

การศึกษาความผิดพลาดของตำแหน่งในระบบติดตามจีพีเอส แบบเวลาจริง A Study of Location Errors in Real Time GPS Tracking Systems

พิเชษฐ์ วิสารทพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Email: pichet@mutacth.com

Manuscript received December 4, 2020

Revised December 22, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาความผิดพลาดของการแสดงตำแหน่งของระบบจีพีเอสเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ โดยสมมุติฐานเป็นการติดตั้งเครื่องแสดงตำแหน่งจีพีเอสในรถยนต์ เมื่อรถยนต์มีการเคลื่อนที่ระบบจีพีเอสจะแสดงตำแหน่งของรถยนต์ที่เคลื่อนที่ไปตามระยะทาง และค่าตำแหน่งดังกล่าวจะนำมาเปรียบเทียบกับระบบจีพีเอสที่มีการประมวลผลร่วมกับความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าตำแหน่งที่ระบบจีพีเอสให้มาในขณะที่รถมีการเคลื่อนที่ไปนั้นจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นแปรผันไปตามความเร็วของรถยนต์

คำสำคัญ: ระบบติดตามด้วยจีพีเอส ความผิดพลาดของจีพีเอส

ABSTRACT

This article presents a study of location errors of the GPS tracking system when objects are in motion. The hypothesis is the installation of a GPS positioning device in the car. When the car is in motion, the GPS system will show the position of the car moving along the distance. The position value is compared with the GPS that is processed in conjunction with the speed and direction of the vehicle's movement. The test results show that the position value provided by the GPS system while the vehicle is in motion is subject to

an error, depending on the vehicle speed.

Keyword: GPS Tracking System, GPS error

1. บทนำ

ระบบจีพีเอส (GPS : Global Positioning Systems) [1] เป็นระบบการระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องด้วยระบบจีพีเอสมีความเที่ยงตรงและแม่นยำอย่างมากและมีราคาถูก ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย เช่น ในด้านการระบุตำแหน่งของสิ่งที่ไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อแสดงขอบเขตของภูมิประเทศ ที่ดิน อาคาร หรือสถานที่ หรือการแสดงตำแหน่งของสิ่งของหรือวัตถุที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เช่น การนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการคมนาคมขนส่ง ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ เป็นต้น

ในประเทศไทยนั้นก็ได้รับอิทธิพลจากเทคโนโลยีดาวเทียมจีพีเอสนี้อย่างแพร่หลายเช่นกัน จะเห็นได้ว่าในสังคมรอบตัวเรานั้นต่างมีเทคโนโลยีจีพีเอสเข้ามาอยู่ใกล้ตัวเราแทบทั้งสิ้น เช่น การใช้เป็นส่วนหนึ่งในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้ผู้ใช้งาน/กลุ่มธุรกิจ/หน่วยงานสามารถใช้ระบุหรือหาตำแหน่งบุคคลหรือสถานที่ตามที่เราต้องการได้อย่างรวดเร็ว สามารถช่วยในการนำทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดาย หรืออาจนำไปใช้ในการติดตามบุคคล/วัตถุ/รถยนต์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย เป็นต้น

ด้วยความสะดวกสบายจากระบบจีพีเอสที่เกิดขึ้นมานี้ ผู้ใช้งานต้องยอมรับข้อหนึ่งว่า การทำงานของระบบย่อมมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาได้เช่นกัน เพราะการชี้พิกัดหรือตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ด้วยระบบจีพีเอสนั้นต้องพึ่งพาอาศัยสัญญาณจีพีเอสที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสที่อยู่นอกโลก เป็นระยะทางไกลมาก ดังนั้นสัญญาณที่จะส่งมาถึงเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสย่อมมีโอกาสที่ถูกรบกวนได้จากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งการเคลื่อนที่ของโลกและวัตถุบนโลกต่างเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งให้มีความแม่นยำและถูกต้องตามที่ต้องการได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีนักวิจัยมากมายทั่วโลกพยายามปรับปรุงคุณภาพของความถูกต้องแม่นยำของระบบจีพีเอสกันอย่างมากมาย [3] – [5] ทั้งทางด้านโปรแกรม อัลกอริทึม และในส่วนของอุปกรณ์วงจรต่าง ๆ

