



วิทยานิพนธ์

การเพิ่มสมรรถนะบริการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคผสมการหาตำแหน่งจีพีเอสและเครือข่ายไร้สาย

**INCREASING LOCATION-BASED SERVICE PERFORMANCE
USING HYBRID GPS-WLAN POSITIONING TECHNIQUE**

นายพีระ อัสครทิพย์กุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ .2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มสมรรถนะบริการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคผสมการหาตำแหน่งจีพีเอสและเครือข่ายไร้สาย

Increasing Location-Based Service Performance Using Hybrid GPS-WLAN Positioning
Technique

โดย

นายพีระ อัสครพิชญกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1904-9

พีระ อัครทิพย์กุล 2549: การเพิ่มสมรรถนะบริการหาตำแหน่งด้วยการผสมจีพีเอสและ
เครือข่ายไร้สาย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุขุมล กิตติสิน, Ph.D. 80 หน้า
ISBN 974-16-1904-9

การหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสสามารถทำงานได้ดีในพื้นที่โล่ง แต่หากนำจีพีเอส มาใช้หา
ตำแหน่งในพื้นที่ที่มีสิ่งก่อสร้างจำนวนมาก อาจเกิดปัญหาทำให้ไม่สามารถหาตำแหน่งได้ ดังนั้น
เพื่อให้สามารถหาตำแหน่งในสถานที่ที่ไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสได้ จึงต้องใช้
เครือข่ายไร้สายทำงานร่วมกับจีพีเอสในการหาตำแหน่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีจับเวลา
เดินทางของสัญญาณและวัดความเข้มของสัญญาณ สำหรับคำนวณหาระยะห่างระหว่างสถานี
รับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์รับสัญญาณเครือข่ายไร้สาย และใช้เทคนิคไทรแอง
กูเลชัน รวมทั้งปรับปรุงเทคนิคไทรแองกูเลชันให้มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่ง

วิธีการวิจัยในส่วนของ การหาตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณ เริ่มต้นด้วย
การนำค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหา
ตำแหน่งผิดพลาดในจีพีเอส มาจำลองการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคไทรแองกูเลชัน เพื่อนำผลลัพธ์ที่
ได้เปรียบเทียบกับ การหาตำแหน่งด้วยเทคนิคผสมการหาตำแหน่งของจีพีเอสและเครือข่ายไร้สาย
ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสมีความแม่นยำสูงที่สุดแต่หากไม่
สามารถหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสได้ การหาตำแหน่งด้วย 2 ดาวเทียมจีพีเอส 1 สถานีเครือข่ายไร้สาย
จะมีความเหมาะสมที่สุด

วิธีการวิจัยของการหาตำแหน่งด้วยการวัดความเข้มของสัญญาณ เริ่มด้วยการเก็บข้อมูล
fading ของสัญญาณ โดยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่าย GloMoSim และนำค่า fading ที่ได้ไป
คำนวณหาระยะทางเพื่อใช้หาตำแหน่งด้วยเทคนิคไทรแองกูเลชัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า
การหาตำแหน่งด้วยเครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดความเข้มสัญญาณ

Peera Ausdorntipkul 2006: Increasing Location-Based Service Performance Using Hybrid GPS-WLAN Positioning Technique. Master of Science (Computer Science), Major Field: Computer Science, Department of Computer Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Sukumal Kitisin, Ph.D. 80 pages.
ISBN 974-16-1904-9

Locating a position in a plain using GPS works well. However, doing so in dense areas of tall buildings may not. Therefore, to locate a position in an area where the radio signals reflect off surrounding terrain-buildings, canyon walls, hard ground, etc., requires the usage of other signal sources such as wireless network access point together with GPS satellites. This research proposes a way in measuring signal traveling time and signal strength between an access point and the locating equipment to calculate a distance. The distance is then used for calculating its position with Triangulation technique. The research presents an adjusted Triangulation technique for the heterogeneous signal sources.

Finding a position with measured signal delay, the average delay value that causes positioning error and its standard deviation are collected and used for simulating with the adjusted Triangulation technique. The results from using all GPS satellites are compared with the positioning result using the hybrid positioning of GPS satellites and WLAN access points. The results show that positioning with two GPS satellites and one WLAN access point is appropriate for positioning with time measurement.

Finding a position with signal strength is done through a simulation using GloMoSim to find fading values and used them to calculate positioning results. The result shows that finding a position using only WLAN access points yields best result using signal strength measurement.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนเขต 100 ปีและบริษัทเขตสำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุชุมล กิตติสิน สำหรับความช่วยเหลือและคำปรึกษาในวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร. ชวลิต ศรีสถาพร พัฒน์ สำหรับคำแนะนำการใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเพื่อวัดค่าความเข้มสัญญาณ ขอขอบคุณ ดร. พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์ สำหรับแนวคิดการวัดค่าเวลาหน่วงในเครือข่ายไร้สาย ขอขอบคุณเพื่อนๆ MCS สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณแม่ของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา หากปราศจากพวกเขา งานวิจัยคงไม่อาจสำเร็จลุล่วง

พีระ อัครทิพย์กุล

พฤษภาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ.....	1
การตรวจเอกสาร	3
วิธีหาตำแหน่ง.....	3
การแพร่กระจายของสัญญาณ	7
เทคนิคไทรแองกุเลชัน.....	13
เทคนิคไทรแองกุเลชันที่ปรับปรุงแล้ว.....	17
อุปกรณ์ ซอฟต์แวร์และวิธีการ	21
อุปกรณ์.....	21
ซอฟต์แวร์.....	21
วิธีการ	21
ผล.....	27
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสเพียงอย่างเดียวและหาตำแหน่งด้วยวิธี	
เทคนิคไทรแองกุเลชัน	27
ผลการหาค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดใน โพรโตคอล TCP และ UDP...27	
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว และจีพีเอสผสม	
เครือข่ายไร้สายโดยจับเวลาเดินทางของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่ง	
ด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกุเลชัน	28
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสผสมเครือข่ายไร้สายโดยจับเวลาเดินทางของ	
สัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกุเลชัน	
ที่ปรับปรุงแล้ว	32
ผลการหาค่าความเข้มสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาด	34
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสผสมเครือข่ายไร้สายโดยจับความเข้มของ	
สัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกุเลชัน	43
วิจารณ์	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุป.....	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	79

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าหนึ่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การหาตำแหน่งด้วยวิธี Cell ID.....	3
2	การหาตำแหน่งด้วยวิธี Three Sector Cell	4
3	การหาตำแหน่งด้วยวิธี RTT.....	4
4	การหาตำแหน่งด้วยวิธี Signal Strength.....	5
5	การหาตำแหน่งด้วยวิธี AOA.....	5
6	การหาตำแหน่งด้วยวิธี TOA	6
7	การหาตำแหน่งด้วยวิธี OTD	6
8	การแพร่กระจายของสัญญาณ.....	9
9	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ Slow Fading.....	11
10	การกระจายตัวแบบ Rayleigh.....	12
11	การกระจายตัวแบบ Rician.....	13
12	การหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส 3 ดวง.....	13
13	มุมมองด้านบนของการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส.....	14
14	ความผิดพลาดเมื่อใช้เทคนิคไทรแองกูลेशन	17
15	ความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสเพียงอย่างเดียว.....	27
16	ค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล TCP	28
17	ค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล UDP	28
18	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวในโปรโตคอล UDP.....	29
19	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวในโปรโตคอล TCP	29
20	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP	30
21	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP	30
22	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP	31

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP 31
24	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP 32
25	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP 33
26	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP 33
27	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP 34
28	ภาพที่ 28 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1 35
29	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.4 35
30	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.5 36
31	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.6 36
32	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน GloMoSim) 37
33	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.7 37
34	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.8 38
35	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ ลดทอนสัญญาณเป็น 0.9 38

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
36	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0 39
37	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0 39
38	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0 40
39	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 1..... 41
40	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 2..... 41
41	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 3..... 42
42	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 4..... 42
43	การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 5..... 43
44	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 44
45	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 44
46	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 45
47	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 45
48	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 46
49	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 47
50	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 47
51	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 48
52	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย..... 48
53	ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
86	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้เครื่องข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 69
87	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครื่องข่ายไร้สาย..... 70
88	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครื่องข่ายไร้สาย..... 70
89	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้เครื่องข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว..... 71
90	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครื่องข่ายไร้สาย..... 71
91	ค่าความผิดพลาดจากการหาดำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครื่องข่ายไร้สาย..... 72

การเพิ่มสมรรถนะบริการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคผสมการหาตำแหน่งจีพีเอสและ เครือข่ายไร้สาย

Increasing Location-Based Service Performance Using Hybrid GPS-WLAN Positioning Technique

คำนำ

บริการหาตำแหน่งเป็นบริการที่มีประโยชน์มากมาย อาทิเช่น ใช้สืบค้นหาตำแหน่งผู้ประสบภัยหรือผู้ที่อยู่ในภาวะฉุกเฉินอันตราย, ใช้ช่วยเหลือค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเดินทาง, ใช้สำหรับติดตามสิ่งมีค่าที่สูญหายหรือถูกโจรกรรม, ฯลฯ (Bourdeau *et al.*, 2002)

แม้ว่าบริการหาตำแหน่งในปัจจุบันนิยมใช้จีพีเอสอย่างแพร่หลาย เพราะจีพีเอสมีความแม่นยำของการหาตำแหน่งสูง แต่การหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสก็ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากจีพีเอสสามารถทำงานได้ดีในพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส แต่หากนำจีพีเอส มาใช้หาตำแหน่งในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก อาจเกิดปัญหาทำให้ไม่สามารถหาตำแหน่งได้ สาเหตุเนื่องจากจีพีเอสใช้เทคนิคไทรแองกูลേഷันสำหรับการหาตำแหน่ง ซึ่งต้องอาศัยดาวเทียมจีพีเอสอย่างน้อย 3 ดวงสำหรับการหาตำแหน่งบนพื้นผิวโลกในระนาบ 2 มิติ หากมีสิ่งกีดขวางบดบังสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสจนทำให้อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสไม่สามารถได้รับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสได้ถึง 3 ดวง ก็จะมีผลให้ไม่สามารถหาตำแหน่งได้ ตัวอย่างสถานที่ที่จีพีเอสมักไม่สามารถทำงานได้ เช่นภายในอาคารต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้สามารถหาตำแหน่งในพื้นที่ที่ไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสได้ครบ 3 ดวง จึงต้องใช้เครือข่ายไร้สายทำงานร่วมกับจีพีเอสในการหาตำแหน่ง

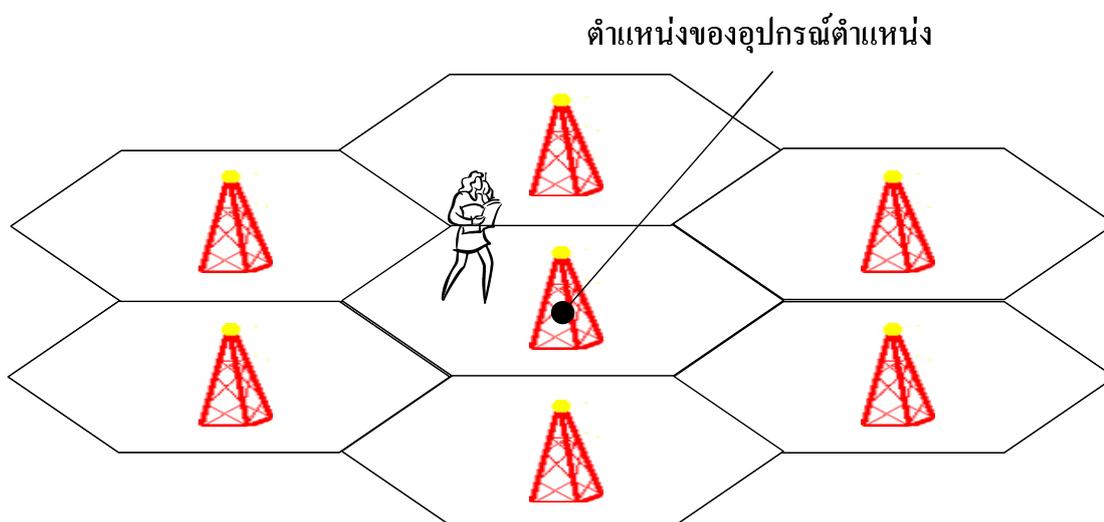
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการสร้างวิธีการหาตำแหน่งด้วยการผสมการหาตำแหน่งจีพีเอสและเครือข่ายไร้สายและ ปรับปรุงเทคนิคไทรแองกูลേഷันให้มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งในบริการช่วยเหลือผู้ประสบภัยหรือผู้ที่อยู่ในภาวะฉุกเฉินอันตราย ซึ่งคาดหวังว่าจะมีความคลาดเคลื่อนจากการหาตำแหน่งประมาณไม่เกิน 30 เมตร

ประโยชน์ของงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับคือสามารถนำงานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาระบบสำหรับการหาตำแหน่ง โดยเลือกใช้เทคนิควิธีหาตำแหน่งที่มีความเหมาะสม ซึ่งทำให้การหาตำแหน่งมีความครอบคลุมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การตรวจเอกสาร

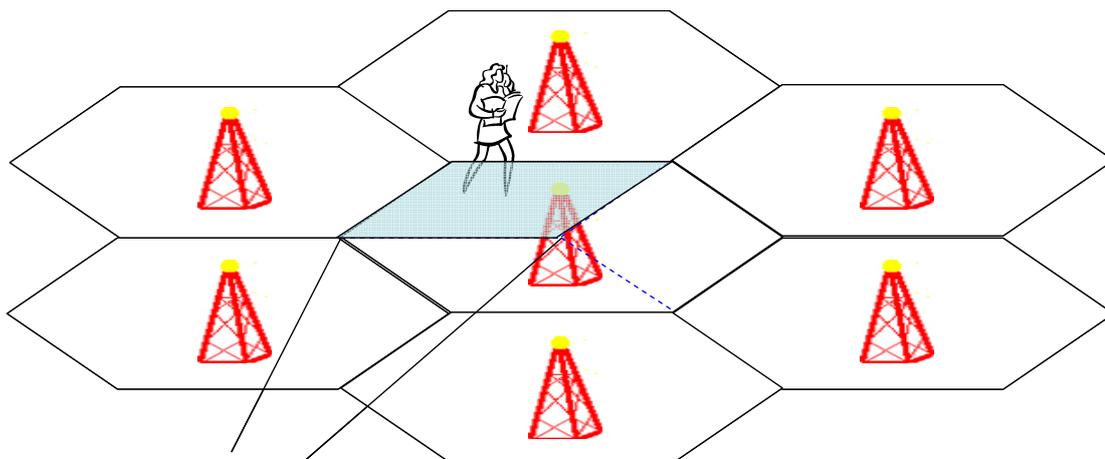
วิธีหาตำแหน่ง

Cell ID - คือวิธีหาตำแหน่งโดยระบุว่าตำแหน่งของอุปกรณ์หาตำแหน่งคือตำแหน่งเดียวกับแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในกรณีที่อุปกรณ์หาตำแหน่งสามารถรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณได้มากกว่า 1 ตัว ตำแหน่งที่หาได้จะเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณตัวที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์หาตำแหน่งมากที่สุด (Heikki *et al.*, 2002)



ภาพที่ 1 การหาตำแหน่งด้วยวิธี Cell ID

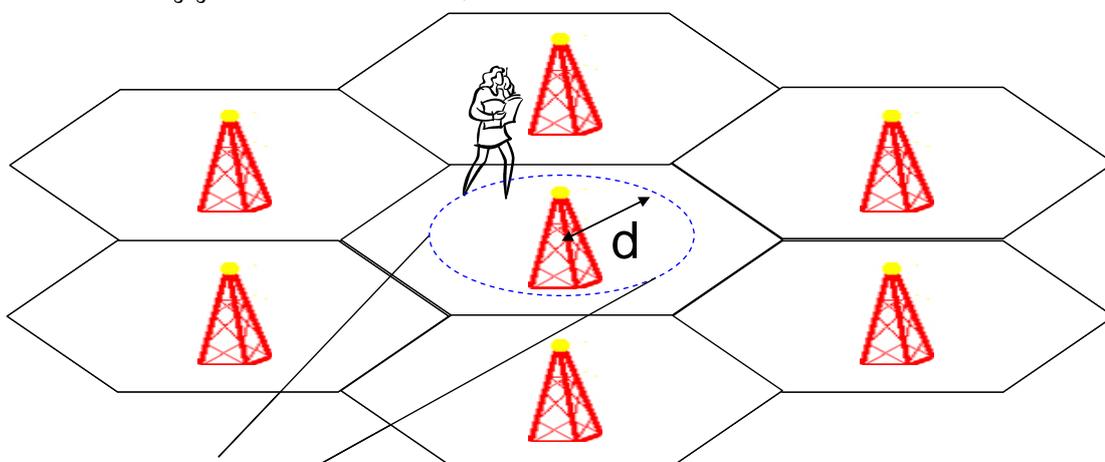
Three Sector Cell - คือวิธีหาตำแหน่ง โดยแบ่งพื้นที่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณออกเป็น 3 ส่วนและระบุว่าตำแหน่งของอุปกรณ์หาตำแหน่งอยู่ในพื้นที่ใด (Heikki *et al.*, 2002) (Mika *et al.*, 2002)



ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 2 การหาตำแหน่งด้วยวิธี Three Sector Cell

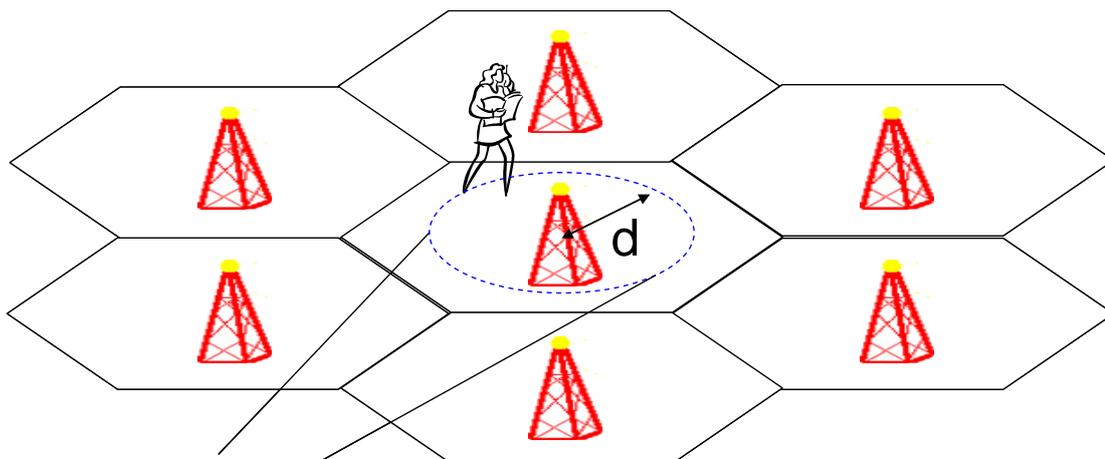
RTT (Round Trip Time) - คือวิธีหาตำแหน่งโดยจับเวลาเดินทางของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณถึงอุปกรณ์หาตำแหน่งทำให้ทราบว่าอุปกรณ์หาตำแหน่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเท่าใด(Heikki *et al.*, 2002)



ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 3 การหาตำแหน่งด้วยวิธี RTT

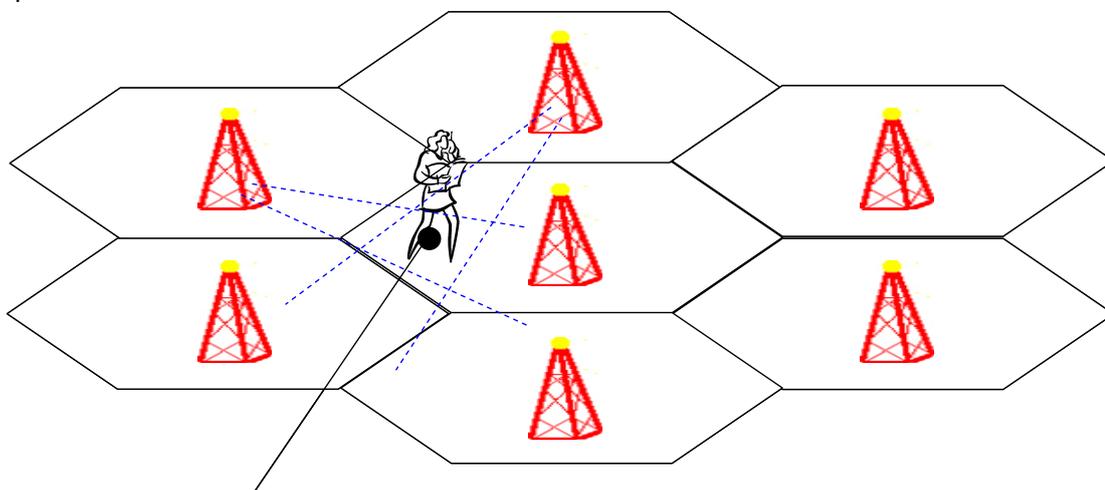
Signal Strength - คือวิธีหาตำแหน่งโดยวัดความเข้มของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณถึงอุปกรณ์หาตำแหน่งทำให้ทราบว่าอุปกรณ์หาตำแหน่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเท่าใด(Heikki *et al.*, 2002) (Mika *et al.*, 2002)



ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 4 การหาตำแหน่งด้วยวิธี Signal Strength

AOA (Angle Of Arrival) - คือวิธีหาตำแหน่งโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณที่ส่งสัญญาณแบบมีทิศทาง จำนวนไม่น้อยกว่า 2 ตัว ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณจะทราบว่าคุณอุปกรณ์หาตำแหน่งอยู่ในทิศทางใดและทิศทางที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณแต่ละตัวจะตัดกัน ทำให้ได้ตำแหน่งของคุณอุปกรณ์หาตำแหน่ง (Heikki *et al.*, 2002) (Mika *et al.*, 2002)

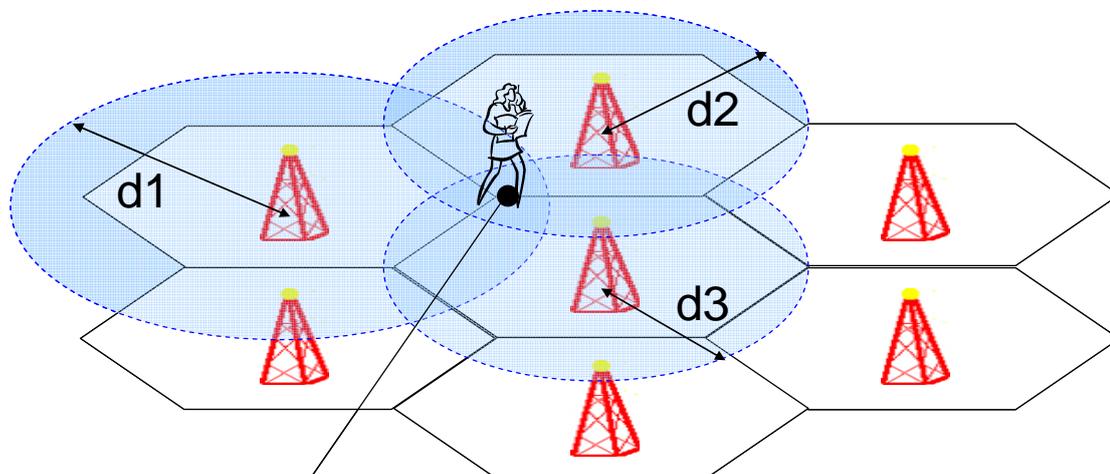


ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 5 การหาตำแหน่งด้วยวิธี AOA

TOA (Time Of Arrival) - คือวิธีหาตำแหน่งโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ตัว ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณจะทราบว่าคุณอุปกรณ์หาตำแหน่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเท่าใด

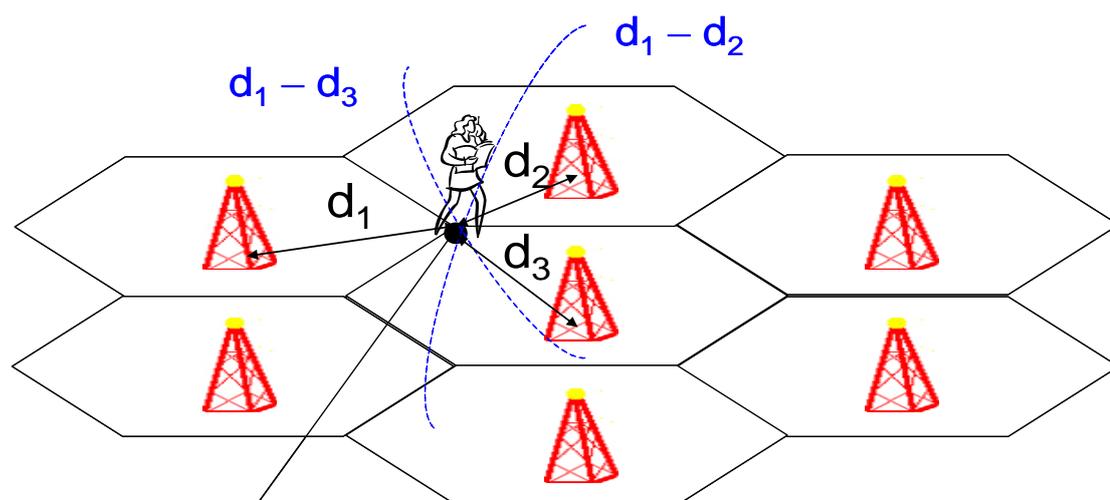
ซึ่งระยะห่างที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณแต่ละตัวจะซ้อนทับกันทำให้ได้ตำแหน่งของอุปกรณ์หาตำแหน่ง (Heikki *et al.*, 2002) (Mika *et al.*, 2002)



ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 6 การหาตำแหน่งด้วยวิธี TOA

OTD (Observed Time Differences) - คือวิธีหาตำแหน่งโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ตัว ซึ่งวิธีหาตำแหน่งทำได้โดยจับคู่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับอุปกรณ์หาตำแหน่งคู่ใดก็ได้ เพื่อนำมาสร้างเป็นสมการพาราโบลา (Dan *et al.*, 2002) โดยจุดตัดของพาราโบลาคือตำแหน่งของอุปกรณ์หาตำแหน่ง (Heikki *et al.*, 2002) (Mika *et al.*, 2002)



ตำแหน่งของอุปกรณ์ตำแหน่ง

ภาพที่ 7 การหาตำแหน่งด้วยวิธี OTD

Database Correlation - คือวิธีหาตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลเก็บมูลเฉพาะเกี่ยวกับการหาตำแหน่ง ซึ่งข้อมูลเฉพาะประกอบด้วยเวลาหน่วงของการเดินทางของสัญญาณ, ความเข้มของสัญญาณ, ฯลฯ เมื่ออุปกรณ์หาตำแหน่งต้องการหาตำแหน่งก็จะส่งข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับการหาตำแหน่ง ไปยังเครื่องให้บริการหาตำแหน่ง เพื่อทำหน้าที่เปรียบเทียบว่าข้อมูลเฉพาะดังกล่าวน่าจะเป็นตำแหน่งบริเวณใด (Heikki *et al.*, 2003)

Hybrid - คือวิธีหาตำแหน่งที่ใช้มากกว่าหนึ่งวิธีเข้าด้วยกันหาตำแหน่งหรือใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณมากกว่าหนึ่งชนิดสำหรับการหาตำแหน่ง (Bourdeau *et al.*, 2002) (Peera *et al.*, 2004) (Shaojun *et al.* 2002) (Rooney *et al.*, 2000) ยกตัวอย่างเช่น นำวิธี AOA + RTT, AOA + TOA, ฯลฯ (Heikki *et al.*, 2002)

การแพร่กระจายของสัญญาณ

Free space path-loss – คือการแพร่กระจายของสัญญาณในอุดมคติ (Dharma *et al.*, 2003) โดยกำหนดให้คือ L_f โดยสามารถนิยามได้ดังนี้

$$L_f = \frac{P_t}{P_r} \quad (1)$$

$$L_f = \frac{1}{G_r G_t} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

L_f - กำลังของสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการเดินทาง (Watt)

P_r - กำลังที่อุปกรณ์รับสัญญาณได้รับ

G_t - อัตราขยายกำลังของสัญญาณของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

G_r - อัตราขยายกำลังของสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณ

P_t - กำลังที่แหล่งกำเนิดสัญญาณสัญญาณส่งออกมา

เมื่อ $G_t = G_r = 1$ ได้สมการ free-space path loss ในรูปของหน่วย dB เป็น

$$L_f = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (3)$$

L_f - กำลังของสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการเดินทาง (dB)

λ - ความยาวคลื่นของสัญญาณ

Land Propagation – ลักษณะการเดินทางของสัญญาณในความเป็นจริง จากแหล่งกำเนิดสัญญาณถึงอุปกรณ์รับสัญญาณ เป็นลักษณะการเดินทางแบบหลายเส้นทาง (mul-ti path) สาเหตุเนื่องจากสัญญาณสามารถเกิดการสะท้อนเลี้ยวเบน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนที่เป็นเหลี่ยมเป็นมุมของวัตถุ ผลจากลักษณะการเคลื่อนที่ของสัญญาณที่เป็นแบบหลายเส้นทาง ทำให้ความเข้มและคุณภาพของสัญญาณขึ้นอยู่กับเส้นทางที่สัญญาณเดินทาง ซึ่งเส้นทางเดินทางของสัญญาณขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมที่สัญญาณเคลื่อนที่ผ่าน (Dharma *et al.*, 2003) พฤติกรรมการเดินทางของสัญญาณสามารถอธิบายได้ในรูปสมการได้ดังนี้

$$P_r = \frac{G_t G_r P_t}{L} \quad (4)$$

P_r - กำลังที่อุปกรณ์รับสัญญาณได้รับ

G_t - อัตราขยายกำลังของสัญญาณของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

G_r - อัตราขยายกำลังของสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณ

P_t - กำลังที่แหล่งกำเนิดสัญญาณส่งออกมา

L - กำลังของสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการเดินทาง

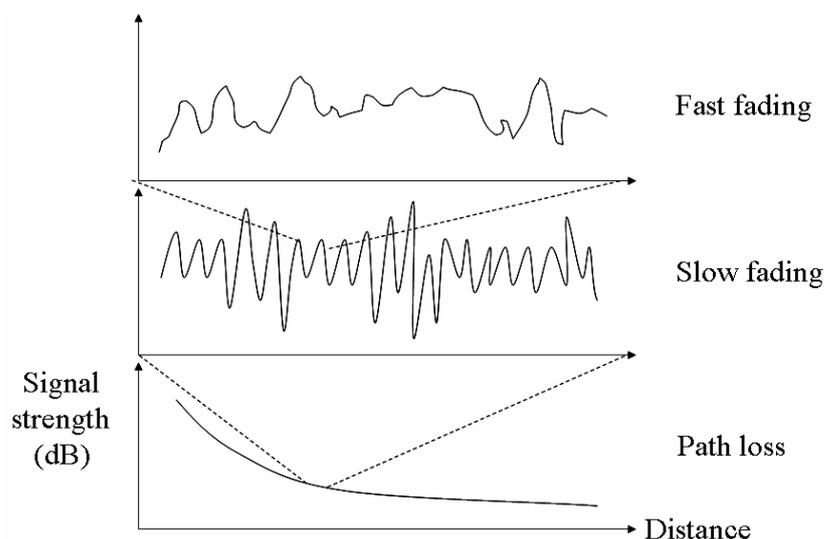
ค่ากำลังของสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการเดินทางของสัญญาณสามารถจำแนกออกมาได้เป็น 3 ส่วนดังสมการ

$$L = L_p L_s L_f \quad (5)$$

L_p - ค่าเฉลี่ยการลดทอนของสัญญาณเมื่อเคลื่อนที่ในระยะไกล

L_s - ค่าความแปรปรวนการลดทอนของสัญญาณเมื่อเคลื่อนที่ในระยะไกล

L_F - ค่าการแทรกสอดของสัญญาณเล็กๆหลายสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณกระทบเหลี่ยมหรือมุมของวัตถุ



ภาพที่ 8 การแพร่กระจายของสัญญาณ

Path loss - คือค่าเฉลี่ยการลดทอนของสัญญาณเมื่อคำนึงถึงการเคลื่อนที่ของสัญญาณในระยะไกล (Dharma *et al.*, 2003) โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss ที่ระยะกับระยะทางสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_p = Ad^{-\alpha} \quad (6)$$

A - ค่าคงที่

d - ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับอุปกรณ์รับสัญญาณ

α - ค่าคงที่

สำหรับการทำนายค่าคงที่ A และ α ได้มาจากการวัดค่าการแพร่กระจายของสัญญาณ (Okumura *et al.*, 1968) (Hata., 1980) (Jakes., 1974)

Slow fading - เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณในระยะที่มากพอจะทำให้สัญญาณเกิดความแปรปรวนเมื่อมองทั้งภาพรวมของการเคลื่อนที่ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิด

สัญญาณถึงอุปกรณ์รับสัญญาณ (Dharma *et al.*, 2003) ใน Slow Fading ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณ $r_m(d)$ ที่ตำแหน่ง d สามารถนิยามได้ดังนี้

$$r_m(x) = \frac{1}{2D} \int_{d-D}^{d+D} r(x) dx \quad (7)$$

$r(x)$ - ค่าความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่ง x

D - ขนาดช่วงของระยะทางที่นำมาพิจารณา (Window)

ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ $r(x)$ สามารถแยกให้อยู่ในรูปผลคูณระหว่าง Slow Fading $r_s(x)$ และ Fast Fading $r_f(x)$ ดังสมการ

$$r(x) = r_s(x)r_f(x) \quad (8)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (8) ลงใน (7) ได้สมการ

$$r_m(x) = \frac{1}{2D} \int_{d-D}^{d+D} r_s(x)r_f(x) dx \quad (9)$$

กำหนดให้เมื่อ x มีค่าเท่ากับ d แล้ว $r_s(x)$ คือค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณ

$$r_m(d) = r_s(d) \quad (10)$$

โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเลือกค่า D ที่ดีพอที่ทำให้

$$r_m(x) = \frac{1}{2D} \int_{d-D}^{d+D} r_f(x) dx \approx 1 \quad (11)$$

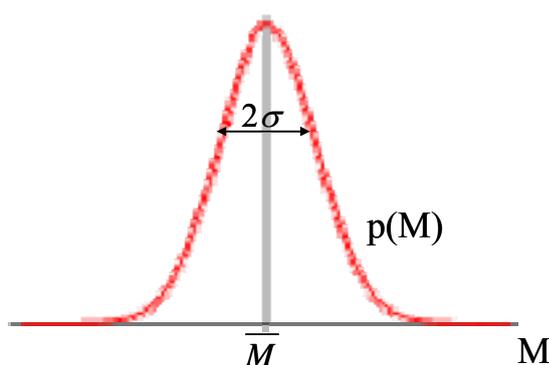
ในหลายๆงานวิจัยได้มีการระบุว่า Slow Fading มีการกระจายตัวแบบ log-normal ซึ่งฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ของความเข้มสัญญาณในหน่วยของ dB คือ

$$p(M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(M-\bar{M})^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

M - ความเข้มของสัญญาณที่รับได้จริง (dB)

\bar{M} - ความเข้มของสัญญาณเฉลี่ย (dB)

σ - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มของสัญญาณ (dB)



ภาพที่ 9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ Slow Fading

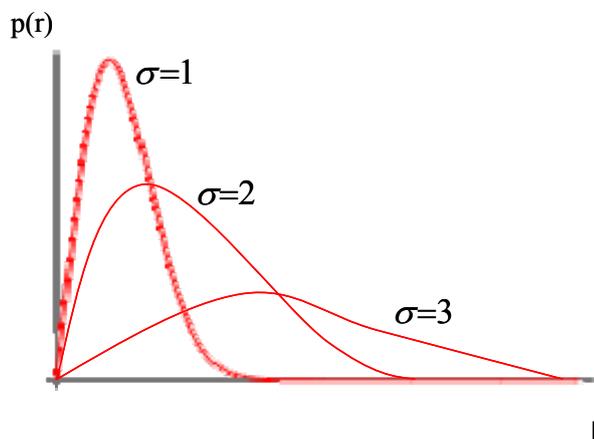
Fast fading - เกิดขึ้นเนื่องจาก สัญญาณเคลื่อนที่เป็นแบบหลายเส้นทางทำให้เกิดสัญญาณจากต่างเส้นทางเข้ามาแทรกสอดกัน (Dharma *et al.*, 2003) เมื่อเรามีสมมติฐานว่าสัญญาณแพร่กระจายในลักษณะทุกทิศทาง Probability distribution ของแอมพลิจูดสัญญาณในทุกๆเส้นทางอยู่ในรูปของ Gaussian distribution , Phase distribution เป็น Uniform distribution ในช่วง $(0, 2\pi)$ เรเดียน

กรณีที่อุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ไกลกับแหล่งกำเนิดสัญญาณ - ความน่าจะเป็นของจำนวนสัญญาณที่เข้ามาแทรกสอดคือ Rayleigh distribution โดยฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นคือดังนี้

$$p(M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(M-\bar{M})^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

r - จำนวนสัญญาณที่เข้ามาแทรกสอด

σ - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 10 การกระจายตัวแบบ Rayleigh

กรณีที่อุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ใกล้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ- ความน่าจะเป็นของจำนวนสัญญาณที่เข้ามาแทรกสอดคือ rician distribution โดย function ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นคือดังนี้

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2 + \alpha^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{\alpha r}{\sigma}\right) \quad (14)$$

r - จำนวนสัญญาณที่เข้ามาแทรกสอด

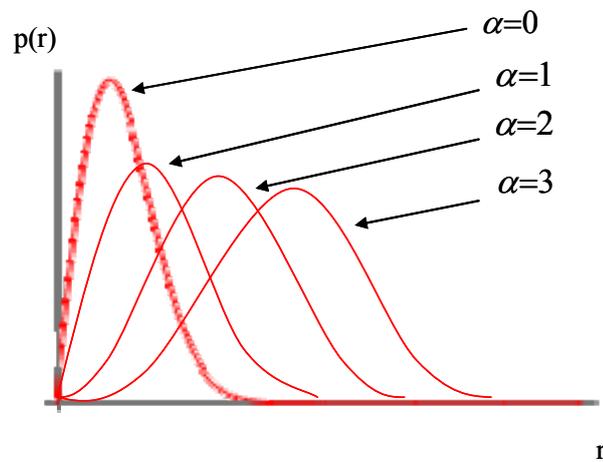
σ - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

I_0 - Zero-order modified Bessel function

โดย I_0 มีสมการดังนี้

$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{x \cos \theta} d\theta \quad (15)$$

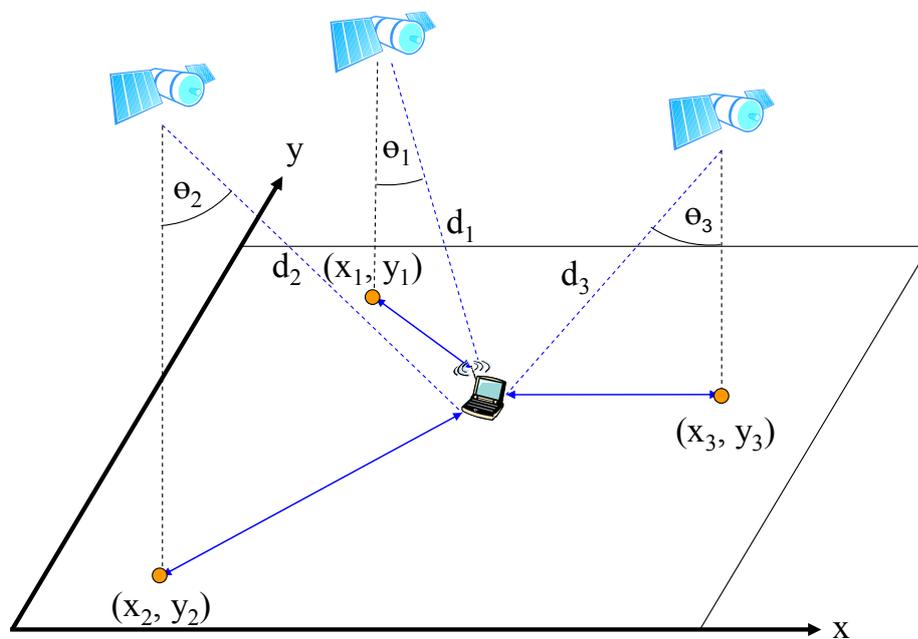
$$I_0(x) \approx \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}} \quad (16)$$



ภาพที่ 11 การกระจายตัวแบบ Rician

เทคนิคไตรแองกูเลชัน

เทคนิคไตรแองกูเลชัน (Triangulation) ถูกนำมาใช้สำหรับการหาดำแหน่งด้วยระบบจีพีเอสไอซ์ ซึ่งใช้ดาวเทียมจีพีเอสไม่น้อยกว่า 3 ดวง (Peera *et al.*, 2004)



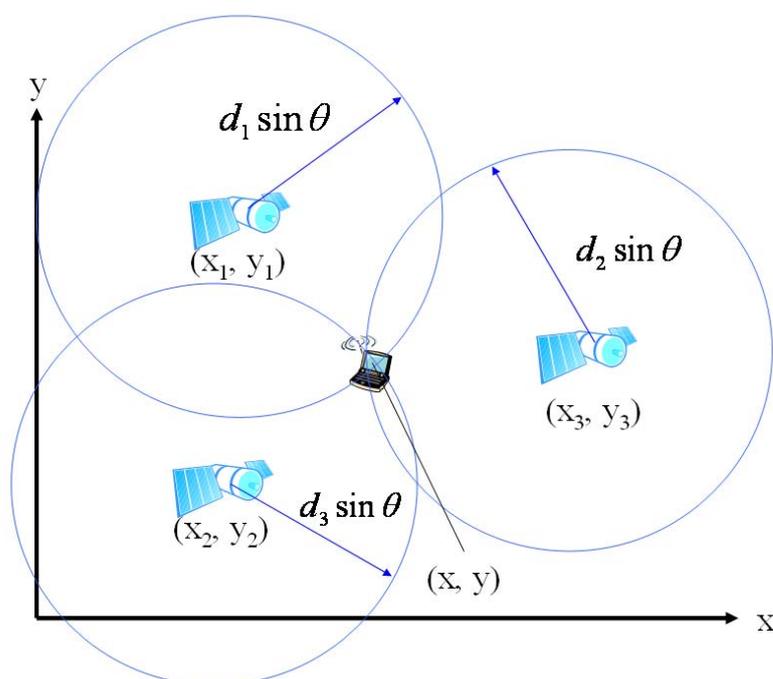
ภาพที่ 12 การหาดำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส 3 ดวง

θ_i - มุมระหว่างเส้นแนวฉากของดาวเทียมกับเส้นตรงที่ลากจากดาวเทียมไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ

d_i - ระยะห่างระหว่างดาวเทียมและอุปกรณ์รับสัญญาณ

(x_i, y_i) - ตำแหน่งของดาวเทียมบนระนาบผิวโลก เมื่อฉายลงมาบนพื้นโลกในแนวตั้งฉาก

(x, y) - ตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณ



ภาพที่ 13 มุมมองด้านบนของการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอส

สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง d_i , (x_i, y_i) , (x, y) ได้ดังสมการ

$$(d_i \sin \theta_i)^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \quad (17)$$

ในความเป็นจริงวงกลมทั้ง 3 วง ที่มีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับอุปกรณ์รับสัญญาณเป็นรัศมี จะไม่ตัดที่จุดเดียวกัน จึงต้องมีการรันเส้นรัศมีของวงกลมหรือต่อขยายเส้นรัศมีของวงกลมเพื่อทำให้วงกลมทั้ง 3 วงตัดที่จุดเดียวกัน โดยตำแหน่งที่ตัดกันของวงกลมทั้ง 3 คือ ตำแหน่งที่ของอุปกรณ์รับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณหาจากเทคนิคไตรแองกูเลชัน ดังนั้นจึงได้สมการ

$$((d_i + d_{fac}) \sin \theta_i)^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \quad (18)$$

d_{fac} - ค่าระยะทางที่ใช้เพื่อรันหรือต่อขยายรัศมีวงกลม

เมื่อนำสมการมาจัดรูปได้

$$d_{fac} = \frac{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}}{\sin \theta_i} - d_i \quad (19)$$

กำหนดให้ dp_i เป็นระยะห่างระหว่างตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ถูกฉายลงมาบนระนาบผิวโลกกับตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณหาด้วยเทคนิคไตรแองกูเลชัน

$$dp_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (20)$$

นำสมการที่ (19) และ (20) มารวมกันและแทนค่า i ของดาวเทียมแต่ละดวง

$$d_{fac} = \frac{dp_1}{\sin \theta_1} - d_1 \quad (21)$$

$$d_{fac} = \frac{dp_2}{\sin \theta_2} - d_2 \quad (22)$$

$$d_{fac} = \frac{dp_3}{\sin \theta_3} - d_3 \quad (23)$$

นำสมการที่ (21) ลบ (22) และ (22) ลบ (23) เพื่อหาค่า x, y

$$f(x, y) = \sin \theta_2 dp_1 - \sin \theta_1 dp_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 (d_1 - d_2) \quad (24)$$

$$g(x, y) = \sin \theta_3 dp_2 - \sin \theta_2 dp_3 - \sin \theta_2 \sin \theta_3 (d_2 - d_3) \quad (25)$$

การแก้สมการที่ (24) และ (25) เพื่อหาค่า (x, y) ใช้วิธีการหาค่าประมาณนิวตัน (Newton Method) โดยกำหนดให้ X คือเวกเตอร์ของคำตอบ, F คือเวกเตอร์ของสมการที่ใช้สำหรับหาค่าคำตอบ, $J_f(x)$ จาคอบีเยนเมทริกซ์ (Jacobian matrix) และ ε คือค่าความละเอียดของการหาค่าประมาณด้วยวิธีการนิวตันดังนั้นจะได้สมการ

$$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T \quad (26)$$

$$F = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_n]^T \quad (27)$$

$$J_f(x) = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right]_{n \times n}, 1 \leq i, j \leq n \quad (28)$$

$$X_{n+1} = X_n - J_f^{-1}(x)F(x) \quad (29)$$

$$|X_{n+1} - X_n| < \varepsilon \quad (30)$$

เพื่อหาค่า (x, y) จึงจำเป็นต้องหาค่า $f_x(x, y)$, $f_y(x, y)$, $g_x(x, y)$, $g_y(x, y)$ นำมาแทนในวิธีการหาค่าประมาณนิวตัน

$$f_x(x, y) = -\frac{(x-x_2)\sin\theta_1}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} + \frac{(x-x_1)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \quad (31)$$

$$f_y(x, y) = -\frac{(y-y_2)\sin\theta_1}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} + \frac{(y-y_1)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \quad (32)$$

$$g_x(x, y) = -\frac{(x-x_3)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{(x-x_2)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} \quad (33)$$

$$g_y(x, y) = -\frac{(y-y_3)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{(y-y_2)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} \quad (34)$$

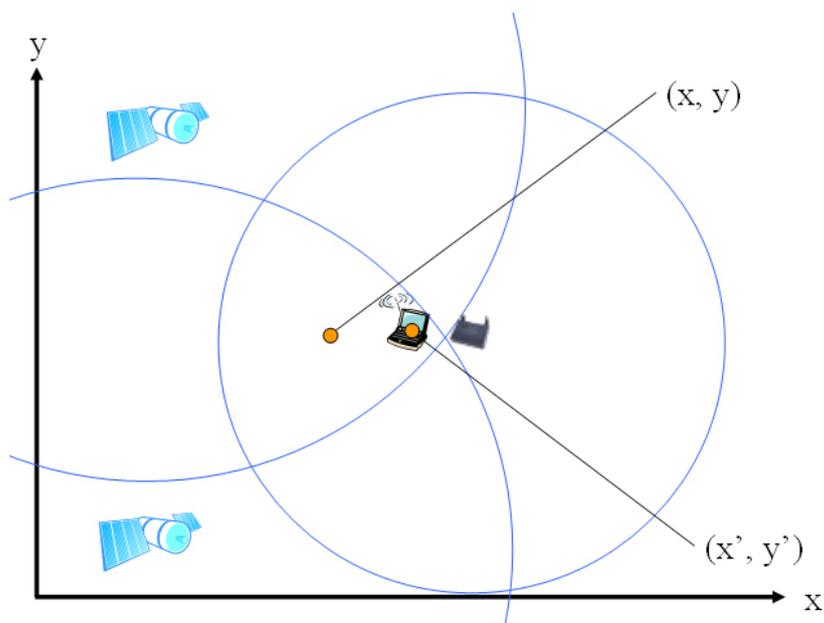
ดังนั้นค่า x_{n+1} และ y_{n+1} สามารถเขียนให้อยู่รูปสมการ

$$x_{n+1} = x_n - \frac{g_y(x_n, y_n)f(x_n, y_n) - f_y(x_n, y_n)g(x_n, y_n)}{f_x(x_n, y_n)g_y(x_n, y_n) - f_y(x_n, y_n)g_x(x_n, y_n)} \quad (35)$$

$$y_{n+1} = y_n - \frac{-g_x(x_n, y_n)f(x_n, y_n) + f_x(x_n, y_n)g(x_n, y_n)}{f_x(x_n, y_n)g_y(x_n, y_n) - f_y(x_n, y_n)g_x(x_n, y_n)} \quad (36)$$

