

การลดค่าความผิดพลาดของการทำนายค่าการสูญเสียในเส้นทางโดยใช้การแบ่งกลุ่ม

K-MEAN และ ฟัซซีลอจิก

MINIZING PATH LOSS PREDICTION ERROR USING K-MEAN CLUSTERING AND
FUZZY LOGIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-D-018-139

การลดค่าความผิดพลาดของการทำนายค่าการสูญเสียในเส้นทางโดยใช้การแบ่งกลุ่ม

K-MEAN และ ฟัซซีลอจิก

MINIZING PATH LOSS PREDICTION ERROR USING K-MEAN CLUSTERING AND
FUZZY LOGIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-D-018-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINIZING PATH LOSS PREDICTION ERROR USING K-MEAN CLUSTERING AND FUZZY LOGIC



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018
KMITL-2018-EN-D-018-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

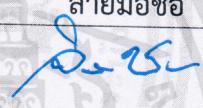
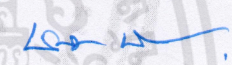
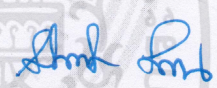
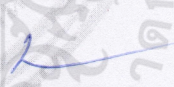
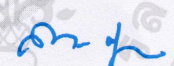
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดค่าความผิดพลาดของการทำนายค่าการสูญเสียในเส้นทางโดยใช้การแบ่งกลุ่ม K-MEAN และ ฟัซซีลอจิก
Thesis Title Minimizing Path Loss Prediction Error using K-MEAN Clustering and Fuzzy Logic
นักศึกษา นางวิยะดา ภูพวก
รหัสประจำตัว 58601003
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สิรภาพ ตู่ประกาย
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-D-018-139

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิชธรรม	
รศ.ดร.พิพัฒน์	พรหมมี	
รศ.ดร.มนตรี	คำเงิน	
ผศ.ดร.สมเกียรติ	ฤกษ์วัลญญ	
ผศ.ดร.สิรภาพ	ตู่ประกาย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น คณะบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอสงวนสิทธิ์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2561

Thesis	MINIZING PATH LOSS PREDICTION ERROR USING K-MEAN CLUSTERING AND FUZZY LOGIC
Student	Mrs.Wiyada Bhupuak
Student ID	58601003
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Siraphop Tooprakai

ABSTRACT

This thesis proposes an algorithmic scheme based on K-mean clustering and fuzzy logic to minimize path loss prediction error. The proposed K-mean fuzzy scheme concurrently utilizes the area topographical variability and multiple path loss prediction models to mitigate the prediction error for example vegetation density, building, and transmission-receiver distances are the fuzzy inputs. The conventional path loss models are the output: the Free Space Loss, Walfisch-Ikegami, Hata, ECC-33, Stanford University Interim (SUI) and Ericsson models. The experimental results show that the path loss prediction error of the K-mean fuzzy scheme is only 2.67% compared to the drive-test measurement, and this is the lowest relative to that of the conventional models. The K-mean fuzzy scheme offers a novel means to approximate path loss in localities with diverse topographical features and also efficiently mitigates the prediction error inherent in the independent use of the conventional prediction models.

Keyword: Path loss, Prediction, Fuzzy sets

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ ที่ให้แนวคิด คำแนะนำ ขอขอบคุณ บมจ.ทีโอที ที่ให้โอกาสในการเรียนรู้ และผู้ร่วมงานทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ขอขอบคุณครอบครัว ญาติ พี่น้องของข้าพเจ้า ที่ให้กำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นในการทำวิจัยแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วิยะดา ภูพวก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อ	
ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การสื่อสารคลื่นวิทยุ.....	5
2.1 ระบบสื่อสารคลื่นวิทยุ.....	5
2.2 การสูญเสียของสัญญาณ.....	8
2.2.1 การสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free Space Loss).....	8
2.2.2 การสูญเสียจากการเลี้ยวเบนของคลื่น.....	8
2.2.3 การสะท้อนและการหักเห.....	9
2.3 ช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในโดเมนของความถี่.....	10
2.3.1 การจางหายหลายเส้นทาง.....	10
2.3.2 การจางหายจากเงา (Shadow Fading).....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ฟัชซีลอจิก.....	12
3.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัชซีลอจิก.....	13
3.2 เซตแบบฉบับ.....	14
3.3 ฟัชซีเซต (Fuzzy set).....	15
3.4 การดำเนินการทางฟัชซีเซต	17
3.4.1 ยูเนียน (Union).....	17
3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection).....	18
3.4.3 คอมพลีเมนต์ (Complement).....	18
3.5 การแสดงค่าสถานะสมาชิก	19
3.5.1 รูปสามเหลี่ยม.....	19
3.5.2 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	20
3.5.3 เส้นโค้งรูปตัว S.....	21
3.6 ระบบอนุมานฟัชซี.....	24
3.6.1 การอนุมานแบบฟัชซีสุจิโน (Sugeno)	24
3.7 การแบ่งกลุ่มรูปภาพ (K-mean Classification).....	25
3.7.1 เทคนิค K-Mean Clustering.....	26
3.7.2 ชนิดของตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-Mean Clustering.....	26
3.7.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-Mean.....	26
3.7.4 ข้อแตกต่างระหว่างเทคนิค Hierarchical กับวิธี K-Mean.....	27
บทที่ 4 แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณ.....	28
4.1 แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free Space Path Loss).....	28
4.2 แบบจำลอง Hata.....	28
4.3 แบบจำลอง Walfish Ikegami (WI).....	30
4.4 แบบจำลอง ECC-33.....	31
4.5 แบบจำลอง Stanford University Interim (SUI).....	32
4.6 แบบจำลอง Ericsson.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	35
5.1 สถานที่ทดสอบ.....	35
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	36
5.3 ผลการทดสอบ.....	45
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก . ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของระบบสื่อสารคลื่นวิทยุระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	6
2.2 กลไกการแพร่กระจายคลื่น.....	7
2.3 การสูญเสียในพื้นที่ว่าง.....	8
2.4 เฟรย์-แนล โซน (Fresnel Zone).....	9
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับโพลาไรเซชันของสายอากาศ.....	10
2.6 การแพร่กระจายสัญญาณหลายเส้นทาง.....	11
3.1 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก).....	13
3.2 ความไม่แน่นอน (Uncertainty).....	14
3.3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ.....	15
3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน.....	15
3.5 การกำหนดค่าของเซตแบบทวินัยและเซตแบบฟัซซี.....	16
3.6 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B.....	17
3.7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B.....	18
3.8 คอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต.....	19
3.9 กราฟรูปสามเหลี่ยม.....	20
3.10 กราฟรูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	21
3.11 ฟังก์ชันกราฟรูปตัว S.....	21
3.12 ฟังก์ชันกราฟรูปตัว π	22
3.13 ฟัซซีเซตรูปสามเหลี่ยมของอายุ.....	23
3.14 ระบบอนุมานของฟัซซี (Fuzzy Inference Systems).....	25
5.1 สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่บริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี.....	35
5.2 แผนผังขั้นตอนทำนายการสูญเสียของสัญญาณด้วยวิธีจัดกลุ่ม K-mean และฟัซซีลอจิก.....	36
5.3 พื้นที่ฝึกฝน (Training area) (ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean.....	37
5.4 ฟัซซีลอจิก (Sugeno).....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนระยะทางระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครื่องรับ.....	40
5.6 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนความหนาแน่นของต้นไม้.....	41
5.7 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนอาคารสิ่งก่อสร้าง.....	41
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า กฎของพีชชีและข้อมูลขาออก.....	42
5.9 การใช้งานกฎของพีชชีผ่านโปรแกรม MATLAB.....	42
5.10 มุมมองพื้นผิว (surface view) ของพีชชีลอจิก.....	43
5.11 กราฟแสดงค่าการสูญเสียของสัญญาณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับการวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ฝึกฝน.....	44
5.12 กราฟแสดงค่าผิดพลาดการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณในพื้นที่ฝึกฝน.....	45
5.13 พื้นที่ทดสอบ (Test area) (ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean.....	46
5.14 การวัดสัญญาณจริงโดยอุปกรณ์ Drive Test Tool	46
5.15 กราฟแสดงค่าผิดพลาดการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ทดสอบ.....	47
5.16 กราฟแสดงค่าการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับการวัด สัญญาณจริงในพื้นที่ทดสอบ.....	48
5.17 ตัวอย่างกราฟแสดงการทำนายการสูญเสียของสัญญาณการวัดสัญญาณในพื้นที่ทดสอบ.....	50
5.18 (ก) พื้นที่ที่มีค่าการสูญเสียในเส้นทางสูง (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean	51
5.19 การทำนายการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ที่มีค่าการสูญเสียของสัญญาณสูง.....	51

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน.....	33
5.1 พารามิเตอร์ของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	38
5.2 เทอร์สโพลต์ของข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกของตัวแปรฟัซซี.....	39
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎของฟัซซีและค่าผิดพลาดของการทำนายการสูญเสียด้วยวิธี K-mean Fuzzy logic.....	44
5.4 ค่าความผิดพลาดจากการทำนายการสูญเสียด้วยแบบจำลองการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณ.....	48
5.5 เปอร์เซนต์ของแบบจำลองการสูญเสียที่นำมาใช้ในแบบจำลอง K-mean และฟัซซี.....	49
5.6 แบบจำลองที่ใช้ทำนายการสูญเสียในแต่ละสภาพแวดล้อม.....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการใช้งานของลูกค้า ซึ่งผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ดำเนินการติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องเพื่อขยายขอบเขตในการให้บริการลูกค้าให้มีสัญญาณครอบคลุมมากขึ้น ก่อนติดตั้งสถานีฐานจะทำการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อแพร่กระจายสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ข้อสำคัญจำนวนของสถานีฐานควรติดตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการลูกค้า การทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องนำมาเป็นส่วนประกอบในการวางแผนกำหนดจุดติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เหมาะสมในการแพร่กระจายสัญญาณ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมมาใช้ในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อลดความผิดพลาดในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณ

แบบจำลองที่ใช้ทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่ในกรณีของการใช้งานภายนอกอาคารนั้นมีแบบจำลองหลายรูปแบบที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณเพื่อวางแผนติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free Space Loss) แบบจำลองการสูญเสีย Hata แบบจำลองการสูญเสีย Walfish Ikegami (WI) แบบจำลองการสูญเสีย ECC-33 แบบจำลองการสูญเสีย Stanford University Interim (SUI) และแบบจำลอง Ericsson การออกแบบจะนิยมเลือกใช้แบบจำลองเดี่ยวเท่านั้นในการจำลองเพื่อวางแผนการติดตั้งหนึ่งครั้ง โดยแบบจำลองแต่ละรูปแบบจะเหมาะสมกับการสภาพแวดล้อมแตกต่างกันไป

นักวิจัยได้ศึกษาแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณหลายรูปแบบที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย [1] โดยผลที่ได้จากการทดลอง แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณเหมาะกับการนำมาใช้งานในพื้นที่เมือง ชานเมือง และชนบท แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ทดลองด้วย [2] ในการศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองการแพร่กระจายเพื่อใช้ทำนายการสูญเสียของสัญญาณโดยทำการทดสอบในพื้นที่เมืองและทางหลวงผลที่ได้พบว่าแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณ Hata เหมาะสำหรับการทำนายการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เมืองและได้ประยุกต์แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณ COST231 และ

แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณ Hata เพื่อใช้ทำนายการสูญเสียของสัญญาณในทางหลวง และผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณในการสื่อสารไร้สายด้วยแบบจำลองการสูญเสียในรูปแบบต่างๆ [4] อย่างไรก็ตามแบบการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ทั้งหมดหนึ่งครั้งยังคงใช้วิธีเลือกแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณมาใช้เพียงแบบจำลองเดียวเพื่อทำนายค่าการสูญเสียของพื้นที่ทั้งหมด วิทยานิพนธ์นี้จะนำแบบจำลองหลายชนิดมาใช้งานร่วมกันในการทำนายค่าการสูญเสียแต่ละครั้งซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่หลากหลายในแต่ละพื้นที่อาจช่วยลดค่าความผิดพลาดในการทำนายการสูญเสียของสัญญาณให้น้อยลงและมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อนำเสนอวิธีการใหม่ในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้โดยเก็บภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ที่ต้องการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณและแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมโดยวิธี K-mean [5] จากนั้นใช้ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [6] ในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละจุด โดยเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียทั้ง 6 รูปแบบ คือ แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (FSL) แบบจำลองการสูญเสีย Hata แบบจำลองการสูญเสีย Walfish Ikegami (WI) แบบจำลองการสูญเสีย ECC-33 แบบจำลองการสูญเสีย Stanford University Interim (SUI) และแบบจำลองการสูญเสีย Ericsson โดยเลือกใช้งานแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพื่อทำนายการสูญเสียของสัญญาณให้ได้ค่าผิดพลาดของสัญญาณลดลง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณเพื่อทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่มีข้อด้อย คือ แบบจำลองแต่ละรูปแบบเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณเพียงรูปแบบเดียวมาใช้ในการทำนายพื้นที่ซึ่งมีสภาพแวดล้อมผสมผสานหลายรูปแบบ เช่น มีทั้ง อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณมากขึ้น

วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยใช้วิธีเก็บภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ที่จะทำนายการสูญเสียของสัญญาณมาวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมตามสีที่ได้จากกระบวนการแบ่งกลุ่ม K-mean จากนั้นนำฟัซซีลอจิกมาใช้ในการตัดสินใจว่าพื้นที่ในแต่ละพิกัดเหมาะสมกับแบบจำลองรูปแบบใด ซึ่งค่าผิดพลาดที่ได้จากการทำนายการสูญเสียของสัญญาณจะลดลง

จากการศึกษาของ Mollet และ Kisangiri (2014) ได้ทำการทดลองในเขตเมืองและชานเมืองโดยใช้แบบจำลองการทำนายการสูญเสียในเส้นทางหลายรูปแบบ และพบว่าแบบจำลอง Hata-Okumura เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในพื้นที่เขตเมือง โดยมีข้อผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองในการทำนายการสูญเสียในเส้นทาง (RMSE) น้อยที่สุด เท่ากับ 15.79 ในขณะที่แบบจำลอง ECC-33 นำไปใช้กับพื้นที่ชานเมืองมีค่า RMSE เท่ากับ 6.9 ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองโดยการใช้วิธีแบ่งกลุ่มรูปภาพ (K-mean) ทำงานร่วมกับพีชชีลอจิกเพื่อลดค่าผิดพลาดในการใช้แบบจำลองการสูญเสียเส้นทางแบบเดิมเพียงแบบจำลองเดียวในทุกพื้นที่ โดยใช้พีชชีลอจิกตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ในจุดนั้น ซึ่งสามารถเลือกใช้แบบจำลองได้หลากหลายตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การนำแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณมาใช้ร่วมกันโดยเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ การนำภาพถ่ายดาวเทียมผ่านขั้นตอน K-Mean มาใช้ในการแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมตามสีที่ได้ และใช้พีชชีลอจิกแบบ Sugeno ในการตัดสินใจว่าพื้นที่แต่ละพิกัดเหมาะสมกับแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณชนิดใด โดยใช้แบบจำลองซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี 6 รูปแบบ คือ แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง แบบจำลองการสูญเสีย Hata แบบจำลองการสูญเสีย Walfish Ikegami (WI) แบบจำลองการสูญเสีย ECC-33 แบบจำลองการสูญเสีย Stanford University Interim (SUI) และแบบจำลองการสูญเสีย Ericsson

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวัดค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ในจุดต่างๆ บริเวณรอบวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกสำหรับฝึกฝนพีชชีลอจิกและข้อมูลชุดที่สองสำหรับทดสอบการทำนายผลโดยการตัดสินใจซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้ฝึกฝนในชุดแรกหลังจากปรับแต่งให้ทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้แม่นยำขึ้นแล้ว

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึง ความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ สมมุติฐานทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ทฤษฎีของฟิชเชิลอจิก และการแบ่งประเภทของรูปภาพ (Image Classification)

บทที่ 4 กล่าวถึง แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง แบบจำลอง Hata แบบจำลอง Walfish Ikegami (WI) แบบจำลอง ECC-33 แบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) และแบบจำลอง Ericsson

บทที่ 5 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

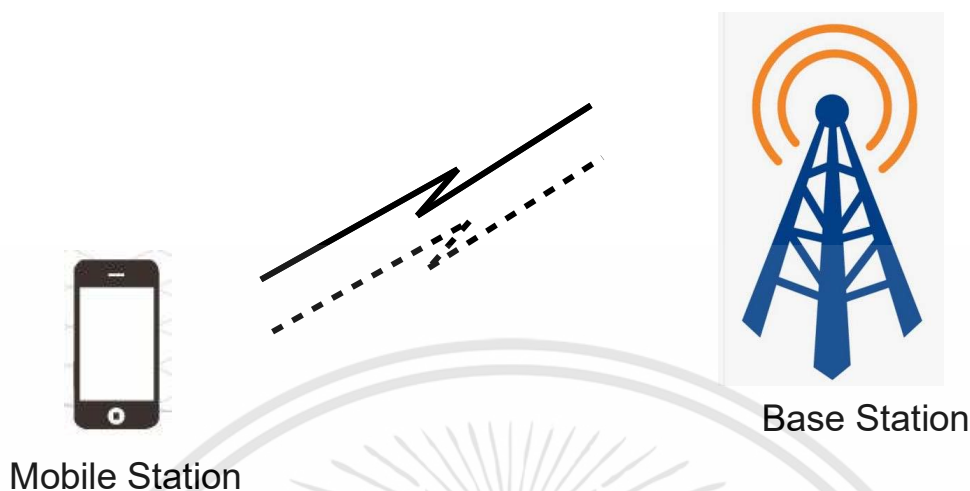
การสื่อสารคลื่นวิทยุ

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารเข้ามามีบทบาทสำคัญและเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินชีวิตของคนยุคนี้มากกว่าในอดีต เนื่องจากใช้เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารทางธุรกิจ การทำงานและติดต่อสื่อสารทั่วไป การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุเกิดขึ้นเมื่อเฮิร์ตซ์ (Hertz) ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแสงกับไฟฟ้าในปี ค.ศ. 1887 หลังจากนั้นแมกซ์เวล (Maxwell) ได้แสดงหลักการของสมการสนามแม่เหล็กในปี ค.ศ. 1864

หลักการของการสื่อสารคลื่นวิทยุคือการนำคลื่นวิทยุมาใช้ประโยชน์ในการรับส่งสัญญาณ ซึ่งคลื่นวิทยุทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเกิดคลื่นแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดสัญญาณไปในสภาพแวดล้อมโดยรอบแหล่งกำเนิดสัญญาณ ตัวอย่างเช่น ทำการส่งสัญญาณจากสถานีฐานหรือจากโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้คลื่นวิทยุซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย คลื่นวิทยุที่ใช้ในระบบสื่อสารมีสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่มีสัญญาณอ่อนลงกว่ากำลังของด้านส่ง เช่นสัญญาณที่ส่งผ่านไปในสภาพแวดล้อมที่ประกอบด้วย ภูเขา เนินเขา การสะท้อนกับวัตถุใหญ่ เช่น สะท้อนอาคาร สิ่งก่อสร้าง ชั้นบรรยากาศ เป็นต้น

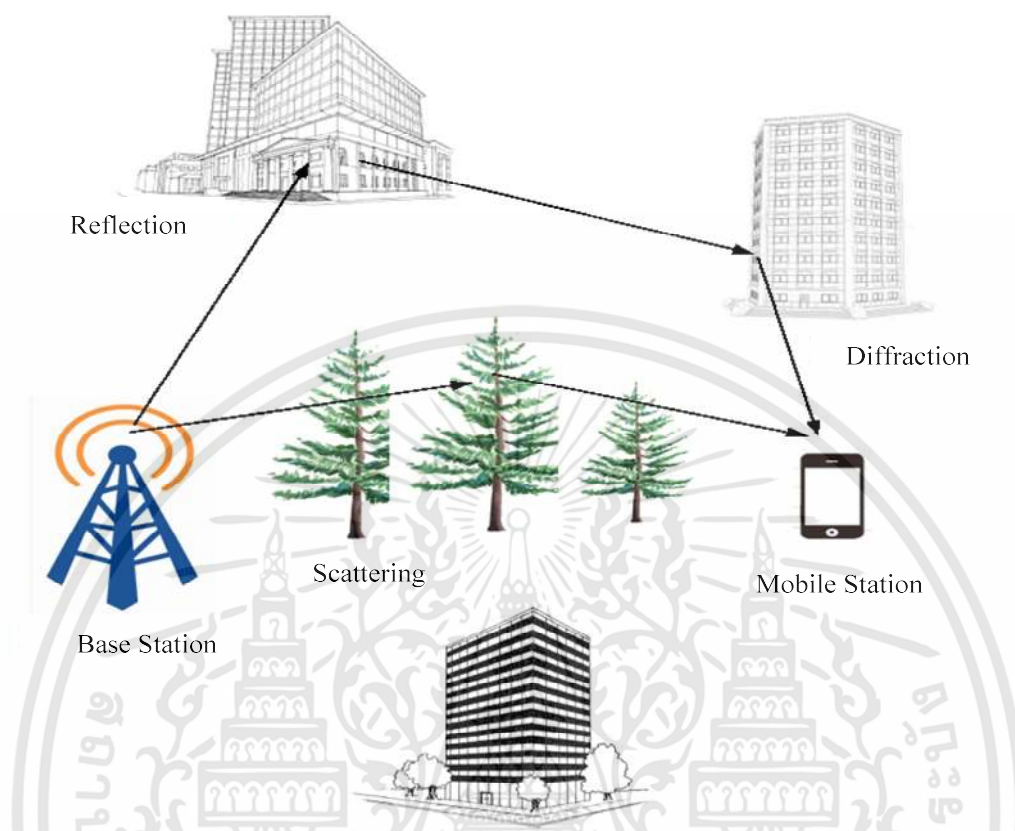
2.1 ระบบสื่อสารคลื่นวิทยุ

ระบบสื่อสารประกอบด้วยองค์ประกอบอย่างน้อย 2 ส่วน [7] คือเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ ในกรณีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทั้ง 2 องค์ประกอบนี้จะถูกรวมอยู่ในอุปกรณ์ตัวเดียวกัน เรียกว่าเครื่องรับส่งสัญญาณ (Transceiver) ดังนั้นจึงมีความสามารถในการทำงานทั้งเป็นเครื่องส่งและเครื่องรับในอุปกรณ์เดียวกัน ตัวอย่างของอุปกรณ์เช่น สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นตัวอย่างของระบบสื่อสารคลื่นวิทยุซึ่งประกอบด้วยสถานีฐานจำนวน 1 สถานีฐาน (Base Station) และโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 1 เครื่อง (Mobile Handset) ซึ่งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำงานเป็นเครื่องส่ง จากนั้นคลื่นวิทยุจะแพร่กระจายจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ความแรงของคลื่นสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับได้จากสถานีฐานจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากสถานีฐานถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่ ความยาวคลื่น และสภาพแวดล้อมในการสื่อสาร เป็นต้น



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบสื่อสารคลื่นวิทยุระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุขึ้นกับความยาวคลื่นวิทยุและความถี่ นอกจากนั้นยังมีสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นเช่น อาคาร ระดับพื้นดิน สภาพอากาศ เงื่อนไขเหล่านี้จะกระทบกับเส้นทางในการแพร่กระจายสัญญาณและเวลาที่ใช้ในการแพร่กระจายสัญญาณจากเครื่องส่งไปเครื่องรับ พารามิเตอร์ของระบบ เช่น ความสูงของสายอากาศ และทิศทางของสายอากาศมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการแพร่กระจายคลื่นและการหน่วงเวลาที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปการแพร่กระจายคลื่นมีปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาดังนี้ การแพร่กระจายในหลายเส้นทาง การจางหาย (Fading) และแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ ถ้าพิจารณาการแพร่กระจายในหลายเส้นทางมีข้อดีในการสื่อสารเช่นกัน คือทำให้สัญญาณที่ด้านรับสามารถรับสัญญาณได้ถึงแม้ว่าจะจะเป็นสัญญาณแนวระดับเส้นสายตา (Line of Sight : LOS) ปัจจัยที่กระทบกับการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นวิทยุมีหลายรูปแบบ เช่น การสะท้อน (Reflect) การหักเห (Refract) การกระจัดกระจาย (Scattering) แสดงดังรูปที่ 2.2



