การปรับเทียบพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบแลนไร้สายให้ครอบคลุมภายในอาคาร

นางสาวพัชญา บรรจงดวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Parameter calibration for designing wireless LAN for indoor coverage area

Miss Patchaya Banjongdaung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับเทียบพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบแลนไร้สายให้ครอบคลุมภายในอาคาร
โดย	นางสาวพัชญา บรรจงดวง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ภัทรชาติ โกมลกิติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ภัทรชาติ โกมลกิติ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพัฒ แสงอุดมเลิศ)

พัชญา บรรจงดวง : การปรับเทียบพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบแลนไร้สายให้ครอบคลุมภายในอาคาร (Parameter calibration for designing wireless LAN for indoor coverage area) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.ภัทรชาติ โกมลกิติ, 46 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารโดยพิจารณาการลดทอนสัญญาณในผนัง ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจรวมถึงค่าการสูญเสียสัญญาณที่ระยะมาตรฐาน 1 เมตรจากตัวส่ง, ค่าเลขชี้กำลังการสูญเสีย และค่าการลดทอนที่เกิดจากผนัง กรณีศึกษาที่เลือกพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้สถานการณ์จริงของการติดตั้งแลนไร้สายภายในอาคารที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยอาศัยข้อมูลการวัดค่ากำลังสัญญาณรับจากเครื่องส่งสัญญาณมาวิเคราะห์หาความถดถอยเชิงเส้นเพื่อปรับเทียบกับแบบจำลองและเปรียบเทียบใน 2 กรณี ได้แก่ กรณีแบบจำลองที่พิจารณาและที่ไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณ ผลการทดสอบพบว่าในกรณีแรกให้ค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียในช่วง 1.8–2.0 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ควรจะเป็นมากกว่าในกรณีหลังซึ่งอยู่ช่วง 2.7–4.5 ทั้งนี้เมื่อเทียบกับค่าเลขชี้กำลังการสูญเสีย 2.0 ในการแพร่กระจายคลื่นโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง สุดท้าย ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองออกแบบจำนวนขั้นต่ำ และจุดติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิธีการออกแบบได้เลือกใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งได้ใช้งานอยู่แล้วโดยสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศของมหาวิทยาลัยเพื่อออกแบบแลนไร้สายต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย ผลการทดสอบพบว่าหากไม่พิจารณาอย่างเหมาะสมสำหรับค่าพารามิเตอร์แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร ได้แก่ การสูญเสียกำลังสัญญาณในผนัง แล้วจะส่งผลให้ค่าการออกแบบการติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายในอาคารมีความผิดพลาดอย่างมาก ผลการทดลองต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงช่วยยืนยันความจำเป็นที่ต้องมีการพิจารณาผังอาคารภายในโดยพิจารณาผนังต่างๆ เพื่อความถูกต้องในการคำนวณแบบการติดตั้งโครงข่ายแลนไร้สายภายในอาคารต่อไปในอนาคต

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	.....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม	.....

5670299821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: SITE SURVEY / PREDICTIVE SIGNAL / SIGNAL COVERAGE / PATH LOSS MODEL / PARAMETER CALIBRATION

PATCHAYA BANJONGDAUNG: Parameter calibration for designing wireless LAN for indoor coverage area. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: PATRACHART KOMOLKITI, Ph.D., 46 pp.

This research is aimed at finding the parameter values for the indoor signal propagation loss model considering the signal power degradation through walls. The parameters include the signal power loss at 1 meter distance from the transmitter, the loss exponent value and the wall penetration loss. The study cases in this thesis are based on the actual indoor wireless LAN installation scenarios at 2.4 and 5.3 GHz. Measurements of received signal power from the signal transmitter have been conducted and the linear regression analysis has been used for the model calibration with 2 comparative cases that does or does not consider the wall penetration loss. The test results suggest that, in the former case, the loss exponent value is ranged from 1.8-2.0, which is more reasonable than the obtainable range from 2.7-4.5 for the latter case. This is notably in comparison with the loss exponent of 2.0 for the free-space signal propagation without obstacles. Finally, these parameter values of the model have been used in the experimental design to find the minimum number and installation locations of the wireless access points for the 100th Engineering building of Chulalongkorn University. The design method has utilized the off-the-shelf software already employed at the university's office of information technology in designing the university's wireless LANs. The test results suggest that, if one does not consider properly the indoor signal loss model parameters i.e. the wall penetration loss, then the final design of indoor wireless access point installation can become much erroneous. Therefore, the experimental results in this thesis confirm the need of the indoor floor plan with walls being properly considered for the accuracy of indoor wireless LAN design practices in the future.

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2016	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เชาวน์ดิศ อัศวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ภัทรชาติ โกมลกิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยโครงข่ายไร้สาย และอินเตอร์เน็ตอนาคต (Wireless Network and Future Internet Research Unit) กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยโครงข่ายไร้สายและอินเตอร์เน็ตอนาคตภายใต้การดูแลของรองศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร ที่จัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ การทำงาน และทักษะเพื่อเป็นผู้วิจัยที่มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณ คุณชานนท์ สกาว์วัฒนานนท์ เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ (ระบบคอมพิวเตอร์) หน่วยงานเทคโนโลยีสารสนเทศทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงการอนุเคราะห์อุปกรณ์และโปรแกรมสำหรับการทดลองในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องนักวิจัย เจ้าหน้าที่ บุคลากร และคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือเรื่องต่างๆ และการสนับสนุนที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณส่วนงานควบคุมคุณภาพบริการสื่อสารไร้สาย ฝ่ายบริการสื่อสารไร้สาย หน่วยธุรกิจสื่อสารไร้สาย บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเวลาสำหรับการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ประกอบด้วยนายสุภัตดิ์ บรรจงดวง นางสุชาดา บรรจงดวง และนายเผ่าพชร บรรจงดวง ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 ประมวลผลวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 เทคโนโลยีแลนไร้สาย โปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณแลนไร้สาย 4

2.1 เทคโนโลยีแลนไร้สาย 4

2.2 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย 4

2.2.1 โปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์ 5

2.2.2 โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร 6

2.3 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย 6

2.4 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณ 7

2.4.1 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารแบบง่าย 7

2.4.2 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาจำนวนผนัง 7

2.4.3 แบบการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาความถี่ 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4.4 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารโดยพิจารณาการสูญเสียในผนังและอาคารหลายชั้น 8

2.4.5 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณารูปแบบผนังที่แตกต่างกันและค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์ 8

บทที่ 3 การสำรวจสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารและการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สาย 11

3.1 การออกแบบการทดสอบสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 11

3.2 ผลการวัดสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 18

3.3 การออกแบบการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณเพื่อปรับเทียบแบบจำลองภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี 21

3.4 ผลการปรับเทียบแบบจำลองจากการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี 25

บทที่ 4 การจำลองติดตั้งอุปกรณ์จุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารโดยใช้พารามิเตอร์จากสภาพแวดล้อมจริง 33

4.1 การตั้งค่าและขั้นตอนการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz 33

4.2 ผลการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยใช้แปลนอาคารชั้น 4 34

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 40

5.1 บทสรุป 40

5.2 ข้อเสนอแนะ 41

รายการอ้างอิง 42

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1: โปรแกรมวัดสัญญาณและออกแบบแลนไร้สาย 4

ตารางที่ 2.2: รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสัญญาณแลนไร้สาย 6

ตารางที่ 2.3: แบบจำลองการหาค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณภายในอาคาร 9

ตารางที่ 3.1: จำนวนห้อง และจำนวนผู้พักอาศัยภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 11

ตารางที่ 3.2: ค่าลดทอนของสัญญาณจากการทดสอบจริงจากโปรแกรมแอร์เนตไวไฟอนาไลเซอร์ สำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 13

ตารางที่ 3.3: รายละเอียดค่าที่ได้จากการจำลองสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 20

ตารางที่ 3.4: ข้อมูลของจุดเข้าถึงไร้สาย cisco รุ่น 3500P 24

ตารางที่ 3.5: ข้อมูลการทดสอบที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz 31

ตารางที่ 4.1: ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรขาเข้าเพื่อทดสอบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz 35

ตารางที่ 4.2: สรุปผลการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 GHz 35

ตารางที่ 4.3: สรุปผลการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 5.3 GHz 36

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1: อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณแลนไร้สาย 7

รูปที่ 3.1: ผังอาคาร ยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 11

รูปที่ 3.2: การวัดค่าภายในห้องด้วยโปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์ในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 12

รูปที่ 3.3: การสร้างแผนงานใหม่ของโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์ในฟังก์ชันการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร 13

รูปที่ 3.4: การเพิ่มค่าลดทอนของผนังโดยการทดสอบจากสถานการณ์จริงสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 14

รูปที่ 3.5: การตั้งค่าใน AP ความถี่ 2.4 GHz 15

รูปที่ 3.6: การตั้งค่าใน AP ความถี่ 5.3 GHz 15

รูปที่ 3.7: รูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ติดตั้งสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 16

รูปที่ 3.8: การเลือกช่องสัญญาณความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz 17

รูปที่ 3.9: การกำหนดค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการจำลองสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 17

รูปที่ 3.10: การกระจายสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 18

รูปที่ 3.11: ค่าความแรงของสัญญาณสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 19

รูปที่ 3.12: การจำลองสัญญาณไร้สายที่ครอบคลุมได้ในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 19

รูปที่ 3.13: ผังอาคารของอาคารวิศวฯ 100 ปี ชั้น 4 และ 5 ที่เป็นสถานที่ทดสอบ 21

รูปที่ 3.14: ผนังของชั้น 4 โดยรูปซ้ายแสดงผนังของห้องที่ 1, รูปกลางแสดงผนังของห้องที่ 2 และรูปขวาแสดงผนังของห้องที่ 3 ในอาคารวิศวฯ 100 ปี 22

รูปที่ 3.15: ผนังของชั้น 5 โดยรูปซ้ายแสดงผนังของห้องที่ 1, รูปกลางแสดงผนังของห้องที่ 2 และรูปขวาแสดงผนังของห้องที่ 3 อาคารวิศวฯ 100 ปี 23

รูปที่ 3.16: ตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายของชั้น 4 และ 5 มีการติดตั้งติดกับเพดานที่สูงจากพื้น 3.3 เมตร ในอาคารวิศวฯ 100 ปี 24

รูปที่ 3.17: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....27

รูปที่ 3.18: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....27

รูปที่ 3.19: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้น.....ระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....28

รูปที่ 3.20: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 5.3 GHz.....28

รูปที่ 3.21: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 5.3 GHz.....29

รูปที่ 3.22: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....29

รูปที่ 3.23: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้น.....ระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 2.4 GHz.....30

รูปที่ 3.24: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 5.3 GHz.....30

รูปที่ 4.1: ตัวอย่างผลการทำนายการกระจายสัญญาณแลนไร้สายในกรณีที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารโดยพิจารณาจากค่าความเข้มสัญญาณต่ำสุดที่กำหนด.....36

รูปที่ 4.2: ตัวอย่างผลการทำนายการกระจายสัญญาณแลนไร้สายในกรณีที่ไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารโดยพิจารณาจากค่าความเข้มสัญญาณต่ำสุดที่กำหนด.....37

รูปที่ 4.3: จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องติดตั้งเมื่อเพิ่มค่าลดทอนที่เกิดจากผนัง.....37

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีแลนไร้สาย (wireless LAN: WLAN) เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรา โดยผู้ใช้มีการเชื่อมต่อแลนไร้สายผ่านทางจุดเข้าถึง (access point) ซึ่งความถี่เสรีในประเทศไทยมีสองย่าน คือ 2.4 และ 5.3 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) แต่การใช้บริการแลนไร้สายภายในอาคารมีข้อกำจัดในเรื่องของพื้นที่บริการ ทำให้บางเวลาและบางพื้นที่ภายในอาคารผู้ใช้บริการไม่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายได้ ดังนั้นการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารต้องคำนึงถึงการออกแบบให้ครอบคลุมภายในอาคาร เนื่องจากความแรงของสัญญาณ (signal strength) ที่อุปกรณ์รับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการรับส่งข้อมูล (data connection) ดังนั้นการติดตั้งเครือข่ายแลนไร้สายจะต้องมีการสำรวจสัญญาณ (site survey) เพื่อหารัศมีการกระจายของสัญญาณจุดเข้าถึงในการระบุตำแหน่งที่ติดตั้งให้เหมาะสมทำให้ประหยัดอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายลง การออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารให้สัญญาณแลนไร้สายครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจากผู้ผลิต เช่น โปรแกรมแอร์แมกเนตเซอร์เวย์โปร (air magnet survey pro) จำลองตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายซึ่งมีวิธีคำนวณด้วยแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณเพื่อจำลองตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สาย โดยโปรแกรมจะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการใส่ข้อมูลมาคำนวณ หากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่ใส่ไปนั้นมีความถูกต้องจะทำให้การวิเคราะห์ผลการติดตั้งและการกระจายสัญญาณมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารจำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่อ้างอิงได้ตามสถานการณ์จริงและเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอาคาร

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียของสัญญาณจากจุดเข้าถึง, ในงานวิจัย [1] ได้นำเสนอแบบจำลองการสูญเสียภายในอาคารแบบง่ายเพื่อใช้ทดสอบการลดทอนจากผนังในรูปแบบต่าง ๆ ที่ความถี่ 900 และ 2100 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) พบว่าในผนังที่แตกต่างกันมีค่าการลดทอน 10-15 dB, งานวิจัย [2] ทำการทดสอบการลดทอนจากผนังโดยใช้ความถี่ 900 MHz และใช้แบบจำลองการสูญเสียภายในอาคารแบบง่ายในการหาค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณ, ในงานวิจัย [3] ใช้แบบจำลองการสูญเสียภายในอาคารแบบง่ายที่ความถี่ 2.4 GHz และจีเนติกอัลกอลิธึ่มในการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์โดยทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเพื่อหาแบบจำลองใหม่ให้เหมาะสมกับอาคารที่ทำการทดสอบ พบว่าการใช้แบบจำลองใหม่มีค่ากำลังสัญญาณรับที่ดีขึ้น งานวิจัย [4] ทำการเปรียบเทียบการลดทอนสัญญาณจากผนังระหว่างการจำลองและการวัดผลจริง พบว่ามีค่า

