

พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมของวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน

Optimum Weight Parameter of Weight Centroid Method for Indoor Positioning in Environment with Different Path Loss Exponent and Multipath Fading Effect

พิชญ สุพรรณกุล* และ มนต์ชัย ชำ่มช้อย

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Pichaya Supanakoon* and Monchai Chamchoy

Department of Telecommunications Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang Lat Krabang, Lat Krabang, Bangkok, 10520, Thailand

*Corresponding Author E-mail: pichaya.su@kmitl.ac.th

Received: Feb 20, 2024; Revised: Apr 07, 2024; Accepted: Apr 23, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมของวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน กำหนดให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดด้านละ 10 m มีเครื่องส่งติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางแต่ละด้าน ได้นำแบบจำลองค่าผิดพลาดระยะทางมาประยุกต์ใช้คำนวณระยะทางระหว่างพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้กับพิกัดตำแหน่งของเครื่องส่งในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน ทำการประมาณหาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ทั้งหมด 100 ตำแหน่ง โดยใช้วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักปรับพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมพิจารณาจากกรณีที่มีค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยของทุกตำแหน่งน้อยที่สุด ได้แสดงพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิถีแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ช่วงที่สองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงที่สามมีแนวโน้มแกว่งขึ้นลง นอกจากนี้ขนาดของสภาพแวดล้อมภายในอาคารมีผลกระทบต่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมน้อยมาก ผลที่ได้นี้ทำให้สามารถเลือกค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่ตรงกันหรือใกล้เคียงกับช่องสัญญาณของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

คำสำคัญ: วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนัก, การหาตำแหน่งภายในอาคาร, เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี, การจางหายหลายวิถี

Abstract

This paper proposes optimum weight parameter of weight centroid method for indoor positioning in environment with different path loss exponent and multipath fading effect. The indoor environment is defined as square with each side 10 m long. There is a transmitter installed in the center of each side. The distance error model is applied to calculate the distances between the location coordinates of user and the location coordinates of transmitters in environment with different path loss exponent and multipath fading. The total 100 location coordinates of user are estimated by using weight centroid method, varying weight parameter in the range of 1 to 10. The optimum weight parameter is defined as the case where mean of distance error of all positions is the least. The optimum weight parameter for environment with different path loss exponent and multipath fading effect is illustrated. The results show that the optimum weight parameter changes slightly with the path loss exponent and tends to change with the standard deviation of the multipath fading effect divided into 3 periods. The first period tends to increase slowly, the second period tends to increase rapidly, and the third period tends to fluctuate up and down. Moreover, the size of the indoor environment has very little impact on the optimum weight parameter. These results make it possible to select optimum weight parameter for case with path loss exponent and standard deviation of multipath fading effect that match or are close to the channel of indoor environment.

Keywords: Weight centroid method, indoor positioning, path loss exponent, multipath fading

1. บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ได้พัฒนาการให้บริการแบบใหม่ที่เรียกว่า การบริการบอกตำแหน่ง (Location Based Services: LBS) และการบริการบอกบริเวณใกล้เคียง (Proximity Based Services: PBS) ซึ่งนำมาใช้ภายนอกอาคารอย่างแพร่หลาย และกำลังพัฒนาสำหรับนำมาใช้ภายในอาคาร โดยทำการประมาณหาตำแหน่งของผู้ใช้ผ่านทางสมาร์ทโฟน [1–10] การหาตำแหน่งภายนอกอาคารใช้ระบบการหาตำแหน่งโลก (Global Positioning System: GPS) ซึ่งใช้สัญญาณดาวเทียมมาประมาณหาตำแหน่งของผู้ใช้ได้อย่างเที่ยงตรงและมีติดตั้งอยู่ในสมาร์ทโฟนทั่วไป [11] แต่การหาตำแหน่งภายในอาคารไม่สามารถใช้ GPS ได้เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมถูกบดบัง การหาตำแหน่งภายในอาคารจะมีความผิดพลาดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งภายนอกอาคาร เนื่องจากภายในอาคารมีสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ทำให้มีการจางหายหลายวิถี (Multipath Fading) เกิดขึ้นอย่างหนาแน่น [12]

