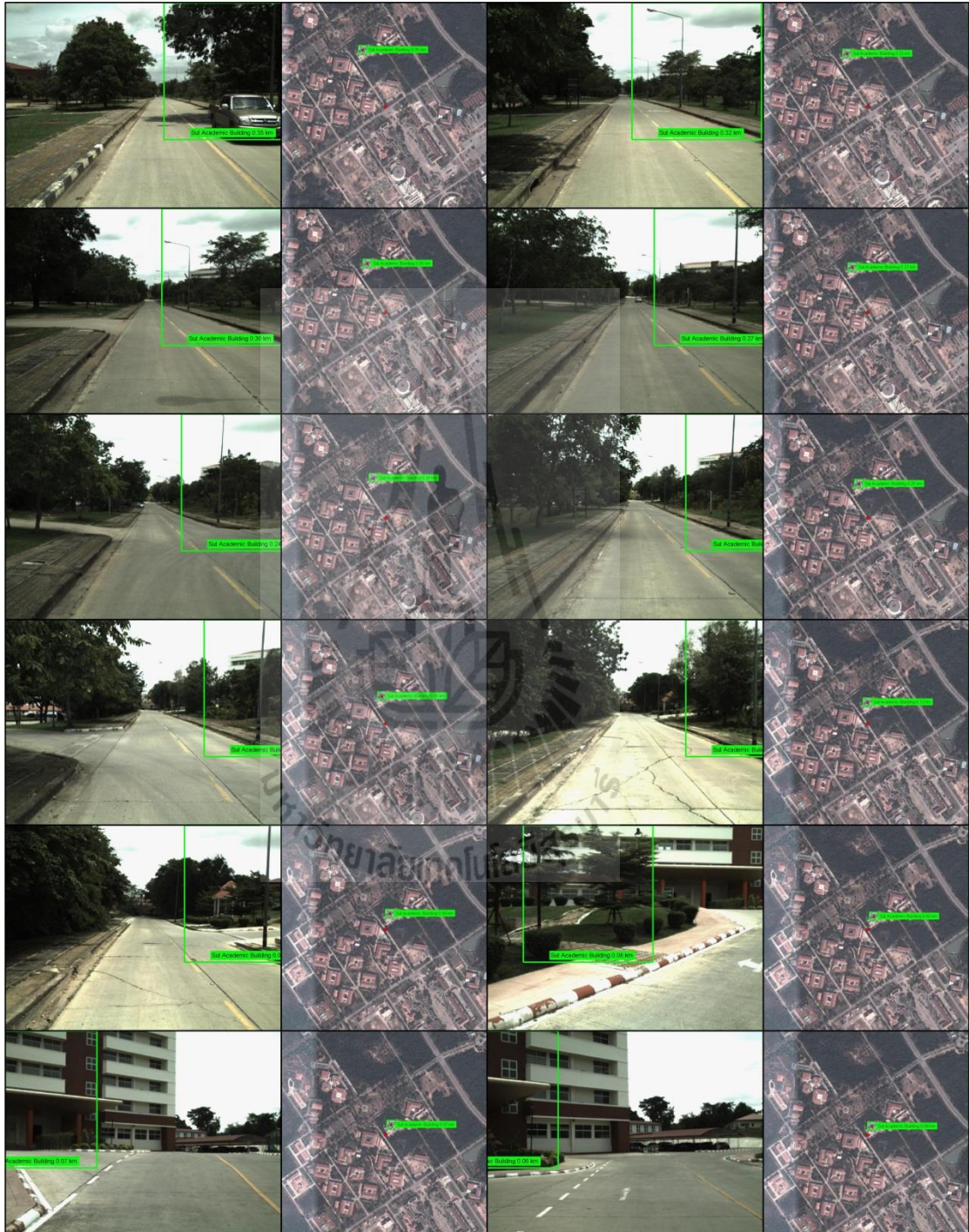
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, หอสุรนภา)

จากผลการทดลอง รูปที่ 4.14 เป็นเส้นทางแรกที่กำหนดขอบเขตเส้นทางการฝึกสอนด้วยมนุษย์ แล้วทำการทดสอบระบบด้วยการนำข้อมูลชุดใหม่มาทดสอบกับเส้นทางเดิมอีกครั้ง สรุปผลการทดลองเส้นทางที่ 1 ได้ว่า สถานที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดมีค่าเฉลี่ย 100% ทุกชุดข้อมูลที่ทำการทดสอบ เมื่อยานพาหนะได้เคลื่อนที่ไปยังเส้นทางที่ 2 ซึ่งเป็นเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ระบบจะสามารถบ่งบอกชื่อของสถานที่ที่กำลังสร้างเส้นทางใหม่ได้โดยอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 4.15 แล้วจะทำการทดสอบระบบเส้นทางที่ 2 อีกครั้งโดยใช้ข้อมูลชุดใหม่ สรุปผลการทดสอบระบบ สถานที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดมีค่าเฉลี่ย 100% แสดงดังรูปที่ 4.16 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสถานที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดมีค่าเฉลี่ย 100% แต่ก็ไม่ได้อยู่จุดกึ่งกลางของขอบเขตเสมอไป ดังนั้นได้ทำการวัดความแม่นยำจากจุดกึ่งกลางของขอบเขต ซึ่งเป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบที่มีความละเอียดมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองทั้งหมดโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำจากการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมใน บทที่ 3 และการค้นหาสถานที่โดยวิธีการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (สถานที่ หอสุรนภา)

เส้นทาง	ค้นหาด้วยวิธีอัลกอริทึม		ค้นหาด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียม	
	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต
เส้นทาง 1	100%	65%	100%	81%
เส้นทาง 2	100%	73%	100%	93%

2. อาคารวิชาการ 2 (14.879532,102.019921) มีจำนวน 2 เส้นทาง



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1,อาคารวิชาการ 2)

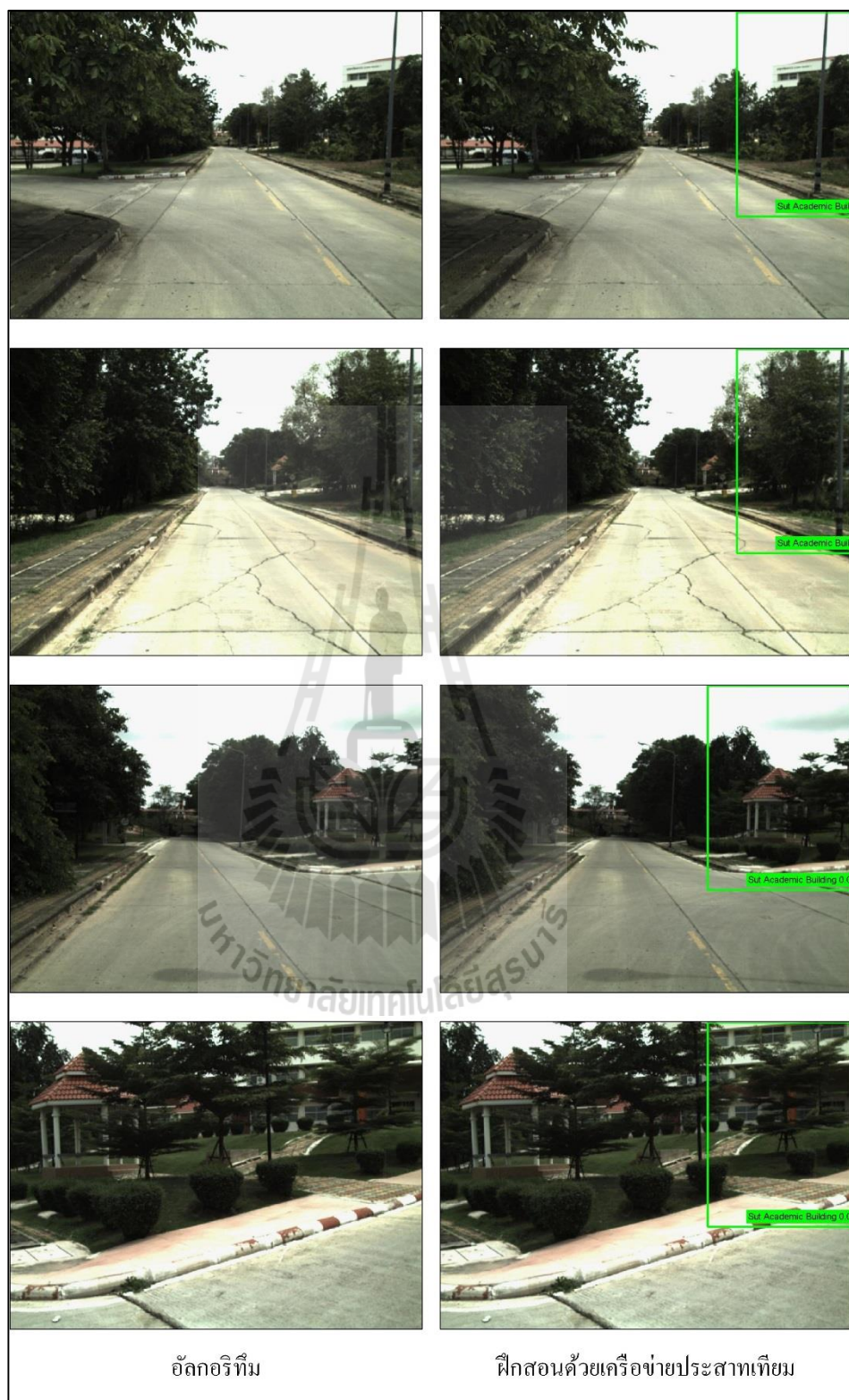


รูปที่ 4.18 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารวิชาการ 2)

จากผลการทดลองทั้ง 2 เส้นทาง ดังรูปที่ 4.17-4.18 เห็นได้ว่าเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งเส้นทางตรง เส้นทางที่คดเคี้ยวและระยะมุมมองของภาพยังอยู่ใกล้กับสถานที่ เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 มาทำการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการค้นหาสถานที่โดยใช้วิธีการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมสามารถแสดงขอบเขตของวัตถุมีค่าเฉลี่ยที่ 99% ตามเส้นทางที่เคยฝึกสอน แตกต่างจากการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพความแม่นยำในเส้นทางที่ 1 เพียง 72% เท่านั้น การวิเคราะห์ว่าตำแหน่งใดบ้างที่ไม่สามารถแสดงขอบเขตการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมได้ แสดงรูปภาพประกอบ รูปที่ 4.19 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ไม่สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ได้คือตำแหน่งที่มีระยะทางเริ่มเข้าใกล้สถานที่และสถานที่เริ่มจะหายไปจากมุมมองของภาพและอีกหนึ่งตำแหน่งคือจุดที่เกิดการหักเหของยานพาหนะที่มีมุมประมาณ 90 องศา จุดนี้คือจุดสำคัญที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องที่ทำให้การค้นหาสถานที่ด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียมแสดงผลขอบเขตของสถานที่ได้ที่ 99% ส่วนเส้นทางที่ 2 เป็นเส้นทางตรง มีการหักเหเล็กน้อย เมื่อดูจากค่าเฉลี่ยของความแม่นยำก็จะเห็นได้ว่ามีค่าที่สูงกว่าเส้นทางที่ 1 แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลด้วยวิธีอัลกอริทึม ซึ่งตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดของการค้นหาสถานที่ อยู่ในตำแหน่งด้านขวาริมสุดของจอแสดงผล ดังรูปที่ 4.18 แต่เมื่อมาทำการค้นหาด้วยวิธีการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมก็สามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ได้ มีค่าเฉลี่ยที่ 100%