เทคนิคไทรแองกูลेशनที่ปรับปรุงแล้ว

เมื่อนำเทคนิคไทรแองกูลेशनมาใช้หาคำแหน่ง โดยใช้วิธีจับเวลาเดินทางของสัญญาณ ในกรณีที่ทำงานแบบผสมแหล่งกำเนิดสัญญาณพบว่า เทคนิคไทรแองกูลेशनให้ผลลัพธ์ของการหาคำแหน่งได้ไม่ดี มีความผิดพลาดสูง สาเหตุเนื่องจากค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาคำแหน่งผิดพลาดของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่แตกต่างชนิดกัน จะมีค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาคำแหน่งผิดพลาดแตกต่างกัน ส่งผลให้เมื่อเทคนิคไทรแองกูลेशनจะบีบรันหรือต่อขยายวงในสัดส่วนที่เท่าๆกัน ทำให้คำแหน่งที่คำนวณได้จากเทคนิคไทรแองกูลेशन มีความผิดพลาดมาก (Peera *et al.*, 2004)



ภาพที่ 14 ความผิดพลาดเมื่อใช้เทคนิคไทรแองกูลेशन

เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความผิดพลาดจากการหาค่าแห่งของเทคนิคไทรแองกูลेशनเมื่อใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณที่แตกต่างชนิดกัน จึงต้องปรับปรุงเทคนิคไทรแองกูลेशन โดยให้การบีบรัดหรือต่อขยายวงกระทำเป็นสัดส่วนที่ขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดสัญญาณ หรืออีกความหมายหนึ่งคือ ค่าคงที่ที่ใช้สำหรับบวกหรือลบระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งมีค่าระยะทางที่ทำให้การตำแหน่งผิดพลาดแฝงอยู่ ควรจะแปรผันตรงกับค่าระยะทางที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเฉลี่ย

$$d_{faci} \propto d_i \quad (37)$$

d_{faci} - คือค่าคงที่ที่นำไปบวกหรือลบกับระยะทางของสัญญาณซึ่งมีค่าระยะทางที่ทำให้การตำแหน่งผิดพลาดแฝงอยู่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ i

m_i - คือเวลาหน่วงที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเฉลี่ยของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ i

จากความสัมพันธ์ใน (37) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของสมการ

$$d_{faci} = Km_i \quad (38)$$

$$K = \frac{d_{faci}}{m_i} \quad (39)$$

แทนค่า i ด้วย 1, 2 และ 3 (ตัวเลขใช้ระบุถึงดาวเทียมหรือสถานีส่งสัญญาณ) ตามลำดับ

$$K = \frac{d_{fac1}}{m_1} \quad (40)$$

$$K = \frac{d_{fac2}}{m_2} \quad (41)$$

$$K = \frac{d_{fac3}}{m_3} \quad (42)$$

เมื่อนำ (40) และ (42) มาลบกันและนำ (40) และ (42) มาลบกันจัดรูปใหม่ได้สมการ

$$d_{fac1} = \frac{m_1 d_{fac3}}{m_3} \quad (43)$$

$$d_{fac2} = \frac{m_2 d_{fac3}}{m_3} \quad (44)$$

จาก (19) ได้สมการใหม่

$$d_{faci} = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{\sin \theta_i} - d_i \quad (45)$$

นำสมการที่ (45) และ (20) มารวมกันและแทนค่า i ของแต่ละแหล่งกำเนิดสัญญาณ

$$d_{fac1} = \frac{dp_1}{\sin \theta_1} - d_1 \quad (46)$$

$$d_{fac2} = \frac{dp_2}{\sin \theta_2} - d_2 \quad (47)$$

$$d_{fac3} = \frac{dp_3}{\sin \theta_3} - d_3 \quad (48)$$

แทนค่า d_{fac1} ใน (46) ด้วย (43) และ d_{fac2} ใน (47) ด้วย (44)

$$d_{fac3} = \frac{m_3}{m_1} \left(\frac{dp_1}{\sin \theta_1} - d_1 \right) \quad (49)$$

$$d_{fac3} = \frac{m_3}{m_2} \left(\frac{dp_2}{\sin \theta_2} - d_2 \right) \quad (50)$$

นำสมการที่ (49) ลบ (48) และ (50) ลบ (48) เพื่อหาค่า x, y

$$f(x, y) = m_3 \sin \theta_3 dp_1 - m_1 \sin \theta_1 dp_3 + \sin \theta_1 \sin \theta_3 (m_1 d_3 - m_3 d_1) \quad (51)$$

$$g(x, y) = m_3 \sin \theta_3 dp_2 - m_2 \sin \theta_2 dp_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3 (m_2 d_3 - m_3 d_2) \quad (52)$$

เพื่อหาค่า (x, y) จึงจำเป็นต้องหาค่า $f_x(x, y)$, $f_y(x, y)$, $g_x(x, y)$, $g_y(x, y)$ นำมาแทนในวิธีการหาค่าประมาณนิวตัน

$$f_x(x, y) = -\frac{m_1(x-x_3)\sin\theta_1}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{m_3(x-x_1)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \quad (53)$$

$$f_y(x, y) = -\frac{m_1(y-y_3)\sin\theta_1}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{m_3(y-y_1)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \quad (54)$$

$$g_x(x, y) = -\frac{m_2(x-x_3)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{m_3(x-x_2)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} \quad (55)$$

$$g_y(x, y) = -\frac{m_2(y-y_3)\sin\theta_2}{\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}} + \frac{m_3(y-y_2)\sin\theta_3}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} \quad (56)$$

นำค่า $f_x(x, y)$, $f_y(x, y)$, $g_x(x, y)$, $g_y(x, y)$ ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (35) และ (36)

อุปกรณ์ ซอฟต์แวร์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ notebook ที่มีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายจำนวน 2 เครื่อง

ซอฟต์แวร์

1. โปรแกรมจำลองเครือข่าย GloMoSim
2. ภาษาเขียนโปรแกรมซี
3. ตัวคอมไพเลอร์ GNU ซี
4. ภาษาเขียนโปรแกรมจาวา
5. J2SE 5.0
6. VIM editor

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

1.1 คำนวณการหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสเพียงอย่างเดียวและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิค ไทรแองกูเลชัน

คำนวณการหาตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเอง ทำการจำลองหาตำแหน่งแบบเทคนิคไทรแองกูเลชันจำนวน 1,000 ครั้ง โดยมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

1.1.1 ความสูงของดาวเทียมจีพีเอสห่างจากพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก 20,200 กิโลเมตร

1.1.2 อุปกรณ์หาตำแหน่งไม่มีการเคลื่อนที่

1.1.3 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและดาวเทียมจีพีเอสทำมุมกับแนวรัศมีโลกไม่เกิน 55 องศากรี

1.1.4 ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 17 นาโนวินาทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 1 นาโนวินาที (Kenneth *et al.*, 1998)

1.1.5 ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

1.2 หาค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในเครือข่ายไร้สายบนโปรโตคอล TCP และ UDP

วัดค่าโดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายจำนวน 2 เครื่อง และมีโปรแกรมที่ทำงานลักษณะ ping-pong ทำงานอยู่ โดยแต่ละค่าที่วัดได้จากการ ping-pong เพื่อเก็บข้อมูลขนาดเล็กรวม 1,000 ครั้ง และวัดค่าจำนวน 1,000 ค่าโดยมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

1.2.1 คอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่องอยู่ใกล้กันมากจนไม่มีค่า propagation delay

1.2.2 ข้อมูลแพ็คเกจที่ส่งมีขนาดเล็กมาก

1.2.3 หาค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเกิดจาก nodal processing, queuing delay, transmission delay เท่านั้น

1.3 คำนวณการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว และจีพีเอสร่วมกับเครือข่ายไร้สาย โดยจับเวลาเดินทางของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งแบบเทคนิคไทรแองกูล์ชัน

คำนวณการหาตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเอง ทำการจำลองหาตำแหน่งแบบเทคนิคไทรแองกูล์ชันจำนวน 1,000 ครั้งด้วยค่าเวลาหน่วงของโปรโตคอล TCP และอีก 1,000 ครั้งด้วยค่าเวลาหน่วงของโปรโตคอล UDP โดยมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

1.3.1 ความสูงของดาวเทียมจีพีเอสห่างจากพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก 20,200 กิโลเมตร

1.3.2 อุปกรณ์หาตำแหน่งไม่มีการเคลื่อนที่

1.3.3 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและดาวเทียมจีพีเอสทำมุมกับแนวรัศมีโลกไม่เกิน 55 องศา

1.3.4 ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 17 นาโนวินาทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 1 นาโนวินาที (KENNETH *et al.*, 1998)

1.3.5 ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

1.3.6 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งกับ access point มีค่าไม่เกิน 100 เมตร

1.3.7 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและ access point มีค่าตั้งแต่ 0 – 720 องศาในทรงกลมตัน

1.3.8 ความแม่นยำของตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งจริงไม่เกิน 0.001 เมตร

1.4 คำนวณการหาตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและใช้วิธีหาตำแหน่งแบบเทคนิคไตรแองกูเลชันที่ปรับปรุงแล้ว

คำนวณการหาตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเอง ทำการจำลองหาตำแหน่งแบบเทคนิคไตรแองกูเลชันที่ปรับปรุงแล้วจำนวน 1,000 ครั้งด้วยค่าเวลาหน่วงของโปรโตคอล TCP และอีก 1,000 ครั้งด้วยค่าเวลาหน่วงของโปรโตคอล UDP โดยมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

1.4.1 ความสูงของดาวเทียมจีพีเอสห่างจากพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก 20,200 กิโลเมตร

1.4.2 อุปกรณ์หาตำแหน่งไม่มีการเคลื่อนที่

1.4.3 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและดาวเทียมจีพีเอสทำมุมกับแนวรัศมีโลกไม่เกิน 55 องศา

1.4.4 ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 17 นาโนวินาทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 1 นาโนวินาที (KENNETH *et al.*, 1998)

1.4.5 ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

1.4.6 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งกับ access point มีค่าไม่เกิน 100 เมตร

1.4.7 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและ access point มีค่าตั้งแต่ 0 – 720 องศา
 ดิกรีในทรงกลมตัน

1.4.8 ความแม่นยำของตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งจริงไม่เกิน 0.001
 เมตร

1.5 หาค่าความเข้มสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่
 ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในเครือข่ายไร้สาย

วัดค่าโดยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่าย GloMoSim โดยเลือกใช้การลดทอนของ
 สัญญาณแบบ Rayleigh ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1, 0.4, 0.5, 0.6, 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน
 GloMoSim), 0.7, 0.8, 0.9, 1, 2, 3 และเลือกใช้การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician ที่มีค่าปัจจัย k
 เป็น 1, 2, 3, 4, 5 โดยแต่ละครั้งของการวัดค่าทำการจำลองวัดค่าจำนวน 10,000 ค่า และมีสมมติฐาน
 ในการทดลองดังนี้

1.5.1 กำหนดให้พื้นที่ที่จำลองเป็นสองมิติมีความกว้าง 200 เมตรยาว 200 เมตร

1.5.2 ไม่มีการเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่ายไร้สาย

1.5.3 ความเข้มของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่โหนดยังสามารถรับแพ็คเกจได้คือ -81.0
 dBm

1.5.4 มีสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม

1.5.5 ความเข้มของสัญญาณจากโหนดที่ส่งแพ็คเกจเท่ากับ 15 dBm

1.5.6 ไม่มีการขยายกำลังของสัญญาณจาก node ที่ส่งแพ็คเกจและ node ที่รับ
 แพ็คเกจ

1.6 กำหนดการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว และจีพีเอสร่วมกับ
 เครือข่ายไร้สาย โดยวัดความเข้มของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งแบบเทคนิคไตร
 แองกูล์ชัน

กำหนดการหาตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเอง ทำการจำลองการหา
 ตำแหน่งแบบเทคนิคไตรแองกูล์ชันด้วยค่าการลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และ Rician ที่

ได้จากการทดลองวัดการลดทอนของสัญญาณ โดยแต่ละค่าการลดทอนของสัญญาณใช้การทดลองหาตำแหน่งจำนวน 1,000 ครั้ง และมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

- 1.6.1 ความสูงของดาวเทียมจีพีเอสห่างจากพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก 20,200 กิโลเมตร
 - 1.6.2 อุปกรณ์หาตำแหน่งไม่มีการเคลื่อนที่
 - 1.6.3 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและดาวเทียมจีพีเอสทำมุมกับแนวรัศมีโลกไม่เกิน 55 องศา
 - 1.6.4 ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 17 นาโนวินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 1 นาโนวินาที (KENNETH *et al.*, 1998)
 - 1.6.5 ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที
 - 1.6.6 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งกับ access point มีค่าไม่เกิน 100 เมตร
 - 1.6.7 มุมระหว่างอุปกรณ์หาตำแหน่งและ access point มีค่าตั้งแต่ 0 – 720 องศา
- ในทรงกลมตัน
- 1.6.8 ความแม่นยำของตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งจริงไม่เกิน 0.001 เมตร

2. สถานที่ทำการทดลอง

ตึกปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ห้อง 308 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

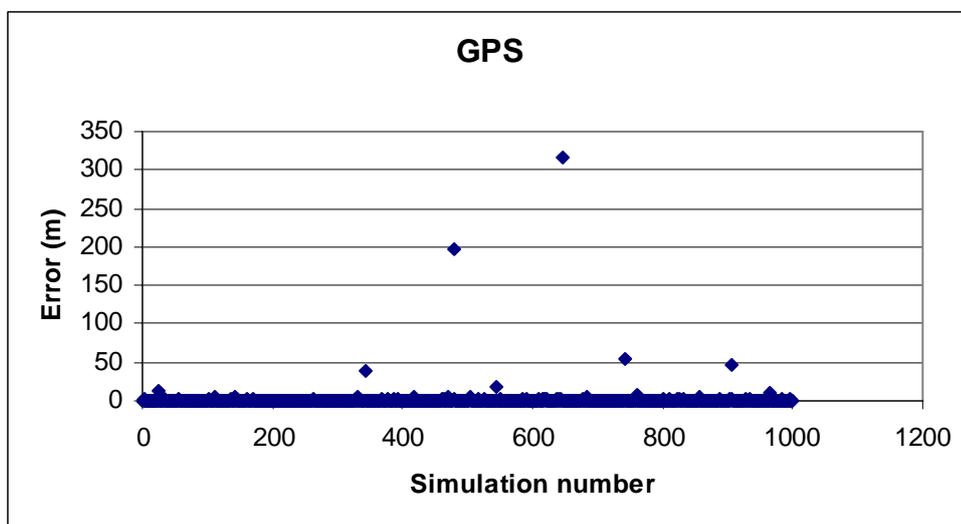
3. ระยะเวลาในการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน (ปี พ.ศ. 2548 – 2549)														ผลลัพธ์	
	ปี พ.ศ. 2548											ปี พ.ศ. 2549				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4		
หาดำแหน่งด้วยจีพีเอสผสมเครื่องข่ายไร้สายโดยจับเวลาเดินทางสัญญาณด้วยเทคนิคไทรแองกูเลชั่นและเทคนิคไทรแองกูเลชั่นที่ปรับปรุงแล้ว																ผลของการหาดำแหน่ง
วัดค่าความเข้มของสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย																ค่าการลดทอนของสัญญาณ
จำลองการหาดำแหน่งด้วยจีพีเอสและเครือข่ายไร้สายโดยใช้ความเข้มของสัญญาณด้วยเทคนิคไทรแองกูเลชั่น																ผลของการหาดำแหน่ง
วิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย																ผลสรุปงานวิจัย
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																รูปเล่มวิทยานิพนธ์

ผล

**ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสเพียงอย่างเดียวและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแอง
กูลชั้น**

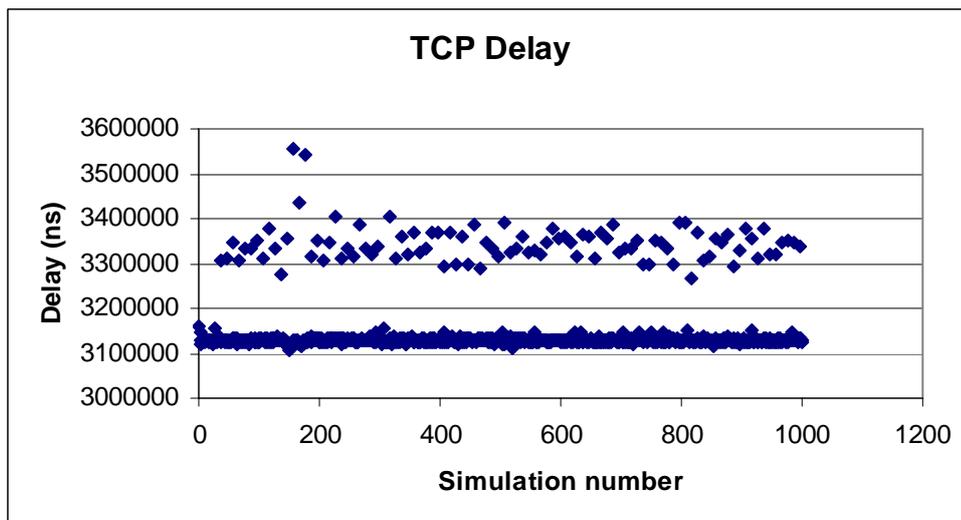
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 1.018 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.025 เมตร



ภาพที่ 15 ความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสเพียงอย่างเดียว

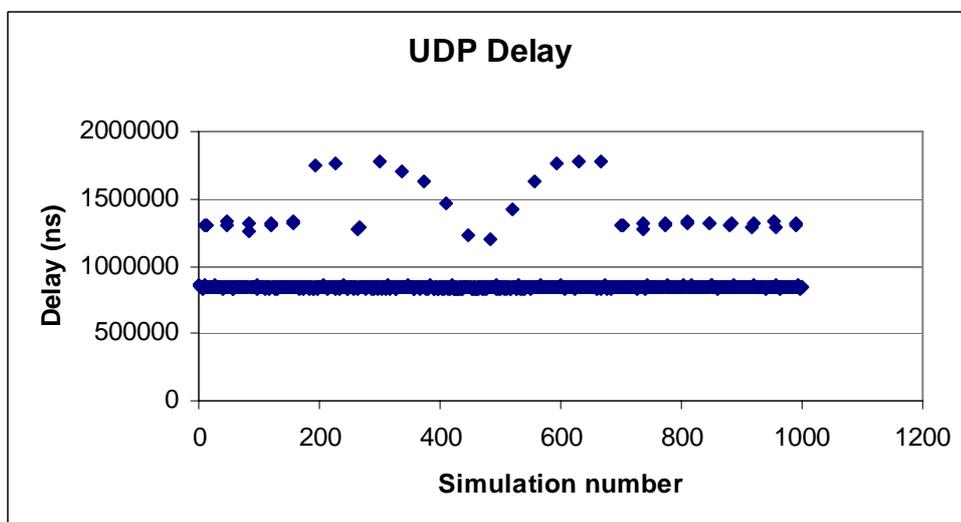
ผลการหาค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล TCP และ UDP

ค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 3,149,628 นาโนวินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 64,940.49 นาโนวินาที



ภาพที่ 16 ค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล TCP

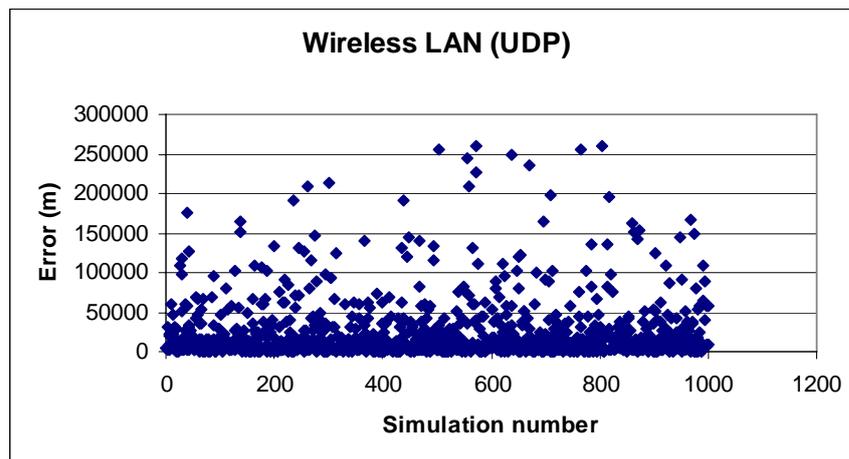
ค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 867,477 นาโนวินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 118,056.549 นาโนวินาที



ภาพที่ 17 ค่าเวลาหน่วงที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดในโปรโตคอล UDP

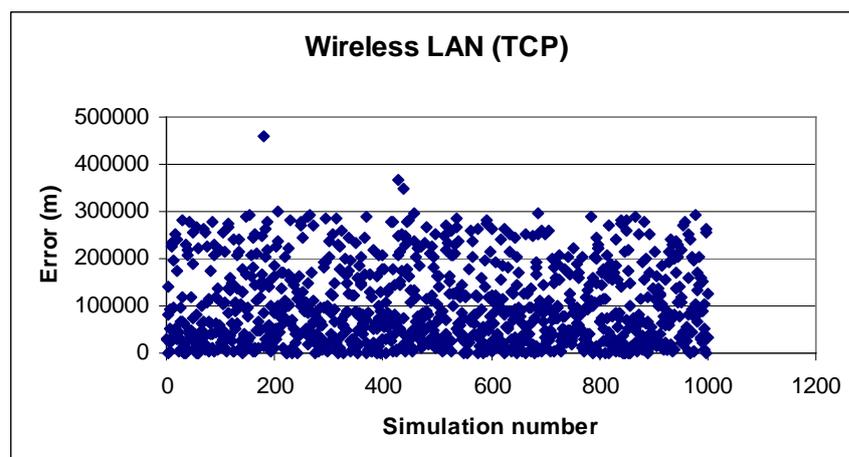
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว และจีพีเอสผสมเครือข่ายไร้สาย โดยจับเวลาเดินทางของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกูเลชัน

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวใน
 โพรโทคอล UDP เท่ากับ 25,711.93 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโพรโทคอล UDP เท่ากับ
 39,653.98 เมตร



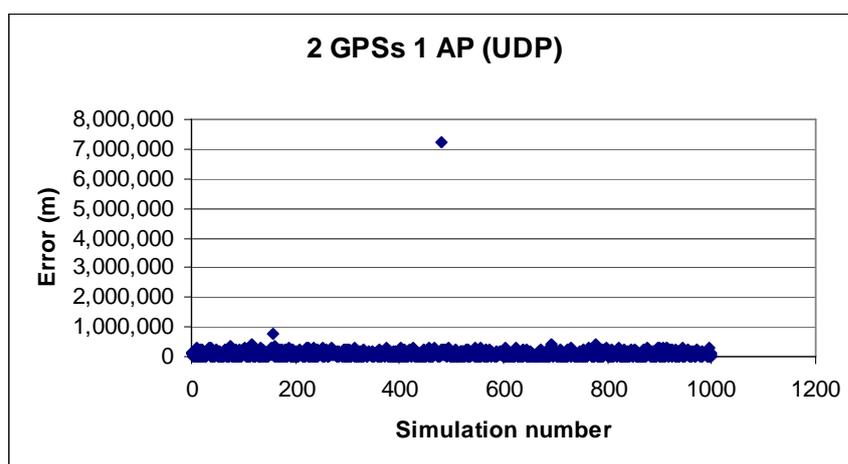
ภาพที่ 18 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวในโพรโทคอล
 UDP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวใน
 โพรโทคอล TCP เท่ากับ 99,960.27 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโพรโทคอล TCP เท่ากับ
 83,582.60 เมตร



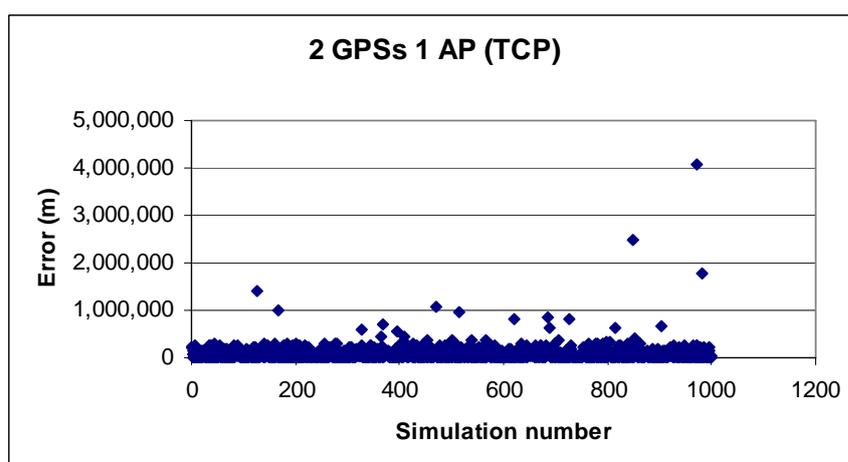
ภาพที่ 19 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวในโพรโทคอล
 TCP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 93,707.52 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 240,475.40 เมตร



