

การศึกษาเทคโนโลยี UWB และเทคโนโลยี NB สำหรับ การหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง

วิภัสสร วินิจญ์กุล¹ พิชญ์ สุพรรณกุล² และอนุพงศ์ ทิ้งในธรรม¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนักวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการหาตำแหน่งภายในอาคาร เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิต ทรัพย์สิน และช่วยในการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (UWB) และการใช้เทคโนโลยีแถบแคบ (NB) สำหรับการประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง การหาตำแหน่งได้ใช้วิธีการเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ในขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่ความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz จากนั้นผลตอบสนองของช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้หาพารามิเตอร์อินพุต ได้แก่ พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี พารามิเตอร์การประวิงเวลา และพารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ย จากผลการทดสอบ พบว่า การใช้สัญญาณ UWB จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้สัญญาณ NB เมื่อนำมาใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคาร และสายอากาศแบบมีทิศทางสามารถใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคารได้เช่นเดียวกับการใช้สายอากาศรอบทิศทาง

คำสำคัญ : การหาตำแหน่งภายในอาคาร, เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง, เทคโนโลยีแถบแคบ, สายอากาศแบบมีทิศทาง

A Study on UWB and NB Technology for Indoor Localization by Using Directional Antenna

Wipassorn Vinichayakul¹ Pichaya Supanakoon² and Anupong Thuengnaitham¹

¹Faculty of Industrial Technology, Valaya Alonghorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Phathum Thani, Thailand

²Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Abstract

Many researchers have realized the importance of indoor localization. The indoor localization has been researched for the safety of life and property, and the assist on the facilitation. In this research, we studied on ultra wideband (UWB) technology and narrow band (NB) technology for indoor localization by using directional antenna. Fingerprinting technique was used for indoor localization. The vector network analyzer (VNA) was used at the range of 3 GHz to 11 GHz. Then, the frequency transfer function was processed in order to find input parameters for localization processing by fingerprinting technique. The input parameters consist of path loss parameter, delay time parameter and average power loss parameter. The results showed that the use of UWB signal gave better results than using a NB signal for indoor localization. Moreover, directional antennas can be used to locate in the building as well as omnidirectional antennas.

Keywords : Indoor localization, UWB technology, NB technology, Directional antenna

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การหาตำแหน่งภายในอาคารได้ถูกนำมาศึกษากันอย่างแพร่หลาย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุในทาง การแพทย์ การตรวจสอบตำแหน่งของสินค้าในคลังสินค้า ในทางอุตสาหกรรม หรือการใช้เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สิน เช่น การติดตามตำแหน่งของนักผจญเพลิงใน สถานที่ซึ่งเกิดไฟไหม้ หรือใช้ในการติดตามคนงานในเหมืองแร่ เป็นต้น [1-2] ซึ่งการนำการหาตำแหน่งภายในอาคารมาประยุกต์ใช้นี้จำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำค่อนข้างสูง และส่วนมากต้องอาศัยการนำเทคโนโลยีไร้สายเข้ามาใช้ แต่การนำเทคโนโลยีไร้สายเข้ามามีใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงหลายด้าน เช่น ด้านสุขภาพและความปลอดภัย ด้านปัญหาในการรบกวนกันกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ด้านความแม่นยำหรือความถูกต้อง และราคาของเครื่องมือซึ่งจะต้องไม่แพงมากเกินไป ดังนั้น เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband technology: UWB) จึงเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคาร

UWB เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำลังงานส่งต่ำ จึงไม่เป็นอันตรายสำหรับการใช้งานกับร่างกายมนุษย์และไม่ไปรบกวนสัญญาณอื่น ๆ เนื่องจากมีแบนด์วิดท์กว้างจึงสามารถทนทานต่อปัญหาที่เกิดจากองค์ประกอบของคลื่นหลายวิถีได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ UWB มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งจะทำให้การหาตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น ทางด้านของสายอากาศที่ใช้ในการหาตำแหน่งก็เป็นอีกส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำสายอากาศแบบมีทิศทางซึ่งครอบคลุมความถี่แถบกว้างยิ่งมาใช้ในการทดสอบ