แตกต่างกัน 0.3-2 dB, งานวิจัย [5] ได้ทดสอบหาค่าลดทอนจากผนังเพื่อใช้ในแบบจำลองให้แม่นยำขึ้น และงานวิจัย [6] ทำการทดสอบในสถานการณ์ภายในอาคารโดยใช้ความถี่ 2.45 และ 5 GHz ที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียเป็น 1.2 สำหรับการทดสอบบริเวณทางเดินและ 4.2 สำหรับการทดสอบในห้องเรียน, ที่ความถี่ 5 GHz มีค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียเป็น 3.5 สำหรับการทดสอบในสำนักงานในอาคารและความถี่ 5.25 GHz มีค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียเป็น 4.6 สำหรับการทดสอบในสำนักงานในอาคาร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าควรมีการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองให้เหมาะสมกับการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารแต่ละอาคารเป็นการเฉพาะ เพราะในแต่ละอาคารมีค่าการลดทอนจากผนังที่แตกต่างกันและเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษามาจากประเทศต่าง ๆ มีปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างกันทำให้ไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์จากบทความต่าง ๆ นำมาอ้างอิงกับประเทศไทยได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับจุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารที่ใช้ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz ตามความถี่จริงที่ใช้งานในปัจจุบัน โดยทดสอบจากสถานการณ์จริงเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารกรณีพิจารณาการสูญเสียจากผนังโดยเปรียบเทียบกรณีการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่มีสิ่งกีดขวางโดยมีการหักลบค่าลดทอนของผนังออกตามจำนวนผนังเพื่อในอนาคตสามารถประยุกต์ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในการเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณแบบการติดตั้งโครงข่ายแลนไร้สายในอาคารได้ต่อไป

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร โดยใช้ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz ตามความถี่จริงที่ใช้งานในปัจจุบันเพื่อให้การออกแบบสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารครอบคลุมพื้นที่อย่างเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์จริงที่วัดได้จากแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารที่พิจารณาการสูญเสียในผนังและอาคารหลายชั้น โดยออกแบบแลนไร้สายให้ครอบคลุมขอบเขตภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. การทดลองการปรับค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารเพื่อให้สัญญาณครอบคลุมตามค่าความกำลังสัญญาณขั้นต่ำที่ภาครับในความถี่ย่าน 2.4 และ

5.3 GHz โดยการนำค่าที่ได้จากสถานการณ์จริงมาเป็นตัวแปรของค่าพารามิเตอร์และนำผลที่ได้มาทดลองด้วยโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร [7]

2. การทดลองการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารด้วยแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารโดยพิจารณาการสูญเสียในผนังเพื่อแสดงให้เห็นการกระจายสัญญาณจากจุดเข้าถึงในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง โดยมีการติดตั้งจุดเข้าถึงเพิ่มเติมน้อยที่สุดที่สามารถกระจายสัญญาณเพื่อครอบคลุมภายในอาคาร

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1. ค่าความแรงของสัญญาณทุกจุดพื้นที่ภายในอาคาร ไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้
2. ครอบคลุมเพียงพอต่อการใช้งานของผู้ใช้งานเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

1.5 ประมวลผลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึงความสำคัญของการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร, วัตถุประสงค์ของงานวิจัย, ขอบเขตวิทยานิพนธ์ ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 เทคโนโลยีแลนไร้สายและโปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณแลนไร้สาย: กล่าวถึง เทคโนโลยีแลนไร้สาย, โปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย, อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย, แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณ

บทที่ 3 การสำรวจสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารและการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สาย: กล่าวถึง การออกแบบการทดสอบสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 , ผลการวัดสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2, การออกแบบการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณเพื่อปรับเทียบแบบจำลองภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี, ผลการปรับเทียบแบบจำลองจากการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี

บทที่ 4 การจำลองติดตั้งอุปกรณ์จุดถึงไร้สายภายในอาคารโดยใช้พารามิเตอร์จากสภาพแวดล้อมจริง: กล่าวถึง การตั้งค่าและขั้นตอนการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz และผลการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยใช้แปลนอาคารชั้น 4

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เทคโนโลยีแลนไร้สาย โปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณแลนไร้สาย

2.1 เทคโนโลยีแลนไร้สาย

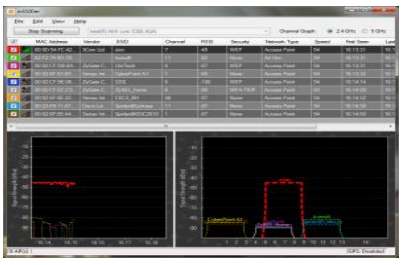
เทคโนโลยีแลนไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลโดยใช้ช่องทางการสื่อสารผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีองค์ประกอบหลักในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ คือ จุดเข้าถึงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณผ่านทางสายสัญญาณที่ได้รับการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและเครื่องลูกข่าย (Client)

ปัจจุบันการใช้งานเทคโนโลยีแลนไร้สายภายในอาคารมีความนิยมมากขึ้นเพราะสะดวกต่อการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการวางแผนออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายเพื่อให้การกระจายสัญญาณจากจุดเข้าถึงไร้สายครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการใช้บริการ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงจึงมีความสำคัญที่สามารถทำให้การออกแบบมีความครอบคลุมในการกระจายสัญญาณให้เพียงพอต่อพื้นที่ใช้บริการ

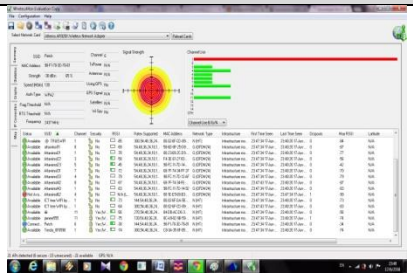
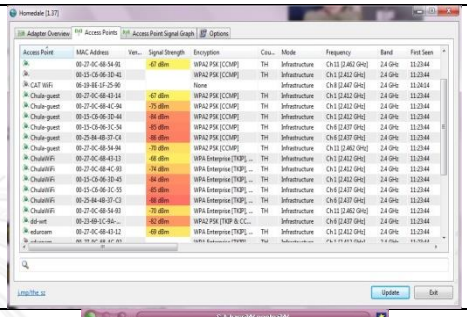
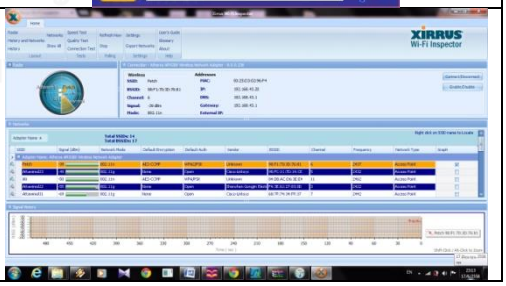
2.2 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย

ปัจจุบันมีโปรแกรมที่ใช้สำหรับสำรวจสัญญาณและวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง พร้อมทั้งแสดงกราฟข้อมูลการเข้างานของผู้ใช้, วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สาย, ความเข้มสัญญาณของแต่ละจุดเข้าถึงหลากหลายและรวมถึงการสนับสนุนมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g/n ซึ่งมีโปรแกรมที่ใช้งานแพร่หลาย และสรุปความสามารถของโปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1: โปรแกรมวัดสัญญาณและออกแบบแลนไร้สาย

Layer	ชื่อโปรแกรม	หน้าที่	ตัวอย่างรูปโปรแกรม
1	InSSIDer [8]	- ตรวจจับสัญญาณภายในบริเวณใกล้เคียง - แสดงข้อมูลของจุดเขาเข้าถึงแต่ละจุด เช่น ช่องสัญญาณ, ความเข้มสัญญาณ, มาตรฐานความปลอดภัย, ชื่อแลนไร้สาย	

ตารางที่ 2.1(ต่อ): โปรแกรมวัดสัญญาณและออกแบบแลนไร้สาย

Layer	ชื่อโปรแกรม	หน้าที่	ตัวอย่างรูปโปรแกรม
1	WirelessMon [9]	- แสดงข้อมูลแลนไร้สายที่เชื่อมต่อ - แสดงการกระจายสัญญาณเป็นกราฟ	
1	HomeDale [10]	- แสดงข้อมูลความเข้มสัญญาณ, ย่านความถี่, ชื่อแลนไร้สาย	
1	Wireless Wizard [11]	- แสดงกราฟความเข้มสัญญาณของแลนไร้สายในบริเวณใกล้เคียง	
1	Xirrus WiFi Inspector [12]	- แสดงความแรงของสัญญาณและการส่งมูล	

โปรแกรมที่งานวิจัยนี้ใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในเครือข่ายแลนไร้ มีความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานและมีการใช้งานที่ง่ายต่อการเข้าใจ มีทั้งหมด 2 โปรแกรม ประกอบด้วย

2.2.1 โปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์

โปรแกรมนี้ [13] ใช้เพื่อวัดความเข้มสัญญาณแลนไร้สายในแต่ละจุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์เป็นเครื่องในการวัดค่าความเข้มสัญญาณเพื่อหาค่าอัตราลดทอนของสัญญาณนำไปใช้สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร

ทั้งนี้โปรแกรมยังแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของสัญญาณที่ตรวจพบ เช่น แมคแอดเดรส (MAC Address), ไอพีแอดเดรส (IP Address), เอสเอสไอดี (SSID) เป็นต้น

2.2.2 โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร

โปรแกรมนี้มี 2 ฟังก์ชันหลัก คือ การสำรวจสัญญาณแลนไร้สายและการจำลองการติดตั้งจุดเข้าถึงและออกแบบแลนไร้สาย โดยใช้ได้ทั้งพื้นที่ที่ยังไม่มีการติดตั้งจุดเข้าถึงและพื้นที่ที่มีการติดตั้งอยู่แล้วแต่สัญญาณไม่ครอบคลุมเพียงพอในพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมแอร์แม็กเซอร์เวย์โปรเป็นเครื่องมือในการสำรวจและวิเคราะห์ผลในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารและสนใจพิจารณาว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบได้มากขึ้นระดับใดภายหลังจากการหาค่าพารามิเตอร์การกระจายสัญญาณอย่างเหมาะสม จากการวัดค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมในหัวข้อที่ 2.2.1

2.3 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สาย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้อุปกรณ์การ์ดแลนไร้สาย ในการตรวจหาสัญญาณและป้อนกลับไปยังโปรแกรม ซึ่งประมวลผลบนคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค โดยมีสเปคตรัมการ์ดทำหน้าที่วิเคราะห์สเปคตรัมจากสัญญาณ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2: รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสัญญาณแลนไร้สาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	คุณสมบัติ	หน้าที่
การ์ดแลนไร้สาย ยี่ห้อโปรซิม รุ่น 8494WD	สนับสนุนการทำงาน IEEE 802.11a/b/g/n	ตรวจหาสัญญาณแลนไร้สายในพื้นที่
สเปคตรัมการ์ด ยี่ห้อ แอร์แม็กเนต	สนับสนุนการทำงาน IEEE802.11a/b/g/n และรองรับ Microsoft® Windows Vista™, XP™, Windows 7™, 8 Pro/Enterprise	วิเคราะห์กราฟสเปคตรัมจากสัญญาณที่ตรวจพบ
คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ยี่ห้อ Lenovo รุ่น Lenovo Flex14-59404080	Intel Core i5-4200U (1.60 GHz), RAM 4 GB DDR3L	ประมวลผลและเก็บข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม

รูปที่ 2.1: อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณแลนไร้สาย

2.4 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณ

2.4.1 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารแบบง่าย

แบบจำลองนี้ [1], [2], [3], [4], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] ใช้จำลองค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณภายในอาคารโดยไม่พิจารณาโครงสร้างของอาคาร ซึ่งค่าการสูญเสียขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

$$Pathloss_{dB} = PL + 10n \cdot \log(d) \quad (1)$$

โดยที่ $Pathloss_{dB}$ คือ ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณ

PL คือ ค่าการสูญเสียในระยะ 1 เมตร

n คือ เลขชี้กำลังการสูญเสีย

d คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งในหน่วยเมตร

2.4.2 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาจำนวนผนัง

แบบจำลองนี้ [5], [24] พิจารณาโครงสร้างของอาคารคือผนังพิจารณาการแพร่กระจายสัญญาณผ่านประเภทของผนังภายในอาคารทั้งและพิจารณาค่าการสูญเสียจากผนัง

$$Pathloss_{dB} = PL + 10 \cdot n \cdot \log(d) + \sum_{i=1}^{w} L\,i \quad (2)$$

โดยที่ w คือ จำนวนประเภทของผนังที่แตกต่างกัน

Li คือ การสูญเสียจากผนังประเภท i

2.4.3 แบบการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาความถี่

แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณนี้ [25] มีการใช้ทดสอบภายในห้องซึ่งแตกต่างจากสมการอื่นโดยมีการพิจารณาค่าความถี่ของเครื่องส่งเพิ่มเข้ามาในสมการนี้

$$Pathloss_{dB} = 20\log(f) + 10n\cdot\log(d) - 28 \quad (3)$$

โดยที่ f คือ ความถี่จากเครื่องส่งในหน่วยเฮิรตซ์

2.4.4 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารโดยพิจารณาการสูญเสียในผนังและอาคารหลายชั้น

แบบจำลองนี้ [5], [23], [24], [25], [26] มีการพิจารณาค่าการสูญเสียระหว่างผนังและชั้นภายในอาคารโดยค่าการสูญเสียขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุและประเภทของวัสดุ

$$Pathloss_{dB} = PL + 20\log(d) + n_f\cdot a_f + n_w\cdot a_w \quad (4)$$

โดยที่ n_f คือ จำนวนชั้นที่ถูกสัญญาณกระจายผ่าน

a_f คือ ค่าการสูญเสียระหว่างชั้น

n_w คือ จำนวนผนังที่ถูกสัญญาณกระจายผ่าน

a_w คือ ค่าการสูญเสียของผนัง

2.4.5 แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณารูปแบบผนังที่แตกต่างกันและค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์

แบบจำลองนี้ [23] พิจารณาโครงสร้างของอาคารคือผนังประกอบด้วยการพิจารณาการแพร่กระจายสัญญาณผ่านประเภทของผนังและชั้นภายในอาคารทั้งหมดและพิจารณาจำนวนของผนังและชั้นทั้งหมดที่ถูกแพร่กระจายสัญญาณ

$$Pathloss_{dB} = L_F + L_c + \sum_{i=1}^{w} L_{wi}\cdot n_{wi} + L_f\cdot n_f\,((n_f + 2)/(n_f + 1) - b) \quad (5)$$

โดยที่ L_F คือ ค่าการสูญเสียในพื้นที่ว่างในเส้นทางตรงระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง

n_{Wi} คือ จำนวนผนังประเภท i ที่มีการแพร่กระจายผ่านผนังในเส้นทางตรง

L_{wi} คือ ค่าการสูญเสียจากผนังประเภท i

n_f คือ จำนวนพื้นที่ถูกสัญญาณแพร่กระจายผ่าน

L_f คือ การสูญเสียจากชั้นภายในอาคาร

b, L_c คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์

จากบทความที่เกี่ยวข้องในอดีต สามารถสรุปเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการสูญเสียภายในอาคาร ค่าความถี่ที่ได้มีการทดลองจริง มาตรฐานการสื่อสารที่ทดสอบ ตลอดจนพารามิเตอร์ทั้งหมดของแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3: แบบจำลองการหาค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณภายในอาคาร

แบบจำลองที่ใช้	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ค่าความถี่ที่ใช้ทดลองและมาตรฐาน	พารามิเตอร์ของการจำลอง
แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารแบบง่าย	[14]	433 เมกะเฮิรตซ์ (radio frequency identification: RFID)	1.การสูญเสียสัญญาณ ($Pathloss_{dB}$) 2.ค่าสูญเสียกำลังสัญญาณที่ระยะทาง 1 เมตร (PL) 3.ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (n) 4.ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ (d)
	[2]	900 เมกะเฮิรตซ์ (Global System for Mobile Communications: GSM)	
	[1]	900 และ 2100 เมกะเฮิรตซ์ (GSM)	
	[17]	900 เมกะเฮิรตซ์และ 2.4 GHz (GSM และ 802.11 g)	
	[3], [4], [15], [18], [19], [20], [23]	2.4 GHz (802.11 b/g)	
	[21]	2.4 และ 5.8 GHz (802.11n)	
	[22]	2.6 และ 3.5 GHz (long term evolution)	
	[16]	5 GHz (802.11n)	

ตารางที่ 2.3(ต่อ): แบบจำลองการหาค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณภายในอาคาร

แบบจำลองที่ใช้	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ค่าความถี่ที่ใช้ทดลองและมาตรฐาน	พารามิเตอร์ของการจำลอง
แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาจำนวนผนัง	[5], [24]	2.4 GHz (802.11 b/g)	1. จำนวนประเภทของผนังที่แตกต่างกัน 2. การสูญเสียจากผนังประเภท i
แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณาความถี่-ของเครื่องส่ง	[25]	1.93 GHz (คลื่นโทรศัพท์ไร้สาย)	ความถี่ (f)
แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารโดยพิจารณาการสูญเสียในผนังและอาคารหลายชั้น	[25]	1.93 GHz (คลื่นโทรศัพท์ไร้สาย)	1. ค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์(L_C) 2. จำนวนผนังในประเภท i ที่ถูกสัญญาณผ่าน (n_{wi}) 3. ค่าการสูญเสียจากผนังของประเภท i (L_{wi}) 4.จำนวนชั้นในประเภท i ที่ถูกสัญญาณผ่าน (n_f) 5. ค่าการสูญเสียจากแต่ละชั้นของประเภท i (L_f)
	[5], [23], [24]	2.4 GHz (802.11 b/g)	
แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคาร โดยพิจารณารูปแบบผนังที่แตกต่างกันและค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์	[23]	2.4 GHz (802.11 g)	1. จำนวนผนังที่แตกต่างกัน (w) 2.ค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานการณ์ (b)

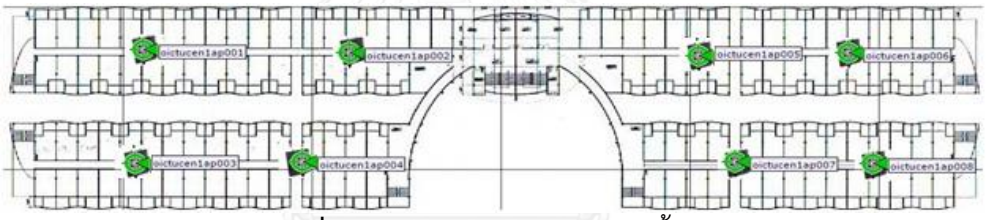
บทที่ 3
การสำรวจสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารและการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สาย

3.1 การออกแบบการทดสอบสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

งานวิจัยนี้ทำการประเมินสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคาร โดยใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คที่มีโปรแกรมแอร์แม็กเน็ตไวไฟอนาไลเซอร์ เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณและมีการ์ดยี่ห้อโปรซิมเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณไร้สายโดยได้ทดลองภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 ซึ่งเป็นอาคารหอพักนิสิต มีรายละเอียดการสำรวจสัญญาณแลนไร้สายดังนี้

1. แปลนอาคารและแปลนห้องในอาคารที่ใช้สำรวจ

อาคารที่ใช้ทดสอบเป็นพื้นที่ชั้น 2 ของอาคารยูเซ็นเตอร์ภายในอาคารมีจุดเข้าถึงจำนวน 8 ตัวที่ติดตั้งแล้วซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 และได้ทำการทดสอบสัญญาณความเข้มสัญญาณภายในห้องพักซึ่งมีรายละเอียดจำนวนห้องพัก และจำนวนผู้อาศัยในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1: ผังอาคาร ยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

ตารางที่ 3.1: จำนวนห้อง และจำนวนผู้พักอาศัยภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

ชั้น 2	จำนวนห้อง	จำนวนผู้พักอาศัย	จำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งแล้ว
1 ห้องนอน	10	10	
2 ห้องนอน	96	192	
รวม	106	202	8

2. การวัดค่าการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดจากผนังภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

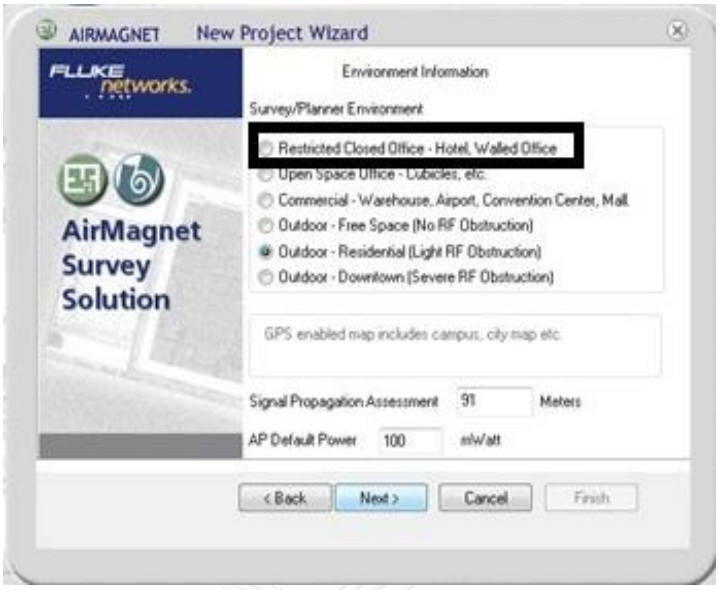
การวัดค่าความเข้มสัญญาณโดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์ มีการทดสอบโดยวัดสัญญาณภายในห้อง, ภายในห้องอาบน้ำ, ห้องด้านข้างและภายนอกห้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งห้องที่ใช้ทดสอบคือ ห้อง 2511 และ 2512 เพื่อได้ค่าสูญเสียของสัญญาณที่จากจากผนังแต่ละชนิดภายในห้องมาเพื่อนำมาเป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบแลนไร้สายเพิ่มเติมภายในหอพักยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

รูปที่ 3.2: การวัดค่าภายในห้องด้วยโปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์ในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

3. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

สำหรับการออกแบบติดตั้งแลนไร้สายภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร มีขั้นตอนการปรับเทียบพารามิเตอร์ดังนี้

1. เลือกรูปแบบสภาพแวดล้อมภายในอาคาร
2. เลือกค่าประเมินการแพร่กระจายของสัญญาณ 91 เมตร
3. เลือกค่ากำลังสัญญาณของจุดเข้าถึง 100 มิลลิวัตต์ตามมาตรฐานของจุดเข้าถึงที่ติดตั้งอยู่ก่อนแล้ว



รูปที่ 3.3: การสร้างแผนงานใหม่ของโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์ในฟังก์ชันการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร

4. การเลือกค่าลดทอนของสัญญาณผ่านผนังห้องพักเพื่อใช้ในการออกแบบแลนไร้สายภายในหอพักยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

จากการวัดค่าลดทอนจริงภายในห้องของอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 โดยทดสอบในสถานการณ์จริงที่ความถี่ 2.4 GHz โดยการวัดค่าความแรงสัญญาณห่างจากผนัง 1 เมตรและวัดค่าความแรงสัญญาณอีกครั้งหลังจากสัญญาณถูกลดทอนจากผนัง แล้วจึงนำค่ามาหักลบกัน พบว่าค่าลดทอนของสัญญาณผ่านผนังห้องพักมีค่าตามตารางที่ 3.2 และเมื่อทราบค่าลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากผนังแล้วจึงนำค่าลดทอนนี้ระบุลงไปในผนังภายในโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปรเพื่อนำไปประมวลผลการกระจายสัญญาณเมื่อมีการลดทอนจากผนังเกิดขึ้น

ตารางที่ 3.2: ค่าลดทอนของสัญญาณจากการทดสอบจริงจากโปรแกรมแอร์เนตไวไฟอนาไลเซอร์สำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

ประเภทผนังกั้นห้อง	ค่าสูญเสียสัญญาณ
ประตูไม้	3 dB
ผนังปูนกั้นห้องน้ำภายในห้อง	11 dB
ผนังอิฐฉาบด้วยปูนกั้นห้อง	16 dB

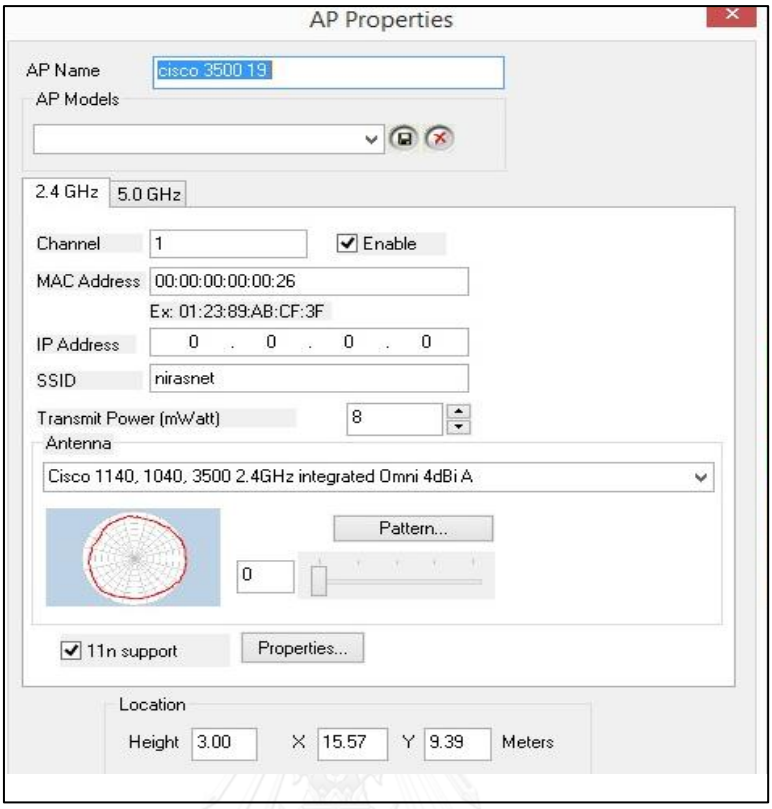
รูปที่ 3.4: การเพิ่มค่าลดทอนของผนังโดยการทดสอบจากสถานการณ์จริงสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

5. การตั้งค่าจุดเข้าถึงที่ใช้ในการออกแบบแลนไร้สายในอาคารภายในหอพักยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

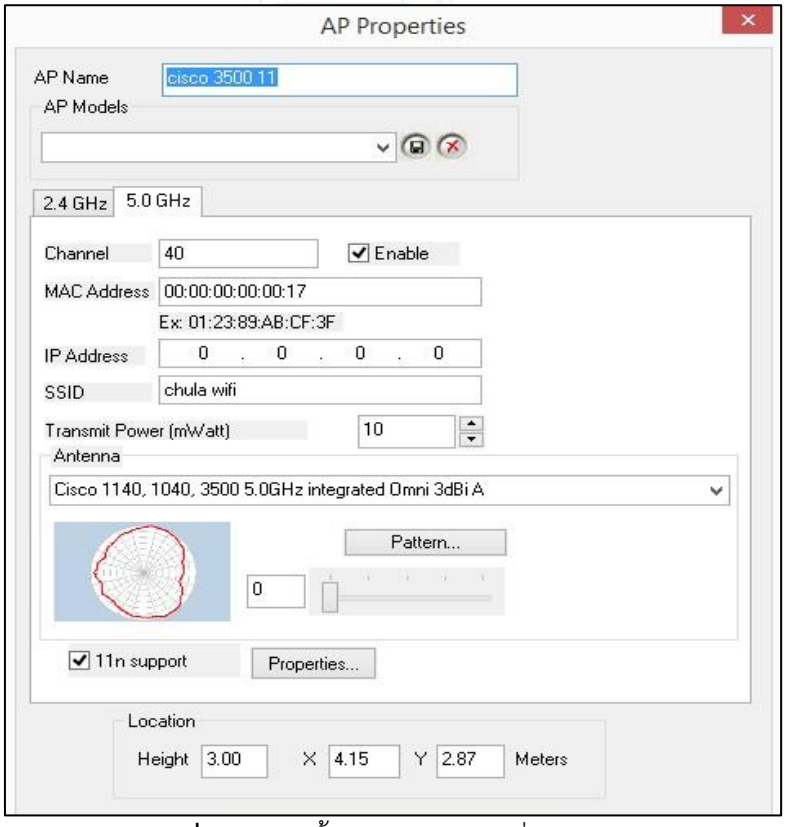
เพื่อให้การออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม วิทยานิพนธ์นี้จึงได้อ้างอิงการตั้งค่าจากจุดเข้าถึงที่ติดตั้งภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 แล้วนั้นคือ จุดเข้าถึงซิสโก้ รุ่น 3500P (Cisco 3500P) มีการตั้งค่าจุดเข้าถึงความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

โดยการตั้งค่าในจุดเข้าถึงเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบแลนไร้สายในอาคาร ประกอบด้วย ช่องสัญญาณแมคแอดเดรส, ชื่อของแลนไร้สาย, ค่ากำลังส่งสัญญาณ หน่วยเป็น มิลลิวัตต์, แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ และพื้นที่ติดตั้งจุดเข้าถึงสำหรับความถี่ 2.4 GHz ใช้ชื่อว่า nirasnet สำหรับความถี่ 5.3 GHz ใช้ชื่อว่า chula wifi

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5: การตั้งค่าใน AP ความถี่ 2.4 GHz