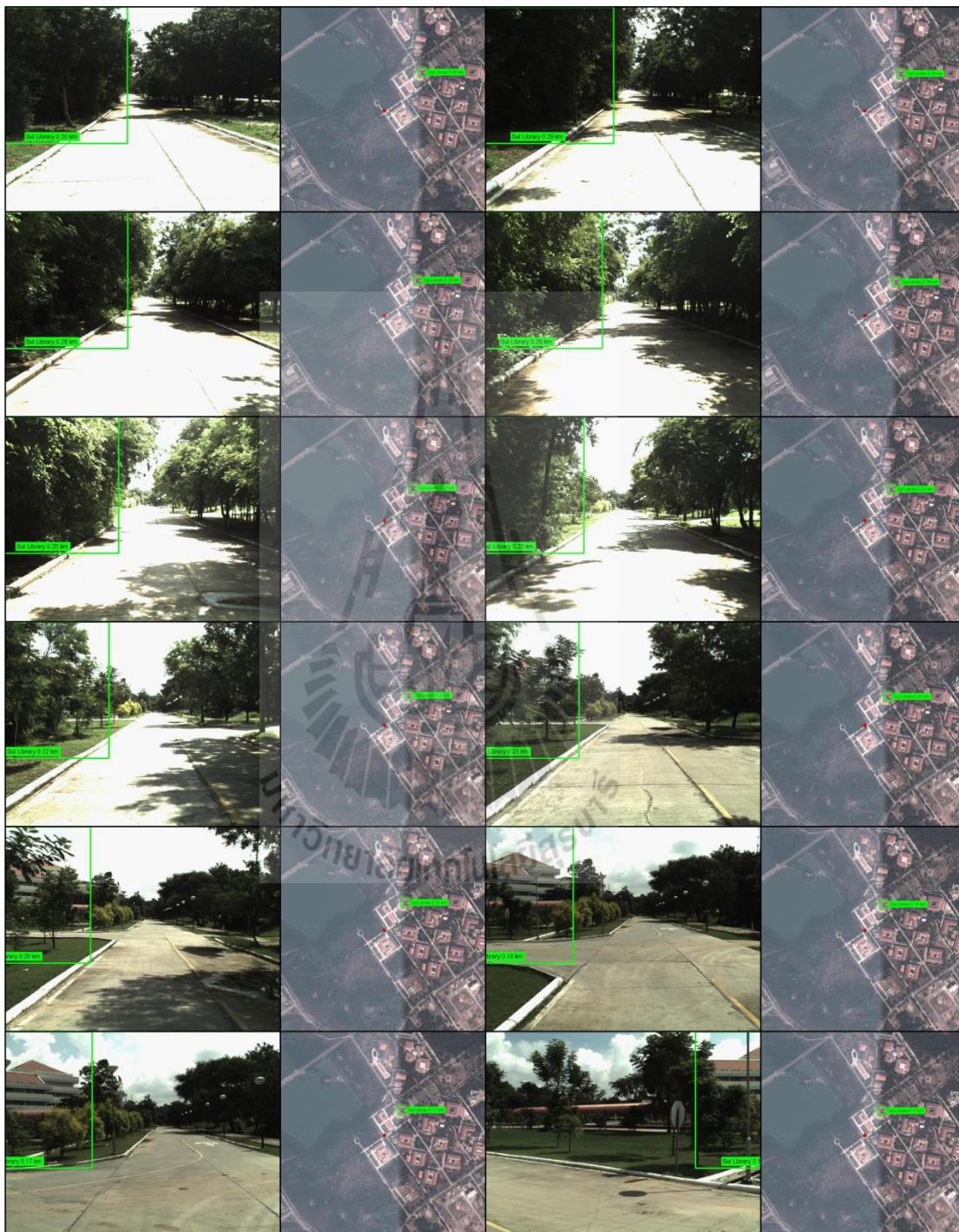
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (สถานที่ อาคารวิชาการ 2)

เส้นทาง	ค้นหาด้วยวิธีอัลกอริทึม		ค้นหาด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียม	
	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต
เส้นทาง 1	72%	62%	99%	83%
เส้นทาง 2	77%	71%	100%	92%

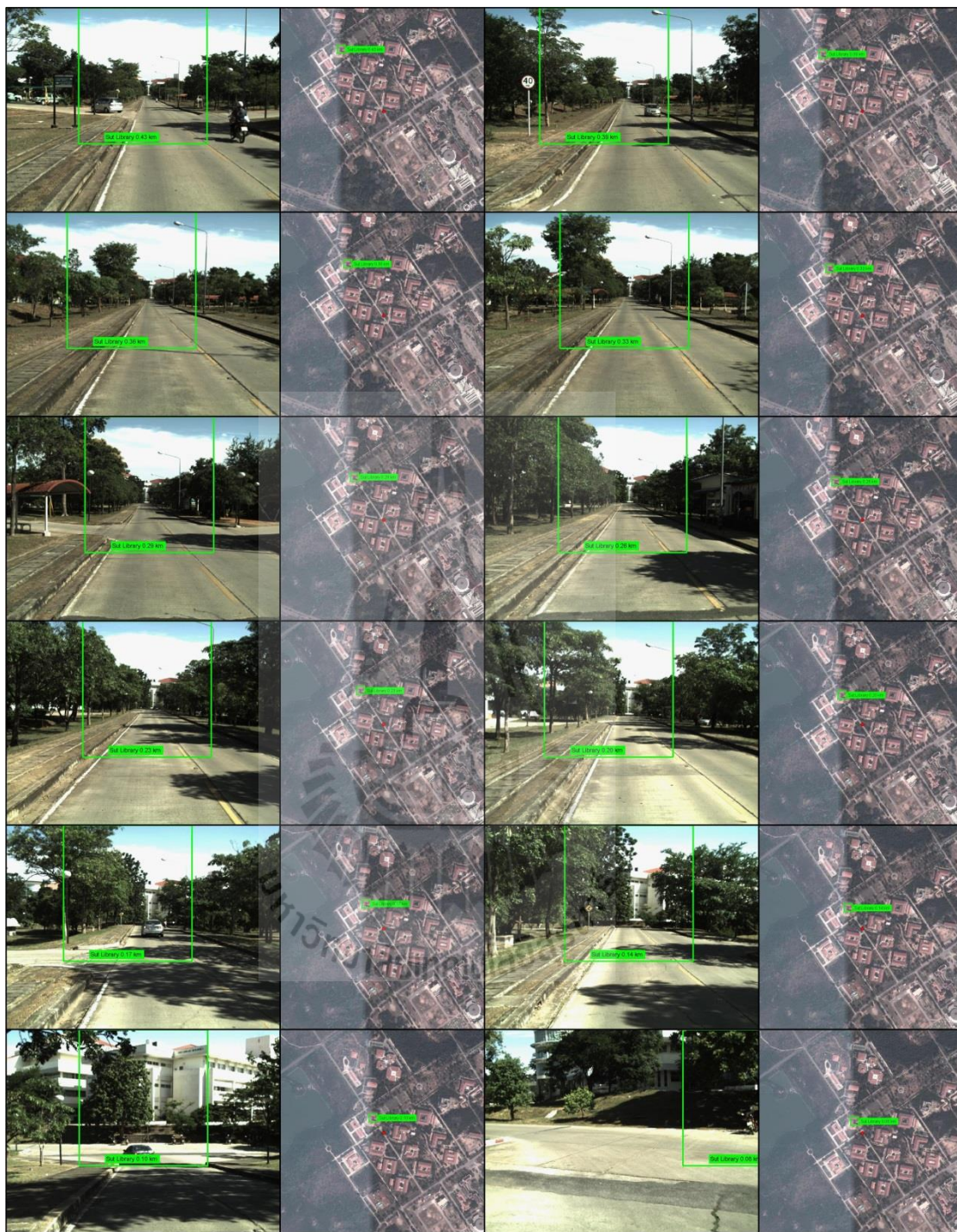


รูปที่ 4.19 ตัวอย่างตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดของการค้นหาสถานที่ (เส้นทางที่ 1, อาคารวิชาการ 2)

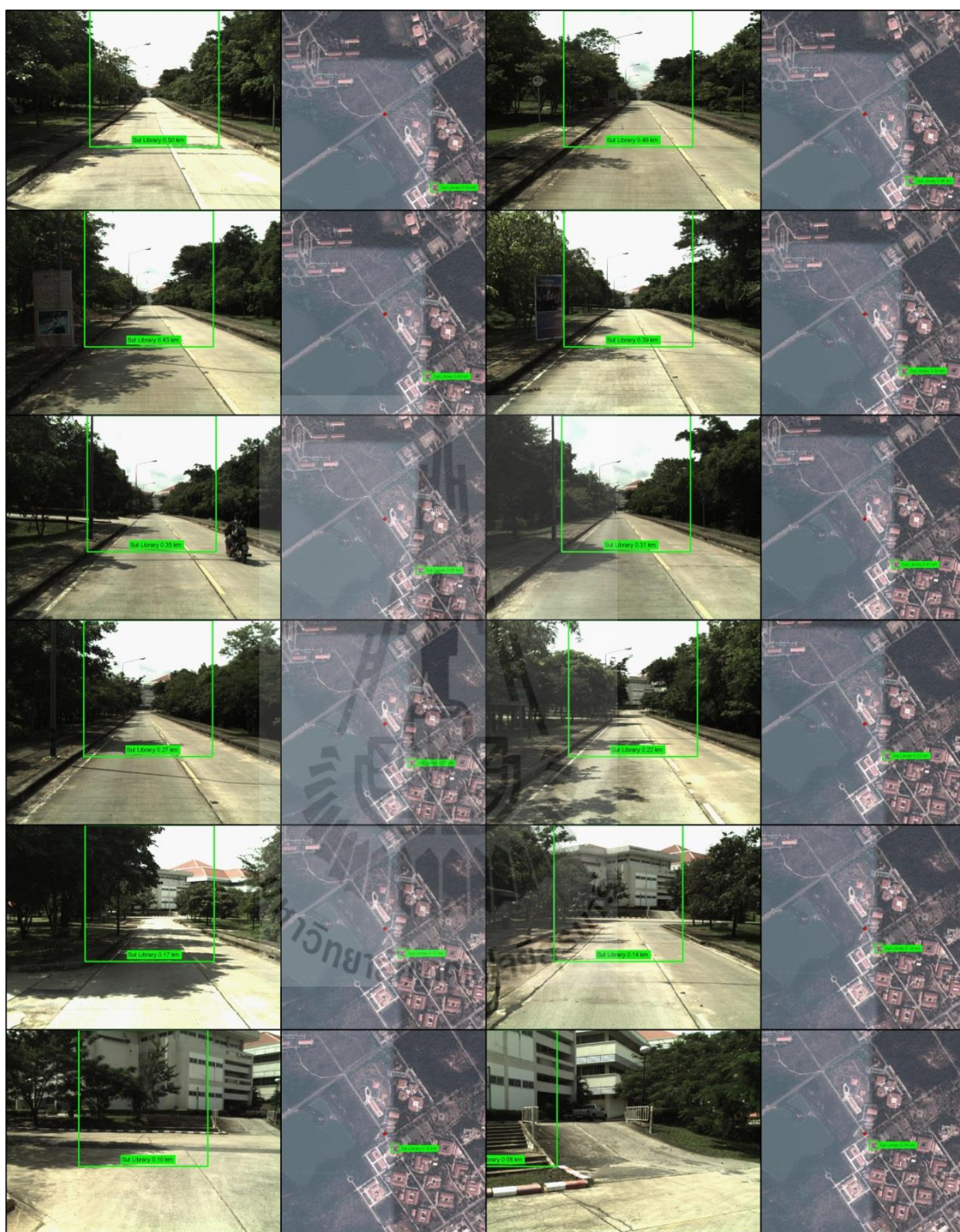
3. อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน (14.878731,102.016124) มีจำนวน 3 เส้นทาง



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1,อาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน)



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารศูนย์บรรณสาร และสื่อการสอน)



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 3, อาคารศูนย์บรรณสาร และสื่อการสอน)