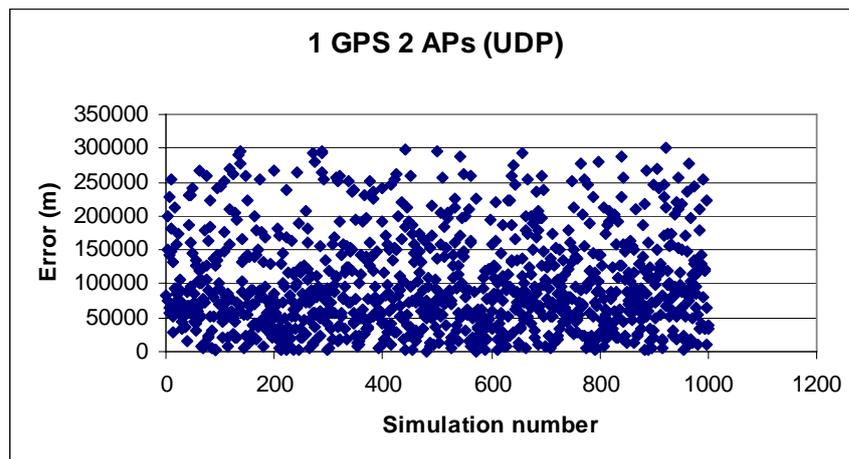
ภาพที่ 20 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 100,179.60 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 198,218.30 เมตร



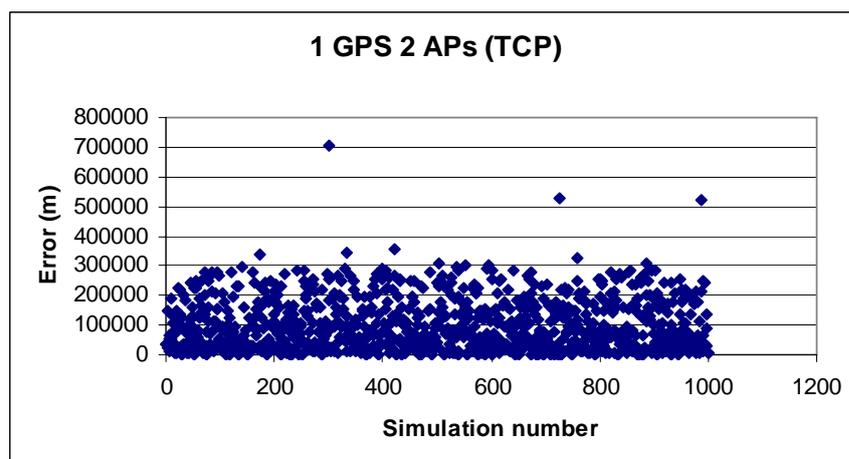
ภาพที่ 21 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 98,919.07 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 70,478.57 เมตร



ภาพที่ 22 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP

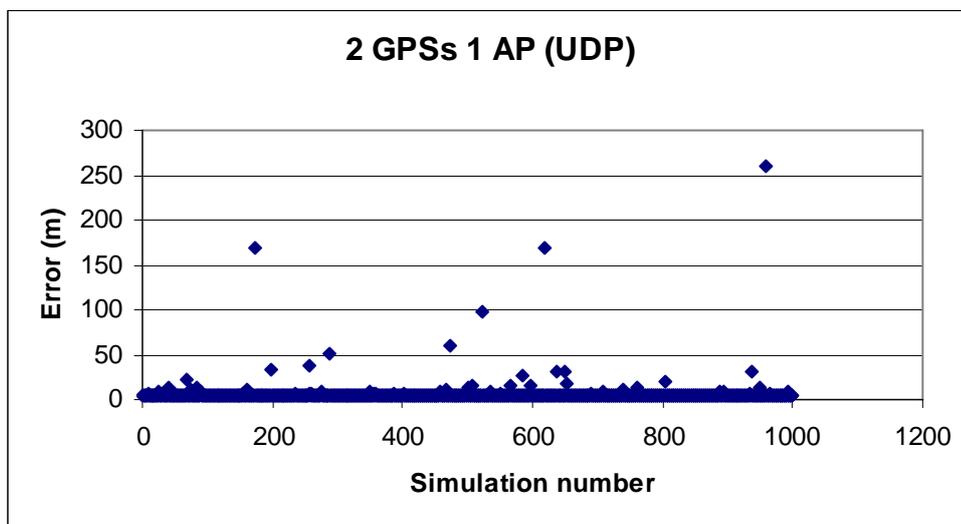
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 101,594.30 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 87,376.92 เมตร



ภาพที่ 23 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP

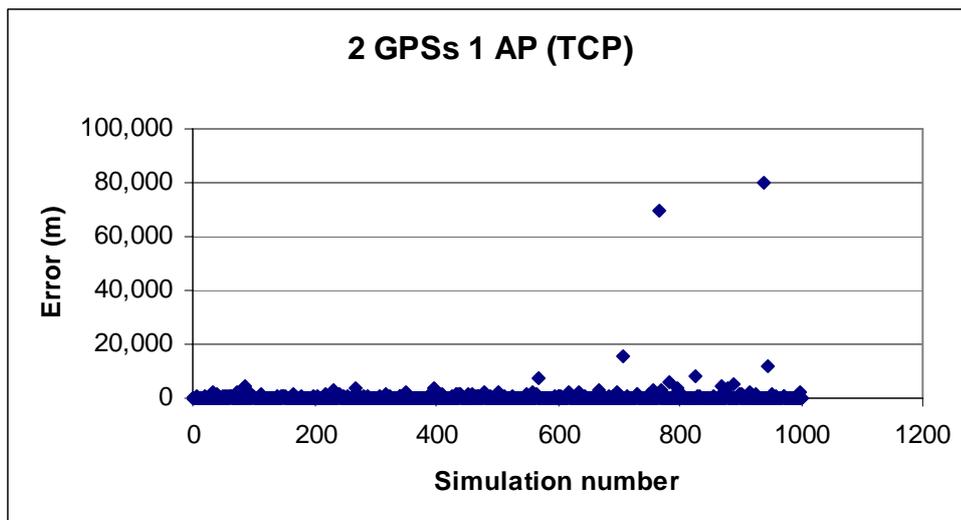
**ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้จีพีเอสผสมเครือข่ายไร้สายโดยจับเวลาเดินทางของสัญญาณใน
เครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกูเลชันที่ปรับปรุงแล้ว**

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานี
รับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 5.257 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 11.780 เมตร



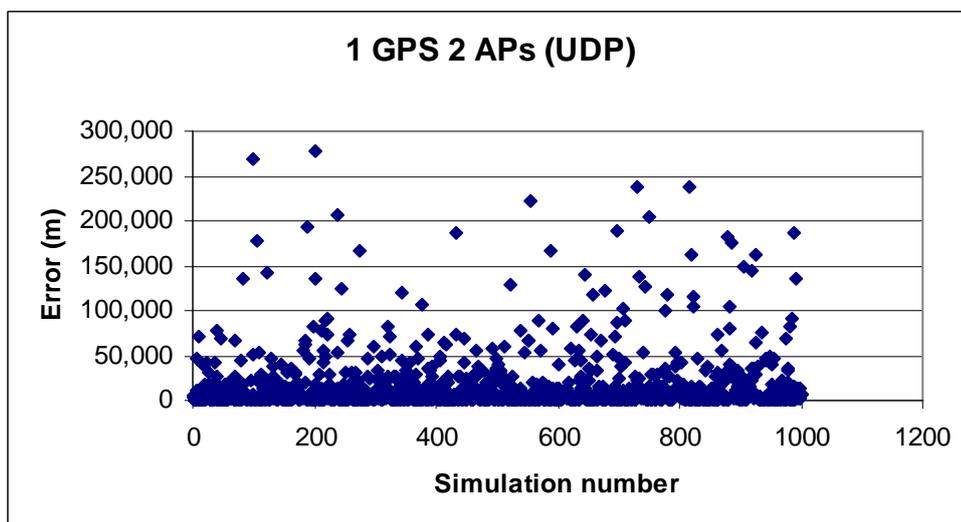
ภาพที่ 24 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่ง
สัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานี
รับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 426.96 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 3457.87 เมตร



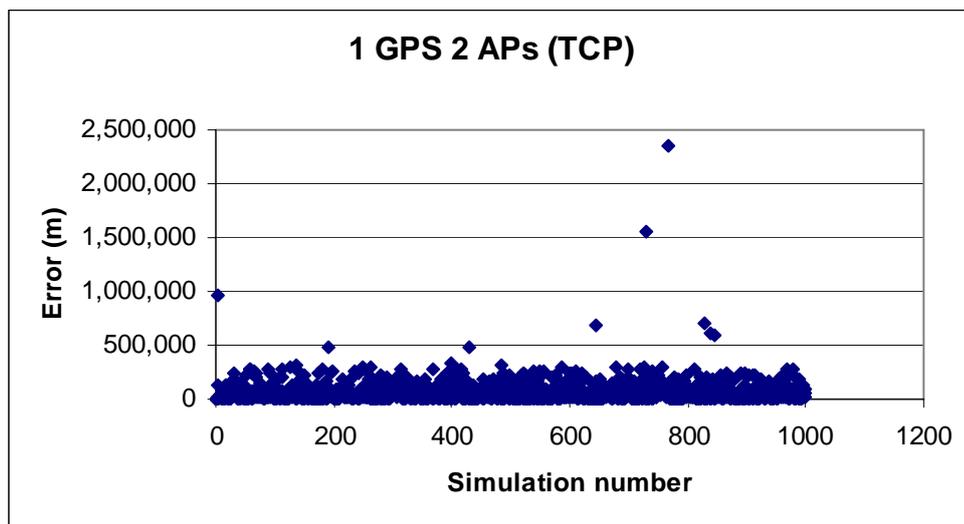
ภาพที่ 25 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 18,581.31 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล UDP เท่ากับ 34,727.00 เมตร



ภาพที่ 26 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล UDP

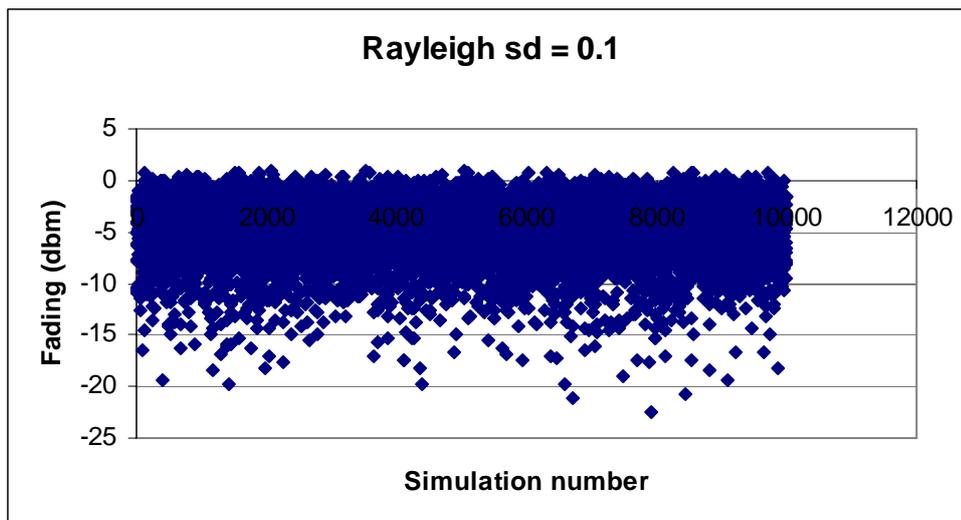
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 82,997.70 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในโปรโตคอล TCP เท่ากับ 123,835.00 เมตร



ภาพที่ 27 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายในโปรโตคอล TCP

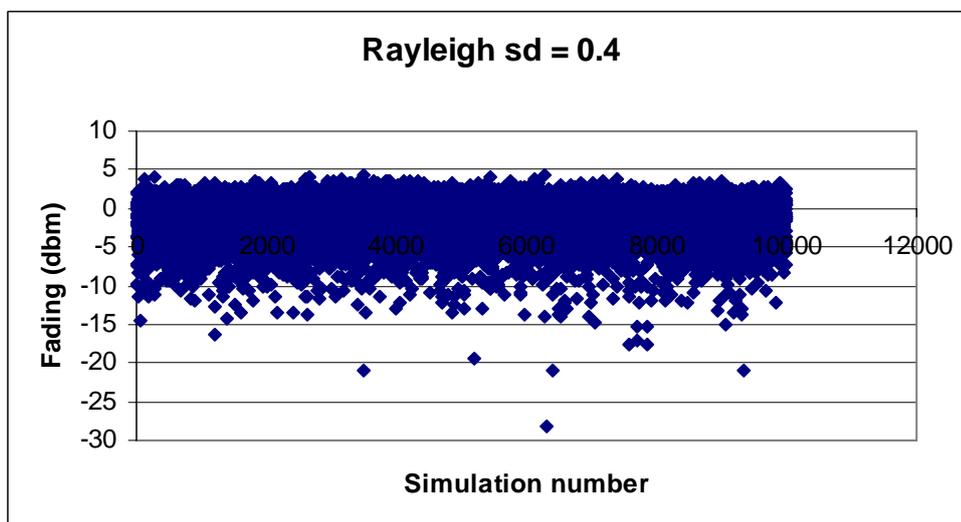
ผลการหาค่าความเข้มสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาด

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -4.785 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.806 dBm



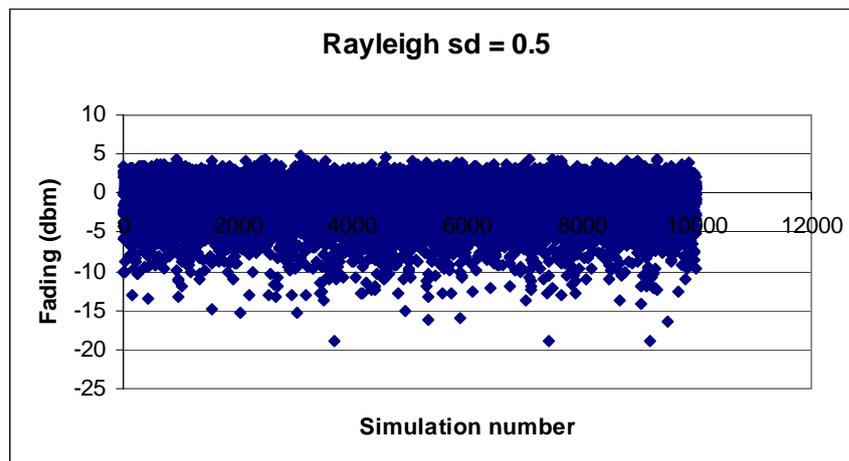
ภาพที่ 28 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.4 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาดำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -1.732 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาดำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.780 dBm



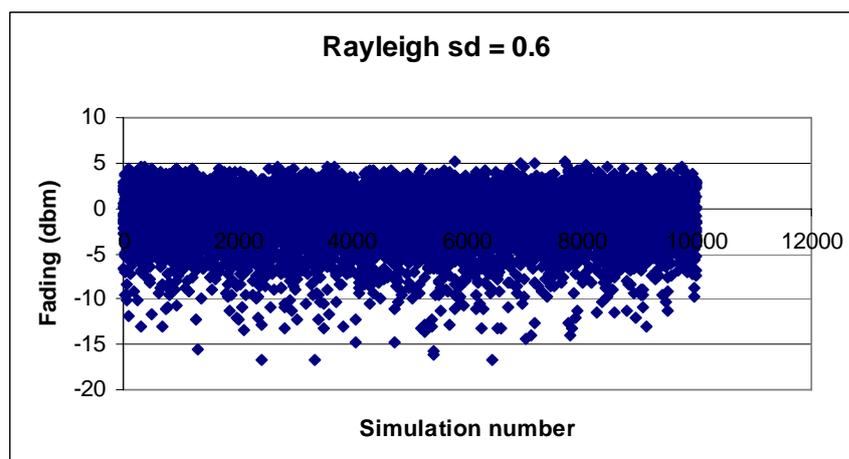
ภาพที่ 29 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.4

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.5 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -1.283 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.813 dBm



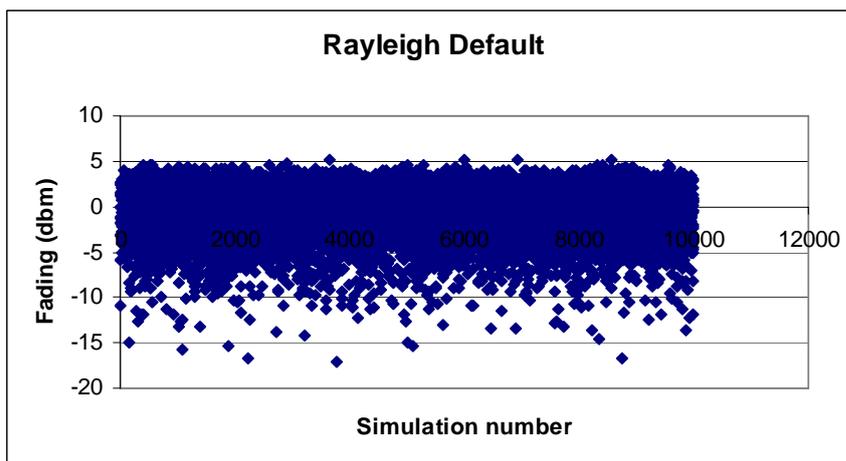
ภาพที่ 30 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.5

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.875 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.750 dBm



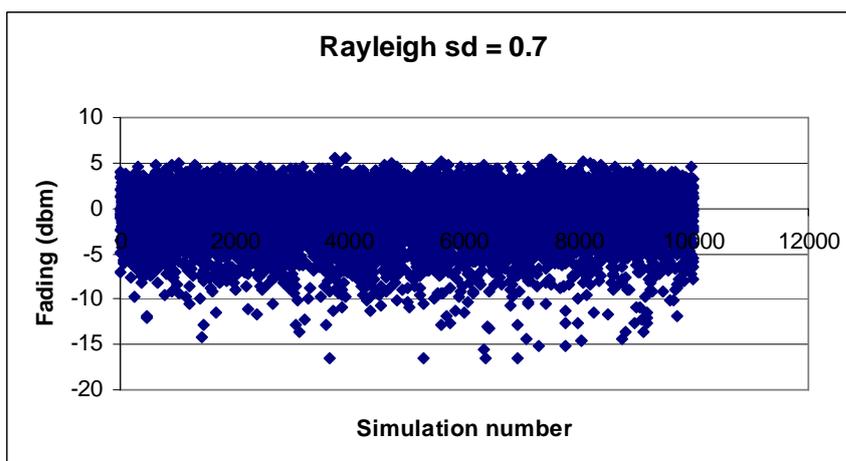
ภาพที่ 31 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน GloMoSim) ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.741 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.783 dBm



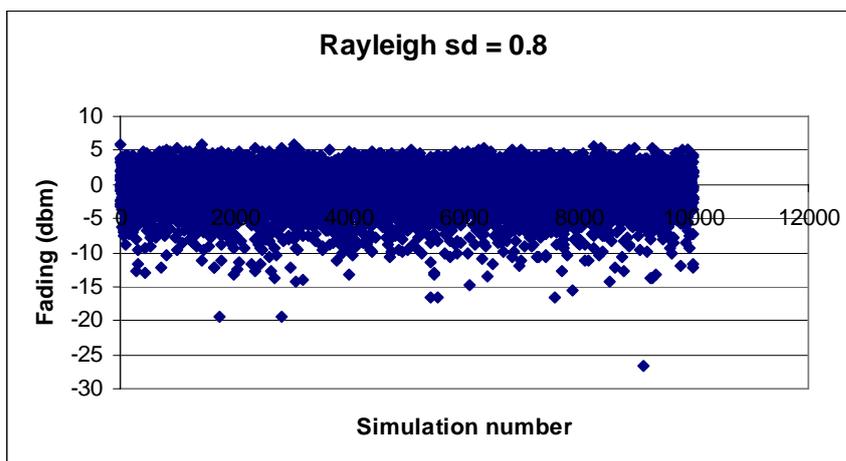
ภาพที่ 32 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน GloMoSim)

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.7 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.536 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.764 dBm



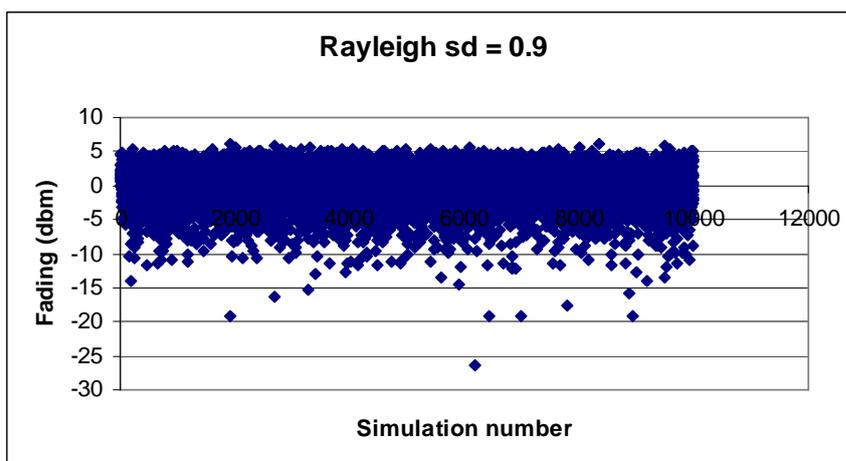
ภาพที่ 33 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.7

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.8 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.249 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.819 dBm



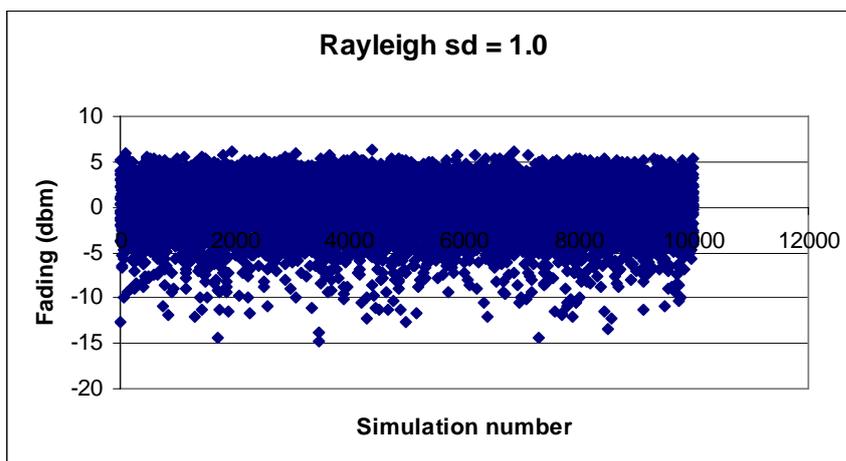
ภาพที่ 34 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.8

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.9 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.029 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.816 dBm



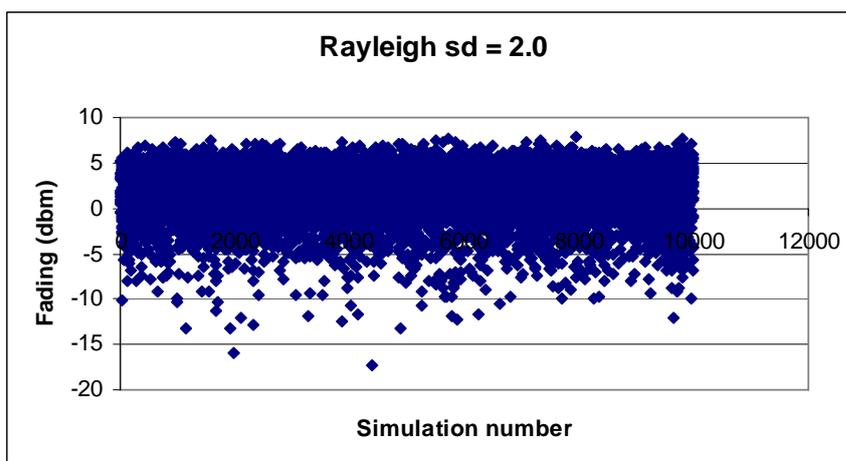
ภาพที่ 35 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.9

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.306 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.746 dBm



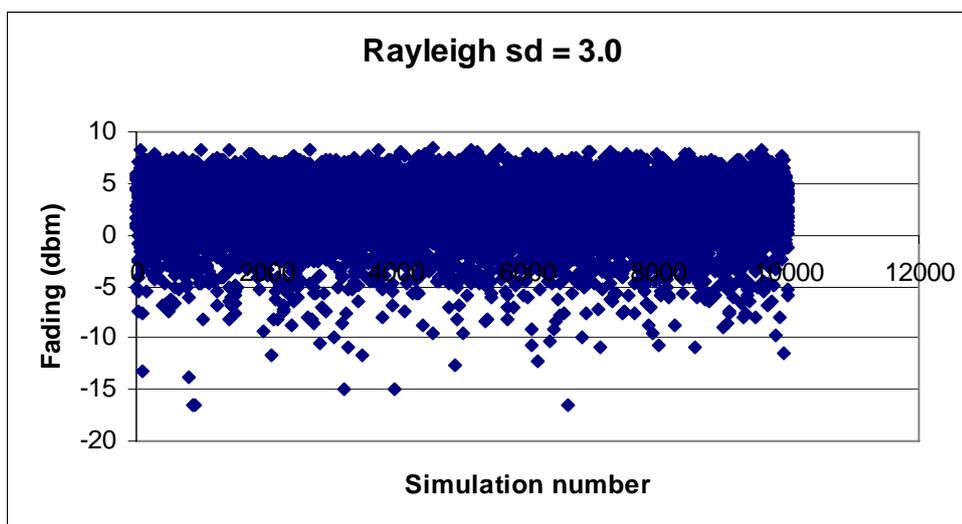
ภาพที่ 36 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -1.754 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.789 dBm