การหาตำแหน่งภายในอาคารจะอยู่บนพื้นฐานความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS) ของ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่แล้ว เช่น วิทยุ (Wireless Fidelity: WiFi) บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy: BLE) และซิกบี (Zigbee) [13],[14] โดยการหาตำแหน่งจะเป็นการประยุกต์ใช้งานเสริม ทำให้ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเพิ่มขึ้น วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้หาตำแหน่งบนพื้นฐาน RSS โดยมีข้อดีคือใช้เพียงสมการรูปแบบปิดหาพิกัดตำแหน่ง x และ y ของผู้ใช้โดยตรง แต่มีข้อเสียสำคัญคือพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักหาได้จากการเทรนของช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการคำนวณและหน่วยความจำมาก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับสมาร์ทโฟน

บทความนี้ได้นำเสนอพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมของวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งทำให้มีข้อดีตรงที่สามารถตัดขั้นตอนการเทรนออกไปได้ โดยพิจารณาในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน แบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารกำหนดให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 10 m. มีเครื่องส่งทั้งหมด 4 เครื่อง โดยแต่ละ

เครื่องติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางแต่ละด้าน กำหนดคุณสมบัติช่องสัญญาณโดยใช้แบบจำลองเชิงสถิติและได้คำนวณระยะทางระหว่างพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้กับพิกัดตำแหน่งของเครื่องส่งในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างจากแบบจำลองค่าผิดพลาดระยะทาง [15] ทำการประมาณหาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้โดยใช้วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักปรับพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 ตำแหน่งของผู้ใช้มีทั้งหมด 100 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งอยู่ห่างกัน 1 m ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมพิจารณาจากกรณีที่มีค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยของทุกตำแหน่งน้อยสุด ได้แสดงพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อผลกระทบการจางหายหลายวิถีเพิ่มขึ้น

เนื้อหาในส่วนที่เหลือของบทความนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2 เป็นวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนัก หัวข้อที่ 3 เป็นแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคาร หัวข้อที่ 4 เป็นผลการหาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม และหัวข้อสุดท้ายเป็นสรุป

2. วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนัก

วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักเป็นวิธีที่ใช้ประมาณหาตำแหน่งบนพื้นฐาน RSS โดยมีข้อดีคือใช้เพียงสมการรูปแบบปิดหาพิกัดตำแหน่ง x และ y ของผู้ใช้ได้โดยตรง แต่มีข้อเสียสำคัญคือพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักหาได้จากการเทรนของช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการคำนวณและหน่วยความจำมาก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับ LBS และ PBS ที่ใช้ผ่านสมาร์ตโฟน เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียนี้จึงจำเป็นต้องหาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเพื่อทำให้ตัดขั้นตอนการเทรนของช่องสัญญาณออกไป

แบบจำลองค่าผิดพลาดระยะทาง [12] ได้นำเสนอความสัมพันธ์ของระยะทางในเทอมของตัวแปรสุ่มที่หาจาก RSS ในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิง

วิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน แบบจำลองช่องสัญญาณสภาพแวดล้อมภายในอาคาร กำหนดเป็นผลรวมระหว่างแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีกับแบบจำลองการจางหายหลายวิถีดังสมการที่ (1)

$$\mathbf{P}_r = \bar{P}_r + \mathbf{p}_r \quad (1)$$

เมื่อ \mathbf{P}_r เป็น RSS ที่มีผลกระทบจากแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีและแบบจำลองการจางหายหลายวิถี \bar{P}_r เป็น RSS ที่เป็นผลมาจากแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีเพียงอย่างเดียว และ \mathbf{p}_r เป็นตัวแปรสุ่มผลกระทบของการจางหายหลายวิถี ซึ่งกำหนดให้มีคุณสมบัติทางสถิติแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีกำหนดเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง RSS ที่ลดลงตามระยะทางดังสมการที่ (2)

$$\bar{P}_r = -10n \log(d) + P_0 \quad (2)$$

เมื่อ n เป็นเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี และ P_0 เป็น RSS ที่ระยะอ้างอิง 1 m ในกรณีที่ไม่มีผลกระทบจากการจางหายหลายวิถี