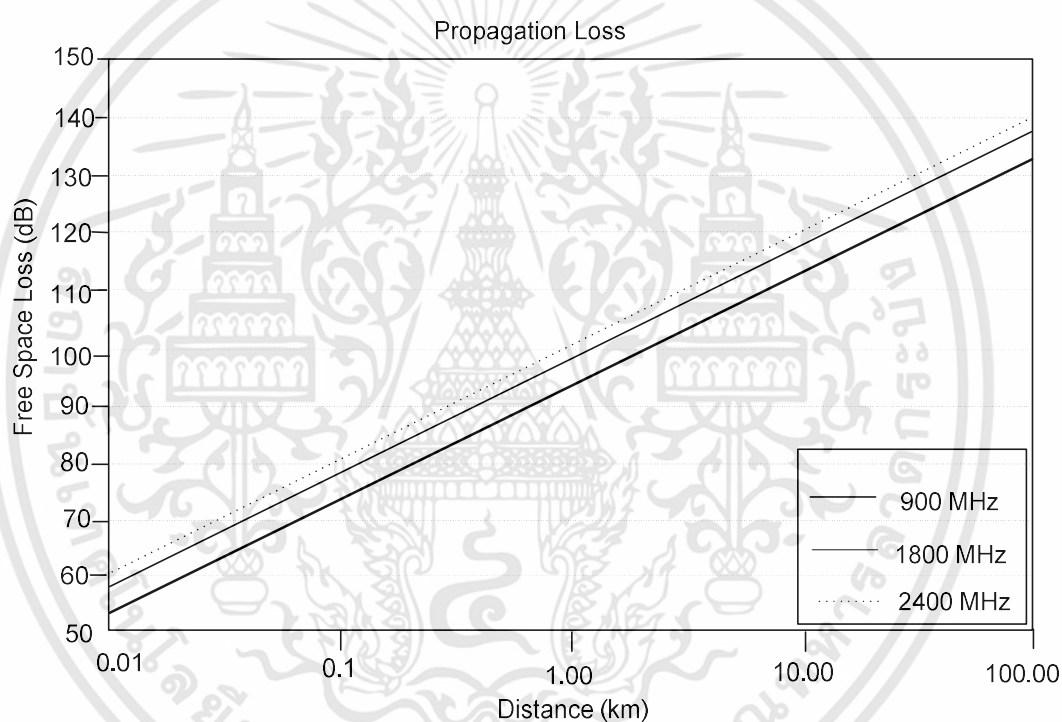
รูปที่ 2.2 กลไกการแพร่กระจายคลื่น

ในโครงข่ายวิทยุสภาพแวดล้อมทั่วไปส่งผลกระทบต่อกลไกการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณในหลายเส้นทาง และมีความไม่แน่นอนของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับสัญญาณ เช่น ขนาดของสัญญาณ เฟสและมุม อีกทั้งทำให้เกิดการจางหายหลายเส้นทาง (Multipath Fading) ส่วนการสะท้อนเกิดจากการชนกันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะมีมิติที่ใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุ การสะท้อนนี้จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) ซึ่งบางที่เรียกว่าเงา (Shadowing) นอกจากนี้การชนกันของคลื่นวิทยุกับสิ่งกีดขวางทำให้สัญญาณเข้าไปไม่ได้ และเกิดการกระจัดกระจาย (Scattering) จากการชนกันของคลื่นวิทยุกับสิ่งกีดขวาง โดยมีมิติเกือบจะเท่ากันหรือน้อยกว่าคลื่นวิทยุ ในการแพร่กระจายสัญญาณอาจเกิดการสูญเสียได้จากปัจจัยหลายอย่างดังนี้

2.2 การสูญเสียของสัญญาณ

2.2.1 การสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free Space Loss)

การสูญเสียในพื้นที่ว่างของการส่งสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ [8] แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 เส้นกราฟแทนการสูญเสียของสัญญาณจะมีความชันคงที่ 20 dB per decade ซึ่งในความเป็นจริงค่าความชันจะสูงกว่านี้ จากกราฟแสดงให้เห็นค่าการสูญเสียในพื้นที่ว่างในแต่ละระยะทางที่ความถี่ใช้งานต่างกันคือ 900 MHz 1800 MHz และ 2400 MHz เมื่อระยะทางไกลขึ้นการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้น และการใช้งานที่ความถี่สูงขึ้นการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

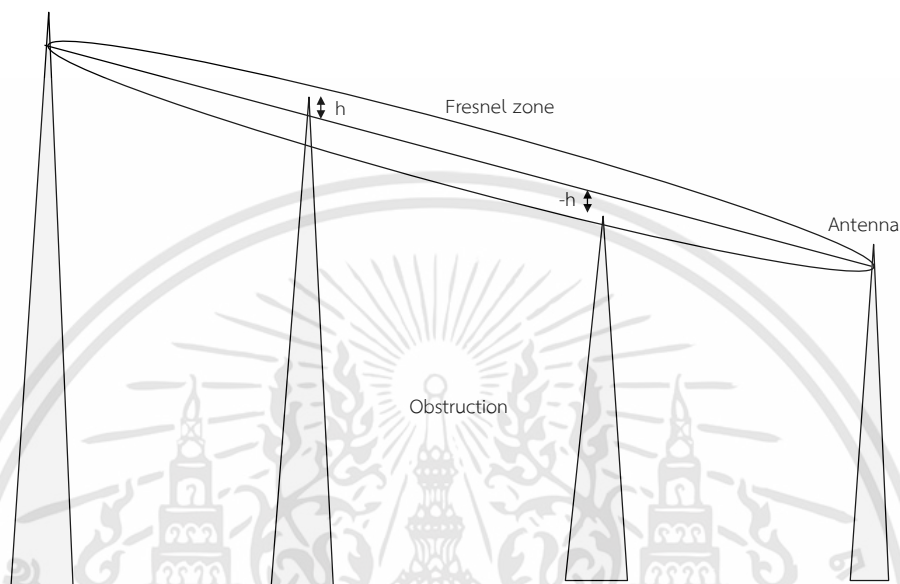


รูปที่ 2.3 การสูญเสียในพื้นที่ว่าง

2.2.2 การสูญเสียจากการเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction loss)

คลื่นสัญญาณวิทยุที่ส่งไปรอบสิ่งกีดขวางจะมีการหักเหเมื่อคลื่นกระทบกับอาคาร สิ่งก่อสร้าง โดยมีสัญญาณที่สูญเสียบริเวณด้านหลังสิ่งกีดขวางเหล่านั้น การสูญเสียจากการเลี้ยวเบนของคลื่นขึ้นกับ เฟรย์-แนลโซน (Fresnel Zone) โดยจะเป็นรูปร่างรีระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับจากศูนย์กลางการแพร่กระจายสัญญาณขึ้นกับความยาวคลื่นและระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ รูปที่ 2.4 แสดง เฟรย์-แนล โซน ซึ่งจะสัมพันธ์กับความสูงของสิ่งก่อสร้างและ เส้นระดับสายตา จากรูปเห็นว่า h แทน

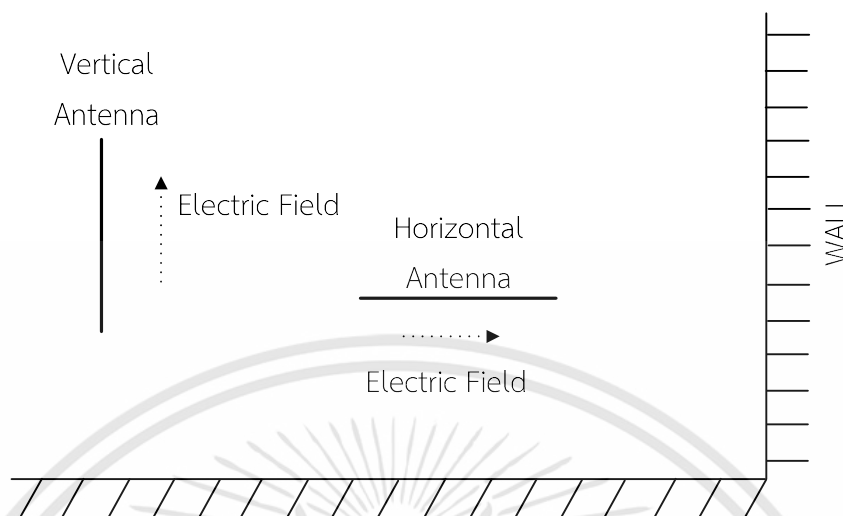
ความสูงของสิ่งกีดขวางที่อยู่เหนือเส้นระดับสายตาเป็นศูนย์กลางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ สิ่งกีดขวางที่ต่ำกว่าเส้นระดับสายตาจะมีความสูงเป็นลบ



รูปที่ 2.4 เฟรย์-แนล โซน (Fresnel Zone)

2.2.3 การสะท้อนและการหักเห (Reflection and Refraction)

เมื่อคลื่นสัญญาณวิทยุส่งไปกระทบกับสิ่งกีดขวางทำให้พลังงานส่วนหนึ่งแพร่กระจายคลื่นผ่านสิ่งกีดขวางเหล่านั้น ส่วนหนึ่งของคลื่นจะมีการหักเหและส่วนหนึ่งของคลื่นจะสะท้อน จำนวนพลังงานที่หักเหและสะท้อนในแต่ละอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุและมุม ซึ่งกำหนดมุมตั้งฉากกับพื้นผิวของวัสดุ การสะท้อนและการหักเหจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน เมื่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขนานหรือตั้งฉากกับการกระจายในแนวระนาบ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวตั้งจะตั้งฉากกับพื้นดิน โพลาริเซชันในแนวตั้ง (Vertical polarization) เมื่อสายอากาศในแนวอนจะขนานกับพื้นดิน โพลาริเซชันในแนวอน (Horizontal polarization) ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับโพลาไรเซชันของสายอากาศ

2.3 ช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในโดเมนของความถี่

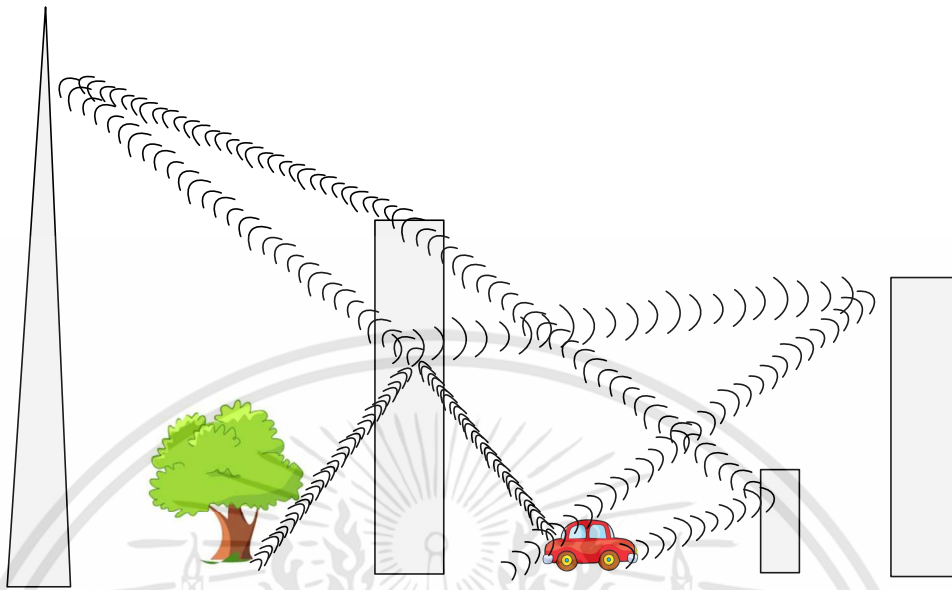
2.3.1 การจางหายหลายเส้นทาง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สัญญาณด้านรับคุณภาพลดลงเนื่องจากสัญญาณแพร่กระจายหลายเส้นทาง ซึ่งอาจจะออกนอกเฟส (Out of phase) ส่งเสริมหรือหักล้างกันเอง สัญญาณด้านรับมาจากผลรวมของสัญญาณในหลายเส้นทางซึ่งสัญญาณมีการหักเหหรือสะท้อนหลายครั้ง รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณหลายเส้นทางที่มาถึงจุดเดียวกัน สัญญาณหลายเส้นทางนี้อาจมาจากการหักเหในหลายเส้นทาง จากการสะท้อนหรือการเลี้ยวเบน ในการออกแบบจะต้องประเมินสัญญาณในหลายเส้นทางที่จะเกิดขึ้นได้ ควรเข้าใจว่าทำอย่างไรจึงจะทำให้การลดทอนและการสะท้อนมีความเหมาะสมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานคลื่นวิทยุ

2.3.2 การจางหายจากเงา (Shadow Fading)

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สัญญาณด้านรับคุณภาพลดลงเนื่องจากสัญญาณส่งมาในหลายเส้นทางซึ่งอาจจะออกนอกเฟส (Out of phase) ส่งเสริมหรือหักล้างกันเอง สัญญาณด้านรับจะมาจากผลรวมของสัญญาณในหลายเส้นทางซึ่งสัญญาณอาจจะหักเหหรือสะท้อน

การจางหายจากเงาเรียกได้ว่าเป็นการจางหายแบบช้า (Slow fading) เนื่องจากช่วงเวลาของการจางหายอาจใช้เวลาหลายวินาทีหรือหลายนาที ถ้ามีอาคาร สิ่งก่อสร้างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับซึ่งอาจทำให้เกิดการจางหายเป็นนาที



รูปที่ 2.6 การแพร่กระจายสัญญาณหลายเส้นทาง

การสูญเสียที่กล่าวมามีส่วนสำคัญที่ทำให้สัญญาณถูกลดทอนลง ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียของสัญญาณซึ่งไม่ได้กล่าวในที่นี้ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีของฟิชเชิลอจิก

บทที่ 3

ฟัซซีลอจิก

ศาสตร์ด้านการคำนวณเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ อุตสาหกรรม เป็นต้น อีกทั้งคอมพิวเตอร์มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งม่นุขยได้มากขึ้น ระบบฟัซซีเป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยใช้ฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L.A. Zadeh ในปี ค.ศ.1965 ซึ่งเป็นผลงานระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่ง หลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ชัดเจน เช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

ฟัซซีลอจิกมีข้อดีเรื่องเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความให้อยู่ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นตีกีริของความถูกต้องหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ สำหรับข้อเสียของระบบฟัซซีคือ ไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างซึ่งกฎและตัวแปรต่างๆ ของระบบเอง โครงสร้างของระบบจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญในโดเมนที่กำลังพิจารณาพร้อมกับนักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่นถ้าหากต้องการสร้างระบบเพื่อการวิเคราะห์โรคมะเร็ง แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโรคมะเร็งจะต้องเป็นผู้กำหนดกฎและตัวแปรต่างๆ ของระบบ นอกจากนั้นแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต้องตรวจสอบประเมินความถูกต้องของระบบซึ่งบ่อยครั้งในการสร้างระบบฟัซซีอาจไม่มีผู้เชี่ยวชาญในสาขาดังกล่าว การสร้างระบบจึงอาจไม่สัมฤทธิ์ผล การที่ระบบฟัซซีไม่มีกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองจึงถือเป็นข้อด้อย แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนักวิจัยได้ใส่กระบวนการเรียนรู้ไปในระบบฟัซซีโดยอาศัยทฤษฎีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

3.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely true) กับเท็จ (Completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalence) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่าและแตกต่างกับไบวาลานซ์ (Bivalence) ที่มีสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มึนน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มึนน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มึนน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มึนน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน การทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มึนน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่

อ้วน แสดงให้เห็นว่าความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่วไปแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายตัวของปัญหา

จากรูปที่ 3.2 เห็นได้ว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับ การตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเองเป็นหลัก



รูปที่ 3.2 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

3.2 เซตแบบฉบับ

ในเซตแบบฉบับ (Classical set) หรือเซตทวินัย (Crisp set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่งจะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของคู่แต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ

3.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

ฟัซซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่าง เช่น เซตของคุณแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่เฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่จะมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อยแตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

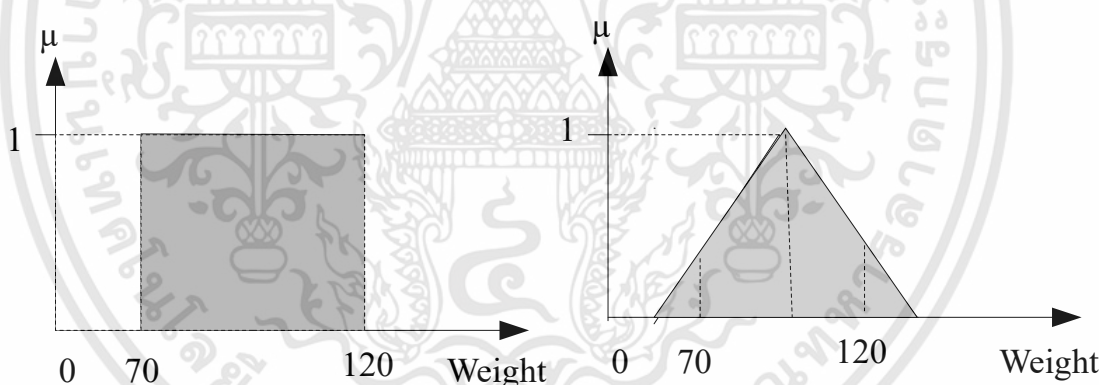
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่แต่งงาน ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

$$A = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

ตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอนดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การกำหนดค่าของเซตแบบทวินัยและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (3.2)$$

เมื่อ μ_A สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A คือ “ x เป็นสมาชิกของ X ” ฟัซซีเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่อันดับ (Tuples) ได้

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (3.3)$$

เมื่อ A หมายถึงฟัซซีเซต A และ x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set membership) μ_A (หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ โดย X หมายถึง เอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

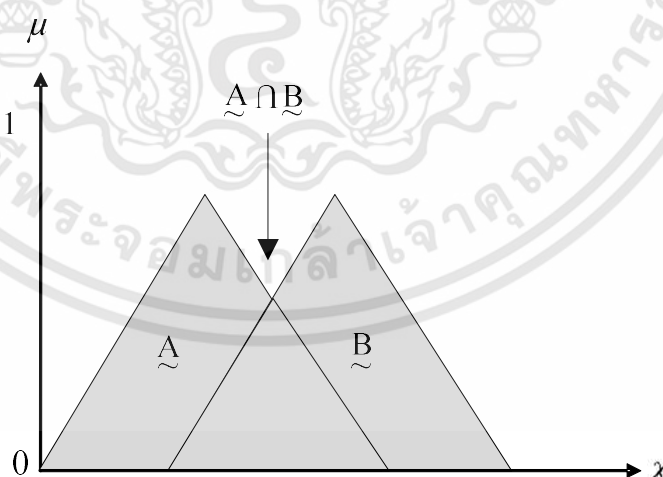
ความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วง ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (Crisp set)

3.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (Operation) คือ ยูเนียน อินเตอร์เซกชัน (Union Intersection) และ คอมพลีเมนต์ (Complement)

3.4.1 ยูเนียน (Union)

ยูเนียนของฟัซซีเซต จะเป็นตัวดำเนินการ OR ในสมการ 3.4 และ รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

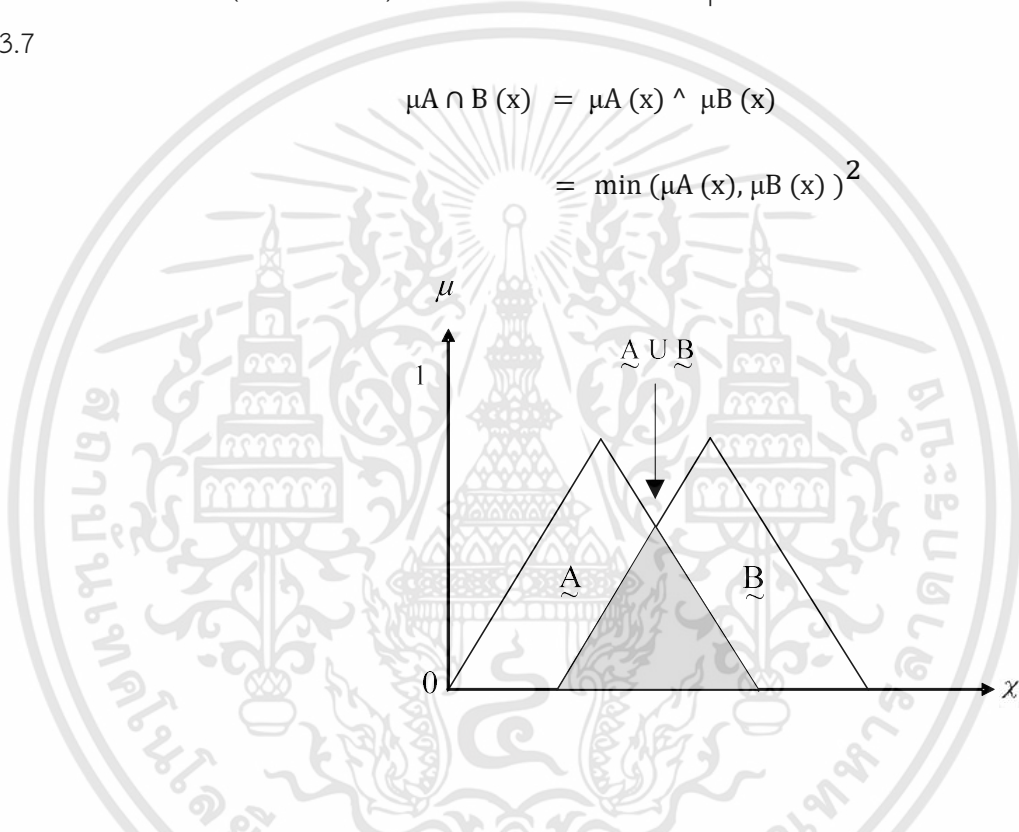
$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.4)$$

3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection)

อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND operation ในสมการที่ 3.5 และรูปที่

3.7

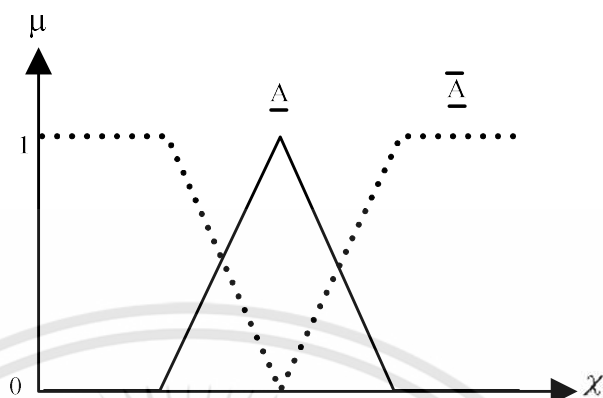
$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (3.5)$$



รูปที่ 3.7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

3.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement)

คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการที่ 3.6 และ รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.6)$$

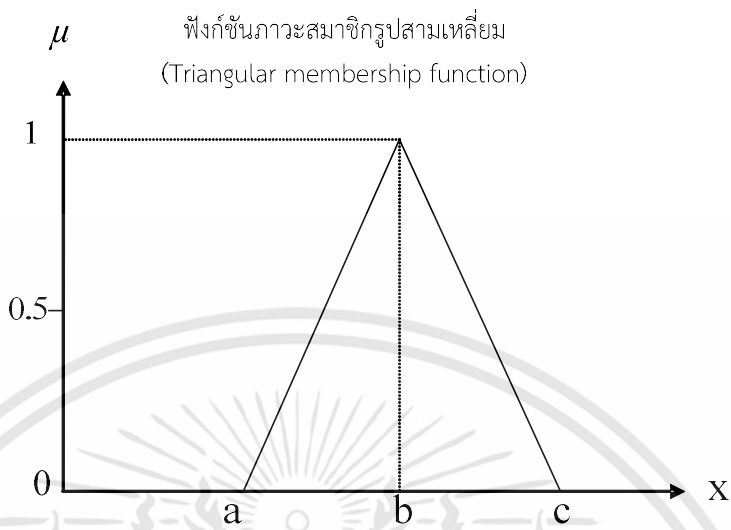
3.5 การแสดงค่าสถานะสมาชิก

การแสดงค่าสถานะสมาชิกสามารถกระทำได้หลายวิธีซึ่งจะกล่าวถึงเพียง 4 วิธี คือ

3.5.1 รูปสามเหลี่ยม

การกำหนดฟังก์ชันสมาชิกโดยใช้รูปสามเหลี่ยม นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมที่ใช้ฟัซซีเซต เทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าเหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวที่ทำให้ค่าสถานะสมาชิกลดลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างจากค่านี้มากขึ้น ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.9 ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a, b, c เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ สมการฟังก์ชันสถานะสมาชิกของรูปสามเหลี่ยมสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(X_i) \begin{cases} \left[\frac{x_i - a}{b - a} \right] & : \text{ถ้า } a \leq X_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ \left[\frac{c - x_i}{c - b} \right] & : \text{ถ้า } b \leq X_i \leq c \text{ และ } b \neq c \\ 0 & : \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.7)$$



ฟังก์ชันภาวะสมาชิกรูปสามเหลี่ยม
(Triangular membership function)

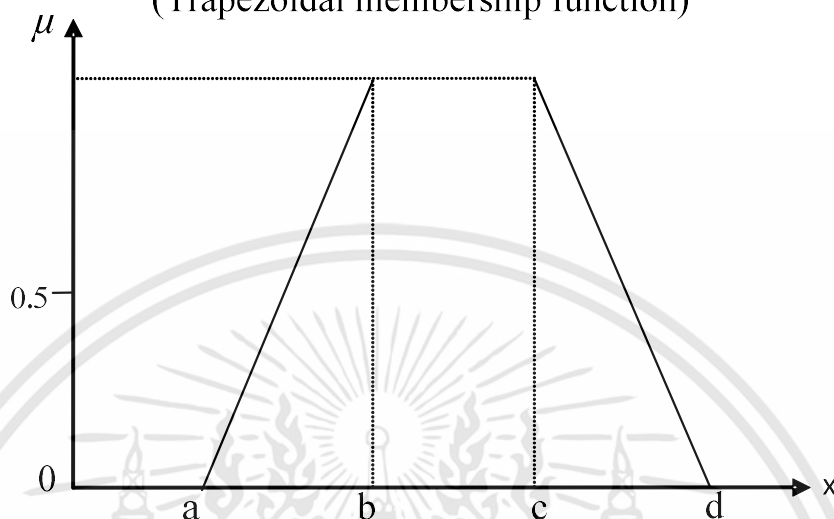
รูปที่ 3.9 กราฟรูปสามเหลี่ยม

3.5.2 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

รูปสี่เหลี่ยมคางหมุนิยมใช้งานเช่นกันแต่จะพบน้อยกว่ารูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่จะกำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูต้องมีช่วงของค่าที่เหมาะสมมากที่สุดกลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าภาวะสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง นอกจากนั้นจะมิตค่าภาวะสมาชิกน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างจากข้อมูลกลุ่มนี้ จากรูปที่ 3.10 ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c \leq d$ เมื่อ a, b, c และ d เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ สมการของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(X_i) \begin{cases} \left[\frac{x_i - a}{b - a} \right] & : \text{ถ้า } a \leq X_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ 1 & : \text{ถ้า } b \leq X_i \leq c \\ \left[\frac{d - x_i}{d - c} \right] & : \text{ถ้า } c \leq X_i \leq d \text{ และ } c \neq d \\ 0 & : \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.8)$$

ฟังก์ชันภาวะสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู
(Trapezoidal membership function)