สายอากาศแบบแถวลำดับรายคาบล็อก เป็นสายอากาศที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งสายอากาศดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติในการใช้งานที่ช่วงความถี่กว้างสามารถใช้งานกับการหาตำแหน่งแบบ UWB ได้ และเนื่องจากเป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียวทำให้ลำคลื่นสามารถส่งได้ไกลมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง อีกทั้งมีมุมที่ชี้ทิศทางแคบจึงสามารถนำมาใช้กับการหาตำแหน่งได้

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้สายอากาศแบบมีทิศทางในการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งได้ทำการทดสอบบริเวณมุมเลี้ยวของทางเดินซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่สายอากาศส่งและสายอากาศรับสามารถมองเห็นกันได้ในระดับสายตา (Line of sight: LOS) และสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่สามารถมองเห็นกันได้ในระดับสายตา (Non – line of sight: NLOS) และได้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการใช้ UWB เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแถบแคบ (Narrowband technology: NB) โดย UWB จะใช้ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4a [3] และ NB จะใช้ตามมาตรฐาน IEEE802.11a (WLAN) [4]

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณส่ง UWB

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้สัญญาณส่ง UWB เป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband waveform) โดยมีสมการที่ 1 เป็นสมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา และสมการที่ 2 เป็นสมการของฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมในโดเมนความถี่ ดังนี้

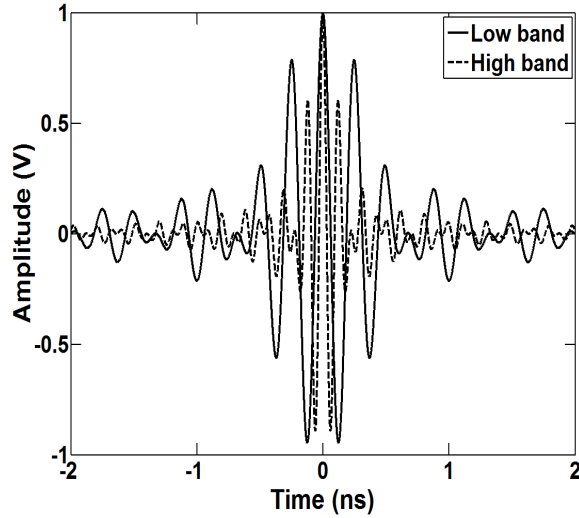
$$v_t(t) = \frac{A}{f_B} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (1)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_B} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_B}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_B}{2} \end{cases}, \quad (2)$$

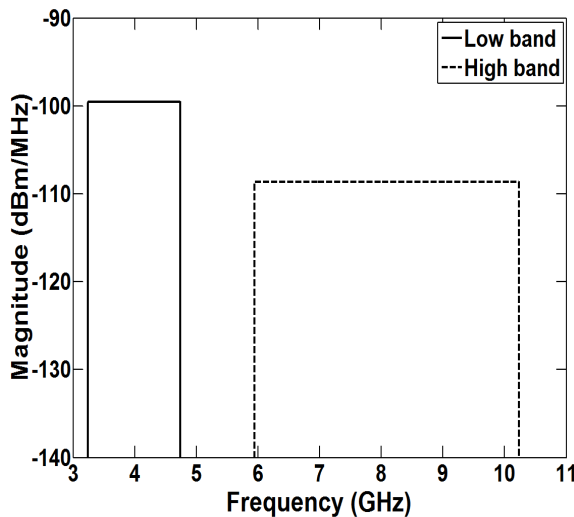
เมื่อ A คือ แอมพลิจูดสูงสุด f_b คือ แบนด์วิดท์ f_c คือ ความถี่กลาง f_L คือ ความถี่ต่ำสุด และ f_H คือ ความถี่สูงสุด