กำหนดให้พิกัดตำแหน่งของผู้ใช้เป็น (x, y) และพิกัดตำแหน่งของเครื่องส่งที่ i เป็น (x_i, y_i) ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับเครื่องส่งที่ i d_i ประมาณได้จากสมการที่ (3)

$$\mathbf{d}_i = 10^{\mathbf{p}_r / (10n)} d_i \quad (3)$$

เมื่อ d_i เป็นระยะทางที่ถูกต้องระหว่างผู้ใช้กับเครื่องส่ง i ในกรณีที่ไม่มีผลกระทบจากการจางหายหลายวิถี

จากสมการที่ (3) ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับเครื่องส่งที่ i \mathbf{d}_i เป็นตัวแปรสุ่มซึ่งเกิดจากผลกระทบการจางหายหลายวิถี ถ้าไม่มีผลกระทบการจางหายหลายวิถี นั่นคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เท่ากับ 0 หรือสมาชิกทั้งหมดของ \mathbf{p}_r มีค่าคงที่เท่ากับ 0 จะได้สมาชิกทั้งหมดของ \mathbf{d}_i มีค่าคงที่เท่ากับ d_i นั่นคือไม่มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นจากการประมาณหาระยะทาง ในกรณีที่ผลกระทบการจางหายหลายวิถี นั่นคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ มีค่าไม่เท่ากับ 0 สมาชิกทั้งหมดของ \mathbf{d}_i จะมีค่า

แตกต่างจาก d_i นั้นคือมีค่าผิดพลาดจากการประมาณระยะทางเกิดขึ้น โดยค่าผิดพลาดเฉลี่ยจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี n น้อยลง ในทำนองกลับกัน เมื่อเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี n มีค่ามากขึ้น จะเป็นผลให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณระยะทางมีค่าน้อยลง

วิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักใช้หาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ได้โดยตรงจากสมการรูปแบบปิด ตัวแปรสุ่มค่าพิกัดตำแหน่งในแกน x และแกน y หาได้จากสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$\mathbf{x} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^k}} \quad (4)$$

$$\mathbf{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{y_i}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^k}} \quad (5)$$

เมื่อ k เป็นพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก และ N เป็นจำนวนของเครื่องส่งพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ในแนวแกน x และแกน y จะพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม x และ y ตามลำดับ

ค่าผิดพลาดระยะทาง E_d พิจารณาจากระยะทางระหว่างพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ที่ถูกต้อง (x_c, y_c) กับพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ที่ประมาณได้ (x, y) ดังสมการที่ (6)

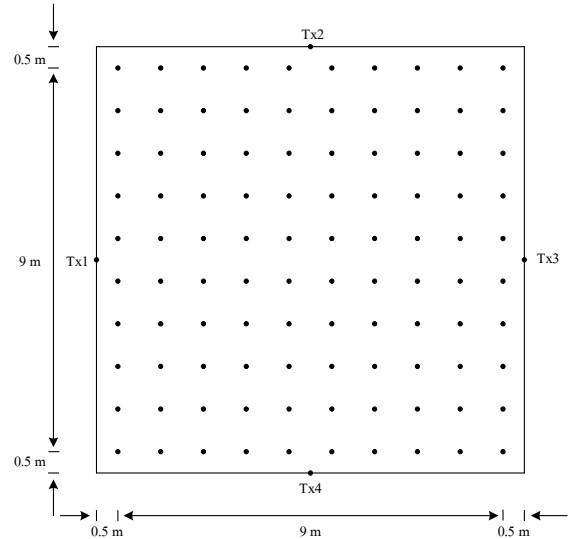
$$E_d = \sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2} \quad (6)$$

ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมได้ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก k จาก 1 ถึง 10 ประมาณหาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้และค่าผิดพลาดระยะทางในแต่ละตำแหน่งในแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคาร พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมนิยามเป็นค่า k ที่ทำให้ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยที่สุด

3. แบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

แบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ใช้ในบทความนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 m กำหนดให้มุมล่างซ้าย มุมล่างขวา มุมบนซ้าย และมุมบนขวา อยู่ที่พิกัดตำแหน่ง (0,0), (10,0), (10,10) และ (0,10) ตามลำดับ มีเครื่องส่งทั้งหมด 4 เครื่อง แทนด้วย Tx1, Tx2, Tx3 และ Tx4

โดยติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางแต่ละด้าน นั่นคืออยู่ที่พิกัดตำแหน่ง (0,5), (5,10), (10,5) และ (5,0) ได้ประมาณหาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ทั้งหมด 100 ตำแหน่ง แทนด้วยจุดทึบ แต่ละตำแหน่งห่างกันอยู่ห่างกันในแนวแกน x และแกน y เป็น 1 m โดยอยู่ที่แกน x และแกน y มีค่าเป็น 0.5, 1.5, ..., 9.5

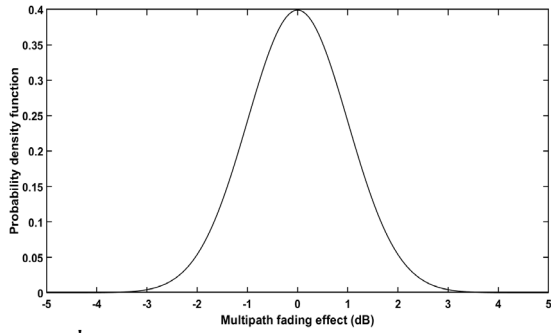


รูปที่ 1 แบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

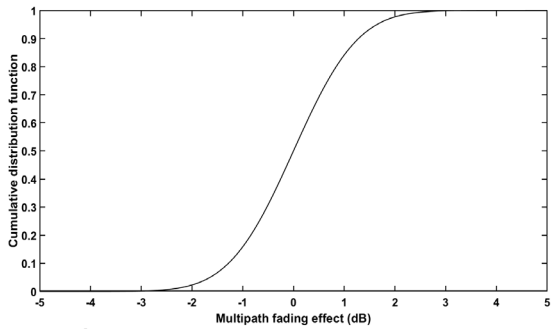
4. ผลการหาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม

หัวข้อนี้ได้ใช้ทฤษฎีวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักและแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน โดยที่จะพิจารณาเลขยกกำลังการสูญเสียอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 1.8 ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้สำหรับกรณีช่องสัญญาณสภาพแวดล้อมภายในอาคารเส้นทางการมองเห็น (Line of Sight: LOS) [12]

ขั้นแรกได้กำหนดให้สภาพแวดล้อมมีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี n เท่ากับ 1.6 และผลกระทบการจางหายหลายวิถีเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์จำนวน 10,000 ข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 dB ซึ่งจะมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ของผลกระทบการจางหายหลายวิถีแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

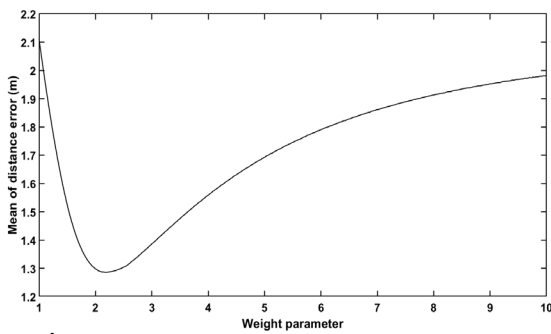


รูปที่ 2 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของผลกระทบการจางหายหลายวิถีเมื่อ σ เท่ากับ 1 dB



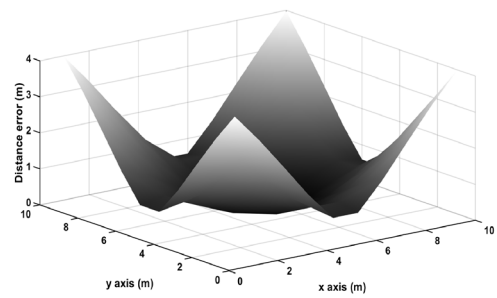
รูปที่ 3 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของผลกระทบการจางหายหลายวิถีเมื่อ σ เท่ากับ 1 dB

ต่อมาได้กำหนดให้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยเพิ่มทีละ 0.01 และคำนวณหาค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยของทุกตำแหน่งเพื่อพิจารณาหาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 จากผลที่ได้เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2.19 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 1.29 m