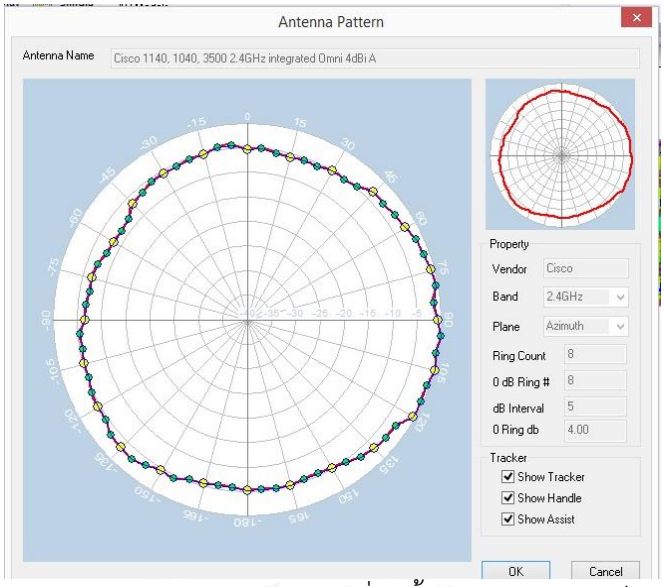


รูปที่ 3.6: การตั้งค่าใน AP ความถี่ 5.3 GHz

6. รูปแบบสายอากาศ

เนื่องจากการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารจำเป็นต้องมีการเลือกรูปแบบสายอากาศตามยี่ห้อและความถี่ เพื่อให้มีค่ากระจายสัญญาณใกล้เคียงสถานการณ์จริงที่สุด ดังนั้นจึงมีการเลือกรูปแบบสายอากาศดังนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับปุปกรณ์จริงที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว

1. รูปแบบสายอากาศเลือกจากรายการอุปกรณ์ในโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.7
2. สายอากาศย่านความถี่ 2.4 GHz อัตราขยายสายอากาศ 4 dBi
3. สายอากาศย่านความถี่ 5.3 GHz ตราขยายสายอากาศ 3 dBi

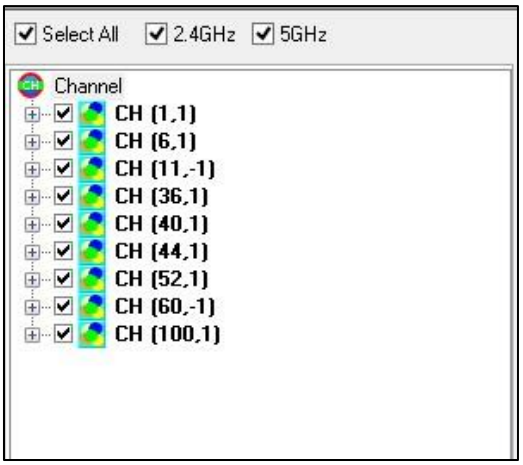


รูปที่ 3.7: รูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ติดตั้งสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

Chulalongkorn University

7. การเลือกช่องสัญญาณความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

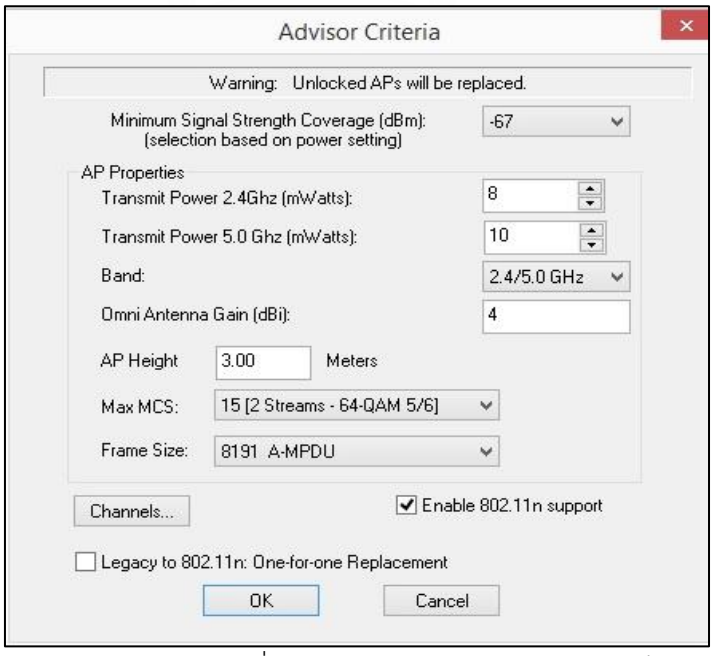
เนื่องจากการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารจำเป็นต้องมีการเลือกช่องสัญญาณตามความถี่และเหมาะสม เพื่อไม่ให้ช่องสัญญาณเกิดการทับซ้อนกันของสัญญาณ จึงมีการกำหนดช่องสัญญาณในการออกแบบดังนี้



รูปที่ 3.8: การเลือกช่องสัญญาณความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

8. การจำลองตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงและการกระจายสัญญาณ

ค่าต่ำสุดของการครอบคลุมสัญญาณ เท่ากับ -67 dBm ซึ่งสำนักบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นผู้กำหนดค่านี้ ค่ากำลังส่งสัญญาณความถี่ 2.4 GHz เท่ากับ 8 มิลลิวัตต์ ค่ากำลังส่งสัญญาณความถี่ 5.3 GHz เท่ากับ 10 มิลลิวัตต์, ย่านความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz เนื่องจากในสถานการณ์จริงมีการใช้ทั้งสองย่านความถี่ สายอากาศมีการกระจายสัญญาณทั่วทิศทางในระนาบแนวราบและมีอัตราขยายเท่ากับ 4 dBi สำหรับ ความถี่ 2.4 GHz และ 3 dBi สำหรับความถี่ 5.3 GHz ความสูงของจุดเข้าถึงเท่ากับ 3 เมตร



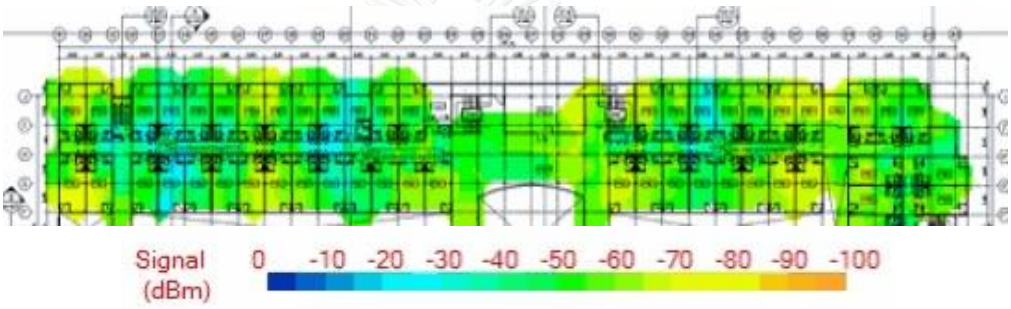
รูปที่ 3.9: การกำหนดค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการจำลองสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

3.2 ผลการวัดสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

จากการทดสอบภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 โดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตไฟอนาไลเซอร์วัดค่าสูญเสียจากผนังและประตูภายในอาคารเพื่อนำมาใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารโดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปรซึ่งมีผลเบื้องต้นจากการทดสอบดังนี้

1. การกระจายสัญญาณของแลนไร้สาย (Signal Distribution)

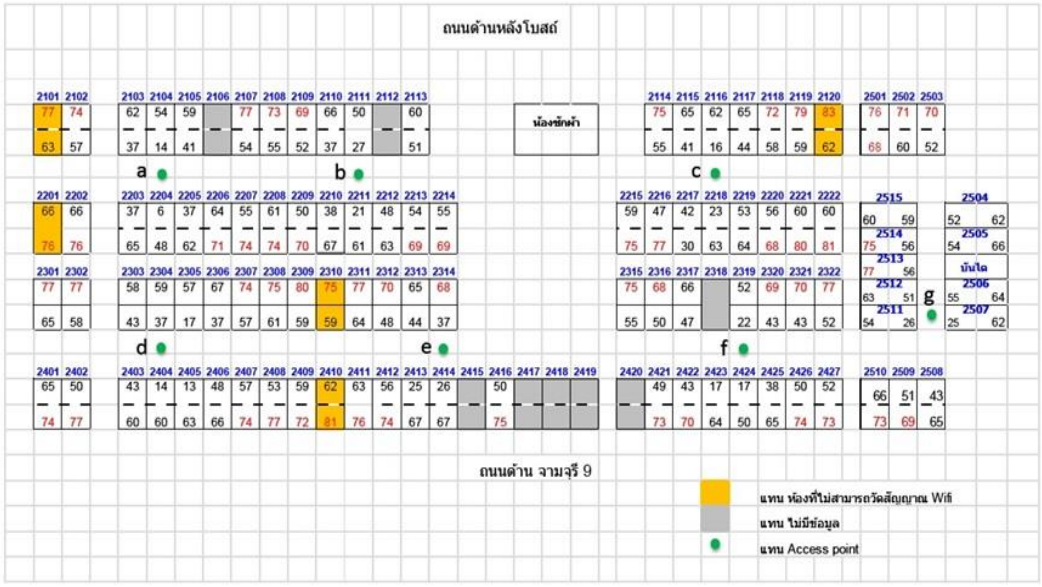
จากการทดสอบโดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปรเพื่อใช้ตรวจหาค่าสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 พบว่าบางบริเวณสัญญาณน้อยกว่าค่าต่ำสุดของสัญญาณ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการครอบคลุมสัญญาณแลนไร้สาย



รูปที่ 3.10: การกระจายสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

2. ค่าความแรงของสัญญาณ

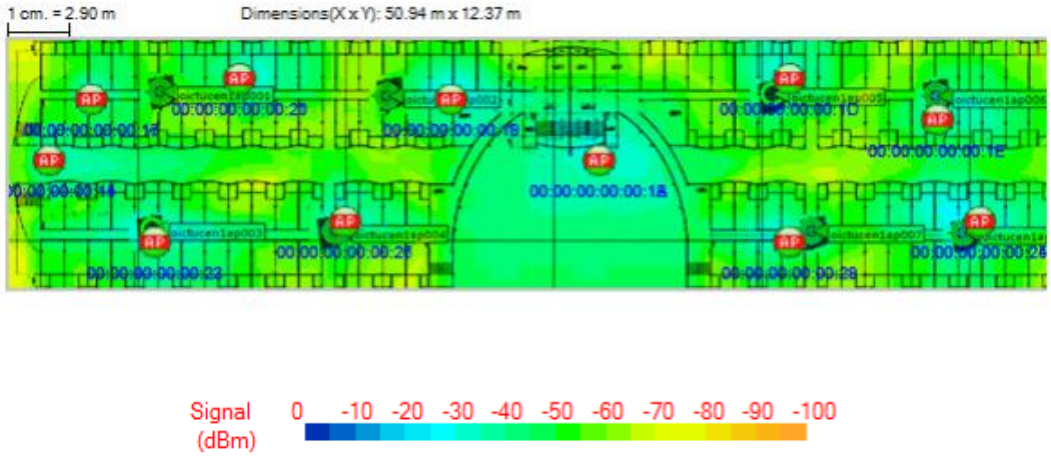
จากทดสอบค่าความแรงของสัญญาณแต่ละห้องในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 โดยในแต่ละห้องจะมีการทดสอบ 2 จุดคือ หลังประตูและกลางห้อง พบว่าบางห้องมีสัญญาณต่ำกว่าค่าความเข้มสัญญาณที่กำหนดไว้ (ห้องสีเหลือง) ซึ่งมีผลดังนี้



รูปที่ 3.11: ค่าความแรงของสัญญาณสำหรับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

3. ผลการจำลองสัญญาณครอบคลุมภายในอาคาร

จากการใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร ฟังก์ชันแพลนเนอร์ในการวิเคราะห์และออกแบบแลนไร้สายภายในอาคาร โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้สัญญาณจากจุดเข้าถึงแพร่กระจายทั่วบริเวณและมีการติดตั้งจุดเข้าถึงน้อยที่สุด จากการจำลองการครอบคลุมคลุมของสัญญาณมีการกำหนดค่าต่ำสุดความแรงของสัญญาณ เท่ากับ -67 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ซึ่งจากการออกแบบทุกบริเวณภายในอาคารหลังจากการจำลองตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงใหม่มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มสัญญาณที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.12: การจำลองสัญญาณไร้สายที่ครอบคลุมได้ในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

4. ข้อมูลที่มีผลจากการจำลองสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคาร

ตารางที่ 3.3: รายละเอียดค่าที่ได้จากการจำลองสัญญาณแลนไร้สายภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2

รายละเอียด	ค่าเริ่มต้น
1.ค่าต่ำสุดของความเข้มสัญญาณจากจุดเข้าถึงที่ต้องการ	-67 dBm
2.ค่าต่ำสุดของความเข้มสัญญาณที่ครอบคุลมภายในพื้นที่ที่กำหนดไว้	-67 dBm
3.อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงขึ้น	5.5 Mbits/s
4.อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงลง	54 Mbits/s
5.การจำลองค่าต่ำสุดข่ายการเชื่อมโยงลง	54 Mbits/s
6.ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	25 dB
7.ค่าสูงสุดของระดับสัญญาณรบกวนที่อนุญาต	-90 dBm
8.จำนวนสูงสุดของผู้ใช้ต่อ 1 จุดเข้าถึง	19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการทดสอบสำรวจสัญญาณภายในอาคารที่ 1 คือ อาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 พบว่าบางห้องพักมีความเข้มสัญญาณต่ำเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ (-67 dBm) คิดเป็นปริมาณ 36% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานบางห้องไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เนตผ่านจุดเข้าถึงได้ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการออกแบบแลนไร้ภายในอาคารโดยอาศัยโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร ฟังก์ชันแพลนเนอร์ช่วยออกแบบ โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์จากการทดสอบในสถานการณ์จริงมาใช้ในการออกแบบแลนไร้สายโดยเพิ่มค่าลดทอนจากการทดสอบและปรับเปลี่ยนรูปแบบสายอากาศเพื่อทำให้ค่าความเข้มสัญญาณเป็นไปตามที่กำหนดไว้จากการจำลองพบว่าจากเดิมมีจุดเข้าถึง 8 ตัว มีการจำลองการติดตั้งเพิ่มเติมอีก 3 ตัว และจุดเข้าถึง 1 ตัว สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ 19 อุปกรณ์

3.3 การออกแบบการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณเพื่อปรับเทียบแบบจำลองภายในอาคาร วิศวฯ 100 ปี