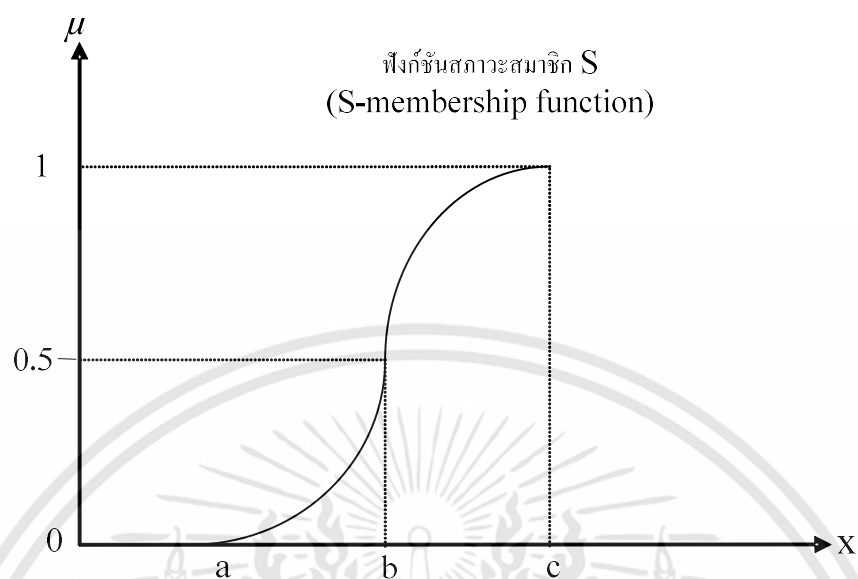
รูปที่ 3.10 กราฟรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

3.5.3 เส้นโค้งรูปตัว S

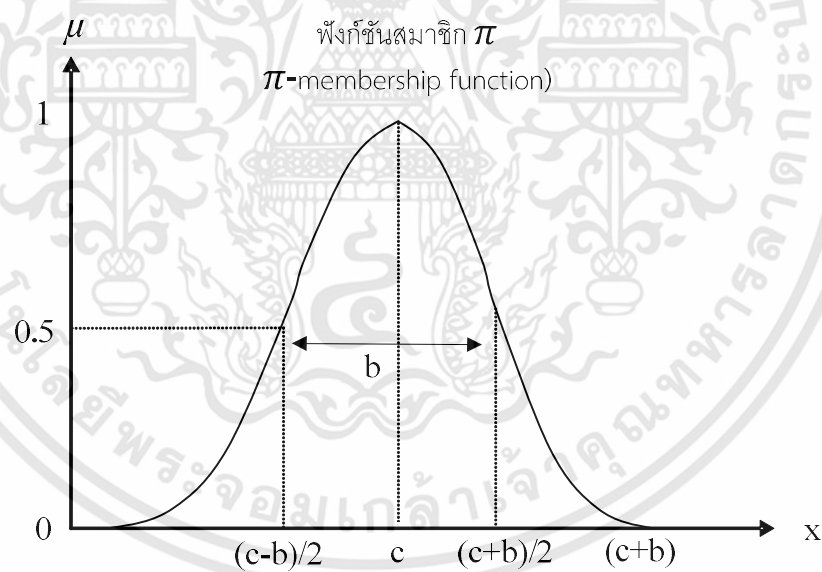
ฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S-curve Sigmoid หรือ Logistic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมน (Domain) ไปยังพิสัย (Range) แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้ก็คือ อายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ตัวแปรส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางการประมวลผลภาพเป็นต้น ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นรูปตัว S หรือ S^{-1} จากรูปที่ 3.11 ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a , b และ c เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ สมการของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S สามารถกำหนดได้ดังสมการ และ $(S^{-1} = 1 - \mu_A(X_i))$ โดยที่ $\mu_A(X_i)$ หาได้จากสมการดังนี้

$$\mu_A(X_i) \begin{cases} 0 & : \text{ถ้า } X_i \leq a \\ 2 \left[\frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & : \text{ถ้า } a \leq X_i \leq b \\ 1 - 2 \left[\frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & : \text{ถ้า } b \leq X_i \leq c \\ 1 & : \text{ถ้า } X_i \geq c \end{cases} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันกราฟรูปตัว S



รูปที่ 3.12 ฟังก์ชันกราฟรูปตัว π

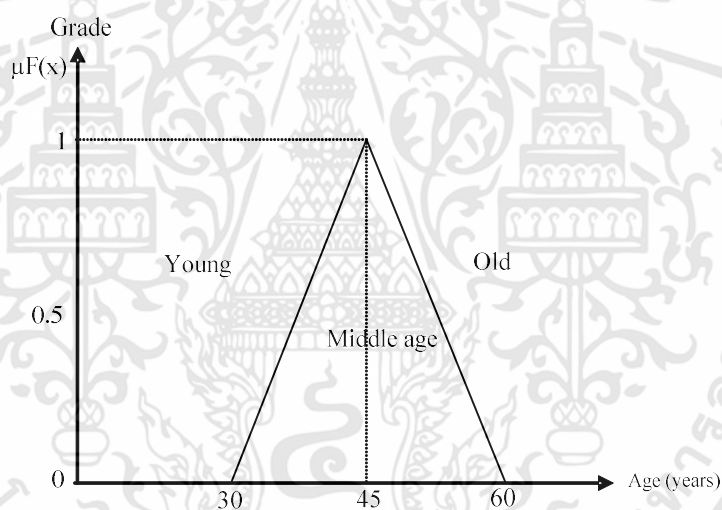
$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} S(X_i; c - b, \frac{c-b}{2}, c) & \text{ในกรณีที่ } X_i \leq c \\ 1 - S(X_i; c, \frac{c+b}{2}, c + b) & \text{ในกรณีที่ } X_i > c \end{cases} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันกราฟรูปตัว π และตัวอย่างการแสดงความภาวะสมาชิก สมมติให้ ฟัชซีเซต F ของ Y ซึ่งแทนเซตวัยกลางคนสามารถนิยามได้ดังสมการ 3.11

$$F = \{ (x, \mu_F(x)) / x \in X \} \quad (3.11)$$

เมื่อ X เป็นตัวแทนอายุของคนในวัยต่างๆ ฉะนั้นจะกำหนดเทอมเซตของวัยกลางคนอย่างไร โดยทั่วไปเราจะกำหนดให้ผู้ที่มียุ่ 45 ปีอยู่ในวัยกลางคนแต่ผู้ที่มียุ่ 48 ปี จะจัดไว้ในวัยกลางคนหรือไม่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้ากำหนดให้ค่าภาวะสมาชิกสูงสุดเป็น 1 ที่อายุ 45 ปี และค่าเป็น 0 เมื่ออายุน้อยกว่า 30 และมากกว่า 60 ปี จะสามารถแทนได้ด้วยฟังก์ชันสามเหลี่ยมดังรูปที่ 3.13 และสมการที่ 3.12



รูปที่ 3.13 ฟัชซีเซตรูปสามเหลี่ยมของอายุ

$$\mu_A(x) \begin{cases} 0 & : \text{ถ้า } 0 \leq X \leq 30 \\ (x - 30)/15 & : \text{ถ้า } 30 \leq X \leq 45 \\ (60 - x)/15 & : \text{ถ้า } 45 \leq X \leq 60 \\ 0 & : \text{ถ้า } 60 \leq X \leq 120 \end{cases} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ระบบอนุมานแบบฟัซซี

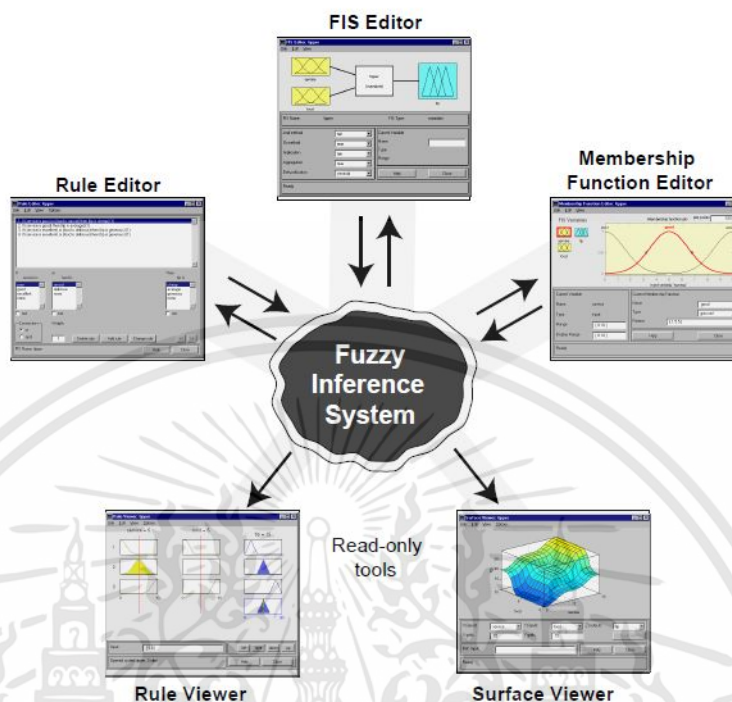
ในการประมาณค่าฟังก์ชันโดยใช้กฎฟัซซีที่มี 3 ชนิด ได้แก่ รูปแบบแรก Mamdani รูปแบบที่สอง Takagi-Sugeno-Kang : TSK และ รูปแบบที่สาม Standard Additive Model : SAM มีอนุมานแบบฟัซซี (Fuzzy Inference Systems : FIS) เป็นกระบวนการจับคู่ข้อมูลขาเข้ากับข้อมูลขาออกของข้อมูลที่กำหนด อีกทั้งเป็นกระบวนการกำหนดข้อมูลจากข้อมูลขาเข้าเพื่อได้ข้อมูลขาออก โดยใช้ตรรกะคลุมเครือสามารถใช้ในการตัดสินใจเป็นพื้นฐานการจับคู่หรือใช้รูปแบบอื่นได้ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function) ตัวดำเนินการของตรรกะคลุมเครือ (Operators) และกฎ ของ If-then มีระบบอนุมานแบบฟัซซีที่สามารถนำมาใช้ในกล่องเครื่องมือ (Tool box) ของฟัซซีลอจิก คือ Mamdani และ Sugeno ผลที่ได้คือระบบการอนุมานทั้งสองรูปแบบแตกต่างกันไปตามผลลัพธ์ที่ได้รับ

ระบบอนุมานแบบฟัซซีดังแสดงในรูปที่ 3.14 ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในสาขาต่างๆ เช่น การควบคุมอัตโนมัติในการจัดแบ่งประเภทข้อมูล ระบบผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์การตัดสินใจ ในการอนุมานแบบฟัซซีระบบจะเชื่อมโยงกับจำนวนของชื่อระบบผู้เชี่ยวชาญฟัซซี การสร้างแบบจำลองฟัซซี ฟัซซีที่สัมพันธ์กับหน่วยความจำ และตัวควบคุมลอจิกคลุมเครือ ตัวแก้ไข FIS ซึ่งจัดการกับปัญหาระดับสูงของระบบ

จำนวนของข้อมูลขาเข้าอาจถูกจำกัดด้วยหน่วยความจำที่มีอยู่ในเครื่อง หากจำนวนอินพุตมีขนาดใหญ่เกินไป หรือจำนวนสมาชิกภาพมีขนาดใหญ่เกินไป อาจเป็นเรื่องยากที่จะวิเคราะห์ FIS โดยใช้เครื่องมือ GUI โดยตัวแก้ไขฟังก์ชันการเป็นสมาชิกใช้เพื่อกำหนดรูปร่างของสมาชิกทั้งหมด ฟังก์ชันสมาชิกที่เกี่ยวข้องกับแต่ละตัวแปร ส่วนตัวแก้ไขกฎใช้สำหรับแก้ไขรายชื่อกฎที่กำหนดการทำงานของระบบ

3.6.1 การอนุมานแบบฟัซซีสุจิน (Sugeno)

กระบวนการอนุมานฟัซซี [9] ที่เรารู้จักกันในปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันในชื่อวิธีการอนุมานแบบคลุมเครือ ในส่วนนี้จะกล่าวถึง Sugeno วิธีการนี้ได้แนะนำในปี 1985 [Sug85] ซึ่งเป็นวิธีการที่คล้ายกับ Mamdani หลายประการ โดยสองส่วนแรกของกระบวนการอนุมานฟัซซี คือ กำหนดข้อมูลขาเข้าของระบบฟัซซี (Fuzzifying) และนำไปประยุกต์ใช้กับตัวดำเนินการ ผลลัพธ์ของ Sugeno มีฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบเชิงเส้นหรือแบบคงที่ ซึ่งกฎทั่วไปในรูปแบบฟัซซี Sugeno มีรูปแบบคือ ถ้า Input 1 = x และ Input 2 = y แล้ว Output คือ $z = ax + by + c$ สำหรับรูปแบบ Sugeno แบบ Zero-order ระดับเอาท์พุต z เป็นค่าคงที่ ($a = b = 0$)



รูปที่ 3.14 ระบบอนุมานของฟัซซี (Fuzzy Inference Systems)

ค่าเอาต์พุตของระดับ z_i ในแต่ละกฎจะถูกถ่วงน้ำหนักโดยความแรงของกฎ ตัวอย่างเช่น สำหรับกฎ AND ด้วย Input 1 = x และ Input 2 = y ความแรงคือ

$$w_i = \text{AndMethod}(F1(x), F2(y)) \quad (3.13)$$

โดยที่ $F1$ และ $F2$ เป็นฟังก์ชันสำหรับสมาชิกของ Inputs 1 และ 2 ผลลัพธ์สุดท้าย ของระบบคือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลลัพธ์ของกฎทั้งหมด ข้อดีของวิธี Sugeno คือ ประสิทธิภาพเชิงคำนวณทำงานได้ดีกับเทคนิคเชิงเส้น เช่นการควบคุม PID ทำงานได้ดีกับการเพิ่มประสิทธิภาพและเทคนิคการปรับตัว มีการประกันความต่อเนื่องของพื้นผิวเอาต์พุต และเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

3.7 การแบ่งกลุ่มรูปภาพ (K-mean Classification)

เทคนิคย่อยของการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (Cluster Analysis) [10] เป็นการจัดตัวแปรย่อยออกเป็นกลุ่มย่อยตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปกรณีที่อยู่กลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนหรือคล้ายกัน กรณีที่อยู่ต่างกลุ่มจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะต่างกัน โดยแบ่งเป็น 2 เทคนิค คือ Hierarchical Cluster Analysis และ K-mean Cluster Analysis โดยจะกล่าวถึงเทคนิค K-mean Clustering ดังนี้

3.7.1 เทคนิค K-mean Clustering

เป็นเทคนิคการจำแนกกรณีศึกษาออกเป็นกลุ่มย่อย จะใช้เมื่อมีกรณีศึกษาจำนวนมาก โดยจะต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม หรือจำนวน Cluster ที่ต้องการ เช่นกำหนดให้มี K กลุ่ม เทคนิค K-mean จะมีการทำงานหลายรอบ ในแต่ละรอบจะมีการรวมกรณีให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่กรณีนั้นมีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุดแล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

3.7.2 ชนิดของตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-mean Clustering

ตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-mean Clustering จะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือ เป็นสเกลอันดับสาม หรือสเกลอัตราส่วนโดยไม่สามารถใช้กับข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่หรือ Binary เหมือนเทคนิค Hierarchical

3.7.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-mean

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยเทคนิควิธี K-mean Clustering สามารถสรุปขั้นตอนของการวิเคราะห์ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 จัดกลุ่มข้อมูลเป็น K กลุ่ม ซึ่งมีการแบ่งได้หลายวิธี เช่น แบ่งอย่างสุ่ม หรือแบ่งด้วยผู้ศึกษาเอง
- ขั้นที่ 2 คำนวณหาจุดกึ่งกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่ม เช่น จุดกลางกลุ่มของกลุ่มที่ C คือ \bar{x}_c
- ขั้นที่ 3 มีวิธีการพิจารณา 2 แบบ โดยใช้วิธีคำนวณ แบบที่ 1 คำนวณหาระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มของทุกกลุ่มและพิจารณาย้ายหน่วยไปยังกลุ่มที่มีระยะห่างต่ำสุด แบบที่ 2 คำนวณระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มที่หน่วยนั้นอยู่ โดยให้ ESS (Error Sum Square) เท่ากับระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม

$$ESS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{c(i)}) (x_i - \bar{x}_{c(i)}) \quad (3.14)$$

โดยที่ $C_{(i)}$ หมายถึง กลุ่มของหน่วยที่ i

ESS มีค่าเท่ากับผลบวกของระยะห่างจากแต่ละหน่วยในกลุ่มไปยังจุดกลางของกลุ่ม รวมทุกกลุ่ม กลุ่มใดที่มีค่า ESS ต่ำ แสดงว่าหน่วยที่อยู่ในกลุ่มนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

- ขั้นที่ 4 การพิจารณาย้ายกลุ่ม จะใช้เกณฑ์การย้ายตามค่าที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3

ถ้าขั้นที่ 4 ไม่มีการย้ายกลุ่มอีก แสดงว่ากลุ่มที่แบ่งได้นั้นเหมาะสมแล้ว แต่ถ้าในขั้นที่ 4 มีการย้ายกลุ่มแล้ว กลุ่มที่มีหน่วยย้ายเข้าหรือย้ายออกจะทำการคำนวณหาจุดกลางของกลุ่มใหม่ นั่นคือกลับไปทำขั้นที่ 2

3.7.4 ข้อแตกต่างระหว่างเทคนิค Hierarchical กับวิธี K-mean

เทคนิค K-mean ใช้เมื่อมีจำนวนกรณีหรือจำนวนข้อมูลมาก โดยทั่วไปนิยมใช้เมื่อ $n > 200$ เพราะเมื่อ n มีค่ามาก การใช้เทคนิค K-mean จะง่ายกว่า และใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่าการใช้เทคนิค Hierarchical หรือกล่าวได้ว่าเมื่อมีจำนวนกรณีไม่มากควรใช้เทคนิค Hierarchical

เทคนิค K-mean นั้น ผู้วิเคราะห์ควรกำหนดจำนวนกลุ่มที่แน่นอนไว้ล่วงหน้า กรณีที่ผู้วิเคราะห์ไม่แน่ใจว่าควรมีกี่กลุ่มจึงจะเหมาะสมในการใช้งาน อาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี K-mean หลายครั้ง แต่แต่ละครั้งกำหนดจำนวนกลุ่มแตกต่างกันไป เช่น 3 4 หรือ 5 กลุ่ม แล้วพิจารณาหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม แต่เมื่อมีข้อมูลจำนวนมากวิธีนี้จะทำให้เสียเวลามาก หรืออีกวิธีคือใช้ข้อมูลบางส่วนทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Hierarchical เพื่อหาจำนวนกลุ่มที่ควรจะเป็นจากนั้นจึงใช้เทคนิค K-mean กับข้อมูลทั้งหมดที่มี

เทคนิค Hierarchical นั้น ผู้วิเคราะห์จะ Standardized ข้อมูลหรือไม่ก็ได้ แต่วิธี K-mean จะต้องทำการ Standardized ข้อมูลก่อนเสมอ

วิธี K-mean จะหาระยะห่างโดยวิธี Euclidean distance โดยอัตโนมัติ ขณะที่ Hierarchical ผู้วิเคราะห์มีสิทธิ์ที่จะเลือกวิธีการคำนวณระยะห่างได้

บทที่ 4

แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณ

การสูญเสียของสัญญาณเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น สภาวะแวดล้อม ระยะทาง สิ่งกีดขวางเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณ ซึ่งการคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณนั้น มีแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณหลายรูปแบบ แบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน แบบจำลองที่นิยมใช้มีดังนี้

4.1 แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free Space Loss)

การสูญเสียในพื้นที่ว่าง [11-13] นั้นสัมพันธ์กับความเข้มของคลื่นวิทยุจากต้นทางถึงจุดที่ทำการวัดสัญญาณ ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุความเข้มของคลื่นวิทยุจะลดลงตามระยะทาง โดยสมการของการสูญเสียในพื้นที่ว่างแสดงดังสมการที่ 4.1

$$L = 32.45 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (4.1)$$

เมื่อ L คือ ค่าการสูญเสียในพื้นที่ว่าง f คือความถี่ (Frequency) มีหน่วย เมกะเฮิรตซ์ (MHz) และ d คือระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

4.2 แบบจำลอง Hata

แบบจำลอง Hata คือแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองของ Okumura ทำการทดสอบในช่วงความถี่ 100-1500 เมกะเฮิรตซ์ ระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องรับ 1-20 กิโลเมตร ความสูงของสายอากาศด้านสถานีฐาน 30-200 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับ 1-10 เมตร สมการที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความสูญเสียของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น แบ่งเป็น สมการที่ใช้คำนวณในพื้นที่เมือง (Urban area) พื้นที่ชานเมือง (Suburban area) และพื้นที่โล่ง (Open area) สำหรับพื้นที่เมือง [14-15] การคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณแสดงดังสมการที่ 4.2

$$L_U = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_B) - C_H + [44.9 - 6.55\log(h_B)]\log(d) \quad (4.2)$$

เมื่อค่า C_H ของเมืองขนาดกลางและขนาดเล็ก แสดงดังสมการที่ 4.3

$$C_H = 0.8 + [1.1 \log (f) - 0.7]h_M - 1.56 \log (f) \quad (4.3)$$

การคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณสำหรับเมืองขนาดใหญ่แสดงดังสมการที่ 4.4 และ 4.5

$$C_H = 8.29 [\log (1.54 h_M)]^2 - 1.1, \text{ if } 150 \leq f \leq 200 \quad (4.4)$$

$$C_H = 3.2[\log (11.75h_M)]^2 - 4.97, \text{ if } 200 < f \leq 1500 \quad (4.5)$$

เมื่อ L_U คือ การสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เมือง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

h_B คือ ความสูงของสายอากาศด้านสถานีฐาน มีหน่วยเป็น เมตร

h_m คือ ความสูงของสายอากาศด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น เมตร

f คือ ความถี่ของด้านส่ง มีหน่วยเป็น เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)

C_H คือ ความสูงของสายอากาศ correction factor

d คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและเครื่องรับสัญญาณโทรศัพท์ มีหน่วยเป็น กิโลเมตร

แบบจำลองของ Hata ในบริเวณพื้นที่โล่งใช้สมการในการคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณดังสมการที่ 4.6

$$L_O = L_U - 4.78 \log (f)^2 + 18.33 \log (f) - 40.94 \quad (4.6)$$

เมื่อ L_O คือ การสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่โล่ง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

L_U คือ การสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เมือง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

f คือ ความถี่ทางด้านส่งมีหน่วยเป็นเมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)

แบบจำลองของ Hata สำหรับพื้นที่ชานเมืองใช้สมการในการคำนวณดังสมการที่ 4.7

$$L_{SU} = L_U - 2(\log \frac{f}{28})^2 5.4 \quad (4.7)$$

เมื่อ L_{SU} คือ การสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ชานเมือง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

L_U คือ ค่าเฉลี่ยการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เมือง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

f คือ ความถี่ทางด้านส่งมีหน่วยเป็นเมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)

4.3 แบบจำลอง Walfisch Ikegami (WI)

แบบจำลองที่ได้จากการทดลองนี้เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่าง J. Walfisch และ F. Ikegami แบบจำลองนี้พัฒนามาจากแบบจำลอง Hata ซึ่งเรียกว่าแบบจำลอง Walfisch-Ikegami ความถี่ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 800 - 2000 เมกะเฮิรตซ์ แบบจำลองนี้แรกเริ่มได้นำมาใช้สำหรับระบบ GSM 1900 ในยุโรป [16-18] สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการสูญเสียของสัญญาณดังสมการ

$$L_{50}(\text{dB}) = L_f + L_{rts} + L_{msd} \quad (4.8)$$

เมื่อ L_f คือ การสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ว่าง

L_{rts} คือ การสูญเสียเนื่องจากการหักเหของคลื่นและการกระจายของคลื่นระหว่างหลังคาถึงถนน

L_{msd} คือ การสูญเสียจาก Multi screen

โดยการสูญเสียในพื้นที่ว่างคำนวณจากสมการที่ 4.9

$$L_f = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f_c \quad (4.9)$$

การสูญเสียเนื่องจากการหักเหของคลื่นและการกระจายของคลื่นระหว่างหลังคาถึงถนนคำนวณจากสมการที่ 4.10 และ 4.11

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) + 20 \log\left(\frac{\Delta h_{\text{mobile}}}{m}\right) + L_{\text{ori}} \quad (4.10)$$

$$L_{\text{ori}} = \begin{cases} 10 + 0.345 \frac{\varphi}{\text{deg}} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35\right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 + 0.114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 55\right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (4.11)$$

เมื่อ w คือ ความกว้างของถนน L_{ori} คือ Orientation loss φ คือ มุมที่สัมพันธ์กับถนน ค่าการสูญเสีย (Multi Screen Loss) แสดงดังสมการที่ 4.12

$$L_{msd} = L_{\text{bsh}} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f_c) - 9 \log(b) \quad (4.12)$$

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ ย่านความถี่ในการทดสอบอยู่ในช่วง 800 ถึง 2000 เมกะเฮิรตซ์ ความสูงของสถานีฐานอยู่ในช่วง 4 ถึง 50 เมตร ความสูงของโทรศัพท์เคลื่อนที่คือ 1 ถึง 3 เมตร และ ระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องรับสัญญาณโทรศัพท์ แทนด้วยตัวแปร (d) มีค่าระหว่าง 0.02 ถึง 5 กิโลเมตร

4.4 แบบจำลอง ECC-33

แบบจำลองของ Okumura นั้นได้ทำการทดสอบในบริเวณชานเมืองของโตเกียว พื้นที่เมืองซึ่งแบ่งออกเป็น เมืองขนาดใหญ่ และขนาดกลาง ซึ่งจะได้รับค่า correction factors สำหรับพื้นที่ชานเมืองและพื้นที่โล่ง เมื่อสิ่งก่อสร้างที่มีความสูงมีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น โตเกียวมีความแตกต่างกันอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชานเมืองของยุโรป แบบจำลองสำหรับเมืองขนาดกลางของยุโรปจะใช้อ้างอิงสำหรับยุโรป [19-20] แบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณแสดงดังสมการที่ 4.13

$$P_L = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (4.13)$$

เมื่อ A_{fs} คือ การลดทอนในอากาศ

A_{bm} คือ ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียของสัญญาณ

G_b คือ การขยายสัญญาณที่ความสูงของสถานีฐานระดับต่างๆ

G_r คือ การขยายสัญญาณที่ความสูงด้านรับสัญญาณของลูกค้าที่ระดับต่างๆ

สมการของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ 4.14 4.15 และ 4.16

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (4.14)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log(d) + 7.894 \log(f) + 9.56 [\log(f)]^2 \quad (4.15)$$

$$G_b = \log\left(\frac{H_b}{200}\right) [13.958 + 5.8 (\log(d))^2] \quad (4.16)$$