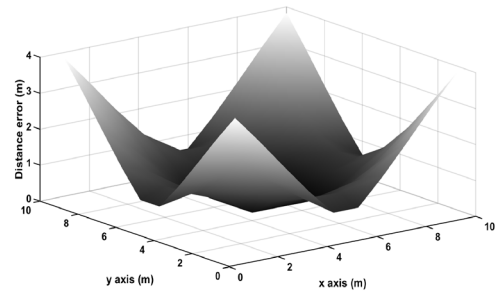


รูปที่ 4 ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ σ เท่ากับ 1 dB

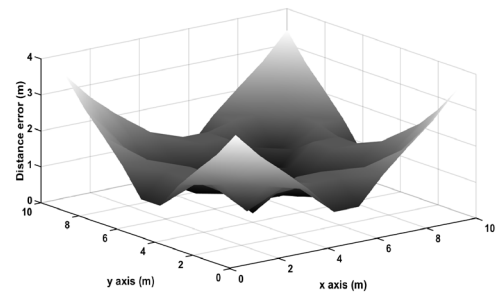
ได้ทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมคือเท่ากับ 2.19 กับพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เป็นค่าจำนวนเต็มอย่างง่ายซึ่งนิยมใช้ในวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนัก นั่นคือเท่ากับ 2 และ 3 โดยหาค่าผิดพลาดระยะทางที่แต่ละตำแหน่ง PDF และ CDF รูปที่ 5-7 แสดงค่าผิดพลาดระยะทางที่แต่ละตำแหน่งเมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 2.00, 2.19 และ 3.00 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทุกกรณีมีแนวโน้มการเกิดค่าผิดพลาดระยะทางเหมือนกัน โดยที่บริเวณกึ่งกลางห้องจะมีค่าผิดพลาดระยะทางน้อยสุด รองลงมาเป็นบริเวณกึ่งกลางแต่ละด้านของห้อง ส่วนที่บริเวณมุมห้องจะมีค่าผิดพลาดระยะทางสูงสุด



รูปที่ 5 ค่าผิดพลาดระยะทางที่แต่ละตำแหน่งเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 2.00

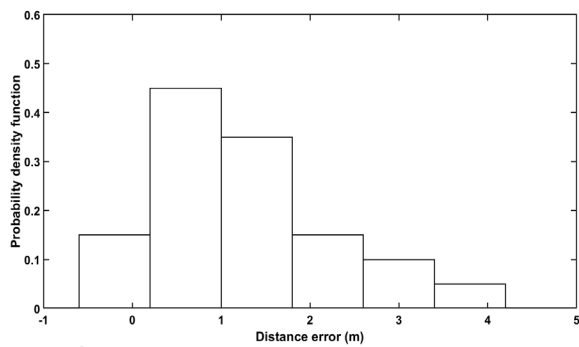


รูปที่ 6 ค่าผิดพลาดระยะทางที่แต่ละตำแหน่งเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 2.19

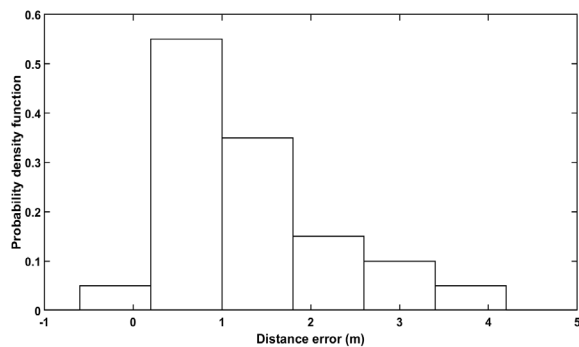


รูปที่ 7 ค่าผิดพลาดระยะทางที่แต่ละตำแหน่งเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 3.00