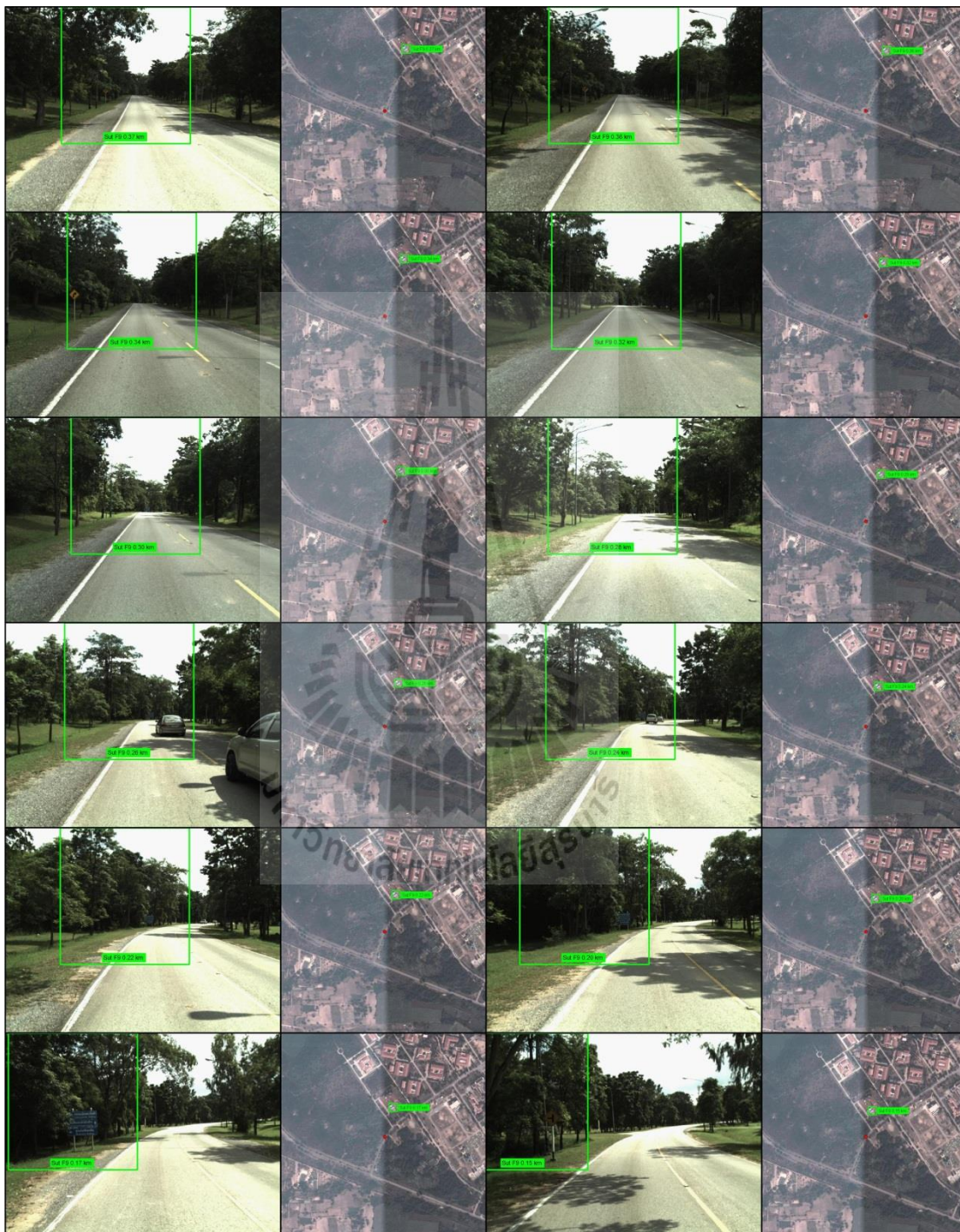
จากผลการทดลองทั้ง 3 เส้นทาง ดังรูปที่ 4.20-4.22 ในแต่ละเส้นทางเป็นเส้นทางตรง ที่ยานพาหนะเคลื่อนที่มุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของสถานีที่ จึงทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำจากการทดลองตารางที่ 4.4 มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูง แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการค้นหาด้วยวิธีอัลกอริทึม เมื่อยานพาหนะมีการเคลื่อนที่เข้าใกล้สถานีที่ แต่เส้นทางนั้นบังคับให้เลี้ยวตามเส้นทางที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นจุดที่เกิดความผิดพลาดและสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ณ ตำแหน่งนี้ค่อนข้างสูง เนื่องมาจากค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ที่มีผลมาจากการเก็บค่าข้อมูลอินพุตจากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด อาจจะไม่สอดคล้องกันเนื่องจาก ขณะที่ยานพาหนะทำการเลี้ยวที่มีมุมมองสาที่มากกว่า 60 องศา จะทำให้มุมมองของภาพมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว แต่ค่าอินพุตจากเซ็นเซอร์จีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัลจะเข้ามาทุก ๆ 1 วินาที และบางครั้งอาจเกิดการหน่วงของสัญญาณบ้างเป็นบางครั้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณภาพที่เข้ามาทุก 15 เฟรมต่อวินาที จึงทำให้ข้อมูลไม่สอดคล้องกัน ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นจะไม่มีผลต่อการค้นหาสถานีที่โดยวิธีการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม ที่มีการปรับปรุงคุณภาพของชุดข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ก่อนที่จะทำการเรียนรู้และจดจำ

ผลการทดลอง ตารางที่ 4.4 ในเส้นทางที่ 1 ไม่สามารถแสดงค่าเฉลี่ยของความแม่นยำที่หาจากจุดกึ่งกลางของขอบเขตได้ เนื่องจากวิสัยทัศน์ในการมองเห็นสถานีที่ถูกบดบังด้วยคันไม้ แต่ในส่วนของการแสดงผลภายในขอบเขตสามารถประมาณค่าทิศทางของเป้าหมายได้จึงไม่มีผลต่อการหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพความแม่นยำ

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (อาการศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน)

เส้นทาง	ค้นหาด้วยวิธีอัลกอริทึม		ค้นหาด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียม	
	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต
เส้นทาง 1	99%	-	100%	-
เส้นทาง 2	99%	75%	100%	94%
เส้นทาง 3	99%	75%	100%	96%

4. อาคารเครื่องมือ 9 (14.874306,102.016542) มีจำนวน 2 เส้นทาง



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 1,อาคารเครื่องมือ 9)



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างการค้นหาสถานที่จากเส้นทางที่เคยฝึกสอน (เส้นทางที่ 2, อาคารเครื่องมือ 9)

จากผลการทดลองทั้ง 2 เส้นทาง ดังรูปที่ 4.23-4.24 เป็นการแสดงตัวอย่างของการค้นหาสถานที่ โดยเป้าหมายของการค้นหา วิสัยทัศน์การมองเห็นถูกบดบังด้วยสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติโดยตลอดทั้งเส้นทาง มุมมองของภาพที่แสดงไม่สามารถมองเห็นสถานที่เป้าหมายที่ได้ทำการค้นหาได้ แต่ในตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าระบบการค้นหาสถานที่ สามารถบ่งบอกตำแหน่งของสถานที่เป้าหมายในการค้นหาได้ในระยะทางที่ไกลออกไป ถ้าในการนำไปประยุกต์ใช้ก็เปรียบเสมือนกับการลดขอบเขตในการค้นหาสถานที่ สามารถรับรู้เหตุการณ์ล่วงหน้าได้ว่าตำแหน่งของสถานที่อยู่ทิศทางใดและระยะทางเท่าไร จากผลการทดสอบตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพความแม่นยำในการค้นหาสถานที่ของทั้ง 2 วิธี สามารถแสดงสถานที่ภายในขอบเขตได้มีค่าเฉลี่ยที่ 100% เนื่องจากเส้นทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่อนข้างจะเป็นเส้นทางตรงและเป็นทางโค้งเพียงในช่วงสั้น ๆ เท่านั้น

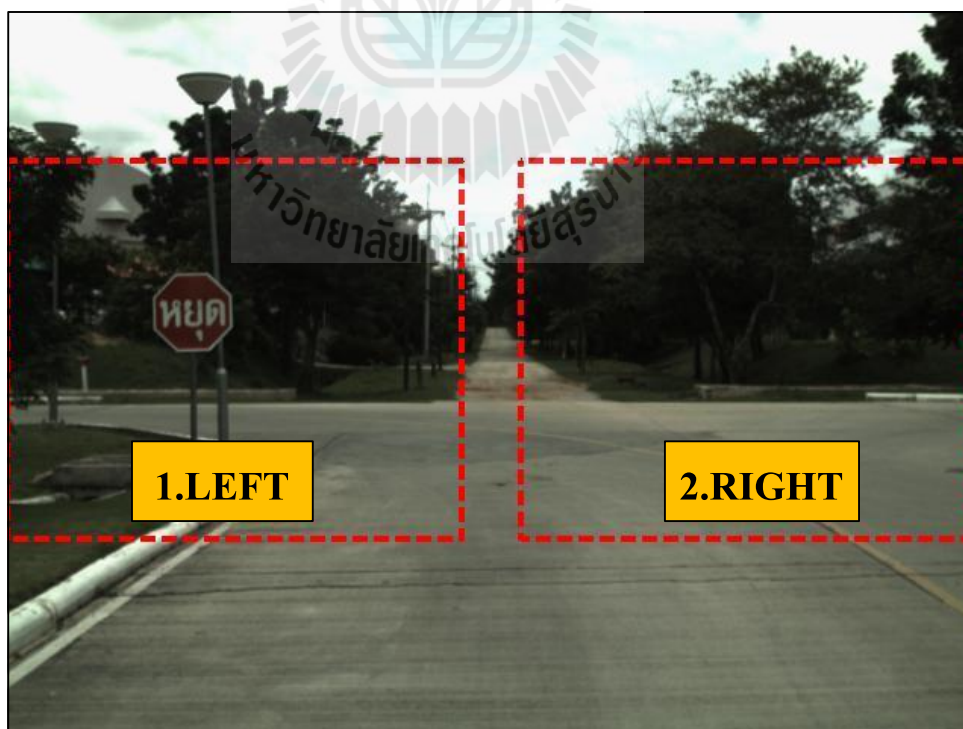
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ (อาคารเครื่องมือ 9)

เส้นทาง	ค้นหาด้วยวิธีอัลกอริทึม		ค้นหาด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียม	
	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต	ภายในขอบเขต	จุดกึ่งกลางขอบเขต
เส้นทาง 1	100%	-	100%	-
เส้นทาง 2	100%	-	100%	-

จากการทดลองการค้นหาสถานที่ในการแสดงผลระยะไกล โดยมีสถานที่ตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด 4 สถานที่ ในแต่ละสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมในการค้นหาที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบลดลง โดยสามารถสรุปจากตัวแปรหรือปัจจัยจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากน้อยไปหามากได้ดังต่อไปนี้ 1) เส้นทางและระยะทางในการเคลื่อนที่ ถ้าเส้นทางของการเคลื่อนที่มีทิศทางตรงและระยะทางไกลจะทำให้มีประสิทธิภาพความแม่นยำมากที่สุดเพราะเป้าหมายจะมีขนาดที่เล็กทำให้มีความคลาดเคลื่อนที่น้อย 2) ตำแหน่งของสถานที่ที่ปรากฏบนจอแสดงผล ถ้าเป้าหมายเริ่มเข้าใกล้ขอบจอแสดงผลด้านซ้ายหรือขวา ซึ่งเป็นจุดที่ก้ำกึ่งในการแสดงขอบเขตของสถานที่ว่าจะทำการแสดงผลหรือไม่ ซึ่งมีผลต่อการค้นหาสถานที่ด้วยวิธีอัลกอริทึมเป็นอย่างมาก 3) ค่าอินพุตที่ได้รับจากเซ็นเซอร์จีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัลที่มีความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ 4) เส้นทางในการเคลื่อนที่ ที่มีมุมมองสาในการเลี้ยวของยานพาหนะมากกว่า 60 องศา ซึ่งในข้อนี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามระบบการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัติที่ทำการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียมก็ยังสามารถแสดงขอบเขตของสถานที่ได้ 100% จาก 3 ตัวอย่างของสถานที่ทดสอบและมีความคลาดเคลื่อน 1% จากตัวอย่างที่ 2 ในเส้นทางที่ 1

4.4.2 การทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะใกล้)