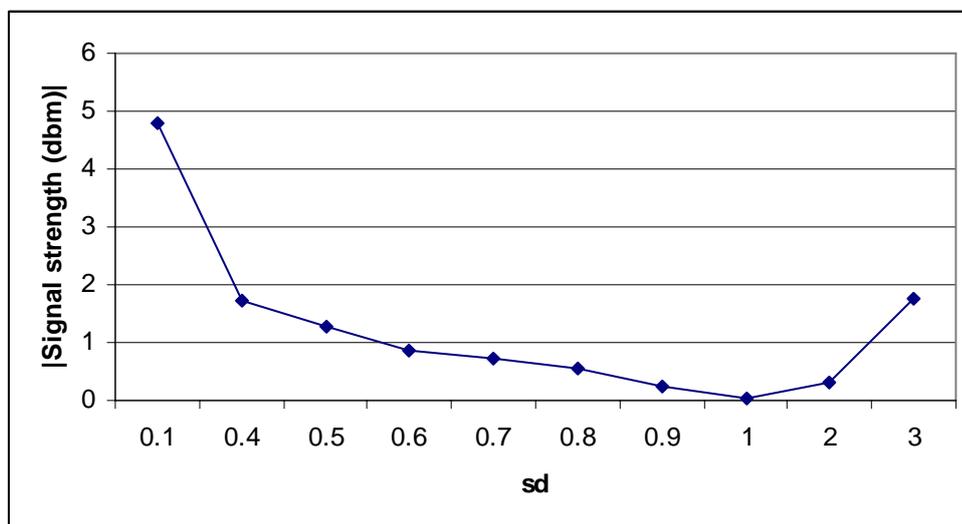


ภาพที่ 37 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาดำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.620 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาดำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 2.809 dBm

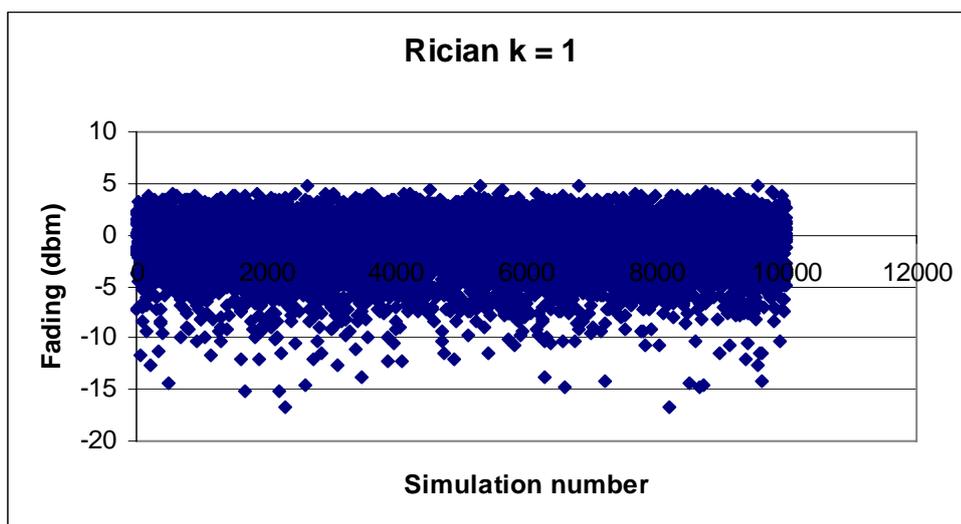


ภาพที่ 38 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rayleigh และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0



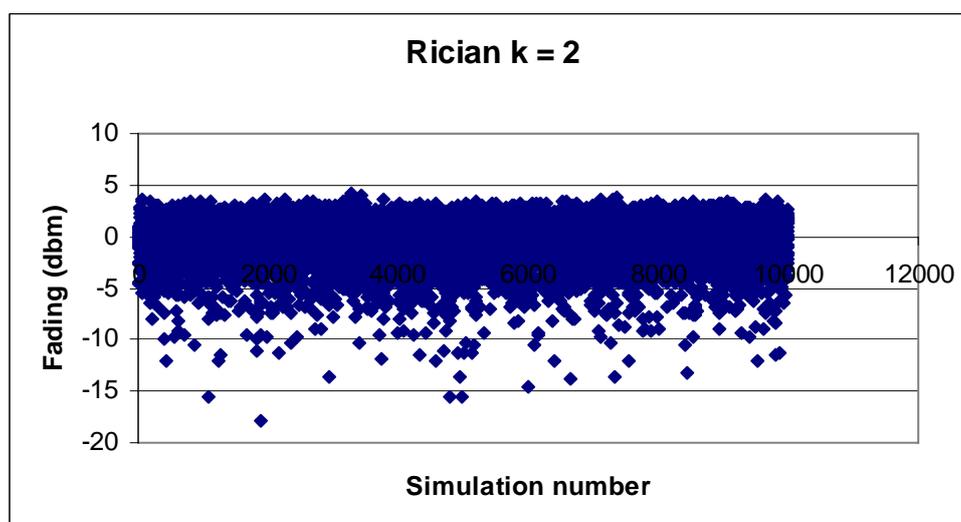
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Rayleigh

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 1 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาค่าแอมพลิจูดผิดพลาดเท่ากับ -0.594 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาค่าแอมพลิจูดผิดพลาดเท่ากับ 2.524 dBm



ภาพที่ 40 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 1

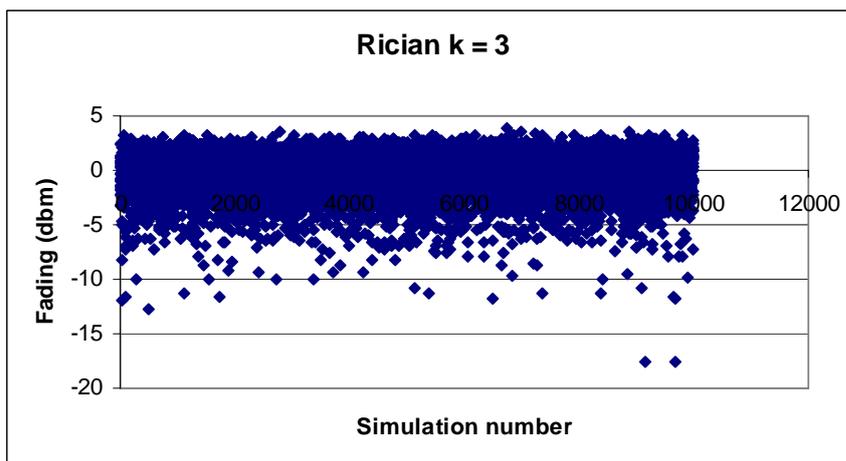
เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 2 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาค่าแอมพลิจูดผิดพลาดเท่ากับ -0.444 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาค่าแอมพลิจูดผิดพลาดเท่ากับ 2.176 dBm



ภาพที่ 41

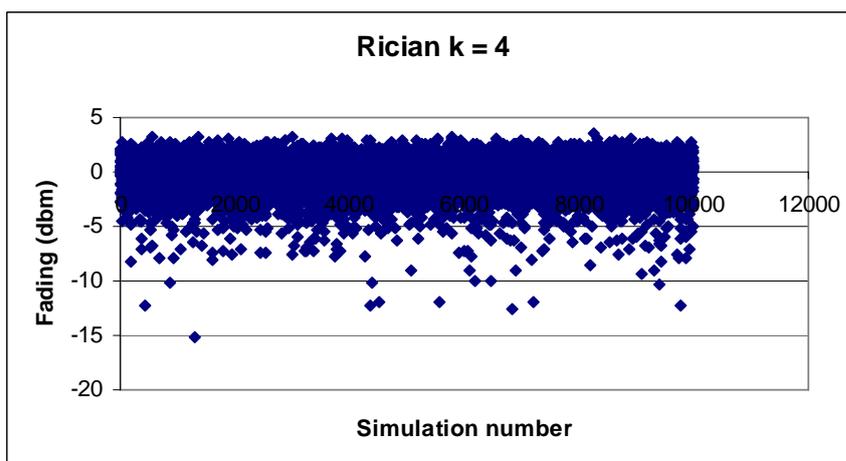
การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 2

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 3 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเท่ากับ -0.330 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเท่ากับ 1.862 dBm



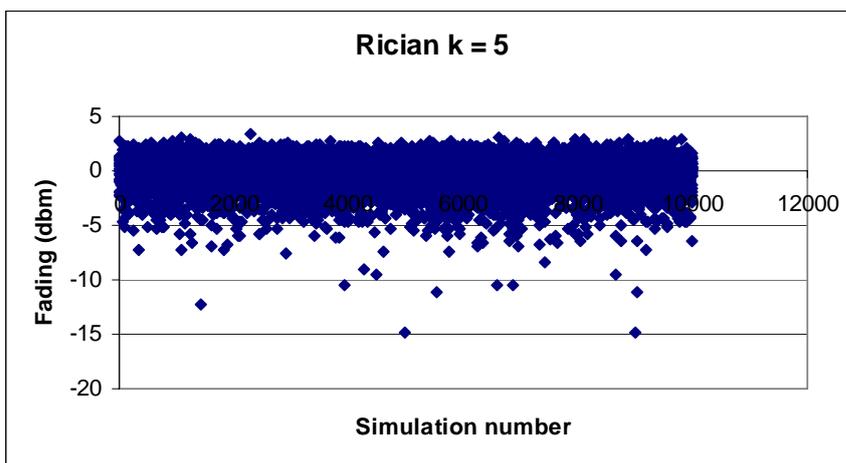
ภาพที่ 42 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 3

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 4 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเท่ากับ -0.248 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาค่าแห่งผิดพลาดเท่ากับ 1.628 dBm

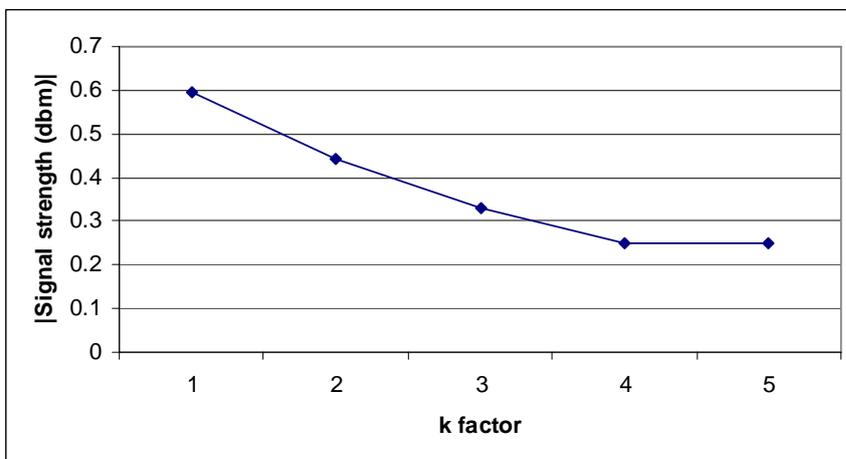


ภาพที่ 43 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 4

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 5 ได้ค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ -0.250 dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดเท่ากับ 1.479 dBm



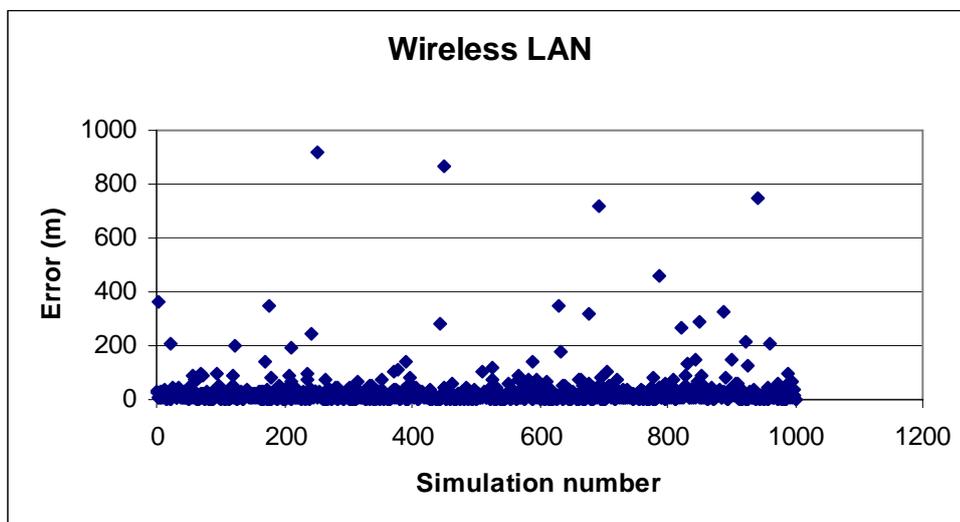
ภาพที่ 44 การลดทอนของสัญญาณแบบ Rician และค่า k factor เท่ากับ 5



ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณกับค่า k factor ของ Rician

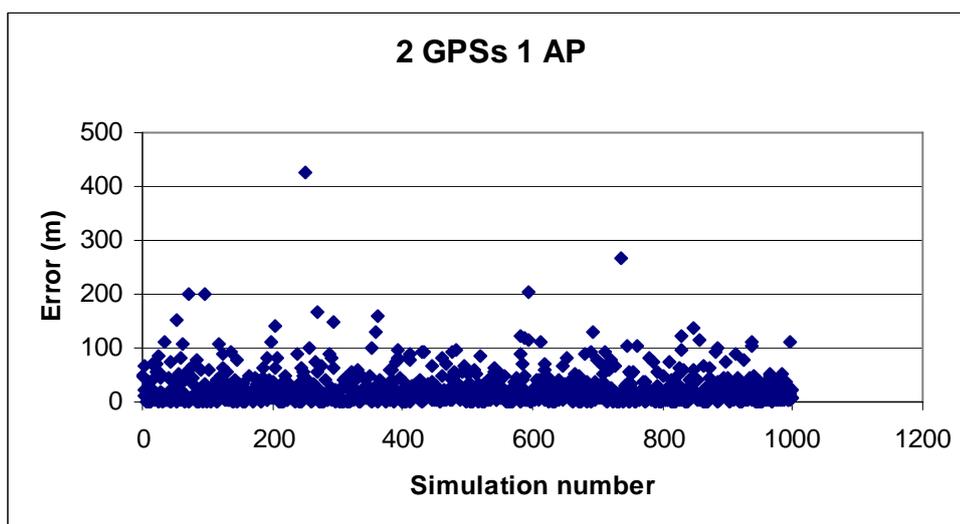
ผลการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อใช้เจ็พทีเอสผสมเครือข่ายไร้สายโดยจับความเข้มของสัญญาณในเครือข่ายไร้สายและหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคไทรแองกูลชัน

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 26.909 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 63.911 เมตร



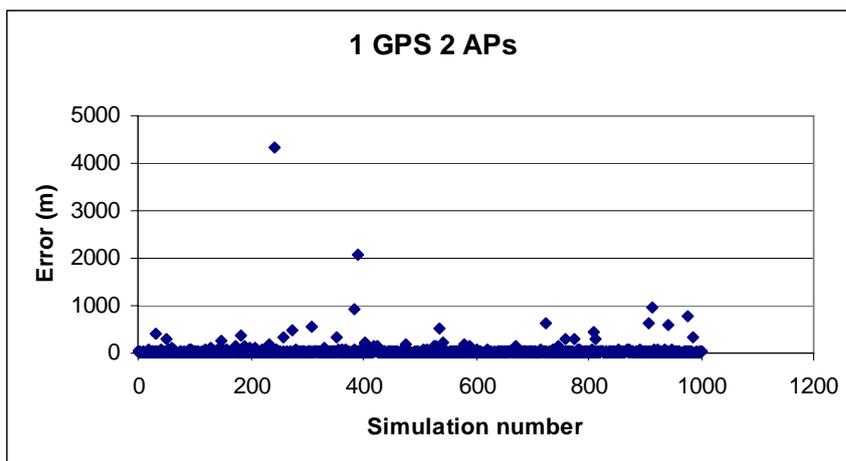
ภาพที่ 46 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 24.719 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 31.620 เมตร



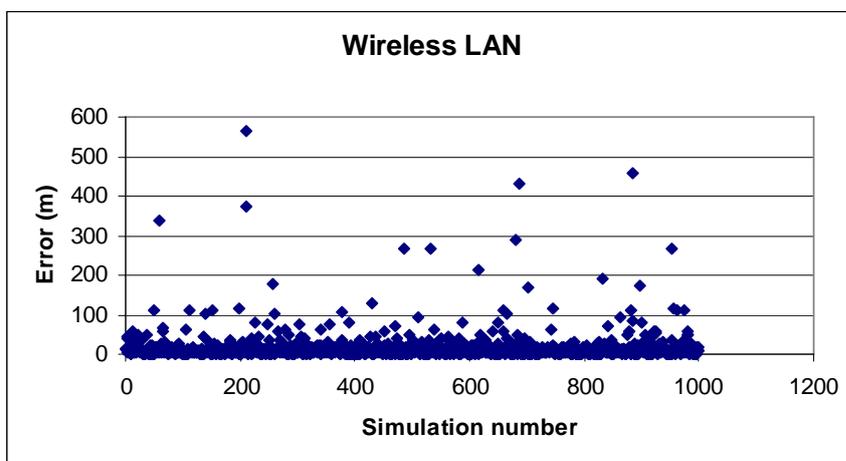
ภาพที่ 47 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.1 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 37.870 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 168.559 เมตร



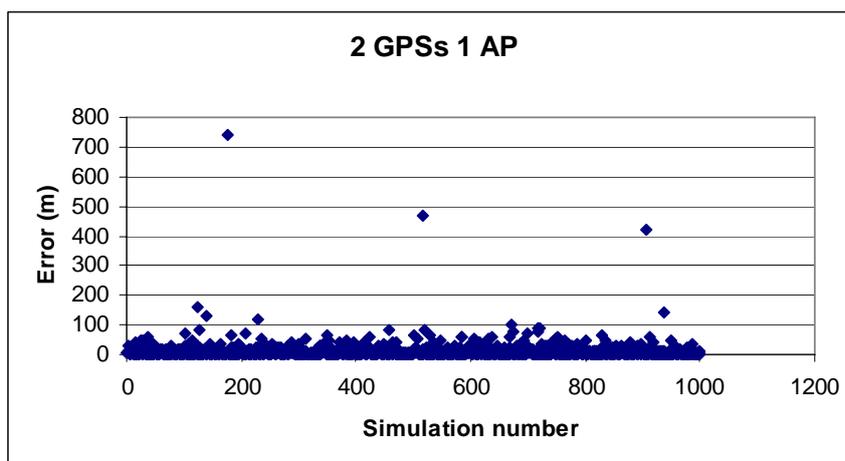
ภาพที่ 48 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.4 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 17.375 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 40.718 เมตร



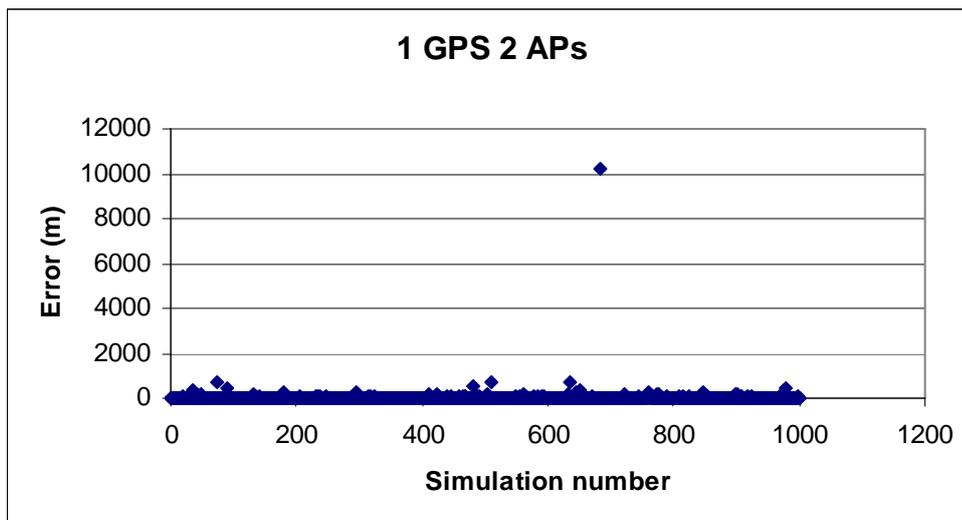
ภาพที่ 49 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.4 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 13.093 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 34.308 เมตร



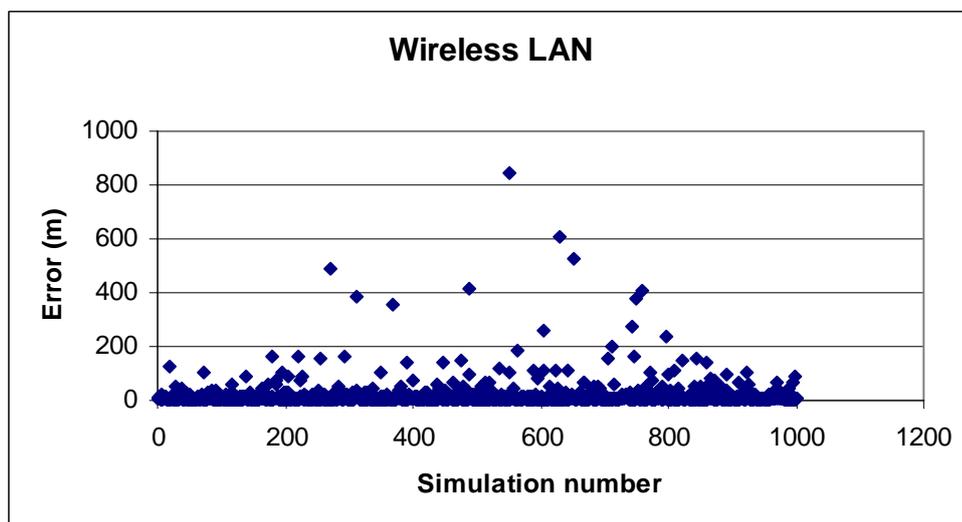
ภาพที่ 50 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.4 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 30.604 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 326.723 เมตร



ภาพที่ 51 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

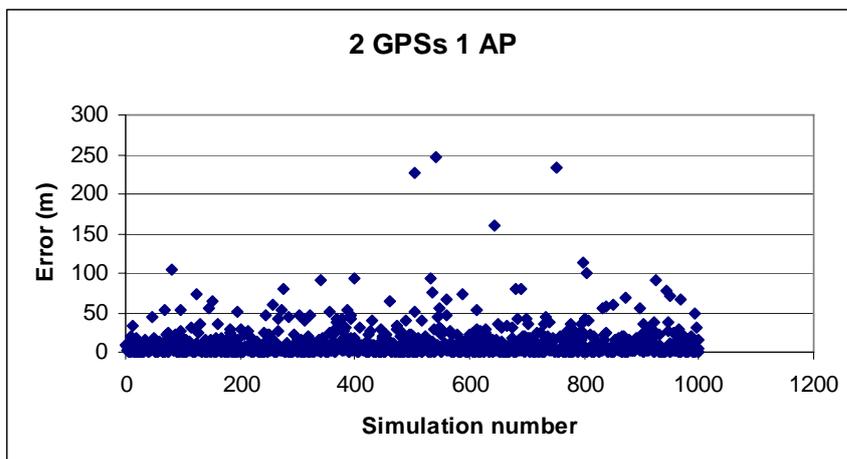
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.5 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 20.306 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 54.777 เมตร



ภาพที่ 52 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

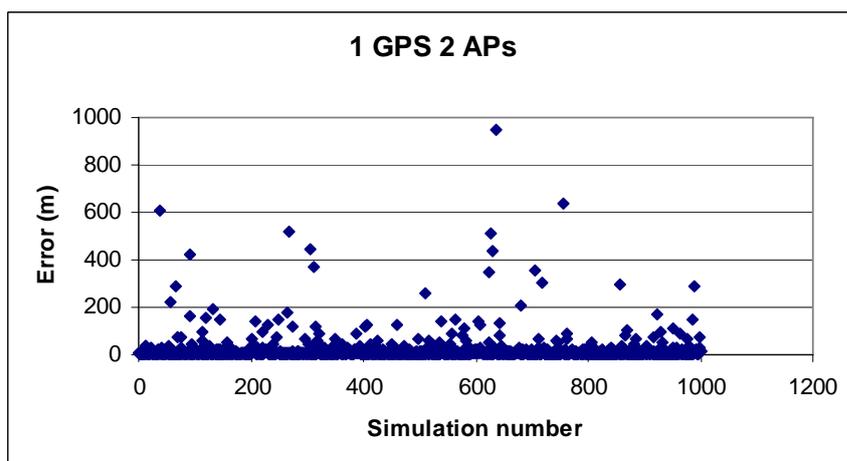
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.5 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1

สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 11.604 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20.016 เมตร



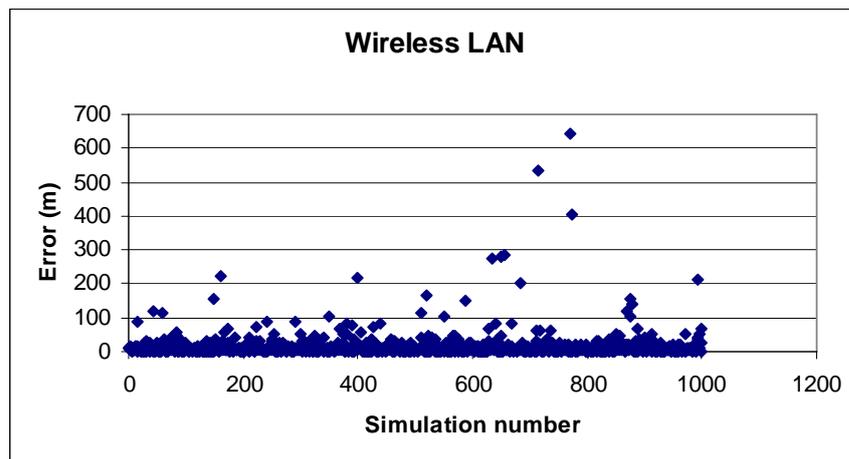
ภาพที่ 53 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.5 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 21.337 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 63.186 เมตร



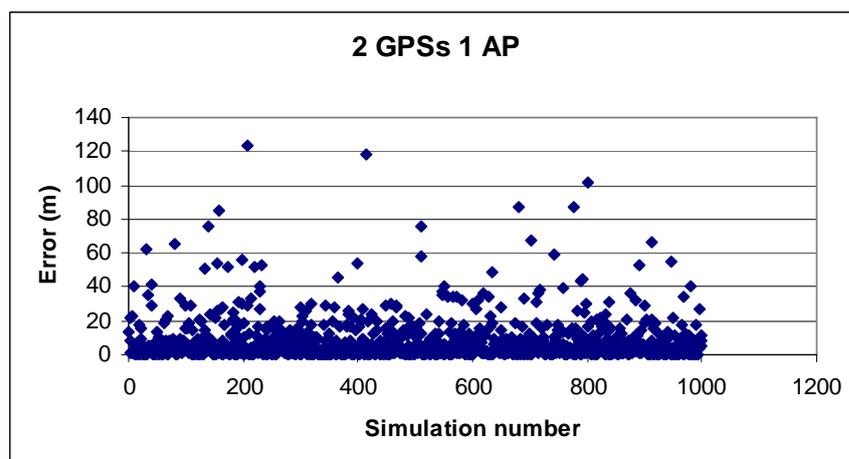
ภาพที่ 54 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.584 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 39.250 เมตร



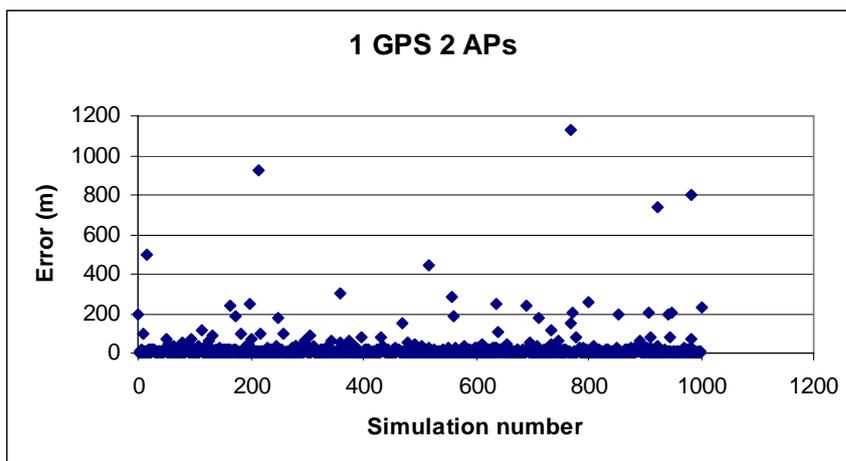
ภาพที่ 55 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 8.605 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.155 เมตร



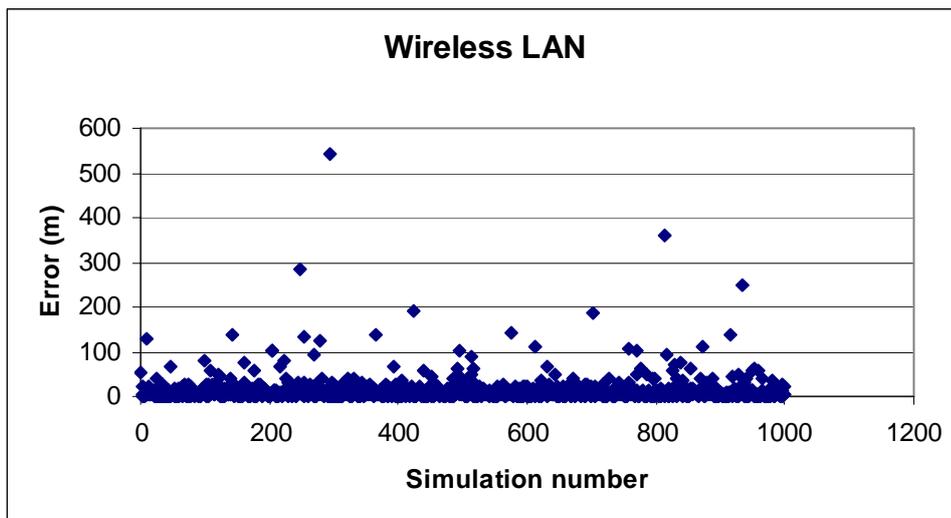
ภาพที่ 56 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 18.550 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 68.356 เมตร



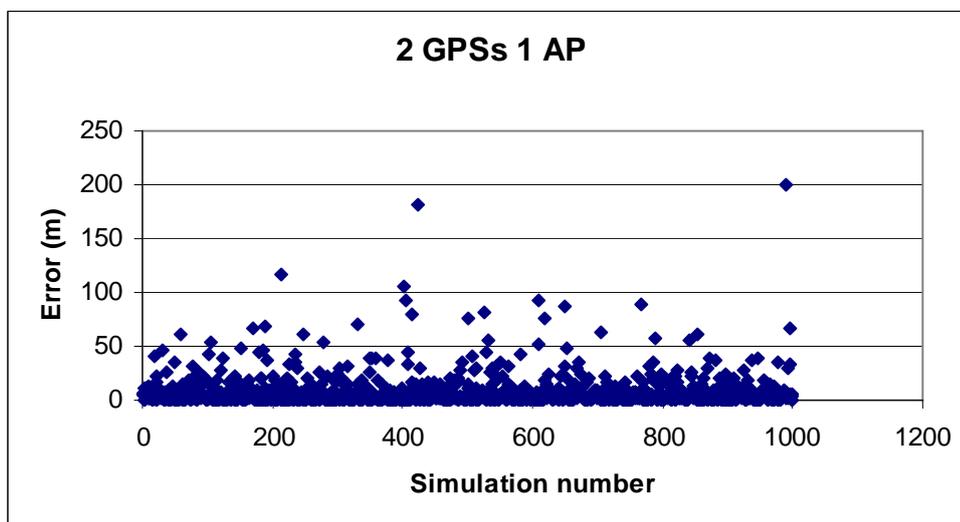
ภาพที่ 57 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน GloMoSim) และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 13.850 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 30.575 เมตร



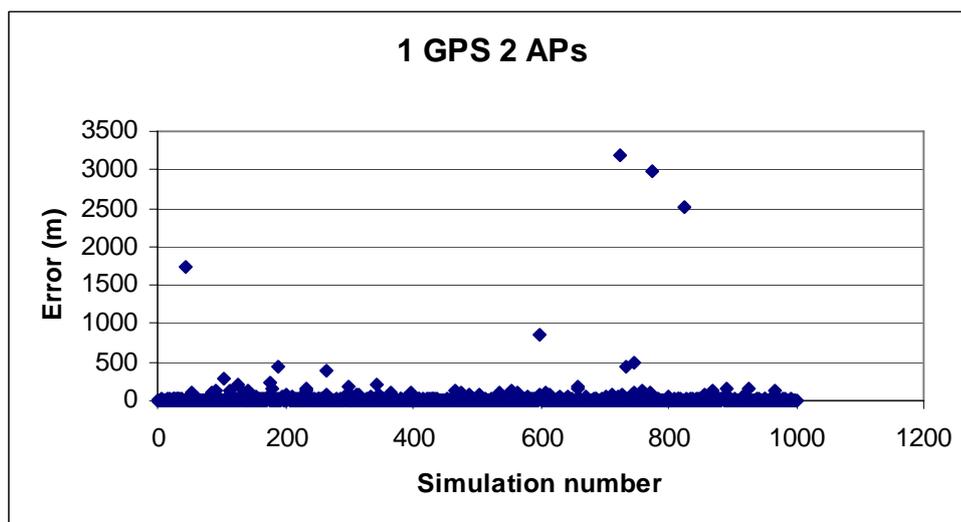
ภาพที่ 58 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปริยายใน GloMoSim) และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 8.915 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.859 เมตร



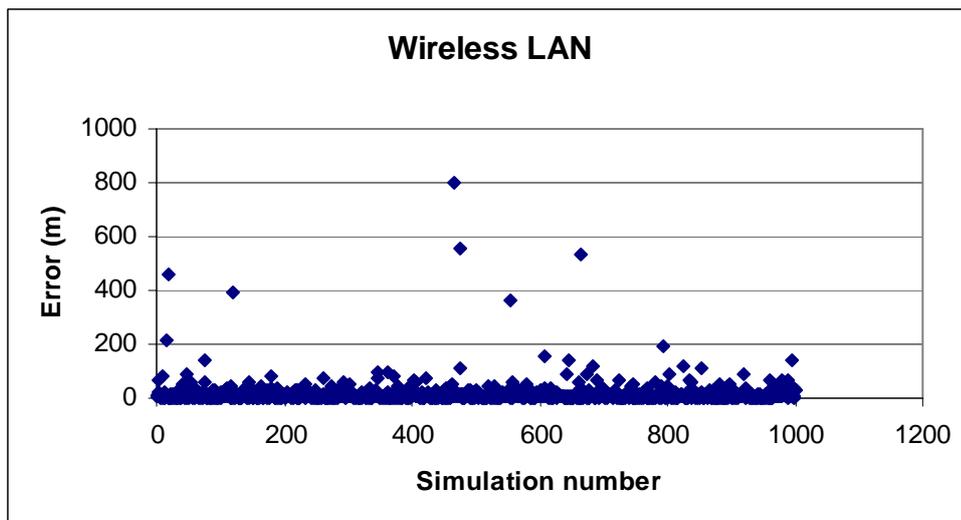
ภาพที่ 59 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.6366197723676 (ค่าปรียายใน GloMoSim) และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 27.020 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 173.581 เมตร



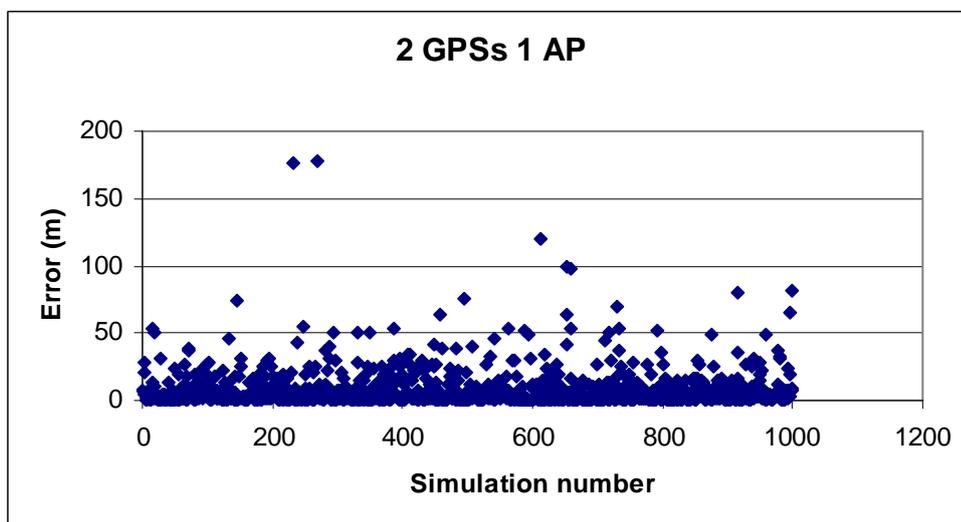
ภาพที่ 60 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.7 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.921 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 45.136 เมตร



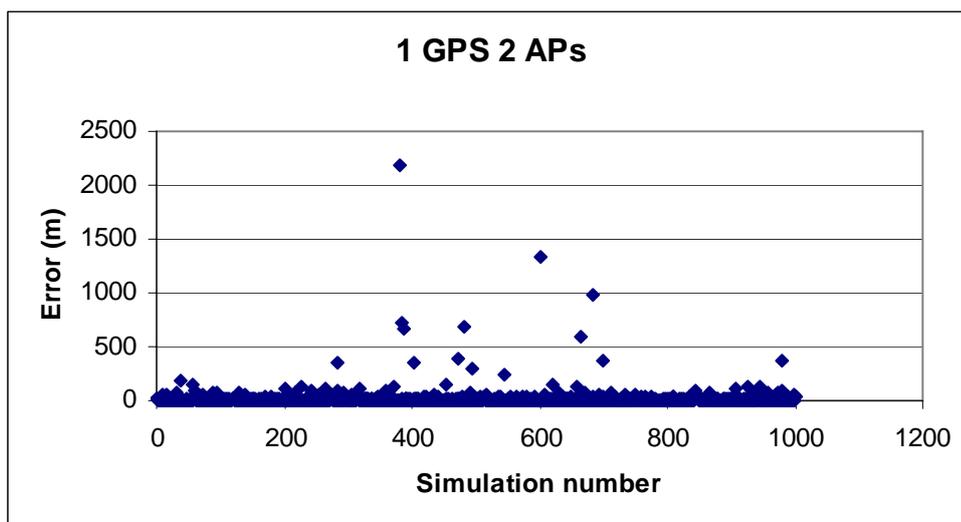
ภาพที่ 61 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.7 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 8.858 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.886 เมตร



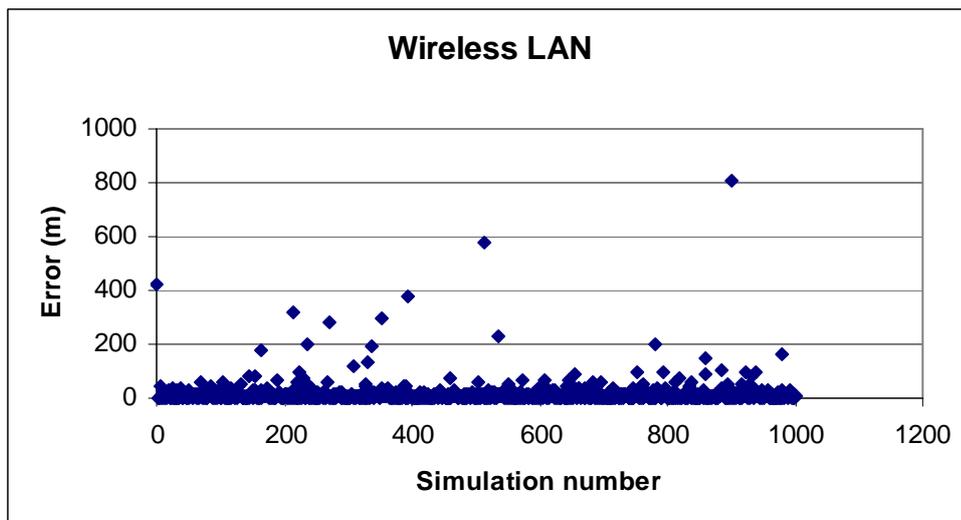
ภาพที่ 62 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.7 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 21.510 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 100.632 เมตร



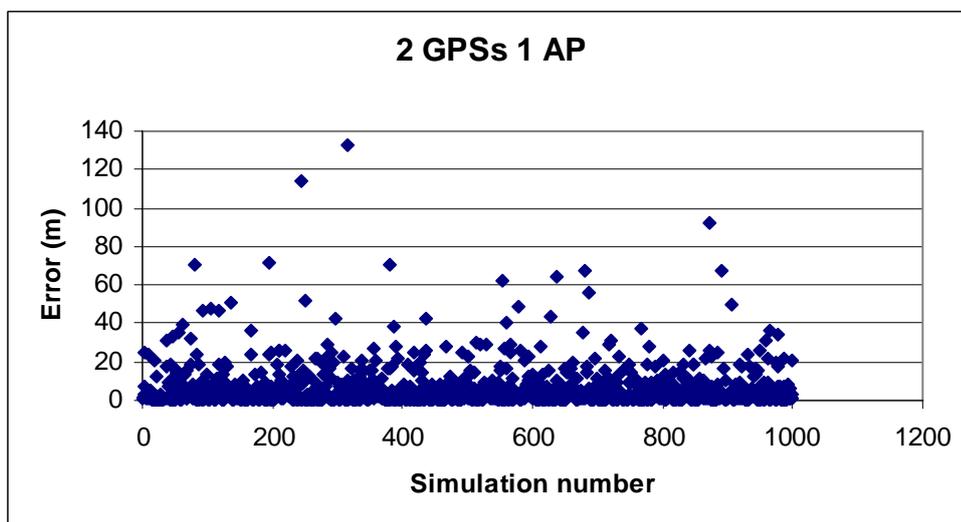
ภาพที่ 63 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.8 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.236 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 44.039 เมตร



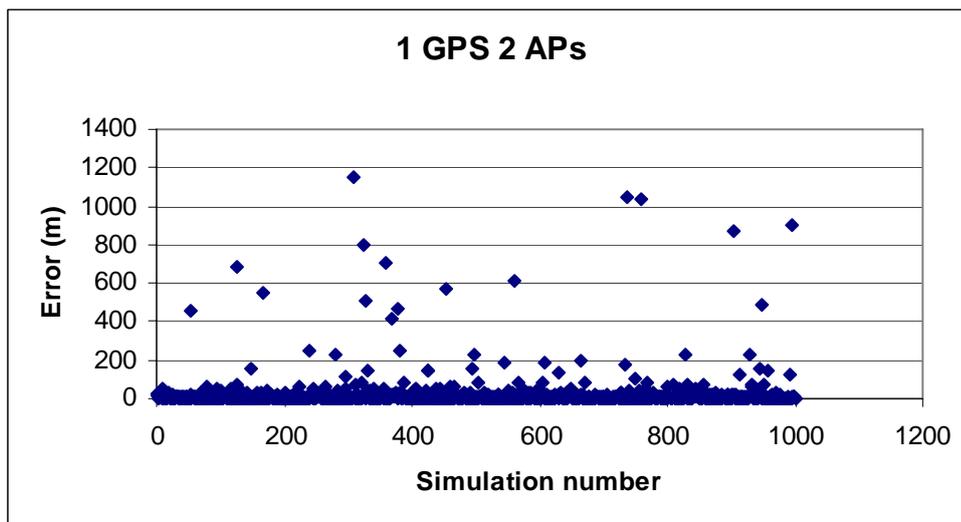
ภาพที่ 64 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.8 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 7.233 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.500 เมตร



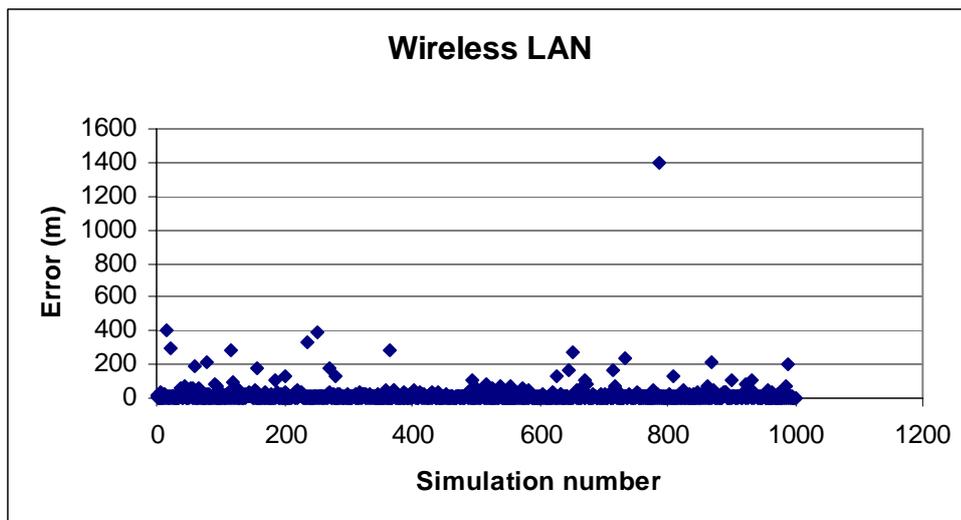
ภาพที่ 65 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.8 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 24.597 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 95.507 เมตร



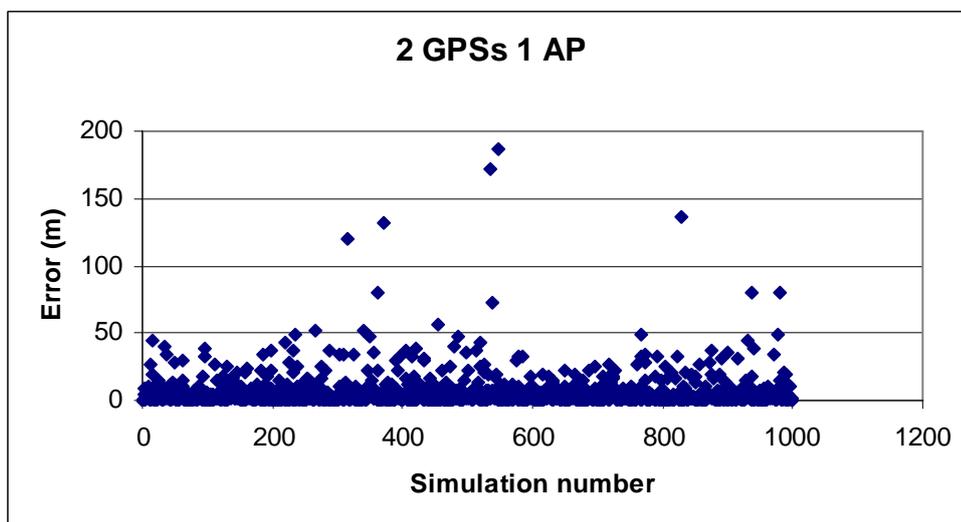
ภาพที่ 66 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.9 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 16.735 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 56.187 เมตร



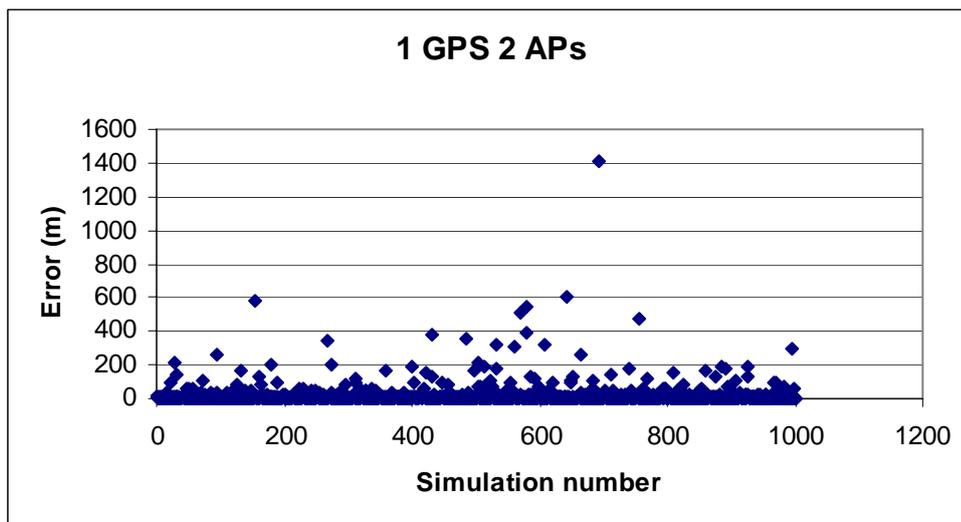
ภาพที่ 67 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.9 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 7.536 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.444 เมตร



