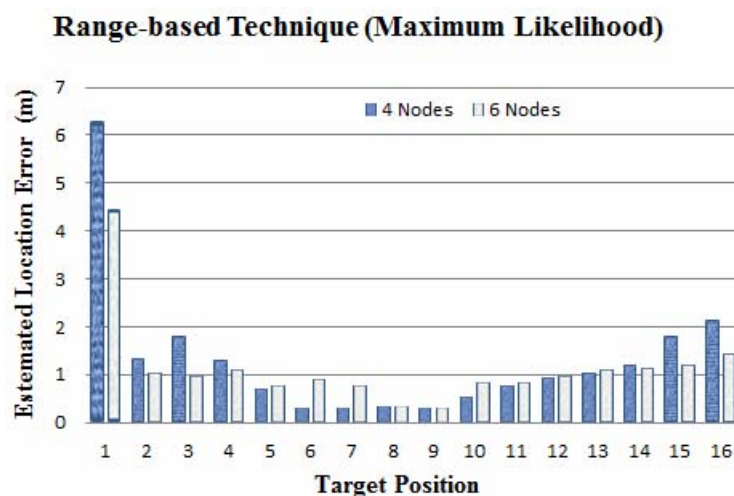


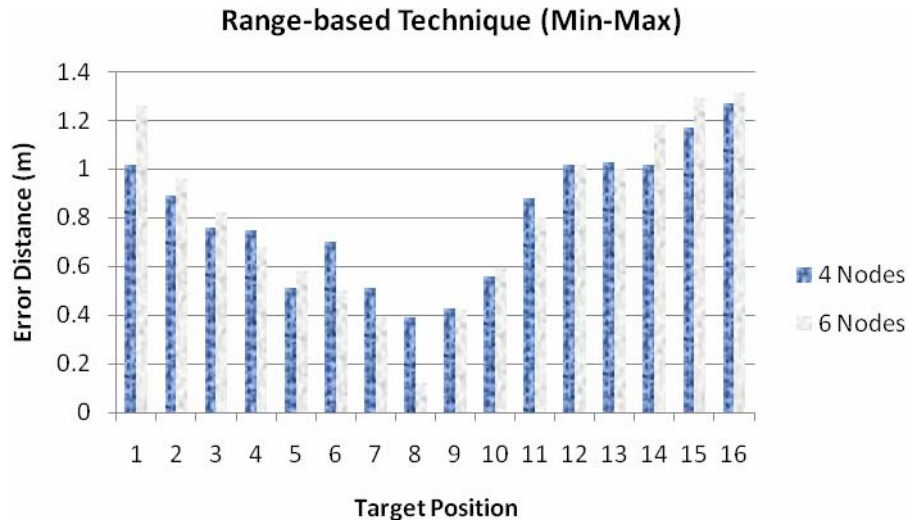
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ (a) กรณีใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ (b) กรณีใช้โนดอ้างอิง 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Maximum Likelihood ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.27 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



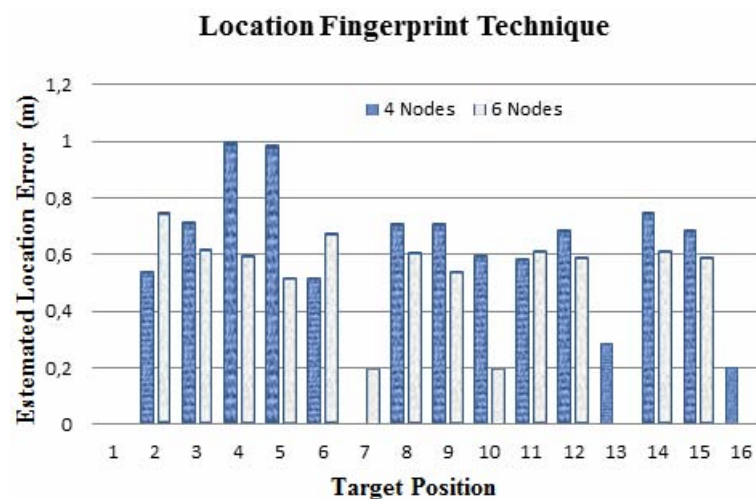
รูปที่ 4.27 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood โดยเปรียบเทียบผลจากกรณีใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Min-Max ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.28 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



รูปที่ 4.28 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิค Min-Max โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

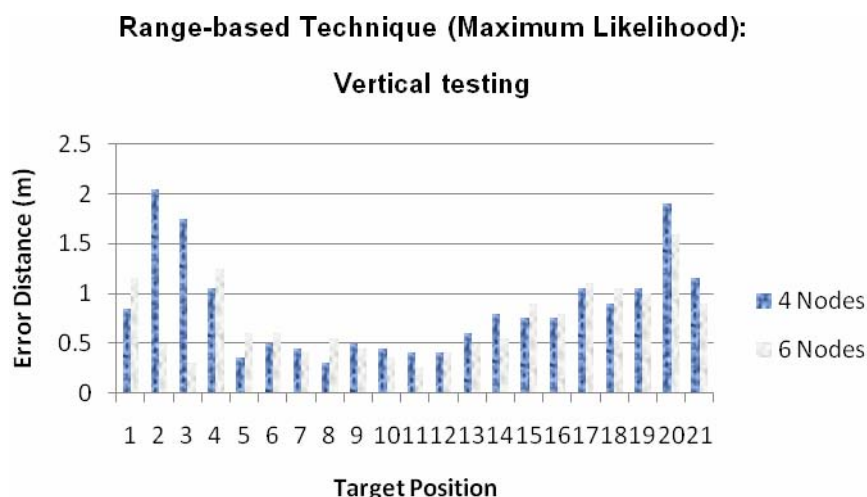
- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.29 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



รูปที่ 4.29 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

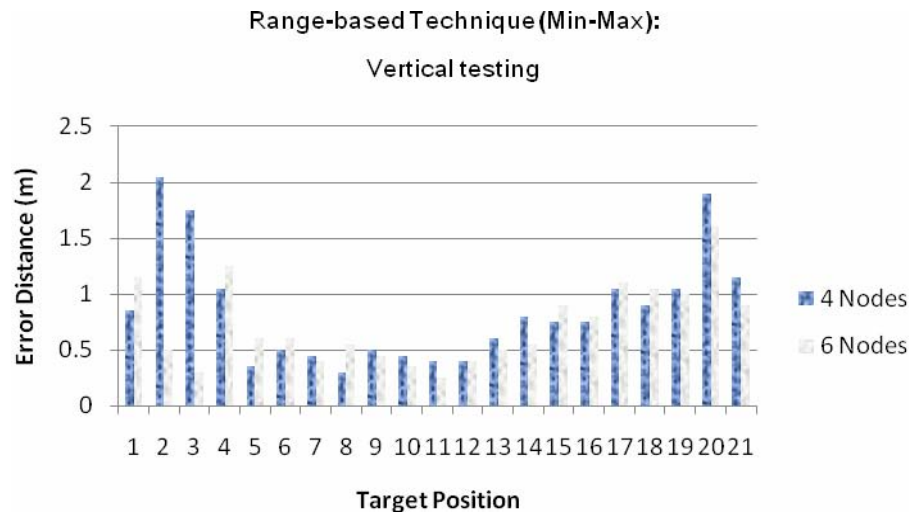
กรณีตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Maximum Likelihood ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.30 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



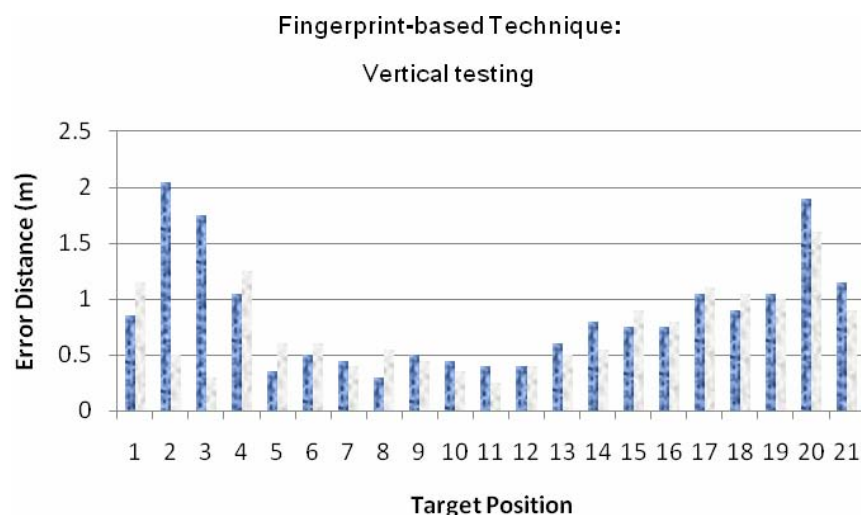
รูปที่ 4.30 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Min-Max ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.31 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง



รูปที่ 4.31 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิค Min-Max โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟingerprint ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.32 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง



รูปที่ 4.32 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิคฟingerprint โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

4.7 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุของแต่ละอัลกอริทึม แบบเคลื่อนที่ในอาคาร

จุดประสงค์

- ดูแนวโน้มการเคลื่อนที่ของวัตถุที่คำนวณได้กับการเคลื่อนที่จริง

อุปกรณ์

- XBee Module 7 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 6 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21×29.7 ซม. 7 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่าตำแหน่งของวัตถุ

วิธีการทดลอง

- จัดเตรียมพื้นที่ขนาด 5×5 เมตร โดยใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และ ตัวรับ 6 ตัว ตามลำดับ (เหมือนการทดลองที่ 4.4)
- ใช้โปรแกรมหาตำแหน่งของวัตถุ แสดงในหัวข้อที่ 3 หาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวการเคลื่อนที่ 4 แบบ เหมือนการทดลองที่ 4.5 แสดงดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.23
- ทำตามข้อ 2 โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min-Max และเทคนิค ฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยทั้งหมดใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และ 6 ตัว

สภาพแวดล้อม

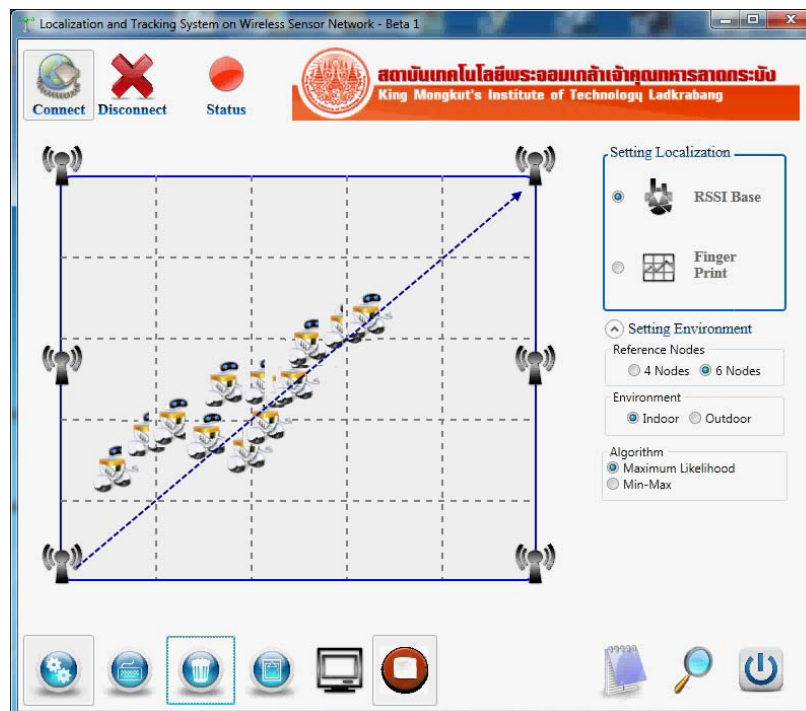
- ภายในอาคาร บริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 12 ตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เหมือนการทดลองที่ 4.4)

ผลการทดลอง

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิค Maximum Likelihood โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.34 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิค Maximum Likelihood โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 ตามลำดับ



รูปที่ 4.35 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.36 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิค Min-Maxโดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.38 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิค Min-Max โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 ตามลำดับ

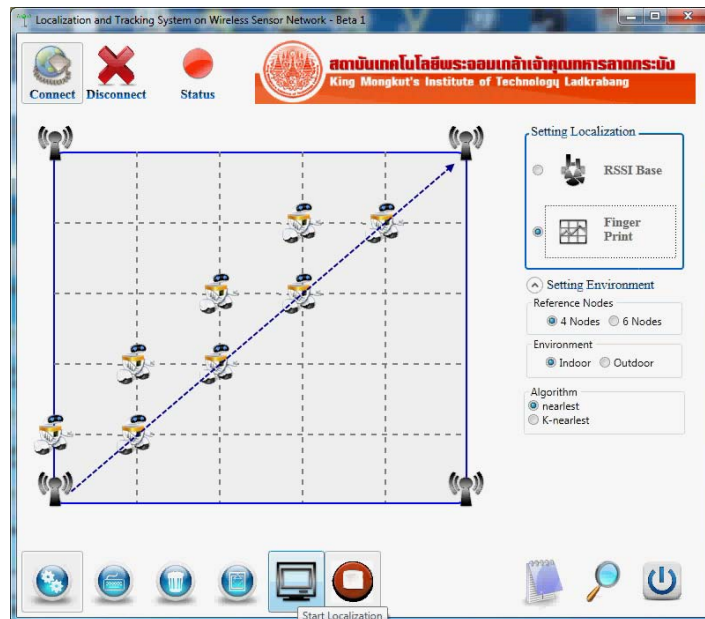


รูปที่ 4.39 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว

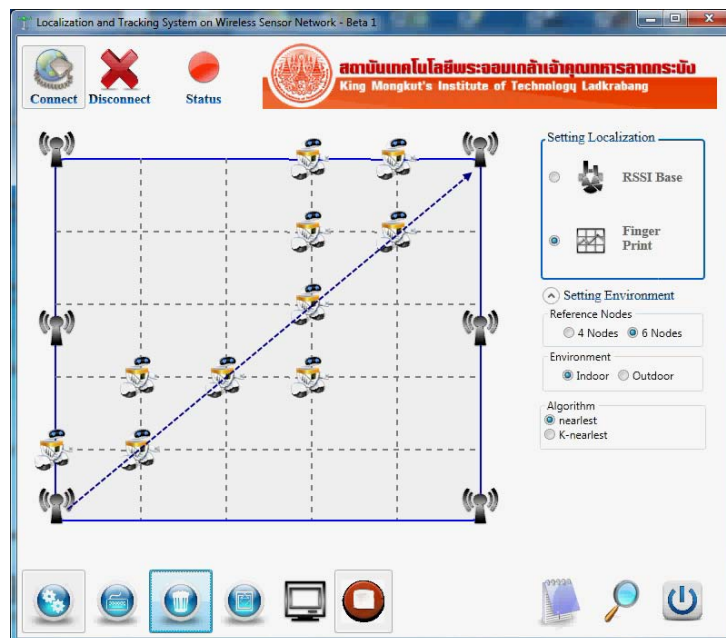


รูปที่ 4.40 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิคฟingerprint โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.42 ตามลำดับ

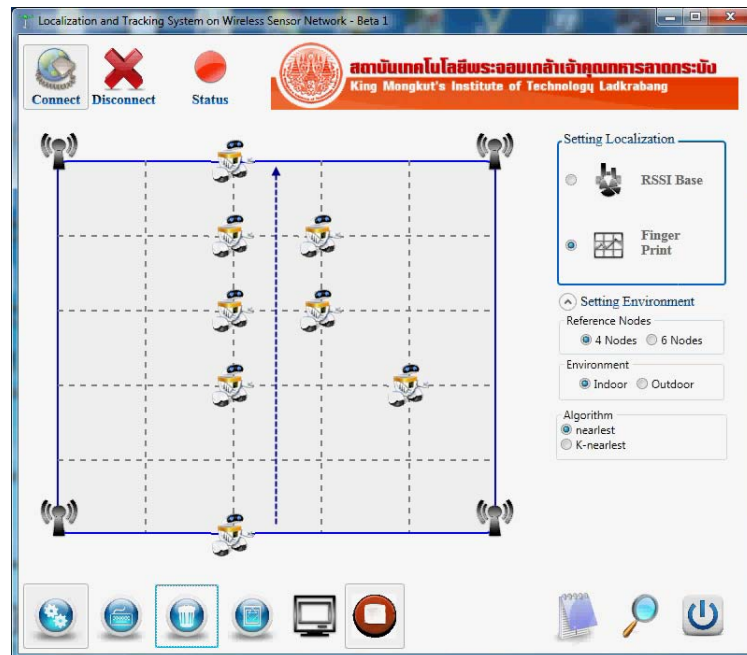


รูปที่ 4.41 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm แบบ Nearest ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว

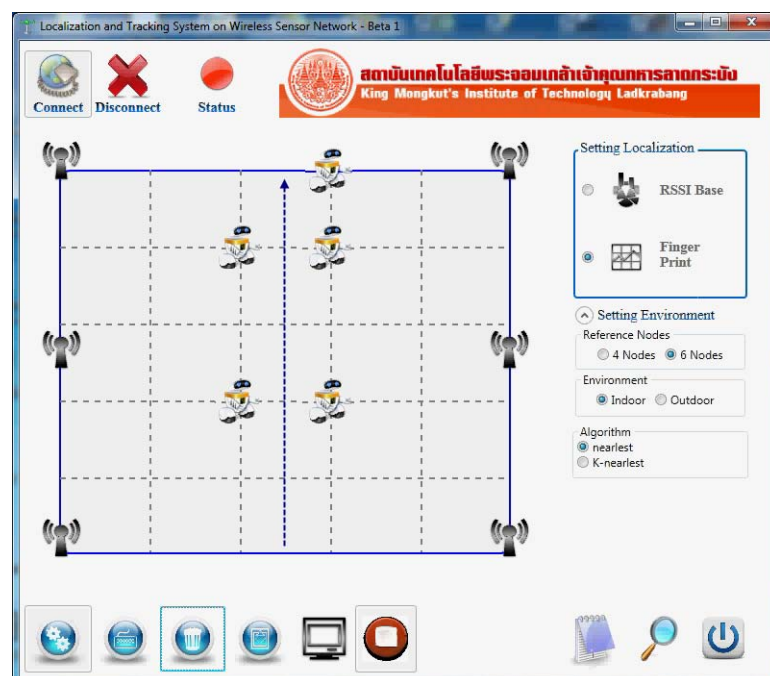


รูปที่ 4.42 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm แบบ Nearest ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิคฟingerprint โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.43 และรูปที่ 4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.43 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.44 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของเป้าหมายจากเทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min-Max และเทคนิคฟingerprint

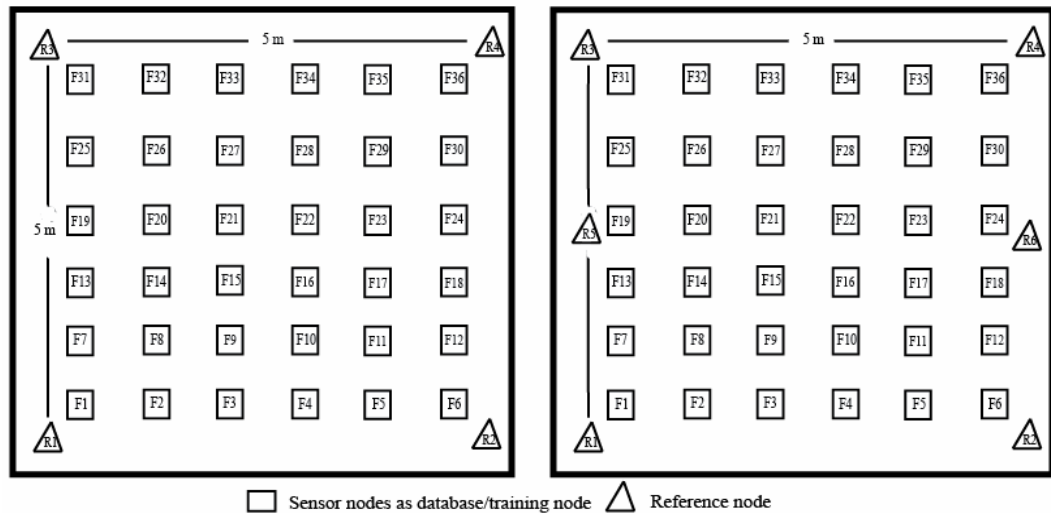
Localization Technique	Estimated Location Error (m)	
	4 Nodes	6 Nodes
Maximum Likelihood	1.31	1.12
Min-Max	0.80	0.80
Fingerprint	0.56	0.44

จากตารางจะพบว่า การหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟingerprint จะมีความผิดพลาดในการหาตำแหน่งน้อยที่สุด และด้วยเทคนิค Min-Max และเทคนิค Maximum Likelihood จะมีความผิดพลาดรองลงมาตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และสรุปได้ว่าเทคนิคที่มีความซับซ้อนมากกว่า จะให้ความถูกต้องแม่นยำมากกว่า

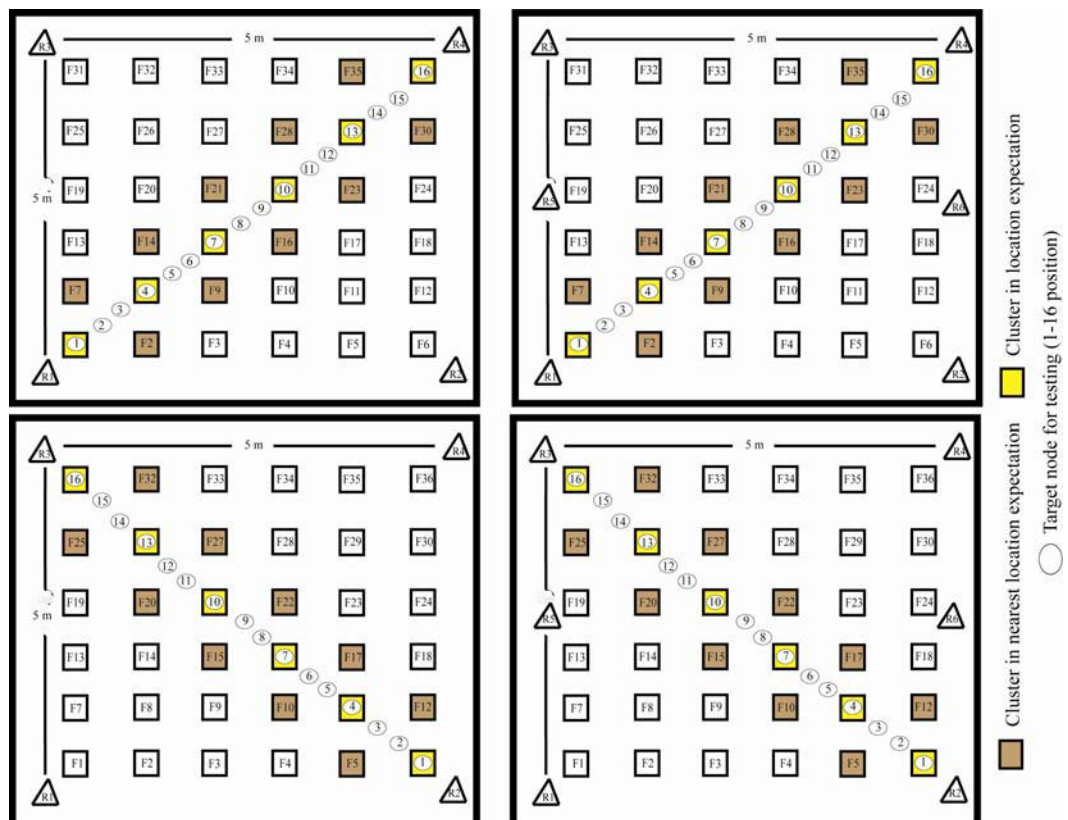
4.8 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุ ด้วยเทคนิคฟingerprint เมื่อใช้วิธีการแบ่งกลุ่ม FCM

จุดประสงค์

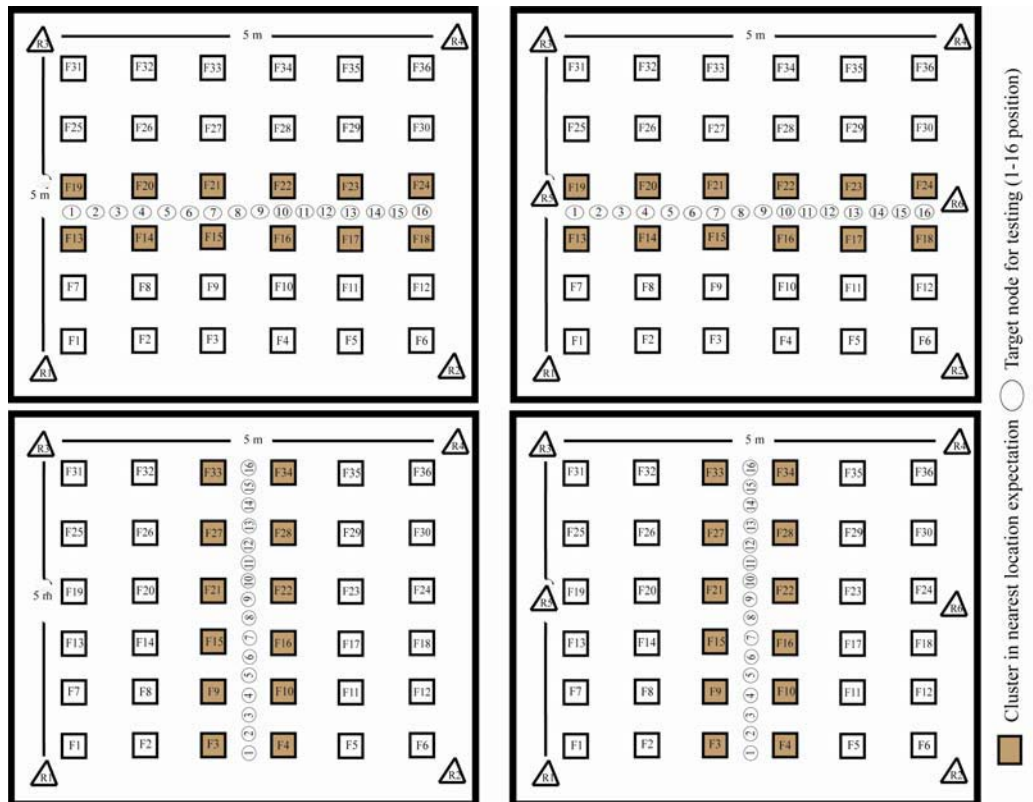
- ประเมินผลเทคนิคที่ได้นำเสนอขึ้นมา ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มฟingerprint ด้วยวิธี FCM โดยการกำหนดตำแหน่งฟingerprint และตำแหน่งของโน้ดอ้างอิง แสดงได้ดังรูปที่ 4.45
 - หาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้เทคนิคดังกล่าว โดยจะทำการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่งจากตำแหน่งทดสอบทั้งหมด 16 ตำแหน่ง ในแนว 4 ทิศทาง ดังนี้
 - แนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึง มุมด้านบนขวามือ
 - แนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึง มุมด้านบนซ้ายมือ
 - แนวนอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง
 - แนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง
- โดยภาพจำลองแต่ละแนวการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.46 ถึงรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.45 ตำแหน่งฟังก์ชันปริพันธ์และตำแหน่งของโนดอ้างอิง (รูปซ้าย สำหรับกรณี 4 โหนด และรูปขวา กรณี 6 โหนด)