สัญญาณส่ง UWB รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้ จะกำหนดให้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1 V และใช้ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4a [3] โดยแบ่งออกเป็นช่วง UWB ความถี่ต่ำ (Low band) มีช่วงความถี่จาก 3.244 GHz ถึง 4.742 GHz และช่วง UWB ความถี่สูง (High band) มีช่วงความถี่จาก 5.944 GHz ถึง 10.234 GHz รูปที่ 1 และ 2

แสดงรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาและสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่ตามลำดับ



รูปที่ 1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา



รูปที่ 2 สเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่

2.2 การประมวลผลสัญญาณรับจากการส่งสัญญาณ UWB

สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้นั้น สามารถหาได้จากการคำนวณฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณซึ่งได้จากการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร แสดงดังสมการที่ 3

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3)$$

เมื่อ $V_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง และ $H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนทางความถี่ ซึ่งได้จากการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร

จากนั้น ทำการแปลงกลับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่ให้อยู่ในโดเมนเวลา โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse Fourier transform) ของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ดังสมการที่ 4

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4)$$

กำลังงานของสัญญาณรับหาได้จากความสัมพันธ์ของสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลาให้เป็นหน่วย dB ดังแสดงในสมการที่ 5

$$P_r(t)[dB] = 20 \log(|v_r(t)|)$$

(5)

จากนั้นนำกำลังงานของสัญญาณรับ UWB มาสร้างเป็นพารามิเตอร์อินพุต UWB สำหรับขั้นตอนการประมวลผลตำแหน่งทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss parameter) และพารามิเตอร์การประวิงเวลา (Delay time parameter) ซึ่งได้แสดงสมการดังสมการที่ 6 และสมการที่ 7 ตามลำดับ

$$PL_{\max}[dB] = -20 \log \left(\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_t(t)|} \right) \quad (6)$$

$$\tau = \arg \max(P_r(t)) \quad (7)$$

2.3 การประมวลผลสัญญาณรับจากสัญญาณ NB

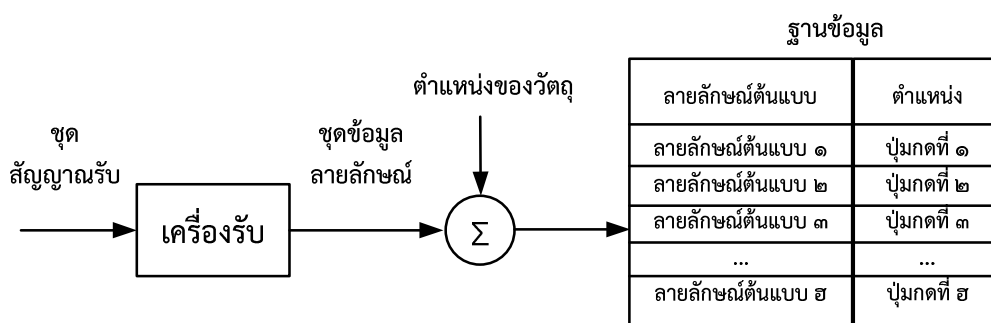
สัญญาณรับ NB จะถูกประมวลผลเป็นพารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ย (Average power loss parameter) โดยจะทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ช่องสัญญาณที่รับได้จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) ดังสมการที่ 8