ในบทความนี้จึงได้สร้างรูปแบบ 2 รูปแบบเพื่อทำการทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยมีการจัดองค์ประกอบของบทความเป็นดังนี้คือหัวข้อที่ 2 เป็นหลักการพื้นฐานของระบบจีพีเอส หัวข้อที่ 3 เป็นการอธิบายรูปแบบของการทดสอบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลพิกัดตำแหน่งที่ได้ หัวข้อที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากรูปแบบจำลองทั้งสองระบบ และ หัวข้อที่ 5 เป็นการสรุปผลการทดสอบและความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

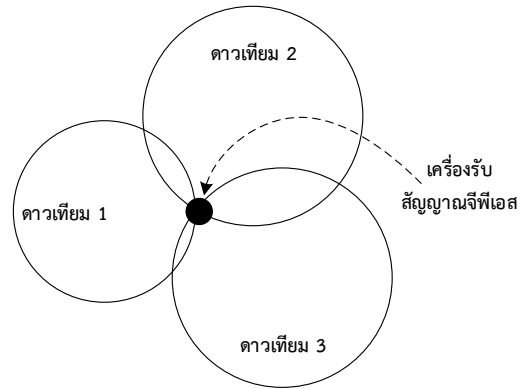
2. หลักการพื้นฐาน

2.1 ระบบจีพีเอส (Global Positioning Systems) [2]

GPS หรือ Global Positioning System ทำงานโดยมีดาวเทียม 24 ดวง เคลื่อนที่โคจรรอบโลก ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภาครับสัญญาณจีพีเอส เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บนโลก หลักการของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส คือ การระบุตำแหน่งในลักษณะของรูปสามเหลี่ยมที่เกิดขึ้นจากการวัดระยะห่างจากจุด 3 จุดจากดาวเทียม ดังรูปที่ 1 เพื่อหาตำแหน่งของอุปกรณ์จีพีเอส โดยการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสนั้นจะต้องทราบตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ประกอบกับได้ระยะทางจากดาวเทียม 3 ดวงขึ้นไป ซึ่งจำนวนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้นี้ หากมีจำนวนมากจะทำให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสจะคำนวณหาจุดตัดกันของผิวทรงกลมของระยะทางของดาวเทียมจีพีเอสแต่ละ

ดวงได้ ดังนั้น ในทางทฤษฎี สิ่งที่อยู่บนจีพีเอสจำเป็นต้องทราบในการคำนวณหาตำแหน่งแต่ละครั้ง คือ

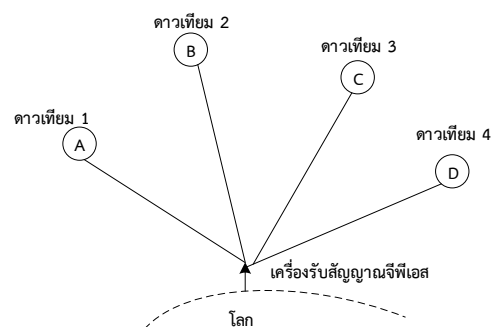
- 1) ตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอสในอวกาศ อย่างน้อย 3 ดวง
- 2) ระยะห่างจากดาวเทียมจีพีเอสแต่ละดวง



รูปที่ 1 ตัวอย่างการหาพิกัดตำแหน่งวัตถุ

2.2 เทคนิคการหาพิกัดตำแหน่ง [7]

การหาตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลกนั้น มาจากแนวความคิดง่าย ๆ ที่ว่า ถ้าเรารู้ตำแหน่งของดาวเทียม และเรารู้ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ เราจะสามารถหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณได้ เช่น ถ้าลองพิจารณาใน 2 มิติ แล้วทั้งตำแหน่งที่กำหนดให้ 2 จุด และระยะจากจุดทั้ง 2 ถึงจุดที่ต้องการหา (x, y) เราสามารถไขว้วงเวียนเขียนเส้น โดยมีจุดที่กำหนดให้เป็นศูนย์กลาง รัศมีวงเวียนเท่ากับระยะทางที่รู้ เส้นวงกลมที่ได้จะตัดกัน 2 จุด โดยหนึ่งจุดเป็นคำตอบที่ถูกต้อง ที่นี้สมการอย่างง่ายเขียนได้เป็น



รูปที่ 2 การอ้างอิงตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอส

ระยะจากจุดที่ 1 (X_1, Y_1)

$$D_1 = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (1)$$

ระยะจากจุดที่ 2 (X_2, Y_2)

$$D_2 = \sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 - y)^2} \quad (2)$$

ถ้าเป็นสามมิติก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน โดยมีจุดที่กำหนดให้ 3 จุด ในทำนองเดียวกัน สมการอย่างง่าย