สำหรับสภาวะแวดล้อมของเมืองขนาดกลางคำนวณจากสมการที่ 4.17

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log(f)] [\log(h_r) - 0.585] \quad (4.17)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบมีหน่วย กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)

d คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ หน่วยเป็นกิโลเมตร

h_b คือ ความสูงของสายอากาศด้านสถานีฐาน หน่วยเป็นเมตร

h_r คือ ความสูงของสายอากาศด้านผู้ใช้บริการ หน่วยเป็นเมตร

แบบจำลองของเมืองขนาดกลางเหมาะสำหรับเมืองในยุโรป สภาพแวดล้อมแบบจำลองของเมืองขนาดใหญ่ควรใช้สำหรับเมืองที่มีอาคารสูงเท่านั้น แบบจำลอง ECC-33 ไม่เหมาะสำหรับเส้นทางที่เป็นเส้นตรง

4.5 แบบจำลอง Stanford University Interim (SUI)

กลุ่มทำงานบอร์ดแบนด์ไวเลสแอกเซส IEEE 802.16 ได้พัฒนาแบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) ขึ้นมา [21-22] โดยแบ่งภูมิภาคออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ภูมิภาคชนิด A จะมีค่าการสูญเสียของสัญญาณสูงที่สุด ภูมิภาคชนิด B คือพื้นที่มีลักษณะเป็นภูเขาประกอบไปด้วยพีชผักหรือพื้นที่ราบซึ่งมีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น ภูมิภาคชนิดนี้อยู่ระหว่างกลางของภูมิภาคทั้งสองชนิด ภูมิภาคชนิด C เป็นพื้นที่ราบมีพีชผักปกคลุมไม่หนาแน่นมาก สมการพื้นฐานที่ใช้คำนวณค่าการสูญเสียของสัญญาณของแบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) ดังสมการที่ 4.18

$$PL(dB) = A + 10 \gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S \quad \text{for } d > d_0 \quad (4.18)$$

d คือระยะทางระหว่างสถานีฐานและสายอากาศด้านรับมีหน่วยเป็นเมตร

d_0 มีค่า 100 เมตร

X_f คือ Correction ของความถี่มากกว่า 2 กิกะเฮิร์ตซ์

X_h คือ Correction ของความสูงสายอากาศด้านรับ หน่วยเป็น เมตร

S คือ Correction ของเงามีหน่วยเป็นเดซิเบล มีค่าระหว่าง 8.2 ถึง 10.6 dB โดยพารามิเตอร์อื่นกำหนดดังสมการที่ 4.19 และ 4.20

$$A = 20 \log \frac{(4\pi d_0)}{\lambda} \quad (4.19)$$

$$\gamma = a - b_{hb} + \frac{C}{h_b} \quad (4.20)$$

เมื่อ h_b คือ ความสูงเหนือพื้นดินหน่วยเป็นเมตร มีค่าระหว่าง 10 เมตร และ 80 เมตร

γ คือค่าเอ็กโพเนนต์ของการสูญเสียในเส้นทาง

ค่า Correction factors สำหรับความถี่ใช้งานและความสูงของสายอากาศด้านลูกค้าแสดงดังสมการที่ 4.21 4.22 และ 4.23

$$X_f = 6.0 \log \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (4.21)$$

สำหรับภูมิประเทศรูปแบบ A และ B

$$X_h = (-10.8) \log \left(\frac{h_r}{2000} \right) \quad (4.22)$$

สำหรับภูมิประเทศรูปแบบ C

$$X_h = (-20) \log \left(\frac{h_r}{2000} \right) \quad (4.23)$$

โดยพื้นที่ A มีหน่วยเป็นเดซิเบลคือค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ระยะ d_0 ค่า correction factors ของความถี่ที่ใช้งานและความสูงของสายอากาศด้านลูกค้าแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน

พารามิเตอร์	Terrain A	Terrain B	Terrain C
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

4.6 แบบจำลอง Ericsson

แบบจำลองของ Ericsson [23-25] พัฒนามาจากแบบจำลองของ Hata โดยใช้สำหรับความถี่ที่มากกว่า 1900 เมกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียของสัญญาณคำนวณจากสมการที่ 4.24

$$PL = a_0 + a_1 \log(d) + a_2 \log(h_b) + a_3 \log(h_b) \log(d) - 3.2 \log(11.75)^2 + g(f) \quad (4.24)$$

เมื่อ

$$g(f) = 44.49 \log(f) - 4.78 ((\log(f))^2) \quad (4.25)$$

ค่าของ a_0 a_1 a_2 และ a_3 คือค่าคงที่แต่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ค่าของตัวแปรแต่ละตัว มีค่าดังนี้ $a_0 = 36.2$ $a_1 = 30.2$ $a_2 = 12.0$ และ $a_3 = 0.1$ โดย f แทนความถี่

จากที่กล่าวถึงแบบจำลองทั้ง 6 รูปแบบนั้น นำมาใช้เป็นข้อมูลขาออกของระบบในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณในบทต่อไปจะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง สถานที่ใช้ในการทดลองถูกเลือกพื้นที่มีสภาพแวดล้อมหลากหลาย ประกอบด้วยอาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ จากนั้นวัดสัญญาณเพื่อหาค่าการสูญเสียของสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับสัญญาณได้จริงจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อนำมาหาแบบจำลองที่เหมาะสมใช้ทำนายหาค่าการสูญเสียของสัญญาณ

5.1 สถานที่ทดสอบ

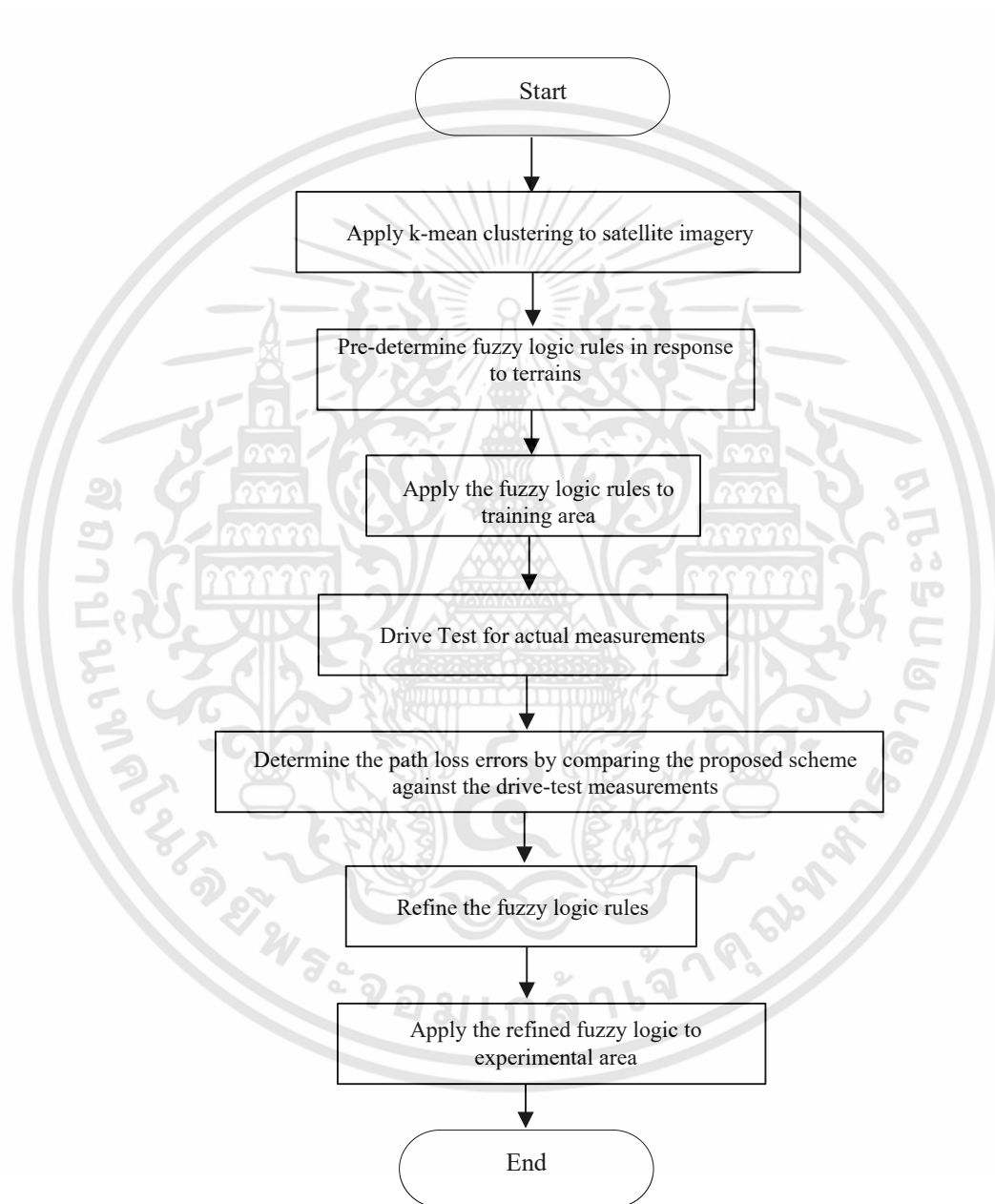
สถานที่ทดสอบเพื่อวัดสัญญาณบริเวณโดยรอบวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี โดยมีสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่เทคโนโลยี WCDMA ติดตั้งบริเวณวัดสวนแก้ว ตัวอย่างพื้นที่ทดสอบสัญญาณแสดงดังรูปที่ 5.1 บริเวณทดสอบประกอบด้วยสภาพแวดล้อมหลายรูปแบบ ทั้งต้นไม้ บ้านเรือน อาคารสูงและอาคารไม่สูง โดยวัดค่าสัญญาณจริงที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับได้จากสถานีฐาน เพื่อนำค่าการสูญเสียของสัญญาณในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้ทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณ



รูปที่ 5.1 สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่บริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี

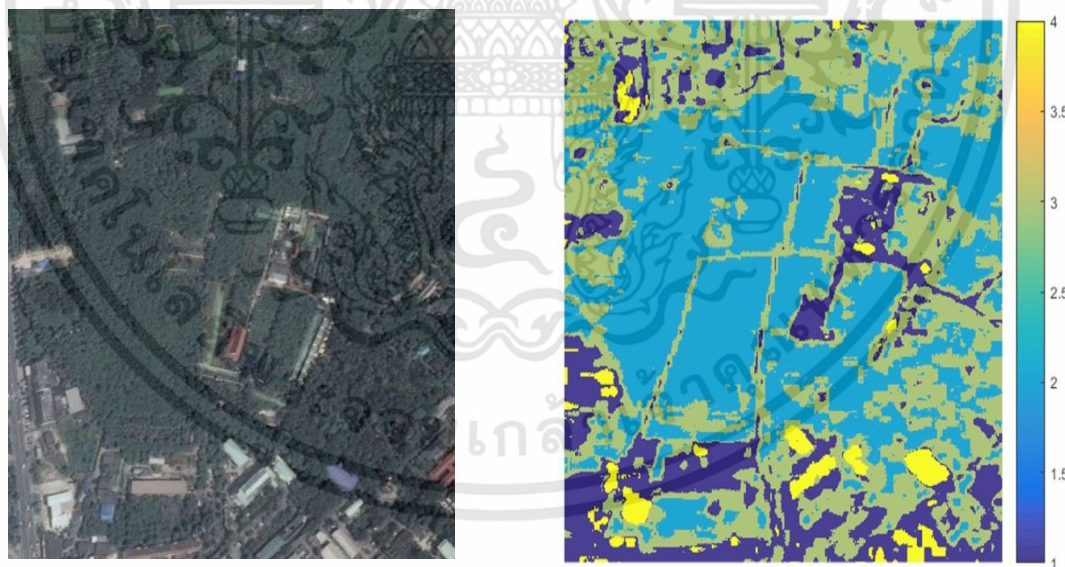
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นแรกเลือกพื้นที่ในการทดสอบหาค่าการสูญเสียในเส้นทางของสัญญาณเป็นพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศหลากหลายสภาวะแวดล้อม เช่น ต้นไม้ บ้านเรือน อาคารที่ความสูงต่ำต่างกัน จากนั้นทำการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 5.2 แผนผังขั้นตอนทำนายการสูญเสียของสัญญาณด้วยวิธีจัดกลุ่ม K-mean และฟัซซีลอจิก

1. นำภาพถ่ายดาวเทียมมาผ่านการจัดกลุ่มโดยวิธี K-mean ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อแบ่งกลุ่มสี ทำการแบ่งประเภทพื้นที่ที่ออกเป็นกลุ่มสี ได้แก่ กลุ่มพื้นที่มีอาคารสูง กลุ่มพื้นที่อาคารไม่สูง กลุ่มพื้นที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น และกลุ่มพื้นที่มีต้นไม้ปกคลุมเบาบาง
2. กำหนดกฎของฟัซซี [26] ให้เหมาะสมกับพื้นที่
3. จากนั้นนำกฎของฟัซซีไปใช้ในพื้นที่ฝึกฝน ในบริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี ประมาณ 1,000 จุด เพื่อทำนายค่าการสูญเสียในเส้นทาง (Path Loss) ในแต่ละจุดทดสอบ
4. เมื่อได้ค่าการสูญเสียของสัญญาณจากการทำนายด้วยวิธีการทำงานร่วมกันระหว่าง K-mean และฟัซซีลอจิกแล้วนำค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ได้จากการทำนายมาเปรียบเทียบกับค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง เพื่อหาค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ทำนายผิดพลาด
5. ปรับแต่งกฎของฟัซซีให้สามารถทำนายค่าการสูญเสียได้ใกล้เคียงกับที่วัดสัญญาณจริง และนำกฎของฟัซซีที่ปรับแต่งแล้วไปใช้กับพื้นที่ฝึกฝน ในบริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี จนกระทั่งได้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับค่าวัดสัญญาณจริงมากที่สุด
6. นำกฎของฟัซซีที่ปรับแต่งเหมาะสมใช้งานได้ผลดีแล้วไปใช้กับพื้นที่ทดสอบ ในบริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี ซึ่งไม่ใช่พื้นที่เดิมที่ใช้ในการฝึกฝน ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 5.2



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.3 พื้นที่ฝึกฝน (Training area) (ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean

ในการทดสอบนี้เลือกพื้นที่ทดสอบบริเวณวัดสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของ กรุงเทพมหานคร โดยมีระยะห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 20 กิโลเมตร พื้นที่ทดสอบมีสภาพแวดล้อมประกอบด้วยพื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้หนาแน่นและพื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้เบาบาง และอาคารที่มีความสูงต่ำแตกต่างกัน โดยทดสอบประมาณ 1,000 จุด ชั้นแรกเก็บภาพถ่ายผ่านดาวเทียมของพื้นที่ทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.3 (ก) จากนั้นนำภาพถ่ายดาวเทียมมาผ่านกระบวนการ K-mean Clustering ซึ่งเป็นฟังก์ชันใน MATLAB เพื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มสี กำหนดให้สีฟ้าแทนพื้นที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น สีน้ำเงินแทนพื้นที่มีอาคารสูง สีเขียวแทนพื้นที่มีต้นไม้ปกคลุมเบาบาง และสีเหลืองแทนอาคารต่ำ แสดงดังรูปที่ 5.3 (ข) ตามลำดับ

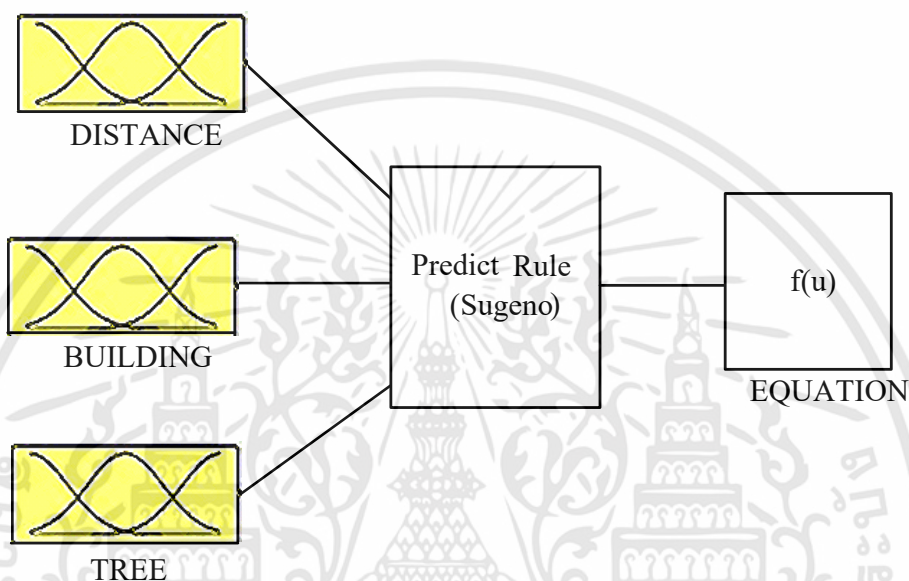
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ใช้งาน	2.1 GHz
ความสูงสายอากาศสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้านส่ง	30 m
ความสูงสายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่	1.5 m
ความสูงอาคาร	15 m
ประเภทสายอากาศของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่	HBX-6517DS-VTM
อัตราขยายของสายอากาศด้านสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่	19.2 dB
กำลังส่งของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่	33 dBm

จากตารางที่ 5.1 แสดงพารามิเตอร์สถานีฐานที่ใช้ทดสอบและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ด้านรับ สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดสอบทำงานในย่านความถี่ 2.1 GHz ความสูงของเสาอากาศที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ กำลังส่งของสถานีฐาน ประเภทของสายอากาศและเกณฑ์ของสายอากาศ โดยสายอากาศสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่มีมีความสูง 30 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1.5 เมตร

ขั้นตอนต่อไปกำหนดกฎของฟิชชิลอจิกและนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการฟิชชิลอจิก ในพื้นที่ฝึกฝน แสดงดังรูปที่ 5.4 ประกอบด้วยข้อมูลขาเข้า แทนด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร คือ ตัวแปรแทนระยะทาง ตัวแปรแทนความสูงของอาคาร และตัวแปรสุดท้ายแทนความหนาแน่นของต้นไม้ กลไกการ

ทำนายค่าการสูญเสียในเส้นทางใช้ฟuzzyแบบ Sugeno ข้อมูลขาออกประกอบด้วยแบบจำลองการสูญเสียทั้ง 6 แบบจำลอง คือ แบบจำลองการสูญเสียในอากาศ (FSL) แบบจำลองการสูญเสีย Hata แบบจำลองการสูญเสีย WI แบบจำลองการสูญเสีย ECC-33 แบบจำลองการสูญเสีย Stanford University Interim (SUI) และ แบบจำลองการสูญเสีย Ericsson



รูปที่ 5.4 ฟuzzyลอจิก Sugeno

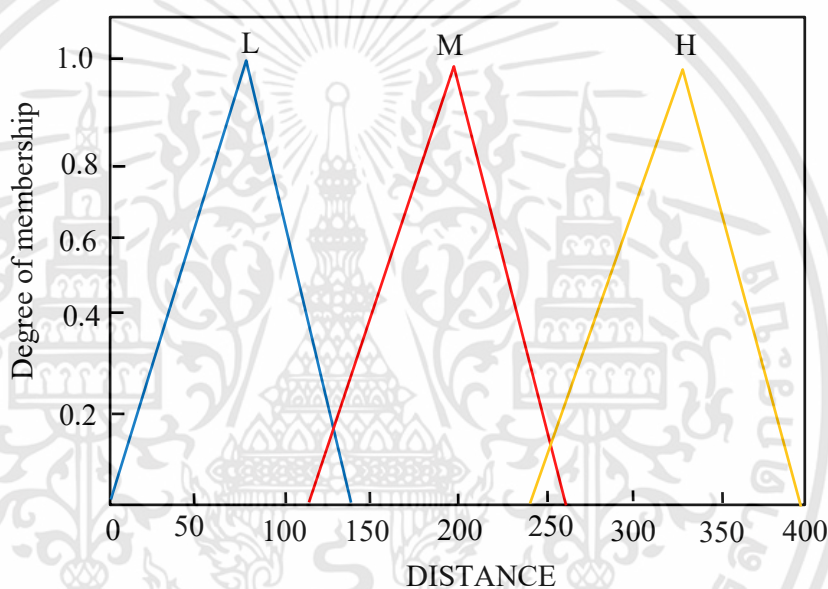
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเทรชโฮลด์ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของข้อมูลขาเข้าในสภาวะต่ำสุด LOW (L) สภาวะกลาง Medium (M) และสภาวะ HIGH (H)

ตารางที่ 5.2 เทรชโฮลด์ของข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกของตัวแปรฟuzzy

Input	ระยะทาง (x1)			ความหนาแน่นของต้นไม้ (x2)			ความสูงของอาคาร (x3)		
Minimum	0	110	230	0	28	58	0	28	58
Threshold	125	245	-	31.5	61.5	-	31.5	61.5	-
Maximum	140	260	400	35	65	100	35	65	100
States	L	M	H	L	M	H	L	M	H

กำหนดให้ข้อมูลขาเข้า และข้อมูลขาออกเป็นแบบสมาชิกสามเหลี่ยม (trimf) ขอบเขตของพีชชีที่กำหนดเมื่อ a และ c เป็นขีดจำกัดล่าง (Lower limit) และ b เป็นขีดจำกัดบน (Upper limit) เมื่อ $a < b < c$

สมาชิกตัวแปรข้อมูลขาเข้า X_1 แทนระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องรับ (DISTANCE) อยู่บนขอบเขต $[0 \ 400]$ กำหนดให้เป็นประเภท trimf โดยแบ่งเป็น 3 สถานะ ค่าต่ำสุด หรือ L บนขอบเขต $[0 \ 80 \ 140]$ ค่ากลาง หรือ M บนขอบเขต $[110 \ 190 \ 260]$ และ ค่าสูงสุด หรือ H บนขอบเขต $[230 \ 330 \ 400]$ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.5



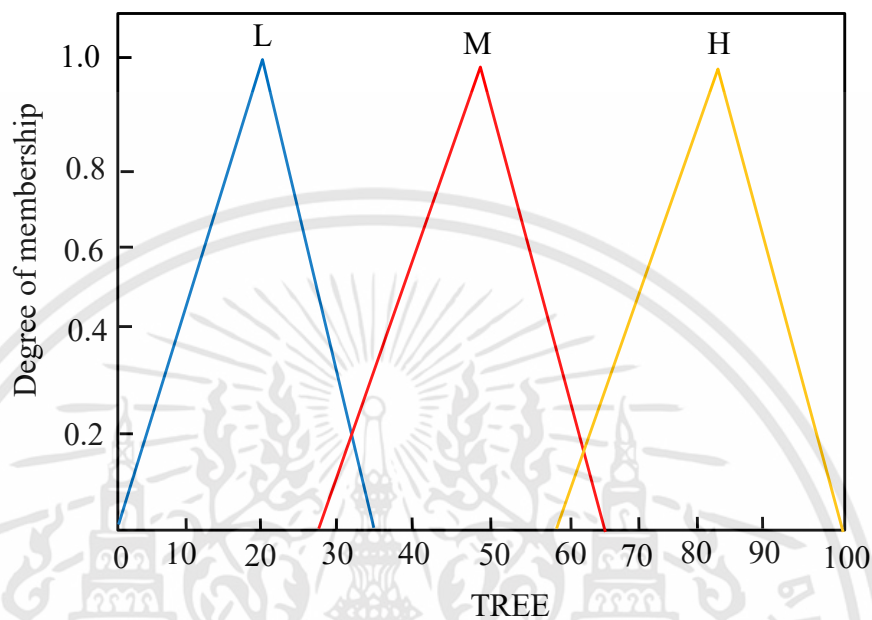
รูปที่ 5.5 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนระยะทางระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครื่องรับ

สมาชิกตัวแปรข้อมูลขาเข้า X_2 แทนความหนาแน่นของต้นไม้ (TREE) อยู่บนขอบเขต $[0 \ 100]$ กำหนดให้เป็นประเภท trimf โดยแบ่งเป็น 3 สถานะ L บนขอบเขต $[0 \ 18 \ 35]$ M บนขอบเขต $[28 \ 50 \ 65]$ และ H บนขอบเขต $[58 \ 77 \ 100]$ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.6

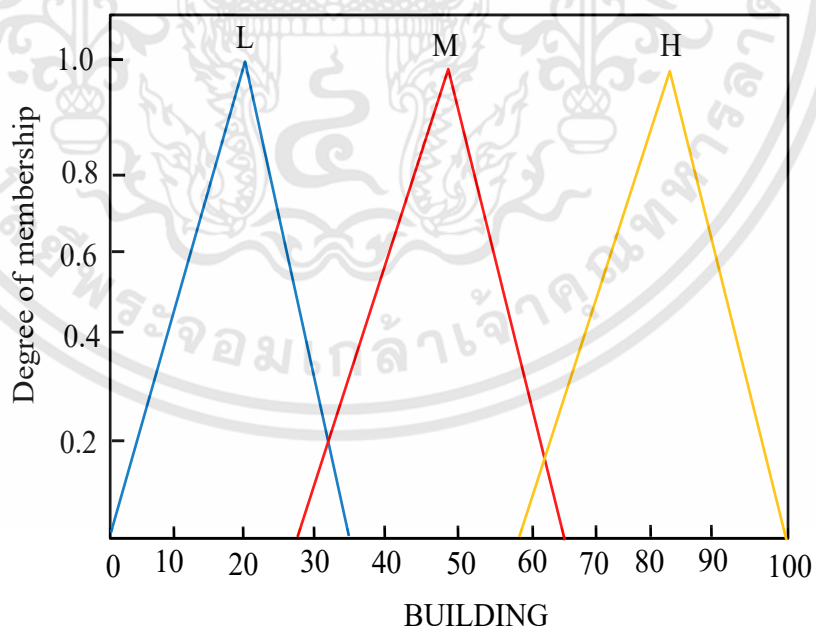
สมาชิกข้อมูลขาเข้า X_3 แทนอาคารสิ่งก่อสร้าง (BUILDING) อยู่บนขอบเขต $[0 \ 100]$ กำหนดให้เป็นประเภท trimf โดยแบ่งเป็น 3 สถานะ L บนขอบเขต $[0 \ 18 \ 35]$ M บนขอบเขต $[28 \ 50 \ 65]$ และ H บนขอบเขต $[58 \ 77 \ 100]$ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.7