รูปที่ 4.46 ตำแหน่งฟังก์ชันปริพันธ์และตำแหน่งของโนดอ้างอิง (สองรูปด้านบน สำหรับกรณี แนวทางของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึง มุมด้านบนขวามือ และสองรูปด้านล่าง สำหรับกรณีแนวทางของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึง มุมด้านบนซ้ายมือ)



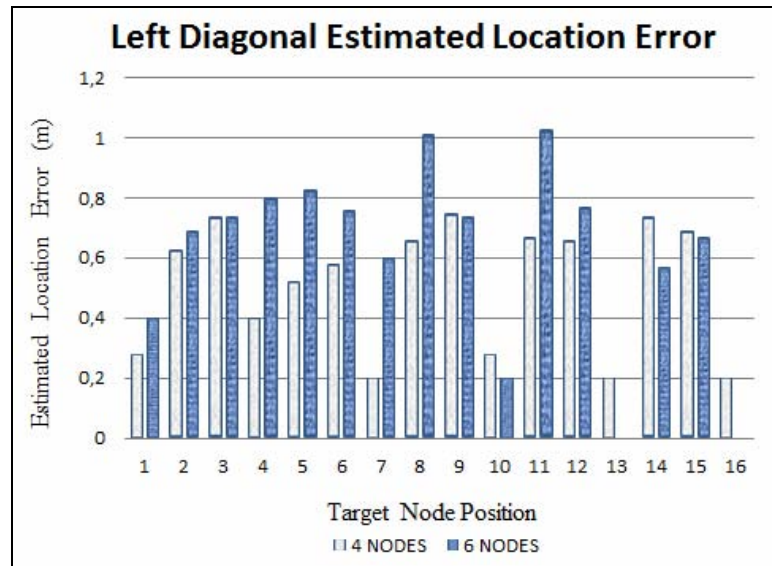
รูปที่ 4.47 ตำแหน่งฟังก์ชันปริ้นต์และตำแหน่งของโนดอ้างอิง (สองรูปด้านบน สำหรับกรณีแนวอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง และสองรูปด้านล่าง สำหรับกรณีแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง)

สมมุติฐาน

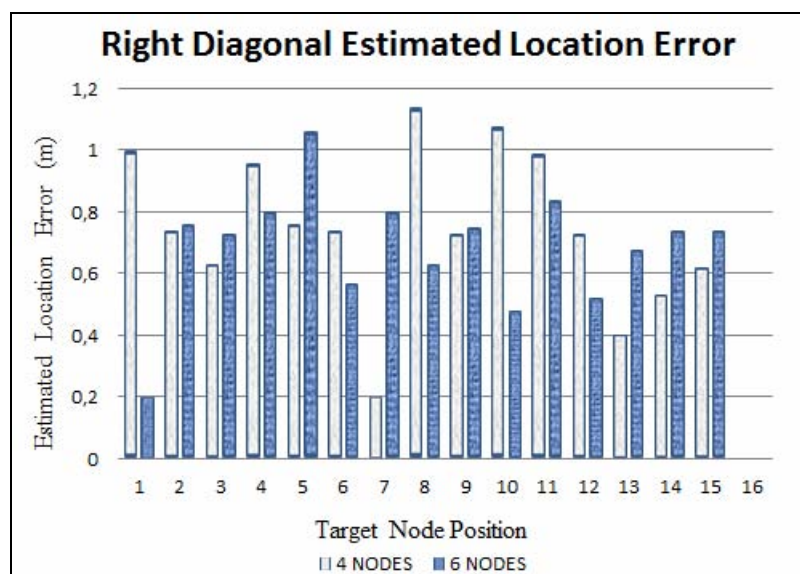
- ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุที่ใช้เทคนิคฟังก์ชันปริ้นต์แบบใช้วิธี FCM จะมีค่าน้อยกว่าแบบที่ไม่ใช้วิธี FCM

ผลการทดลอง ในกรณีวัตถุเป้าหมายหยุดนิ่ง โดยทำการทดสอบ 16 ตำแหน่งทดสอบ โดยประยุกต์ใช้วิธี FCM กับเทคนิคฟังก์ชันปริ้นต์

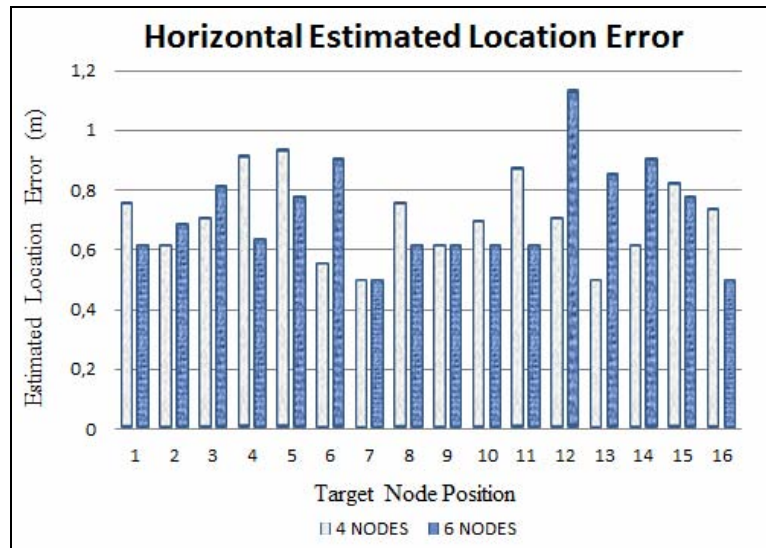
ในที่นี้ กำหนดให้จำนวนของกลุ่ม (C) เท่ากับ 10 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขคือ $1 \leq C \leq M$ ในขณะที่ $M = 37$ (36 ตำแหน่งของฟังก์ชันปริ้นต์และ 1 ตำแหน่งของเป้าหมาย)



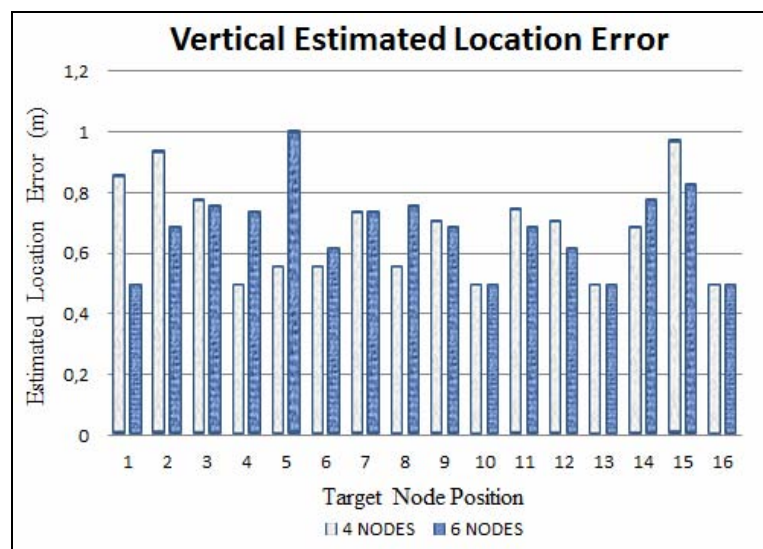
รูปที่ 4.48 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.49 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.50 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรินต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.51 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรินต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

จากผลการทดลองตั้งแต่รูปที่ 4.48 ถึงรูปที่ 4.51 พบว่าความผิดพลาดจะเกิดขึ้นมากที่บริเวณช่วงกลางของบริเวณที่ทดสอบ และจะมีค่าน้อยกว่าที่บริเวณขอบของบริเวณที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่งพบว่าค่าความ

ผิดพลาดน้อยประมาณ 0.6 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ เมื่อไม่ได้ใช้วิธี FCM ร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์เมื่อมีการใช้วิธี FCM ร่วมด้วย จะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลลดลง เนื่องจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายจะหาจากกลุ่มของฟิงเกอร์ปริ้นต์เท่านั้น ไม่ได้หาจากฟิงเกอร์ปริ้นต์ทั้งหมดในฐานข้อมูล นอกจากนี้วิธีการนี้จะทำให้การใช้งานกำลังงานของโน้ตลดลงอีกด้วย

4.9 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของระบบ ทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์ การเชื่อมต่อและการใช้งาน Graphic User Interface รวมไปถึงแนวทางและวิธีการทดลองการระบุตำแหน่งทั้งในแบบหยุดนิ่งและแบบเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งด้วยเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทางและเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นต์

4. การทดลองและผลการทดลอง

หัวข้อนี้นำเสนอการทดลองและแสดงผลการทดลองในการหาพารามิเตอร์ RSSI ที่สำคัญต่อการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย และนำเสนอการทดลองและแสดงผลการทดลองในการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ด้วยเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทางและเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยประยุกต์ใช้วิธี FCM ร่วมด้วย

4.1 การทดลองเรื่องการวัดค่า RSSI

จุดประสงค์

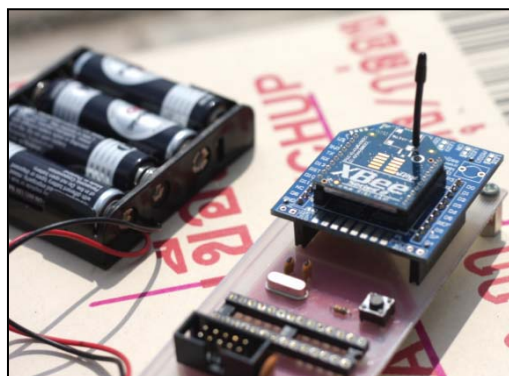
- เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า RSSI ทุกๆระยะ 1 เมตร รวมทั้งสิ้น 10 เมตร ว่าเป็นไปตามผลทางทฤษฎีหรือไม่ ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร

สมมุติฐาน

- ผลการเปลี่ยนแปลงค่า RSSI คาดว่าจะต้องลดลง(ค่าเป็นลบมากขึ้น) เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์

- XBee Module 2 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 1 ตัว) แสดงดังรูปที่ 4.1
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21x29.7 ซม. 2 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่า RSSI

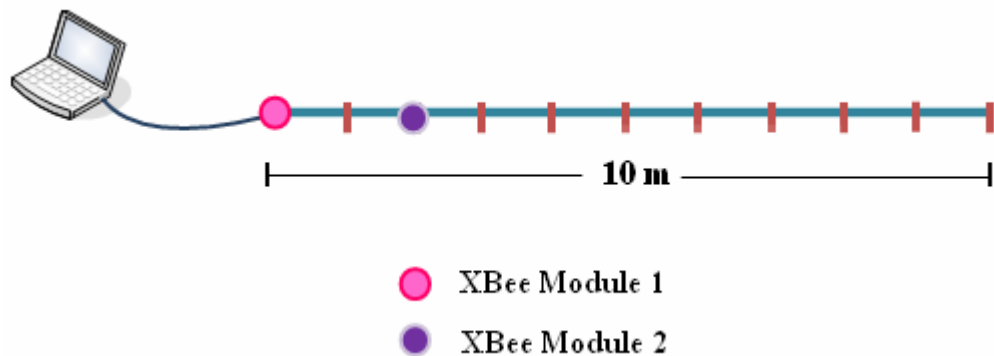


รูปที่ 4.1 บอร์ด XBee Module

วิธีการทดลอง

- ทำการจัดวาง XBee Module 2 ตัว ให้ห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.2

- หาค่า RSSI จากโปรแกรมที่ได้เตรียมไว้ เก็บค่าทั้งหมด 50 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผลค่าที่ได้
- เมื่อเสร็จสิ้นข้อ 2 ให้ทำตามข้อที่ 1 และ 2 โดยจัดวาง XBee Module ให้ห่างกันทุกระยะ 1 เมตร จนกระทั่งระยะห่างระหว่าง XBee Module เป็น 10 เมตร และบันทึกผลที่ได้ทุกระยะ 1 เมตร
- ทำตามขั้นตอนที่ 1-3 ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร และทำการบันทึกผล



รูปที่ 4.2 ภาพจำลองแบบการทดลองการจัดวางตำแหน่งของ XBee Module เพื่อหาค่า RSSI

สภาพแวดล้อม

- ภายในอาคาร ช่วงทางเดินหน้าห้อง ชั้น 12 ตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงดังรูปที่ 4.3



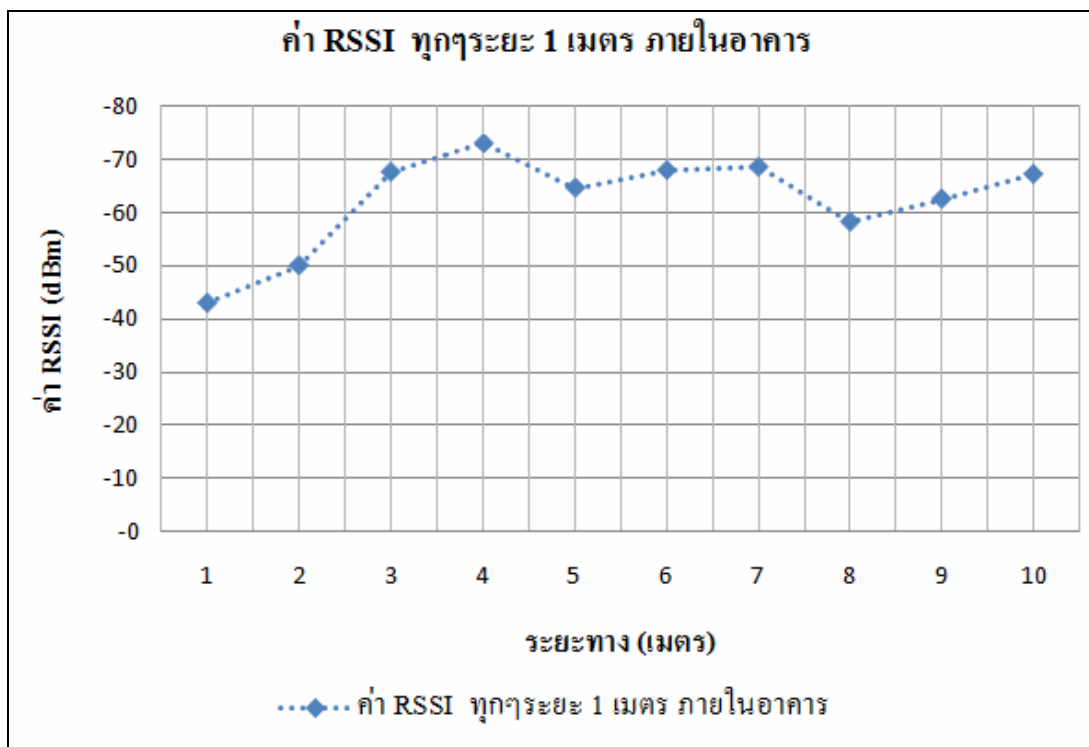
รูปที่ 4.3 สถานที่ในการทดลองภายในอาคาร

- ภายนอกอาคาร ลานกิจกรรมบริเวณลานกิจกรรมด้านข้างสนามเบดมินตัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงดังรูปที่ 4.4

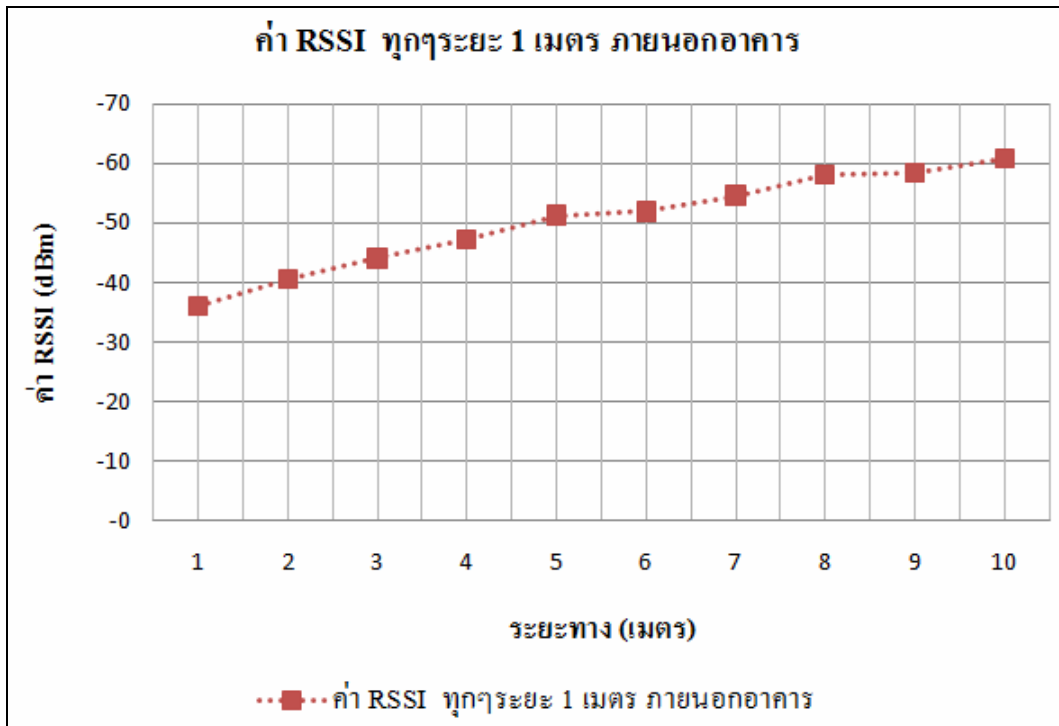


รูปที่ 4.4 สถานที่ในการทดลองภายนอกอาคาร

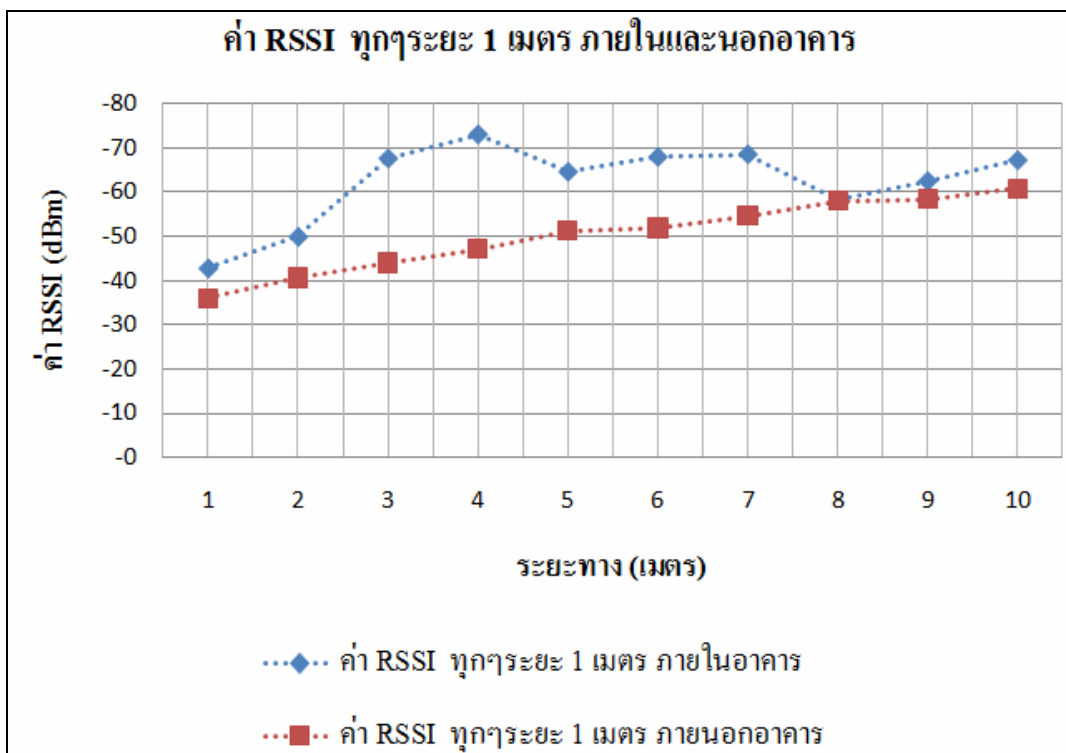
ผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า RSSI ทุกๆช่วง 1 เมตร ในระยะทาง 10 เมตร ภายในอาคาร



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า RSSI ทุกๆช่วง 1 เมตร ในระยะทาง 10 เมตร ภายนอกอาคาร



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า RSSI ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.5 ค่า RSSI ที่วัดได้จากภายในอาคาร มีค่าที่ไม่เพิ่มขึ้นตามระยะทาง ค่า RSSI มีค่าขึ้นลงไม่แน่นอน เนื่องมาจาก เกิดการสะท้อน การหักเห การจางหายของสัญญาณ ภายในอาคาร ส่วนรูปที่ 4.6 ค่า RSSI ที่วัดได้จากภายนอกอาคาร มีค่าลดลง (ค่าลบมากขึ้น) เรื่อยๆตามระยะทางที่มากขึ้น เนื่องจากภายนอกอาคารไม่มีสิ่งกีดขวาง เพราะฉะนั้น ค่า RSSI ที่ได้จากการทดลองภายนอกอาคาร มีความน่าเชื่อถือมากกว่า สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร จึงเหมาะสมที่จะนำมาคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุต่อไป

4.2 การทดลองการหาค่าตัวแปรของสมการเพื่อใช้ในการหาระยะทางและหาตำแหน่งของวัตถุ

จุดประสงค์

- เพื่อหาค่าตัวแปร A และ n ภายนอกอาคาร จากสมการ (2.1)

เมื่อ RS_{si} คือค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ มีหน่วยเป็น เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm)

n คือค่าคงที่การกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ

d คือระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สาย (เมตร)

A คือค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร (dBm)

จากสมการข้างต้น ถ้าค่าระยะทาง (d) เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า RS_{si} ลดลง ซึ่งบอกค่าความแรงของสัญญาณ สามารถนำผลนี้ไปใช้เพื่อหาระยะทางและปริมาณตำแหน่งวัตถุ

สมมุติฐาน

- ค่าของตัวแปร A และ n ที่ได้มา ทำให้ค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณเท่ากับกับระยะทางจริง

อุปกรณ์

- XBee Module 5 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 4 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21x29.7 ซม. 2 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่า RS_{si}

วิธีการทดลอง

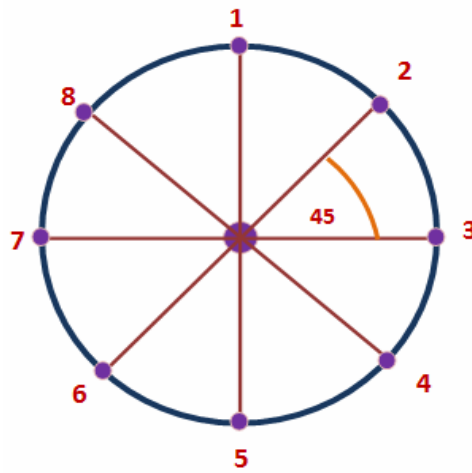
- ทำการหาค่า A โดยการวัดค่า RSSI โดยรอบตัวรับทั้งหมด 4 ตัว เป็นระยะรัศมี 1 เมตร โดยวัดทุกๆ 45° เก็บค่าครั้งละ 50 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผล ดังรูปที่ 4.8
- ทำตามข้อ 1 จนครบจำนวนของตัวรับ แล้วนำค่า $RSSI$ ที่ทำการเฉลี่ยแล้วของแต่ละตัว มาทำการหาค่าเฉลี่ยรวม ค่าที่ได้จะเป็น ค่า A ที่ต้องการ
- ทำการหาค่า n ดังนี้
 - ตัวรับทุกตัว ทำการวัดค่า $RSSI$ ทุกๆระยะ 1 เมตร เป็นระยะทั้งสิ้น 10 เมตร (เหมือนการทดลองที่ 1) ค่า $RSSI$ ที่ได้นี้จะเป็นค่าที่ได้จากการวัดจริง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า n ที่ได้จากการคำนวณ
 - ค่า RSSI ที่ได้จากการคำนวณ หาได้จากสมการ (2.1)

โดยการแทนค่า A ที่ได้จากข้อที่ 1 และทำการแทนค่า d (ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สาย ในหน่วยเมตร) เป็น 1,2,3,...,10 ตามลำดับ ส่วนค่า n ให้แทนค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4 เมื่อทำการคำนวณแล้วจะได้ ค่า $RSSI$ จากการคำนวณ ทุกๆระยะ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร ที่มีค่า n เป็น 1 ถึง 4

- นำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับข้อ 3.2 ว่า ค่า $RSSI$ ที่ได้จากการวัดจริงใกล้เคียงกับค่า RSSI ที่ได้จากการคำนวณ ที่ค่า n ต่างๆกัน มากที่สุด ค่าที่ใกล้เคียงที่สุดจะมีค่า n ที่ต้องการ ในการหาค่า $RSSI$ ที่ใกล้เคียงที่สุดหาได้จาก **Root Mean Square Error (RMSE)** ซึ่งแสดงดังสมการ (4.1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{ค่า } RSSI \text{ ที่วัดจริง} - \text{ค่า } RSSI \text{ จากการคำนวณ})^2}{\text{จำนวนค่า } RSSI \text{ ที่ทำการเปรียบเทียบ}}} \quad (4.1)$$