ระยะจากจุดที่ 1

$$D_1 = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2 + (Z_1 - y)^2} \quad (3)$$

ระยะจากจุดที่ 2

$$D_2 = \sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 - y)^2 + (Z_2 - y)^2} \quad (4)$$

ระยะจากจุดที่ 3

$$D_3 = \sqrt{(X_3 - x)^2 + (Y_3 - y)^2 + (Z_3 - y)^2} \quad (5)$$

สำหรับระยะทางนั้น เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถคำนวณโดยการจับเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ แล้วคูณด้วยความเร็วแสง ก็จะได้ระยะ ณ เวลา (epoch) ที่ดาวเทียมห่างจากเครื่องรับ ถ้าไรก็ดี เนื่องจากคลื่นเดินทางด้วยความเร็วแสง นาฬิกาที่จับเวลาที่เครื่องรับมีคุณภาพเหมือนนาฬิกาควอตซ์ทั่วไป ความผิดพลาดจากการจับเวลา (dt) แม้เพียงเล็กน้อยก็ทำให้ระยะผิดไปมาก ความผิดพลาดดังกล่าวจึงนับเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณตำแหน่ง ด้วยเหตุนี้ การหาตำแหน่งจึงมีตัวแปรพื้นฐานที่สำคัญรวม 4 ตัวแปร ได้แก่ ตำแหน่งที่ต้องการหาใน 3 มิติ (x, y, z) และ ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากนาฬิกาที่ใช้ ทำให้เราต้องการดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อสร้าง 4 สมการ ในการแก้ตัวแปรทั้ง 4 สมการอย่างง่ายจึงกลายเป็น

ระยะจากจุดที่ 1

$$D_1 = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2 + (Z_1 - y)^2} + cdt \quad (6)$$

ระยะจากจุดที่ 2

$$D_2 = \sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 - y)^2 + (Z_2 - y)^2} + cdt \quad (7)$$

ระยะจากจุดที่ 3

$$D_3 = \sqrt{(X_3 - x)^2 + (Y_3 - y)^2 + (Z_3 - y)^2} + cdt \quad (8)$$

ระยะจากจุดที่ 4

$$D_4 = \sqrt{(X_4 - x)^2 + (Y_4 - y)^2 + (Z_4 - y)^2} + cdt \quad (9)$$

เมื่อ c เป็นความเร็วแสง

ในกรณีที่จำนวนดาวเทียมมากกว่านี้ ก็จะมีจำนวนสมการมากขึ้นเท่ากับจำนวนดาวเทียมสังเกตการณ์

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจีพีเอส

เนื่องจากการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอสนั้น อาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมเป็นหลัก ดังนั้นในการใช้งานจึงมีเหตุปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการระบุตำแหน่งที่ได้จากระบบพิกัดดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเด็นใหญ่ คือ

- 1) ข้อผิดพลาดในการวัดระยะ (Noise + Systematic) ส่วนใหญ่เป็นข้อผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่เข้ามารบกวนระบบการทำงานของระบบจีพีเอส
- 2) วงโคจรของดาวเทียม

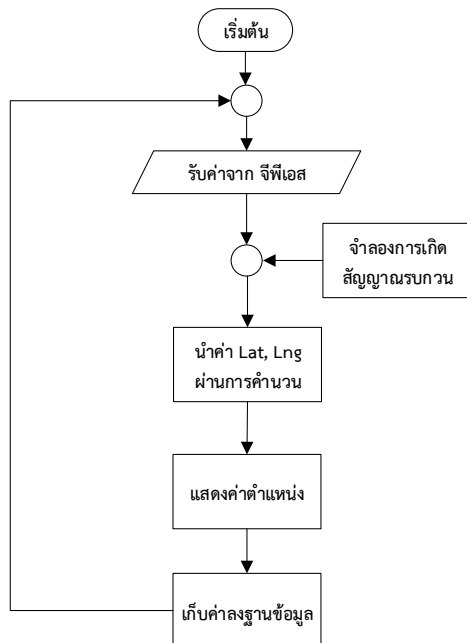
นอกจากปัจจัยหลัก 2 ข้อที่กล่าวมานี้ ยังมีเหตุปัจจัยอย่างอื่นที่สามารถก่อให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งในระบบจีพีเอส เช่น

- ☐ Selective Availability (SA)
- ☐ Ionospheric Error
- ☐ Atmospheric Error
- ☐ Orbit and Satellite Clock Error
- ☐ Multipath
- ☐ Receiver Noise