$$P_r(f)[dB] = -20\log(|H_c(f)|) \quad (8)$$

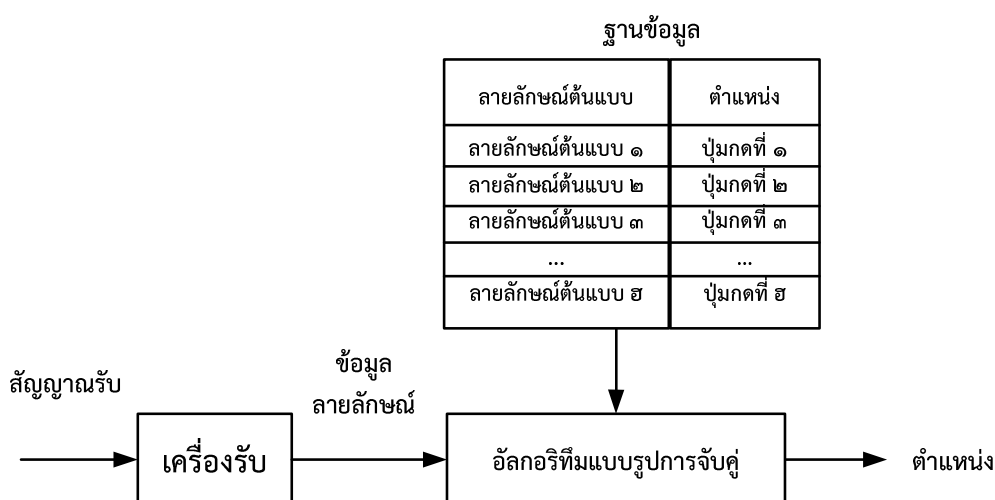
2.5 วิธีการวิเคราะห์ตำแหน่ง

สำหรับการประมวลผลตำแหน่งนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ [3], [5-6] มาใช้ ซึ่งเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือมีหลักการคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการหาฐานข้อมูล และขั้นตอนการระบุตำแหน่ง ในขั้นตอนของการหาฐานข้อมูลจะเริ่มด้วยการบันทึกชุดข้อมูลลายลักษณ์และชุดข้อมูลตำแหน่งลงในฐานข้อมูลก่อน ดังรูปที่ 3 ซึ่งชุดข้อมูลลายลักษณ์ในที่นี้คือพารามิเตอร์อินพุตโดยจะเรียกชุดข้อมูลลาย

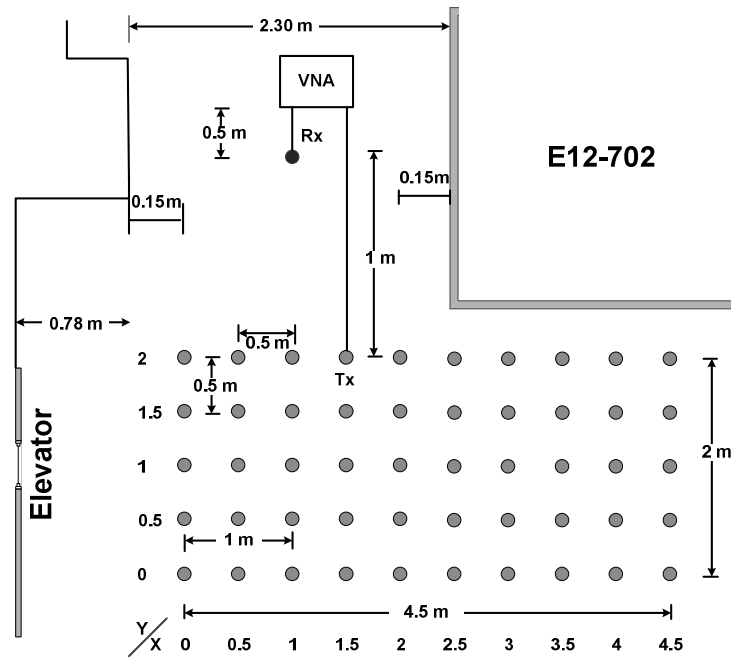
ลักษณ์ในขั้นตอนของการหาฐานข้อมูลว่าชุดข้อมูลลายลักษณ์ต้นแบบ ส่วนชุดข้อมูลตำแหน่งคือตำแหน่งซึ่งทำการเก็บพารามิเตอร์อินพุต จากนั้นในขั้นตอนการระบุตำแหน่งข้อมูลลายลักษณ์ซึ่งได้จากการวัดสัญญาณจากภาครับจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับลายลักษณ์ต้นแบบที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่ ดังรูปที่ 4 ต่อมาอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่ จะทำการประมวลผลตำแหน่งที่ต้องการทราบอย่างเหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่เป็นอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่รากของกำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุด (MRMSE) เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนน้อย มีการประมวลผลรวดเร็ว และไม่ส่งผลกระทบต่อการประเมินผลค่าความผิดพลาดต่ำแหน่งในการวิเคราะห์พารามิเตอร์