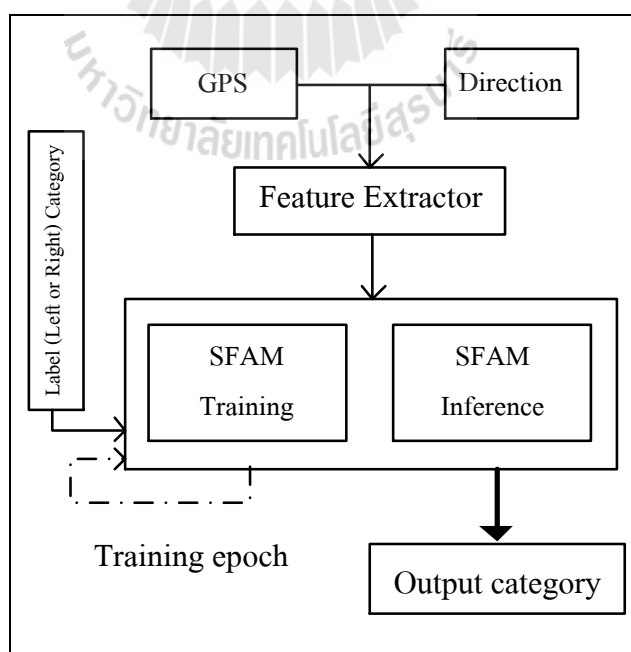
การทดสอบระบบการค้นหาลักษณะที่หรือวัตถุในระยะใกล้ ได้ทำการทดสอบในบทที่ 3 ในหัวข้อย่อยที่ 3.7.2 โดยใช้อัลกอริทึมในการค้นหาวัตถุซึ่งผลเฉลี่ยความถูกต้องน้อยกว่า 50% จึงไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ ดังนั้นในหัวข้อที่ 3.7.2 ได้กล่าวนำเสนอถึงรูปแบบการค้นตำแหน่งของวัตถุโดยการใช้ระบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม โดยจะนำเสนอการเรียนรู้และจดจำสัญญาณไฟหรือเครื่องหมายจราจร ป้ายบอกสถานที่ ซึ่งเป็นวัตถุที่มีขนาดเล็กที่มองเห็นได้ในระยะใกล้ การที่สายตาของมนุษย์จะสามารถจำแนกแยกแยะสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ได้ในระยะที่ใกล้หรือไกลออกไปอาจจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องหมายหรือแสงสว่างในการมองเห็น ดังนั้นระบบการเรียนรู้และจดจำจะเป็นการแสดงผลในรูปแบบของการเตือนในระยะที่ไกลออกไปและจะดีกรอบระบุตำแหน่งของวัตถุในระยะที่เคยฝึกสอนไว้ หลักการเรียนรู้และจดจำในระยะใกล้นี้จะเป็นการฝึกสอนโดยใช้ตำแหน่งของจีพีเอสและทิศทางทางเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นอินพุตส่วนของเอาต์พุตจะเป็นตำแหน่งบนภาพ แบ่งออกเป็น 2 ตำแหน่ง ซ้ายและขวา ที่ใช้ในการแสดงผลและส่งต่อไปให้กับระบบเครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำ แสดงตัวอย่างมุมมองของภาพที่ใช้ในการฝึกสอนในระยะใกล้ แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 มุมมองของภาพที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้

จากมุมมองของภาพที่ใช้ฝึกสอน จะแสดงถึงตำแหน่งจีพีเอสและทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นอินพุตของระบบและมุมมองของภาพที่มีเครื่องหมายจราจรอยู่ในตำแหน่งด้านซ้ายหรือขวาเป็นเอาต์พุตของระบบ ดังรูปที่ 4.25 ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุในระยะใกล้จะมีข้อแตกต่างจากการค้นหาในระยะไกล คือไม่สามารถหาทิศทางและเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ได้เนื่องจากวัตถุมีขนาดเล็กและข้อมูลอินพุตจากเซ็นเซอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบฮาร์ดแวร์ จึงทำให้การใช้อัลกอริทึมในการค้นหาเส้นทางใหม่มีความแม่นยำค่อนข้างน้อยในระยะทางที่ใกล้มาก ๆ ดังนั้นระบบการค้นหาวัตถุในระยะใกล้จะเป็นการทำงานที่ไม่ซับซ้อน โดยจะแบ่งหลักการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกจะใช้เครือข่ายประสาทเทียมจดจำตำแหน่งของวัตถุเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุในขอบเขตที่กำหนด เครือข่ายประสาทเทียมจะป้อนเอาต์พุตย้อนกลับมาแสดงชื่อของวัตถุและตำแหน่งที่เคยฝึกสอน ว่าเอาต์พุตที่เคยฝึกสอนนั้นแสดงขอบเขตอยู่ในตำแหน่งซ้ายหรือขวาของมุมมองภาพ ขั้นตอนที่สองเมื่อระบบทราบตำแหน่งของเป้าหมาย ต่อจากนั้นระบบก็จะทำการค้นหาว่าวัตถุอยู่ในระยะทางและขอบเขตของการแสดงผลหรือไม่ โดยใช้วิธีอัลกอริทึมในการค้นหา

จากผลการทดลองการหาขอบเขตและระยะทางในการแสดงผลที่เหมาะสม สรุปได้ว่าการแสดงผลในเส้นทางตรงจะสามารถแสดงขอบเขตของวัตถุในระยะทางไม่เกิน 300 เมตร แต่ในเส้นทางโค้งจะสามารถแสดงผลระยะทางในช่วงไม่เกิน 100 เมตร



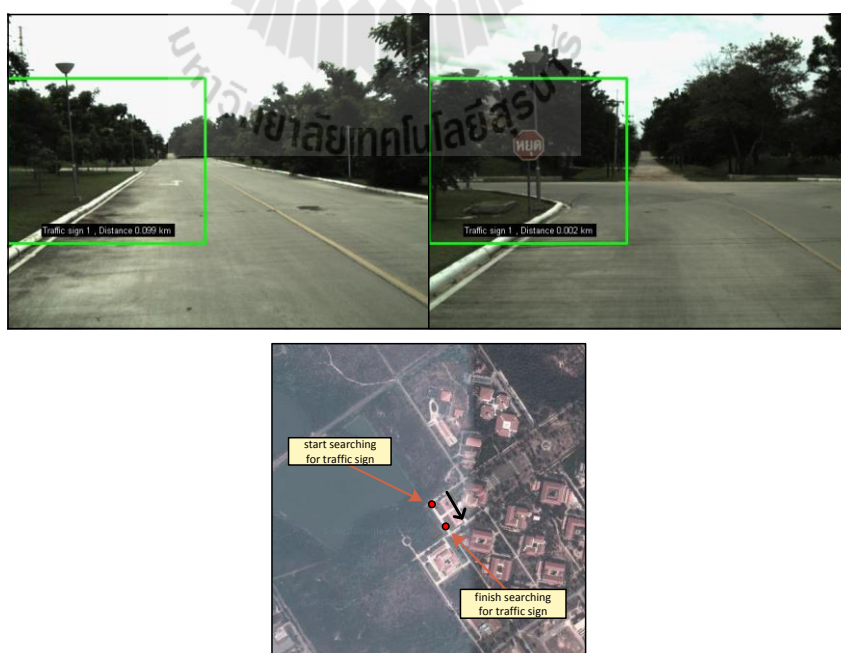
รูปที่ 4.26 โครงสร้างรูปแบบการเรียนรู้และจดจำด้วยเครือข่ายประสาทเทียม (แสดงผลระยะใกล้)

ตัวอย่างการทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะใกล้) การแสดงผลมุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ฝึกสอนให้ระบบเรียนรู้และจดจำวัตถุ เมื่อระบบเริ่มทำการค้นหาจะแสดงผลมุมมองของภาพ ณ ตำแหน่งแรกจนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่ระบบสามารถแสดงขอบเขตของวัตถุได้ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการค้นหาวัตถุในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของเส้นทางการเดินทางได้ดังต่อไปนี้

- ป้ายจราจร 1



รูปที่ 4.27 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายจราจร 1)



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายจราจร 1)

- ป้ายจราจร 2



รูปที่ 4.29 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายจราจร 2)

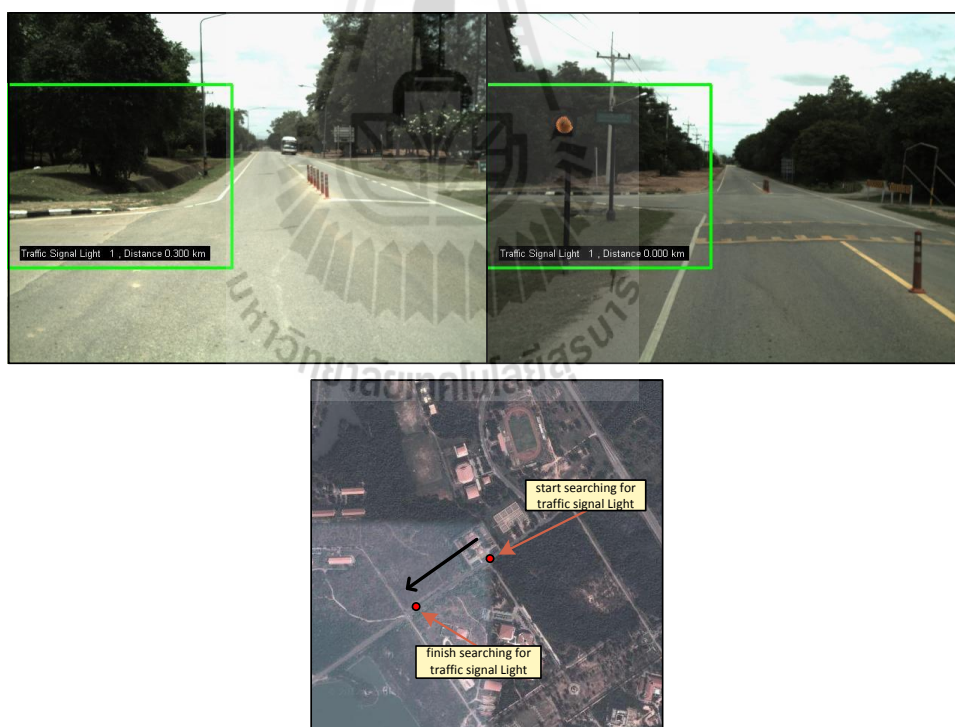


รูปที่ 4.30 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัดดู (ป้ายจราจร 2)

- สัญญาณไฟจราจร 1



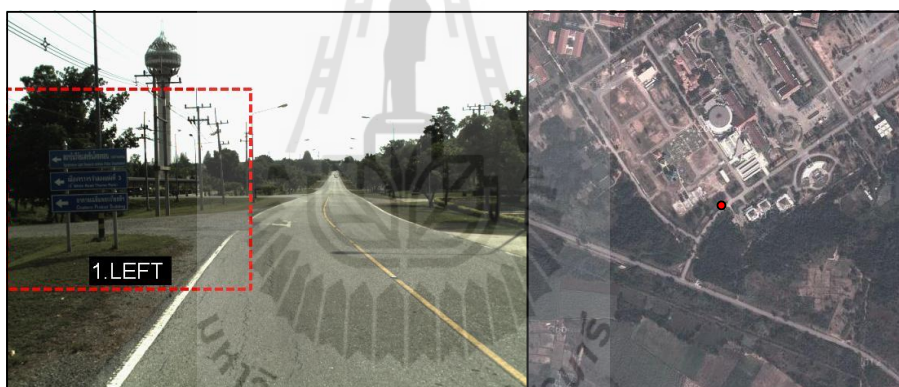
รูปที่ 4.31 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (สัญญาณไฟจราจร 1)



รูปที่ 4.32 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (สัญญาณไฟจราจร 1)

- ป้ายบอกสถานที่ 1

จากตัวอย่างผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเส้นทางการค้นหามีลักษณะเป็นเส้นทางตรงจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมมองของภาพในการแสดงผล เมื่อยานพาหนะอยู่ในระยะทางที่ไกลออกไป แต่ในตัวอย่างการทดลองนี้ เส้นทางที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง จากมุมมองของภาพที่ใช้ในการทดสอบตำแหน่งที่จดจำวัตถุอยู่ด้านซ้าย ดังรูปที่ 4.33 เมื่อระบบเริ่มทำการค้นหาวัตถุ ณ ตำแหน่งที่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้ในครั้งแรก มุมมองของภาพที่แสดงตำแหน่งของวัตถุไม่ตรงกับตำแหน่งที่เคยฝึกสอน ดังนั้นในกรณีนี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งเอาต์พุตที่เคยฝึกมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเส้นทางที่ค้นหา มีลักษณะเป็นเส้นทางโค้ง จึงแก้ปัญหาโดยใช้อัลกอริทึมในการตรวจสอบทิศทางของเป้าหมายเมื่อลักษณะการเคลื่อนเป็นเส้นทางโค้งและจะมีขอบเขตในการแสดงแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ซ้าย กลางและขวา เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในการแสดงผล สามารถแสดงตัวอย่างผลการทดลองได้ ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 มุมมองของภาพและตำแหน่งที่ใช้ในการฝึกสอนระยะใกล้ (ป้ายบอกสถานที่ 1)



รูปที่ 4.34 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายบอกสถานที่ 1)



รูปที่ 4.34 ตัวอย่างมุมมองของภาพและเส้นทางในการค้นหาวัตถุ (ป้ายจราจร 1) (ต่อ)

จากผลการทดสอบระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ (แสดงผลระยะใกล้) สามารถสรุปรูปแบบการแสดงผลได้ว่า ในระยะทางตรงจะแสดงผลขอบเขตของวัตถุในระยะทางไม่เกิน 300 เมตร และในช่วงของเส้นทางที่มีลักษณะโค้งจะแสดงผลขอบเขตของวัตถุระยะทางไม่เกิน 100 เมตร ขึ้นอยู่กับความโค้งของเส้นทางในการเดินทาง

ขอบเขตการแสดงผลมีขนาดที่เพียงพอ สามารถครอบคลุมวัตถุได้ทั้งหมด ในส่วนของประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบสามารถแสดงขอบเขตการแสดงผลได้ทุกตัวอย่างที่ทำการทดลอง แต่ยานพาหนะต้องควบคุมให้อยู่ในเส้นทางในการเดินทางเท่านั้น

4.5 สรุป

ระบบการเรียนรู้และจดจำสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม ได้นำเครือข่ายประสาทเทียมชนิด การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซีอย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) มาทำการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของชุดข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ฟิวชัน โดยใช้อัลกอริทึมในการสร้างรูปแบบของชุดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ใช้ในการฝึกสอน และได้แบ่งรูปแบบการแสดงผลออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้ 1)การแสดงผลในระยะไกล ใช้สำหรับการเรียนรู้และจดจำสถานที่หรือสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนเป็นการสร้างรูปแบบของเส้นทางการเรียนรู้และทำการปรับปรุงคุณภาพของชุดข้อมูลด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เพื่อให้ระบบการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและระบบการค้นหาลักษณะที่สามารถค้นหาเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ได้โดยอัตโนมัติ 2)การแสดงผลในระยะใกล้ ใช้สำหรับการเรียนรู้และจดจำวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณไฟจราจร เครื่องหมายจราจร หรือป้ายบอกสถานที่ โดยมีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งอาศัยเครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำตำแหน่งของวัตถุแต่ละชนิด แต่ระบบการค้นหาวัดดูในระยะใกล้นี้ไม่สามารถสร้างเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ได้ เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่มาจากทิศทางอื่นจากผลการทดลองในการแสดงผลทั้ง 2 รูปแบบทั้งระยะไกลและระยะใกล้ มีประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบที่สามารถบ่งบอกตำแหน่งของสถานที่หรือวัตถุภายในขอบเขตที่กำหนดได้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99% ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลอันเนื่องมาจากชุดข้อมูลที่ทำการศึกษาที่รับค่ามาจากเซ็นเซอร์ฟิวชัน มีข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกันจากเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิด เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ไปยังเส้นทางที่มีการเลี้ยวที่มีมุมมองมากกว่า 60 องศา ซึ่งเป็นผลที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนากระบวนการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชันโดยใช้กล้อง ระบบจีพีเอสและเข็มทิศดิจิทัลมาเป็นอินพุตให้กับระบบและใช้เครือข่ายประสาทเทียมชนิด การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซี่อย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) ในการเรียนรู้และจดจำชุดข้อมูลอินพุตที่อยู่ในรูปแบบของเส้นทางการเรียนรู้ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีอัลกอริทึมและทำการแสดงผลด้วยการตีกรอบระบุตำแหน่งของเป้าหมายที่ทำการค้นหาบนหน้าจอแสดงผล โดยแบ่งรูปแบบของการแสดงผลออกเป็นสองรูปแบบ การแสดงผลในระยะใกล้และระยะไกล ระบบการค้นหาสถานที่ที่สามารถสร้างเส้นทางการเรียนรู้ใหม่ได้โดยอัตโนมัติ จะใช้ได้เฉพาะรูปแบบการแสดงผลในระยะใกล้เท่านั้น ซึ่งระบบการค้นหาสถานที่อัตโนมัติสามารถค้นหาเป้าหมายได้ทุกทิศทางเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ไปตามช่องทางการเดินทางบนท้องถนนและจะทำการแสดงผลเมื่อสถานที่หรือวัตถุอยู่ในขอบเขตของการแสดงผลเท่านั้น การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมเป็นข้อสรุปได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงประวัติการวิจัยที่ผ่านมา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงแนวทางการนำเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน และทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักการการทำงานของระบบเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการเรียนรู้และจดจำสถานที่แบบอัตโนมัติ

บทที่ 3 กล่าวถึงระบบการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน ประกอบไปด้วย ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยการรับค่าอินพุตจากมอดูลจีพีเอส ระบบการหาทิศทางด้วยมอดูลเข็มทิศดิจิทัล และระบบการมองเห็นที่ใช้ระบุขอบเขตของสถานที่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการค้นหาสถานที่ และทำการสร้างอัลกอริทึมในการค้นหาสถานที่ด้วยเซ็นเซอร์ฟิวชัน โดยรูปแบบของการค้นหาสถานที่แบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 รูปแบบคือ การแสดงผลสถานที่ในระยะใกล้และการแสดงผลวัตถุในระยะใกล้

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างรูปแบบของเส้นทางการเรียนรู้ที่ได้จากเซ็นเซอร์ฟิวชันและทำการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมชนิด การส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยฟัซซี่อย่างง่าย (Simplified fuzzy ARTMAP) แล้วทำการทดสอบระบบระหว่างการค้นหาสถานที่ด้วยระบบอัลกอริทึมและระบบการฝึกสอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลจากการทดลองการค้นหาสถานที่ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพมากกว่าการค้นหาสถานที่ด้วยอัลกอริทึม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้รับ ทำให้เกิดแนวความคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. ระบบการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัติเป็นการนำเสนอวิธีการระบุขอบเขตของสถานที่ในลักษณะที่กว้าง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น การตรวจจับป้ายจราจร เพื่อลดขอบเขตในการค้นหาวัตถุ ซึ่งจะทำให้ระบบในการตรวจจับวัตถุมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2. ระบบการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัติสามารถนำไปสร้างให้อยู่ในรูปแบบของการเตือนภัยในการจับจี้ยานพาหนะ เช่น การเตือนล่วงหน้าให้ทราบถึงสัญญาณไฟหรือป้ายจราจรต่าง ๆ ก่อนที่จะถึงเป้าหมาย หรือการเตือนให้ทราบถึงเส้นทางที่สามารถเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เช่น ทางโค้ง ทางลาดชัน เป็นต้น

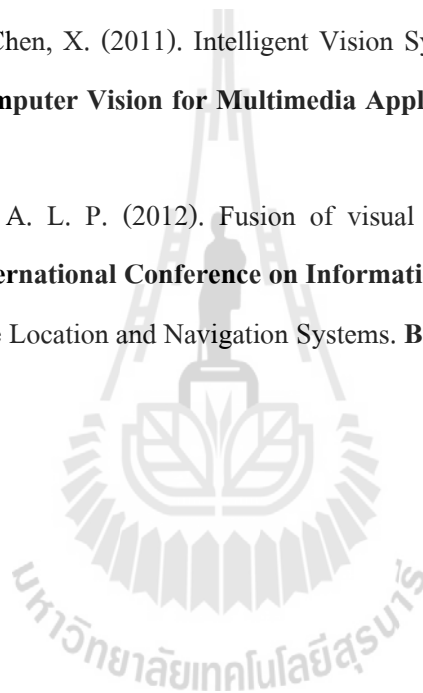
3. ระบบการค้นหาสถานที่แบบอัตโนมัติมีเซ็นเซอร์อินพุตที่สำคัญอยู่ 2 ชนิดคือ จีพีเอส มอดูลและเข็มทิศดิจิทัลมอดูล ถ้าสามารถทำให้ค่าเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดนี้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้ระบบการค้นหาสถานที่ที่มีความแม่นยำตามไปด้วยและยังสามารถลดขนาดของขอบเขตการแสดงผลให้มีขนาดเล็กลงเมื่อทำการค้นหาวัตถุที่มีขนาดเล็ก

4. ในการแสดงผลมุมมองของภาพอาจจะมีความที่ไม่กว้างมากนัก เมื่อเทียบกับมุมมองของภาพที่ได้จากสายตาของมนุษย์ ดังนั้นอาจจะมีการพัฒนามุมมองของภาพให้มีขนาดที่กว้างมากขึ้น เช่น การเปลี่ยนเลนส์ของกล้องให้เป็นลักษณะการมองเห็นแบบมุมกว้าง (Wide Angle) หรืออาจจะทำการติดตั้งกล้องเพิ่มเป็นสองตัว เพื่อจะทำให้ระบบสามารถแสดงผลได้ครอบคลุมเป้าหมายที่ทำการค้นหามากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- Lorsakul, A. and Suthakorn, J. (2006). Traffic Sing Recognition Using Neural Network on OpenCV: Toward Intelligent Vehicle/Driver Assistance System. **Center for Biomedical and Robotics Technology Faculty of Engineering, Mahidol University.**
- Srikaew, A. (2009). Computational Intelligence. **Suranaree University of Technology.** ch.14. :317 - 339.
- Drane, C. R. (1997). Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems. **Boston, Artech House.** ch. 5 - 6. :145 – 234.
- Sothithaworn, C., Kumsawat, P., Attakitmongkol K. and Srikaew, A. (2007). A Vehicle Tracking System Using PCA and Adaptive Resoance Theory. **Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing, Beijing, China.** September 15-17. :50 - 54.
- Sostaric, D., Martinovic, G. and Zagar, D. (2012). GPS Tracking of Self - balancing Vehicle for Extreme Environment based on AndroidOS. **Telecommunications Forum (TELFOR).** : 1060 – 1063.
- Ivis, F. (2006). Calculating Geographic Distance: Concepts and Methods. **NESUG**
- Liu, F. and Yang, Z. (2009). Study on Applications of LBS Based on Electronic Compass. **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. WiCom '09. 5th International Conference.** :1 - 4.
- Choi, I. S. and Ha, J. E. (2011). Visual Place Recognition using Single Camera. **Control, Automation and Systems (ICCAS).** :1137 – 1138.
- Jung, J. H., Yun, J. S., Ryoo, C. K. and Choi, K.Y. (2011). Vision Based Navigation Using Road - Intersection Image. **Control, Automation and Systems (ICCAS).** :964 - 968.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2008). Digital image processing. **Prentice Hall, New Jersey.** ch.12. :693 – 750.
- Rajasekaran, S. and Pai, G. A. V. (2000). Simplified Fuzzy ARTMAP as Pattern Recognizer. **Journal of Computing in Civil Engineering.**

- Rajasekaran, S. and Pai, G.A.V. (2006). Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithm Synthesis and Applications. **India: Prentice Hall**. ch.13. :358 – 370.
- Ikedo, S., Sato, T., Yamaguchi, K. and Yokoya, N. (2007). Construction of Feature Landmark Database Using Omnidirectional Videos and GPS Positions. **The 6th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling**. :249 – 256.
- Saito, T. and Kuroda, Y. (2012). Localization Independent of Location Based on Place Recognition and GPS Observations. **IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)**. :43 – 48.
- Wu, W., Yang, J. and Chen, X. (2011). Intelligent Vision Systems for Landmarkbased Vehicle Navigation. **Computer Vision for Multimedia Applications : Methods and Solutions**. ch.1. :1 – 19.
- Zhang, X. J. and Tay, A. L. P. (2012). Fusion of visual and compass sensors for location recognition. **International Conference on Information Fusion (FUSION)**.:573 - 579.
- Zhao, Y. (1997). Vehicle Location and Navigation Systems. **Boston, Artech House**. ch.3-4. :43 – 102.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างจีพีเอสמודูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

โปรแกรมภาษา C++

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างจีพีเอสมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรม

Arduino IDE

```
#include <string.h>

#include <ctype.h>

int ledPin = 13;           // LED test pin

int rxPin = 0;             // RX PIN

int txPin = 1;             // TX TX

int byteGPS=-1;

char linea[300] = "";

char comandoGPR[7] = "$GPRMC";

int cont=0;

int bien=0;

int conta=0;

int indices[13];

void setup() {

    pinMode(ledPin, OUTPUT); // Initialize LED pin

    pinMode(rxPin, INPUT);

    pinMode(txPin, OUTPUT);

    Serial.begin(9600);

    for (int i=0;i<300;i++){ // Initialize a buffer for received data

        linea[i]=' ';

    }

}
```



```

void loop() {

    digitalWrite(ledPin, HIGH);

    byteGPS=Serial.read(); // Read a byte of the serial port

    if (byteGPS == -1) {      // See if the port is empty yet

        delay(100);

    } else {

        linea[conta]=byteGPS; // If there is serial port data, it is put in the buffer

        conta++;

        Serial.print(byteGPS, BYTE);

        if (byteGPS==13){      // If the received byte is = to 13, end of transmission

            digitalWrite(ledPin, LOW);

            cont=0;

            bien=0;

            for (int i=1;i<7;i++){ // Verifies if the received command starts with

                $GPR

                if (linea[i]==comandoGPR[i-1]){

                    bien++; }

            }

            if(bien==6){          // If yes, continue and process the data

                for (int i=0;i<300;i++){

                    if (linea[i]==''){ // check for the position of the "," separator

                        indices[cont]=i;

                        cont++; }

                    if (linea[i]=='*'){ // and the "*"

                        indices[12]=i;

```

```

        cont++; } }

Serial.println("");          // and write to the serial port

Serial.println("");

Serial.println("-----");

for (int i=0;i<12;i++){

switch(i){

    case 0 :Serial.print("Time in UTC (HhMmSs): ");break;

    case 1 :Serial.print("Status (A=OK,V=KO): ");break;

    case 2 :Serial.print("Latitude: ");break;

    case 3 :Serial.print("Direction (N/S): ");break;

    case 4 :Serial.print("Longitude: ");break;

    case 5 :Serial.print("Direction (E/W): ");break;

    case 6 :Serial.print("Velocity in knots: ");break;

    case 7 :Serial.print("Heading in degrees: ");break;

    case 8 :Serial.print("Date UTC (DdMmAa): ");break;

    case 9 :Serial.print("Magnetic degrees: ");break;

    case 10 :Serial.print("(E/W): ");break;

    case 11 :Serial.print("Mode: ");break;

    case 12 :Serial.print("Checksum: ");break;

}

for (int j=indices[i];j<(indices[i+1]-1);j++){

    Serial.print(linea[j+1]);

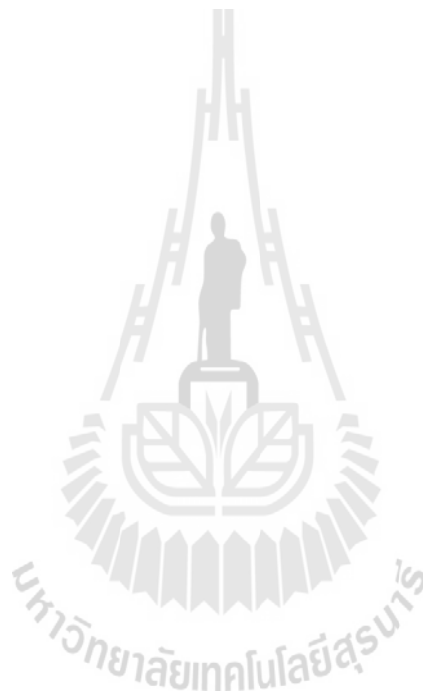
}

    Serial.println("");

}

```

```
        Serial.println("-----");  
    }  
  
    conta=0;           // Reset the buffer  
  
    for (int i=0;i<300;i++){  
        inea[i]=' '  
    }  
    }  
    }  
}
```



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างเข็มทิศดิจิทัลมอดูลกับ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษา C++

โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างเข็มทิศดิจิทัลมอดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรม

Arduino IDE

```
#include <Wire.h>

int HMC6352Address = 0x42;

int slaveAddress;

int ledPin = 13;

boolean ledState = false;

byte headingData[2];

int i, headingValue;

void setup() {    // Shift the device's documented slave address (0x42) 1 bit right
                  // This compensates for how the TWI library only wants the
                  // 7 most significant bits (with the high bit padded with 0)
    slaveAddress = HMC6352Address >> 1; // This results in 0x21 as the
                                          address to pass to TWI

    Serial.begin(9600);

    pinMode(ledPin, OUTPUT);    // Set the LED pin as output

    Wire.begin();
}

void loop() {    // Flash the LED on pin 13 just to show that something is
                  happening

                  // Also serves as an indication that we're not "stuck"
                  waiting for TWI data

    ledState = !ledState;

    if (ledState) {
```

```

digitalWrite(ledPin,HIGH);

} else {

digitalWrite(ledPin,LOW);

}          // Send a "A" command to the HMC6352

          // This requests the current heading data

Wire.beginTransmission(slaveAddress);

Wire.send("A"); // The "Get Data" command

Wire.endTransmission();

delay(10); // The HMC6352 needs at least a 70us (microsecond) delay

          // after this command. Using 10ms just makes it safe

          // Read the 2 heading bytes, MSB first

          // The resulting 16bit word is the compass heading in 10th's of a
          degree

          // For example: a heading of 1345 would be 134.5 degrees

Wire.requestFrom(slaveAddress, 2); // Request the 2 byte heading (MSB
                                   comes first)

i = 0;

while(Wire.available() && i < 2) {

headingData[i] = Wire.receive();

i++; }

headingValue = headingData[0]*256 + headingData[1]; // Put the MSB and
                                                    LSB together

Serial.print("Current heading: ");

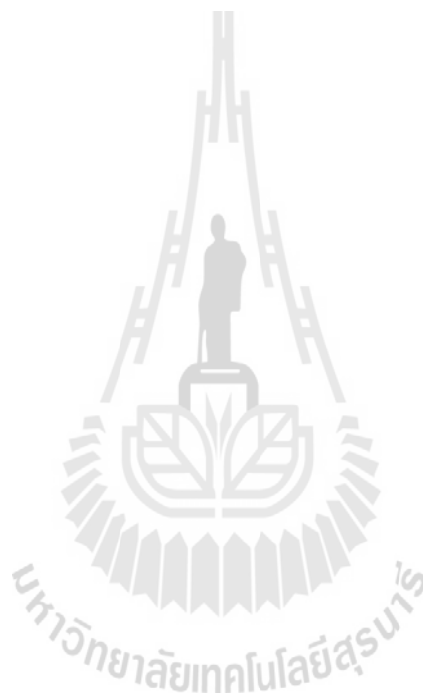
Serial.print(int (headingValue / 10)); // The whole number part of the heading

Serial.print(".");

```



```
Serial.print(int (headingValue % 10)); // The fractional part of the heading  
Serial.println("degrees");  
Delay(50);  
}
```



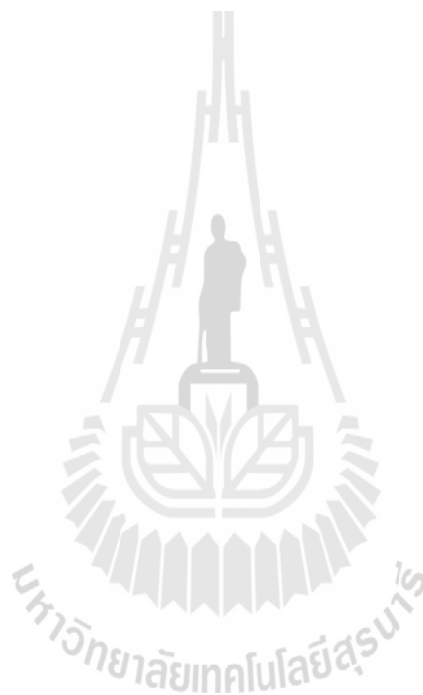
ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

A. Srikaew, K. Attakitmongcol , P. Kumsawat and N. Potparinya, **Automatic Scene Learning and Recognition System using Sensor Fusion**. International Conference on Engineering, World Academy of Science, Engineering and Technology, Zurich, Switzerland, July 30-31 2013, PP. 1756-1762



Automatic Scene Learning and Recognition System using Sensor Fusion

A. Srikaew, K. Attakitmongcol, P. Kumsawat, and N. Potprarinya

Abstract—Scene learning and recognition system has been developed and focused to increase its precision for efficiently using in daily life. This work proposes an automatic scene learning and recognition using sensor fusion including GPS, digital compass, and camera. These sensors are mounted on a test vehicle and used for system input to establish patterns for learning and recognizing. The learning and recognizing process are carried on using artificial neural network which aims to learn and recognize places. The system can then recall the place once the vehicle is back at the nearby place. The position and direction of the vehicle are fed from GPS and digital compass as the input to neural network while visual information from camera is utilized for displaying and validating the result. This work presents the application of vehicle navigation in which desirable results are achieved. The proposed system can effectively be used as an initial module prior to fine searching for target in a complex environment where the on-board computing power is very limited.

Keywords—scene learning, recognition, simplified fuzzy ARTMAP, sensor fusion.

I. INTRODUCTION

Scene learning and recognition is one of the most complicated tasks for automatic vehicle navigation system. Using artificial intelligence techniques can elevate such problems in which complex scenes can be learned and recognized efficiently. Many research works utilized cameras as a main input sensor for detecting traffic signs [2] or objects/buildings [7]. Image processing is then very crucial for such systems. The next process of vehicle navigation system is to be able to identify resulting objects or buildings for both position and direction with respect to the vehicle. Global Positioning System (GPS) has been widely used [11], [12], [13] for vehicle positioning, tracking, navigation, path finding, etc. This work, however, has applied a combination of sensors [8] including GPS, digital compass and camera, for scene learning and recognizing through the moving vehicle. The system deployed GPS to locate vehicle position [16], [17] in order to move toward target [9] while the digital compass [10] was used to compute direction of the vehicle. The camera in front of the vehicle, as the computer vision module [14], [15], is the main sensor for recognizing the target within the image. Searching methodology for recognizing the target within an image is computationally expensive. The main goal of the proposed system is to reduce region of interest in input image for improving performance of scene learning and recognition with

camera. The process of learning is performed by artificial neural network (ANN). The simplified fuzzy ARTMAP network is applied for the learning propose [1], [6]. The network can efficiently memorize patterns while still can learn new pattern. This ability is suitable to apply in real-world environment (moving vehicle) where scenes always change from frame to frame [4]. Details of the proposed system are described next.

II. METHODOLOGY AND SYSTEM IMPLEMENTATION

Scene learning and recognition utilize combination of input from GPS, digital compass, and images for creating patterns to recognize by ANN. All of these sensors were installed on a vehicle together with onboard computing unit. Details of values from these sea National Research grant from the Institute of Research and Development, nsors are explained in the following sections.

A. Global Positioning System (GPS)

Global positioning system can locate position of itself as reference to the earth surface. Present GPS devices can calculate velocity and direction to utilize with the map for navigation. In this work, latitude and longitude in degree/minute/second (DMS) are used for network input such as 38° 53' 23" N, 77° 00' 32" W. These values are transformed to Decimal Degrees (DD) as 38.889722°, -77.008889° by the following equation.

$$DD = D + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600} \quad (1)$$

B. Digital Compass

Digital compass was additionally applied in this work to obtain direction/orientation of the vehicle. The value for system input is an azimuth which is the angle from North direction to the direction of the vehicle on the same plane as the reference direction (North). Its value is varied from 0 to 360.

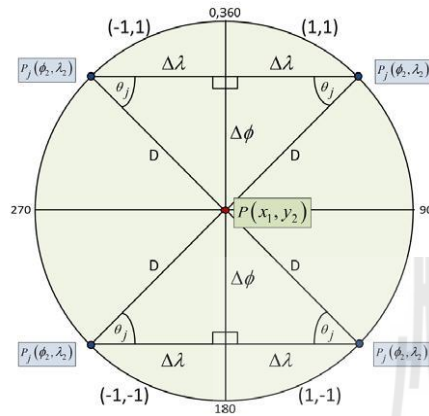
C. Distance and Direction Computation

The system can learn and recognize position of the place within the predefined distance. This distance can be computed [5] from distance between latitude/longitude of the moving vehicle position and the target place. The distance D is computed between two points: $P_1(\phi_1, \lambda_1)$ and $P_2(\phi_2, \lambda_2)$ where ϕ is latitude and λ is longitude using equation 2.

$$D = R\sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\cos\phi_m\Delta\lambda)^2} \quad (2)$$

A. Srikaew, K. Attakitmongcol, and N. Potprarinya are with the School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand, 30000, e-mail: ra.kitti@sut.ac.th, npsut13@gmail.com

P. Kumsawat is with School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand, 30000, e-mail: prayoth@sut.ac.th.



a National Research grant from the Institute of Research and Development,

Fig. 1. Pattern of direction θ_j

where

$$\begin{aligned}\Delta\phi &= \phi_2 - \phi_1 \text{ (radian)} \\ \Delta\lambda &= \lambda_2 - \lambda_1 \text{ (radian)} \\ \phi_m &= \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \text{ (mean latitude)} \\ 1^\circ &= \frac{\pi}{180} \text{ (radian).}\end{aligned}$$

Direction (θ_j) of the vehicle can be calculated as displayed in Fig. 1. The value of θ_j is an angle between geometry position $P(\phi_1, \lambda_1)$ and $P_j(\phi_2, \lambda_2)$ which is defined within four quadrants. All four quadrants are represented by (1,1), (-1,1), (-1,-1) and (1,-1) in counter-clockwise direction, respectively. The value of θ_j is computed using equation (3). Each quadrant has value 0-90 degree with 10 degree resolution. Consequently, each quadrant can have 10 patterns of direction input where the output value are 0-360 degree as displayed in Fig. 2.

$$\theta_j = \arcsin \frac{\Delta\phi}{D} \quad (3)$$

For example in Fig. 3, position P_1 (vehicle) is (14.87184, 102.019246) and moving 145 degree toward position P_2 (place of interest) which is (14.872941, 102.023699). Distance value (D) between P_1 and P_2 is 0.49 km and direction value (θ) is 14 degree. The input for the system is then equal to [(1,1) 0.14] where the output value is 76 degree. This allows the system to know that the target P_2 is on the left of the vehicle P_1 by 69 degree.