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลของไอโอโนสเฟียร์ทำให้เกิดข้อผิดพลาดที่สำคัญที่สุดในความแม่นยำของจีพีเอส ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ความสูง 80 - 400 กม. อิเล็กตรอนจำนวนมากและไอออนที่มีประจุบวกเกิดจากแรงไอออไนซ์ของดวงอาทิตย์ ชั้นเหล่านี้หักเหคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งสัญญาณจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับสัญญาณบนพื้นโลก

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง [6]

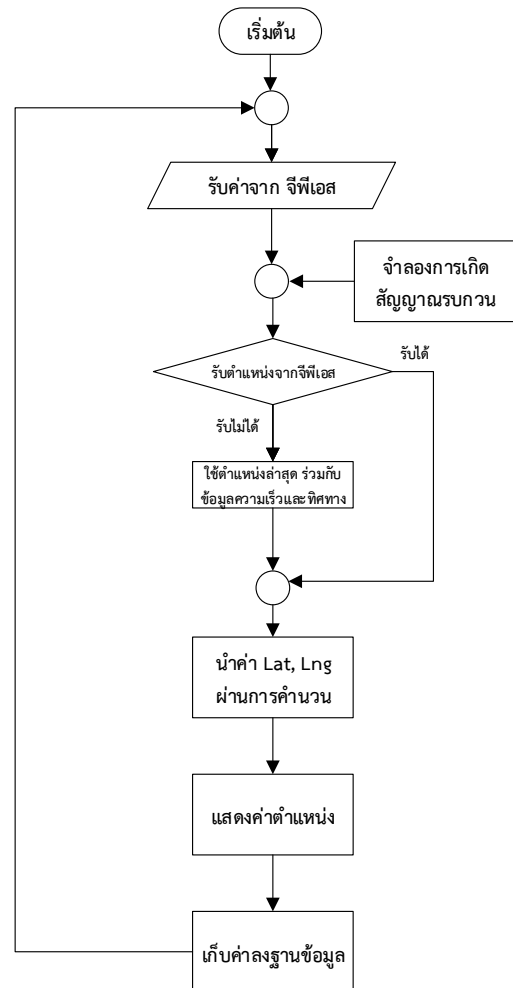
Effect	ค่าความผิดพลาด
Ionospheric effects	± 5 เมตร
Shifts in the satellite orbits	± 2.5 เมตร
Clock errors of the satellites' clocks	± 2 เมตร
Multipath effect	± 1 เมตร
Tropospheric effects	± 0.5 เมตร
Calculation and rounding errors	± 1 เมตร



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานรูปแบบที่ 1

3. รูปแบบการทดสอบ

การทดสอบการทำงานในบทความนี้ได้ทำชุดการคำนวณตำแหน่งโดยใช้ โมดูลรับสัญญาณจีพีเอสของ Quectel L26-DR เชื่อมต่อกับสายอากาศภายนอกเพื่อช่วยการรับสัญญาณให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น และใช้บอร์ด ESP-32 เป็นตัวประมวลผลการคำนวณตำแหน่งรถยนต์ โดยทำการทดสอบเก็บค่าตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ประมาณ 100 ตำแหน่ง



รูปที่ 4 แผนผังการทำงานรูปแบบที่ 2

รูปแบบการทดสอบที่ 1 มีการทำงานตามแผนผังในรูปที่ 3 เป็น

การทดสอบการวัด การคำนวณ และแจ้งตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยการทดสอบจะรับสัญญาณข้อมูลโดยตรงจากโมดูลจีพีเอส แต่ในการทดสอบนี้รถยนต์ที่เคลื่อนที่ไปนั้นเป็นพื้นที่โล่งแจ้งการรับสัญญาณจีพีเอสจึงเป็นสถานะปกติ อาจไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน จึงได้ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบ เพื่อจำลองสถานการณ์ในกรณีที่อาจเกิดการรบกวนจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น การมีสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป การเคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่อับสัญญาณ ลอดใต้สะพาน ใต้อุโมงค์ เป็นต้น จากนั้น จึงทำการคำนวณพิกัดตำแหน่งของรถยนต์ และบันทึกลงในหน่วยความจำ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าตำแหน่งที่ได้จากรูปแบบที่1