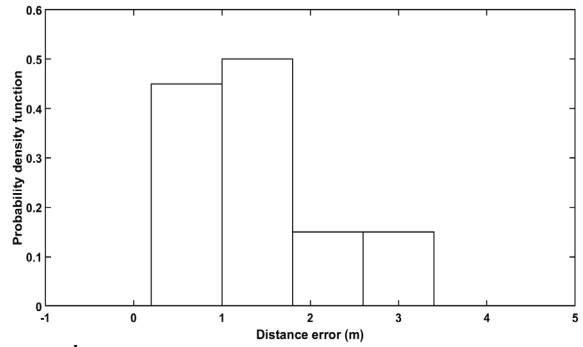
รูปที่ 8-10 แสดง PDF ของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 2.00, 2.19 และ 3.00 ตามลำดับ ส่วน CDF ของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 2.00, 2.19 และ 3.00 แสดงในรูปที่ 11 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีค่ามากขึ้น จะทำให้การกระจายข้อมูลของค่าผิดพลาดระยะทางลดลง โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 2.00, 2.19 และ 3.00 เป็น 1.04 m, 0.97 m และ 0.75 m ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเมื่อใช้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่นิยมใช้คือเท่ากับ 2.00 และ 3.00 เป็น 0.91% และ 7.76% ตามลำดับ



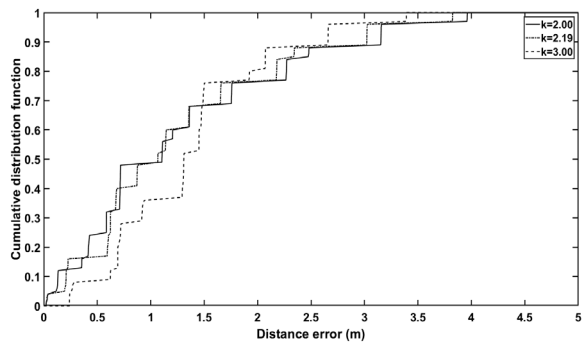
รูปที่ 8 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 2.00



รูปที่ 9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 2.19



รูปที่ 10 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 3.00

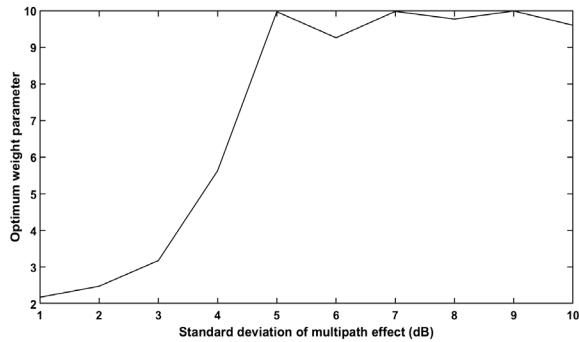


รูปที่ 11 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าผิดพลาดระยะทางเมื่อ n เท่ากับ 1.6 และ k เท่ากับ 2.00, 2.19 และ 3.00

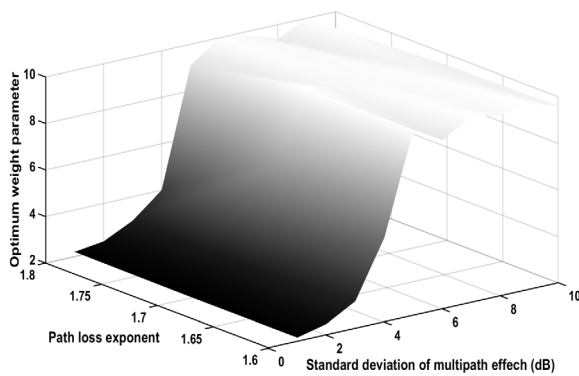
หลังจากนั้นได้พิจารณาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมโดยกำหนดให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิธีมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 dB ถึง 10 dB พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมได้แสดงไว้ในรูปที่ 12 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิธีมีค่าตั้งแต่ 1 dB ถึง 3 dB ช่วงนี้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จาก 2.19 เป็น 3.18 ช่วงที่สองคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิธีมีค่าตั้งแต่ 3 dB ถึง 5 dB ช่วงนี้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 3.18 เป็น 9.97 ส่วนช่วงที่สามคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิธีมีค่าตั้งแต่ 5 dB ถึง 10 dB ช่วงนี้

พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีแนวโน้มแกว่งขึ้นลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.76

ได้ศึกษาพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเพิ่มเติม โดยขยายการพิจารณาที่เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1.6 ถึง 1.8 ซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมได้แสดงไว้ในรูปที่ 13 และตารางที่ 1 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีเพียงเล็กน้อยและมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบจางหายหลายวิถีเป็นไปในทำนองเดียวกันกับกรณีที่เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 1.6