สมาชิกของข้อมูลขาออก ประกอบด้วย สมการของแบบจำลองการสูญเสียของสัญญาณทั้ง 6 รูปแบบ คือ Free Space Loss Walfisch-Ikegami ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI)

และ Ericsson ตามลำดับ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า กฎของฟuzzy และข้อมูลขาออกได้ดังรูปที่ 5.8

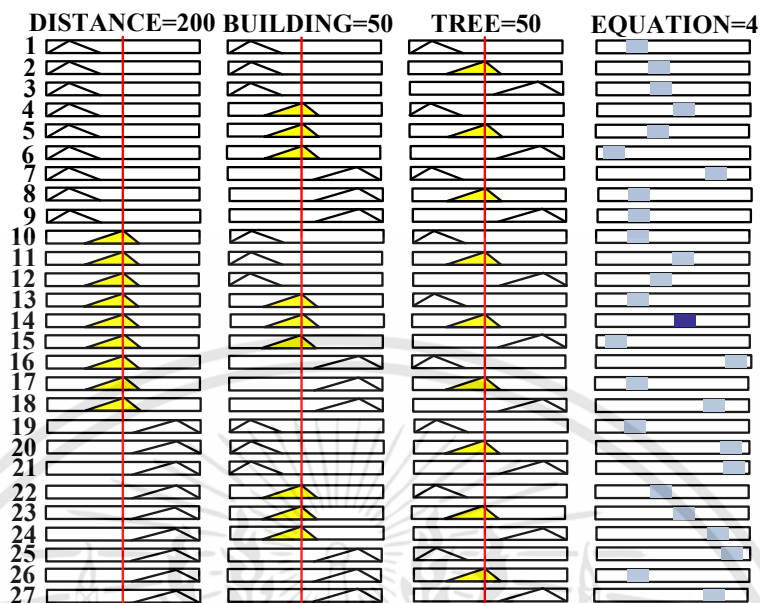


รูปที่ 5.6 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนความหนาแน่นของต้นไม้

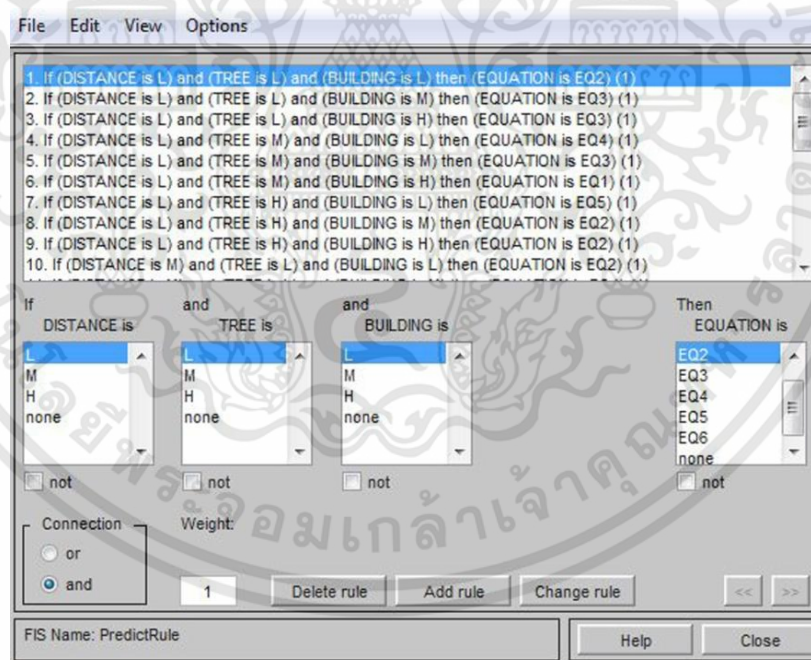


รูปที่ 5.7 สมาชิกของตัวแปรข้อมูลขาเข้าแทนอาคารสิ่งก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า กฎของฟัซซีและข้อมูลขาออก

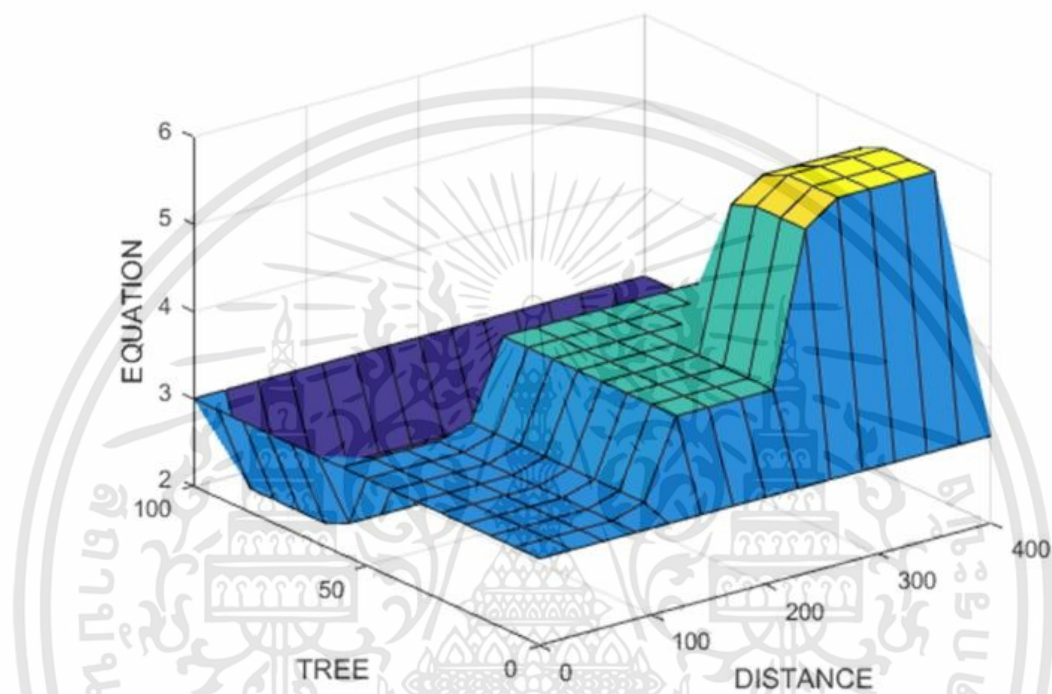


รูปที่ 5.9 การใช้งานกฎของฟัซซีผ่านโปรแกรม MATLAB

ข้อมูลขาเข้าถูกนำไปผ่านกฎของฟัซซีที่กำหนดขึ้นโดยฟังก์ชันฟัซซีลอจิกแบบ Sugeno ในโปรแกรม MATLAB ตัวอย่างเช่น ถ้าสถานะของข้อมูลขาเข้ามีตัวแปร X1 แทนระยะทางระหว่างสถานี

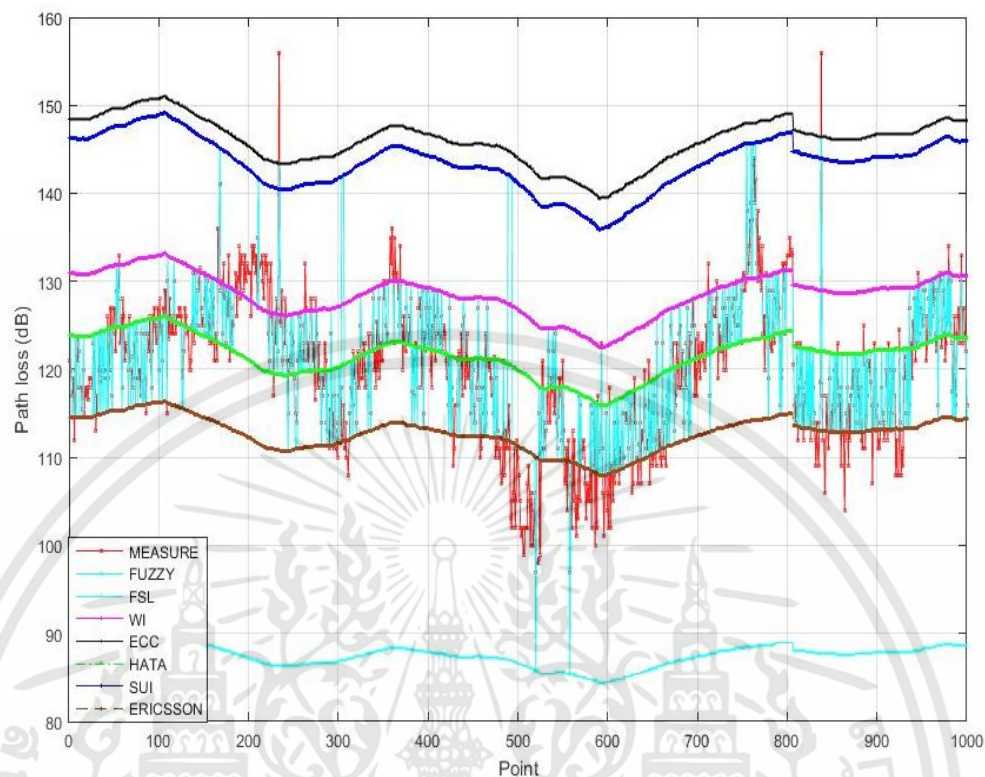
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ (DISTANCE) ตัวแปร X2 แทนความหนาแน่นของต้นไม้ (TREE) และตัวแปร X3 แทนอาคารสิ่งก่อสร้าง (BUILDING) มีสถานะเป็นค่าต่ำสุด ทั้งหมด คือ (L L L) เมื่อผ่านกระบวนการฟัซซีตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียของ WI แทนด้วยสมการที่ 2 (EQ2) ดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.10 มุมมองพื้นผิว (surface view) ของฟัซซีลอจิก

รูปที่ 5.10 แสดงมุมมองพื้นผิวของฟัซซี ระหว่างมุมมองของระยะห่างระหว่างสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์เคลื่อนที่ มุมมองของความหนาแน่นของต้นไม้ และสมการของแบบจำลองที่ใช้งานเปรียบเทียบกับแบบจำลอง K-mean และฟัซซีลอจิก เนื่องจากแบบจำลอง K-mean และฟัซซีลอจิกที่นำเสนอมีความผิดพลาดในการทำนายการสูญเสียของสัญญาณน้อยที่สุด



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงค่าการสูญเสียของสัญญาณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับการวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ฝึกฝน

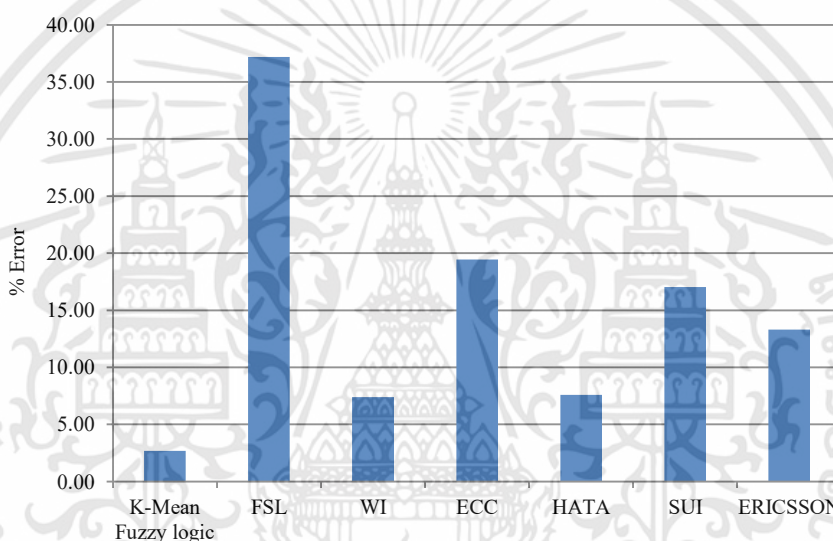
ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎของฟัซซีและค่าผิดพลาดของการทำนายการสูญเสียด้วยวิธี K-mean Fuzzy logic

กำหนดกฎฟัซซีครั้งที่	ค่าผิดพลาดของการทำนายการสูญเสียด้วยวิธี K-mean Fuzzy logic
1	7.31
2	5.04
3	4.25
4	2.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11 แสดงค่าการสูญเสียในเส้นทางของแบบจำลองชนิดต่างๆ (FSL WI ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI) Ericsson และวิธีที่นำเสนอ K-mean และฟuzzyลอจิกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ฝึกฝนจะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ได้จากแบบจำลอง K-mean และฟuzzyลอจิกมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณมากที่สุด

ตารางที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎของฟuzzy และค่าผิดพลาดการทำนายการสูญเสียของสัญญาณด้วยวิธี K-mean Fuzzy logic ในแต่ละครั้งโดยทำการปรับแต่งกฎของฟuzzy ในครั้งที่ 4 ทำให้ค่าผิดพลาดในการทำนายน้อยที่สุด



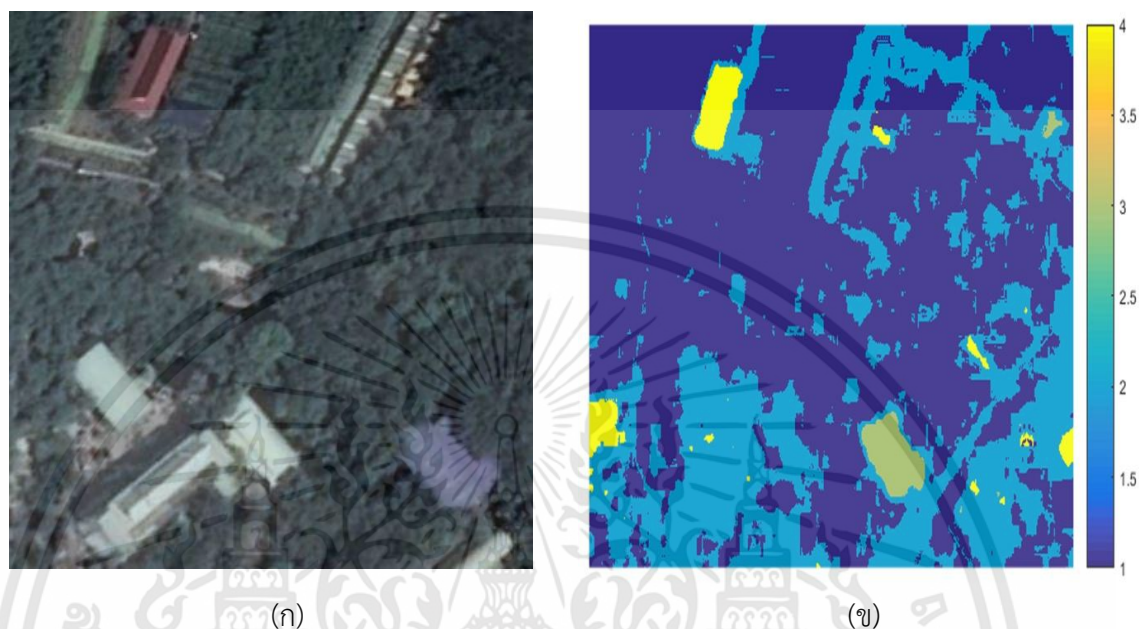
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่าผิดพลาดการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณในพื้นที่ฝึกฝน

รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่าผิดพลาดการทำนายการสูญเสียของสัญญาณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณจะเห็นว่าค่าผิดพลาดต่ำสุดคือค่าที่ได้จากวิธีการ K-mean และฟuzzyลอจิกในพื้นที่ ฝึกฝนมีค่าผิดพลาดตลอดเส้นทางเฉลี่ยที่ 2.79% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงและ WI Hata ตามลำดับ

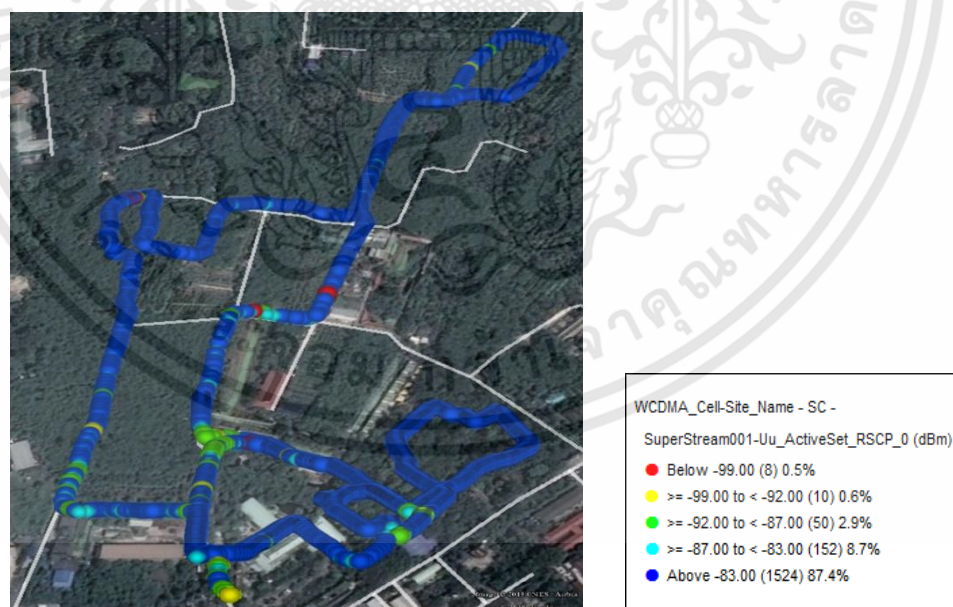
5.3 ผลการทดสอบ

แบบจำลองที่ได้จากการฝึกฝนถูกนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ทดสอบที่มีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ ฝึกฝน ซึ่งประกอบด้วยอาคารและต้นไม้ โดยทำการทดสอบจำนวน 870 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5.13 (ก)

และนำภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ทดสอบผ่านการแบ่งกลุ่ม K-mean clustering ดังแสดงในรูปที่ 5.13 (ข)



รูปที่ 5.13 พื้นที่ทดสอบ (Test area) (ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean

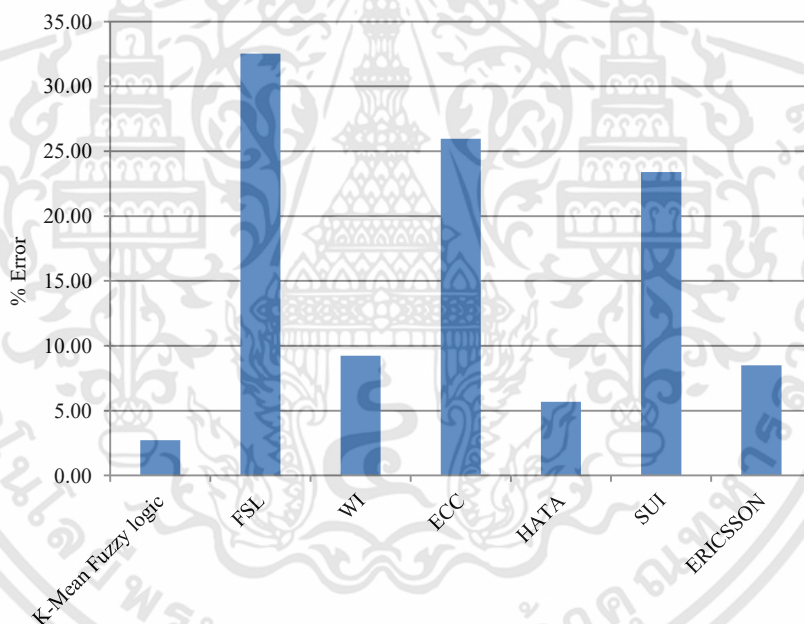


รูปที่ 5.14 การวัดสัญญาณจริงโดยอุปกรณ์ Drive Test Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.14 แสดงค่าความแรงของสัญญาณจากการวัดสัญญาณจริงในบริเวณพื้นที่ฝึกฝนและพื้นที่ทดสอบที่จุดต่างๆ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความครอบคลุมของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเกณฑ์ดี ค่าการสูญเสียที่ได้จากการวัดสัญญาณถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของค่าการสูญเสียที่ได้จากแบบจำลอง ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และแบบจำลองการสูญเสียแบบเดิม (FSL WI ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI) และ Ericsson

ค่าการทำนายการสูญเสียที่ได้จากแบบจำลองการสูญเสียทั่วไป (FSL WI ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI) และ Ericsson รวมทั้งค่าการทำนายการสูญเสียที่ได้จากแบบจำลอง K-mean และฟuzzyในพื้นที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่าการสูญเสียที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyในพื้นที่ทดสอบมีเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดต่ำสุดเท่ากับ 2.67% แสดงดังรูปที่ 5.15

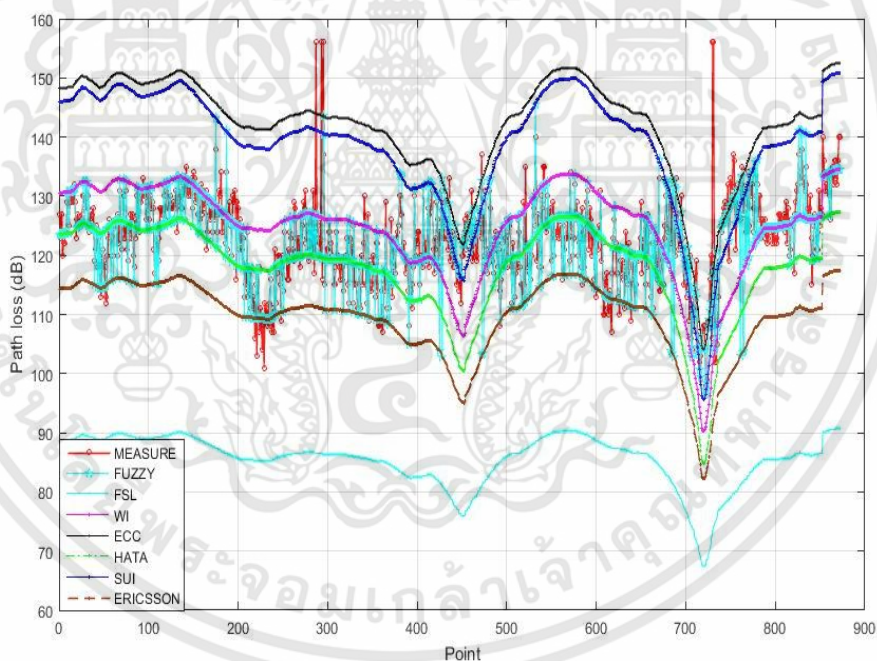


รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่าผิดพลาดการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 5.4 ค่าความผิดพลาดการทำนายการสูญเสียของแบบจำลองรูปแบบ 6 รูปแบบรวมทั้งแบบจำลอง K-mean และฟuzzyลจิกเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าแบบจำลอง K-mean และฟuzzyลจิกมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด รองลงมาคือ WI และ Hata ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ค่าความผิดพลาดจากการทำนายการสูญเสียด้วยแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณ

แบบจำลอง	ค่าผิดพลาดจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณ
FSL	37.20
K-mean Fuzzy logic	2.67
WI	7.38
ECC-33	19.46
Hata	7.58
SUI	17.04
Ericsson	13.30



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่าการสูญเสียของสัญญาณทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ทดสอบ

จากรูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่าการสูญเสียในเส้นทางของแบบจำลอง FSL WI ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI) และ Ericsson รวมทั้งวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ได้จากแบบจำลอง K-mean และพีชชีลอจิก ที่นำเสนอมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณมากที่สุด

ตารางที่ 5.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ของแบบจำลองการสูญเสียที่ถูกนำมาใช้งานในแบบจำลอง K-mean และพีชชีในพื้นที่ทดสอบทั้งหมด โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้งานเรียงตามลำดับการใช้งานมากที่สุดดังนี้ แบบจำลอง Hata มีสัดส่วนสูงสุด (34.40%) รองลงมา ได้แก่ WI (34.00%) Ericsson (13.20%) Stanford University Interim (SUI) (11.70%) และ ECC-33 (6.70%) เมื่อพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดสอบแบบจำลอง FSL จะไม่ได้ถูกเลือกนำมาใช้งานเนื่องจากสภาพพื้นที่ใช้ในการทดสอบไม่ถูกจัดกลุ่มอยู่ในพื้นที่โล่งซึ่งพื้นที่โล่งจะเหมาะกับแบบจำลอง FSL

ตารางที่ 5.5 เปอร์เซ็นต์ของแบบจำลองการสูญเสียที่นำมาใช้ในแบบจำลอง K-mean และพีชชี

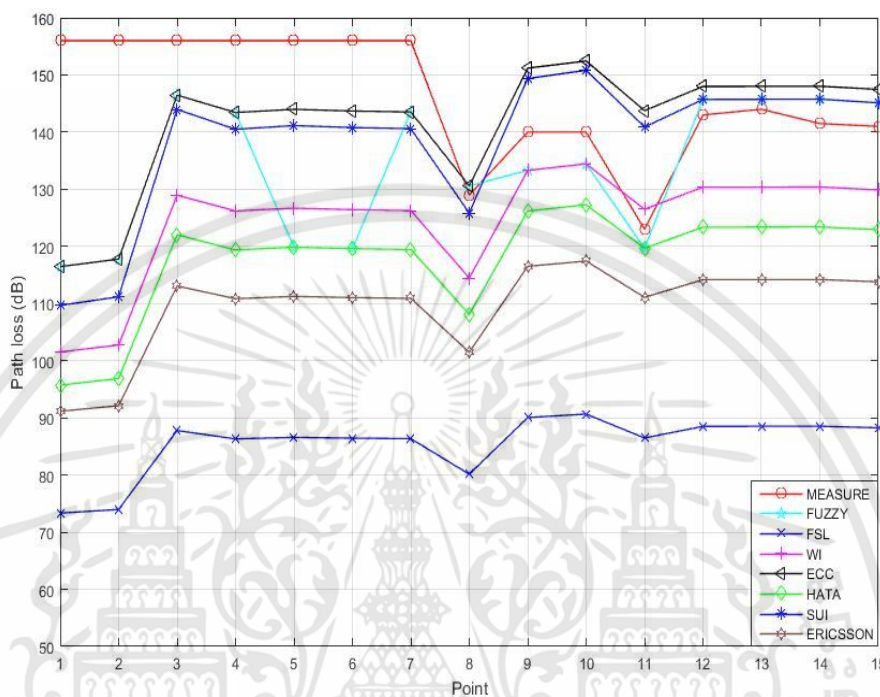
แบบจำลองการสูญเสีย	การนำมาใช้งาน (%)
WI	33.83
ECC-33	6.88
Hata	34.29
SUI	10.55
Ericsson	14.45