ค่า RMSE ที่น้อยที่สุดแสดงว่ามีค่า $RSSI$ จากการวัดจริงกับการคำนวณใกล้เคียงกันที่สุด เพราะฉะนั้นจะได้ค่า n ที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.8 แสดงการจัดวางตำแหน่งของ XBee Module เพื่อทำการหาค่า A



รูปที่ 4.9 การทดลองหาค่า A และ n ทุกๆช่วง 1 เมตร

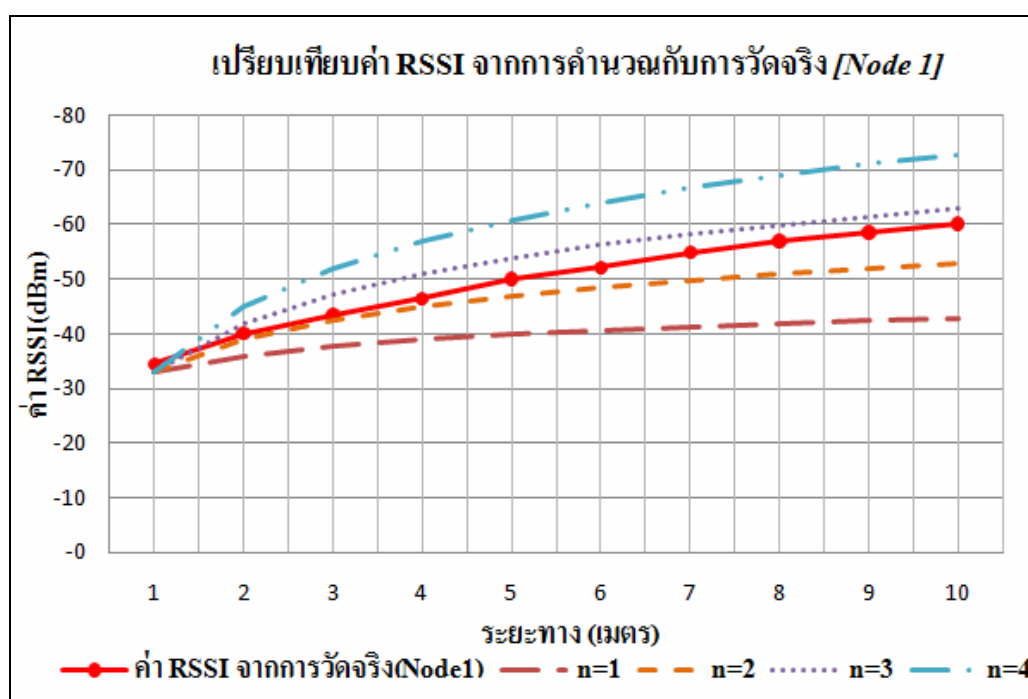
สภาพแวดล้อม

- ภายนอกอาคาร ลานกิจกรรมบริเวณลานกิจกรรมด้านข้างสนามแบดมินตัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เหมือนการทดลองที่ 4.1)

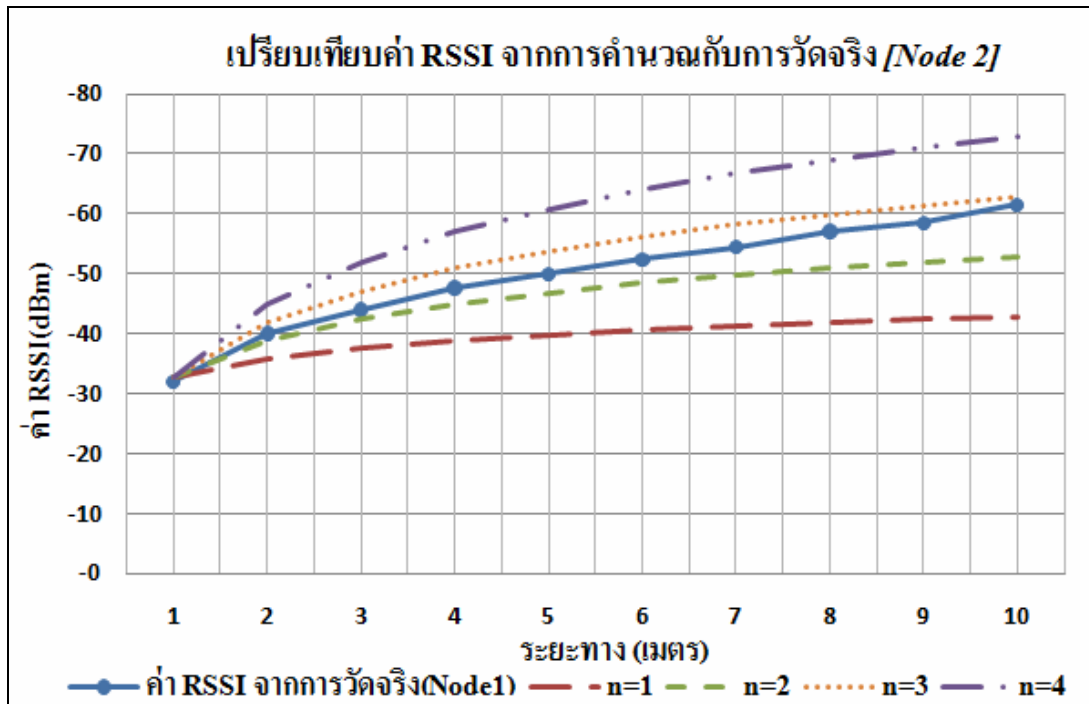
ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปร A

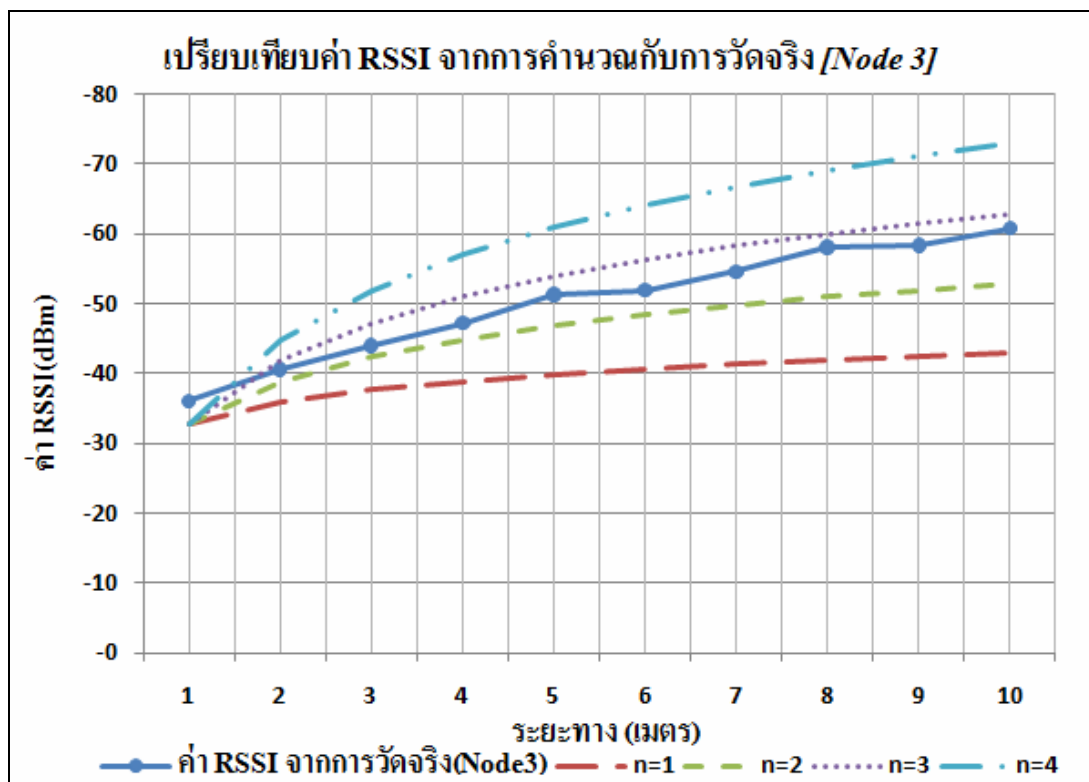
Node	ค่าเฉลี่ยของค่า A แต่ละ Node
1	33.0325
2	32.1825
3	32.7450
4	33.4625
ค่าเฉลี่ยของค่า A ทั้งหมด 4 Node	32.855625



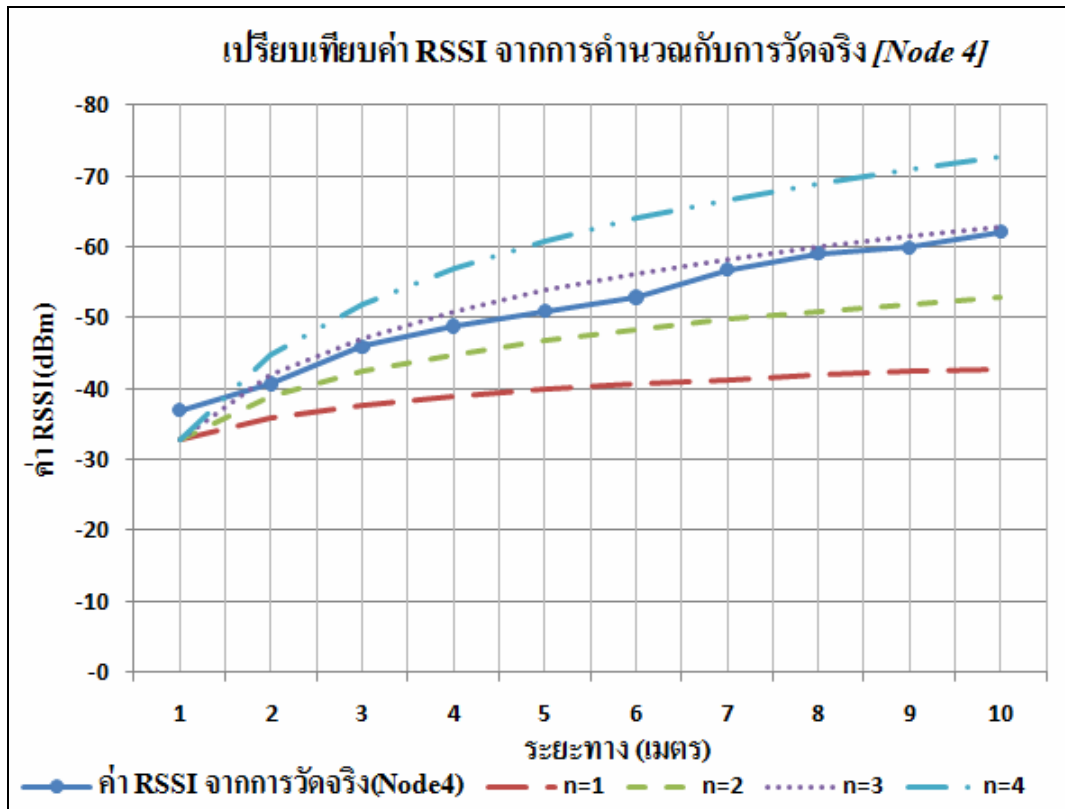
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า RSSI จากการคำนวณกับการวัดจริง ของ Node 1



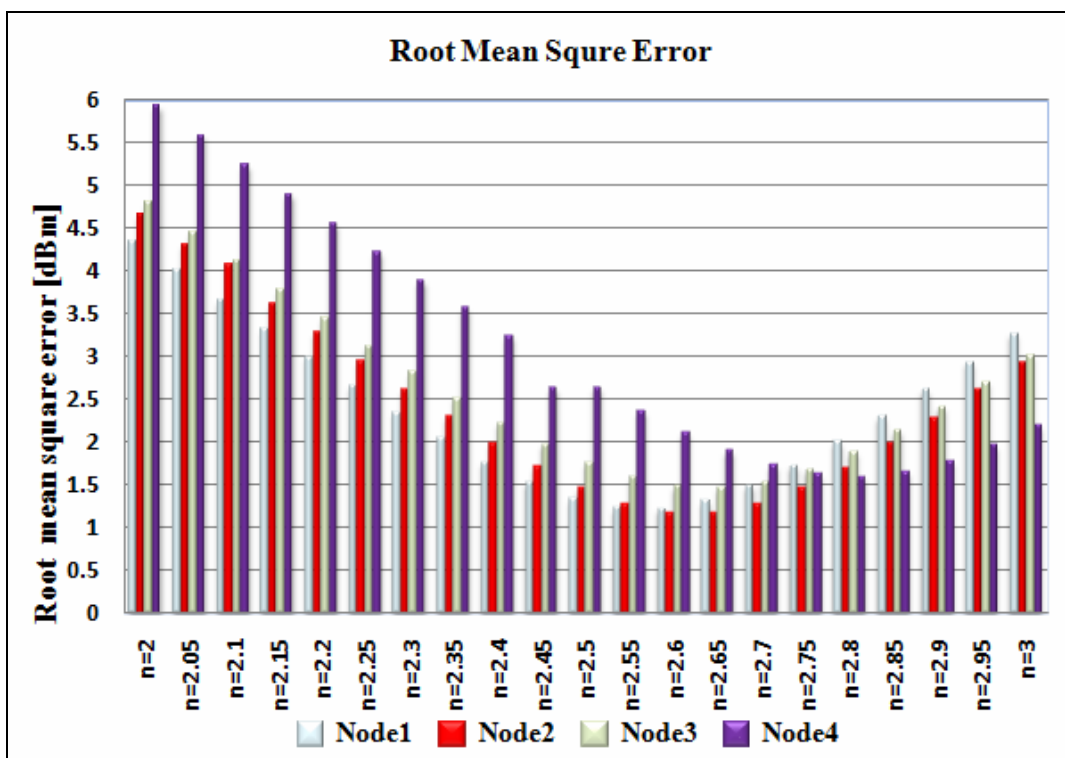
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า RSSI จากการคำนวณกับการวัดจริง ของ Node 2



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า RSSI จากการคำนวณกับการวัดจริง ของ Node 3



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า RSSI จากการคำนวณกับการวัดจริง ของ Node 4



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า RMSE ของ Node 1-4 โดยที่ค่ามีค่า n แตกต่างกัน

สรุปผลการทดลอง

ค่าตัวแปร A และ n จากการทดลองภายนอกอาคาร ได้ว่า ค่า $A = 32.855625$ จากรูปที่ 4.10-4.13 จะเห็นได้ว่าค่า RSSI ที่ได้จากการคำนวณที่มีค่า n ระหว่าง 2-3 มีค่า RSSI ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริงมากที่สุด และจากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าค่า RMSE ที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่ค่า n ประมาณ 2.65 เพราะฉะนั้นในการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุภายนอกอาคารจะใช้ค่า $A = 32.855625$ และ ค่า $n = 2.65$

4.3 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุด้วยค่า RSSI

จุดประสงค์

- เพื่อหาหรือระบุตำแหน่งของวัตถุภายในพื้นที่ 5×5 เมตร ภายนอกอาคาร

สมมุติฐาน

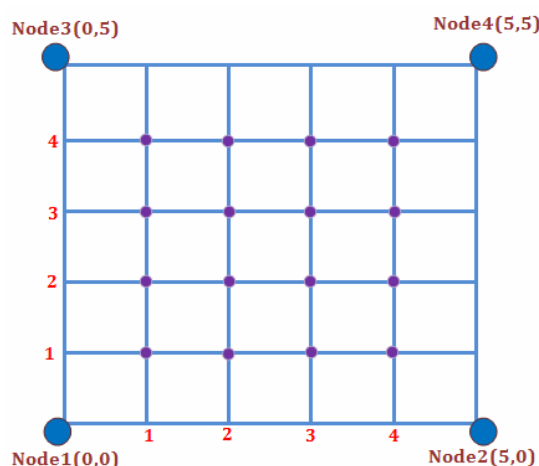
- ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณมาได้ตรงตามตำแหน่งจริงที่วัตถุอยู่ในขณะนั้น

อุปกรณ์

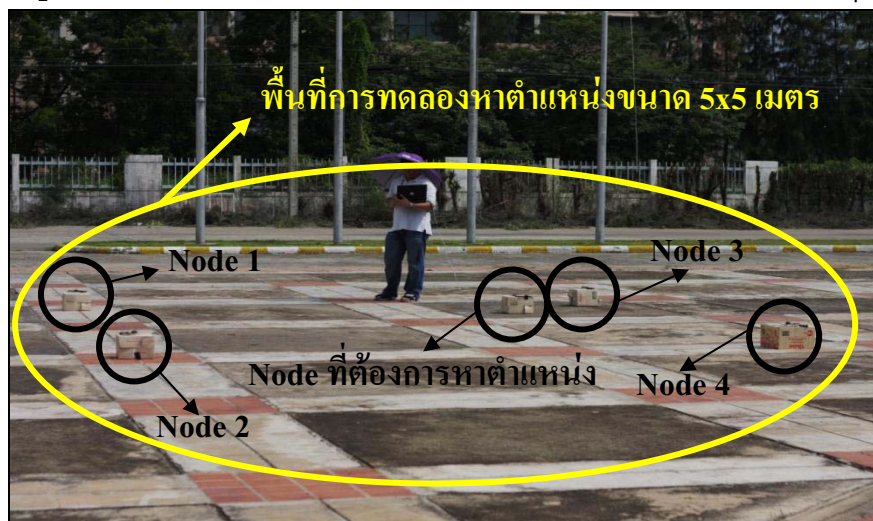
- XBee Module 5 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 4 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21×29.7 ซม. 5 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่า RSSI และ หาตำแหน่งของวัตถุ

วิธีการทดลอง

- จัดเตรียมพื้นที่ขนาด 5×5 เมตร โดยตัวรับทั้ง 4 ตัว จะอยู่ที่แต่ละมุมของพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 4.15
- นำตัวส่ง ไปไว้ในพื้นที่ ตรงตำแหน่งที่ต้องการ และทำการส่งค่าเพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่ง
- ทำตามขั้นตอนที่ 1-2 ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร และทำการบันทึกผล



รูปที่ 4.15 ภาพจำลองการจัดพื้นที่เพื่อที่จะคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุ

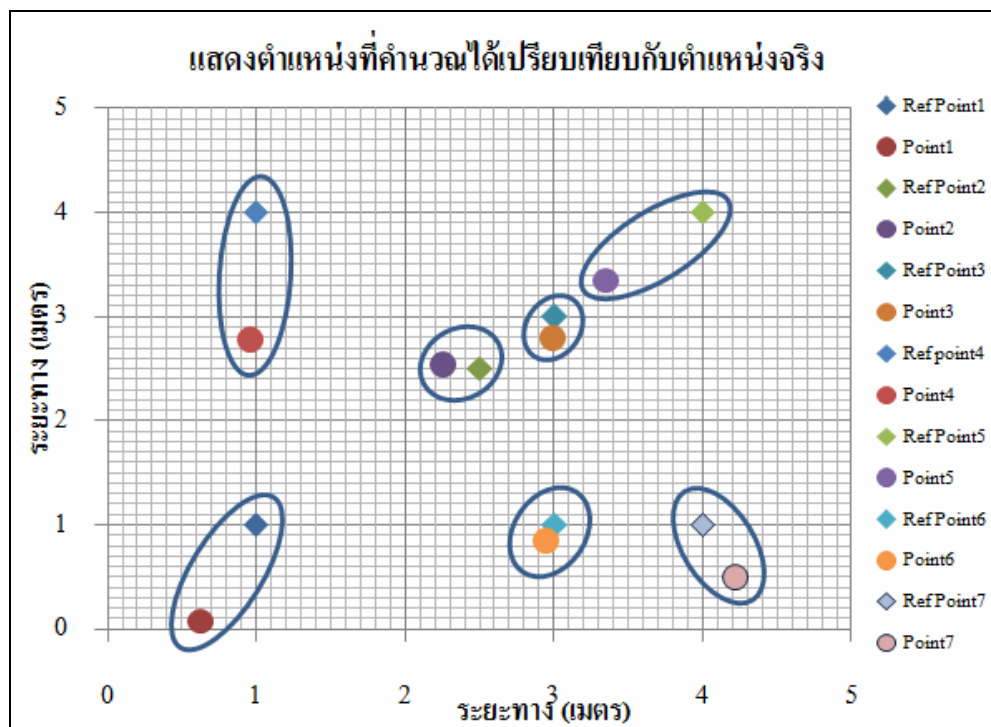


รูปที่ 4.16 แสดงการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุ

สภาพแวดล้อม

- ภายนอกอาคาร ลานกิจกรรมบริเวณด้านข้างสนามเบดมินตัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เหมือนการทดลองที่ 4.1)

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.17 แสดงผลตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าตำแหน่งที่ได้คำนวณกับตำแหน่งจริงมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร แต่ตรงช่วงบริเวณตรงกลางของพื้นที่ตำแหน่งที่คำนวณได้กับกับตำแหน่งจริงมีความใกล้เคียงมาก

4.4 การทดลองเก็บค่า RSSI เพื่อเป็นฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

จุดประสงค์

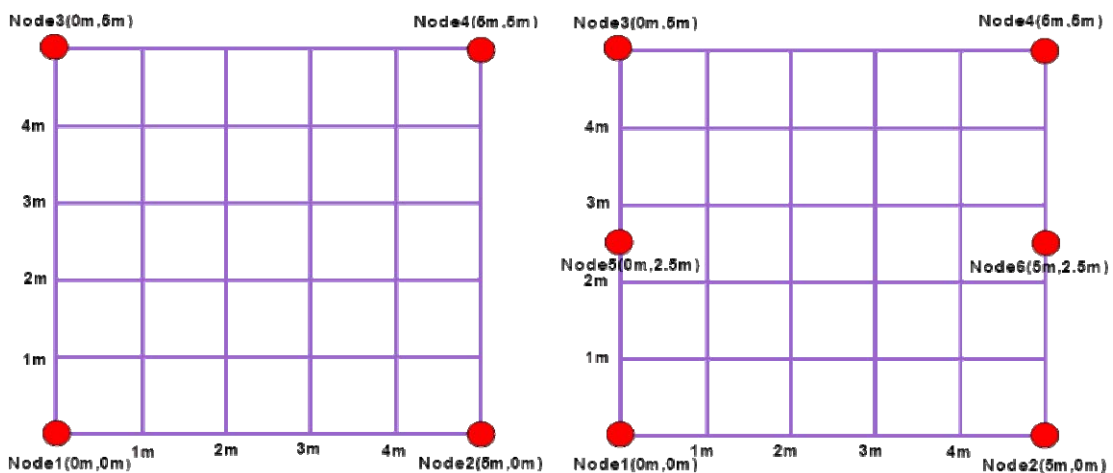
- เก็บค่า RSSI ไว้ใช้เป็นฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์เพื่อนำไปหาดำแหน่งของวัตถุ

อุปกรณ์

- XBee Module 7 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 6 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21x29.7 ซม. 7 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่า RSSI

วิธีการทดลอง

- จัดเตรียมพื้นที่ขนาด 5x5 เมตร โดยใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และตัวรับ 6 ตัว ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.18
- ทำการเก็บค่า RSSI ของตำแหน่งที่ (0,0),(1,0),(2,0),..., (5,5) รวมทั้งหมด 36 ตำแหน่ง โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้โนดอ้างอิง 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ
- ทำตามข้อ 2 จำนวน 10 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที และนำค่า RSSI ทั้ง 10 รอบของแต่ละตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ย แล้วทำการเก็บค่าลงในฐานข้อมูล



รูปที่ 4.18 ภาพจำลองการจัดพื้นที่เพื่อทำการเก็บค่า RSSI

สภาพแวดล้อม

- ภายในอาคาร บริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 12 ตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 สถานที่ในการทดลองภายในอาคาร

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองแล้วจะได้ค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว แสดงดังตารางที่ 4.2 และได้ค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 6 ตัว แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว

ตำแหน่ง	ตัวรับที่ 1 (-dBm)	ตัวรับที่ 2 (-dBm)	ตัวรับที่ 3 (-dBm)	ตัวรับที่ 4 (-dBm)
(0m,0m)	26.0	44.9	47.0	52.0
(1m,0m)	32.5	42.8	47.7	49.9
(2m,0m)	38.3	41.0	48.5	49.7
(3m,0m)	41.3	36.9	48.3	46.8
(4m,0m)	44.3	31.4	50.9	48.9
(5m,0m)	44.2	26.0	26.0	53.2
(0m,1m)	31.2	46.6	45.5	53.2
(1m,1m)	32.3	45.8	45.4	49.3

(2m,1m)	37.0	39.0	47.9	47.6
---------	------	------	------	------

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ตารางแสดงค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว

ตำแหน่ง	ตัวรับที่ 1 (-dBm)	ตัวรับที่ 2 (-dBm)	ตัวรับที่ 3 (-dBm)	ตัวรับที่ 4 (-dBm)
(3m,1m)	40.4	36.1	49.4	46.8
(4m,1m)	44.9	33.6	48.5	45.3
(5m,1m)	48.9	32.1	51.4	44.8
(0m,2m)	35.1	46.4	42.9	48.8
(1m,2m)	34.4	44.3	42.7	48.1
(2m,2m)	39.6	41.1	45.2	45.9
(3m,2m)	40.8	39.5	46.8	43.0
(4m,2m)	44.8	35.2	44.8	42.0
(5m,2m)	49.2	36.3	51.3	39.2
(0m,3m)	39.3	48.2	37.5	47.4
(1m,3m)	38.6	45.3	38.4	45.2
(2m,3m)	40.2	44.3	41.2	44.1
(3m,3m)	41.5	41.2	43.2	41.1
(4m,3m)	46.4	40.3	45.6	37.5
(5m,3m)	50.3	40.3	48.8	36.5
(0m,4m)	41.2	50.4	32.6	48.8
(1m,4m)	42.0	49.3	35.8	45.1
(2m,4m)	42.0	45.0	37.4	42.7
(3m,4m)	44.8	44.5	40.1	38.3
(4m,4m)	47.4	44.5	44.9	35.2
(5m,4m)	48.9	42.7	47.7	31.7
(0m,5m)	47.4	48.7	26.0	48.3
(1m,5m)	46.0	49.2	31.1	44.2
(2m,5m)	46.7	48.6	36.5	41.7
(3m,5m)	48.5	46.9	41.3	37.5
(4m,5m)	48.6	47.6	41.7	33.5
(5m,5m)	49.4	49.0	45.3	26.7