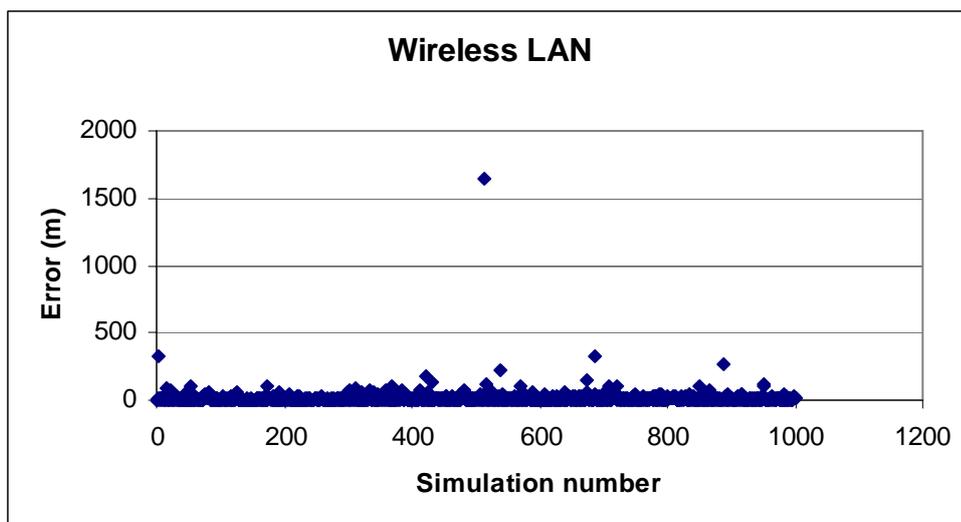
ภาพที่ 68 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 0.9 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 23.067 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 72.100 เมตร



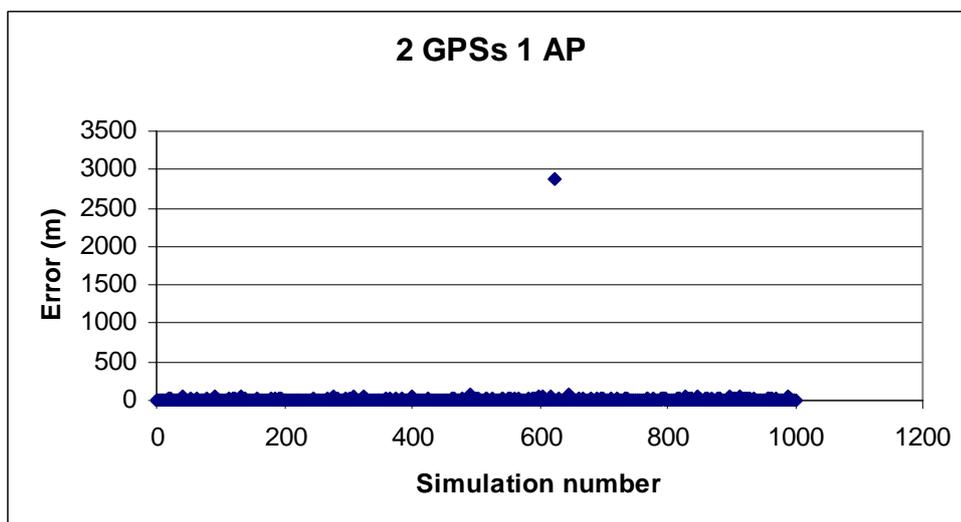
ภาพที่ 69 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.165 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 57.511 เมตร



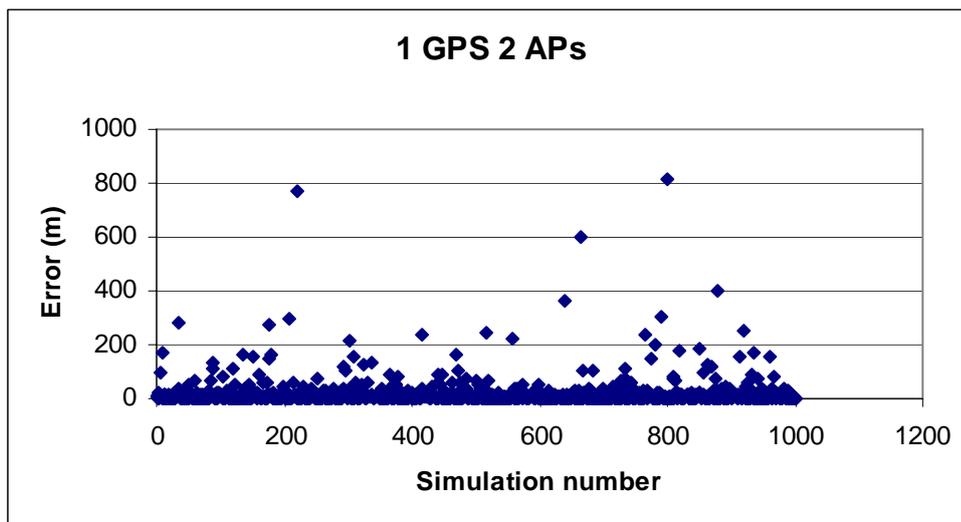
ภาพที่ 70 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 8.803 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 91.029 เมตร



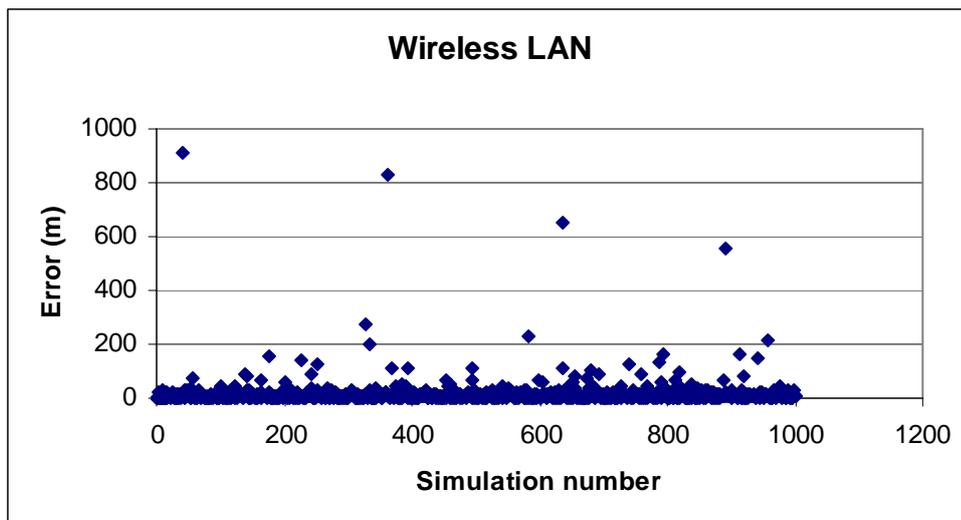
ภาพที่ 71 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 1.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 20.065 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 55.409 เมตร



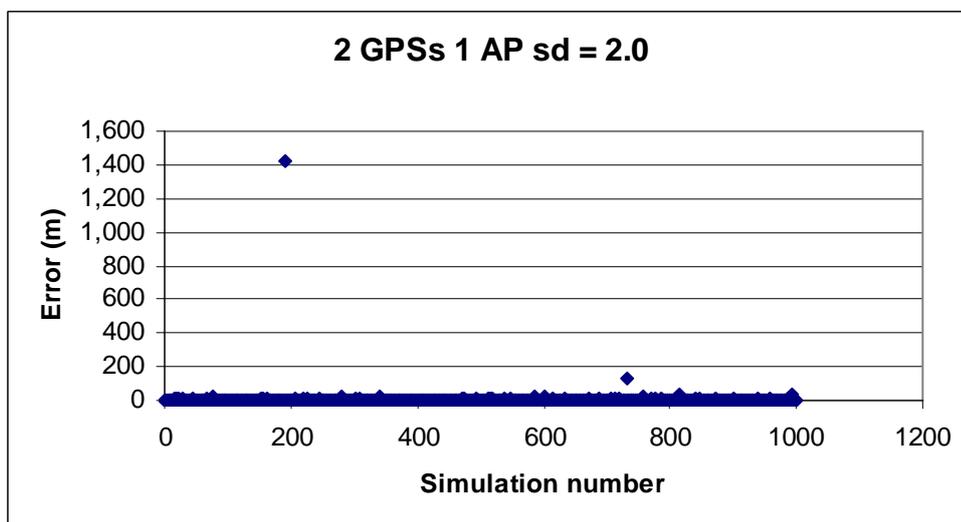
ภาพที่ 72 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 16.061 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 52.085 เมตร



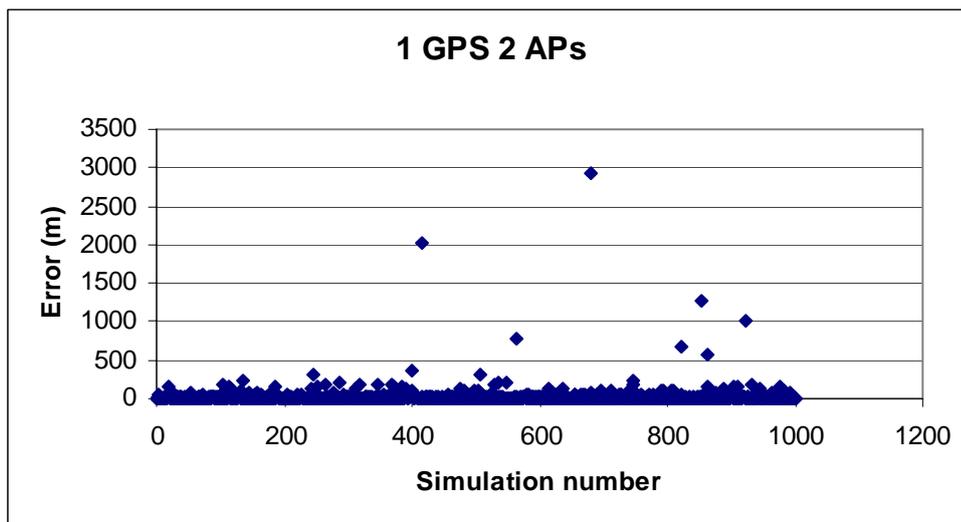
ภาพที่ 73 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 3.390 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 45.245 เมตร



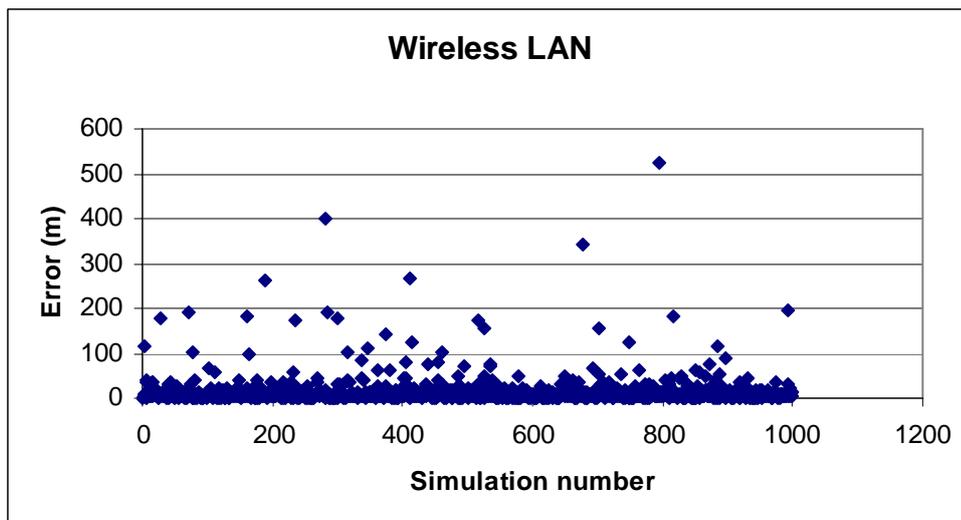
ภาพที่ 74 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 2.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 29.289 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 132.451 เมตร



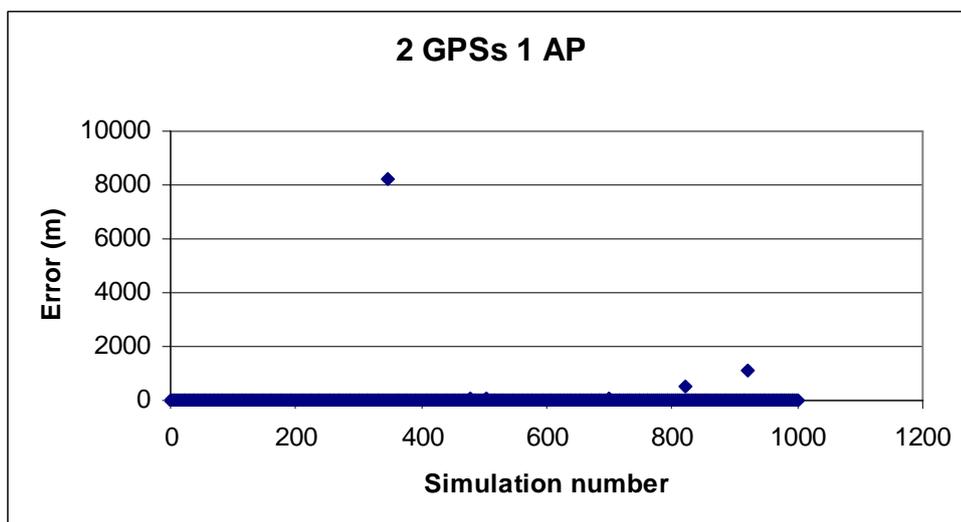
ภาพที่ 75 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 15.284 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 34.772 เมตร



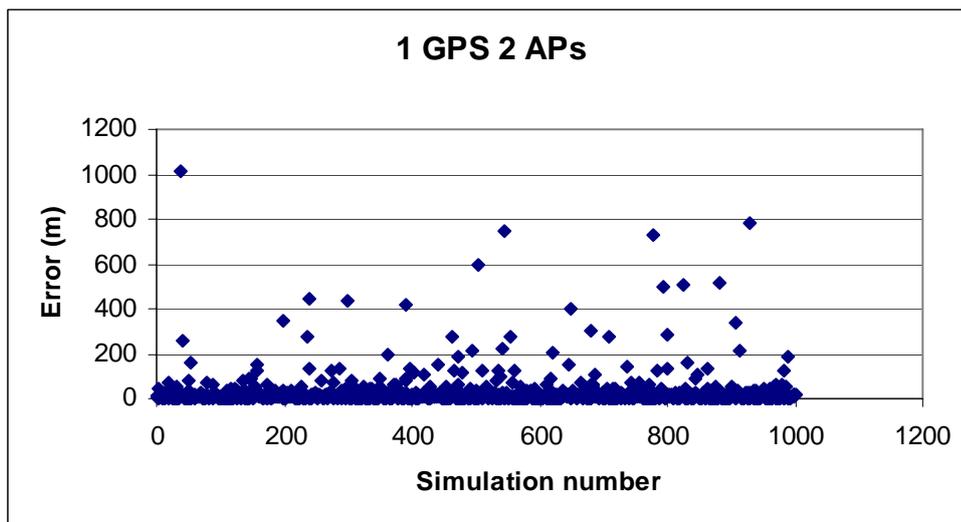
ภาพที่ 76 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 12.010 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 263.607 เมตร



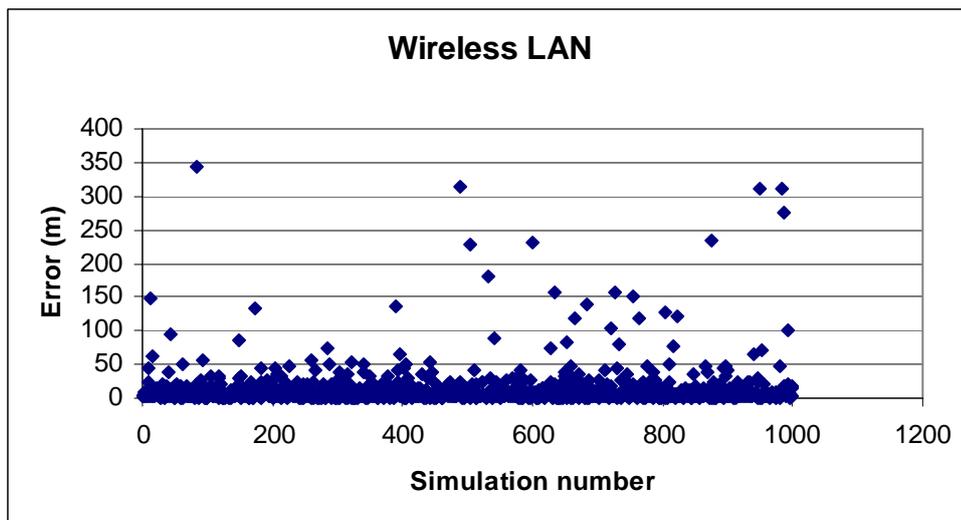
ภาพที่ 77 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดทอนสัญญาณเป็น 3.0 และใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายเท่ากับ 27.140 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 75.532 เมตร



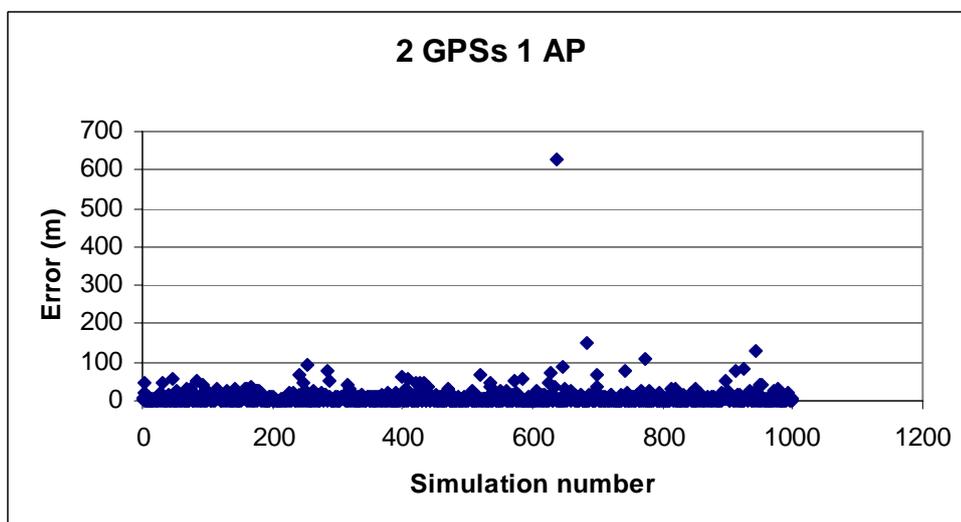
ภาพที่ 78 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 1 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเท่ากับ 13.839 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 31.117 เมตร



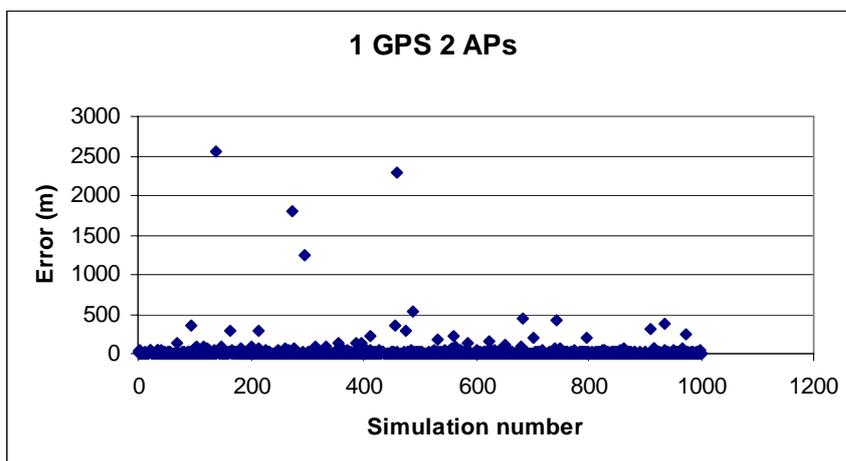
ภาพที่ 79 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 1 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 8.429 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 23.810 เมตร



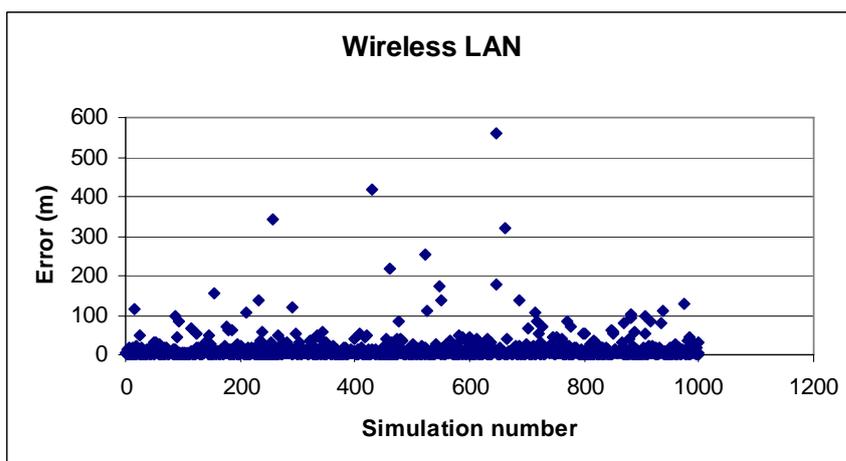
ภาพที่ 80 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 1 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง ร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 23.409 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 134.345 เมตร



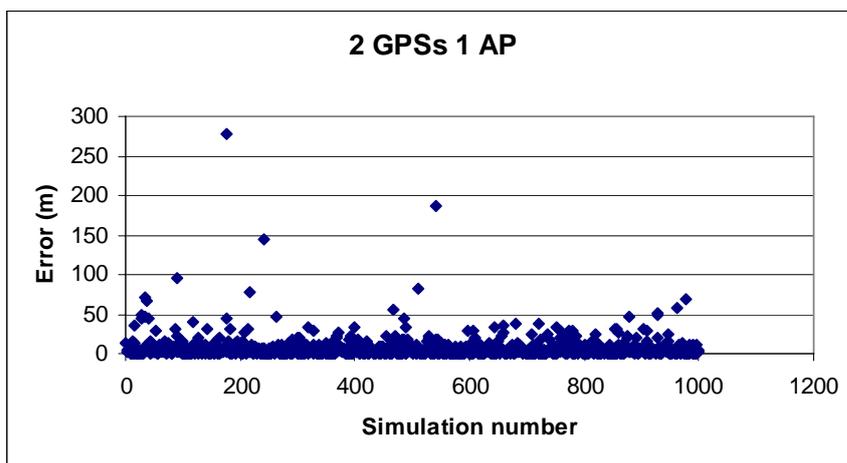
ภาพที่ 81 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 2 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 13.855 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 34.096 เมตร



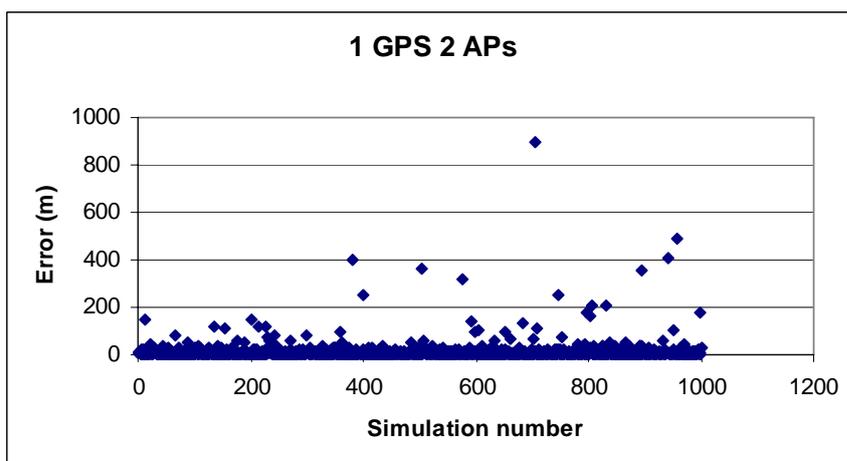
ภาพที่ 82 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 2 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวง ร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาคำแหน่งเท่ากับ 6.796 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.930 เมตร



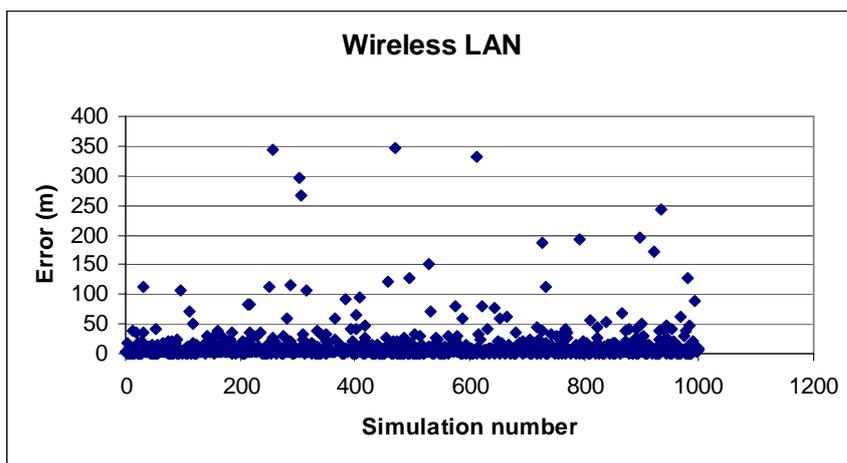
ภาพที่ 83 ค่าความผิดพลาดจากการหาคำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 2 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง ร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาคำแหน่งเท่ากับ 14.952 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 46.878 เมตร