ค่าตำแหน่งจริง		ค่าตำแหน่งจากจีพีเอส		ระยะทาง (km)
Lat	Lng	Lat	Lng	
13.7219940	100.7784940	13.7215833	100.7778225	0.0857150
13.7220010	100.7785410	13.7212220	100.7789149	0.0955723
13.7220060	100.7785830	13.7226927	100.7783502	0.0803930
13.7220120	100.7786390	13.7224454	100.7787404	0.0494210
13.7220110	100.7787020	13.7219134	100.7784169	0.0326531
13.7220090	100.7787620	13.7218172	100.7791912	0.0510328
13.7220090	100.7788190	13.7225115	100.7783291	0.0769564
13.7220050	100.7788670	13.7210810	100.7790636	0.1049192
13.7220020	100.7789150	13.7205741	100.7797409	0.1821281
13.7220020	100.7789600	13.7215724	100.7784450	0.0733254
13.7219990	100.7790040	13.7215177	100.7796854	0.0910048
13.7219980	100.7790700	13.7227004	100.7784110	0.1056783
13.7219960	100.7791520	13.7215693	100.7785069	0.0843045
13.7219950	100.7792370	13.7211380	100.7796456	0.1050235
13.7219930	100.7793060	13.7212290	100.7791038	0.0877158
13.7219920	100.7793680	13.7217452	100.7802201	0.0960492
13.7219940	100.7794320	13.7223429	100.7797113	0.0491490
13.7219930	100.7794860	13.7207060	100.7799718	0.1524270
13.7219880	100.7795050	13.7217261	100.7790351	0.0585188
13.7219860	100.7795160	13.7216018	100.7791856	0.0556702
		ระยะทางที่ผิดพลาดเฉลี่ย		0.0858829

ในรูปแบบที่2 จะมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่4 จะเห็นว่าในกระบวนการช่วงแรกที่ได้รับค่าจากดาวเทียมจีพีเอสนั้นจะมีการทำงานเหมือนกัน แตกต่างกันกรณีที่ไม่สามารถรับสัญญาณจีพีเอสได้

ระบบจะใช้ตำแหน่งสุดท้ายที่มีในระบบมาทำการคำนวณร่วมกับข้อมูลความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในขณะปัจจุบันเข้ามาประมวลผลเป็นค่าพิกัดตำแหน่งใหม่ทดแทน จนกว่าระบบจะกลับมารับสัญญาณจีพีเอสได้อีกครั้ง

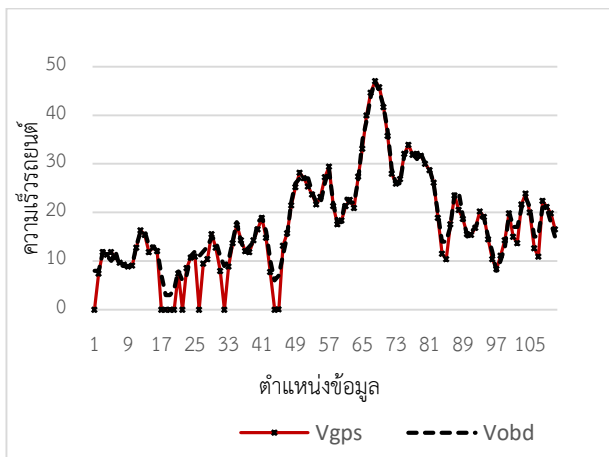
4. การทดสอบ

จากรูปแบบการทดสอบที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเริ่มทำการทดสอบด้วยการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสภายในรถยนต์ และทำการบันทึกค่าพิกัดตำแหน่ง และความเร็วของรถยนต์ประมาณ 100 จุด โดยได้นำมาแสดงผลเป็นตัวอย่างจำนวน 20 จุด ดังในตารางที่2 และตารางที่3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าตำแหน่งที่ได้จากรูปแบบที่2