ตารางที่ 4.3 ค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 6 ตัว

ตำแหน่ง	ตัวรับที่ 1 (-dBm)	ตัวรับที่ 2 (-dBm)	ตัวรับที่ 3 (-dBm)	ตัวรับที่ 4 (-dBm)	ตัวรับที่ 5 (-dBm)	ตัวรับที่ 6 (-dBm)
(0m,0m)	26.0	46.1	46.2	55.8	37.3	53.9
(1m,0m)	31.4	41.8	47.6	51.6	40.1	46.9
(2m,0m)	36.4	39.1	48.3	50.1	41.2	43.2
(3m,0m)	40.8	36.3	48.0	47.2	46.0	40.2
(4m,0m)	43.0	31.1	53.5	51.1	49.1	38.6
(5m,0m)	42.7	26.0	53.7	43.9	54.8	34.7
(0m,1m)	31.8	45.7	45.7	53.7	36.8	49.3
(1m,1m)	33.4	45.4	45.0	51	36.9	44.7
(2m,1m)	36.2	39.1	47.7	48.6	40.4	41.1
(3m,1m)	39.9	36.4	48.9	46.2	45.3	37.4
(4m,1m)	45.0	33.6	49.7	45.6	46.9	33.9
(5m,1m)	47.4	31.5	50.6	44.2	50.7	32.2
(0m,2m)	35.1	46.7	41.6	49.6	30.2	46.2
(1m,2m)	34.2	44.8	42.3	48.4	34.9	43.8
(2m,2m)	41.0	42.1	44.2	44.9	38.4	40.4
(3m,2m)	41.2	39.7	46.3	43.0	41.7	35.7
(4m,2m)	44.9	35.1	47.6	41.9	44.8	31.8
(5m,2m)	48.4	34.6	50.6	40.9	47.9	28.1
(0m,3m)	39.6	47.8	37.4	49.1	29.0	46.8
(1m,3m)	39.1	44.6	38.5	45.8	31.8	43.3
(2m,3m)	41.2	44.0	40.7	44.8	35.9	41.4
(3m,3m)	44.1	41.5	43.7	41.8	40.1	36.9
(4m,3m)	46.8	39.5	45.8	38.5	42.5	32.6
(5m,3m)	49.7	39.2	48.4	36.8	44.2	28.8
(0m,4m)	42.4	50.5	32.3	50.4	33.9	48.0
(1m,4m)	43.3	48.1	35.3	45.5	33.9	44.5

(2m,4m)	43.9	45.1	37.2	42.2	38.1	42.5
(3m,4m)	45.4	44.4	40.7	39.0	40.2	39.0

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับ 6 ตัว

ตำแหน่ง	ตัวรับที่ 1 (-dBm)	ตัวรับที่ 2 (-dBm)	ตัวรับที่ 3 (-dBm)	ตัวรับที่ 4 (-dBm)	ตัวรับที่ 5 (-dBm)	ตัวรับที่ 6 (-dBm)
(4m,4m)	48.1	44.0	44.5	36.2	42.4	34.7
(5m,4m)	50.9	44.2	49.0	31.9	47.7	33.6
(0m,5m)	47.2	50.8	26.0	49.0	37.8	49.1
(1m,5m)	47.3	49.9	31.3	44.2	36.6	47.4
(2m,5m)	48.3	49.7	36.9	42.1	40.1	43.1
(3m,5m)	47.5	45.0	41.2	38.8	42.2	41.7
(4m,5m)	49.3	47.1	42.9	33.8	44.7	37.1
(5m,5m)	50.7	46.7	45.8	27.0	47.1	37.5

4.5 การทดลองเก็บค่า RSSI ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอาคาร

จุดประสงค์

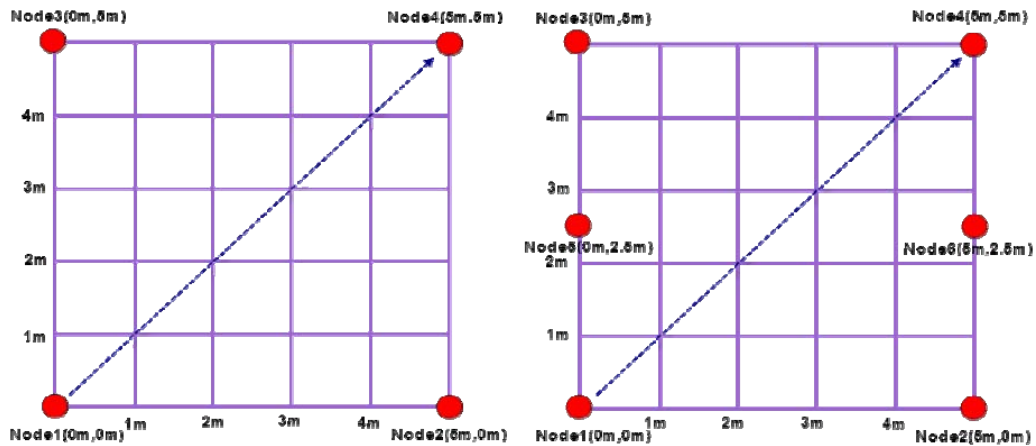
- เก็บค่า RSSI ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในพื้นที่การทดลอง เพื่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งของอัลกอริทึมการหาตำแหน่งต่าง ๆ

อุปกรณ์

- XBee Module 7 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 6 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21×29.7 ซม. 7 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่า RSSI

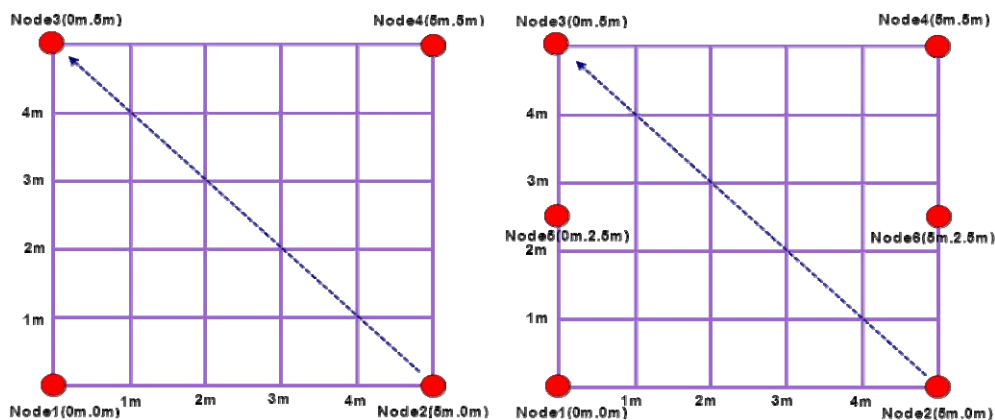
วิธีการทดลอง

- จัดเตรียมพื้นที่ขนาด 5×5 เมตร โดยใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และ ตัวรับ 6 ตัว ตามลำดับ (เหมือนการทดลองที่ 4.4)
- ทำการเก็บค่า RSSI แต่ละตำแหน่งตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือ(จุด0m,0m) ถึงมุมด้านบนขวามือ(จุด 5m,5m) แสดงดังรูปที่ 4.20 โดยมีความห่างแต่ละตำแหน่งเป็น (0m,0m), (0.33m,0.33m), (0.66m,0.66m), (1m,1m), ... , (5m,5m) ทำแบบนี้ทั้งสิ้น 5 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ



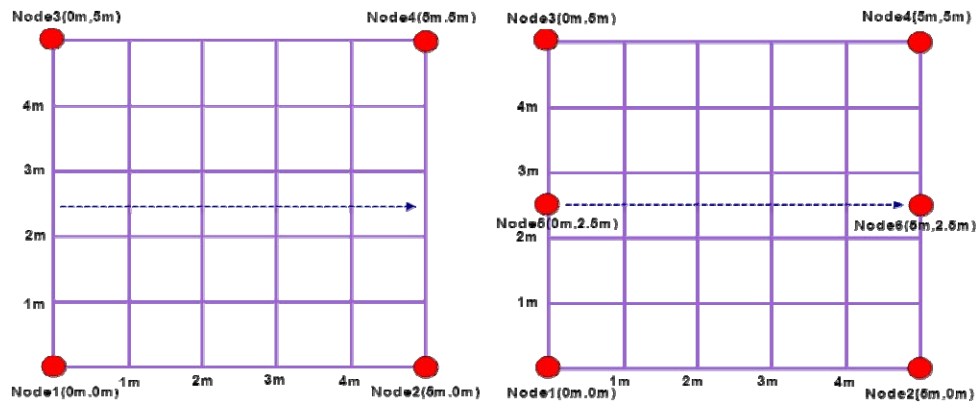
รูปที่ 4.20 ภาพจำลองการเก็บค่า RSSI ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึง มุมด้านบนขวามือ

- ทำการเก็บค่า RSSI แต่ละตำแหน่งตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือ(จุด5m,0m) ถึงมุมด้านบนซ้ายมือ(จุด 0m,5m) แสดงดังรูปที่ 4.21 โดยมีความห่างแต่ละตำแหน่งเป็น (5m,0m), (4.66m,0.33m), (4.33m,0.66m), (4m,1m), ... , (0m,5m) ทำแบบนี้ทั้งสิ้น 5 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ



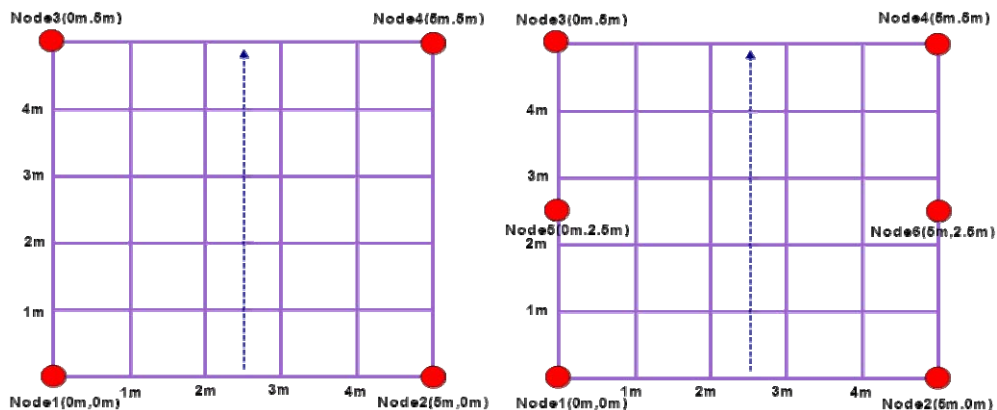
รูปที่ 4.21 ภาพจำลองการเก็บค่า RSSI ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึง มุมด้านบนซ้ายมือ

- ทำการเก็บค่า RSSI แต่ละตำแหน่งตามแนวนอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง จากตำแหน่ง (0m,2.5m), (0.25m,2.5m), (0.5m,2.5m), (0.75m,2.5m), (1m,2.5m), ..., (5m,2.5m) แสดงดังรูปที่ 4.22 ทำแบบนี้ทั้งสิ้น 5 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ



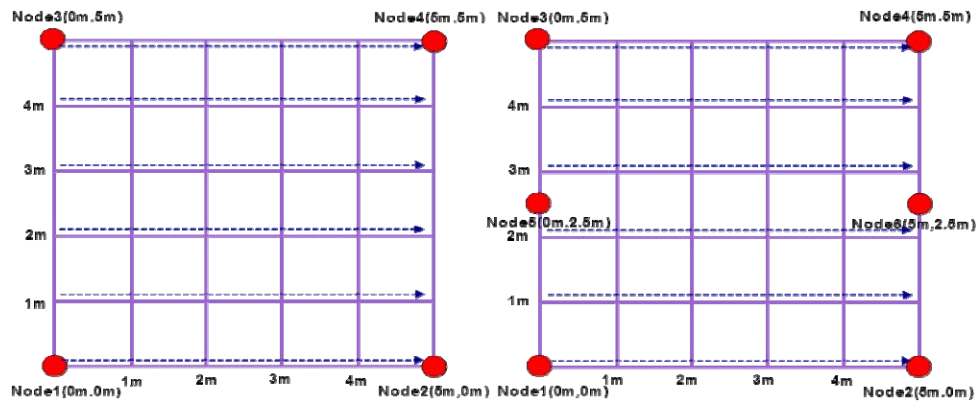
รูปที่ 4.22 ภาพจำลองการเก็บค่า RSSI ตามแนวนอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง

- ทำการเก็บค่า RSSI แต่ละตำแหน่งตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง จาก ตำแหน่ง (2.5m,0m), (2.5m,0.25m), (2.5m,0.5m), (2.5m,0.75m), (2.5m,1m), ..., (2.5m,5m) แสดงดังรูปที่ 4.23 ทำแบบนี้ทั้งสิ้น 5 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 ภาพจำลองการเก็บค่า RSSI ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง

- ทำการเก็บค่า RSSI ของตำแหน่งที่ (0,0), (1,0), (2,0), ..., (5,5) ของพื้นที่ทดลอง รวมทั้งหมด 36 ตำแหน่ง แสดงดังรูป 4.24 ทำแบบนี้ทั้งสิ้น 5 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที โดยเก็บค่า RSSI ทั้งที่ใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 ภาพจำลองการเก็บค่า RSSI ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ของพื้นที่ทดลอง

สภาพแวดล้อม

- ภายในอาคาร บริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 12 ตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เหมือนการทดลองที่ 4.4)

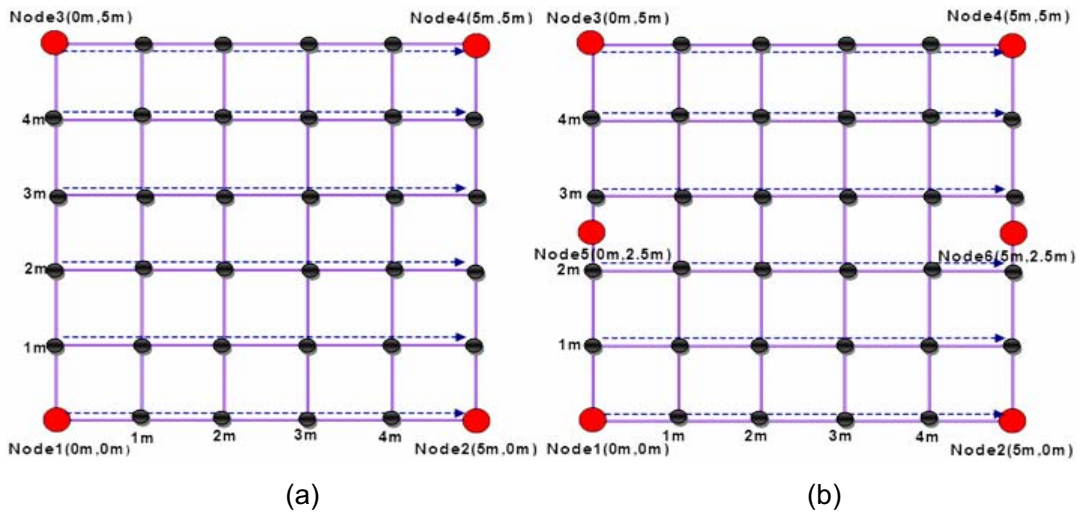
ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองแล้วจะได้ค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งทั้งหมด 5 รูปแบบ แต่ละรูปแบบมีทั้งหมด 5 ครั้ง ที่ใช้ตัวรับ 4 ตัวและ 6 ตัว

4.6 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุ และเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละเทคนิค เมื่อวัตถุหยุดนิ่ง

จุดประสงค์

- หาดำแหน่งของวัตถุโดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood และเทคนิค Min Max และเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยจะทำการหาดำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่งจากตำแหน่งทดสอบทั้งหมด 16 ตำแหน่ง โดยในที่นี้ได้ยกตัวอย่างการหาดำแหน่งของวัตถุเมื่อวางตัวในแนวแท่งตามรูปที่ 4.20 และตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลองดังรูปที่ 4.23 (รูปที่ 4.25 แสดงตำแหน่งของฟิงเกอร์ปริ้นต์ที่เก็บค่า RSSI ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง)



รูปที่ 4.25 ตำแหน่งฟังก์ชันปริพันธ์ 36 ตำแหน่ง (a) กรณีใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ (b) กรณีใช้โนดอ้างอิง 6 โหนด

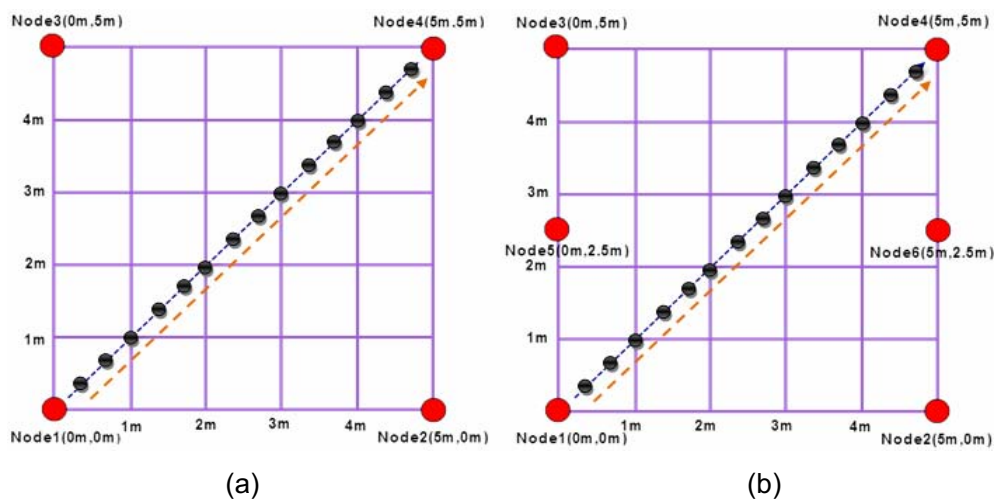
- เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละเทคนิค

สมมติฐาน

- ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุที่ใช้เทคนิคฟังก์ชันปริพันธ์ จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือเทคนิค Min Max และเทคนิค Maximum Likelihood จะมีค่ามากที่สุด

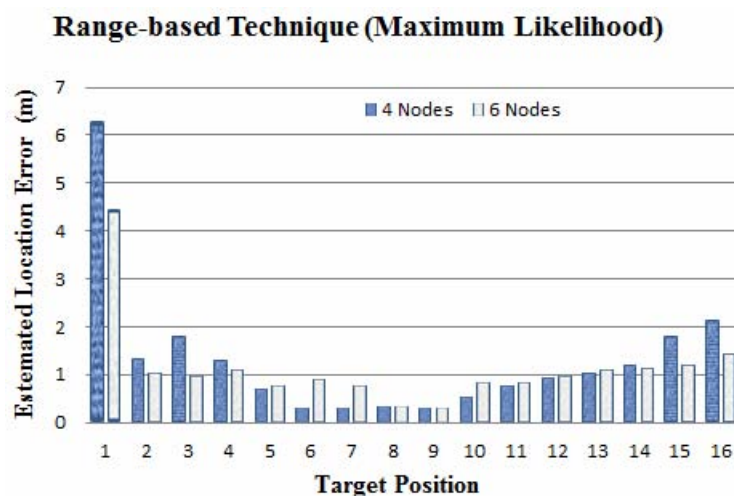
ผลการทดลอง

- กรณีตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ ดังรูปที่ 4.26



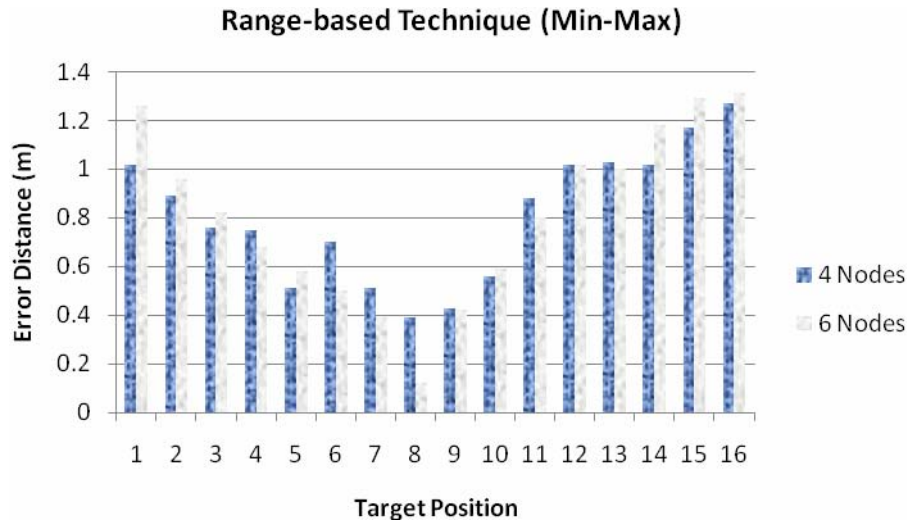
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ (a) กรณีใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ (b) กรณีใช้โนดอ้างอิง 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Maximum Likelihood ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.27 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



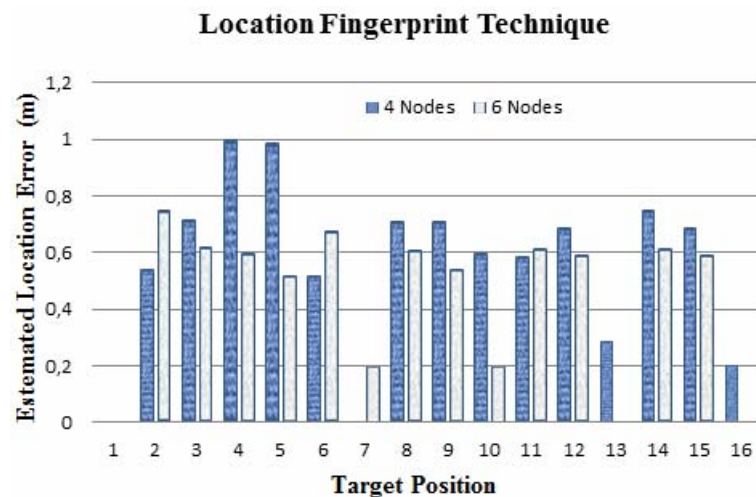
รูปที่ 4.27 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood โดยเปรียบเทียบผลจากกรณีใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Min-Max ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.28 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



รูปที่ 4.28 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิค Min-Max โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

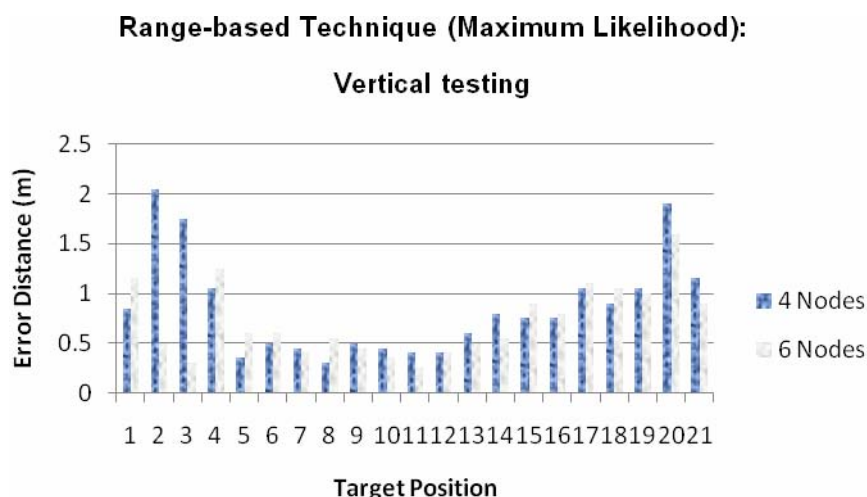
- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.29 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



รูปที่ 4.29 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

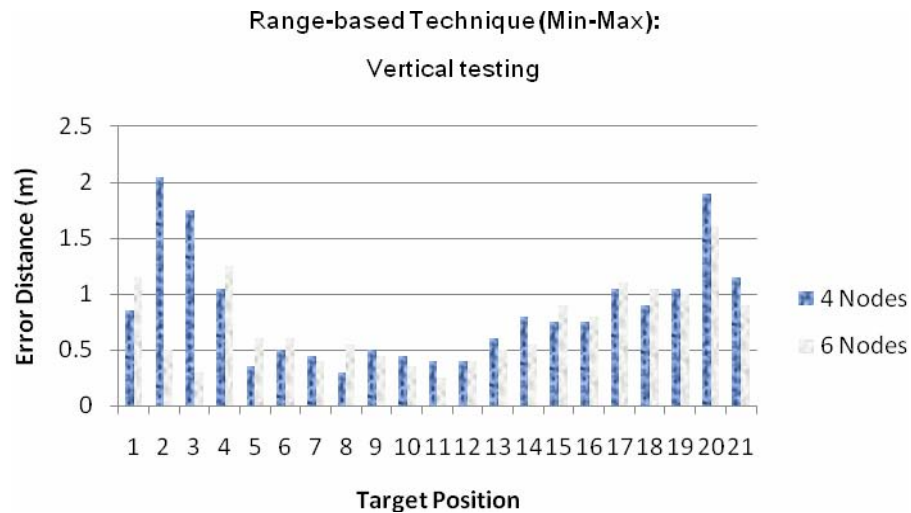
กรณีตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Maximum Likelihood ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.30 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ



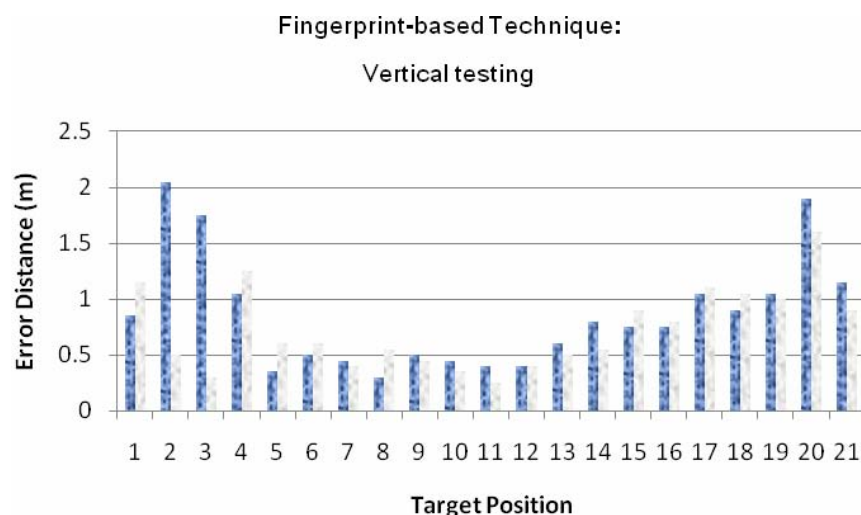
รูปที่ 4.30 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิค Min-Max ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.31 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง



รูปที่ 4.31 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิค Min-Max โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

- ผลการทดลองจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟingerprint ของทุกๆ ตำแหน่งทดสอบ 21 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบผลการตำแหน่งของเป้าหมายเมื่อใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 6 โหนด แสดงดังรูปที่ 4.32 เมื่อตำแหน่งทดสอบอยู่ในตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง



รูปที่ 4.32 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 21 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง โดยใช้เทคนิคฟingerprint โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

4.7 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุของแต่ละอัลกอริทึม แบบเคลื่อนที่ในอาคาร

จุดประสงค์

- ดูแนวโน้มการเคลื่อนที่ของวัตถุที่คำนวณได้กับการเคลื่อนที่จริง

อุปกรณ์

- XBee Module 7 ตัว (ตัวส่ง 1 ตัว , ตัวรับ 6 ตัว)
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- กล่อง ขนาด 21×29.7 ซม. 7 กล่อง
- โปรแกรมใช้ในการหาค่าตำแหน่งของวัตถุ

วิธีการทดลอง

- จัดเตรียมพื้นที่ขนาด 5×5 เมตร โดยใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และ ตัวรับ 6 ตัว ตามลำดับ (เหมือนการทดลองที่ 4.4)
- ใช้โปรแกรมหาตำแหน่งของวัตถุ แสดงในหัวข้อที่ 3 หาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวการเคลื่อนที่ 4 แบบ เหมือนการทดลองที่ 4.5 แสดงดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.23
- ทำตามข้อ 2 โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min-Max และเทคนิค ฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยทั้งหมดใช้ตัวรับทั้ง 4 ตัว และ 6 ตัว

สภาพแวดล้อม

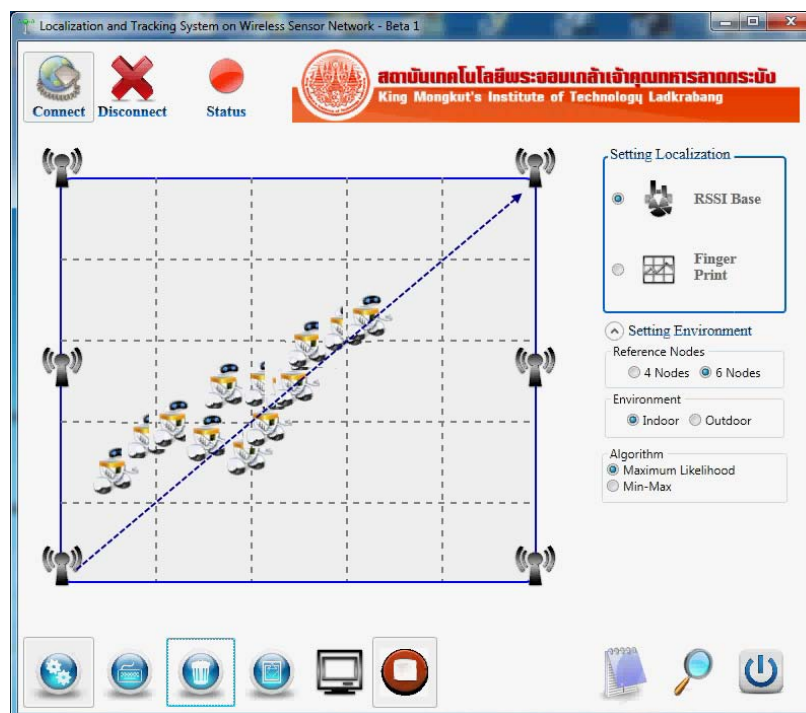
- ภายในอาคาร บริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 12 ตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เหมือนการทดลองที่ 4.4)

ผลการทดลอง

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิค Maximum Likelihood โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.34 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิค Maximum Likelihood โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 ตามลำดับ



รูปที่ 4.35 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.36 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิค Min-Maxโดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.38 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิค Min-Max โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 ตามลำดับ

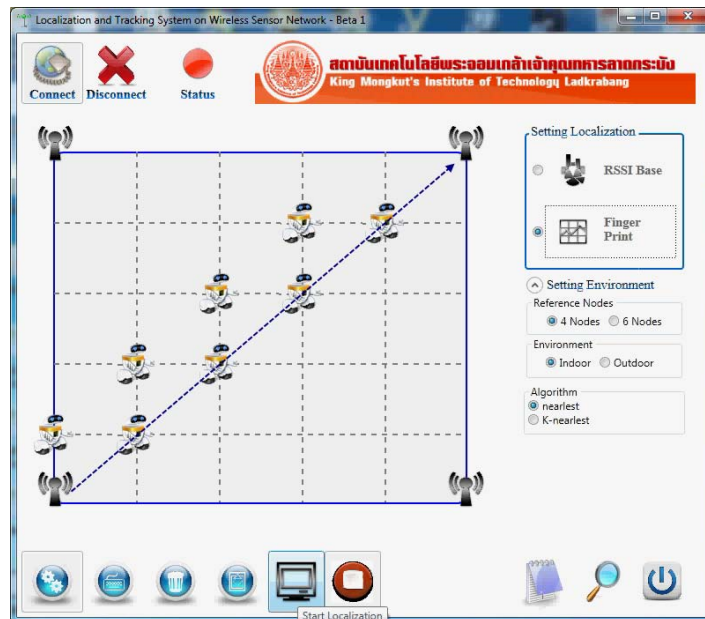


รูปที่ 4.39 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว

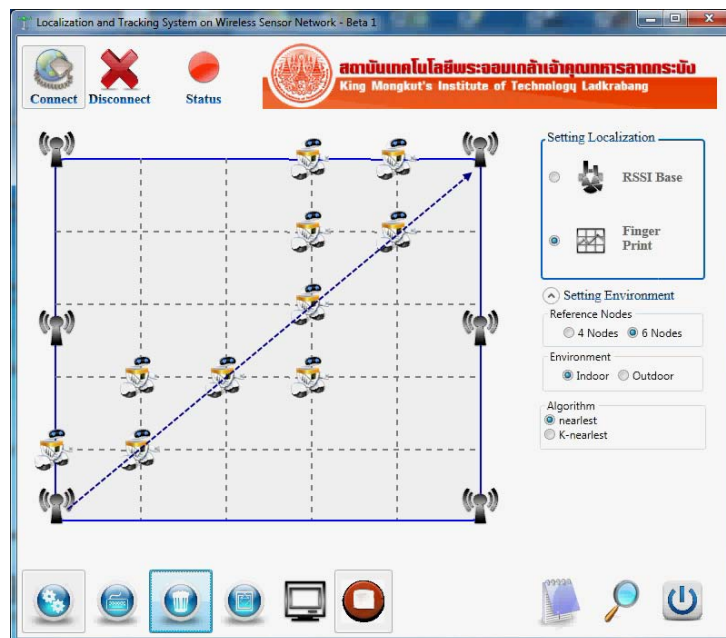


รูปที่ 4.40 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Min-Max ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลองด้วยเทคนิคฟingerprint โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.42 ตามลำดับ

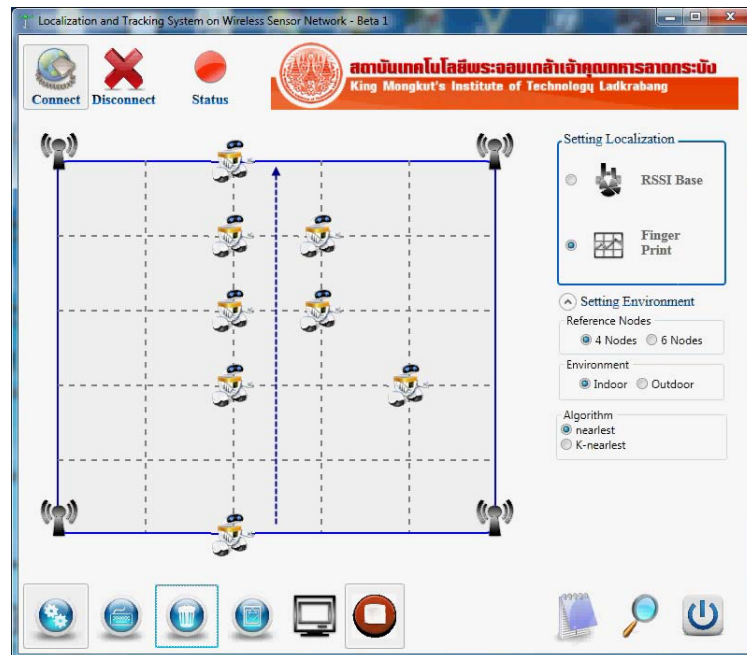


รูปที่ 4.41 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm แบบ Nearest ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว

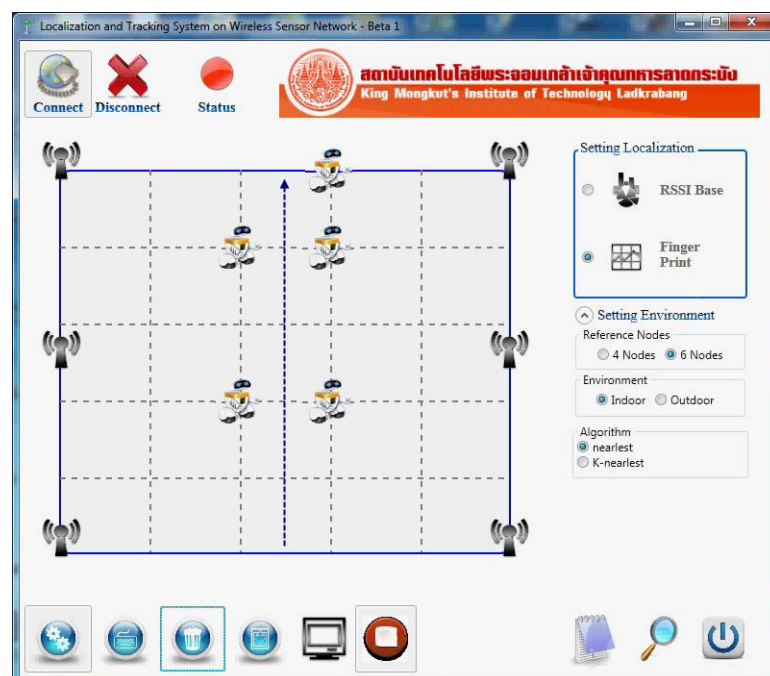


รูปที่ 4.42 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm แบบ Nearest ตามแนว มุมด้านล่างซ้ายมือ ถึง มุมด้านบนขวามือ ของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

-ผลการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง ด้วยเทคนิคฟingerprint โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว และ 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.43 และรูปที่ 4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.43 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 4 ตัว



รูปที่ 4.44 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้ Fingerprint Algorithm ตามแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของเป้าหมายจากเทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min-Max และเทคนิคฟingerprint

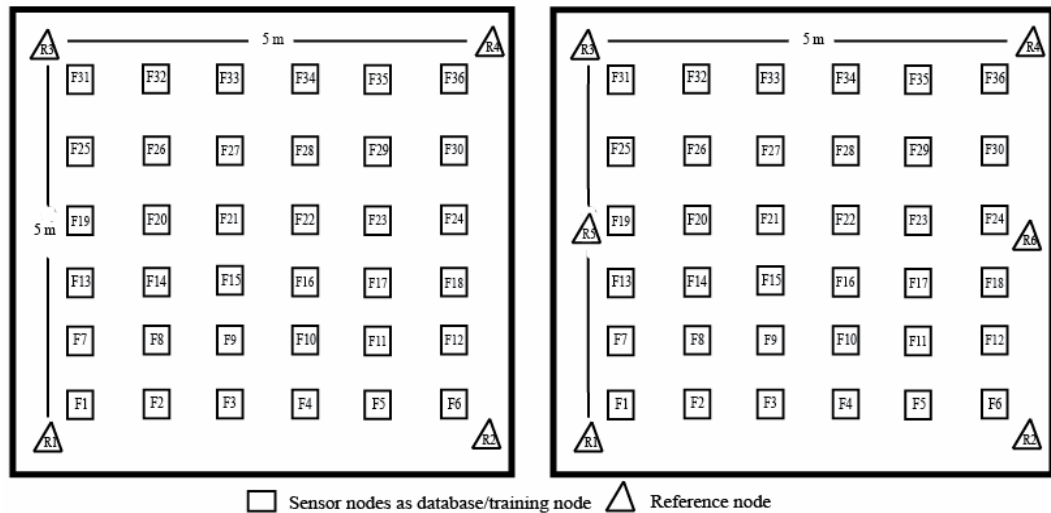
Localization Technique	Estimated Location Error (m)	
	4 Nodes	6 Nodes
Maximum Likelihood	1.31	1.12
Min-Max	0.80	0.80
Fingerprint	0.56	0.44

จากตารางจะพบว่า การหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วยเทคนิคฟingerprint จะมีความผิดพลาดในการหาตำแหน่งน้อยที่สุด และด้วยเทคนิค Min-Max และเทคนิค Maximum Likelihood จะมีความผิดพลาดรองลงมาตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และสรุปได้ว่าเทคนิคที่มีความซับซ้อนมากกว่า จะให้ความถูกต้องแม่นยำมากกว่า

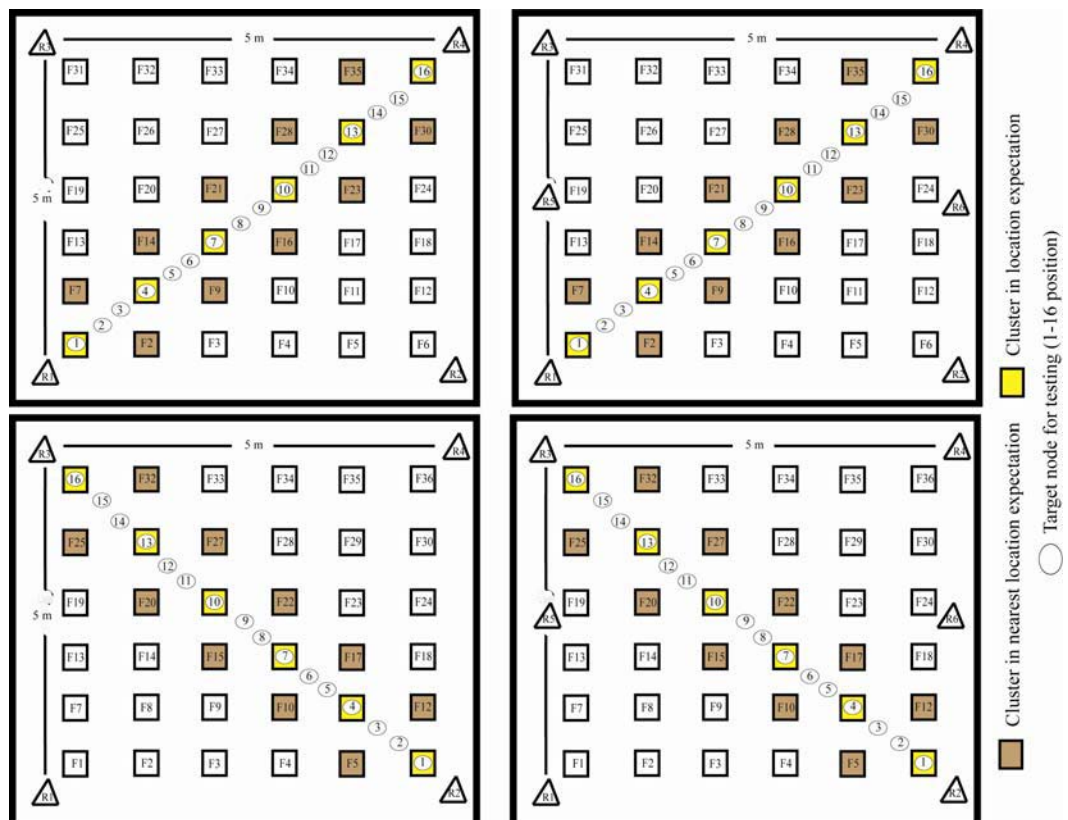
4.8 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุ ด้วยเทคนิคฟingerprint เมื่อใช้วิธีการแบ่งกลุ่ม FCM

จุดประสงค์

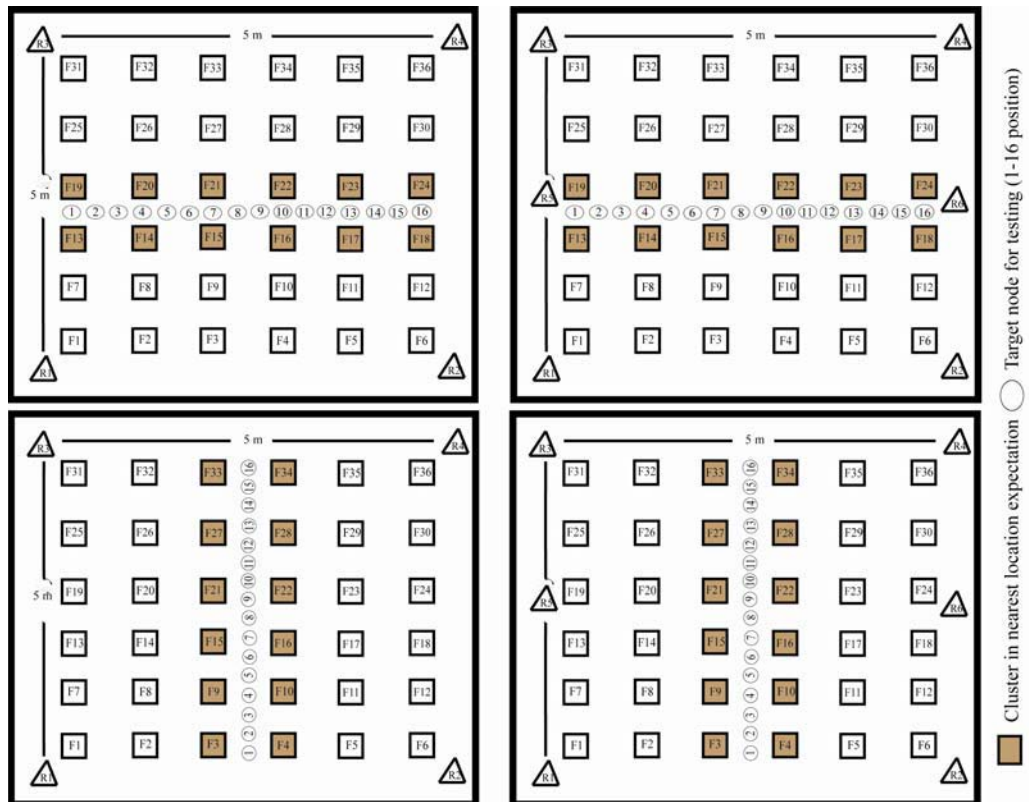
- ประเมินผลเทคนิคที่ได้นำเสนอขึ้นมา ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มฟingerprint ด้วยวิธี FCM โดยการกำหนดตำแหน่งฟingerprint และตำแหน่งของโน้ดอ้างอิง แสดงได้ดังรูปที่ 4.45
 - หาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้เทคนิคดังกล่าว โดยจะทำการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่งจากตำแหน่งทดสอบทั้งหมด 16 ตำแหน่ง ในแนว 4 ทิศทาง ดังนี้
 - แนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึง มุมด้านบนขวามือ
 - แนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึง มุมด้านบนซ้ายมือ
 - แนวนอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง
 - แนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง
- โดยภาพจำลองแต่ละแนวการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.46 ถึงรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.45 ตำแหน่งฟังก์ชันปริพันธ์และตำแหน่งของโน้ตอ้างอิง (รูปซ้าย สำหรับกรณี 4 โหนด และรูปขวา กรณี 6 โหนด)



รูปที่ 4.46 ตำแหน่งฟังก์ชันปริพันธ์และตำแหน่งของโน้ตอ้างอิง (สองรูปด้านบน สำหรับกรณี แนวทางของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึง มุมด้านบนขวามือ และสองรูปด้านล่าง สำหรับกรณีแนวทางของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึง มุมด้านบนซ้ายมือ)



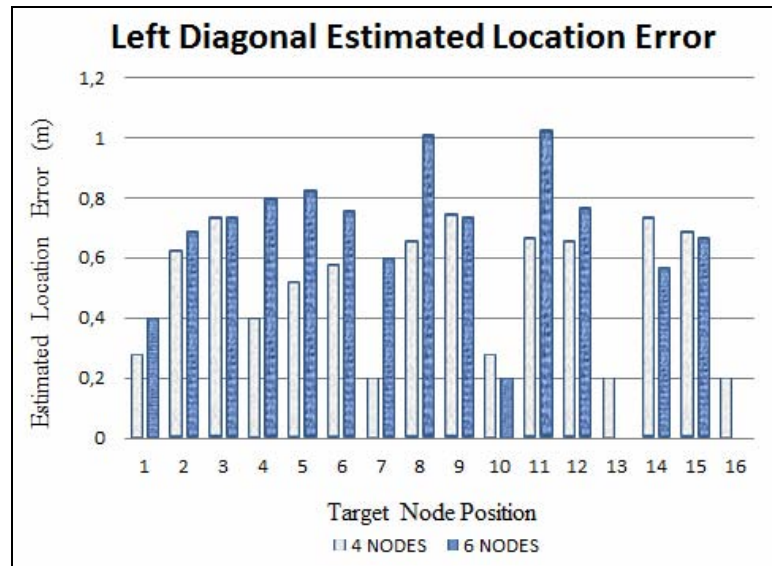
รูปที่ 4.47 ตำแหน่งฟังก์เกอร์ปริ้นต์และตำแหน่งของโนดอ้างอิง (สองรูปด้านบน สำหรับกรณีแนวอนกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง และสองรูปด้านล่าง สำหรับกรณีแนวตั้งกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง)

สมมุติฐาน

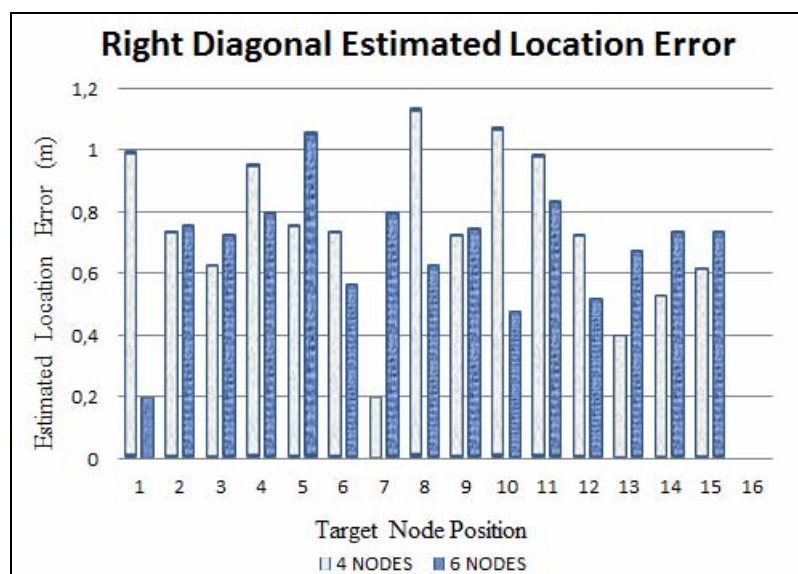
- ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุที่ใช้เทคนิคฟังก์เกอร์ปริ้นต์แบบใช้วิธี FCM จะมีค่าน้อยกว่าแบบที่ไม่ใช้วิธี FCM

ผลการทดลอง ในกรณีวัตถุเป้าหมายหยุดนิ่ง โดยทำการทดสอบ 16 ตำแหน่งทดสอบ โดยประยุกต์ใช้วิธี FCM กับเทคนิคฟังก์เกอร์ปริ้นต์

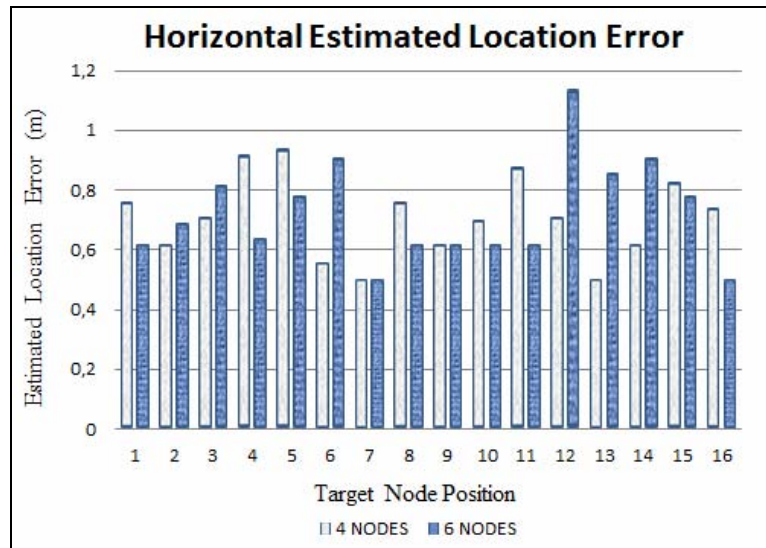
ในที่นี้ กำหนดให้จำนวนของกลุ่ม (C) เท่ากับ 10 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขคือ $1 \leq C \leq M$ ในขณะที่ $M = 37$ (36 ตำแหน่งของฟังก์เกอร์ปริ้นต์และ 1 ตำแหน่งของเป้าหมาย)