รูปที่ 3 ขั้นตอนการหาฐานข้อมูลของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ



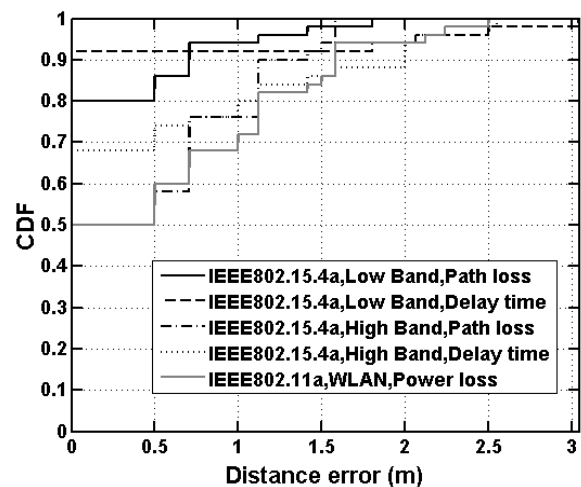
รูปที่ 4 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ



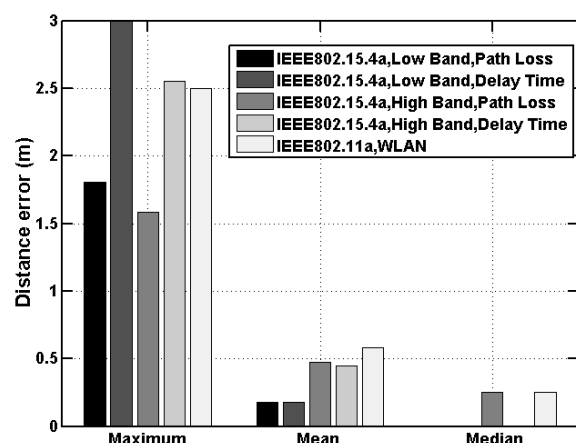
รูปที่ 5 แบบจำลองการหาตำแหน่งแบบ LOS และ NLOS

3. การเตรียมการวัดช่องสัญญาณ

การวัดช่องสัญญาณได้จัดทำขึ้นที่บริเวณทางเดินหักศอก ชั้น 7 ตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การตั้งค่าเครื่อง VNA ได้ตั้งค่าการวัดในช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ UWB ตามมาตรฐานข้อกำหนดของคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร [7] สายอากาศแบบระบายสีกอถูกวางในระนาบแนวตั้งทั้งด้านส่งและด้านรับ สายอากาศทั้งสองสูงจากพื้น 1 m จำนวนจุดความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ 801 จุด แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณได้แสดงดังรูปที่ 5 ทั้งแบบจำลองสำหรับการทำฐานข้อมูลและแบบจำลองสำหรับการทดสอบตำแหน่ง