ค่าตำแหน่งจริง		ค่าตำแหน่งรูปแบบที่2		ระยะทาง (km)
Lat	Lng	Lat	Lng	
13.7219940	100.7784940	13.7217955	100.7787867	0.0385580
13.7220010	100.7785410	13.7219061	100.7788010	0.0300005
13.7220060	100.7785830	13.7219721	100.7785470	0.0054174
13.7220120	100.7786390	13.7220143	100.7785041	0.0145743
13.7220110	100.7787020	13.7221728	100.7784739	0.0305110
13.7220090	100.7787620	13.7220422	100.7783955	0.0397614
13.7220090	100.7788190	13.7217381	100.7784698	0.0482713
13.7220050	100.7788670	13.7215833	100.7788205	0.0471547
13.7220020	100.7789150	13.7214786	100.7790816	0.0609162
13.7220020	100.7789600	13.7214675	100.7793348	0.0719123
13.7219990	100.7790040	13.7215279	100.7795599	0.0796830
13.7219980	100.7790700	13.7216405	100.7795567	0.0659103
13.7219960	100.7791520	13.7216460	100.7794344	0.0494489
13.7219950	100.7792370	13.7216686	100.7793982	0.0402601
13.7219930	100.7793060	13.7216289	100.7793856	0.0413891
13.7219920	100.7793680	13.7214976	100.7792854	0.0556974
13.7219940	100.7794320	13.7215190	100.7793775	0.0531458
13.7219930	100.7794860	13.7215631	100.7794559	0.0479087
13.7219880	100.7795050	13.7216866	100.7794869	0.0335689
13.7219860	100.7795160	13.7218159	100.7795347	0.0190273
		ระยะทางที่ผิดพลาดเฉลี่ย		0.0436558

จากรูปที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในขณะที่ทำการทดลอง จะเห็นว่า ข้อมูลความเร็วของรถยนต์ที่รับได้จากดาวเทียมจีพีเอส (Vgps) จะมีการแกว่งตัวมากกว่าข้อมูลความเร็วที่รับได้จากกล้องส่องกล้องของรถยนต์ (Vobd) โดยจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในบริเวณตำแหน่งที่เริ่มมีการเคลื่อนที่ หรือมีการชะลอความเร็วเพื่อหยุดรถยนต์ ซึ่งผลที่ปรากฏจะทำให้ข้อมูลความเร็วกับตำแหน่งของรถยนต์ที่นำไปแสดงผลมีการคลาดเคลื่อนออกไป ส่วนในกรณีที่รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากกว่า 20 กม.ต่อชั่วโมงขึ้นไป พบว่าข้อมูลความเร็วที่ได้รับจะใกล้เคียงกันมาก



รูปที่9 ผลการเปรียบเทียบความเร็วรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่

ตารางที่ 4 ค่าความแตกต่างของระยะทางเมื่อเทียบกับระยะทางจริง

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทาง (กม.)
รูปแบบที่1	0.075498282
รูปแบบที่2	0.035833299

5. สรุปผล

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสโดยตรง และนำมาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งเพียงอย่างเดียวไม่มีโอกาสที่ข้อมูลมีความผิดพลาดได้มากกว่า จะเห็นได้จากผลการทดสอบรูปแบบที่1 เป็นการรับสัญญาณจีพีเอสและ

จำลองใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบจะได้ตำแหน่งที่มีความผิดพลาดเป็นระยะทางเฉลี่ยที่เกิดขึ้นประมาณ 0.075498282 กม. ซึ่งมากกว่าการทดสอบในรูปแบบที่2 ที่นำเอาความเร็วและทิศทางจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในรถยนต์มาช่วยในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง ซึ่งมีค่าตำแหน่งที่มีความผิดพลาดเป็นระยะทางเฉลี่ยประมาณ 0.035833299 กม.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia. (18 กันยายน 2563). Wikipedia สืบค้นจาก https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System.
- [2] Elliott D. Kaplan and Christopher J. Hegarty, "Understanding GPS/GNSS Principles and Applications", Artech House, 2017.
- [3] Pifu Zhang and et,al, "Navigation with IMU/GPS/Digital Compass with Unscented Kalman Filter," Proceeding of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation Niagara Falls, Canada, July, 2005, pp. 1497-1502.
- [4] Eunseok Choi and Sekchin Chang, "A Consumer Tracking Estimator for Vehicles in GPS-free Environments," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 63, No. 4, pp. 450-458, Nov. 2017.
- [5] Wahyudi and et,al, "Navigation with IMU/ GPS/ Digital Compass with Unscented Kalman Filter," Proceeding of the IEEE International Conference on Information Technology Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Sep. 26-28, 2018, pp. 214-218.
- [6] Li Nyen Thin, Lau Ying Ting, Nor Adila Husna and Mohd Heikal Husin, "GPS SYSTEMS LITERATURE: INACCURACY FACTORS AND EFFECTIVE SOLUTIONS", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol8, No2, March 2016
- [7] สืบค้นจาก [#cite_note-4](https://th.wikipedia.org/wiki/ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก)



พิเชษฐ์ วิสารทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปี พ.ศ.2546 ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร หัวข้องานวิจัยที่สนใจ ได้แก่

ระบบสื่อสารแอนะล็อก และดิจิทัล การจำลองระบบการสื่อสาร