เนื่องจากอาคารยูเซ็นเตอร์เป็นอาคารที่มีการใช้งานแล้วโดยมีผู้อยู่อาศัย และมีการตกแต่งภายในด้วยเฟอร์นิเตอร์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ดังนั้น เพื่อให้เห็นผลการทดสอบสำหรับอาคารในอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งยังไม่มีผู้อยู่อาศัย และดังนั้นอุปกรณ์เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ จะเหมือนกันทั้งพื้นที่ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยได้เลือกอาคารวิศวฯ 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณที่รับจากจุดเข้าถึงทุกตัวที่รับค่าได้ที่ชั้น 4 และ 5 ของอาคารนี้ ซึ่งมีแปลนห้องแบบเดียวกัน โดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเนตไวไฟอนาไลเซอร์ บริเวณที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาดกว้าง 37 ยาว 45 เมตร สูง 3.3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยทำการวัดค่ากำลังสัญญาณที่รับค่าได้ โดยแต่ละตำแหน่งทดสอบใช้เวลา 15 วินาทีและวัดค่าการลดทอนจากผนังที่เกิดขึ้นโดยวัดระยะหน้าและหลังผนังเพื่อนำมาคำนวณหาค่าการลดทอนจากผนัง

รูปที่ 3.13: ผังอาคารของอาคารวิศวฯ 100 ปี ชั้น 4 และ 5 ที่เป็นสถานที่ทดสอบ

ชั้น 4 และ 5 ของอาคารที่ใช้ในการทดสอบเป็นห้องเรียนและสำนักงานโดยมีทางเดินบริเวณกลางชั้น ด้านซ้ายและขวาของอาคารมีบันไดและลิฟต์ บริเวณที่ใช้ทดสอบเป็นห้องที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นห้องเรียน เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายที่สนใจมีการติดตั้งในห้องที่ 1 จึงเลือกทำการทดสอบในบริเวณดังกล่าว จากการทดสอบพบว่าผนังกั้นห้องในชั้นที่ 4 และ 5 มีรูปแบบวัสดุผนังภายในที่เหมือนกันแต่วัสดุภายนอกแตกต่างกันในบางห้อง ในชั้น 4 (รูปที่ 3.14) มีวัสดุที่ใช้เป็นผนังกั้นห้องโดยผนังที่กั้นระหว่างห้องที่ 1, 2 และ 3 ภายนอกเป็นผนังยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. ทั้งสอง

ด้าน ภายในเป็นผนังปูนซีเมนต์หนา 25 ซม. และกั้นด้วยวัสดุต่างชนิดกัน โดยผนังของห้องที่ 1 มีอุปกรณ์การเรียนการสอน ได้แก่ โทรทัศน์, กระดานแก้ว, ตู้พลาสติกสำหรับวางโทรทัศน์และครอบด้วยสังกะสีบางบริเวณ, ผนังของห้องที่ 2 เป็นผนังแบบเดียวกับห้องที่ 1 แต่ไม่มีวัสดุใด ๆ กั้นและผนังของห้องที่ 3 มีวัสดุกั้นเป็นกระดานไวท์บอร์ดบริเวณกลางผนังขอบกระดานไวท์บอร์ดมีวัสดุไม้ยาว 15 ซม. ในชั้น 5 (รูปที่ 3.15) มีวัสดุที่ใช้เป็นผนังกั้นห้องโดยผนังที่กั้นระหว่างห้องที่ 1, 2 และ3 เป็นผนังแบบเดียวกันกับชั้น 4 แตกต่างที่วัสดุใช้กั้นผนังในห้องที่ 1 เป็นบอร์ดพลาสติกขนาดใหญ่หนา 30 ซม. ภายในกลวง ส่วนผนังกั้นห้องของห้องที่ 2 และ 3 เป็นแบบเดียวกับผนังของห้องชั้น 4

รูปที่ 3.14: ผนังของชั้น 4 โดยรูปซ้ายแสดงผนังของห้องที่ 1, รูปกลางแสดงผนังของห้องที่ 2 และรูปขวาแสดงผนังของห้องที่ 3 ในอาคารวิศวฯ 100 ปี

รูปที่ 3.15: ผนังของชั้น 5 โดยรูปซ้ายแสดงผนังของห้องที่ 1, รูปกลางแสดงผนังของห้องที่ 2 และรูปขวาแสดงผนังของห้องที่ 3 อาคารวิศวฯ 100 ปี

การทดสอบนี้แบ่งอุปกรณ์ที่ทดสอบเป็น 2 ฝั่ง ได้แก่ ฝั่งเครื่องส่งสัญญาณและฝั่งเครื่องรับสัญญาณ โดยฝั่งเครื่องส่งสัญญาณคือ จุดเข้าถึงไร้สาย Cisco รุ่น 3500P แสดงในรูปที่ 3.16 ภายในมีเสาอากาศแบบรอบตัว โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4: ข้อมูลของจุดเข้าถึงไร้สาย cisco รุ่น 3500P

ความถี่ (GHz)	อัตราขยายของสายอากาศ (dBi)	ช่องสัญญาณ (Channel)
2.4	4	ชั้น 4 ใช้ช่องสัญญาณ 1 (ความถี่ 2.412 GHz) ชั้น 5 ใช้ช่องสัญญาณ 6 (ความถี่ 2.462 GHz)
5.3	3	ชั้น 4 และ 5 ใช้ช่องสัญญาณ 36 (ความถี่ 5.3 GHz)

ส่วนของฝั่งเครื่องรับสัญญาณทำการวัดผลโดยใช้โปรแกรมแอร์แมกเน็ตเซอร์เวย์โปร ซึ่งต้องนำข้อมูลขนาดแบบแปลนอาคารโดยระบุความกว้าง ความยาวและความสูงของอาคารที่ต้องการทดสอบอาคารนำเข้าโปรแกรมดังกล่าว โปรแกรมจะทำหน้าที่เก็บค่าข้อมูลของจุดเข้าถึงไร้สายจากการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่งที่รับสัญญาณได้, ช่องสัญญาณ, แมคแอดเดรส, ค่ากำลังสัญญาณรับในหน่วย dBm และค่ารบกวนสัญญาณในหน่วย dBm ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการโดยประมวลผลบนคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ซึ่งมีการ์ดแลนไร้สายภายนอก ยี่ห้อ โปรซิม รุ่น 8494WD เป็นเครื่องมือรับสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณ เนื่องจากการ์ดแลนไร้สายภายนอกสามารถรับข้อมูลได้ดีกว่าการ์ดภายในของคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ซึ่งทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณรับที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.16: ตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายของชั้น 4 และ 5 มีการติดตั้งติดกับเพดานที่สูงจากพื้น 3.3 เมตร ในอาคารวิศวฯ 100 ปี

การทดสอบเริ่มทำการเก็บค่าข้อมูลจะทำการทดสอบ 2 ครั้งเพราะจะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องขึ้น ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดนำมารวมกันทดสอบโดยเครื่องรับสัญญาณห่างจากเครื่องส่งสัญญาณเป็นระยะ 1 เมตรเป็นต้นไปและเก็บข้อมูลค่ากำลังส่งสัญญาณทุก ๆ ระยะที่โปรแกรมเก็บผลได้ ซึ่งในแต่ละตำแหน่งทดสอบใช้เวลาตำแหน่งละ 15 วินาทีเพื่อรับค่ากำลังสัญญาณรับจากจุดเข้าถึงไร้สาย โดยการเก็บข้อมูลจะเดินเก็บผลในแนวเส้นตรงตามแบบแปลนอาคารเพื่อง่ายต่อการคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ การทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 รูปแบบได้แก่ รูปแบบการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งโดยไม่มีสิ่งกีดขวางการทดสอบนี้ทดสอบเฉพาะภายในห้องที่ 1 (ระยะที่สัญญาณยังไม่เกิดการลดทอนจากผนัง) ซึ่งกรณีนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก และรูปแบบการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งโดยมีสิ่งกีดขวาง โดยการทดสอบนี้ทดสอบภายในห้องที่ 1, 2 และ 3 เมื่อเดินสุดทางเดินของห้องที่ 1 จะทำการหยุดรับค่ากำลังสัญญาณรับและเข้าไปในห้องที่ 2 และ 3 ตามลำดับเพื่อรับค่ากำลังสัญญาณรับต่อไป

3.4 ผลการปรับเทียบแบบจำลองจากการทดสอบวัดค่ากำลังสัญญาณภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี

ข้อมูลที่ต้องการนำมาวิเคราะห์คือตำแหน่ง x, y ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะการทดสอบ โดยตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายอยู่ที่ตำแหน่ง 36, 10 สามารถคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณจากสูตรระยะห่างยูคลิเดียนดังนี้

$$d = \sqrt{(Xpos - Xref)^2 + (Ypos - Yref)^2} \qquad (1)$$

โดย $Xpos$ คือ ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณในแกน x

$Xref$ คือ ตำแหน่งของจุดเข้าถึงไร้สายในแกน x

$Ypos$ คือ ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณในแกน y

$Yref$ คือ ตำแหน่งของจุดเข้าถึงไร้สายในแกน y

ค่ากำลังสัญญาณรับหน่วย dB ทราบได้จากโปรแกรมแอร์แมกเนตเซอร์เวย์โปร โดยโปรแกรมจะเก็บค่ากำลังสัญญาณรับ ณ ตำแหน่งที่สามารถรับค่าได้ สำหรับค่ากำลังสัญญาณรับจะนำค่าสูงสุดของแต่ละระยะมาคำนวณ เนื่องจากเป็นค่ากำลังรับสัญญาณในขณะที่เครื่องส่งและเครื่องรับมีการส่งข้อมูลกัน ส่วนค่ากำลังสัญญาณส่งนั้นทราบได้จากการเข้าไปตรวจบนเว็บไซต์ Cisco Prime Infrastructure (ระบบประมวลผลแบบทันทีของระบบจุดเข้าถึงไร้สายที่ติดตั้งจริงภายในอาคาร) โดย

เลือกดูค่ากำลังส่งสัญญาณตามความถี่ที่กระจายสัญญาณในขณะปัจจุบันที่กำลังทดสอบมาคำนวณค่าการสูญเสียของสัญญาณในหน่วย dB โดยมีสมการดังนี้

$$Pathloss\ (dB)\ =\ Pt(dBm) - Pr(dBm) \qquad (2)$$

โดย $Pt(dBm)$ คือ ค่ากำลังสัญญาณส่งในหน่วย dBm

$Pr(dBm)$ คือ ค่ากำลังสัญญาณรับในหน่วย dBm

เมื่อหาระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับและค่าการสูญเสียสัญญาณ หน่วย dB ที่คำนวณได้จากสมการ (2) แล้วนำข้อมูลมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าการสูญเสียของสัญญาณ โดยเมื่อเทียบกับสมการ (1) สามารถหาความชันได้จากสมการ (3) ซึ่งสมการนี้ใช้หาค่าการสูญเสียสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบกับสมการแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารแบบง่ายใน ซึ่งเป็นสมการ (1) ในบทที่ 2 มาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบประกอบด้วย ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณ, ค่าการสูญเสียในระยะ 1 เมตร, เลขชี้กำลังการสูญเสียและระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง

$$y\ =\ mx\ +c \qquad (3)$$

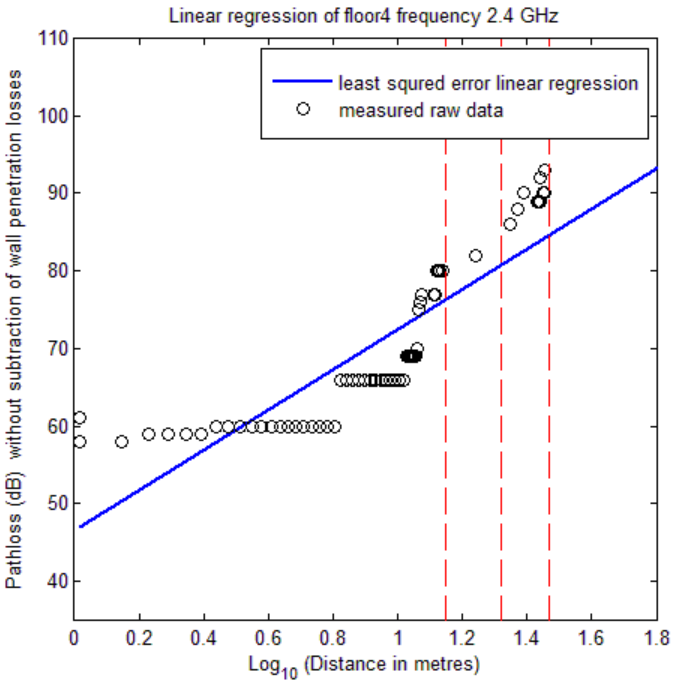
โดย y คือค่าที่ขึ้นกับตัวแปร ในที่นี้กำหนดให้เป็นการสูญเสียของสัญญาณ

m คือ ความชันของเส้นตรง ในที่นี้กำหนดให้เป็น $10 \cdot \mathrm{n}$

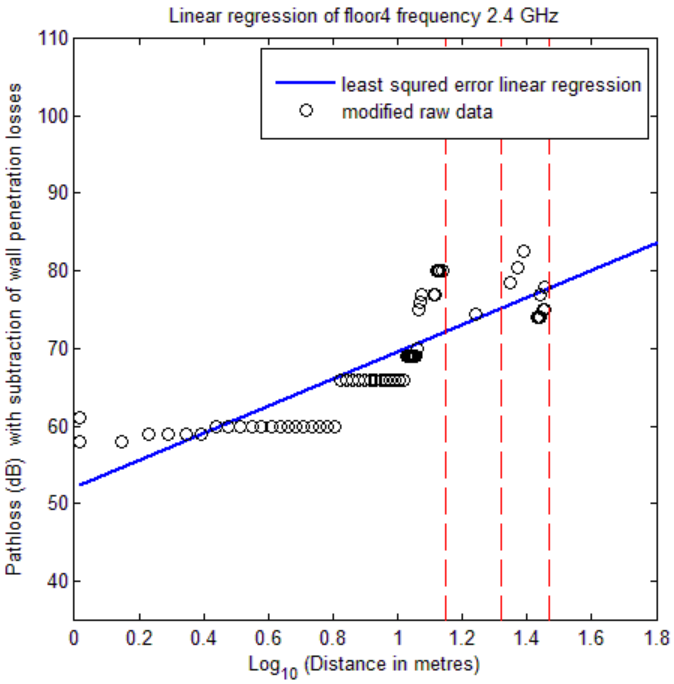
x คือ ตัวแปรอิสระ ในที่นี้กำหนดให้เป็นระยะทางโดยคำนวณจาก $\log(\mathrm{d})$

c คือ ค่าตำแหน่งตัดที่แกน y กำหนดให้เป็น PL

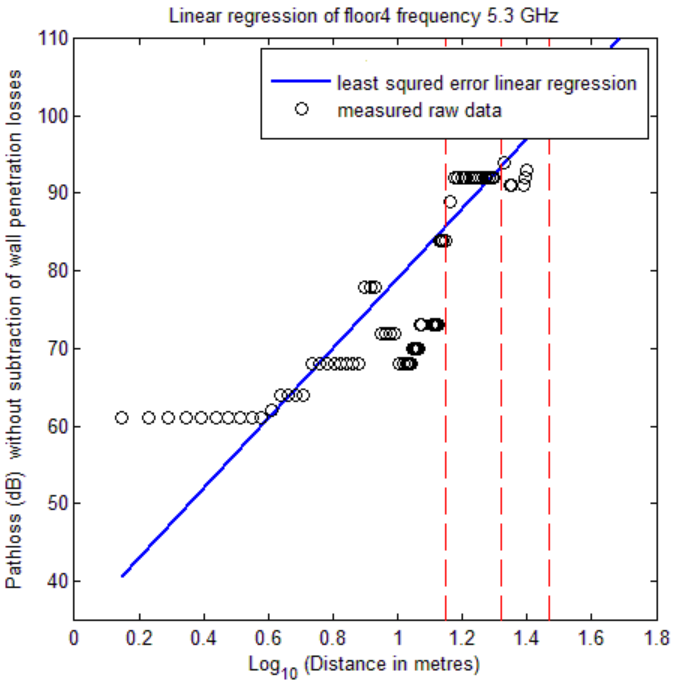
ทั้งนี้ จะพิจารณาพล็อตค่าตัวแปร y เป็น 2 กรณี คือ เมื่อค่าของ y ได้หักค่าการลดทอนสัญญาณในผนังต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณออกแล้ว ซึ่งในกรณีนี้มีการเปรียบผลที่ได้กับสมการ (2) ในบทที่ 2 ซึ่งมีการพิจารณาค่าการสูญเสียในผนัง และอีกกรณีหนึ่งเมื่อค่าของ y ไม่ได้มีการหักค่าลดทอนสัญญาณในผนังออกแล้ว ซึ่งในกรณีนี้มีการเปรียบผลที่ได้กับสมการ (1) ในบทที่ 2 ซึ่งไม่มีการพิจารณาค่าการสูญเสียในผนัง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นโดยการใช้ฟังก์ชัน plotregression ของโปรแกรม Matlab โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz ในรูปกราฟมีการระบุระยะของผนังเป็นเส้นประสีแดง โดยเส้นประสีแดงหมายถึงระยะของผนังที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจากการพล็อตค่าแยกแต่ละกรณีมีผลดังแสดงในรูปที่ 3.17 – 3.24