ตารางที่ 5.6 แบบจำลองที่ใช้ทำนายการสูญเสียในแต่ละสภาพแวดล้อม

แบบจำลอง	สภาพแวดล้อม
WI	ต้นไม้ = H อาคาร สิ่งก่อสร้าง = M
ECC-33	ต้นไม้ = L อาคาร สิ่งก่อสร้าง = L
Hata	ต้นไม้ = M อาคาร สิ่งก่อสร้าง = M
SUI	ต้นไม้ = L อาคาร สิ่งก่อสร้าง = H
Ericsson	ต้นไม้ = H อาคาร สิ่งก่อสร้าง = L

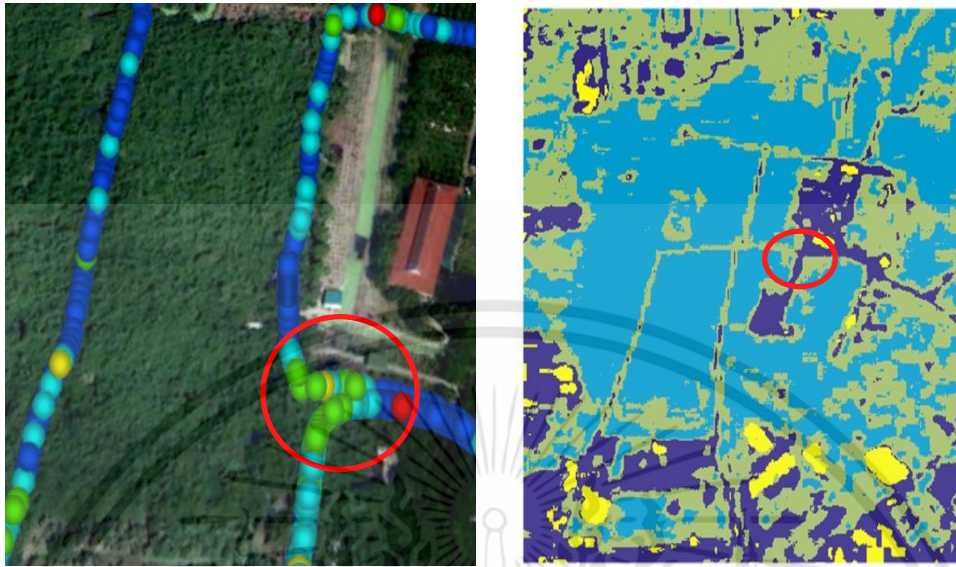
ลักษณะภูมิประเทศที่นำเสนอในแต่ละแบบจำลองการสูญเสียในรูปแบบเดิม (WI ECC-33 Hata Stanford University Interim (SUI) และ Ericsson โดย H M L หมายถึงค่า สูง ปานกลาง และต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้ รูปแบบการคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการสูญเสียในเส้นทางของแบบจำลอง WI จะเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีพีชหรือต้นไม้หนาแน่นสูง (H) และอาคารสิ่งก่อสร้างปานกลาง (M) ในขณะเดียวกันรูปแบบการคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการสูญเสีย

ในเส้นทางของแบบจำลอง Hata เหมาะสมกับพื้นที่มีพืชหรือต้นไม้หนาแน่นในระดับปานกลาง (M) และ อาคารสิ่งก่อสร้างปานกลาง (M)



รูปที่ 5.17 ตัวอย่างกราฟแสดงการทำนายการสูญเสียของสัญญาณการวัดสัญญาณในพื้นที่ทดสอบ

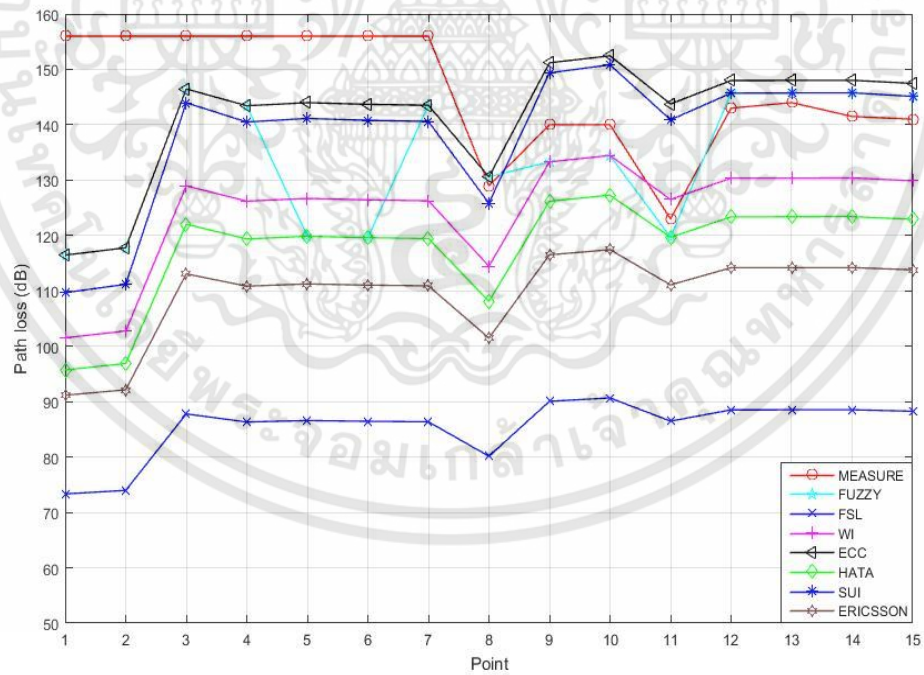
รูปที่ 5.17 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าผิดพลาดการทำนายการสูญเสียของสัญญาณจากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับการวัดสัญญาณ จะเห็นว่าการทำนายค่าการสูญเสียในแต่ละจุดทดสอบจะใช้ K-mean ตัดสินใจว่าสภาพแวดล้อมในแต่ละจุดเป็นอย่างไร และเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม นั้น โดยตัวอย่างจำนวน 21 จุดในพื้นที่ทดสอบนั้นแบบจำลองบางชนิดก็ไม่ถูกเลือกมาใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่ ค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ทำนายได้จากวิธี K-mean และฟัซซี่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด สัญญาณจริง



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.18 (ก) พื้นที่ที่มีการสูญเสียในเส้นทางสูง (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน K-mean



รูปที่ 5.19 การทำนายการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ที่มีการสูญเสียของสัญญาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.18 แสดงบริเวณที่มีการสูญเสียในเส้นทางสูง (ก) พื้นที่มีค่าการสูญเสียในเส้นทางสูง และรูปที่ 5.18 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมผ่านวิธี K-mean ของพื้นที่บริเวณที่มีค่าการสูญเสียสูงซึ่งนำพิกัดบริเวณนั้นจำนวน 15 จุดมาเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ในการเลือกใช้แบบจำลองทำนายการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ที่มีการสูญเสียของสัญญาณสูงประกอบด้วยพื้นที่อาคารสูง มีต้นไม้ปกคลุมเบาบาง และมีอาคารต่ำบางส่วน ในแต่ละจุดจะเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมมาใช้งานมีทั้ง ECC-33 WI และ SUI มาใช้งานดังแสดงในรูปที่ 5.19

ผลการทดลองที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผลลัพธ์ที่ลดค่าผิดพลาดในการทำนายการสูญเสียของสัญญาณได้โดยเสนอแบบจำลองเพื่อทำนายการสูญเสียในเส้นทางโดยใช้การแบ่งกลุ่มรูปภาพ K-mean และฟิชชิลอจิก เพื่อลดค่าผิดพลาดในการทำนายการสูญเสียในเส้นทาง โดยข้อมูลขาเข้าของฟิชชิลอจิกมี 3 ตัวแปรประกอบด้วย ตัวแปรแทนความหนาแน่นของพืชและต้นไม้ ตัวแปรแทนอาคารสิ่งก่อสร้าง และตัวแปรแทนระยะทางระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ด้านรับ ตัวแปรทางด้านข้อมูลขาออกแทนแบบจำลองการสูญเสียทั้ง 6 รูปแบบ คือ แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง แบบจำลอง Walfish Ikegami แบบจำลอง Hata แบบจำลอง ECC-33 แบบจำลอง Stanford University Interim (SUI) แบบจำลอง Ericsson การนำเสนอในงานวิจัยนี้แตกต่างจากแนวทางที่นำมาใช้งานในปัจจุบันคือ การใช้แบบจำลองหลายรูปแบบในการจำลองค่าการสูญเสียในพื้นที่หนึ่ง โดยใช้การแบ่งกลุ่มรูปภาพ K-mean เพื่อแบ่งกลุ่มพื้นที่ และนำมาทำงานร่วมกับฟิชชิลอจิกเพื่อการตัดสินใจเลือกใช้สมการให้เหมาะกับแต่ละพื้นที่ วิธีการนี้ช่วยลดค่าผิดพลาดของการทำนายการสูญเสียในเส้นทางเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง ค่าความผิดพลาดที่ได้จากพื้นที่ทดสอบเท่ากับ 2.67% มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดที่ได้จากแบบจำลองอื่น

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารทำให้การใช้ชีวิตของมนุษย์สะดวกมากขึ้น การสื่อสารเข้ามาเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดำรงชีวิต โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็เป็นสิ่งจำเป็นในปัจจุบันที่ทุกคนมีไว้เพื่อใช้งานทั้งในการดำรงชีวิตประจำวันและการทำธุรกิจ ดังนั้นผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงจำเป็นต้องติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเพื่อรองรับปริมาณการใช้งานด้านข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น และขยายบริการไปในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณครอบคลุม การติดตั้งสถานีฐานนั้นควรจะต้องติดตั้งพิคัดไหนจึงจะกระจายสัญญาณไปยังกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายได้ต้องพิจารณาถึงการสูญเสียในเส้นทางเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง

จากผลการทดลองวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดค่าความผิดพลาดในการทำนายการสูญเสียของสัญญาณได้ และเหมาะกับการนำไปใช้ทำนายผลในพื้นที่ซึ่งมีสภาพแวดล้อมหลากหลายรูปแบบเช่น มีทั้งอาคาร สิ่งก่อสร้างและต้นไม้ โดยปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการนำรูปแบบการวิจัยนี้ไปใช้งานคือ การแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมต้องมีความแม่นยำมาก มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการตัดสินใจเลือกรูปแบบของสมการมาใช้งานผิดพลาด ไม่ตรงกับความเป็นจริง ควรมีการทดสอบและศึกษาเพิ่มเติมกรณีที่มีสภาพแวดล้อมครอบคลุมทุกสภาพพื้นที่ เช่น ป่าไม้ ภูเขา อาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือสภาพแวดล้อมที่มีแต่ป่าไม้ โดยเราสามารถนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ ในการทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ ซึ่งต้องการประเมินก่อนการติดตั้งเสาสัญญาณของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่จริง เพื่อให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยที่ประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากมีการคาดการณ์ค่าการสูญเสียในเส้นทาง และกำหนดจุดติดตั้งสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีระยะห่างในการรับส่งสัญญาณได้เหมาะสม

โดยทั่วไปแบบจำลองแต่ละรูปแบบจะสร้างขึ้นมาให้เหมาะกับการนำไปใช้งานในพื้นที่ซึ่งแตกต่างกันไป การเลือกแบบจำลองรูปแบบใดแบบหนึ่งมาใช้ในการทำนายกับพื้นที่ทั้งหมด อาจแม่นยำในบางพื้นที่และไม่แม่นยำในบางพื้นที่ แต่หากนำรูปแบบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้งานจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้งานแบบจำลองใดจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับสภาพแวดล้อม และสามารถใช้งานแบบจำลองได้หลากหลายรูปแบบ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อโดยทำการฝึกฝนเพื่อกำหนดกฎของฟuzzyให้หลากหลายรูปแบบขึ้น อาจจะเป็นพื้นที่โล่ง หรือพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่มีภูเขาหลายลักษณะ และพื้นที่อาคารสิ่งก่อสร้างที่หนาแน่นมาก เพื่อเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับพื้นที่มากที่สุด และดูว่าแบบจำลองใดมีการทำนายค่าผิดพลาดลดลง โดยใช้การกำหนดกฎของฟuzzyให้สอดคล้องกับข้อมูลขาเข้า ทั้งนี้ยังสามารถนำมาทดสอบใช้งานใน

ความถี่ที่แตกต่างกันไปโดยกำหนดกฎของพีชซีให้สอดคล้องกับข้อมูลขาเข้า และทำการวัดสัญญาณจริงเพื่อนำค่าการสูญเสียในเส้นทางของความถี่นั้นมาปรับแต่งกฎของพีชซีให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น ทำการกำหนดข้อมูลขาเข้าหลายสถานะในรูปแบบที่แตกต่างจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้แบบจำลองทำนายค่าการสูญเสียของสัญญาณรูปแบบอื่นที่เหมาะสม หรือปรับปรุงวิธีการแบ่งกลุ่มภาพถ่ายดาวเทียมให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น เพื่อให้การทำนายค่าการสูญเสียมีความผิดพลาดน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] P. Prajesh, R. K. Singh, “A survey on various propagation models for wireless Communication,” Proc. IEEE-ICACCT, Jinan, CHINA, pp. 61-64, Nov. 2011.
- [2] P. Rani, V. Chauhan, S. Kumar and D. Sharma, “A review on wireless propagation models,” International Journal of Engineering and Innovative Technology., vol.3, no. 11, pp. 256-261, May. 2014.
- [3] M. Kumar, V. Kumar, S. Malik., “performance and analysis of propagation models for predicting RSS for efficient handoff,” International Journal of Advance Scientific and Technical Research., vol.1, no. 2, pp. 61-70, Feb. 2012.
- [4] K. J. Parmar, V. D. Nimavat, “Comparative Analysis of path loss propagation models in radio communication,” International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering., vol.3, no. 2, pp. 840-844, Feb. 2015.
- [5] U. Kutbay, A. B. Ural, F. Hardalac, “Underground electrical profile clustering using K-MEANS algorithm,” Signal Processing and Communications Applications Conference, Malatya, Turkey. pp. 561-564, May. 2015.
- [6] U. Kutbay, F.Hardalac, “CT liver tissue segmentation using distance regularized level set evolution based on spatial fuzzy clustering,” Energy Education Science and Technology Part A., vol.29, no. 2, Jul. 2012. pp. 715-720, Jul. 2012.
- [7] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, S. Naghian, V. Niemi, “UMTS Networks Architecture Mobility and Services,” 2nd ED. New York : John wiley & Sons. 2005.
- [8] L. Korowajczuk, “LTE WiMAX and WLAN Network Design Optimization and Performance Analysis,” New York : John wiley & Sons. 2011.
- [9] U. Bahuguna, B. Pradhan, “A review on path Loss models for suburban using fuzzy Logic,” International Journal of Computer Engineering & Science., vol.4, no. 2, pp. 74-78, Mar. 2014.
- [10] Tan, Steinbach, Kumar, “Data Mining Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms,” [Online]. Available :
<https://www.cs.indiana.edu/~predrag/classes/2017fallb365/ch8.pdf>

- [11] Z. Nadir, M. I. Ahmad, "Path loss determination using Okumura-Hata model and cubic regression for missing data for Oman," 1-4. Proceeding of the International MultiConference of Engineerings and Computer Scientists, Hong Kong., pp. 1-4, Mar. 2010.
- [12] M. S. Mollel, M. Kisangiri, "Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Mobile Communication," Computer Engineering and Intelligent System., vol.5, no. 9. 2014. pp. 1-10
- [13] A. T. Tahat, Y. A. Alqudah, "Analysis of propagation models at 2.1 GHz for simulation of a live 3G cellular network," Wireless Advanced Conference, London, UK, pp. 164-169, Jun. 2011.
- [14] Z. Nadir, N. E. Mohamed, F. Touati, "Path loss determination using okumura-Hata model and spline interpolation for missing data for Oman," Proceeding of the world congress on engineering Conference, London, UK, Jul, 2008. pp. 1-4
- [15] I. Joseph, C. C. Konyeha, "Urban area path loss propagation prediction and optimization using Hata model at 800 MHz," Journal of Applied Physics., vol.3, no. 4. pp. 8-18, 2013.
- [16] M. A. Nisirat, M. Ismail, L. Nissirat, Al-Khawaldeh S, "A terrain roughness correction factor for Hata path loss model at 900 MHz," Progress In Electromagnetics Research., vol.19, pp. 11-22, 2011.
- [17] H. K. Sharma, S. Sahu, S. Shama, "Enhanced cost231 W.I. Propagation model in wireless network," International journal of computer applications., vol.19, no. 6. pp. 36-42, 2011.
- [18] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medouri, Salazar-Palma M, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication," IEEE Antenna and Propagation Magazine., vol.45, no. 3. pp. 51-82, 2003.
- [19] Y. Singh, "Comparison of Okumura Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength," International Journal of Computer Applications., vol. 59, no. 11. pp. 37-41, 2012.

- [20] V. S. Abhayawardhana, I. J. Wassell, D. Crosby, M. P. Sellars and M. G. Brown, "Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems," Vehicular Technology Conference, Stockholm, Sweden, pp.73-77, 2005.
- [21] P. K. Sharma, R. K. Singh, "Comparative Analysis of Propagation Path loss Models with Field Measured Data," International Journal of Engineering Science and Technology., vol.2, no. 6. pp. 2008-2013, 2010.
- [22] R. Mardeni, "Optimised COST-231 Hata models for WiMAX path loss Prediction in Suburban and Open urban Environments," Modern Applied Science., vol.4, no. 9. pp. 75-89, 2010.
- [23] S. A. Mawjoud, "Path Loss Propagation Model Prediction for GSM Network Planning," International Journal of Computer Applications., Vol. 84, no. 7. pp. 30-33, 2013.
- [24] N. M. Shebani, A. E. Mohammed, M. A. Mosbah and Y. A. Hassan, "Simulation and Analysis of Path Loss Models for WiMax Communication System," The Third International Conference on Digital Information Processing and Communications Conference, United Arab Emirates, DUBAI, pp. 692-703, 2013.
- [25] V. Ramesh, S. Thangaraj and J. V. Prasad, "An efficient path loss prediction mechanism in wireless communication network using Fuzzy Logic," International Journal of Advance Research in computer Science and Software Engineering., vol. 2, no.1. pp. 1-6, 2012.
- [26] S. Mathew, K. Shylaja, T. Jayasri and M. Hemalatha, "Path loss prediction in wireless communication system using fuzzy logic," Indian Journal of Science and Technology., vol. 7, no. 5. pp.642-647, 2014.



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

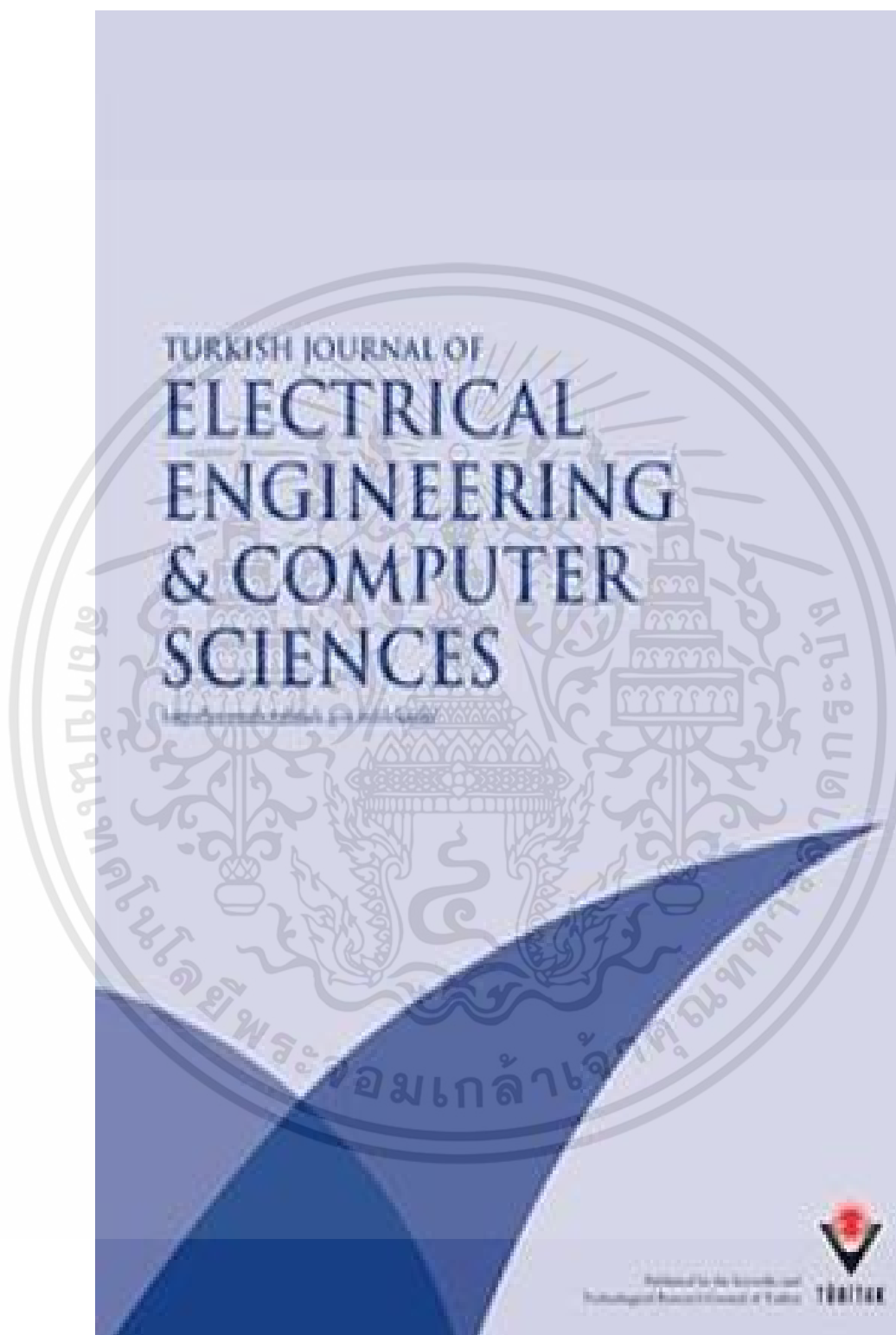
1. วารสารวิชาการนานาชาติ (International Journal)

1. Wiyada Bhupuak, Siraphop Tooprakai “Minimizing path loss prediction error using k-means clustering and fuzzy logic.” Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 26(4): 1989-2002.

2. วารสารประชุมวิชาการนานาชาติ (International COnference Proceeding)

1. W. Bhupuak, S. Tooprakai “Studying the prediction path loss in rural by standars macrocell model.” 2015 International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMACI2015) 23 – 25 September, 2015, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand.

2. W. Bhupuak, S. Tooprakai “Path loss comparison in 850 MHz and 1800 MHz frequency band.” 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI2016) 28 June - 1 July, 2016, Chiang Mai, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Minimizing path loss prediction error using k-means clustering and fuzzy logic

Wiyada BHUPUAK*, Siraphop TOOPRAKAI

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

Received: 09.10.2017

Accepted/Published Online: 06.04.2018

Final Version: 27.07.2018

Abstract: This research proposes an algorithmic scheme based on k-means clustering and fuzzy logic to minimize path loss prediction error. The proposed k-means fuzzy scheme concurrently utilizes the area topographical variability and multiple path loss prediction models to mitigate the prediction error inherent in the independent use of a conventional path loss model. Vegetation density, manmade structures, and transmission-receiver distances are the fuzzy inputs and the conventional path loss models the output: the free space loss, Walfisch-Ikegami, HATA, ECC-33, Stanford University Interim, and ERICSSON models. The experimental results show that the path loss prediction error of the k-mean fuzzy scheme is only 2.67% compared to the the drive-test measurement, and this is the lowest relative to that of the conventional models. The k-mean fuzzy scheme offers a novel means to approximate path loss in localities with diverse topographical features and also efficiently mitigates the prediction error inherent in the independent use of the conventional prediction models.

Key words: Path loss, prediction, fuzzy sets

1. Introduction

In selecting the location for a mobile base station, it is necessary that the service providers take into account area topographical characteristics for optimal signal coverage. In other words, the path loss and the optimal base station location are governed by a number of environmental and anthropogenic factors, including vegetation, manmade structures, and transmission-receiver distance. Specifically, the signal strength on a mobile device is influenced by the path loss along the route from the base station to the receiving device.

Currently, there exist many path loss prediction models, and different prediction models are suitable for different topographical features, e.g., the free space loss (FSL), HATA, Walfisch-Ikegami (WI), ECC33, SUI, and ERICSSON models. In [1] a survey was performed of various propagation models for wireless communication. In [2] a review was given of wireless propagation models; several path loss models were experimentally investigated in urban, suburban, and rural settings to suitably match prediction models with different topographic features.

In [3] the performance and analysis of propagation models for predicting RSS for efficient handoff and further investigations were carried out in urban and highway settings and the results indicated that the HATA model was suitable for urban areas and the modified COST231 and HATA models were suitable for highways. However, existing publications rely on one single conventional path loss prediction model, which is prone to prediction error due to variable area topographical features [4] with comparative analysis of path loss propagation models in radio communication.

*Correspondence: wi_dokmai1@hotmail.com

Therefore, the current research proposes an algorithmic scheme based on MATLAB k-means [5] clustering and fuzzy logic [6] to minimize path loss prediction error given variable area topographical characteristics. The proposed k-means fuzzy scheme utilizes vegetation density, manmade structures, and distances between the base station and the mobile device as the fuzzy inputs and 6 conventional path loss models as the output: the FSL, WI, HATA, ECC, SUI, and ERICSSON models. To validate it, the proposed algorithmic scheme is implemented in a fuzzy-scheme experimental area. The findings reveal that the k-means fuzzy scheme is most agreeable with the actual drive-test measurement, given its lowest path loss prediction error, compared to the conventional path loss models.