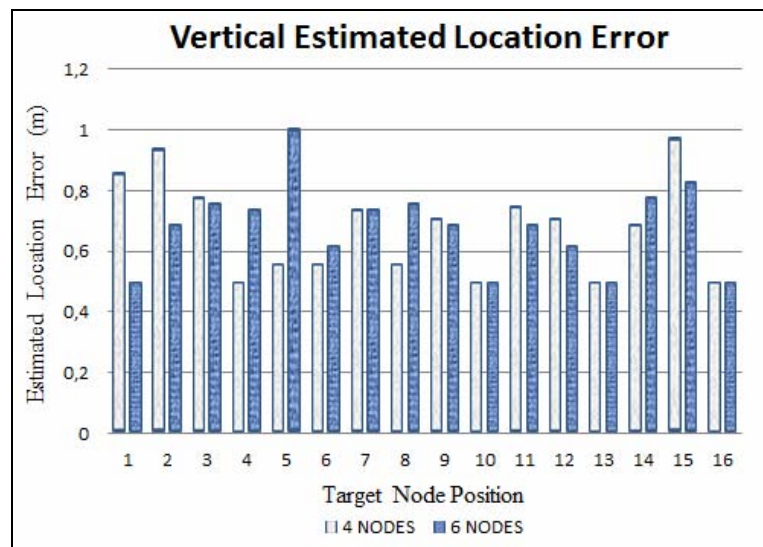
รูปที่ 4.48 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.49 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.50 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรินต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด



รูปที่ 4.51 ผลการประมาณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย 16 ตำแหน่งทดสอบ ตามแนวทแยงของพื้นที่ทดลอง จากมุมด้านล่างขวามือถึงมุมด้านบนซ้ายมือ โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรินต์ร่วมกับวิธี FCM โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนด และ 6 โหนด

จากผลการทดลองตั้งแต่รูปที่ 4.48 ถึงรูปที่ 4.51 พบว่าความผิดพลาดจะเกิดขึ้นมากที่บริเวณช่วงกลางของบริเวณที่ทดสอบ และจะมีค่าน้อยกว่าที่บริเวณขอบของบริเวณที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากตำแหน่งทดสอบ 16 ตำแหน่งพบว่าค่าความ

ผิดพลาดน้อยประมาณ 0.6 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ เมื่อไม่ได้ใช้วิธี FCM ร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์เมื่อมีการใช้วิธี FCM ร่วมด้วย จะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลลดลง เนื่องจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายจะหาจากกลุ่มของฟิงเกอร์ปริ้นต์เท่านั้น ไม่ได้หาจากฟิงเกอร์ปริ้นต์ทั้งหมดในฐานข้อมูล นอกจากนี้วิธีการนี้จะทำให้การใช้งานกำลังงานของโน้ตลดลงอีกด้วย

4.9 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของระบบ ทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์ การเชื่อมต่อและการใช้งาน Graphic User Interface รวมไปถึงแนวทางและวิธีการทดลองการระบุตำแหน่งทั้งในแบบหยุดนิ่งและแบบเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งด้วยเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทางและเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นต์

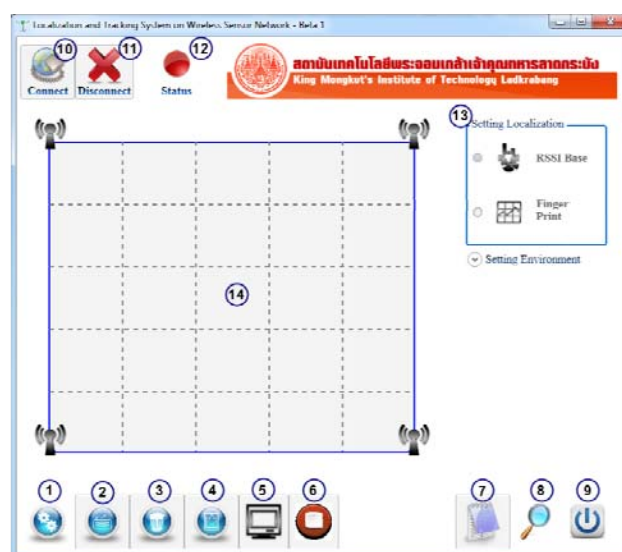
5. บทวิจารณ์และสรุปผลงานวิจัย

หัวข้อนี้เป็นการนำเสนอบทวิจารณ์และสรุปผลงานวิจัย รวมถึงจะได้กล่าวถึงแนวทางการดำเนินงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่เหมาะสมในการหาตำแหน่งของเป้าหมายในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานเทคโนโลยี ZigBee โดยใช้พารามิเตอร์ RSSI ในการหาตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเทคนิคในการหาตำแหน่งหลากหลายเทคนิคซึ่งเป็นวิธีพื้นฐาน และพบว่าการหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยเฉพาะในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารนั้น เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์จะให้ความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด อย่างไรก็ตามเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์นี้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนและใช้พลังงานมากกว่าเทคนิคอื่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้การแบ่งกลุ่มด้วยวิธี Fuzzy C-Means (FCM) มาร่วมกับเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความซับซ้อนและการใช้พลังงานที่น้อยลง

5.1 บทวิจารณ์ผลงานวิจัย

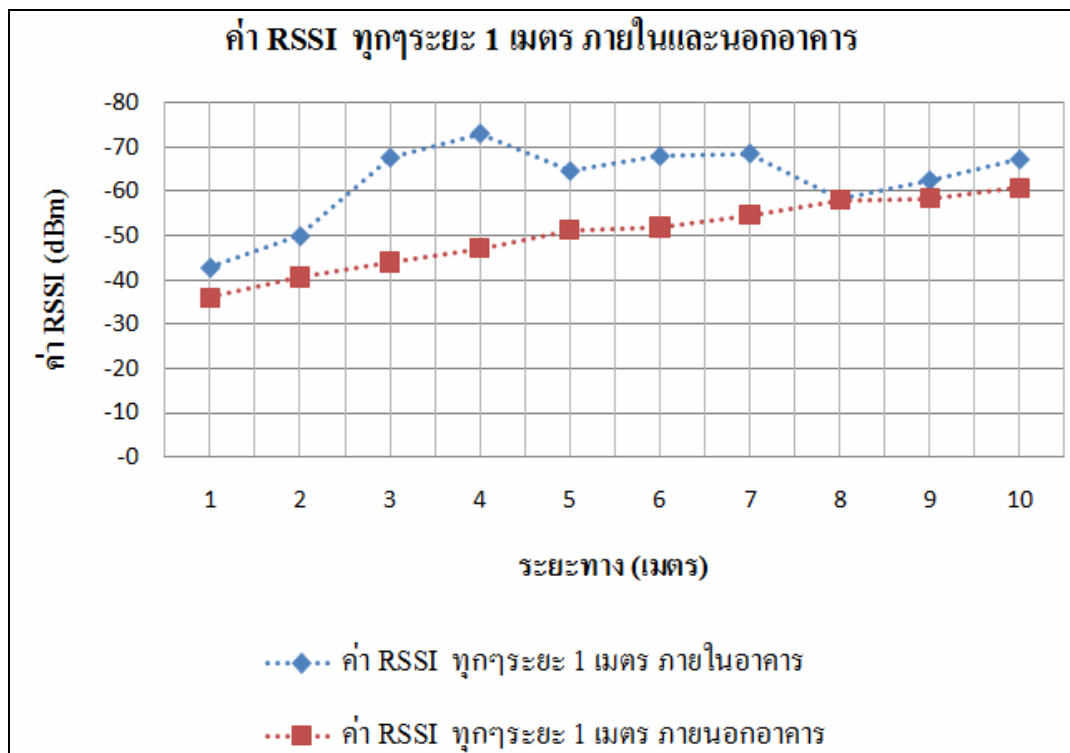
จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3 เรื่องการออกแบบและวิธีการทดลองว่าผู้วิจัยได้ต้องการสร้างระบบต้นแบบในการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานเทคโนโลยี ZigBee โดยเริ่มจากการนำเทคนิคพื้นฐานมาใช้ จากนั้นจึงได้พัฒนาต่อเพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำที่มากขึ้น เทคนิคพื้นฐานในการหาตำแหน่งจะแบ่งเป็น 2 เทคนิคหลักคือเทคนิคที่ใช้พื้นฐานการหาระยะทางและเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ นอกจากนี้ยังได้ทดลองพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้งานเพื่อเลือกแสดงผลการหาตำแหน่งจากเทคนิคต่าง ๆ และในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.1 (รายละเอียดของการใช้งาน อ้างอิงจากหัวข้อที่ 3.2.2.1)



รูปที่ 5.1 หน้าของโปรแกรมก่อนการเชื่อมต่อ

จากหัวข้อที่ 4 ได้เสนอการทดลองและแสดงผลการทดลอง โดยสรุปการทดลองหลักๆ และผลการทดลองดังนี้

- ทดสอบอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย โมดูล XBee ในการรับส่งข้อมูลค่า RSSI ซึ่งทำการทดสอบทั้งภายในและภายนอกอาคาร จากการทดสอบพบว่า XBee สามารถรับส่งค่า RSSI ได้ และสอดคล้องกับทางทฤษฎีที่ว่าเมื่อระยะห่างระหว่าง XBee มากขึ้น ค่า RSSI ที่รับได้จะลดลง และเมื่อเปรียบเทียบจากสภาวะแวดล้อมภายนอกและภายในอาคาร พบว่าค่าของ RSSI จะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเซนเซอร์มากขึ้น สำหรับสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ตามระยะทางสำหรับจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (แสดงได้ดังรูปที่ 5.2) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร จะมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่นมาก จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์คลื่นสะท้อน หักเห เลี้ยวเบน และเกิดปรากฏการณ์มัลติพาธขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลกระทบอย่างมากต่อการแพร่กระจายของคลื่น



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่า RSSI ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

- ทดสอบการหาตำแหน่งของวัตถุ และเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละเทคนิค เมื่อวัตถุหยุดนิ่ง โดยในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้ 3 เทคนิค ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคนิคที่ใช้พื้นฐานการหาระยะทาง 2 เทคนิคคือ

O เทคนิค Maximum Likelihood และ

O เทคนิค Min Max

และอีกเทคนิคหนึ่งคือเทคนิคฟingerprint

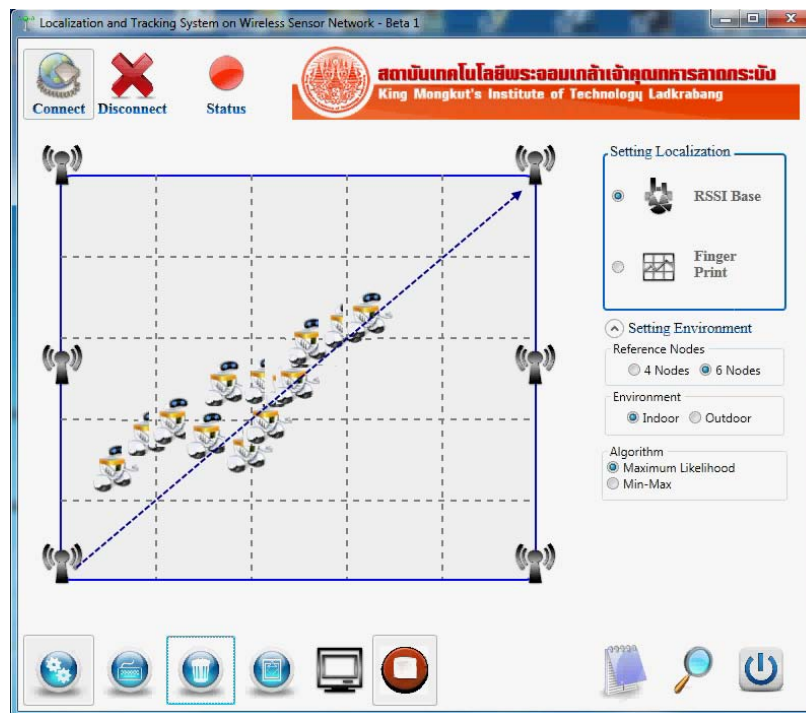
โดยทำการทดลองในหลายๆ รูปแบบการสุ่มตำแหน่งทดสอบ และสรุปผลค่าความผิดพลาดในการหาตำแหน่งได้ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งจะพบว่าเทคนิคฟingerprintในการหาตำแหน่ง จะมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคฟingerprintจะมีความซับซ้อนและใช้พลังงานมากกว่า 2 เทคนิคที่เหลือ

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่งจากเทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min-Max และเทคนิคฟingerprint

Localization Technique	Estimated Location Error (m)	
	4 Nodes	6 Nodes
Maximum Likelihood	1.31	1.12
Min-Max	0.80	0.80
Fingerprint	0.56	0.44

- ทดสอบการหาตำแหน่งของวัตถุหยุดนิ่งด้วยเทคนิคฟingerprintเมื่อใช้วิธีการแบ่งกลุ่ม FCM ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคฟingerprintเมื่อไม่ได้ใช้วิธี FCM ร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตาม**ผู้วิจัยพบว่าเทคนิคฟingerprint เมื่อมีการใช้วิธี FCM ร่วมด้วย จะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลลดลงและใช้พลังงานน้อยลง** เนื่องจากการหาตำแหน่งของเป้าหมายจะหาจากกลุ่มของฟingerprintเท่านั้น ไม่ได้หาจากฟingerprintทั้งหมดในฐานข้อมูล

- ทดสอบการหาตำแหน่งของวัตถุแบบเคลื่อนที่ ด้วยเทคนิค Maximum Likelihood เทคนิค Min Max และเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ และทดสอบการแสดงผลผ่าน GUI ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยรูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการแสดงผลตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายแบบเคลื่อนที่เมื่อใช้เทคนิค Maximum Likelihood โดยให้วัตถุเคลื่อนที่จากแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลอง โดยในที่นี้ใช้หนดอ้างอิง 6 โหนด จากรูปจะพบว่า GUI สามารถแสดงตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายได้แบบ real time ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถติดตามตำแหน่งของวัตถุได้ตลอดเวลา



รูปที่ 5.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยใช้เทคนิค Maximum Likelihood ตามแนวมุมด้านล่างซ้ายมือถึงมุมด้านบนขวามือของพื้นที่การทดลอง โดยใช้ตัวรับ 6 ตัว

5.2 สรุปผลงานวิจัย

โครงการวิจัย นี้เป็นการนำเสนอระบบและวิธีการใหม่ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานเทคโนโลยี ZigBee โดยเป็นไปตามเป้าหมายหลักคือ พัฒนาระบบและวิธีการในการหาตำแหน่งของเป้าหมาย ที่สามารถหาตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยอยู่บนพื้นฐานของความง่ายในการพัฒนาระบบ ความไม่ซับซ้อนของอัลกอริทึมในการหาตำแหน่ง และต้นทุน (ทั้งด้านค่าใช้จ่าย และเวลา) ต่ำ ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้ สามารถเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาระบบและวิธีการที่ซับซ้อนขึ้น เพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งที่ดีขึ้นได้

5.3 แนวทางการดำเนินงานวิจัยในอนาคต

1. พัฒนาอัลกอริทึมให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และให้มีความซับซ้อนและต้นทุนน้อยลง
2. ทำการทดสอบการหาตำแหน่งในสถานที่ใช้งานจริง
3. พัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ เพื่อการประยุกต์ที่หลากหลาย เช่นสร้างอุปกรณ์พกพาในการหาและติดตามตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายแบบพกพาได้ หรือนำไปติดกับหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการกู้ภัยได้ เป็นต้น

- [1] พนารัตน์ เขิญถนอมวงศ์, “โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เทคโนโลยีเพื่อปัจจุบันและอนาคต”, วารสาร Engineering Today, ปีที่ 10, ฉบับที่ 109, มกราคม พ.ศ. 2555, หน้า 51 – 54.
- [2] สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์, เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย,
Available : <http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/WSN/index.php>
- [3] ThaiEasyElec.com, ตอน ZigBee คืออะไร,
Available : <http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/ZigBee/index.php>
- [4] The ZigBee Alliance, ZigBee Specification, 29 July 2007,
Available : <http://www.ZigBee.org>
- [5] พงษ์ศักดิ์ กীরติวินทกร, เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้,
Available : <http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth/index.php>
- [6] ThaiEasyElec.com, ZigBee and XBee BASIC ตอน XBee คืออะไร,
Available : <http://www.thaieasyelec.com/Embedded-Electronics-Application/what-is-XBee.html>
- [7] พนารัตน์ เขิญถนอมวงศ์, “เทคโนโลยี RFID กับเทคนิคการหาตำแหน่งของเป้าหมาย”, วารสาร EC, ปีที่ 10, ฉบับที่ 58, พฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2554, หน้า 51 – 58.
- [8] The XBee/XBee-PRO/S2B ZB Manual, Digi International Cooperation, 2010
- [9] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, and E. W. Cayirci, A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, August 2002.
- [10] D. C. Hoang, R. Kumar, and S. K. Panda, Fuzzy C-Means Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks. Bari, Italy: IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE-2010), 2010.
- [11] J. J. Caffery and G. L. Stuber, Overview of Radiolocation in CDMA Cellular System. IEEE Communications Magazine, Vol. 36, no. 4, pp.38-45, April 1998.
- [12] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, Position Location using Wireless Communications on Highways of the Future. IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 10, pp. 33-41, October 1996.
- [13] G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K. J. R. Liu, Signal Processing Techniques in Network Aided Positioning. IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, no. 4, pp. 12-23, July 2005.
- [14] H. Tsuji, Experiential Evaluation of Indoor and Outdoor Radio Source Localization using Array Antennas. IEICE Trans. Commun. (Japanese Edition), Vol. J90-B, no. 9, pp. 784-796, September 2007.

- [15]P. Cherntanomwong, J. Takada, and H. Tsuji, Signal Subspace Interpolation from Discrete Measurement Samples in Constructing a Database for Location Fingerprint Technique. IEICE Trans. Commun., Vol. E92-B, no. 9, pp. 2922-2930, September 2009.
- [16]M. A. Egan, Locating Clusters in Noisy Data: A Genetic Fuzzy C-Means Clustering Algorithm. Proceeding of the 1998 Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. IEEE, pp. 178-182, 1998.
- [17]W. Wang, Y. Zhang, Y. Li, and X. Zhang, The Global Fuzzy C-Means Clustering Algorithm. Dalan, China: Proceeding of the 6th Congress on Intelligent Control and Automation. 2006.
- [18]M. Sayadi, L. Tlig, and F. Fnaiech, A New Texture Segmentation Method Based on the Fuzzy C-Means Algorithm and statistical Features. Applied Mathematical Sciences, vol.1, no.60, pp. 2999-3007, 2007.
- [19]J. C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press: New York, 1981.
- [20] D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, Location Fingerprint Technique using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm for Indoor Localization. Bali, Indonesia: TENCON 2011-2011 IEEE Region 10 Conference, pp. 88-92, 2011.
- [21]D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, Fingerprint-based Technique for Indoor Localization in Wireless Sensor Network using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm. Chiang Mai,Thailand: ISPACS 2011, pp. 1-5, 2011.
- [22] P. Cherntanomwong and D. J. Suroso, Indoor Localization System using Wireless Sensor Networks for Stationary and Moving Target. Singapore, Singapore: ICICS 2011, December 2011.
- [23]D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, Fingerprint-based Technique for Indoor Localization in Wireless Sensor Network using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm-Emphasizing in the Quality of Database. Bagkok, Thailand: TJMW 2011, 2011.

Implementation of Fuzzy C-Means Clustering Algorithm in Fingerprint-based Localization in Wireless Sensor Networks

Panarat Cherntanomwong, Dwi Joko Suroso, Pitikhate Sooraksa, and Jun-ichi Takada

Abstract—The emerging technologies of wireless nodes lead the development of the small, relatively inexpensive, and smart sensor nodes to support the research in Wireless Sensor Networks (WSNs) applications. The power of the system will be proportional to the amount of deployed sensor nodes. Clustering technique can be one of the promising methods to reduce the power consumption in nodes. Fuzzy C-Means (FCM) is known as one of the clustering algorithm that can handle the uncertainty data and its robust application for the complicated data. In this paper, indoor localization system using fingerprint-based technique is studied and developed. Fingerprint-based technique is a localization technique that allows us to have the database of information stored inside the system. This leads to higher accuracy compared to other techniques. The implementation of the FCM as clustering algorithm in the database of fingerprint helps the faster calculation. Accuracy of FCM to cluster the target node and sensor nodes are the main concern. The accuracy of the system will be shown as the estimated target location error as the result of pattern matching algorithm calculation. From the indoor experiment results, the FCM can cluster the target node in an appropriate cluster successfully. From here, we can conclude that the FCM can be implemented as supporting algorithm in the fingerprint-based indoor localization system.

Index Terms—wireless sensor network, fuzzy c-means, fingerprint technique, nearest neighbor.

I. INTRODUCTION

INDOOR localization has many advantages as one of the applications in wireless sensor networks (WSNs). Localization usually refers to the process of dynamically determining the location(s) of one or more target node(s). WSN is defined as the network of many sensor nodes which deploy in the area of interest, inside or near, respectively [1]. In order to observe the parameter in the area, sometimes this networks consist of many sensor nodes, a hundred or a thousand sensor nodes. As known, increasing the number of sensor nodes affects to the power consumption of the network itself. In recent days, many researchers try to apply many techniques to reduce the power consumption through various scenarios [2].

This paper proposes a solution to the problems using clustering data technique. The Fuzzy C-Means (FCM) algorithm

is applied. By applying the FCM method, a partition of the feature vectors into different regions can be performed. This FCM implementation has purpose to cluster the target node or unknown node that has to be estimated its location with the others sensor nodes in the area of interest. The indoor localization technique has many types, i.e., scene analysis and range based. Scene analysis technique is represented as fingerprint-based technique. For range based technique, there are a lot of techniques which have been published by many researchers, to name a few, Time of Arrival (ToA), Time Difference of Arrival (TDoA), Angle of Arrival (AoA), Min-Max Algorithm, Maximum Likelihood Algorithm, etc [3]-[6].

In this paper fingerprint-based technique is utilized. This localization technique applies two-phase processes. The first phase is called the offline phase. In this first phase, the signal information obtained from known nodes, referred as *fingerprint*, are recorded in the database. The second phase is called the online phase. In this phase, the current signal information obtained from unknown node is compared to signal information in the database (in this case, received signal strength indicator (RSSI) is used as the signal information). Using the clustering method, the improvement of accuracy can be achieved while the RSSI values in the database are clustered into vectors that have similarity among others. The clustering technique is also well-known technique with the spatial advantages related to scalability and efficient communication [2]. As the IEEE 802.15.4 wireless communication standard, ZigBee has many beneficial factors to be deployed as sensor nodes since its durability and low power consumption. Furthermore, ZigBee provides the parameters which can be used as the parameter of localization technique, i.e., RSSI and link quality indicator (LQI). Therefore, ZigBee is used as the reference sensor nodes and the target node in this paper.

For the experiment, RSSI value is recorded from 4 reference nodes in $5m \times 5m$ area of interest. The size of grid in area of interest for fingerprint database is $1m \times 1m$. So, we have 36 fingerprint location and each fingerprint location is located at the known location. For constructing database, the packet of RSSI is sent from the fingerprint location to the reference nodes. After that, the reference nodes will resend the packet to the fingerprint location as RSSI values in dB which are recorded in the database. After all of 36 fingerprint locations are recorded, the next process is to compare the RSSI values of the target node with those in fingerprint database using pattern matching algorithm. In this paper, the nearest neighbor algorithm is used as the pattern matching algorithm to estimate

P. Cherntanomwong and P. Sooraksa are with the Department of Computer Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand e-mail: (krpanara, kspitikh)@kmitl.ac.th

D. J. Suroso is with International College, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand e-mail: s3601152@kmitl.ac.th

J. Takada is with Department of International Development Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 152-8552 Japan e-mail: takada@ide.titech.ac.jp

Manuscript received month date, year; revised month date, year.

the position of the target node based on the minimum error between the target node and fingerprint database.

This paper is organized as follows. Section 2 explains the description of the algorithm model. Section 3 describes the experiment system and setup. Section 4 shows the results and gives discussion. Finally, the conclusion is given in Section 5.

II. ALGORITHM MODEL

A. Location Fingerprint Techniques

The fundamental concept of location fingerprint technique is briefly explained in this subsection. As mentioned in introduction, by using fingerprint technique, the location of the target node can be estimated by comparing its spatial signature or signal information (in our case is RSSI) with those which are previously recorded as database.

Location fingerprinting is the location sensing technique which involves a two-phase process. For the first phase, during the offline calibration phase the received signals at selected locations are recorded as database. Then, for the second phase, pattern matching algorithms are used to infer a target's location by comparing the current observed signal features to the pre-recorded values in the database [4]. The key points of this technique are the selection of the spatial signature and the method in constructing database. The commonly used of pattern matching algorithm as shown in Figure 1 [7].

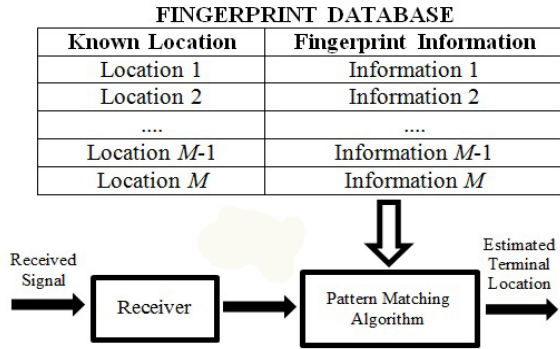


Fig. 1. Location fingerprint localization

For example, let the number of reference nodes as N , number of fingerprint locations as M and $\mathbf{D}_m$ as fingerprint information (RSSI values for N nodes) at position $\mathbf{F}_m(m = 1, 2, \dots, M)$ and r represents RSSI values from each node. Hence, the fingerprint technique can be expressed as

$$\mathbf{F}_m = [x_m, y_m] \quad (1)$$

$$\mathbf{D}_m = [r_{(1,m)}, r_{(2,m)}, \dots, r_{(N,m)}] \quad (2)$$

For the common framework of the fingerprint techniques considered in this research, the measured RSSI signal obtained by ZigBee with the Xbee 24 – ZB model as reference nodes with $N = 4$ and $N = 6$. The reference nodes are employed to justify the target (transmitter) location.

Given that $[r_{(1,m)}, r_{(2,m)}, \dots, r_{(N,m)}]$ is a set of M with fingerprint information vector that has four-to-one and six-to-one

mapping to a set of the fingerprint information (RSSI values) and the location index is expressed by $m(m = 1, 2, \dots, M)$. The location which has the smallest error with the current transmitter signal or provides the best match is represented as the estimated location.