Once the vehicle moves, its position P_1 and direction are then changed to (14.870511, 102.021498) and 30 degree, respectively. The value of distance D and direction θ are equal to 0.36 km and 49 degree, respectively. Consequently, the position of place P_2 has 11 degree on the right of vehicle P_1 (see Fig. 4).

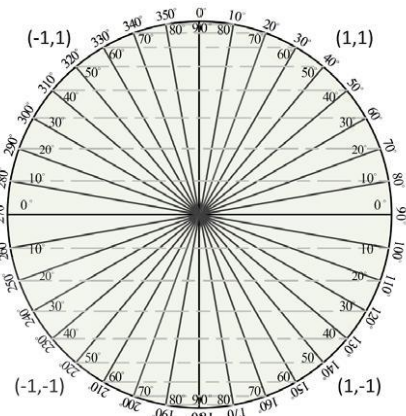


Fig. 2. Pattern of direction input and output

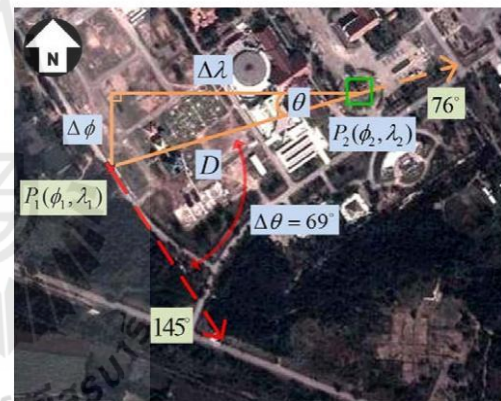


Fig. 3. Example of direction between P_1 and P_2

D. Geometric Position and Camera Field of View

The main goal of this work is to visually recognize and locate target object, which can be buildings or traffic signs, on the image taken from the camera in front of the vehicle. This can be computed from global geometric position and direction (digital compass). Fig. 5 demonstrates relationship between camera's field of view (FOV) and visual distance. This relationship can be used to create pattern for searching target within the image. Once the vehicle moves, both distance and direction of the target are then changed. A new searching boundary must be found to be able to track target within the image. a National Research grant from the Institute of Research and Development,

Normally, the change of target size depends on change of distance and FOV of the target. This FOV has three axes:

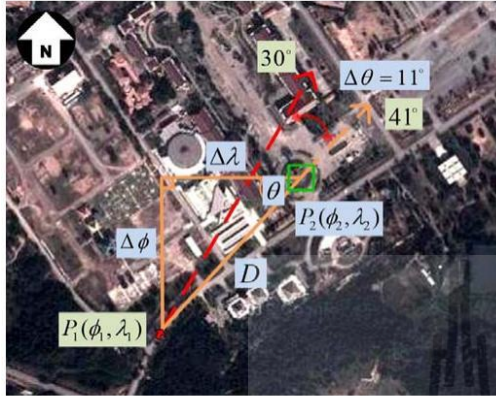
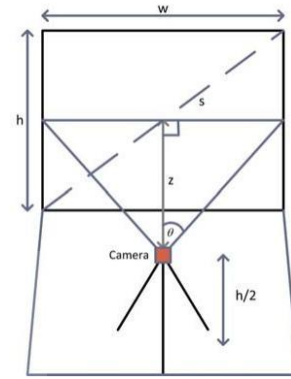
Fig. 4. Example of direction between P_1 and P_2 after vehicle moving

Fig. 6. FOV measurement setup

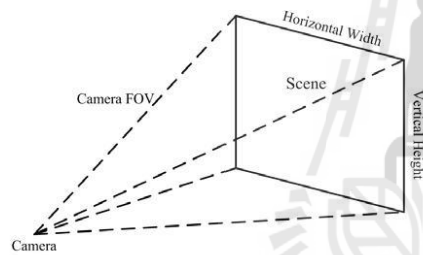


Fig. 5. Camera field of view

vertical, horizontal, and diagonal, which relate to width (w), height (h), and depth (z). This work focused on finding field of view in the horizontal axis in which $FOV = 2 \cdot \theta_w$ where θ_w is computed from equation (4).

$$\theta_w = \arctan \frac{\frac{1}{2}W}{Z} \quad (4)$$

Fig. 6 displays the FOV setup for measurement. The mounted camera has $h/2 = 54$ inches in height and $z = 180$ inches in depth while the projection has $w = 144$ inches in width and $h = 108$ inches in height. The field of view can be calculated as $FOV = 2 \cdot (21.8^\circ)$.

Boundary of target searching within the image has $FOV \leq 43.6^\circ$. There are two quadrants for this boundary within the image with $-21.8^\circ \leq FOV \leq 21.8^\circ$ as can be seen in Fig. 7. Using this approach, information of buildings or objects' direction can be mapped onto positions in the image which has relationship between FOV and image coordinate as shown in Fig. 8.

E. Route Learning and Recognition

The scene/place learning and recognition system was designed to detect target within the image from any direction

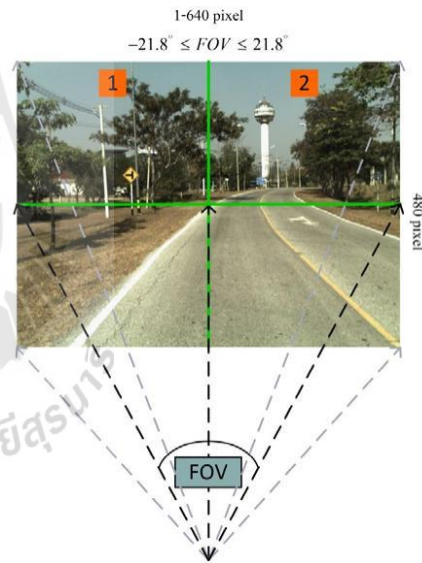


Fig. 7. Actual FOV with camera used in this work

during the vehicle moving. Distance and direction of the target can be obtained and superimposed on displaying image. Input set for learning contains vehicle's path information including vehicle's position from GPS, vehicle's moving direction, and distance as can be shown in Fig. 9. Output of the system is horizontal position of the target boundary (in pixel) which is obtained from relationship in Fig. 8. The example of the output is displayed in Fig. 10. From this example, the vehicle's path A are those positions that the target is within the image's field of view. Both input and output data are used for learning by

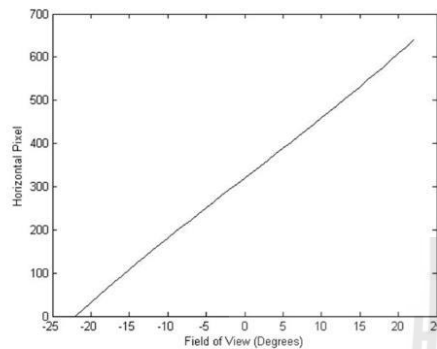


Fig. 8. Relationship between FOV and target's horizontal pixel

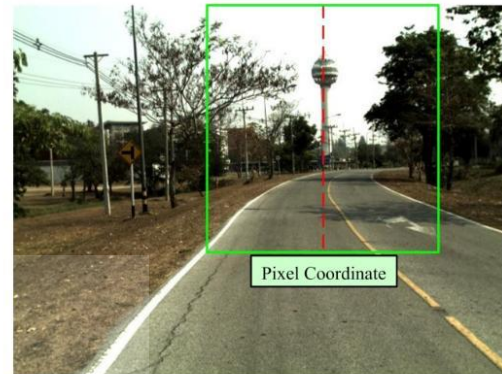


Fig. 10. Output pixel coordinate



Fig. 9. Learning input set

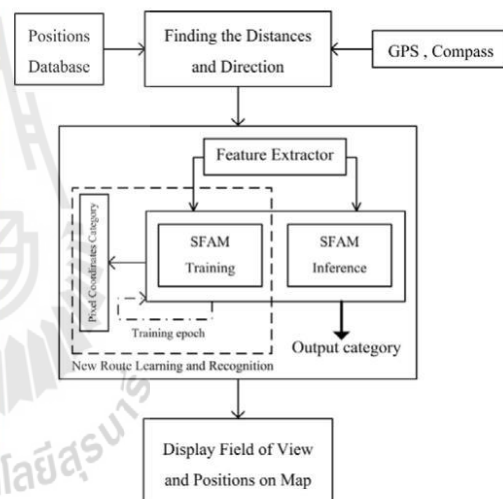


Fig. 11. Scene learning and recognition system diagram

SFAM network. The diagram of recognition system based on SFAM network used in this work is shown in Fig. 11.

III. EXPERIMENTAL SETUP

The proposed system was designed to recognize huge objects (place or building, etc.) from long distance and small object (traffic sign, etc.) from close distance. The resulting patterns of learning and recognizing are then categorized into two patterns: long and close distance target. Process of scene finding within the image can be outlined as follows:

- 1) The system looks up targets within 1 km radius in order to reduce memory searching which can contain many objects in memory.
- 2) Input set from sensor systems is fed into SFAM network including position, direction, and distance. The target with global position in the network memory is located

and output with position within the image is computed. If no output is given, the current vehicle position was not learned any target insight. The system continues searching for other targets in new path.

- 3) In order to search for new path, the system automatically reads input from all sensors and manually selects target while vehicle is moving toward new target. Both input and output are then used for additionally learning by network. Fig. 9 shows new path B created as new target for updating network memory.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

The resulting output displays target found from long and close distance. For long distance target such as places or

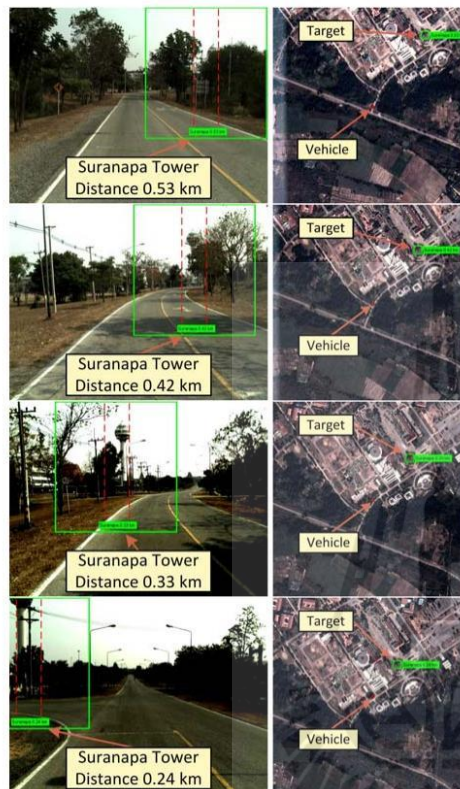


Fig. 12. Results of long distance target learning

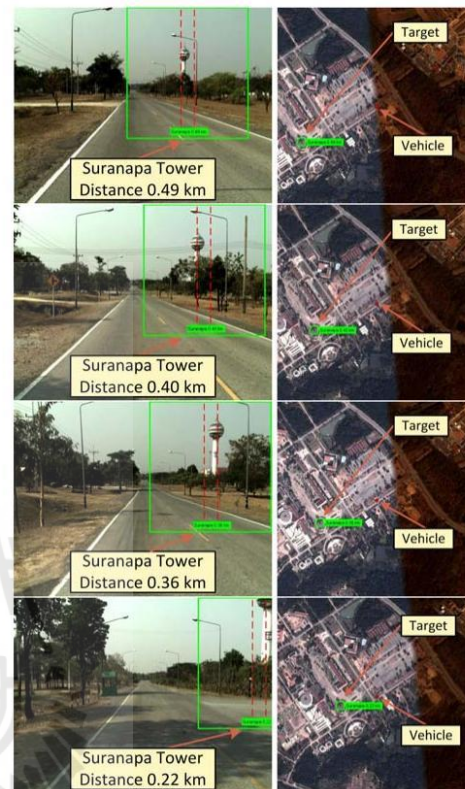


Fig. 13. Results of long distance target recognition

buildings, results are demonstrated in Fig. 12 and 13. The left column figures show target position superimposed on images from camera where the right columns display target and vehicle position in 2D satellite map view from various directions of moving vehicle. Fig. 12 show output during manually learning process while Fig. 13 demonstrate output from automatically learning and recognizing new path.