รูปที่ 6 CDF ของความผิดพลาดระยะทาง
ในแต่ละพารามิเตอร์



รูปที่ 7 ความผิดพลาดระยะทางของแต่ละพารามิเตอร์

4. ผลการทดสอบ

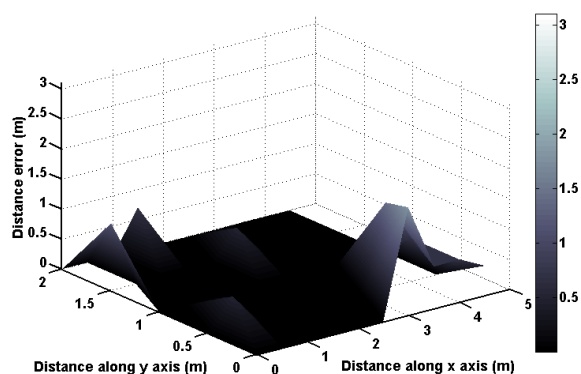
ผลการทดสอบการหาตำแหน่งในสภาวะที่สายอากาศมองเห็นและมองไม่เห็นกันในระดับสายตา ได้ถูกแสดงในรูปที่ 6 – 10 ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบพารามิเตอร์

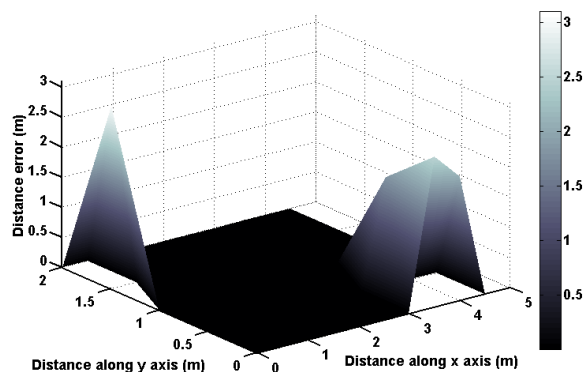
จากผลการทดสอบพารามิเตอร์ดังรูปที่ 6 และ 7 พบว่า มัธยฐานของค่าความผิดพลาดระยะทางของพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีในช่วง UWB ความถี่ต่ำ พารามิเตอร์การประวิงเวลาในช่วง UWB ความถี่ต่ำ และพารามิเตอร์การประวิงเวลาในช่วง UWB ความถี่สูง มีค่าเป็น 0 m จึงแสดงให้เห็นว่าจากจำนวนพิกัดทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของพิกัดทั้งหมดเมื่อทดสอบด้วยพารามิเตอร์ทั้งสามนี้ไม่เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งเลย และมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.18 m ในขณะที่เมื่อใช้สัญญาณ NB หาตำแหน่ง มีค่ามัธยฐานของค่าความผิดพลาดระยะทางเท่ากับ 0.25 m และมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 0.58 m ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการใช้สัญญาณ UWB ในการหาตำแหน่งได้อย่างชัดเจน ตารางเปรียบเทียบการใช้สัญญาณ UWB กับ NB แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการใช้สัญญาณ UWB กับ NB

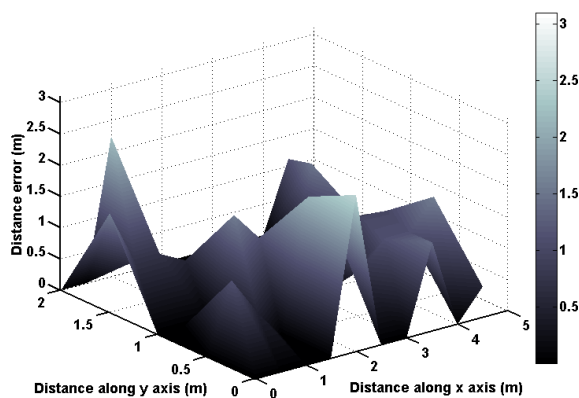
	Accuracy at 1 m	Range	Power consumption
UWB,Low Band,Path loss	94%	< 100 m	Low
UWB,Low Band,Delay time	92%	< 100 m	Low
UWB,High Band,Path loss	76%	< 100 m	Low
UWB,High Band,Delay time	76%	< 100 m	Low
WLAN,Power loss	72%	< 100 m	High



รูปที่ 8 ความผิดพลาดระยะทางของพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 9 ความผิดพลาดระยะทางของพารามิเตอร์การประวิงเวลาในแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 10 ความผิดพลาดระยะทางของพารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่ง