B. Clustering

Clustering analysis is a generic term for statistical procedures designed to identify groups of observations that have similar attributes or characteristics. The purpose of clustering analysis is to cluster observed data in such a way that the entities within a cluster are more similar to each other than to those in other clusters [8]. In other words, clustering is the process of grouping a data set in a method that the similarity between data inside a cluster is maximized, on the other hand, the similarity between data of different clusters is minimized [9].

In this paper FCM as one of the clustering method is deployed. FCM has many benefits to be applied in the system which has multi channel data, in our case is RSSI values data. Like briefly explained before, number of fingerprint locations as M and $\mathbf{D}_m$ as fingerprint information (RSSI values for N nodes) at position $\mathbf{F}_m(m = 1, 2, \dots, M)$ and r represents RSSI values from each node. With $M = 36$ and number of reference node is $N = 4$ and $N = 6$ nodes. The FCM will be deployed to minimize the partition of RSSI data set. The further explanation will be explain in this subsubsection about FCM and its implementation in this work.

1) *Fuzzy C-Means*: Fuzzy C-Means (FCM) is a method for data clustering which allows one piece of data belongs to two or more clusters (groups). FCM is unsupervised learning algorithm which can be applied to several problems involving feature analysis, clustering and classifier design in fields such as astronomy, chemistry, geology, image analysis, target recognition, image segmentation, medical diagnosis and shape analysis. The advantages of the FCM are its ability of uncertainty data modeling, its fairly robust behavior, its straight forward implementation, and its applicability to multi-channel data [10].

The FCM algorithm minimizes the objective function for the partition of the data set, $\mathbf{P}=[\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2, \mathbf{D}_3, \dots, \mathbf{D}_m]^T$ and center of clusters, $\mathbf{V}=[\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3, \dots, \mathbf{v}_m]^T$ given by:

$$J_w(\mathbf{U}, \mathbf{V}) = \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M u_{c,m}^w \|\mathbf{D}_m - \mathbf{v}_c\|^2 \quad (3)$$

where J_w is the objective function, M is the rows in the matrix in the vector $\mathbf{P}$, C is the number of clusters ($1 \leq C \leq M$), $u_{c,m}$ is the element of partition matrix $\mathbf{U}$ of size $(C \times M)$ containing the membership function, $\mathbf{v}_c$ is the center of the C cluster, and w is a weighting factor that controls fuzziness of the membership function. The matrix $\mathbf{U}$ is constrained to contain elements in the range of $[0,1]$ such that $\sum_{m=1}^M u_{c,m} = 1$ for each $u_{c,m}$ ($1 \leq C \leq M$). The norm $\|\mathbf{D}_m - \mathbf{v}_c\|$ is the Euclidean distance between the sample $\mathbf{D}_m$ and the clusters center $\mathbf{v}_c$ [11].

2) **Implementation of Fuzzy C-Means:** In this paper, FCM algorithm is used to cluster the 36 sensor nodes and 1 target node as test object for identifying the target location. In this paper, the data set, $\mathbf{P}$ is formed as 36×4 matrix for 4 reference nodes. FCM clustering technique can be summarized by the following steps [10]:

- 1) **Step 1:** Initialization (Iteration 0) Scan the RSSIs data row by row to construct the vector $\mathbf{P}$ containing all the certain levels in the data set. Randomly initialize the centers of the classes vector $\mathbf{V}^{(0)}$, from the iteration $t = 1$ to the end of algorithm.
- 2) **Step 2:** Calculate the membership matrix $\mathbf{U}^{(t)}$ of element $u_{c,m}$.
- 3) **Step 3:** Calculate the vector $\mathbf{V}^{(t)}$
- 4) **Step 4:** Convergence test: if $\|\mathbf{V}^{(t)} - \mathbf{V}^{(t-1)}\| > \epsilon$, then increment the iteration t , and return to the **Step 2**, otherwise, stop the algorithm. ϵ is a chosen positive threshold.

C. Pattern Matching Algorithm

In the fingerprint-based technique, pattern matching is used to obtain the location of target node, it compares the current radio signal information with those stored in database. Like described in the previous subsection, the signal strength samples at corresponding locations are stored in a database. For common fingerprint technique, all of recorded signal information in the database are compared with the current signal information. In this research, the clustering is used to group the similar fingerprint in one cluster. It will be benefit if we have many fingerprints since the clustering will minimize the matching process only in one cluster otherwise in all of fingerprints.

In this research, the nearest neighbour algorithm (NNA) is applied. Using normalization equation or euclidean distance (between RSSI information in current signal (target) with those in the database. Technically speaking, when the target node is in the fingerprint area, it collects the RSSIs from all sensor nodes as [12]

$$d_t = [r_{(1,t)}, r_{(2,t)}, \dots, r_{(N,t)}] \quad (4)$$

In our simulation, after the FCM clusters the fingerprint information and target information, both in RSSI values from reference nodes, the similarity between the targets information with one of members in the cluster is verified by using norm equation. For instance, let the group of fingerprint locations as FCM clustering result as g . And g_n is the one of the member of g , the member of cluster is vary from here, g_n and d_t are two points in Euclidean $N - space$, then the distance to show the similarity, e (minimum error value) is obtained by the equation [13]

$$e = \sqrt{\sum_{n=1}^N (r_{(n,t)} - r_{(n,g_n)})^2} \quad (5)$$

in this equation, n refers to the number of reference nodes index with $N = 4$ and $N = 6$.

III. EXPERIMENT SYSTEM AND SETUP

1) **Experiment System:** Figure 2 shows the layout of references nodes and fingerprint nodes placement in the system. Fingerprint nodes, shown as the rectangular are assumed to know their own position and reference nodes, shown as the triangle symbols are located at the corners of the experiment area. The database for fingerprint technique is obtained on 36 observed location in area of $5m \times 5m$. in the experiment, the 1st sensor nodes is located in the left bottom of observer area. The arrangement is left to right arrangement. For example, the 1st row is consist of sensor nodes number 1 to 6, in 2nd row 7 to 12 and continues until 6th row, sensor node number 31 to 36.

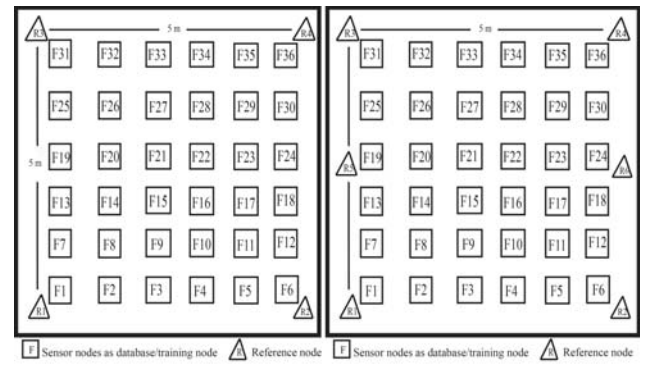


Fig. 2. Reference and sensor nodes placement for experiments

In the $5m \times 5m$ area of interest, the coordinate of fingerprint nodes are shown in the Table I. In this table, you can see the coordinate of the rectangular in Figure 2 as the number of each fingerprint (1 to 36).

TABLE I
THE COORDINATE OF FINGERPRINT NODES

No. Fingerprint	Coordinate (x,y)	No. Fingerprint	Coordinate (x, y)
1	(0,0)	19	(0,3)
2	(1,0)	20	(1,3)
3	(2,0)	21	(2,3)
4	(3,0)	22	(3,3)
5	(4,0)	23	(4,3)
6	(5,0)	24	(5,3)
7	(0,1)	25	(0,4)
8	(1,1)	26	(1,4)
9	(2,1)	27	(2,4)
10	(3,1)	28	(3,4)
11	(4,1)	29	(4,4)
12	(5,1)	30	(5,4)
13	(0,2)	31	(0,5)
14	(1,2)	32	(1,5)
15	(2,2)	33	(2,5)
16	(3,2)	34	(3,5)
17	(4,2)	35	(4,5)
18	(5,2)	36	(5,5)

2) *Experiment Setup*: In order to validate the performance of FCM, the indoor experiment is conducted. In this manner, 4 sets position of target node are proposed: diagonal (left and right), horizontal and vertical position.

- **Diagonal Position Testing**

The first experiment to obtain the validation of our proposed method, the diagonal position testing is applied.

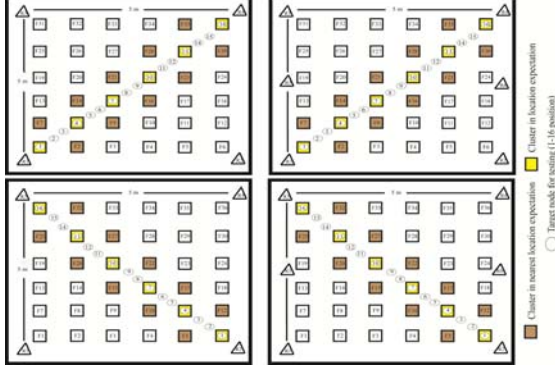


Fig. 3. The 16-target node position for diagonal testing

Figure 3 shows the fingerprint nodes and the target node at diagonal positions on the observed area for 4 and 6 reference nodes. The target node is stationary for each experiment. The brown rectangular represents the nearest fingerprint in location expectation, yellow rectangular represents the target location in the same location of fingerprint database. The target node is moved one by one following the pattern diagonal line as shown in Figure 3. For the left diagonal testing, the target node is placed from (0 m, 0 m) and increase continuously on 0.33 m. For instance, target node for left bottom to right up is moved from (0 m, 0 m) and it is continued until reach at (5 m, 5 m). For the right to the left diagonal position we moved target node from coordinate (5 m, 0 m) to (0 m, 5 m).

- **Horizontal and Vertical Position Testing**

The second experiment to obtain the validation of our proposed method, the horizontal and vertical position testing are applied.

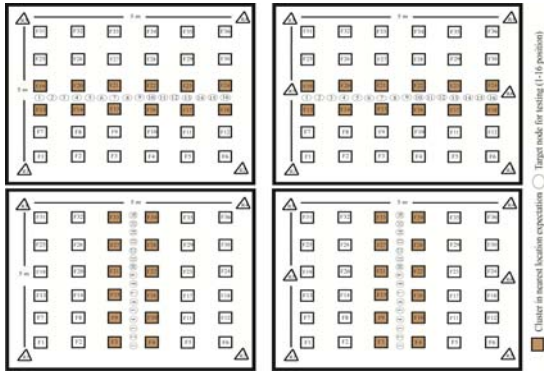


Fig. 4. The 16-target node position for horizontal and vertical testing

Figure 4 shows the measurement setup for horizontal and vertical of target node testing position. For the horizontal and vertical position testing, we start placing the target node from (0 m, 2.5 m) for the horizontal position; with the increasing distance are 0.25 m and 0.5 m. For example, position number 1 is (0 m, 2.5 m), number 2 (0.25 m, 2.5 m), number 3 (0.75 m, 2.5 m), and number 4 (1 m, 2.5 m). The experiment continues until (5 m, 2.5 m). For the vertical position, it is began at (2.5 m, 0 m) and ended at (2.5 m, 5 m).

IV. RESULTS AND DISCUSSION

We conduct the experiment to analyze the accuracy of target location estimation for the proposed method. The accuracy of the proposed system with FCM algorithm is found by comparing the estimated position with the training database. All of these measurements were performed in the corridor at Department of Computer Engineering, KMITL. The clustering result will be explained both sets of 4 and 6 reference nodes, respectively. The experiment in each position is done using repeated five times measurement.

A. Cluster Results

At the experiment setup, we can see the location of target node in the observed area. We also see the expect cluster in each target node position (1-16 position). For the experiments, we use value c on the FCM clustering algorithm is equal to 10 clusters or groups. As mentioned previously, the c value must not exceed the number of sample, M in the vector $\mathbf{P}$. So, $C=10$ is acceptable since the number of sample is 37 (36 sensor nodes for database and 1 for target node). Numbers in the bracket, (1)-(36) are the fingerprint database and (37) is the target node.

1) *The sets of four reference nodes*: In this results, the random position of 16 target positions are chosen to show the FCM capability to cluster the target node in the fingerprint database. The 4 schemes of target node position will be presented: left diagonal, right diagonal, horizontal and vertical position in 4-reference nodes.

- **Cluster result for diagonal left**

TABLE II
CLUSTER RESULT FOR LEFT DIAGONAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(1),(37)	(1),(37)
3	(1),(2),(7),(8),(37)	(1),(2),(7),(8),(37)
8	(15),(37)	(15),(37)
10	(22),(37)	(22),(37)
14	(29),(30),(35),(36),(37)	(29),(30),(35),(36),(37)
16	(36),(37)	(36),(37)

The chosen target position for left diagonal position can be clustered successfully as the desired cluster in second column of Table II. From the Table II we can

observe that FCM can cluster the target node (37) in the fingerprint database.

- Cluster result for diagonal right

Some of the chosen target position for rightt diagonal position can be clustered successfully as the desired cluster in second column of Table III. Unfortunately, in the target position number 10, FCM cannot cluster the target node as the desired cluster. This might be happen as a result of bad database value and factors during experiment [14].

TABLE III
CLUSTER RESULT FOR RIGHT DIAGONAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(6),(37)	(5),(6),(11),(12),(37)
3	(5),(6),(11),(12),(37)	(5),(6),(11),(12),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(22),(28),(37)
10	(20),(37)	(9),(15),(37)
14	(25),(26),(31),(32),(37)	(25),(31),(32),(37)
16	(31),(37)	(31),(37)

- Cluster result for horizontal position

TABLE IV
CLUSTER RESULT FOR HORIZONTAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(13),(14),(19),(20),(37)	(13),(14),(19),(20),(37)
3	(13),(14),(19),(20),(37)	(13),(14),(19),(20),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(37)
10	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(22),(37)
14	(17),(18),(23),(24),(37)	(17),(23),(24),(37)
16	(17),(18),(23),(24),(37)	(17),(23),(24),(37)

- Cluster result for vertical position

TABLE V
CLUSTER RESULT FOR VERTICAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(3),(4),(9),(10),(37)	(3),(9),(37)
3	(3),(4),(9),(10),(37)	(4),(9),(10),(16),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(22),(37)
10	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(22),(37)
14	(27),(28),(33),(34),(37)	(27),(28),(34),(37)
16	(27),(28),(23),(34),(37)	(27),(28),(33),(34),(37)

For the Table IV and Table V give the good result since FCM can cluster the target node in the desired cluster. Eventhough some of the positions only show the nearest fingerprint database compared with the rssi parameter of the target node.

2) *The sets of six reference nodes:* In the six reference nodes, the clustering result of FCM can be shown as table for every position testing similar as for reference nodes.

- Cluster result for diagonal left

- Cluster result for diagonal right

Some of the chosen target position for rightt diagonal position can be clustered successfully as the desired

TABLE VI
CLUSTER RESULT FOR LEFT DIAGONAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(1),(37)	(1),(37)
3	(1),(2),(7),(8),(37)	(1),(2),(7),(8),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(21),(37)
10	(22),(37)	(16),(22),(23),(37)
14	(29),(30),(35),(36),(37)	(29),(30),(35),(36),(37)
16	(36),(37)	(36),(37)

cluster in second column of Table VII. Unfortunately, in the target position number 10, FCM cannot cluster the target node as the desired cluster. This might be happen as a result of bad database value and factors during experiment. It is the same case in 4 reference nodes as shown in Table III, in the position testing number 10.

TABLE VII
CLUSTER RESULT FOR RIGHT DIAGONAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(6),(37)	(5),(6),(37)
3	(5),(6),(11),(12),(37)	(5),(6),(11),(12),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(15),(21),(37)
10	(20),(37)	(21),(37)
14	(25),(26),(31),(32),(37)	(25),(31),(32),(37)
16	(31),(37)	(31),(32),(37)

- Cluster result for horizontal position

TABLE VIII
CLUSTER RESULT FOR HORIZONTAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(13),(14),(19),(20),(37)	(14),(19),(20),(37)
3	(13),(14),(19),(20),(37)	(13),(14),(20),(25),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(16),(21),(22),(23),(37)
10	(15),(16),(21),(22),(37)	(16),(21),(22),(37)
14	(17),(18),(23),(24),(37)	(17),(18),(24),(37)
16	(17),(18),(23),(24),(37)	(17),(18),(24),(37)

- Cluster result for vertical position

TABLE IX
CLUSTER RESULT FOR VERTICAL POSITION

No. Target Position	Desired Cluster	Actual Cluster
1	(3),(4),(9),(10),(37)	(3),(9),(15),(37)
3	(3),(4),(9),(10),(37)	(3),(9),(15),(37)
8	(15),(16),(21),(22),(37)	(16),(22),(37)
10	(15),(16),(21),(22),(37)	(21),(37)
14	(27),(28),(33),(34),(37)	(28),(34),(37)
16	(27),(28),(23),(34),(37)	(27),(28),(33),(34),(37)

For the Table VIII and Table IX give the good result since FCM can cluster the target node in the desired cluster. Eventhough some of the positions only show the nearest fingerprint database compared with the rssi parameter of the target node.

B. Location Estimation Error

In this subsection, the comparison between the different sets of reference node is analyzed. Figure 5 depicts the left diagonal estimated location error between four and six reference nodes.

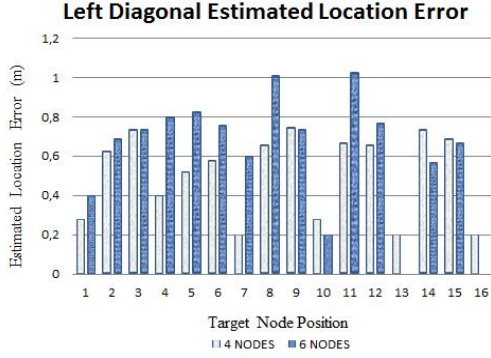


Fig. 5. Left diagonal estimated location error for 4 and 6 reference nodes

Figure 6 depicts the right diagonal estimated location error between four and six reference nodes.

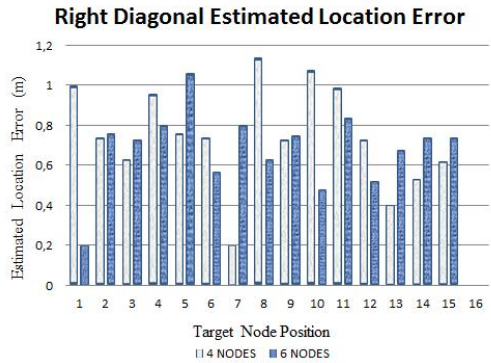


Fig. 6. Right diagonal estimated location error for 4 and 6 reference nodes

In Figure 5, the highest error occurred in the target position number 11. With the error reached 1.03 m for the set of six reference nodes. We can see that seven positions in the target node position testing, the set of six reference nodes gives a larger error than the set of four references nodes. The average error for the set of four reference nodes is 0.512 m and 0.613 m for the set of six reference nodes. In this position testing, the additional reference nodes does not give the better accuracy. The different results occur in the right diagonal estimated location error. We can see from Figure 6, most of the errors in the system are reduced by the set of six references nodes. For instance, the errors reduction are shown in the target node number 1, 4, 8, 10, 11 and 12. In the right diagonal position testing, the average of the estimated location errors are 0.70 m for set of four references nodes and 0.64 m for the set of six reference nodes.

Figure 7 depicts the horizontal estimated location error between four and six reference nodes.

Figure 8 depicts the vertical estimated location error between four and six reference nodes.

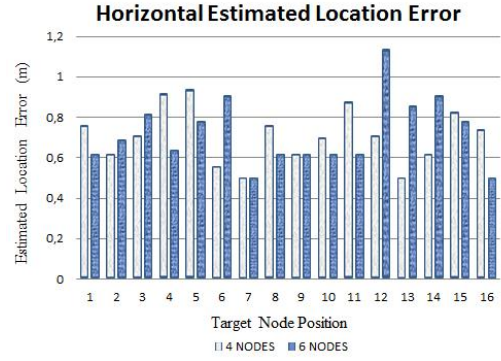


Fig. 7. Horizontal estimated location error for 4 and 6 reference nodes

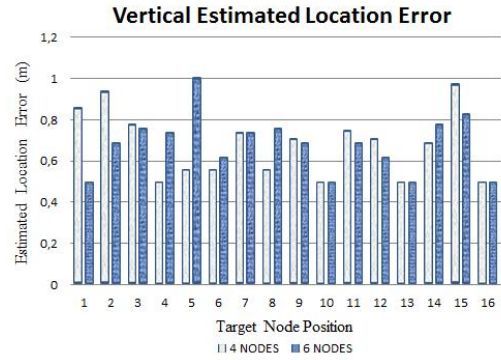


Fig. 8. Vertical estimated location error for 4 and 6 reference nodes

Figure 7 and Figure 8 depict the horizontal and vertical estimated location error. In the horizontal and vertical position testing, the estimated location error between the set of four and six references nodes are relatively the same values in average. The average error in horizontal position is 0.71 m for four reference nodes and 0.72 m for six references nodes. For vertical position, the average estimated location for the set of four reference nodes is 0.67 m and 0.68 m for six reference nodes. As note, the errors have the relatively same pattern; we can see in Figure 5 and Figure 6, high errors occur in the target position number 5, 8 and 11. Figure 7 and Figure 8, the highest error occur in the target node number 5. If we see in section III.C, most of the errors occurred in the middle part of the observed area. The important thing we notice for this result, we can reduce the error by fixing or improving the quality of database in the middle part of observed area. Moreover, if we can obtain the new data for all fingerprint database. As we know, the accuracy of location fingerprint-based localization technique depends on the quality of the fingerprint database [15].

C. Applying *k*-Nearest Neighbor Algorithm

After we have seen the performance of FCM to group the target node in the database which has the similarity, the *k*-NN Algorithm is applied to observe the error in location estimation. We randomly choose one data from the experiment data for target node from indoor experiment, and apply the the *k*-NN.

in this subsection, we present the result of right diagonal testing only, including 4 set and 6 set of reference nodes. As appeared before, the right diagonal testing has some errors in the clustered group by FCM. Here, we will see that whether the k -NN Algorithm can reduce the estimated error or not. In this case we choose $k = 3$.

TABLE X
 k -NEAREST NEIGHBOR FOR 4 REFERENCE NODES

No. TP	FN $k=1$	FN $k=2$	FN $k=3$
1	(6)	(12)	(11)
2	(6)	(5)	(12)
3	(5)	(6)	(12)
4	(4)	(5)	(10)
5	(4)	(10)	-
6	(5)	-	-
7	(16)	(15)	(22)
8	(21)	(27)	-
9	(21)	(27)	-
10	(21)	(27)	(16)
11	(26)	(27)	-
12	(19)	(20)	(26)
13	(26)	(33)	(27)
14	(25)	(31)	(32)
15	(25)	(31)	(32)
16	(32)	(31)	(25)

For the Table X and Table XI, TP is abbreviation from Target Position, FN is Fingerprint Node, FN $k=1$ is the the nearest fingerprint node compared with the target node. FN $k=2$ and FN $k=3$ are the second and third nearest FN. Three of them are obtained from the clustered group from FCM Algorithm.

For the 6 set of reference nodes, the k -NN Algorithm is also applied. It is same in the case of 4 set of reference nodes, the right diagonal testing position has error in some clustered group. The FCM cannot cluster the target node as the desired cluster that expected. Table XI shows the result of FN of the 6 set of reference nodes in the k -NN Algorithm from result of FCM clustering.

As commonly discussed in the k -NN Algorithm that the result in k equals to 1,2,3,... n can reduce the error since it uses its average error. In the Figure 9 and Figure 10, we can see the error from the k -NN Algorithm for $k=1$, $k=2$, and $k=3$.

Figure 9 and Figure 10 depict the distribution error for 16 target position in right diagonal position. As discussed before, the quality database of fingerprint is the main factor to achieve the good accuracy. Here, the FCM algorithm cluster the target data (current signal from signal of target position). In some target locations for 4 reference nodes have no errors such as in target location number 1, 7, 10 and 13. For 6 reference nodes, the zero error is achieved in target location number 1, 7, 10 and 13. Table XII shows the average estimated error location from 4 and 6 references node. Those positions are position in exact or the same location with fingerprint node. As seen in Figure 9 and Figure 10 the $k=2$ and $k=3$ can reduce the error in some position of nearest position from fingerprint node.

TABLE XI
 k -NEAREST NEIGHBOR FOR 6 REFERENCE NODES

No. TP	FN $k=1$	FN $k=2$	FN $k=3$
1	(6)	(5)	-
2	(5)	(11)	(6)
3	(5)	(6)	-
4	(17)	(12)	(18)
5	(10)	(4)	(9)
6	(10)	(4)	(17)
7	(21)	-	-
8	(15)	(10)	(4)
9	(21)	-	-
10	(15)	(21)	-
11	(26)	(20)	(27)
12	(27)	(36)	(20)
13	(20)	(19)	(14)
14	(32)	(33)	(25)
15	(32)	(25)	(31)
16	(31)	(32)	-

Right Diagonal Estimated Error (4 Reference Nodes)

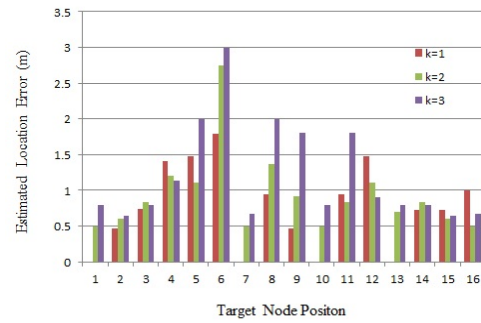


Fig. 9. Right diagonal estimated location error for 4 reference nodes

But, in case of 4 reference nodes in target location number 1,4,5,6,7,8,9,10 and 11, the $k=3$ cannot reduce the error value. It happens also in the case of 6 reference nodes, in the target location number 8 and 13, the $k=3$ cannot reduce the estimated error value.

Table XII shows the average estimated error for right diagonal position for 4 and 6 reference nodes in the k -Nearest Neighbor Algorithm for $k=1$, $k=2$, and $k=3$.