2. Methodology and experimental setup

2.1. Path loss models

In wireless communications, path loss occurs in the presence of obstructions on the signal path, subsequently degrading the transmission between the base station and a receiving device. The signal loss is attributable to a number of factors, including the transmitter-receiver distance, transmitter and receiver antenna heights, frequency range, vegetation, and manmade structures. The current research utilizes an amalgamation of the following path loss prediction models to minimize the prediction error.

2.1.1. Free space loss (FSL)

In free space, the signal loss from the transmitter to the receiver is caused by refraction and reflection from the ground. The free-space path loss is thus subject to the transmitter-receiver distance and frequency range. The free-space path loss is expressed as in [7–9]:

$$L = 32.45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f), \quad (1)$$

where L is the free space loss, d is the distance between the transmitter and the receiver (km), and f is the frequency (MHz).

2.1.2. HATA model

The HATA path loss model is applicable in the 150–1500 MHz frequency range and suitable for a wide range of areas: urban, suburban, and rural. Specifically, the HATA path loss model for an urban area (L_u) is expressed as in [10,11]:

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_B) - C_H + [44.9 - 6.55 \log(h_B)] \log(d), \quad (2)$$

where C_H denotes the city or town size. For a small or medium city,

$$C_H = 0.8 + [1.1 \log(f) - 0.7] h_M - 1.56 \log(f). \quad (3)$$

For a large city,

$$C_H = 8.29 [\log(1.54 h_M)]^2 - 1.1, \text{ if } 150 \leq f \leq 200 \text{ or}$$

$$C_H = 3.2 [\log(11.75 h_M)]^2 - 4.97, \text{ if } 200 < f \leq 1500. \quad (4)$$

In addition, the HATA model for suburban areas is expressed as

$$L_{SU}=L_U - 2\left(v\frac{f}{28}\right)^{2.5}, \quad (5)$$

where L_u is the path loss in urban areas (dB), h_B the height of the base station antenna (m), h_m the height of the mobile device antenna (m), f the transmission frequency (MHz), C_H the antenna height correction factor, d the distance between the base station and mobile device (km), L_U the path loss in urban areas (dB), and L_{SU} the path loss in suburban areas (dB).

2.1.3. COST 231 WI Model

This path loss model is the combination of Walfisch's and Ikegami's models [12–14] and is applicable in the 800–2000 MHz frequency range.

$$L_{50}(dB) = L_f + L_{rts} + L_{msd} \quad (6)$$

$$L_f = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f_c \quad (7)$$

$$L_{rts} = 16.9 - 10 \log\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \log\left(\frac{\Delta h_{mobile}}{m}\right) + L_{Ori} \quad (8)$$

$$L_{Ori} = \begin{cases} 10 + 0.345 \frac{\varphi}{deg} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \left(\frac{\varphi}{deg} - 35\right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 + 0.114 \left(\frac{\varphi}{deg} - 55\right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (9)$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f_c) - 9 \log(b) \quad (10)$$

Here, L_f is the free-space loss, L_{rts} is the rooftop-to-street diffraction and scatter loss, L_{msd} is the multiscreen loss, w is the road width, L_{Ori} is the orientation loss, and φ is the incident angle relative to the road.

2.1.4. ECC-33 model

The ECC-33 model is a modified path loss prediction model based on the Okumura model. The ECC-33 path loss model is expressed as in [15,16]:

$$P_L = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r, \quad (11)$$

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f), \quad (12)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log(d) + 7.894 \log(f) + 9.56 [\log(f)]^2, \quad (13)$$

$$G_b = \log(h_b/200) [13.958 + 5.8 (\log(d))^2], \quad (14)$$

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log(f)] [\log(h_r) - 0.585]. \quad (15)$$

Here, A_{fs} is the free space attenuation, A_{bm} is the basic median path loss, G_b is the base-station antenna height gain factor, G_r is the terminal customer premise equipment (CPE) height gain factor, f is the frequency (GHz), d is the distance between the base station and the CPE (km), h_b is the base station antenna height (m), and h_r is the CPE antenna height (m).

2.1.5. Stanford University Interim (SUI) model

The SUI model categorizes terrains into 3 terrain types: A, B, and C. Terrain A is a region with dense vegetation and mountainous topography and thus suffers from the highest path loss. Terrain B is characterized by hilly terrains with light vegetation densities or flat terrains with moderate tree densities and thus exhibits moderate path loss. Terrain C comprises flat terrains with light vegetation. The SUI path loss model [17,18] is expressed as follows:

$$PL(dB) = 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right)X_f + X_h + sf \text{ for } d > d_0, \quad (16)$$

$$\gamma = a - b_{hb} + \left(\frac{c}{h_b}\right), \quad (17)$$

$$X_f = 6.0 \log\left(\frac{f}{2000}\right). \quad (18)$$

For terrains A and B,

$$X_h = (-10.8) \log\left(\frac{h_r}{2000}\right). \quad (19)$$

$$\text{For terrain C, } X_h = (-20) \log\left(\frac{h_r}{2000}\right). \quad (20)$$

Here, d is the distance between the base station and the receiving antenna (m), $d_0 = 100$ (m), X_f is the correction factor for a frequency above 2 GHz, X_h is the correction factor for the receiving antenna height (m), S is the correction factor for shadowing (dB), and s is a log normally distributed factor to take account of the shadowing due to trees and other clutter (8.2–10.6 dB).

2.1.6. ERICSSON model

The ERICSSON model [19–21] is an extension of the HATA model and is applicable to frequencies up to 1900 MHz. The ERICSSON path loss model can be expressed as

$$PL = a_0 + a_1 \log(d) + a_2 \log(h_b) + a_3 \log(h_b) \log(d) - 3.2(\log(11.75))^2 + g(f), \quad (21)$$

$$g(f) = 44.49 \log(f) - 4.78((\log(f))^2), \quad (22)$$

where f is the frequency and a_0 , a_1 , a_2 , and a_3 are constants subject to environmental variability. The default values given by the ERICSSON model are $a_0 = 36.2$, $a_1 = 30.2$, $a_2 = 12.0$, and $a_3 = 0.1$.

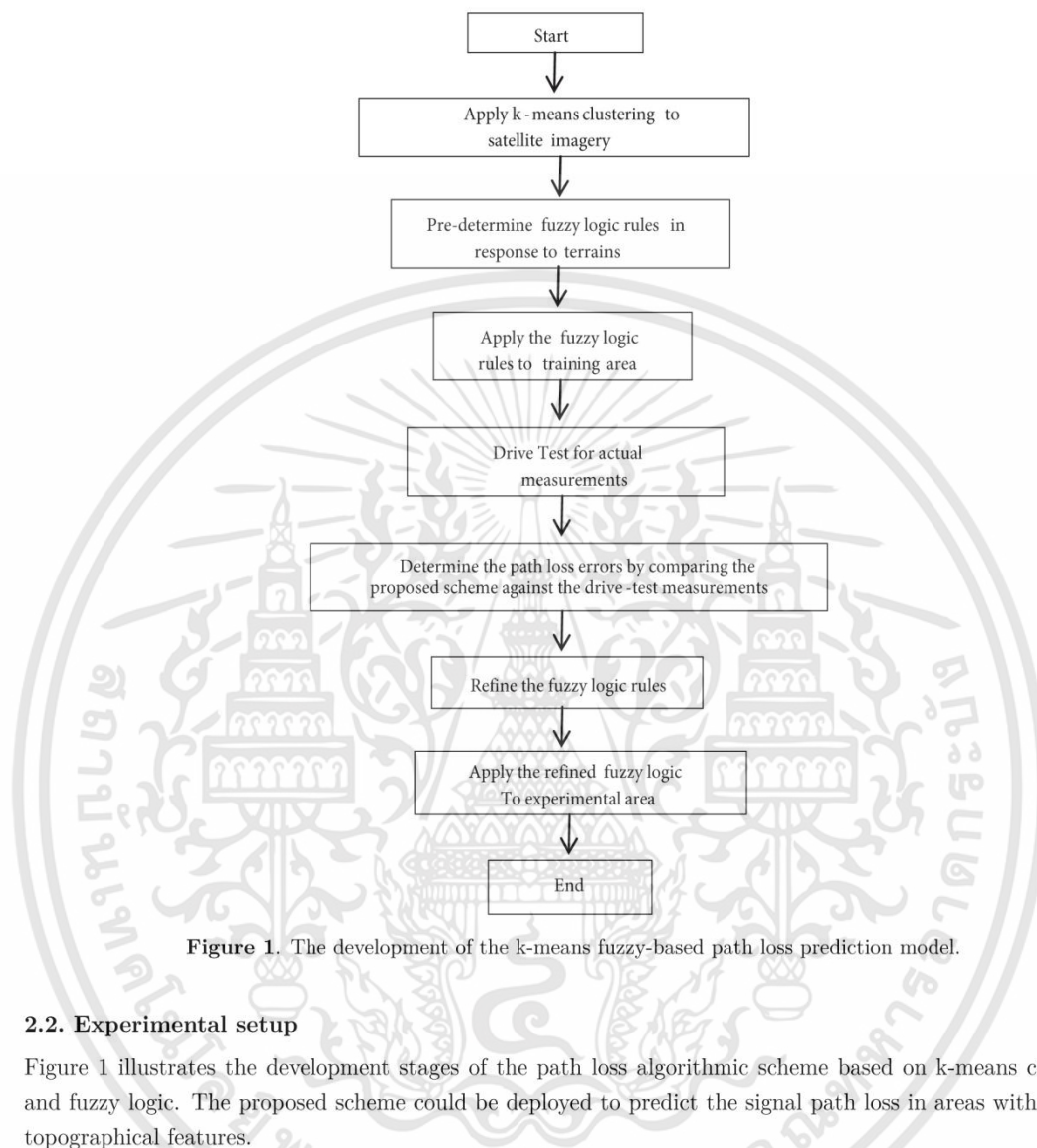


Figure 1. The development of the k-means fuzzy-based path loss prediction model.

2.2. Experimental setup

Figure 1 illustrates the development stages of the path loss algorithmic scheme based on k-means clustering and fuzzy logic. The proposed scheme could be deployed to predict the signal path loss in areas with variable topographical features.

K-means clustering is applied to a satellite image of the fuzzy-scheme training area to discretize the constituent areas into 4 clusters: low-rise and high-rise structures, and dense and light vegetation. The transmitter–receiver distance is determined by location coordinates. The fuzzy rules for fuzzy-scheme training are defined in response to variable combinations of the transmitter–receiver distance and topographical features (i.e. low-rise or high-rise structure, dense or light vegetation).

The predetermined fuzzy rules are applied to the fuzzy-scheme training area to determine the path loss and compared against the drive-test measurements for the path loss error. The predetermined fuzzy rules associated with individual measurement points are the conventional models (FSL, WI, HATA, ECC, SUI, ERICSSON) whose path loss prediction error is smallest when compared against the measured path loss of the corresponding measured point. Fine-tuning is then carried out to refine the fuzzy rules to further minimize the path loss error

prior to reapplying it to the fuzzy-scheme experimental area. The fine-tuning is realized by varying the states (L, M, H) of the input memberships (x_1 , x_2 , x_3) of the fuzzy rules, where L, M, and H denote the low, medium, and high states and x_1 , x_2 , and x_3 respectively represent the distance between the base station and a measured point, vegetation, and manmade structures. To verify the proposed algorithmic scheme, the experimental path loss results are compared against the actual drive-test measurement.

In this research, the area for fuzzy-scheme training datasets (i.e. the fuzzy-scheme training area) is an urban area of Thailand's Nonthaburi Province, around 20 km north of the capital Bangkok. The fuzzy-scheme training area consists of dense and light vegetation and manmade structures of variable heights. The measurements were taken at approximately 1000 measurement points at variable distances from the base station. Figures 2a and 2b respectively illustrate the satellite image of the fuzzy-scheme training area and its k-means clustered image, where the colors of light blue, blue, yellow, and brown-green represent dense vegetation, high-rise structures, low-rise structures, and light vegetation. Table 1 tabulates the parameters of the base station and the receiving device. The path loss prediction (between the base station and measured points) associated with the conventional prediction models (FSL, WI, HATA, ECC, SUI, ERICSSON) was carried out using MATLAB. The k-mean fuzzy scheme was also realized by MATLAB.

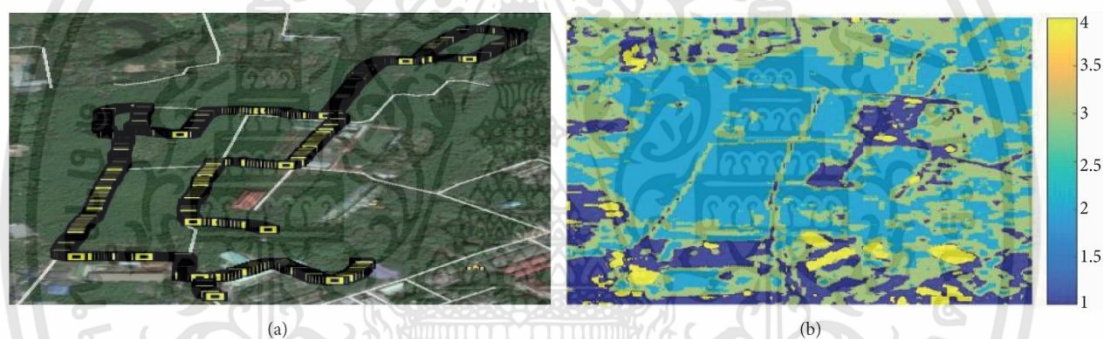


Figure 2. The fuzzy-scheme training area: (a) satellite imagery, (b) k-means clustered image.

Table 1. The parameters of the base station and receiving device.

Parameters	Value
Frequency	2.1 GHz
Antenna height (base station)	30 m
Antenna height (receiving device)	1.5 m
Building height	15 m
Base station antenna type	HBX-6517DS-VTM
Base station antenna gain	19.2 dB
Base station power	33 dBm

The fuzzy logic training inputs are the base station–measurement point distance (x_1) and the proportions between vegetation (x_2) and manmade structures (x_3). In this research, the fuzzy logic is based on the theory of sets rather than the definitive decision of true/false or yes/no [22,23]. The fuzzy logic output is the path

loss models (FSL, HATA, WI, ECC, SUI, and ERICSSON) that are optimal in response to combinations of topographical features and the transmission–receiver distance.

Figure 3 illustrates the fuzzy logic mechanism (*sugeno*) of the proposed algorithmic scheme, where the training inputs are distance, vegetation, and structures and the output is the path loss models. The fuzzy logic limit is defined using the triangular membership function (*trimf*) in MATLAB, where a and c are the lower limit and b is the upper limit ($a < b < c$).

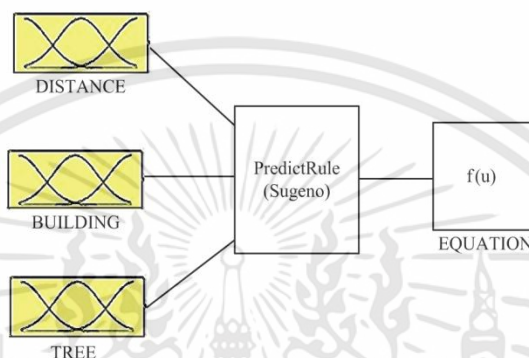


Figure 3. The fuzzy logic mechanism of the proposed algorithmic scheme.

Figures 4a–4d respectively illustrate the fuzzy-logic input functions for distance, vegetation, and manmade structures. In Figure 4a, the distance membership function is $[0\ 400]$, with the low (L), medium (M), and high (H) states of $[0\ 80\ 140]$, $[110\ 190\ 260]$, and $[230\ 330\ 400]$, respectively. The vegetation membership function is $[0\ 100]$, with the L, M, and H states of $[0\ 18\ 35]$, $[28\ 50\ 65]$, and $[58\ 77\ 100]$ (Figure 4b). In Figure 4c, the membership function of manmade structures is $[0\ 100]$, with the L, M, and H states of $[0\ 18\ 35]$, $[28\ 50\ 65]$, and $[58\ 77\ 100]$. Figure 4d illustrates the overview of the fuzzy rules (i.e. 27 rules), where the outputs are Eqs. 1–6, which correspond to the FSL, WI, ECC, HATA, SUI, and ERICSSON models.

Figure 5 depicts, as an example, the fuzzy-logic mechanism that yields the WI path loss model as the output (Eq. (2)), given the low input states (L, L, L) for distance, vegetation, and structures (60, 22, 29). The repetitive fuzzy rules are nevertheless excluded. Figure 6 illustrates the surface view of MATLAB-simulated fuzzy logic given the distance, vegetation, and manmade structures as the inputs and the path loss models (equations) as the output.

Table 2 tabulates the minimums, thresholds, and maximums associated with the low (L), medium (M), and high (H) states of the fuzzy logic inputs: distance, vegetation, and manmade structures.

Table 2. The threshold of input fuzzy logic.

Input	Distance			Vegetation			Structures		
Minimum	0	110	230	0	28	58	0	28	58
Threshold	125	245	-	31.5	61.5	-	31.5	61.5	-
Maximum	140	260	400	35	65	100	35	65	100
States	L	M	H	L	M	H	L	M	H

Figure 7 compares the simulated path loss (dB) using the proposed fuzzy scheme, the actual measurement,

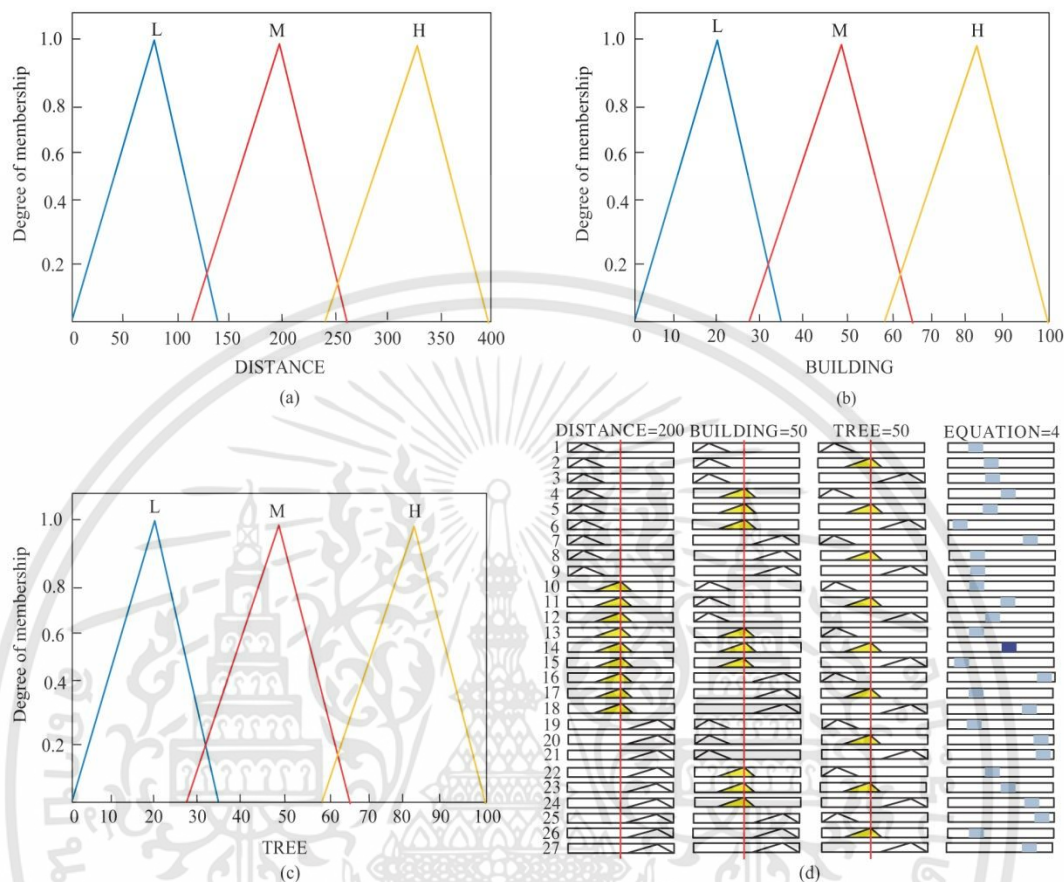


Figure 4. The fuzzy-logic input and output membership functions: (a) distance, (b) manmade structure, (c) vegetation, (d) the fuzzy-logic input-output membership function.

and the conventional techniques (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) at variable measurement points. The path loss under the proposed fuzzy scheme most resembles the actual measurement, as evidenced by the nearly overlapping FUZZY and MEASURE results.

Figure 8 compares the path loss prediction errors under the proposed fuzzy scheme and the conventional path loss models vis-à-vis the actual measurement. The fuzzy scheme yields the lowest error percentage (2.79%), suggesting a mere 2.79% discrepancy between the fuzzy logic-based prediction and the actual measurement.

3. Results and discussion

The refined k-means fuzzy algorithmic scheme was subsequently applied to an experimental area whose topology resembles the fuzzy-scheme training area, consisting of 870 measure points. Figures 9a and 9b respectively depict the satellite image of the fuzzy-scheme experimental area and its k-means clustered image, where the colors of light blue, blue, yellow, and brown-green represent dense vegetation, high-rise structures, low-rise structures, and light vegetation.

To further verify this, a drive test was carried out and the fuzzy-scheme outcomes were compared against

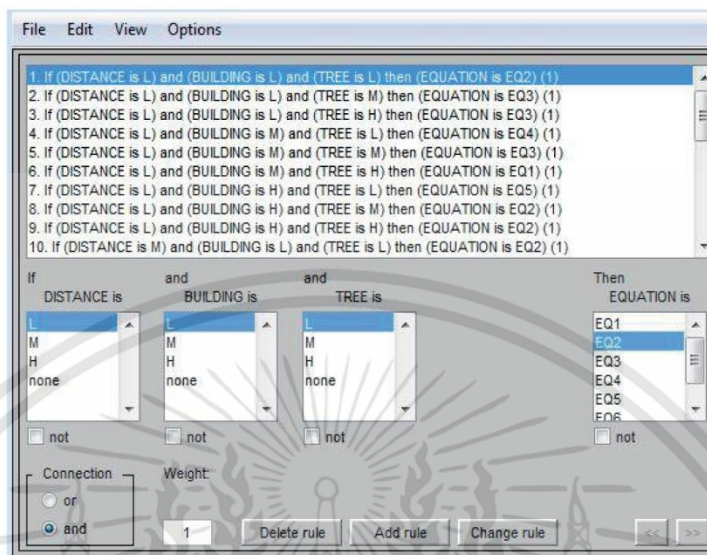


Figure 5. An example of the fuzzy-logic mechanism given the low input states (L, L, L).

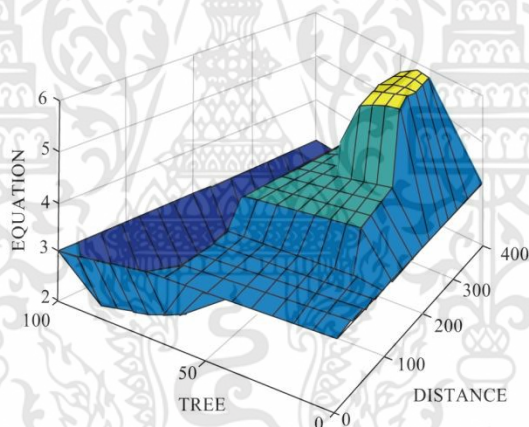


Figure 6. The simulated surface view of fuzzy logic.

the actual measurement and the conventional path loss models (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON). Figure 10 compares the experimental path loss errors under the fuzzy scheme and the conventional path loss models vis-à-vis the actual measurement. The fuzzy scheme yields the lowest error percentage (2.67%), indicating a negligible discrepancy between the fuzzy logic-based predictions and the actual measurement.

Figure 11 illustrates the actual drive-test measurement of the fuzzy-scheme experimental area, which is presented as received signal code power (RSCP) associated with different measure points. The experimental area exhibits good mobile coverage. The actual measurements were compared with the fuzzy-scheme outcomes and the conventional path loss models (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) for the path loss prediction error.

Figure 12 compares the path loss (dB) using the proposed fuzzy scheme, actual measurement, and

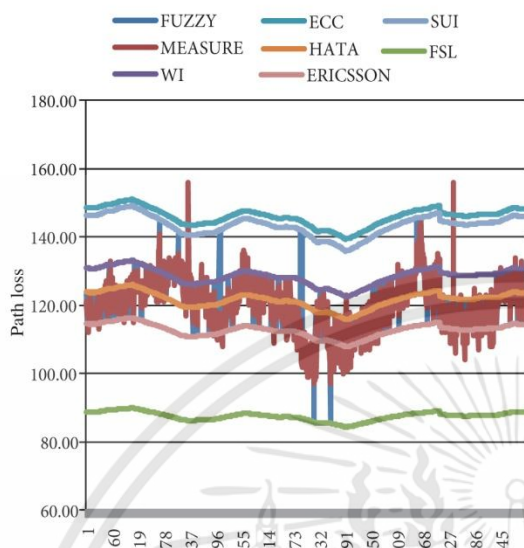


Figure 7. Comparison of the path loss using the proposed algorithmic scheme (fuzzy), drive-test (measure), and conventional methods (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) given the training datasets.

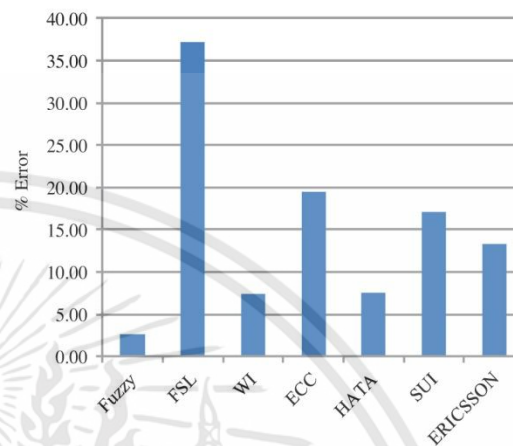


Figure 8. The path loss prediction errors using the proposed algorithmic scheme (fuzzy) and the conventional methods in relation to the actual measurement, given the training datasets.