รูปที่ 12 พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเมื่อ n เท่ากับ 1.6



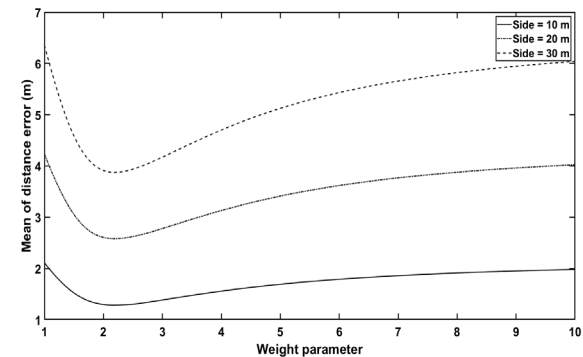
รูปที่ 13 พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม

ได้พิจารณาสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีขนาดแตกต่างกัน รูปที่ 14 แสดงค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมเป็นที่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 10 m, 20 m และ 30 m แต่ละกรณีกำหนดให้เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเป็น 1.6 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ของผลกระทบจางหายหลายวิถีมีค่าเป็น 1 dB ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแต่ละกรณีมีค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมประมาณเท่ากันคือมีค่าเท่ากับ 2.19, 2.19 และ 2.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม

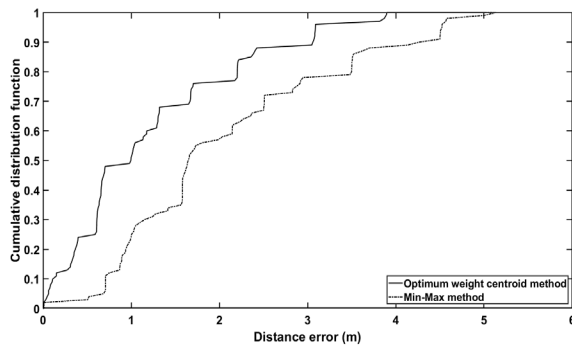
σ (dB)	พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม		
	$n = 1.6$	$n = 1.7$	$n = 1.8$
1	2.19	2.17	2.20
2	2.48	2.37	2.37
3	3.18	2.90	2.98
4	5.63	6.96	4.01
5	9.97	10.00	9.10
6	9.26	9.74	9.96
7	9.98	9.83	9.81
8	9.77	9.90	9.37
9	9.99	9.68	9.98
10	9.60	9.52	8.86



รูปที่ 14 ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเมื่อสภาพแวดล้อมภายในอาคารยาวด้านละ 10 m, 20 m และ 30 m

ได้เปรียบเทียบผลการหาดำแหน่งกับวิธีน้อยสุด-มากที่สุด ซึ่งเป็นวิธีหาดำแหน่งที่ไม่ซับซ้อนและมีพื้นฐานอยู่บน RSS เหมือนกับวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม โดยกำหนดให้เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเป็น 1.7 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบจางหายหลายวิถีมีค่าเป็น 5 dB ซึ่งจากตารางที่ 1 จะได้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเท่ากับ 10 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าผิดพลาดระยะทางที่ได้จากวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ

วิธีน้อยสุด-มากที่สุดแสดงในรูปที่ 15 ค่าผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ได้จากวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและวิธีน้อยสุด-มากที่สุดมีค่าเป็น 1.24 m และ 2.10 m ตามลำดับ นั่นคือวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้ความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีน้อยสุด-มากที่สุด 0.86 m



รูปที่ 15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าผิดพลาดระยะทางที่ได้จากวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับวิธีน้อยสุด-มากที่สุด