For close distance target recognition, traffic signs are used for testing the system. The system learned distance of target based on the position of vehicle and provided boundary for target searching within the image. Both position (GPS) and direction (compass) of the vehicle are used for network input to learn and recognize the target from the image. Output of the system is the indication of left and right boundary (no vertical output is considered). Fig. 14 and 15 displays results of traffic sign localization based on distance and direction of vehicle on the satellite map. From the results, if the target was not in range or no visual contact, the network can pick up the closest target and identify the boundary of the target within the image. Once the vehicle moves inside the range, the network

gives boundary and searches target inside the boundary. The results of this system help considerably reducing region of interest in which the image processing module must search for target. From the examples, more than 60% of the image area can be neglected for finding traffic sign while SFAM network still can track target during the vehicle moving. The distance range for the network to search for target can be varied by adjusting vigilance parameter (ρ) of SFAM network. This distance range also depends on specific camera parameters such as focal length and sensor resolution. After the system can detect target within the range, the calculation of vehicle's distance and direction is then performed to track the target inside image FOV.

There are two experimental results in this work. The first experiment was testing the system to recognize long distance objects which were buildings or visible landmarks such as Suranapa tower located in the area of Suranaree University of Technology, Thailand. This tower is 82.30 meters in height which can be spotted from any location within approximately a kilometer in clear sky day. For this experiment, two paths,

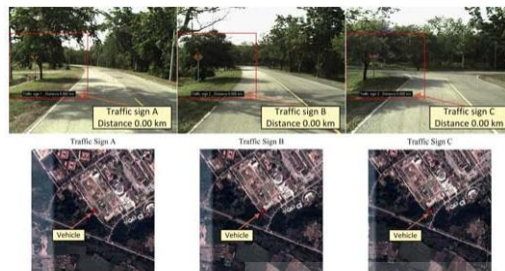


Fig. 14. Results of close distance target learning

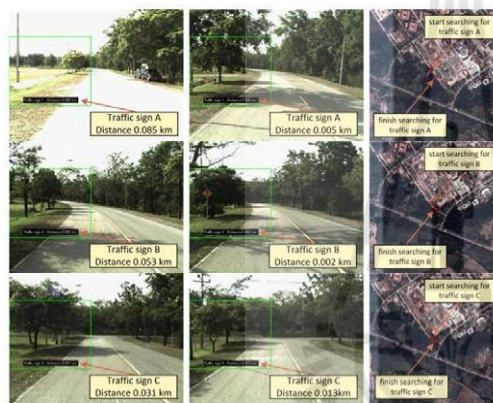


Fig. 15. Results of close distance target recognition

A and B, were tested with 10 samples for each path. Table I shows results of these two test set. The boundary for target searching was clearly 100% accurate in which it contains the target within the boundary all the time. For path A, which was a curve road, the recognition accuracy was about 81% where the distance range for found target was 0.203 - 0.532 km. For path B, which was a straight road, the recognition accuracy was about 94% where the distance range for found target was 0.201 - 0.608 km. This recognition accuracy was measured from the center of the target inside the two dash lines (see Fig. 13). The accuracy was superior for vehicle moving on the straight road toward target because the more accurate direction data was consistently acquired from the sensors compared to the case of the curve road test.

TABLE I
RESULTS OF LONG DISTANCE TARGET (SURANAPA TOWER) RECOGNITION
ACCURACY WITH 10 SAMPLES

Path	Distance Range (km)	Recognition Accuracy (%)
A	0.203 - 0.532	80.58
B	0.201 - 0.608	93.5

TABLE II
RESULTS OF CLOSE DISTANCE TARGET (THREE DIFFERENT TRAFFIC SIGN)
RECOGNITION ACCURACY WITH 10 SAMPLES

Traffic Sign	Average Distance (km)	Recognition Accuracy (%)
A	0.085	80
B	0.063	80
C	0.021	75

The second experiment was testing the system to recognize close distance objects which were mostly installed along the road such as traffic signs or traffic lights. Three different traffic signs were tested in this experiment as reported in Table II. The recognition accuracy was about 75 - 80% while the boundary for searching target always contains target inside (100% accuracy).

From experimental results presented in this section, the process of target searching was handled by a simple wavelet based object recognition which yields a rather low recognition accuracy. Additionally, consistency of direction data obtained from digital compass directly affected performance of the recognition part of the system, especially when vehicle was moving on the curve road. However, the boundary for target searching efficiently contained target inside with 100% accuracy. This outstanding performance was resulted from the SFAM network which is mainly capable of learning the outdoor environment and adapting to the changing view of the vehicle moving. This resulting boundary for target searching can dramatically reduce image region of interest for searching. This is suitable for real-time image processing in which onboard hardware and software are computationally expensive.

V. CONCLUSION

This work presents scene learning and recognition using sensor fusion and artificial neural network. The simple and effective learning capability of this SFAM network allows using small number of sample for training. The proposed algorithm in this work can compute position and direction of the moving vehicle from using combination of sensors, including GPS, digital compass, and camera. New path of the moving vehicle can be created for learning automatically which has two types of patterns for recognition: long distance target (buildings, landmarks, etc.) and close distance target (traffic signs, traffic lights, etc.). The resulting searching boundary provides 100% accuracy where the target is always found inside the boundary. The acceptable recognition accuracy still depends on other factors, which mainly are accuracy of sensors (GPS, compass) and the methodology of the recognition itself. Another factor is the type of road in which straight road gives more accurate results. This is because direction data from sensors has less effect on its accuracy than the data from the curve road. The proposed system yields desirable performance, especially for using as an initial module prior to fine searching for target in a complex environment where the onboard computing power is very limited.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT), Nakhon Ratchasima, Thailand.

REFERENCES

- [1] S. Rajasekaran and G.A.V. Pai, *Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithm Synthesis and Applications*, India: Prentice Hall, ch.13, pp.358-370, 2006.
- [2] A. Lersakul and J. Suthakorn, *Traffic Sing Recognition Using Neural Network on OpenCV: Toward Intelligent Vehicle/Driver Assistance System*, Center for Biomedical and Robotics Technology Faculty of Engineering, Mahidol University.
- [3] A. Srikaew, *Computational Intelligence*, Suranaree University of Technology, ch.14, pp. 317-339, 2009.
- [4] C. Sothithaworn, P. Kumsawat, K. Attakitmongcol and A. Srikaew, "A Vehicle Tracking System Using PCA and Adaptive Resoance Theory," *Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing*, Beijing, China, September 15-17, pp.50-54, 2007.
- [5] F. Ivis, "Calculating Geographic Distance: Concepts and Methods," *NESUG*, 2006.
- [6] S. Rajasekaran and G. A. V. Pai, Simplified Fuzzy ARTMAP as Pattern Recognizer, *Journal of Computing in Civil Engineering*, April. 2000.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Prentice Hall, New Jersey, ch.12, pp.693-750, 2008.
- [8] X. J. Zhang and A. L. P. Tay, "Fusion of visual and compass sensors for location recognition," *International Conference on Information Fusion (FUSION)*, pp.573-579, 2012.
- [9] D. Sostaric, G. Martinovic and D. Zagar, GPS Tracking of Self-balancing Vehicle for Extreme Environment based on AndroidOS, *Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1060-1063, 2012.
- [10] F. Liu and Z. Yang, Study on Applications of LBS Based on Electronic Compass, *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp.1-4, 2009.
- [11] S. Ikeda, T. Sato, K. Yamaguchi and N. Yokoya, Construction of Feature Landmark Database Using Omnidirectional Videos and GPS Positions, *The 6th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, pp.249-256, 2007.
- [12] W. Wu, J. Yang and X. Chen, Intelligent Vision Systems for Landmark-based Vehicle Navigation, *Computer Vision for Multimedia Applications: Methods and Solutions*, ch.1, pp. 1-19, 2011.
- [13] T. Saito and Y. Kuroda, Localization Independent of Location Based on Place Recognition and GPS Observations, *IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp.43-48, 2012.
- [14] I. S. Choi and J. E. Ha, Visual Place Recognition using Single Camera, *Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 1137-1138, 2011.
- [15] J. H. Jung, J. S. Yun, C. K. Ryoo and K.Y. Choi, Vision Based Navigation Using Road-Intersection Image, *Control, Automation and Systems (ICCAS)* pp.964-968, 2011.
- [16] C. R. Drane, *Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems*, ch. 5-6, pp.145-234, Boston, Artech House, 1997.
- [17] Y. Zhao, *Vehicle Location and Navigation Systems*, Boston, Artech House, ch.3-4, pp. 43-102, 1997.



A. Srikaew was born in Ubol Ratchathani, Thailand, in 1972. He received the B.Eng. degree from King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, in 1994 and the M.S. and Ph.D. degrees, both in electrical engineering, from Vanderbilt University, Nashville, TN, in 1997 and 2000, respectively. Since 2000, he has been with the School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, where he is currently an Associate Professor. His main research interests

are in the area of computer and robot vision, image processing, neural networks, artificial Intelligence, and intelligent systems.



K. Attakitmongcol was born in Satun, Thailand, in 1972. He received the B.Eng. degree in electronics engineering from King Mongkuts Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand, in 1994 and the M.S. and Ph.D. degrees, both in electrical engineering, from Vanderbilt University, Nashville, TN, in 1996 and 1999, respectively. Since 1999, he has been with the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, where he is currently an Associate Professor in the School of Electrical Engineering. His research interests include digital signal processing, image processing, wavelet transform, and multiwavelet transform.



P. Kumsawat was born in Maehongson, Thailand, in 1969. He received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Royal Thai Air Force Academy, Bangkok, Thailand, in 1994, the M.Eng. degree in electrical engineering from Kasetsart University, Bangkok, Thailand, in 1997 and Ph.D. degree in electrical engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2006. Since 1999, he has been with the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, where he is currently an Assistant Professor in the School of Telecommunication Engineering. His research interests include digital signal processing, image processing, wavelet transform, multiwavelet transform, artificial Intelligence, and embedded systems.



N. Potprarinya was born in Nakhon Ratchasima, Thailand, in 1986. He received the B.Eng. degree from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2009, where he is currently Study masters degree Electrical Engineering at Suranaree University of Technology. His main research interests are in the area of computer and robot vision, image processing, neural networks, artificial Intelligence, and intelligent systems.

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐวุฒิ พจน์ปริญญา เกิดเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2529 ที่ อำเภอฟินมาย จังหวัด นครราชสีมา การศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านพุทรา ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพินมาย วิทยา อำเภอฟินมาย จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2552 หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรีได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขณะศึกษาได้ให้ความสนใจในด้านการสร้างหุ่นยนต์และระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ระหว่างการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ หลายรายการดังนี้ TPA Robot Contest Thailand Championship 2006 และ ปี 2007, Thailand Rescue Robot Championship 2008 ขณะศึกษาในระดับปริญญาโท ได้รับหน้าที่เป็นผู้สอน ผู้ออกแบบการแข่งขันในค่าย NECTEC eCAMP ในปี 2009, 2010, 2011 และ 2012 และเป็นผู้ช่วยวิศวกร ในการการปรับปรุงเครื่องจักรและ อุปกรณ์ของบริษัท ฮิตาชิโกลบอล สโตเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) ปี 2009-2010 ในหัวข้อ โปรเจค Modify the old automation machine that is assembles HDD 1.8 to be HDD 2.5 ทั้งนี้มี ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ ดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ค.