TABLE XII
AVERAGE ESTIMATED ERROR IN METER

Reference Nodes	$k=1$ -means	$k=2$ -means	$k=3$ -means
4	0.76125	0.929375	1.205
6	0.76187	0.914375	0.838

From Table XII, the error value is increasing during the additional of k value. If we consider the experiment setup, we will see the desired position is in between the target node location. But, in the experiment, since it has many effects such as environmentally changing, the level of powered battery, an indoor localization issues (wall, edge, material) those will effect to the data itself. From here, we can see that choosing the

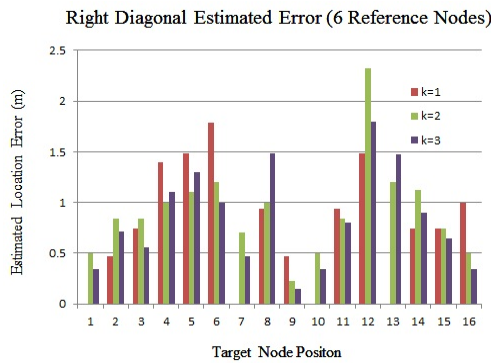


Fig. 10. Right diagonal estimated location error for 6 reference nodes

nearest neighbor fingerprint data from FCM clustered group at $k=1$ gives the best result.

V. CONCLUSION

This paper presents the new method for clustering data in the fingerprint localization technique using FCM algorithm. This technique is validated using 36 database locations fingerprint. The results show the average error reached less than 1 m, both for 4 and 6 reference nodes. The results for clustering show that FCM can cluster the target node in the fingerprint database. We also see some errors in the clustering result for right diagonal position, both for 4 and 6 reference nodes. The errors are caused by the not good enough RSSIs values data for the database. The k -Nearest Neighbor Algorithm is applied to see the reduction of value as the addition of k value. From this result, we can get conclusion that new proposed method can be applied in the localization system. Furthermore, the system can be solution in issues such as high power consumption and time-efficient WSN-based localization system. In the future research, we will investigate also the effect of battery component of transmitter and receiver will be investigated and expected to improve the quality of database for fingerprint technique.

ACKNOWLEDGMENT

This research is financial supported by Thailand Research Fund and Thai Network Information Center Foundation.

REFERENCES

- [1] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, and E. W. Cayirci, *A Survey on Sensor Networks*. IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, August 2002.
- [2] D. C. Hoang, R. Kumar, and S. K. Panda, *Fuzzy C-Means Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks*. Bari, Italy: IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE-2010), 2010.
- [3] J. J. Caffery and G. L. Stuber, *Overview of Radiolocation in CDMA Cellular System*. IEEE Communications Magazine, Vol. 36, no. 4, pp. 38-45, April 1998.
- [4] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, *Position Location using Wireless Communications on Highways of the Future*. IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 10, pp. 33-41, October 1996.
- [5] G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K. J. R. Liu, *Signal Processing Techniques in Network Aided Positioning*. IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, no. 4, pp. 12-23, July 2005.

- [6] H. Tsuji, *Experiential Evaluation of Indoor and Outdoor Radio Source Localization using Array Antennas*. IEICE Trans. Commun. (Japanese Edition), Vol. J90-B, no. 9, pp. 784-796, September 2007.
- [7] P. Cherntanomwong, J. Takada, and H. Tsuji, *Signal Subspace Interpolation from Discrete Measurement Samples in Constructing a Database for Location Fingerprint Technique*. IEICE Trans. Commun., Vol. E92-B, no. 9, pp. 2922-2930, September 2009.
- [8] M. A. Egan, *Locating Clusters in Noisy Data: A Genetic Fuzzy C-Means Clustering Algorithm*. Proceeding of the 1998 Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. IEEE, pp. 178-182, 1998.
- [9] W. Wang, Y. Zhang, Y. Li, and X. Zhang, *The Global Fuzzy C-Means Clustering Algorithm*. Dalian, China: Proceeding of the 6th Congress on Intelligent Control and Automation. 2006.
- [10] M. Sayadi, L. Tlig, and F. Fnaiech, *A New Texture Segmentation Method Based on the Fuzzy C-Means Algorithm and statistical Features*. Applied Mathematical Sciences, vol.1, no.60, pp. 2999-3007, 2007.
- [11] J. C. Bezdek, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press: New York, 1981.
- [12] D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, *Location Fingerprint Technique using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm for Indoor Localization*. Bali, Indonesia: TENCON 2011-2011 IEEE Region 10 Conference, pp. 88-92, 2011.
- [13] D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, *Fingerprint-based Technique for Indoor Localization in Wireless Sensor Network using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm*. Chiang Mai, Thailand: ISPACS 2011, pp. 1-5, 2011.
- [14] P. Cherntanomwong and D. J. Suroso, *Indoor Localization System using Wireless Sensor Networks for Stationary and Moving Target*. Singapore, Singapore: ICICS 2011, December 2011.
- [15] D. J. Suroso, P. Cherntanomwong, P. Sooraksa, and J. Takada, *Fingerprint-based Technique for Indoor Localization in Wireless Sensor Network using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm-Emphasizing in the Quality of Database*. Bagkok, Thailand: TJMW 2011, 2011.

PLACE
PHOTO
HERE

Panarat Cherntanomwong received her B.Eng and M.Eng from King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand in 1998 and 2000, respectively. She received Dr.Eng majoring International Development Engineering from Tokyo Institute of Technology, Japan in 2008. Her research interest is in Location estimation and tracking of mobile and wireless module as well as improvement of direction finding algorithms.

PLACE
PHOTO
HERE

Dwi Joko Suroso received his B.Eng from Gadjah Mada University, Indonesia in 2010. He is now currently Master candidate of International College, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. His research interest is in Wireless sensor networks, wireless communication, sensors and the hardware implementation. He is also interested in photography and image processing.

PLACE
PHOTO
HERE

Pitikhate Sooraksa received a B.Ed. (Hons) and M.Sc. in Physics from Srinakharinwirot University, an M.S. from George Washington University (1992), and a Ph.D. from the University of Houston (1996), both in Electrical Engineering. He is currently Associate Professor of Electrical Engineering at the School of Computer Engineering and Information Science, Faculty of Engineering, King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. His research interests include IT-mechatronics, development of rapid prototypes in embedded systems, and

computeraided control.

PLACE
PHOTO
HERE

Jun-ichi Takada received the B.E., M.E., and D.E from Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan in 1987, 1989, and 1992, respectively. He was with Chiba University in 1992 to 1994. Since 1994 he has been with Tokyo Institute of Technology, and he is currently a Professor. His current interest are wireless propagation and channel modeling, array signal processing, cognitive radio system, and ICT applications in international development. He received Achievement Award of IEICE in 2008.

Indoor Localization System using Wireless Sensor Networks for Stationary and Moving Target

Panarat Cherntanomwong
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering, KMITL
Bangkok, Thailand
krpanara@kmitl.ac.th

Dwi Joko Suroso
International College, KMITL
Bangkok, Thailand
S3601152@kmitl.ac.th

Abstract—The recent research in localization technique has been supported by the emerging of wireless sensor network (WSN) technology. The issues of the estimated location accuracy have becoming the main research topics in WSN-based localization technique. In this paper, the application of WSN for localization technique using IEEE 802.15.4 standard is proposed. As IEEE 802.15.4 standard, ZigBee is widely used because of its advantages. It specially provides useful parameters for location estimation, i.e. received signal strength indicator (RSSI) and link quality indicator (LQI). In this paper, the simple but effective localization system is proposed. Range-based and location fingerprint-based are implemented. The different set of the reference nodes is applied. The effectiveness of this method is verified by data obtained from an indoor experiment in the $5\text{m} \times 5\text{m}$ observed area. The error from estimated locations using both techniques is analyzed. The estimated location results from different amount of reference nodes are compared. The results show that the error from the observed area is less than 1.2 m for both localization techniques, respectively. The GUI is created to help the experiments in the visualization and for showing the estimated location. From this result, the simple but effective system is really beneficial for the real application.

Keywords—Indoor Localization; Wireless Sensor Network; ZigBee; Range-based; Location Fingerprint Technique

I. INTRODUCTION

Radio localization using smart sensor nodes in WSNs has become popular in recent years. It is supported by the advancement of micro-mechanical systems and development of digital electronics technology. Radio localization is realized to be an important application for daily life and WSNs is popularly selected to be used for a localization system. ZigBee as IEEE 802.15.4 standard is widely used because of its various advantages, i.e. cost-effective, low-power consumption, security, robustness, reliability and supporting low data rates. ZigBee provides useful parameters for location estimation, i.e. RSSI and LQI [1], [2].

Localization technique can be classified into several categories based on the parameter that is used. Range-based and location fingerprint technique are most common technique in WSN applications. In this paper, an indoor scenario is applied. In the indoor scenario, many issues such as diffraction at edges, refraction by media with different propagation velocity and reflection in metallic objects. These issues affect to the localization system performance [3].

In this paper, we implement the user-friendly GUI for sending commands, receiving and calculating data based on the initial algorithm. For the experiment, we use the range-based and fingerprint-based techniques. The command data is sent to the reference nodes then it will initialize the position of reference nodes. Then, the reference nodes will transmit parameter that will be received by the target node as received power. The received signal power that is received by the target node will be transferred to personal computer (PC) through serial communication. The GUI for this experiment has the serial communication connection to provide the communication between PC and the target node. The GUI will display the position estimation results and has ability to store the experiment data result. The experiment is evaluated using two different types of the target node, i.e., stationary and moving target node.

The paper is organized as follow: Section 2 presents the description of the algorithm model. The experiment setup is explained in Section 3. Result and discussion are described in Section 4. Finally, in Section 5, we conclude this paper with plans for future work.

II. DESCRIPTION OF ALGORITHM MODEL

A. RSSI Definition

RSSI in dBm is defined as ten times the logarithm of the ratio of power (P) at the receiving end and the reference power (P_{ref}). Power at the receiving end is inversely proportional to the square of distance. The received signal strength depends on the transmitted power and the distance between the transmitter and the receiver. In the embedded devices, the received signal strength is converted to RSSI. The relationship between RSSI and distance can be determined as equation [4].

$$RSSI[dBm] = A - [10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0)], \quad (1)$$

where n is the path loss exponent or the signal propagation constant, d is the distance from transmitter in meter, d_0 is a reference distance, typically 1 meter, and A is the received signal strength at 1 meter distance, in dBm.

B. Range-based Localization

In this paper, the maximum likelihood algorithm is applied as range-based localization. In Range-based, the node distance is acquired through measurement of RSSI without additional node hardware design. Fig. 1 depicts the illustration of measurement system.

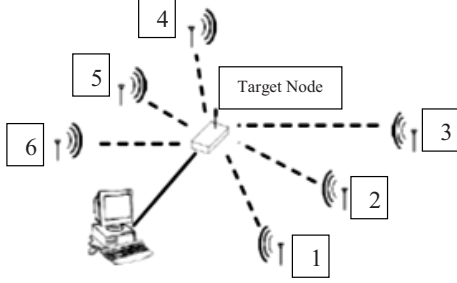


Figure 1. The illustration of measurement system

Suppose coordinate of reference nodes are $B1(x_1, y_1), B2(x_2, y_2), \dots$ and $Bn(x_n, y_n)$. And coordinate of the unknown node is determined as $O(x, y)$, the distance between the unknown node and reference nodes are $d_1, \dots, d_n$, respectively. A group of non-linear equation can be obtained according to the following formula in a two-dimensional space as shown [5]:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (2)$$

When the last equation is subtracted from the other equations in turn beginning from the first equation, hence

$$\begin{cases} x^2 - x_n^2 - 2(x_1 - x_n)x + y_1^2 - y_n^2 - 2(y_1 - y_n)y = d_1^2 - d_n^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 - 2(x_{n-1} - x_n)x + y_{n-1}^2 - y_n^2 - 2(y_{n-1} - y_n)y = d_{n-1}^2 - d_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

Linear equation in equation (3) can be represented as

$$Xb = a$$

where

$$X = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix},$$

$$a = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 - d_1^2 + d_n^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 - d_{n-1}^2 + d_n^2 \end{bmatrix},$$

$$b = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}.$$

The error of the node estimation location can be obtained by applying the standard minimum mean square error as

$$\hat{b} = (X^T X)^{-1} X^T a. \quad (4)$$

C. Location Fingerprint Technique

Location fingerprinting is a location sensing technique which involves a two-phase process. First, during the off-line calibration phase the received signals at selected locations are recorded in a database. Then, the second phase, called the on-line, pattern matching algorithms are used to infer a target's location by comparing the current observed signal features to the pre-recorded values in the database. The key points of this technique are the selection of the spatial signature and the method in constructing database. The commonly used of pattern matching algorithm as shown in Figure 1 [6], [7].

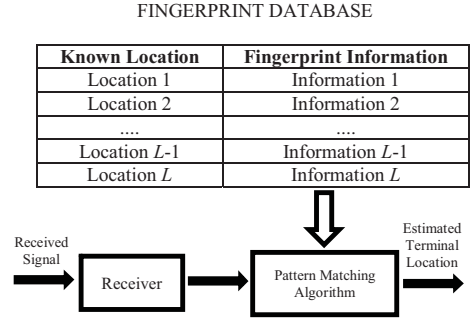


Figure 2. Location fingerprint technique

For simplicity, the fingerprint is defined as sets of measured RSSIs from all sensor nodes. Hence, let the number of sensor nodes that placed at fix locations as N , number of fingerprint locations as M and D_i as fingerprints at position $D_i (i = 1, 2, \dots, M)$. Table I shows the illustration of fingerprint database for the experiment.

TABLE I. FINGERPRINT DATABASE

Fingerprint Location	Fingerprint Information
$F_1(x_1, y_1)$	$D_1 = \{rssi_{1,F_1}, rssi_{2,F_1}, \dots, rssi_{N,F_1}\}$
$F_2(x_2, y_2)$	$D_2 = \{rssi_{1,F_2}, rssi_{2,F_2}, \dots, rssi_{N,F_2}\}$
.....	
$F_M(x_M, y_M)$	$D_M = \{rssi_{1,F_M}, rssi_{2,F_M}, \dots, rssi_{N,F_M}\}$

When the target node is in the fingerprint area, it collects the RSSIs from all sensor nodes as

$$T = \{rssi_{1,T}, rssi_{2,T}, \dots, rssi_{N,T}\}.$$

Euclidean distance is used to find the location of target node by comparing it with the fingerprint database, D_i , D_i and T are

two points in Euclidean N -space, then the distance is obtained by the equation

$$dist_i(x, y) = \sqrt{\sum_{n=1}^N (rssi_{n,T} - rssi_{n,D_i})^2}. \quad (5)$$

III. EXPERIMENT SYSTEM AND SETUP

A. Experiment System

The authors reported the localization system based on ZigBee standard for the stationary target [8]. In this paper, we improve the system which is able to estimate the location of moving target. The ZigBee module, XBee-24ZB is used as reference nodes and target node. The ZigBee provides the RSSI parameter for experiments. The different amount of reference nodes is deployed for the experiments. There are 4 and 6 reference nodes. Fig. 2 depicts the illustration for experiment system. The $5\text{m} \times 5\text{m}$ observed area is used as the experiments location for both maximum likelihood as range-based and location fingerprint techniques, respectively.

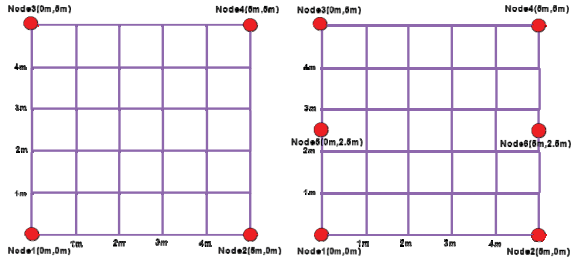


Figure 2. The illustration of experiment system using 4 reference nodes (left) and 6 reference nodes (right)

In this paper, the system estimate the location based on RSSI in the observed area. The target node is a wireless device which receives a packet from reference nodes, which each measures the received power. After receiving a packet, the target node measures RSSI and sends the results to the sink node. In this research, we use personal computer (PC) as sink node which graphical user interface (GUI) is already installed inside. The GUI for the experiment is shown in Fig. 3. The GUI is very useful for the users to see the location of the target node in the real time.



Figure 3. The GUI for The Experiment

As shown in Fig. 3, the GUI displays the appearance of the observed area. The 4 reference nodes are shown as the antenna signs which are located at the corners of the observed area. The target node is represented as the small robot with the letter that represents the location coordinate. Fig. 4 shows the corridor where the experiments are conducted.



Figure 4. The indoor location for data collection

B. Experiment Setup

In order to verify the accuracy between range-based and fingerprint-based localization, the location of the target node is divided into two types, stationary and moving. Fig. 5 shows the target position for experiments. The 16 locations represented by a small circle along the diagonal line of the target node are used for validating the range-based and fingerprint-based localization techniques. Fig. 6 depicts the 36 database locations of sensor nodes as database information, represented as circles for fingerprint technique experiments.

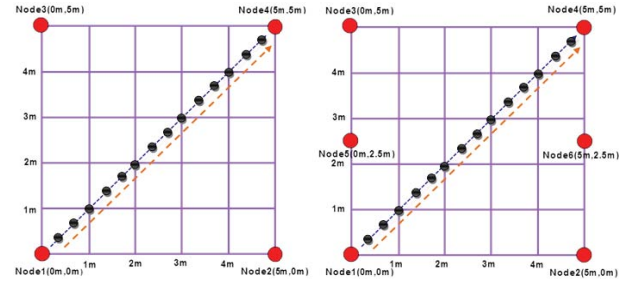


Figure 5. The left diagonal position of the target node for the experiments

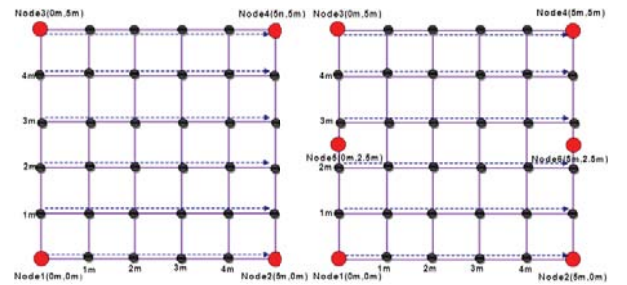


Figure 6. The 36 database locations for the fingerprint technique

IV. EXPERIMENT RESULT AND DISCUSSION

The objective of this paper is to compare the accuracy between the range-based and fingerprint-based localization techniques for the stationary and moving target. The effectiveness of the both techniques is verified by an indoor experiment and the estimated location errors are analyzed. The GUI is created to help the experiments in the visualization and for showing the estimated location.

A. Estimated Location Error for Range-based Technique

1. Stationary Target Node

For the stationary target node, we start placing the target node at (0 m, 0 m) and increase continuously on 0.33 m. For instance, the target node location for the diagonal left bottom to right up is change from (0 m, 0 m) and the experiment is continued until reach at (5 m, 5 m). Fig. 7 shows the estimated location error in meter of the range-based technique versus the position of the target node. It depicts the results for the 4 and 6 reference nodes, respectively.

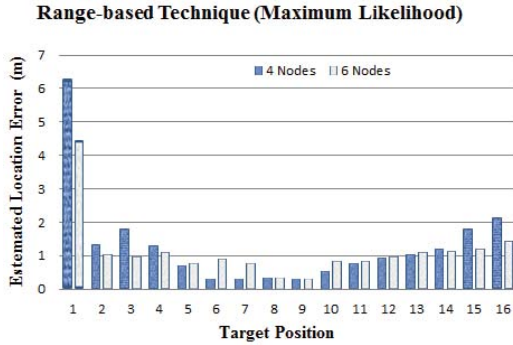


Figure 7. The estimated location error of range-based technique

Fig. 7 shows that the most of the estimated location errors is reduced as a function of the sets of reference nodes. The highest error is occurred in the 1st of the target position. From Fig. 7, we can see that the relatively high of the estimated location errors are in the target position where near or exactly in the position of the reference node. This result could be caused by the issue of diffractions at edges.

2. Moving Target Node

For the result of the moving target, we will show the result in the GUI appearance. For both algorithms, we use automatic robot which carries the target node and moves it alongside the diagonal line. Fig. 8 and Fig. 9 show the results for both sets of reference nodes for the maximum likelihood algorithm. According to the result of Fig.7, the set of 6 reference nodes gives the better result for estimating the location of target node. The GUI shows the distribution of the target node, represented as the small robot is spread along the diagonal line.



Figure 8. Result of Moving Target for 4 Reference Nodes in GUI using range-based technique



Figure 9. Result of Moving Target for 6 Reference Nodes in GUI using range-based technique

B. Estimated Location Error for Fingerprint Technique

1. Stationary Target Node

The fingerprint information for the experiment is a collection of the RSSI data which is obtained by placing the nodes in the 36 database locations as shown in Fig. 6. As mentioned previously, the main idea of this technique is to compare the target data with the database. Fig. 10 depicts estimated location errors in meter of the fingerprint technique versus the position of the target node.

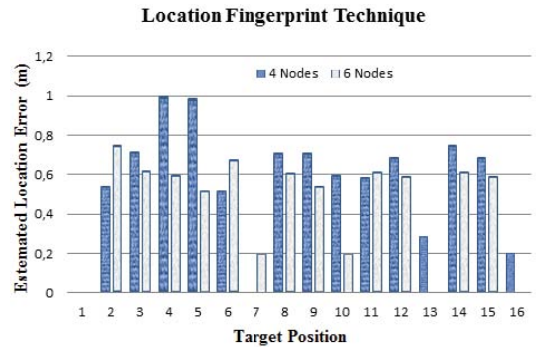


Figure 10. The estimated location error of fingerprint technique

Fig. 10 depicts that the estimated location errors in fingerprint technique relatively smaller than the range-based error. From Fig. 10, we can see that the highest error is occurred in the 4th and 5th of target position. Technically speaking, the sets of the reference node can significantly

reduce the estimated location error. As in range-based, the fingerprint technique gives better result when there are 6 nodes as the sets of the references nodes.

2. Moving Target Node

Fig. 11 and Fig. 12 show the result for both sets of reference nodes for location fingerprint algorithms. According to the result of Fig. 10, the set of 6 reference nodes gives the better result for estimating the location of the target node. The GUI shows the distribution of the target node, represented as the small robot is spread along the diagonal line.



Figure 11. Result of Moving Target for 4 Reference Nodes in GUI using fingerprint-based technique



Figure 12. Result of Moving Target for 6 Reference Nodes in GUI using fingerprint-based technique

C. The Average Error Between Range-based and Location Fingerprint Techniques for the Stationary Target

The different amount of reference nodes is used as space diversity, it affects to the accuracy of the localization system. For the average estimated error, we only use the data from the result of stationary target measurement. From Table 2, we can see that the location fingerprint gives the better result for the experiment in the left diagonal position testing.

As we can see, the error from both techniques is acceptable, since the error is 1.31 m in the range based using 4 reference nodes and 1.12 m for using 6 reference nodes. For the location fingerprint, the average estimated error reach 0.56 m for 4 reference nodes and 0.44 for 6 reference nodes. We can see from Table 2, the additional amount of reference nodes gives better result for both techniques, respectively. From this result, we can get a conclusion that for the diagonal position of the target node, fingerprint technique gives the better accuracy.

TABLE II. THE AVERAGE ERROR TABLE FOR STATIONARY TARGET

Localization Technique	Estimated Location Error (m)	
	4 Nodes	6 Nodes
Maximum Likelihood	1.31	1.12
Location Fingerprint	0.56	0.44

V. CONCLUSION

This paper proposes the method for comparing the range-based and location fingerprint techniques in indoor scenario. The target node is moved along the left diagonal position. The results show the average error reached less than 1.2 m in the range-based technique and less than 0.5 m in the location fingerprint technique. From the result of the estimated locations error, the location fingerprint technique gives the better accuracy than the range-based localization. Since the target node is moving, the error can be triggered by many factors, such as the accuracy of RSSI measurement in the devices, also the power and electromagnetic effects during the experiment. The result of both stationary and moving targets, show that the simple but effective system is obtained. The GUI for the experiments shows the estimated location for both techniques effectively in real time. This result gives the explanation that the proposed method can be applied in the real application.

VI. ACKNOWLEDGMENT

This research work is financial supported by the Thailand Research Fund, Thai Network Information Center Foundation and AUN/SEED-Net.

REFERENCES

- [1] I.F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 102–114, August 2002.
- [2] A.T. Parameswaran, M. I. Husain, and S.Upadhyaya, "Is RSSI a Reliable Parameter in Sensor Localization Algorithms – an Experimental Study," *Field Failure Data Analysis Workshop (F2DA 2009)*, New York, USA, 2009.
- [3] R. Grossmann, J. Blumenthal, F. Golatowski and D. Timmermann, "Localization in ZigBee-based Sensor Networks," *Technical Report (German)*, University of Rostock, Institute MD, April 2007.
- [4] F. Sottile, R. Giannantonio, M. A. Spirito and F. L. Bellifemine, "Design, Deployment and Performance of a Complete Real-time ZigBee Localization System," *Wireless Day 2008 (WD'08)*, 1st IFIP, pp. 1–5, November 2008.
- [5] R. Priwgharm, K. Srivilas, and P. Chertanomwong, "Indoor Localization System Using RSSI measurement in Wireless Sensor Networks Based on ZigBee Standard," *The 3rd National Conference on Information Technology (NCICT 2010)*, Bangkok, Thailand, pp. 225–228, October 2010.
- [6] A. Taheri, A. Singh, and E. Agu, "Location Fingerprinting on Infrastructure 802.11 Wireless Local Area Networks," *Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Network (LCN'04)*, vol.00, pp. 676–683, 2004.
- [7] P. Chertanomwong, J. Takada, and H. Tsuji, "Signal Subspace Interpolation from Discrete Measurement Samples in Constructing a Database for Location Fingerprint Technique," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E92-B, no.9, pp. 2922–2930, September 2009.
- [8] N. Nakarach, T. Bokam, K. Jomprom, D. J. Suroso and P. Chertanomwong, "Implementation of RSSI-based Localization System Using Wireless Sensor Networks Based on ZigBee Standard," *The 3rd RC ICT 2011*, Lao PDR, March 2011.

Recognition of High Quality Paper



Presented to

*Panarat CHERNTANOMWONG and
Dwi Joko SUROSO*

for the paper entitled

*Indoor Localization System using Wireless Sensor Networks
for Stationary and Moving Target*

at the **Eighth International Conference on Information,
Communications and Signal Processing (ICICS 2011)**
13 – 16 December 2011, Shangri-La Hotel, Singapore


Woon Seng GAN
Program Chair


Wen-de ZHONG
Program Chair