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมของวิธีเซนทรอยด์ถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาพแวดล้อมที่มีเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและผลกระทบการจางหายหลายวิถีที่แตกต่างกัน จากผลที่ได้พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลกระทบการจางหายหลายวิถีแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ช่วงแรกคือตั้งแต่ 1 dB ถึง 3 dB มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงที่สองคือตั้งแต่ 3 dB ถึง 5 dB มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงที่สามคือตั้งแต่ 5 dB ถึง 10 dB มีแนวโน้มแกว่งขึ้นลง นอกจากนี้ขนาดของสภาพแวดล้อมภายในอาคารมีผลกระทบต่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมน้อยมาก ข้อมูลพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ LBS และ PBS ผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยมีข้อดีที่สำคัญคือใช้การคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน ใช้หน่วยความจำน้อยและไม่จำเป็นต้องทำการเทรนช่องสัญญาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Min, L. Xiao, J. Ding, H. Zhang, S. Li, M. Pan and Z. Han, "3D Geo-Indistinguishability for Indoor Location-Based Service," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 21, no. 7, pp. 4682–4694, 2022, doi: 10.1109/TWC.2021.3132464.
- [2] S. R. Garzon, T. Pöllabauer, S. Zickau and A. Küpper, "Interactive Design of Geofences for Proactive Location-based Services in Smart Cities," in *2019 IEEE Smart World, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (Smart World/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*, Leicester, UK, Aug. 19–23, 2019, pp. 1184–1187.
- [3] J. Haifeng and W. Gin, "Design and implementation of location service based on signal strength difference," in *2017 13th International Conference on Intelligent Environments*, Seoul, South Korea, Aug. 21–25, 2017, pp. 1–5.
- [4] M. Qingmin, F. Tao, C. Chenyang, Z. Yulong and P. Fengmei, "A Campus Location Based Service Case for Mobile Virtual Network Operators," in *2016 IEEE International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis*, Chengdu, China, Jul. 5–7, 2016, pp. 215–220.
- [5] R. Filjar, M. Ševrović and Dadić, "Positioning and localization for Location-based services," in *21st Telecommunications forum TELFOR*, Belgrade, Serbia, Nov. 26–28, 2013, pp. 9–12.
- [6] Z. Zhou, M. Li and B. Long, "A Review of Mission Critical Service over Proximity based Service," in *2023 IEEE/CIC International Conference on Communications in China*, Dalian, China, Aug. 10–12, 2023, pp. 1–6.
- [7] F. Zafari, I. Papapanagiotou, M. Devetsikiotis and T. J. Hacker, "Enhancing the Accuracy of iBeacons for

- Indoor Proximity-based Services,” in *2017 IEEE International Conference on Communications*, Paris, France, May. 21–25, 2017, pp. 1–7.
- [8] J. E.-Sobhy, S. Zickau and A. Küpper, “Proximity-based Services in Mobile Cloud Scenarios Using Extended Communication Models,” in *2015 IEEE 4th International Conference on Cloud Networking*, Ontario, Canada, Oct. 5–7, 2015, pp. 125–131.
- [9] K. W. Choi and Z. Han, “Device-to-Device Discovery for Proximity-Based Service in LTE-Advanced System,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 1, pp. 55–66, 2015, doi: 10.1109/JSAC.2014.2369591.
- [10] Y.-H. Tsai, Y.-T. Lin, K. C. Loa, T.-Y. Tsai, C.-C. Chien, D.-C. Huang, S.-T. Sheu and P.-S. Kao, “Proximity-based Service Beyond 4G Network: Peer-aware Discovery and Communication Using E-UTRAN and WLAN,” in *2013 12th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, Victoria, Australia, Jul. 16–18, 2013, pp. 1345–1350.
- [11] K. Liu and X. Li, “Overview of Mobile Systems,” in *Mobile SmartLife via Sensing, Localization, and Cloud Ecosystems*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2020, ch. 2, sec. 2.1, pp. 12.
- [12] T. S. Rappaport, “Mobile Radio Propagation: Large-Scale Path Loss,” in *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pentice Hall PTR, 2002, ch. 3, sec. 3.2, pp. 70–74.
- [13] S. Sadowski and P. Spachos, “RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 30149–30161, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2843325.
- [14] F. Zafari, I. Papapanagiotou and K. Christidis, “Microlocation for Internet-of-Things-Equipped Smart Buildings,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol 3, no. 1, pp. 96–112, 2016, doi: 10.1109/JIOT.2015.2442956.
- [15] P. Supanakoon and S. Promwong, “Evaluation of Distance Error with Bluetooth Low Energy Transmission Model for Indoor Positioning,” *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 17, no. 4, pp. 707–722, 2021, doi: 10.13052/jmm1550-4646.17411.