4.2 การวิเคราะห์ความผิดพลาดระยะทางในแต่ละพิกัด

จากรูปที่ 8 และ 9 จะเห็นได้ว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางที่สูง ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณซึ่งมีการบดบังลำคลื่นจากสายอากาศ ส่งผลให้พารามิเตอร์บริเวณนั้น ๆ ไปคล้อยคลึงกับบริเวณอื่น ๆ อัลกอริทึม MRMSE จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของตำแหน่งนั้น ๆ ได้ จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางของพารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ยซึ่งเป็นของสัญญาณ NB นั้นเกิดขึ้นเกือบจะทุก ๆ ตำแหน่ง โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งมีการบดบังลำคลื่นจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางที่สูง เมื่อทำการวิเคราะห์ พบว่า การใช้สัญญาณ UWB ในการหาตำแหน่งสัญญาณ UWB มีความครอบคลุมความถี่ซึ่งกว้างมาก ดังนั้นในโดเมนเวลาจึงมีลักษณะเป็นพัลส์แคบ เป็นผลให้เมื่อนำมาใช้หาตำแหน่งในพื้นที่ปิด เช่น ภายในอาคาร ซึ่งเต็มไปด้วยคลื่นหลายวิถี จึงได้รับผลกระทบที่น้อยกว่าการใช้สัญญาณ NB ซึ่งใช้การส่งสัญญาณเป็นคลื่นต่อเนื่องซึ่งถูกรบกวนได้ง่าย ทำให้การใช้สัญญาณ NB นั้นเกิดค่าความผิดพลาดระยะทางขึ้นเกือบจะทุก ๆ ตำแหน่ง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้สายอากาศแบบมีทิศทางในการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งได้ทำการทดสอบบริเวณมุมเลี้ยวของทางเดินซึ่งมีสภาวะแวดล้อมเป็นแบบ LOS และ NLOS ด้วยเครื่อง VNA โดยทำการเปรียบเทียบการใช้สัญญาณ UWB กับสัญญาณ NB จากผลการทดสอบ พบว่า

การใช้สัญญาณ UWB กับ การหาตำแหน่งในพื้นที่ปิดจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้สัญญาณ NB และ การใช้สายอากาศแบบมีทิศทางสามารถใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคารได้ เช่นเดียวกับการใช้สายอากาศรอบทิศทาง

การพัฒนากระบวนการหาตำแหน่งภายในอาคารยังสามารถพัฒนาได้อีกหลากหลายรูปแบบ เช่น การเพิ่มความแม่นยำของให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มอัลกอริทึมบางตัวเข้าไปในแบบจำลองสำหรับการทำฐานข้อมูล เพื่อที่จะลดค่าความผิดพลาดระยะทางอันเกิดจากความคล้อยคลึงกันของพารามิเตอร์ อันเนื่องมาจากสภาพพื้นที่ หรือการใช้วิธีการอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ตำแหน่ง เช่น Lateration เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Zwirello, M. Janson, C. Ascher and U. Schwesinger, "Localization in Industrial Halls via Ultra-Wideband Signals," 2010 Workshop on Positioning Navigation and Communication, Mar. 2010, pp. 144–149.
- [2] C. Nerguizian, C. Despins and S. Affès, "Geolocation in Mines With an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks," Journal of Communications, Vol. 5, No. 3, March 2006, pp. 603-611.
- [3] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, "Ultra-wideband Positioning Systems," NewYork: Cambridge University, Inc. 2008.
- [4] IEEE Std 802.11a-1999 Digital Object Identifier: 10.1109/IEEESTD.1999.90606.
- [5] A. Toak, N. Kandil, S. Affès and S. Georges, "Neural Networks for Fingerprinting-Based indoor Localization Using Ultra-Wideband," Journal of Communications, Vol. 4, No. 4, May 2009, pp. 267-275.
- [6] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C, vol. 37, no. 6, Nov. 2007, pp. 1067–1080.

- [7] Federal Communications Commission, “Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,” First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.