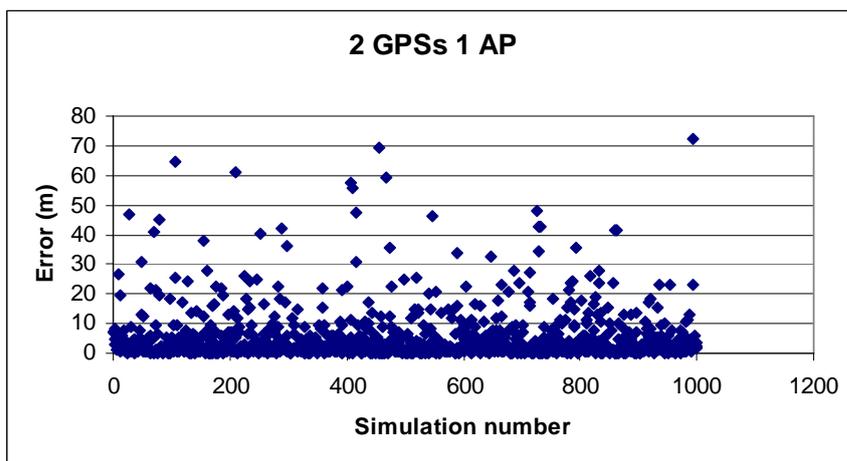
ภาพที่ 84 ค่าความผิดพลาดจากการหาคำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 3 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 12.654 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 30.479 เมตร



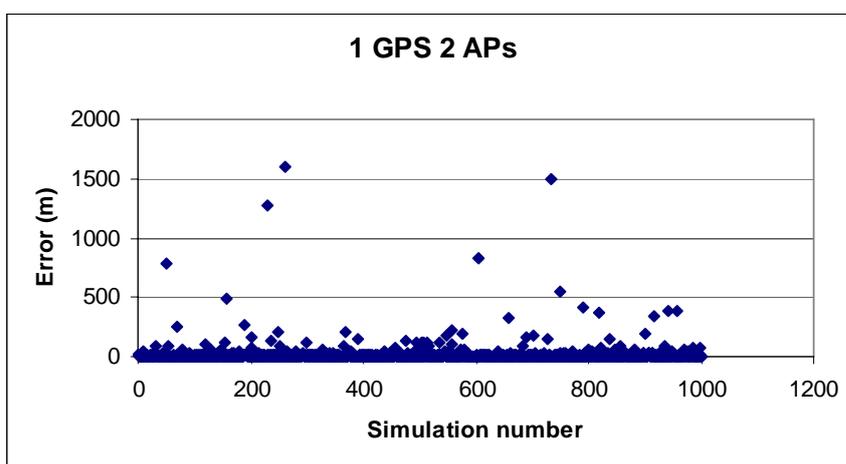
ภาพที่ 85 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 3 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 5.590 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.923 เมตร



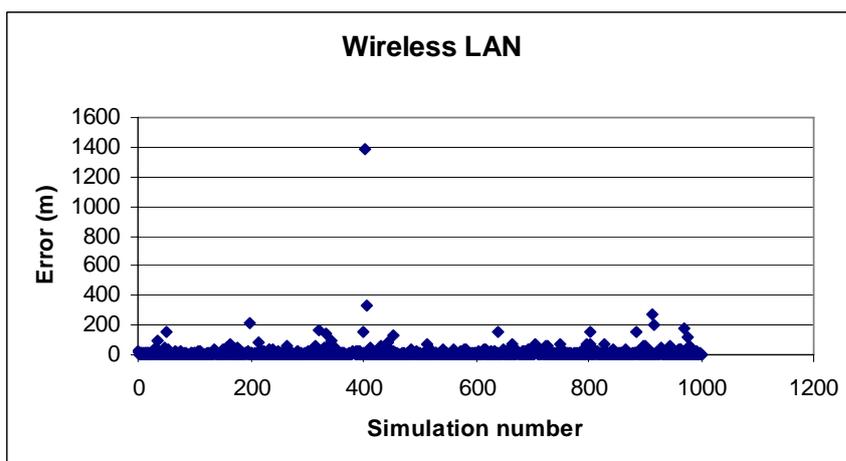
ภาพที่ 86 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 3 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง ร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 21.857 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 97.867 เมตร



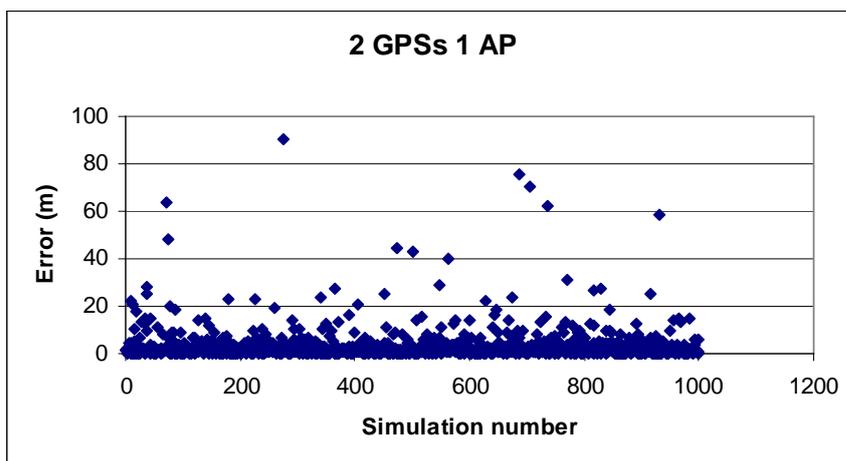
ภาพที่ 87 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 4 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 12.468 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 49.878 เมตร



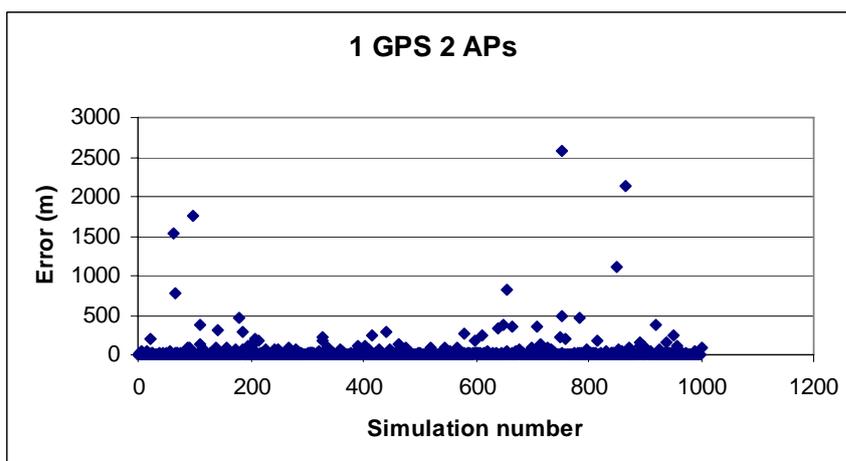
ภาพที่ 88 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 4 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวง ร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาคำแหน่งเท่ากับ 3.468 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.290 เมตร



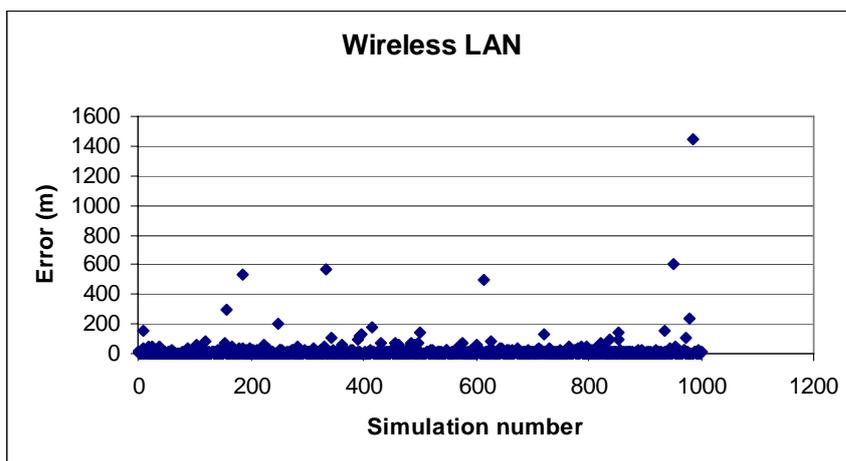
ภาพที่ 89 ค่าความผิดพลาดจากการหาคำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 4 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง ร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาคำแหน่งเท่ากับ 28.759 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 145.608 เมตร



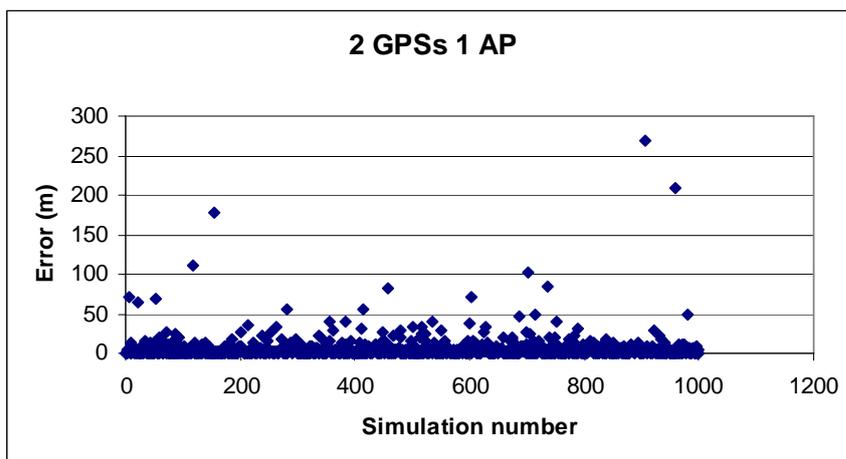
ภาพที่ 90 ค่าความผิดพลาดจากการหาคำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 5 และใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 13.936 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 60.959 เมตร



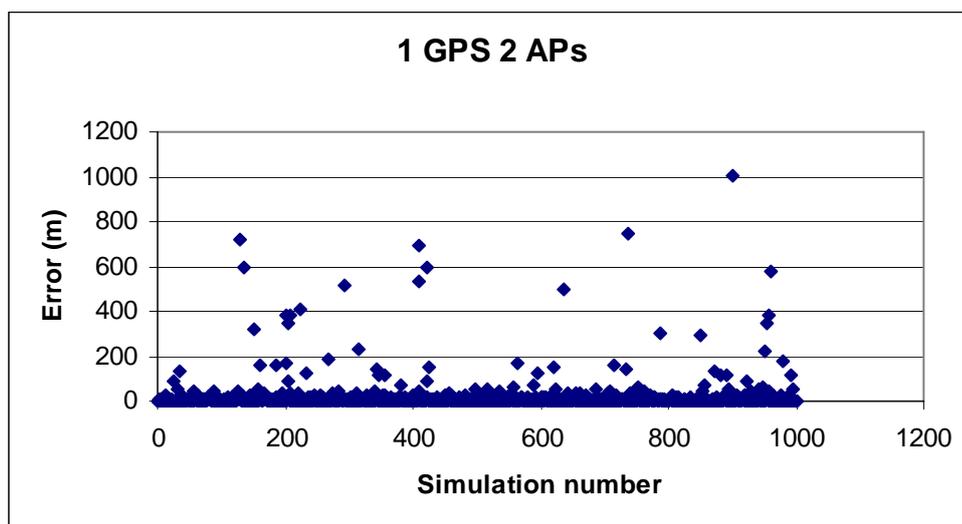
ภาพที่ 91 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียว

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 5 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาตำแหน่งเท่ากับ 5.670 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.406 เมตร



ภาพที่ 92 ค่าความผิดพลาดจากการหาตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวงร่วมกับ 1 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ค่า k factor เป็น 5 ใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง ร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาค่าตำแหน่งเท่ากับ 20.461 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 76.368 เมตร



ภาพที่ 93 ค่าความผิดพลาดจากการหาค่าตำแหน่งเมื่อใช้ดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวงร่วมกับ 2 สถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

วิจารณ์

ตารางที่ 1 ความผิดพลาดเฉลี่ยจากการหาดำแหน่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

แหล่งกำเนิดสัญญาณ	โปรโตคอลหรือการ ลดทอนสัญญาณ / เทคนิค หาดำแหน่ง	ค่าเฉลี่ยความ ผิดพลาด (เมตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานความ ผิดพลาด (เมตร)
จีพีเอสอย่างเดียว	- / O	1.018	12.025
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	UDP / O	25,711.93	39,653.98
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	TCP / O	99,960.27	83,582.60
2 ดาวเทียม 1 สถานี	UDP / O	93,707.52	240,475.40
2 ดาวเทียม 1 สถานี	TCP / O	100,179.60	198,218.30
1 ดาวเทียม 2 สถานี	UDP / O	98,919.07	70,478.57
1 ดาวเทียม 2 สถานี	TCP / O	101,594.30	87,376.92
2 ดาวเทียม 1 สถานี	UDP / M	5.257	11.780
2 ดาวเทียม 1 สถานี	TCP / M	426.96	3457.87
1 ดาวเทียม 2 สถานี	UDP / M	18,581.31	34,727.00
1 ดาวเทียม 2 สถานี	TCP / M	82,997.70	123,835.00
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.1 / O	26.909	63.911
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.1 / O	24.719	31.620
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.1 / O	37.870	168.559
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.4 / O	17.375	40.718
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.4 / O	13.093	34.308
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.4 / O	30.604	326.723
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.5 / O	20.306	54.777
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.5 / O	11.604	20.016
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.5 / O	21.337	63.186

ตารางที่ 1 (ต่อ)

แหล่งกำเนิดสัญญาณ	โปรโตคอลหรือการ ลดทอนสัญญาณ / เทคนิค หาดำแหน่ง	ค่าเฉลี่ยความ ผิดพลาด (เมตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานความ ผิดพลาด (เมตร)
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.6 / O	15.584	39.250
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.6 / O	8.605	13.155
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.6 / O	18.550	68.356
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = ค่าปริยาย / O	13.850	30.575
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = ค่าปริยาย / O	8.915	15.859
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = ค่าปริยาย / O	27.020	173.581
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.7 / O	15.921	45.136
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.7 / O	8.858	14.886
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.7 / O	21.510	100.632
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.8 / O	15.236	44.039
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.8 / O	7.233	11.500
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.8 / O	24.597	95.507
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 0.9 / O	16.735	56.187
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 0.9 / O	7.536	14.444
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 0.9 / O	23.067	72.100
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 1.0 / O	15.165	57.511
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 1.0 / O	8.803	91.029
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 1.0 / O	20.065	55.409
เครือข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 2.0 / O	16.061	52.085
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 2.0 / O	3.390	45.245
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 2.0 / O	29.289	132.451

ตารางที่ 1 (ต่อ)

แหล่งกำเนิดสัญญาณ	โปรโตคอลหรือการ ลดทอนสัญญาณ / เทคนิค หาตำแหน่ง	ค่าเฉลี่ยความ ผิดพลาด (เมตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานความ ผิดพลาด (เมตร)
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rayleigh sd = 3.0 / O	15.284	34.772
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rayleigh sd = 3.0 / O	12.010	263.607
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rayleigh sd = 3.0 / O	27.146	75.532
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rician k = 1 / O	13.839	31.117
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rician k = 1 / O	8.429	23.810
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rician k = 1 / O	23.409	134.345
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rician k = 2 / O	13.855	34.096
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rician k = 2 / O	6.796	14.930
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rician k = 2 / O	14.952	46.878
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rician k = 3 / O	12.654	30.479
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rician k = 3 / O	5.590	8.923
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rician k = 3 / O	21.857	97.867
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rician k = 4 / O	12.468	49.878
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rician k = 4 / O	3.468	7.290
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rician k = 4 / O	28.759	145.608
เครื่องข่ายไร้สายอย่างเดียว	Rician k = 5 / O	13.936	60.959
2 ดาวเทียม 1 สถานี	Rician k = 5 / O	5.670	15.406
1 ดาวเทียม 2 สถานี	Rician k = 5 / O	20.461	76.368

หมายเหตุ O แทน เทคนิคไทรแองกูลเซชันที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุง

M แทน เทคนิคไทรแองกูลเซชันที่ปรับปรุงแล้ว

sd แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสมีความแม่นยำสูง เนื่องจากเวลาเดินทางของสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเครื่องข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวมาใช้หาตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณบนโปรโตคอล TCP และ UDP ในเทคนิคไทรแองกูลเซชันพบว่า

ความผิดของการหาตำแหน่งสูง สาเหตุเนื่องจากเวลาเดินทางของสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดแต่ละสถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายมีค่าแตกต่างกันมาก และเมื่อนำจีพีเอสผสมกับเครือข่ายไร้สายในกรณี 2 ดาวเทียมจีพีเอส 1 สถานีรับส่งสัญญาณกับ 1 ดาวเทียมจีพีเอส 2 สถานีรับส่งสัญญาณบนโปรโตคอล TCP และ UDP ในเทคนิคโทรแองกูล์ชันพบว่ามีความผิดของการหาตำแหน่งสูงมากสาเหตุเนื่องจากเวลาเดินทางของสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดของดาวเทียมจีพีเอส และสถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายมีความแตกต่างกันมาก ทำให้เทคนิคโทรแองกูล์ชันซึ่งรันรัศมีที่เป็นระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อหาตำแหน่งทำงานไม่เหมาะสม แต่เมื่อนำจีพีเอสผสมกับเครือข่ายไร้สายในกรณี 2 ดาวเทียมจีพีเอส 1 สถานีรับส่งสัญญาณบนโปรโตคอล TCP และ UDP ในเทคนิคโทรแองกูล์ชันที่ปรับปรุงแล้วพบว่าสามารถหาตำแหน่งได้มีความแม่นยำ โดยเฉพาะเมื่อใช้บนโปรโตคอล UDP แต่ในกรณีที่ใช้ 1 ดาวเทียมจีพีเอส 2 สถานีรับส่งสัญญาณบนโปรโตคอล TCP และ UDP ในเทคนิคโทรแองกูล์ชันที่ปรับปรุงแล้วพบว่ามีความผิดของการหาตำแหน่งสูง สาเหตุเนื่องจากเวลาเดินทางของสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดของสถานีรับส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สายมีค่าแปรปรวนสูง

การหาตำแหน่งด้วยเครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวโดยใช้การวัดความเข้มของสัญญาณเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และมีค่าเบี่ยงเป็นมาตรฐานเป็น 0.1, 0.4, 0.5, 0.6, ค่าปริยาย, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0 โดยหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคโทรแองกูล์ชัน พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 12 – 27 เมตร ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการหาตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณมาก แต่เมื่อหาตำแหน่งด้วยเครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวโดยใช้การวัดความเข้มของสัญญาณเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rician ที่มีค่า k factor เป็น 1, 2, 3, 4, 5 โดยหาตำแหน่งด้วยวิธีเทคนิคโทรแองกูล์ชัน พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 12 – 14 เมตร ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการหาตำแหน่งเมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh สาเหตุเนื่องจากการลดทอนของสัญญาณแบบ Rician ทำให้เกิดสัญญาณที่เกิดจากการกระทบสิ่งกีดขวางมากกว่าหนึ่งสัญญาณเข้ามาแทรกสอดซึ่งสัญญาณเหล่านั้นที่มีเฟสแตกต่างกันจึงทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันมากกว่าแทรกสอดแบบเสริมกัน โดยยิ่งค่า k factor สูงก็ยิ่งทำให้เกิดจำนวนสัญญาณที่เกิดจากการกระทบสิ่งกีดขวางมากยิ่งขึ้น และเมื่อนำจีพีเอสผสมกับเครือข่ายไร้สายในกรณี 2 ดาวเทียมจีพีเอส 1 สถานีรับส่งสัญญาณ โดยการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และมีค่าเบี่ยงเป็นมาตรฐานเป็น 0.1, 0.4, 0.5, 0.6, ค่าปริยาย, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0 กับ Rician ที่มีค่า k factor เป็น 1, 2, 3, 4, 5 พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 3 – 24 เมตร ซึ่งมีความแม่นยำโดยเฉลี่ยรวมน้อยกว่าการหาตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณในเทคนิค

โทรแองกุเลขันที่ปรับปรุงแล้ว แต่เมื่อนำจีพีเอสผสมกับเครือข่ายไร้สายในกรณี 1 ดาวเทียมจีพีเอส 2 สถานีรับส่งสัญญาณ โดยการลดทอนของสัญญาณเป็นแบบ Rayleigh และมีค่าเบี่ยงเป็นมาตรฐาน เป็น 0.1, 0.4, 0.5, 0.6, ค่าปริยาย, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0 กับ Rician ที่มีค่า k factor เป็น 1, 2, 3, 4, 5 พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 14 – 38 เมตร ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการหา ตำแหน่งด้วยการจับเวลาเดินทางของสัญญาณ

สรุป

การหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสมีความแม่นยำสูงที่สุดเนื่องจากเวลาเดินทางของสัญญาณที่ทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาดมีค่าต่ำ ดังนั้นหากอุปกรณ์หาตำแหน่งสามารถรับสัญญาณจีพีเอสได้ตั้งแต่สามดวงขึ้นไปควรใช้การหาตำแหน่งด้วยจีพีเอสในเทคนิคไทรแองกูเลชัน แต่หากอุปกรณ์หาตำแหน่งสามารถรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้เพียง 2 ดวง ก็จะนำสถานีส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย 1 สถานีเข้าร่วมหาตำแหน่ง ซึ่งการหาตำแหน่งด้วยวิธีจับเวลาเดินทางของสัญญาณบนโปรโตคอล UDP ในเทคนิคไทรแองกูเลชันที่ปรับปรุงแล้วทำงานได้เหมาะสมที่สุด แต่ข้อเสียคือต้องการสัญญาณนาฬิกาที่มีความละเอียดระดับนาโนวินาที ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการวัดความเข้มของสัญญาณ หากอุปกรณ์หาตำแหน่งสามารถรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้เพียง 1 ดวง ก็จะนำสถานีส่งสัญญาณเครือข่ายไร้สาย 2 สถานีเข้าร่วมหาตำแหน่ง ซึ่งการหาตำแหน่งด้วยวิธีวัดความเข้มของสัญญาณในเทคนิคไทรแองกูเลชันทำงานได้เหมาะสมที่สุด และเมื่ออุปกรณ์หาตำแหน่งไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้ก็จะใช้เครือข่ายไร้สายเพียงอย่างเดียวในการหาตำแหน่ง ซึ่งการหาตำแหน่งด้วยวิธีวัดความเข้มของสัญญาณในเทคนิคไทรแองกูเลชันทำงานได้เหมาะสมที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Bourdeau, N., Gibeaux, M., RIBA J. and Sansone F. 2002. **Hybridised GPS and GSM positioning technology for high performance Location Based Services**. IST Mobile & Wireless Telecommunications, Thessaloniki, Greece.
- Dan, K.J., Jorgen, O. 2002. **Estimated accuracy of location in mobile networks using E-OTD**.
- Dharma, P.A., Qing, A.Z. 2003, **Introduction to Wireless and Mobile Systems**. Thomson. United States of America.
- Hata, M. 1980. **Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services**. IEEE Transactions on Vehicular Technology.
- Heikki, L., Suvi, A., Sofoklis, K., Jaakko, L., Raffaele, M. and Seppo, P. 2001. **Cellular Location Technology**.
- Heikki, L., Jaakko, L., Tero, N. **Database Correlation Method for GSM Location**. 2003. The 1st international symposium on Information and communication technologies. Ireland
- Jakes, W.C. 1974. **Microwave Mobile Communications**. John Wiley & Sons. New York
- Kenneth, J., Caludine T. and Jacques A. 1998. **Use of a dual-frequency multi-channel geodetic GPS receiver for the estimation of ionospheric delays applied to accurate time transfer**. pp. 499-504. 12th European Frequency and Time Forum, Warszawa, Poland.
- Marko, I. Sileventoinen and Timo, R. 1996. **Mobile Station Emergency Locating in GSM. Personal Wireless Communications**. pp. 499-504. IEEE International Conference.
- Mika, K., Heikki, L. 2002. **End-user Location in Digital Mobile Networks**. pp. 13.

Okumura, Y., *et al.* 1968. **Field Strength and Its Variability in UHF and VHF Land-Mobile Radio Service.** Review of Electrical Communication Laboratory.

Peera , A., Sukumal, K. 2004. **Increasing Performance Location Based Service Hybrid with GPS-WLAN Positioning Technique.** The 8th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2004). Songkla (Thailand).

QUALCOMM CDMA Technologies. **gpsOne Position Location Solution for UMTS/GSM/GPRS.** pp. 4.

Rooney, S., Chippendale, P., Choony, R., Le Roux, C., Honary, B. 2000. **Accurate Vehicular Positioning using a DAB-GSM Hybrid System.** Vehicular Technology Conference Proceedings. Tokyo.

Shaojun, F., Choi Look, L. 2002. **Assisted GPS and Its Impact on Navigation in Intelligent Transportation Systems.** The IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems. Singapore.

Samir, S., Parag, A., Ivan, F., Alkinoos, V., Peter, G. and Milan, O. 2000. **gpsOne: A hybrid position location system. Spread Spectrum Techniques and Applications. IEEE Sixth International Symposium.** pp. 330-335.