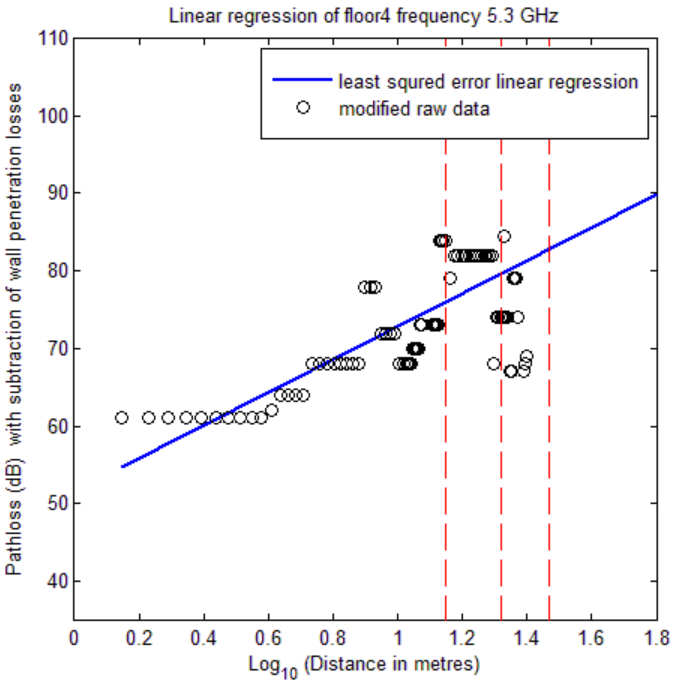
รูปที่ 3.17: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz



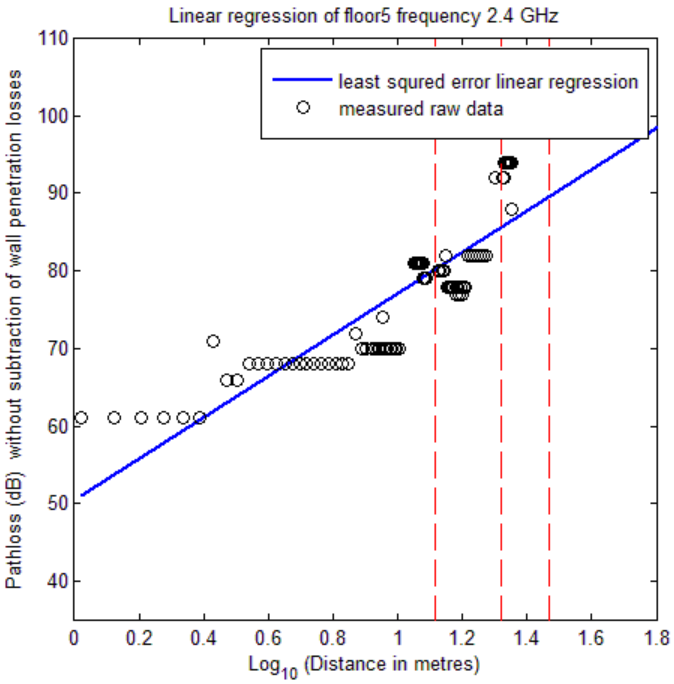
รูปที่ 3.18: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz



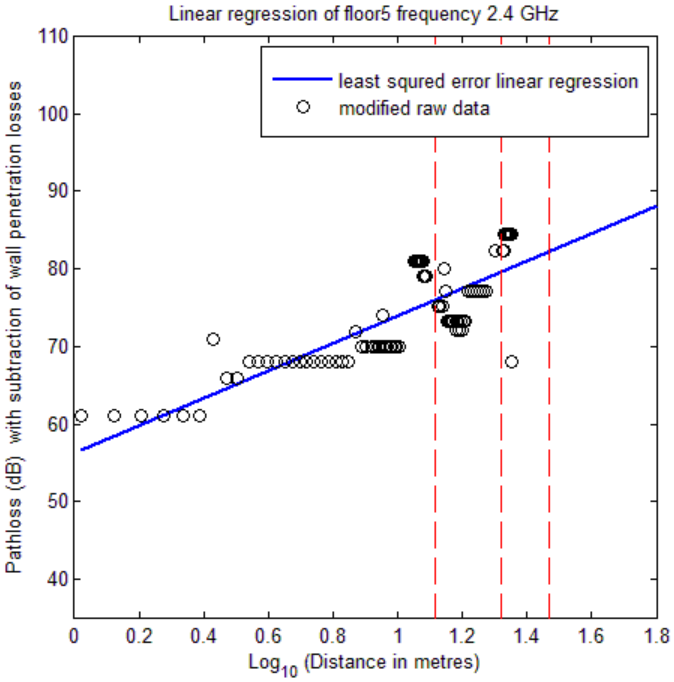
รูปที่ 3.19: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 2.4 GHz



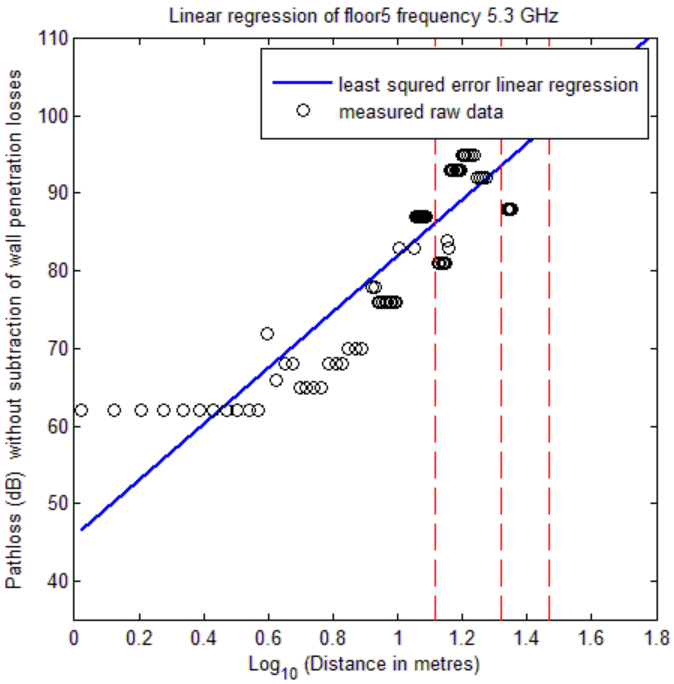
รูปที่ 3.20: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 5.3 GHz



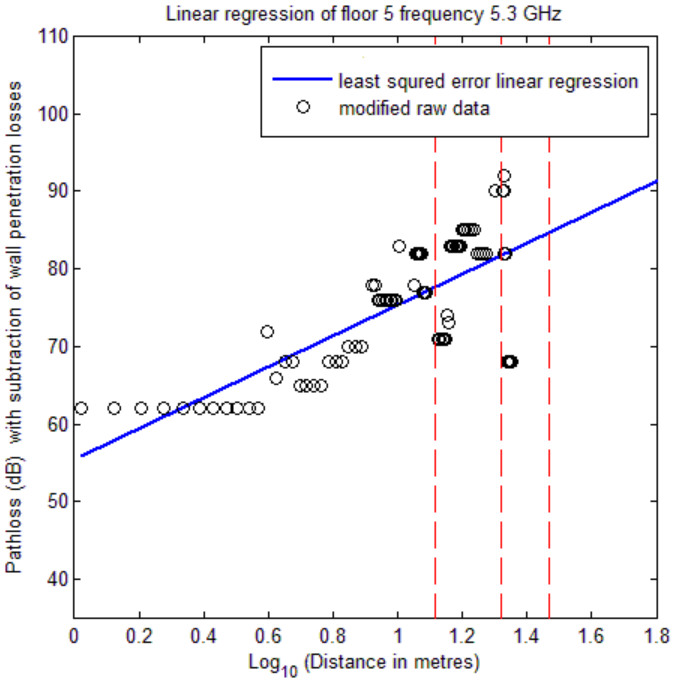
รูปที่ 3.21: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 4 ที่ความถี่ 5.3 GHz



รูปที่ 3.22: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 2.4 GHz



รูปที่ 3.23: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีไม่พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 2.4 GHz



รูปที่ 3.24: การสูญเสียสัญญาณตามระยะทางกรณีพิจารณาการลดทอนสัญญาณจากผนังที่กั้นระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณการทดสอบชั้น 5 ที่ความถี่ 5.3 GHz

จากการทดสอบนั้นสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5: ข้อมูลการทดสอบที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

ชั้น	ความถี่ (GHz)	Pt (dBm)	แบบจำลอง	n	$PL\ (1)$	Li (dB)
4	2.4	10	มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	1.8	52	8
	2.4	10	ไม่มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	2.6	47	-
5	2.4	10	มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	1.8	57	5
	2.4	10	ไม่มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	2.7	50	-
4	5.3	23	มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	2	53	11
	5.3	23	ไม่มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	4.5	34	-
5	5.3	20	มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	2	56	10
	5.3	20	ไม่มีการหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังในแต่ละชั้นออก	3.6	46	-

จากการวัดค่าลดทอนจริงภายในห้องของอาคารวิศวฯ 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยทดสอบในสถานการณ์จริงที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยการวัดค่าความแรงสัญญาณห่างจากผนัง 1 เมตรและวัดค่าความแรงสัญญาณอีกครั้งหลังจากสัญญาณถูกลดทอนจากผนัง แล้วจึงนำค่ามาหักลบกัน พบว่าค่าลดทอนของสัญญาณผ่านผนังห้องพักมีค่าดังที่แสดงในหัวข้อ Li (dB) ตามตารางที่ 3.5

ในการทดลองแบบเส้นทางมีสิ่งกีดขวางค่าการสูญเสียจากผนังเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึง โดยพบว่าในความถี่ 5.3 GHz ในแบบเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะมีค่าสูงกว่าความถี่ 2.4 GHz เพราะการส่งสัญญาณความถี่ 2.4 GHz มีการส่งได้ไกลกว่าสัญญาณความถี่ 5.3 GHz ผลการทดสอบพบว่าในกรณีแรกให้ค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียในช่วง 1.8–2.0 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ควรจะเป็นมากกว่าในกรณีหลังซึ่งอยู่ช่วง 2.6–4.5 ทั้งนี้เมื่อเทียบกับค่าเลขชี้กำลังการสูญเสีย 2.0 ในการแพร่กระจายคลื่นโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การจำลองติดตั้งอุปกรณ์จุดเข้าถึงไร้สายภายในอาคารโดยใช้พารามิเตอร์จากสภาพแวดล้อมจริง

ในบทที่ผ่านมากล่าวถึงการสำรวจสัญญาณภายในอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 มีการวัดค่าการกระจายสัญญาณและค่าสูญเสียที่เกิดจากผนังภายในอาคารโดยนำผลมาวิเคราะห์และพิจารณาเพื่อจำลองตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงและการกระจายสัญญาณเบื้องต้นบนโปรแกรมแอร์แม็กเนต เซอร์เวย์โปร จากนั้นจึงมีการหาค่าพารามิเตอร์จากสถานการณ์จริง จากการทดสอบสัญญาณภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบติดตั้งแลนไร้สาย ได้แก่ ค่ากำลังส่งสัญญาณ, ค่าการสูญเสียสัญญาณในระยะ 1 เมตร, จำนวนของประเภทผนังที่แตกต่างกัน, ค่าการสูญเสียจากผนัง โดยนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวปรับเทียบกับแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณโดยพิจารณาจำนวนผนัง และนำข้อมูลมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระยะทางกับการสูญเสียของสัญญาณเพื่อหาเลขชี้กำลังการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากผนังที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz ในบทนี้จะเป็นการนำพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้ในการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงให้สัญญาณกระจายครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคาร โดยพิจารณาปริมาณจุดเข้าถึงที่เปลี่ยนไปตามค่าพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม

4.1 การตั้งค่าและขั้นตอนการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

การออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz นี้มีเป้าหมายให้การกระจายสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารที่ต้องการออกแบบ โดยการออกแบบใช้โปรแกรมแอร์แม็กเน็ตเซอร์เวย์โปร ฟังก์ชันแพลนเนอร์ การทดลองออกแบบนี้แบ่งได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ การออกแบบในกรณีที่ไม่มีการพิจารณาหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนังและการออกแบบในกรณีที่มีการพิจารณาหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนัง การจำลองใช้แบบแปลนอาคาร อาคารวิศวฯ 100 ปี ซึ่งกำหนดความกว้างและความยาวตามจริงโดยเลือกรูปแบบการจำลองการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารโดยกำหนดให้ค่ากำลังสัญญาณต่ำสุดที่ยอมรับได้คือ -67 dBm สำหรับทั้งสองความถี่ที่ทำการทดสอบ ระบุค่าสูญเสียสัญญาณที่เกิดขึ้นจากผนังเป็น 0 dB ในกรณีไม่มีการพิจารณาหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนัง และระบุค่าสูญเสียสัญญาณที่เกิดขึ้นจากผนังเป็น 5-30 dB ต่อการทะลุผ่านผนังแต่ละชั้น ในกรณีมีการพิจารณาหักลบค่าการสูญเสียที่เกิดจากผนัง ขั้นตอนการ

ออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงโดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเน็ตเซอร์เวย์ โปร จากค่าพารามิเตอร์ในกรณีต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เลือกประเภทการออกแบบเป็นรูปแบบภายในอาคาร
2. เพิ่มแปลนอาคารที่ใช้ในการออกแบบ เลือกใช้แปลนอาคารวิศวฯ 100 ปี ซึ่งมีขนาดกว้าง 37 เมตร ขนาดความยาวเป็น 22.5 เมตร ของแปลนอาคารเพียงครึ่งเดียวของอาคาร เนื่องจากความสมมาตรของอาคาร
3. ระบุค่าลดทอนจากผนัง ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ของการลดทอนจากผนังตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 dB ซึ่งครอบคลุมเกินจากช่วงของค่าที่หามาได้จากบทที่ 3 และให้สามารถวิเคราะห์กรณีที่อาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์หรือเฟอร์นิเจอร์เพิ่มเติมภายในอาคารในอนาคต ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณเพิ่มเติมขึ้นจากช่วงที่ได้ทดลองเก็บข้อมูลจากพื้นที่อาคารจริงเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและจำนวนที่เพิ่มขึ้นตามค่าการลดทอนจากผนังของจุดเข้าถึง
4. เรียกใช้งานฟังก์ชัน Advisor Criteria ซึ่งได้อธิบายการใช้งานฟังก์ชันนี้แล้วในบทที่ 3.1 ข้อ 8 ทั้งนี้อาคารวิศวฯ 100 ปี มีความสูง 3.3 เมตร มีการติดตั้งจุดเข้าถึงแล้วคือ จุดเข้าถึงยี่ห้อซิสโก้ รุ่น 3500P ซึ่งมีอัตราขยายสายอากาศที่ความถี่ 2.4 GHz เป็น 4 dBi และมีอัตราขยายสายอากาศที่ความถี่ 5.3 GHz เป็น 3 dBi จึงตั้งค่าอัตราขยายสายอากาศดังกล่าวตามข้อมูลจริง
5. ระบุค่ากำลังส่งสัญญาณตามค่าจริงที่มีการระบุไว้ที่เว็บไซต์ Cisco prime ซึ่งเป็นเว็บไซต์แสดงข้อมูลของค่ากำลังส่งสัญญาณตามจริงของจุดเข้าถึงแต่ละตัวที่มีการติดตั้งไว้ภายในแต่ละอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. เรียกใช้ฟังก์ชันประมวลผลการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงของโปรแกรมและสั่งเริ่มการทำงาน

4.2 ผลการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยใช้แปลนอาคารชั้น 4

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้นำเข้าเพื่อทดสอบความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz แสดงในอาคารที่ 4.1 และผลการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงที่ทดสอบที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1: ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรขาเข้าเพื่อทดสอบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz

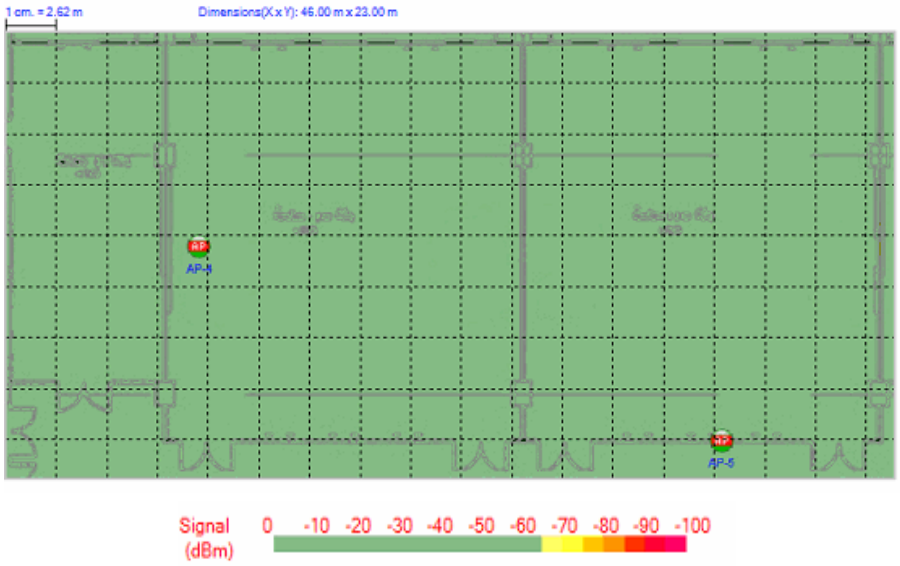
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
เลขชี้กำลังการสูญเสีย	2
ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณจากผนัง	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 dB
ความสูงของจุดเข้าถึง	3.3 เมตร
อัตราขยายสายอากาศ 2.4 GHz, 5.3 GHz	4 dBi, 3 dBi
ค่าต่ำสุดของความเข้มสัญญาณจากจุดเข้าถึงที่ต้องการ	-67 dBm
อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงขึ้น	5.5 Mbits/s
อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงลง	54 Mbits/s
ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	25 dB
ค่าสูงสุดของระดับสัญญาณรบกวนที่อนุญาต	-90 dBm
.จำนวนสูงสุดของผู้ใช้จุดเข้าถึงต่อ 1 อุปกรณ์	30

ตารางที่ 4.2: สรุปผลการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 2.4 GHz

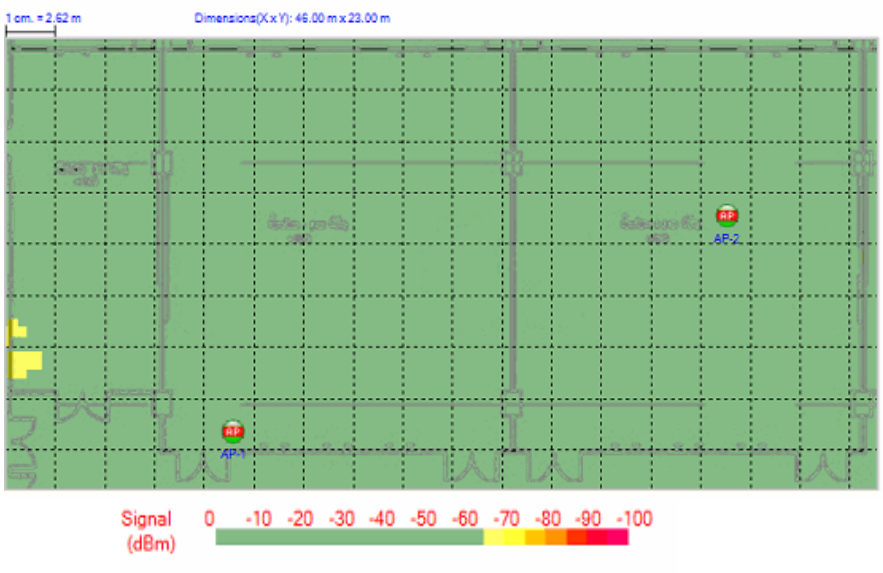
รายละเอียด	ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณจากผนัง						
	0 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB	30 dB
จำนวนจุดเข้าถึงในการออกแบบที่ครอบคลุมพื้นที่	1	1	2	2	3	4	4
ร้อยละของการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่	100%	100%	100%	78%	100%	99%	98%
ร้อยละของการรบกวนช่องสัญญาณ	0%	0%	0%	0%	0%	2%	24%
ค่าความเข้มสัญญาณสูงสุด ที่รับได้ในจุดต่าง ๆ (หน่วย dBm)	-28	-28	-27	-27	-27	-27	-27
ค่าการสูญเสียในระยะ 1 เมตร (หน่วย dB)	48	53	54	54	55	56	56

ตารางที่ 4.3: สรุปผลการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ความถี่ 5.3 GHz

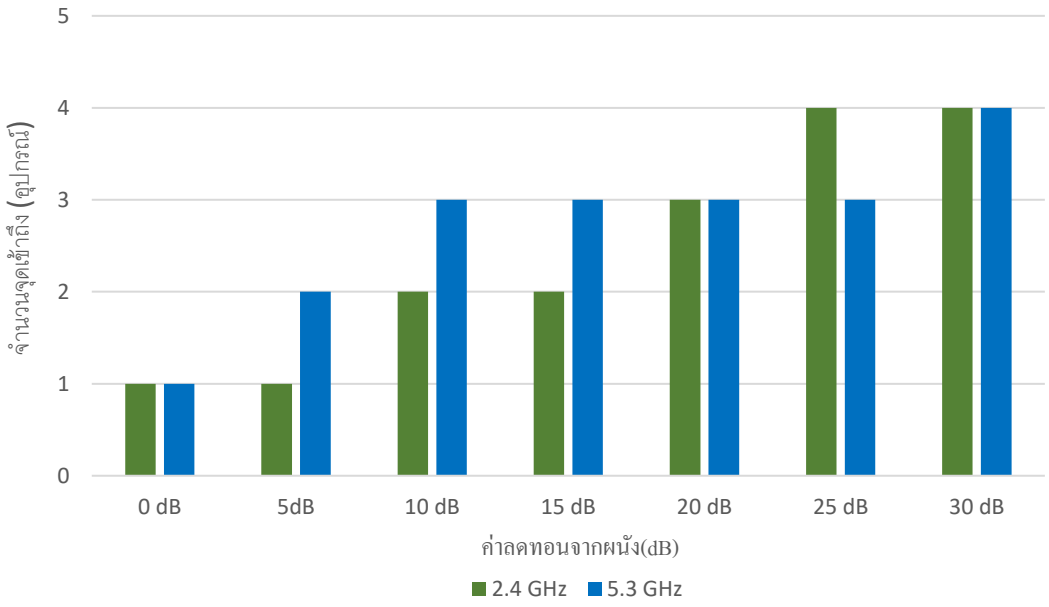
รายละเอียด	ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณจากผนัง						
	0 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB	30 dB
จำนวนจุดเข้าถึงในการออกแบบที่ครอบคลุมพื้นที่	1	2	3	3	3	3	4
ร้อยละของการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่	100%	100%	100%	100%	100%	95%	95%
ร้อยละของการรบกวนช่องสัญญาณ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
ค่าความเข้มสัญญาณสูงสุดที่รับได้ในจุดต่าง ๆ (หน่วย dBm)	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-34
ค่าการสูญเสียในระยะ 1 เมตร (หน่วยdB)	50	54	55	56	56	57	59



รูปที่ 4.1: ตัวอย่างผลการทำนายการกระจายสัญญาณแลนไร้สายในกรณีที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารโดยพิจารณาจากค่าความเข้มสัญญาณต่ำสุดที่กำหนด



รูปที่ 4.2: ตัวอย่างผลการทำนายการกระจายสัญญาณแลนไร้สายในกรณีที่ไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารโดยพิจารณาจากค่าความเข้มสัญญาณต่ำสุดที่กำหนด



รูปที่ 4.3: จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องติดตั้งเมื่อเพิ่มค่าลดทอนที่เกิดจากผนัง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้นำเข้าเพื่อทดสอบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี ที่ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการนำเข้าเป็นค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดจากสถานการณ์จริงได้จากการทดสอบและเป็นค่าที่ผู้ออกแบบกำหนดให้มีผลลัพธ์

ไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ต้องการออกแบบ ตารางที่ 4.2 แสดงผลการออกแบบที่ความถี่ 2.4 GHz และตารางที่ 4.3 แสดงผลการออกแบบที่ความถี่ 5.3 GHz ซึ่งทั้งตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงข้อมูลของการทำนายการติดตั้งจุดเข้าถึง โดยมีการปรับค่าการลดทอนที่เกิดจากผนังโดยใช้โปรแกรมแอร์แม็กเน็ตเซอร์เวย์โปร ซึ่งได้คำนวณค่ากำลังสัญญาณต่าง ๆ จากการกระจายสัญญาณ ที่มีเลขชี้กำลังการสูญเสียเท่ากับ 2 เป็นค่าที่ตั้งโดยโปรแกรมและไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้แต่ค่านี้มีความใกล้เคียงกับเลขชี้กำลังการสูญเสียที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในบทที่ 3 ซึ่งผลลัพธ์จากค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณระหว่างเลขชี้กำลังการสูญเสียจากการทดสอบจริงที่ความถี่ 2.4 GHz เท่ากับ 1.8 กับเลขชี้กำลังการสูญเสียจากโปรแกรมเท่ากับ 2 มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อคำนวณเทียบกันกับสมการที่ 2 ในบทที่ 2 เพราะระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่ใช้ทดสอบมีระยะห่างไม่เกิน 50 เมตร สามารถนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้ สำหรับผลการทำนายร้อยละของการรบกวนช่องสัญญาณเป็นผลของการรบกวนช่องสัญญาณที่เกิดจากการที่ผู้ออกแบบมีการออกแบบให้มีช่องสัญญาณเดียวกัน, ใกล้เคียงกันมากเกินไปหรือเมื่อโปรแกรมมีการออกแบบให้ติดตั้งจุดเข้าถึงมากกว่า 3 ตัวขึ้นไปจึงจะเกิดผลการรบกวนช่องสัญญาณเกิดขึ้น เนื่องจากความถี่ของช่องสัญญาณใกล้เคียงกันทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น โดยมีวิธีการคำนวณร้อยละคือ อัตราส่วนของการเกิดการรบกวนช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่อพื้นที่ที่ทำการออกแบบทั้งหมด

โปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปรคำนวณจุดเข้าถึงให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการสำหรับความถี่ 2.4 GHz พบว่าจำนวนจุดเข้าถึงที่จำเป็นต้องติดตั้งมีจำนวนจาก 1 ถึง 4 อุปกรณ์โดยขึ้นกับค่าลดทอนจากผนัง สภาพแวดล้อมจริงมีการติดตั้งจุดเข้าถึงแล้ว 3 อุปกรณ์ แต่การออกแบบโดยใช้ค่าลดทอนจากผนังที่ได้จากการทดสอบจริงในอาคารวิศวฯ 100 ปี ชั้น 5 ซึ่งมีค่าลดทอนเท่ากับ 5 dB โดยโปรแกรมระบุว่าจุดเข้าถึงเพียง 1 อุปกรณ์มีความเพียงพอต่อการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่แล้ว และเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการออกแบบโดยใช้ค่าลดทอนจากผนังที่ได้จากการทดสอบจริงในอาคารวิศวฯ 100 ปี ชั้น 4 ซึ่งมีค่าลดทอนเท่ากับ 8 dB โปรแกรมระบุว่าควรติดตั้งจุดเข้าถึงเพียง 1 อุปกรณ์ก็เพียงพอต่อการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ ดังนั้นการติดตั้งจุดเข้าถึง 3 อุปกรณ์ในปัจจุบันจึงเป็นการสิ้นเปลือง อย่างไรก็ตาม จำนวนจุดเข้าถึง 3 อุปกรณ์อาจจะมีความจำเป็นหากพิจารณาว่าอาจจะมีการตกแต่งภายในอาคารเพิ่มในอนาคตซึ่งทำให้มีค่าลดทอนจากผนังตั้งแต่ 20 dB ขึ้นไป

สำหรับการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงสำหรับความถี่ 5.3 GHz พบว่ามีการคำนวณว่าต้องการติดตั้งจุดเข้าถึง 3 อุปกรณ์เป็นอย่างน้อยสำหรับการออกแบบที่มีค่าลดทอนจากผนัง 10-11 dB การติดตั้งจุดเข้าถึงที่มีอยู่แล้วทั้งชั้น 4 และ 5 ของอาคารวิศวฯ 100 ปี มี 3 อุปกรณ์ จึงมีความเหมาะสมอยู่แล้วในปัจจุบัน

รูปที่ 4.1 แสดงการทำนายการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ 100 % หมายถึงการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงมีสัญญาณครอบคลุมเพียงพอและในกรณีที่การกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่มีค่าน้อยกว่า 100% มีตัวอย่างผลดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์การคำนวณจากโปรแกรมที่วิศวกรสามารถนำมาพิจารณาปรับแก้คุณภาพสัญญาณได้เพิ่มเติม ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 ในกรณีที่ทำการออกแบบตำแหน่งติดตั้งที่ความถี่ 2.4 GHz โดยมีค่าการสูญเสียสัญญาณจากผนังเป็น 15 dB พบว่ามีค่าร้อยละของการกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่เท่ากับ 78 % ในการติดตั้งจุดเข้าถึง 2 อุปกรณ์ ซึ่งมีผลมาจากในบางพื้นที่ภายในอาคารที่ออกแบบมีค่าความเข้มสัญญาณต่ำกว่า -67 dBm โดยโปรแกรมแอร์แม็กเนตเซอร์เวย์โปร มีการทำนายให้ติดตั้งจุดเข้าถึงเพียง 2 อุปกรณ์ เนื่องจากหากเพิ่มจุดเข้าถึงเพิ่มเติมเพื่อให้การกระจายสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่เท่ากับ 100 % จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของอัตราข่ายเชื่อมโยงข้อมูลลดลงจากการชนกันของข้อมูล เพราะมีการกำหนดค่าอัตราอัตราข่ายเชื่อมโยงข้อมูลไม่ให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด และหากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ในการออกแบบผู้ใช้สามารถปรับลดการกำหนดอัตราข่ายเชื่อมโยงข้อมูลให้ลดลงในระดับที่ยอมรับได้เพื่อให้การกระจายสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ตามที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการใช้งานโปรแกรมสำหรับตรวจสอบประเมินสัญญาณไร้สายเพื่อทำการสำรวจและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการกระจายสัญญาณจุดเข้าถึง เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบติดตั้งจุดเข้าถึงไร้สายให้การกระจายสัญญาณมีความครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคาร โดยทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากแบบจำลองการสูญเสียภายในอาคาร โดยพิจารณาการลดทอนในผนัง วิทยานิพนธ์นี้มีการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ได้แก่ ค่าลดทอนจากผนัง, ค่ากำลังส่งสัญญาณ, รูปแบบสายอากาศ, ความสูงของจุดเข้าถึงที่ติดตั้ง, ความถี่ใช้งานและผังของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบ ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์จากสถานการณ์จริงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากระบุค่าพารามิเตอร์ผิดพลาดอาจทำให้มีการติดตั้งจุดเข้าถึงเกินจำนวนที่จำเป็น ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองหรือมีการติดตั้งจุดเข้าถึงที่น้อยเกินไปส่งผลให้การกระจายสัญญาณไม่ครอบคลุมพื้นที่

ในขั้นต้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทดลองการใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ กับอาคารยูเซ็นเตอร์ 2 ชั้น 2 ของมหาวิทยาลัย จากนั้นเพื่อให้สามารถทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ วิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาอาคารใหม่อีกอาคารหนึ่ง ได้แก่ อาคารวิศวฯ 100 ปี ซึ่งเป็นอาคารที่มีการตกแต่งภายในเหมือนกันที่ผังอาคารโดยไม่มีผู้ใช้งานถาวรเนื่องจากเป็นอาคารเรียนจึงสะดวกต่อการเข้าใช้พื้นที่เพื่อทดสอบวัดค่าสัญญาณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการหาค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณจากสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคารวิศวฯ 100 ปี โดยใช้สมการ (1) ในบทที่ 2 มาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวประกอบด้วย ค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณ, ค่าการสูญเสียในระยะ 1 เมตร, เลขชี้กำลังการสูญเสียและระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง เนื่องจากสมการนี้เป็นสมการของแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารแบบง่ายสามารถนำมาเปรียบเทียบกับสมการ (3) ในบทที่ 3 หาความชันเพื่อให้ได้ค่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว โดยมีการหักลบค่าการสูญเสียจากผนังแต่ละชั้นออก พบว่ามีค่าเป็น 1.8 - 2.0 ซึ่งจากโปรแกรมแอร์แม็กเน็ตเซอร์เวย์โปร มีค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเป็น 2 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณที่ได้จากการทดสอบจริง จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบการสูญเสียจากผนังที่ความถี่ 2.4 ที่มีค่าเป็น 5-8 dB และที่ความถี่ 5.3 GHz ที่มีค่าเป็น 10-11 dB มาระบุในการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงโดยแบ่งช่วงค่าการสูญเสียจากผนังตั้งแต่ 0-30 dB ซึ่งครอบคลุมค่าการสูญเสียจากผนังที่หาได้จากการวิเคราะห์ค่าที่วัดได้มานั้นเพื่อสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดเข้าถึงที่จำเป็นต้องติดตั้งเพื่อให้ทุก ๆ

จุดในพื้นที่ ค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ไม่ต่ำกว่า -67 dBm, อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงขึ้นเป็น 5.5 Mbits/s, อัตราข้อมูลข่ายการเชื่อมโยงลงเป็น 54 Mbits/s, ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเป็น 25 dB, ค่าสูงสุดของระดับสัญญาณรบกวนที่อนุญาตเป็น -90 dBm และมีจำนวนสูงสุดของผู้ใช้จุดเข้าถึงต่อ 1 อุปกรณ์คือ 30 ผู้ใช้ โดยจากการทดลองในกรณีที่มีการพิจารณาการสูญเสียจากผนังพบว่าควรติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 2 อุปกรณ์ต่อพื้นที่ที่ทำการทดสอบสำหรับความถี่ 2.4 GHz และติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 3 อุปกรณ์ต่อพื้นที่ที่ทำการทดสอบสำหรับความถี่ 5.3 GHz ทั้งนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงใหม่เพื่อให้สัญญาณกระจายครอบคลุมพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบที่ทั้งสองย่านความถี่ หากไม่มีการพิจารณาการสูญเสียจากผนัง จากการทดลองพบว่าโปรแกรมแอร์แม็กเน็ตเวอร์เวย์โปร ที่ใช้จะให้ผลการคำนวณซึ่งระบุว่ามีความจำเป็นต้องติดตั้งจุดเข้าถึงเพียง 1 อุปกรณ์เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าหากไม่พิจารณาการสูญเสียกำลังสัญญาณในผนังแล้ว ค่าการออกแบบจะมีความผิดพลาดอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ ผลลัพธ์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำให้เห็นถึงความจำเป็นในการพิจารณาการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการกระจายสัญญาณไร้สาย ในการออกแบบแลนไร้สายภายในอาคารอย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไปในทางปฏิบัติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. การทดสอบความเร็วของการเชื่อมต่อข้อมูล

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำนายตำแหน่งจุดติดตั้งโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จริงแต่คำนึงเพียงการกระจายสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคาร หากมีการติดตั้งใหม่จริง ควรมีการวัดระดับปริมาณงานที่เกิดขึ้นหลังการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงเพื่อยืนยันถึงคุณภาพบริการสื่อสารที่ได้จริงเพิ่มเติม

2. การออกแบบโดยใช้มาตรฐานความถี่ใหม่

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบและทำนายตำแหน่งติดตั้งใหม่โดยใช้ความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz ภายใต้มาตรฐาน 802.11a/b/g/n ในปัจจุบันมีมาตรฐานใหม่ที่ใช้ความถี่ย่าน 5 GHz คือมาตรฐาน 802.11ac แต่อุปกรณ์ที่มีการติดตั้งแล้วยังไม่รองรับมาตรฐานใหม่นี้ ซึ่งการทดสอบการกระจายสัญญาณของมาตรฐานใหม่จึงมีความน่าสนใจสำหรับงานวิจัยต่อยอดในอนาคต

รายการอ้างอิง

[1] Ari, A., Sydorov, Y., Valkama, M. and Niemela, J. Radio signal propagation and attenuation measurements for modern residential building. In Proc of Globecom Workshops, December, 2012

[2] Osama, W. In building penetration loss in office and residential building structures in palestine at GSM 900 MHz frequency. In Proc of Wireless Pes Commun, May, 2013.

[3] Fraiha, L., Costa, A.B., Gomes, H.S., Souza, N.W.P., Martins, B.W. and Cavalcante, G.P.S. Empirical ARMA indoor propagation model for WLAN s ignals in 2.4 GHz. In Proc of Antennas and Propagation, April, 2013.

[4] Sayidmarie, K., Aboud, A.H. and Salim, M.S. Estimation of wall Penetration loss for indoor WLAN systems. In Proc of Sciences of Electronics,Technologies of Information and Telecommunications, March 2012.

[5] Sadiki, T. and Paimblanc, P. Modelling new indoor propagation models for WLAN based on empirical results. In Proc of Computer Modelling and Simulation, March, 2009.

[6] Stanislav, Z., Pavel, P. and Martin, K.“Wireless LAN Network Design : Site Survey or Propagation Modeling?”. Journal Radioengineering ปีที่ 2003, ฉบับที่ 12. หน้า 42-49

[7] Airmagnet. Airmagnet survey pro datasheet.pdf [Online]. Available from: http://www.flukenetworks.com/enterprise-network/wireless-network/AirMagnet-Survey-Pro.pdf

[8] Metageek. InSSIDer4_datasheet.pdf [Online]. Available from :http://www.metageek.com/support/downloads/insssider.pdf [2014, July 15].

[9] PassMark. WirelessMon.pdf [Online]. Available from : http://www.passmark.com/products/wirelessmonitor.html [2014, July 15].

[10] Homedale. Homedale.pdf [Online]. Available from : http://thesz.diecru.eu/content/homedale.php/homedale.pdf [2014, July 20].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[11] Majorgeeks. Wirelesswizard-datasheet.pdf [Online]. Available from : http://www.majorgeeks.com/files/details/wireless_wizard.html/wireless-wizard.pdf [2014, July 15].

[12] Xirrus. Wifi-inspector-datasheet.pdf [Online]. Available from : http://www.xirrus.com/wifi-inspector

[13] Airmagnet. Airmagnet wifi nalyzer datasheet.pdf [Online]. Available from : http://www.flukenetworks.com/enterprise-network/wireless-network/AirMagnet-WiFi-Analyzer.pdf

[14] Wong, S.F. and Ni, X. Signal propagation model calibration under metal noise factor for indoor localization by using RFID. In Proc of Industrial Engineering and Engineering Management, December, 2014.

[15] El, R.M., Hammad, H.F., Ashour, M.E. and El, T.O. A new indoor empirical model with transmitter location-dependent path loss coefficient. In Proc of Antenna Measurements & Applications, November, 2013.

[16] Abdul, H., Mohd, R., Muzaiyanah, H., Syuwari, A., Mohd Z. and Monhd A. Investigation of Indoor WIFI radio signal propagation. In Proc of Radio Industrial Electronics & Applications, October, 2010.

[17] Osama, W., Ala, M., Shahateet, I., Mutaz, I, J. and Adnan, A. An indoor propagation model based on a novel multi wall attenuation loss formula at frequencies 900 MHz and 2.4 GHz. In Proc of Wireless Pes Commun, March 2013.

[18] Yongxiang, Z., Huaibei ,Z. and Meifang, L. Indoor access points location optimization using differential evolution. In Proc of Computer Science and Software Engineering, October 2008.

[19] Kochlan, M., Micek, J. Indoor propagation of 2.4 GHz radio signal. In Proc of Antennas and Propagation, April,2014.

[20] Kochlan, M., Micek, J. and Sevcik, P. 2.4GHz ISM band radio frequency signal indoor propagation. In Proc of Computer Science and Information Systems, September, 2013.

[21] Soo Y., Zhengqing Y. and Iskander, M.F. Propagation measurement and modeling for indoor stairwells at 2.4 and 5.8 GHz. In Proc of Antennas and Propagation, September, 2014.

[22] Braga, A.S., Lopes, R.L.F., Fraiha, S.G.C., Araujo, J.P.L., Gomes, H.S., Rodrigues, J.C. and Ferreira, H.R.O. Coverage area simulation for indoor 4G networks in 2.6 GHz and 3.5 GHz. In Proc of Antennas and Propagation, April, 2014.

[23] Alhamoud, A., Kreger, M., Afifi, H., Gottron, C., Burgstahler, D., Englert, F., Bohnstedt, D. and Steinmetz, R. Empirical investigation of the effect of the door's state on received signal strength in indoor environments at 2.4 GHz. In Proc of Local Computer Networks Workshops, September, 2014.

[24] Martin, V.,Stanislav, Z. and Pavel, P. Indoor propagation measurement for wireless systems operating in 2.45 GHz ISM band. In Proc of Antennas and Propagation, April, 2003

[25] Lun, I., Yanwu, D., Eghbali, H., Muhaidat, S.H. and Xiurong, M. Indoor multi-wall path loss model at 1.93 GHz. In Proc of Military Communications Conference, November ,2013.

[26] Shoa-Yei, Y., Alsalihy, W. and Tatchee, W. Indoor WLAN monitoring and planning using empirical and theoretical propagation models. In Proc of Network Applications Protocols and Services, September 2010.

Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชญา บรรจงดวง เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 15 กรกฎาคม 2533 จังหวัดพัทลุง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวไฟฟ้า สาขาไฟฟ้าโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2556 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2560

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] P.Banjongduang, P. Komolkiti, and C. Aswakul, "การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองการสูญเสียสัญญาณภายในอาคารที่มีปัจจัยลดทอนด้วยผนัง สำหรับแอคเซสพอยต์ไร้สายท่านความถี่ 2.4 และ 5.3 GHz", The 8th Conference on Information Technology, Krabi Province, Thailand, October 26-27, 2016,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University