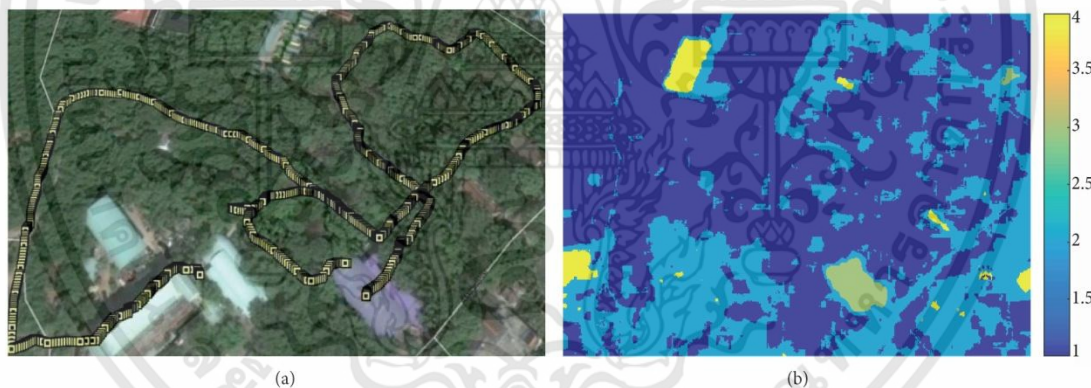


Figure 9. The fuzzy-scheme experimental area: (a) satellite imagery, (b) k-means clustered image.

conventional techniques (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) at variable measure points. By comparison, the path loss under the proposed fuzzy scheme exhibits the lowest path loss prediction error (2.67%) vis-à-vis the actual drive-test measurement.

Table 3 tabulates the prediction error of the conventional path loss models (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) relative to the proposed fuzzy scheme. The comparative results reveal that the proposed fuzzy scheme outperforms the independent deployment of the conventional path loss models (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, or ERICSSON). By comparison, the predictive performance of the WI path loss model is comparable to the proposed fuzzy scheme, followed by the HATA, ERICSSON, SUI, ECC, and FSL models (Table 3).

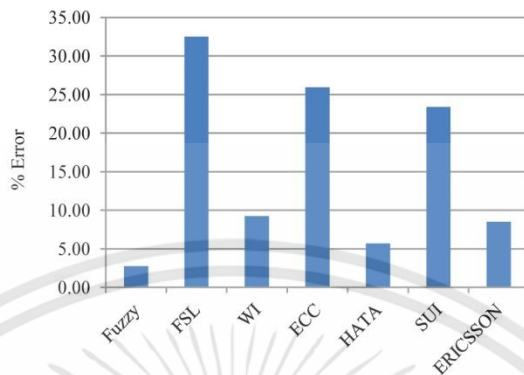


Figure 10. The path loss prediction errors using the proposed algorithmic scheme (fuzzy) and the conventional methods in relation to the actual measurement, given the experimental datasets.

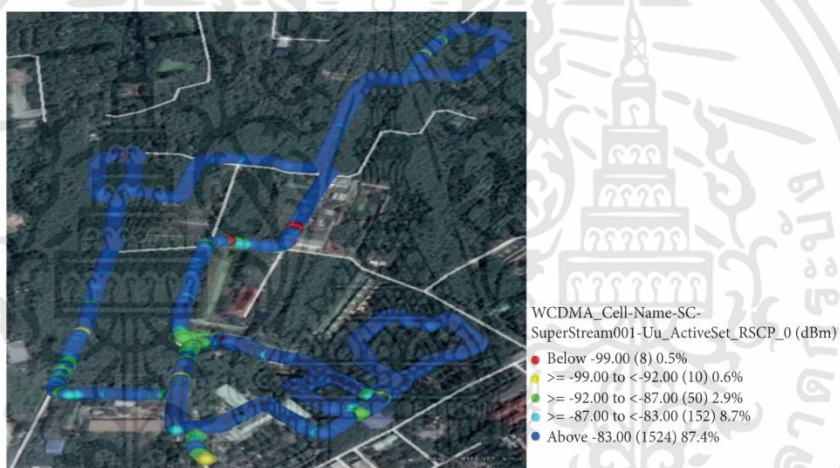


Figure 11. The actual drive-test measurement of the fuzzy-scheme experimental area.

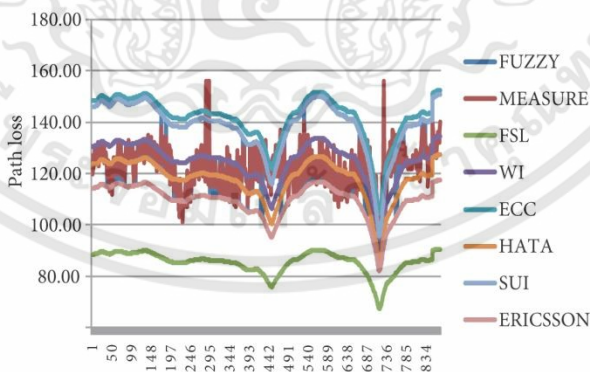


Figure 12. Comparison of the path loss using the algorithmic scheme (fuzzy), drive-test (measure), and conventional methods (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON) given the experimental datasets.

Table 3. The path loss prediction error relative to the proposed fuzzy scheme.

Model	Prediction error against the proposed model (times)
FSL	13.93
WI	2.76
ECC	7.28
HATA	2.83
SUI	6.38
ERICSSON	4.98

Table 4 tabulates the proportions of the path loss models nominated by the proposed fuzzy scheme for the fuzzy-scheme experimental area. By comparison, the HATA prediction model exhibits the highest proportion (34.40%), followed by WI (34.00%), ERICSSON (13.20%), SUI (11.70%), and ECC (6.70%). Given the urbanization of the fuzzy-scheme experimental area, the FSL model is never nominated by the proposed scheme.

Table 4. Proportions of the path loss models nominated by the fuzzy scheme for the experimental area.

Path loss model	Proportion (%)
WI	33.83
ECC	6.88
HATA	34.29
SUI	10.55
ERICSSON	14.45

Table 5 tabulates the topographical characteristics under the conventional path loss prediction models (WI, ECC, HATA, SUI, ERICSSON), where H, M, and L denote the high, medium, and low states. In the table, for example, the WI path loss model is optimal for an area with dense vegetation (H) and moderate manmade structures (M). Meanwhile, the HATA prediction model is appropriate for an area with moderate vegetation (M) and moderate manmade structures (M).

Table 5. Area topography under variable path loss prediction models, where H, M, and L denote the high, medium, and low states.

Path loss model	Topographical characteristics
WI	Vegetation = H, manmade structures = M
ECC	Vegetation = L, manmade structures = L
HATA	Vegetation = M, manmade structures = M
SUI	Vegetation = L, manmade structures = H
ERICSSON	Vegetation = H, manmade structures = L

In contrast, [8] applied a study in urban and suburban areas using multiple path loss prediction models independently and found that the Hata-Okumura model was suitable for the urban area, with the least path loss prediction error as measured by a root mean square error (RMSE) of 15.79. Meanwhile, the ECC-33 model

was applicable to the suburban area with RMSE of 6.9 [6]. However, this research has proposed the k-means fuzzy scheme to mitigate the prediction error inherent in the independent use of a conventional path loss model.

4. Conclusion

This research has proposed an algorithmic scheme based on k-means clustering and fuzzy logic to minimize the path loss prediction error in light of variable area topographical characteristics. The proposed k-means fuzzy scheme utilizes vegetation density, manmade structures, and transmission–receiver distances as the fuzzy inputs, and the conventional path loss models as the output: the FSL, WI, HATA, ECC, SUI, and ERICSSON models. Unlike the current error-prone practice that relies on one single path loss model, the proposed k-means fuzzy scheme simultaneously takes into account the area topographical variability and multiple path loss prediction models to minimize the prediction error. For validation, the proposed scheme is implemented in a fuzzy-scheme experimental area and the results reveal that, given its lowest path loss prediction error (2.67%), the k-means fuzzy scheme is most agreeable with the actual drive-test measurement in comparison with the conventional path loss models (FSL, WI, ECC, HATA, SUI, or ERICSSON). Specifically, the proposed scheme outperforms the independent use of the conventional path loss models. The k-means fuzzy algorithmic scheme could be applied to approximate the path loss and identify an optimal base station location for various operating frequencies (e.g., 900 MHz, 1800 MHz) given variable area topographical characteristics. Future research could test the k-mean fuzzy scheme in areas with different topographical settings to further verify and fine-tune the scheme to minimize the path loss prediction error. Another fuzzy inference system (FIS) could be trialed, in addition to the experimental *sugeno*-type FIS.

References

- [1] Prajesh P, Singh RK. A survey on various propagation models for wireless communication. In: ICACCT 2011 5th IEEE International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies Conference; 25–28 September 2011; Jinan, China. New York, NY, USA: IEEE. pp. 61-64.
- [2] Rani P, Chauhan V, Kumar S, Hharma D. A review on wireless propagation models. International Journal of Innovative Research in Science and Engineering 2014; 3: 256-261.
- [3] Kumar M, Kumar V, Malik S. Performance and analysis of propagation models for predicting RSS for efficient handoff. International Journal of Advance Scientific and Technical Research 2012; 1: 61-70.
- [4] Parmar K, Nimavat VD. Comparative analysis of path loss propagation models in radio communication. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering 2015; 3: 840-844.
- [5] Kutbay U, Ural AB, Hardalac F. Underground electrical profile clustering using K-MEANS algorithm. In: Signal Processing and Communications Applications Conference; 16–19 May 2015; Malatya, Turkey. pp. 561-564.
- [6] Kutbay U, Hardalac F. CT liver tissue segmentation using distance regularized level set evolution based on spatial fuzzy clustering. Ener Educ Sci Tech-A 2012; 29: 715-720.
- [7] Nadir Z, Ahmad M. Path loss determination using Okumura-Hata model and cubic regression for missing data for Oman. In: Proceedings of IMECS Conference; 17–19 March 2010; Hong Kong. pp. 1-4.
- [8] Mollel M, Kisangiri M. Comparison of empirical propagation path loss models for mobile communication. Computer Engineering and Intelligent Systems 2014; 5: 1-10.
- [9] Tahat A, Alqudah Y. Analysis of propagation models at 2.1 GHz for simulation of a live 3G cellular network. In: IEEE 2011 Wireless Advanced Conference; 20–22 June 2011; London, UK. New York, NY, USA: IEEE. pp. 165-169.

- [10] Nadir Z, Elfadhil N, Touati F. Path loss determination using Okumura-Hata model and spline interpolation for missing data for Oman. In: WCE 2008 Proceedings of the World Congress on Engineering Conference; 2-4 July 2008; London, UK. pp. 1-4.
- [11] Joseph I, Konyeha CC. Urban area path loss propagation prediction and optimisation using Hata model at 800 MHz. *J Appl Phys* 2013; 3: 8-18.
- [12] Nisirat MA, Ismail M, Nissirat L, Al-Khawaldeh S. A terrain roughness correction factor for HATA path loss model at 900 MHz. *Prog Electromagn Res* 2012; 22: 11-22.
- [13] Sharma HK, Sahu S, Shama S. Enhanced cost231 W.I. propagation model in wireless network. *International Journal of Computer Applications* 2011; 19: 36-42.
- [14] Sarkar TK, Ji Z, Kim K, Medouri A, Salazar-Palma M. A survey of various propagation models for mobile communication. *IEEE Antenn Propag M* 2003; 45: 51-82.
- [15] Singh Y. Comparison of Okumura Hata and COST-231 models on the basis of path loss and signal strength. *International Journal of Computer Applications* 2012; 59: 37-41.
- [16] Abhayawardhana VS, Wassell IJ, Crosby D, Sellars MP, Brown MG. Comparison of empirical propagation path loss models for fixed wireless access systems. In: *Vehicular Technology Conference*; 30 May-1 June 2005; Stockholm, Sweden. New York, NY, USA: IEEE. pp. 73-77.
- [17] Sharma PK, Singh RK. Comparative analysis of propagation path loss models with field measured data. *International Journal of Engineering Science and Technology* 2010; 2: 2008-2013.
- [18] Mardeni R. Optimised COST-231 Hata models for WiMAX path loss prediction in suburban and open urban environments. *Modern Applied Science* 2010; 4: 75-89.
- [19] Mawjoud SA. Path loss propagation model prediction for GSM network planning. *International Journal of Computer Applications* 2013; 84: 30-33.
- [20] Shebani NM, Mohammed AE, Mosbah MA, Hassan YA. Simulation and analysis of path loss models for WiMax communication system. In: *Third International Conference on Digital Information Processing and Communications*; 30 January-1 Feb 2013; Dubai, United Arab Emirates. pp. 692-703.
- [21] Bahuguna U, Pradhan B. A review on path loss models for suburban using fuzzy Logic. *International Journal of Computer Science* 2014; 4: 74-78.
- [22] Ramesh V, Thangaraj S, Prasad JV. An efficient path loss prediction mechanism in wireless communication network using fuzzy logic. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 2012; 2: 1-6.
- [23] Mathew S, Shylaja K, Jayasri T, Hemalatha M. Path loss prediction in wireless communication system using fuzzy logic. *Indian Journal of Science and Technology* 2014; 7: 642-647.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISMAC 2015

2015 International Symposium on Multimedia and Communication Technology

September 23 – 25, 2015

Classic Kameo Hotel & Serviced Apartments, Ayutthaya, Thailand

Organized by

Research and Development Institute

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

In Association with

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University, Japan

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand

King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand

College of Engineering, University of the Philippines Diliman, Philippines

The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japan

Asia-Pacific Signal and Information Processing Association (APSIPA)

IEEE Thailand Section

Electrical/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology Association (ECTI), Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THA5-1: Wireless Communication Systems II

Studying the prediction path loss in rural by standard macrocell model

Wiyada Bhupuak*, Siraphop Tooprakai and Kobchai Dejhan
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
wi_dokmai@hotmail.com*, siraphop@telecom.kmitl.ac.th, kobchai@telecom.kmitl.ac.th

Abstract:

This paper proposes to study a prediction path loss model compared to measurement of the radio wave propagation in rural area. The mobile network planning tool used for design which area should be installation the base station. The model that use for prediction path loss is the standard macrocell model. The important thing that should be know is the error when prediction. The error of prediction can be optimized to reduce the error if we know the error of prediction. The base station has used in this experimental installed in rural area. It is third-generation mobile network, which uses frequency 2.1 MHz. The error are MAE, RMSE, ESD used for compared between measurement and prediction that can be used to fine-tune the standard macrocell model in next step.

Keywords: prediction; path loss; standard macrocell model;

Studying the prediction path loss in rural by standard macrocell model

Wiyada Bhupuak
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
wi_dokmai@hotmail.com

Siraphop Tooprakai
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
siraphop@telecom.kmitl.ac.th

Kobchai Dejhan
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kobchai@telecom.kmitl.ac.th

Abstract—This paper proposes to study a prediction path loss model compared to measurement of the radio wave propagation in rural area. The mobile network planning tool used for design which area should be installation the base station. The model that use for prediction path loss is the standard macrocell model. The important thing that should be know is the error when prediction. The error of prediction can be optimized to reduce the error if we know the error of prediction. The base station has used in this experimental installed in rural area. It is third-generation mobile network, which uses frequency 2.1 MHz. The error are MAE, RMSE, ESD used for compared between measurement and prediction that can be used to fine-tune the standard macrocell model in next step.

Keywords—prediction; path loss; standard macrocell model;

I. INTRODUCTION

Nowadays, mobile phones are becoming more important in life while landline less popular applications. Therefore, service providers must create and develop mobile network quality. The service provider must be install the base station to cover the service area. The factors that can affect the signal strength is the path loss. The factors that affect the path loss are many such as buildings, mountains, tree and so on. We need to use the radio network planning to find the suitable spot for install the base station. The planning tool is commonly use for planning the installation of the base station and simulates the radio wave propagation by standard macrocell model. The planning tool should be accurate that mean plan to installation the base station properly.

II. STANDARD MACROCELL MODEL

The standard macrocell model [1] general purpose for macrocell that accounts for the different elements of propagation in wireless channel. It also incorporates algorithms for effective base station heights, diffraction loss, and the effects of clutter. The general path loss (PL) equation for the macrocell models as shown in (1) that can be modifying the k-factors to improve the predictive accuracy.

$$PL(\text{dB}) = k_1 + k_2 \log(d) + k_3(H_{ms}) + k_4 \log(H_{ms}) + k_5 \log(H_{eff}) + k_6 \log(H_{eff}) \log(d) + k_7(\text{diffin}) + C_{loss} \quad (1)$$

d is the distance from the base station to the mobile station (km);

H_{ms} is the height of the mobile station above ground (m);

H_{eff} is the effective base station antenna height (m);

diffin is the diffraction loss calculated using either the Epstein-Peterson, Bullington, Deygout or Japanese Atlas knife edge techniques;

k_1 and k_2 are intercept and slope. These factors correspond to a constant offset (in dB) and a multiplying factor for the log of the distance between the base station and mobile;

k_3 is mobile Antenna Height Factor. Correction factor used to take into account the effective mobile antenna height;

k_4 is multiplying factor for H_{ms} ;

k_5 is Effective Antenna Height Gain. This is the multiplying factor for

the log of the effective antenna height;

k_6 is the multiplying factor for $\log(H_{eff}) \log(d)$;

k_7 is the multiplying factor for diffraction loss calculation;

C_{loss} is the clutter specifications taken into account in the calculation process.

III. THE ERROR OF PREDICTION

The model which use for prediction the path loss will be different. The results of prediction error is different varies base on several factors. The critical factor is obstructions such as buildings, trees. The error of prediction can be used to customize the formula to suit different environments.

A. Received Power

The received power [2] can be calculated by using the transmitted power. The simple link budget equation is (2);

$$P_r = P_t + G_t + G_r + L_m + L_e \quad (2)$$

From equation (2) be written as equation (3)

$$P_r = P_t + G - L \quad (3)$$

P_r : Received Power (dBm)
 P_t : Transmitted Power (dBm)
 G_t : Base station transmitter antenna gain (dB)
 G_r : Receiver antenna gain (dB)
 L_m : Media transmission path loss (dB)
 L_c : Total loss caused by cables, hybrid combiners, multicouplers, etc.
 G : Antenna Gains (dBi)
 L : Total Losses (dB)

B. Root Mean Square Error

Root Mean Square Error (RMSE) [3],[4] is used to find the error. The equation for RMSE [5] is obtained as following (4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_m - P_r)^2}{N}} \quad (4)$$

RMSE: Root mean square error
 y_m : Measurement path loss (dB)
 P_r : Predict path loss (dB)
 N : Number of measured data points

C. Mean Absolute Error

The mean absolute error (MAE) is another useful measure widely used in model evaluations while they have both be used to assess model performance [6] on the most appropriate metric for model errors. In statistics, the mean absolute error (MAE) is a quantity used to measure how close forecasts or predictions. The mean absolute error is given by equation (5)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_m - P_r| \quad (5)$$

MAE: Mean absolute error
 P_m : Measurement path loss (dB)
 P_r : Predict path loss (dB)
 N : Number of measured data points

D. Error of standard deviation

The error of standard deviation as shown in equation (6)

$$ESD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (|P_m - P_r| - \text{Mean error})^2}{N}} \quad (6)$$

ESD: Error of standard Deviation
 P_m : Measurement path loss (dB)
 P_r : Predict path loss (dB)
 N : Number of measured data points

IV. EXPERIMENTAL AND RESULTS

A. Experimental

In the experimental, select the base stations testing which is installed in rural areas. The tower height is 35 meters as shown in Fig.1.

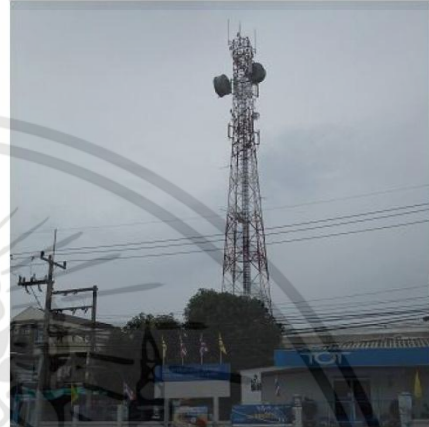


Fig.1 The test base station in rural area

The parameters of the base station or node B such as frequency and antenna parameters as shown in table 1.

TABLE 1 THE PARAMETER OF THE ANTENNA

Parameter	Values
Frequency	2100 MHz.
Node B Transmitter	48 dBm
Node B antenna height	35 m
Node B antenna Type	HBX-6517DS-VTM
Node B antenna Gain	19.2 dB
UE antenna Gain	0 dB
Area	rural

The antenna propagation as shown in Fig.2. The base station plotted indicate the position of the base station and the direction of antenna and number of sector as shown in Fig.3. It consists of three sector.

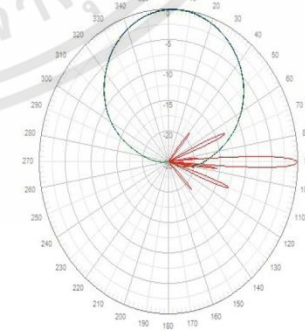


Fig.2 The antenna propagation

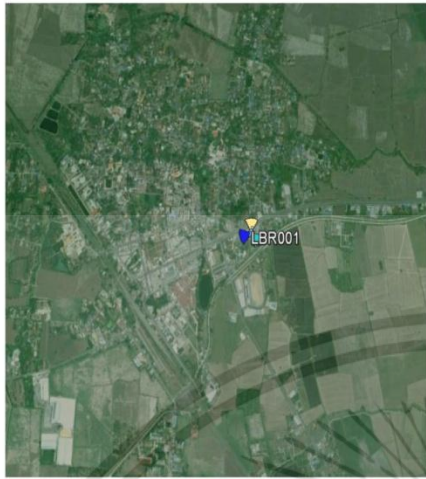


Fig.3 The base station plotted

The planning tool that use standard macrocell model to simulate the radio wave propagation at frequency 2100 MHz. on 3G technology. The signal strength [7] divided into five levels, the blue is the area near the base station has the greatest signal strength and the red area which is most distant from the base station signal is weak as shown in Fig.4.

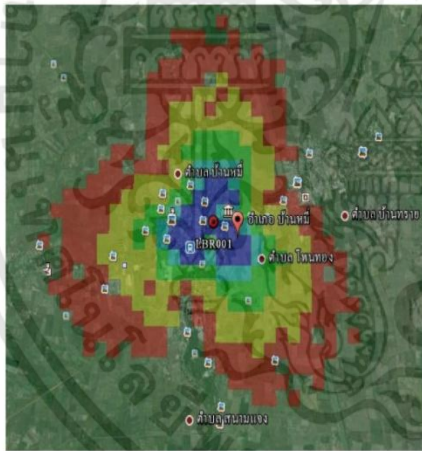


Fig.4 The simulation spread of radio signal

B. Results

The result of the experimental to measure signal strength as shown in Fig. 5. The strength of the signal received from the base station in a different locations surrounding the base station. The signal strength will vary based on the measurement point, the distance between the measurement point to the base station and the obstructions such as buildings or trees which obscured the signal. It is important factor to decrease the received signal strength.



Fig.5 The results of the experimental

The graph as shown in Fig. 6 is the path loss that compared between standard macrocell model and measurement. The path loss by standard macrocell model is a constant slop depending on the distant but path loss by measured value is fluctuating because there are many factors in a real environment as described above.

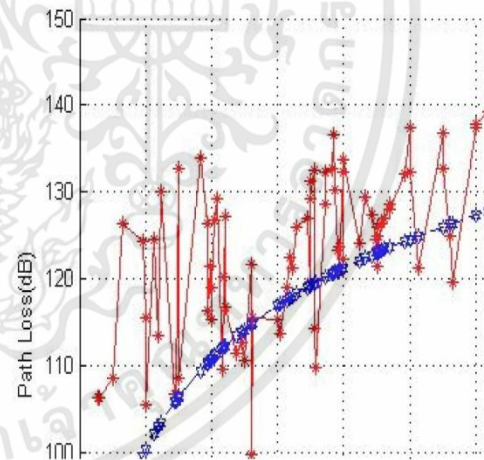


Fig. 6 The path loss by measure and standard macro cell

The graph as shown in Fig. 7 is the received signal by standard macrocell model compared with received signal by measurement. The result of standard macrocell model which relative to the path loss. It is very strong signal when near the base station and very weak signal when far from the base station but the value of the measurement signal at various points is fluctuating depends on many factors.

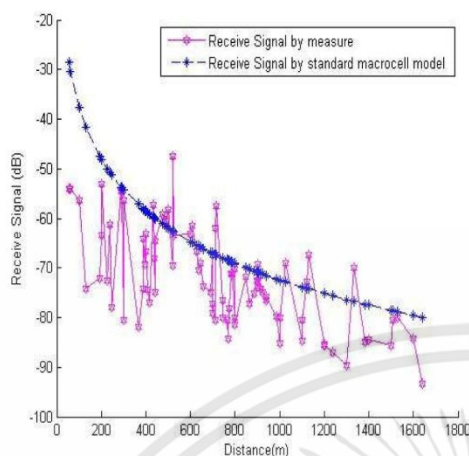


Fig. 7 The received signal

When compared between the path loss by measured radio wave propagation and the standard macrocell as shown in Fig.8. The position which high error path loss prediction are the points that obscured by buildings and tree effect to the radio wave propagation. The low error path loss prediction are points that no buildings or trees.

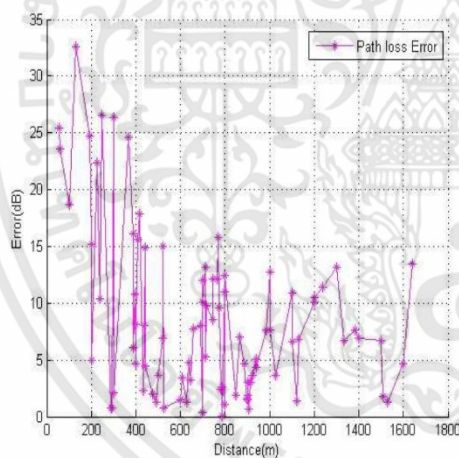


Fig. 8 The error of path loss prediction by standard macrocell

The error of path loss prediction by standard macrocell model as shown in table 2. The mean absolute error (MAE) is 7.10, root mean square error (RMSE) is 11.15 and error standard deviation (ESD) is 11.00

TABLE II ERROR PREDICTION

Model	Error prediction		
	MAE	RMSE	ESD
Standard macrocell model	7.10	11.15	11.00

The error of prediction in the graph as shown in Fig.9. The maximum is root mean square error and the minimum is mean absolute error. These error can be used to optimized the equation of standard macrocell model to accurately predicted the path loss of signal.

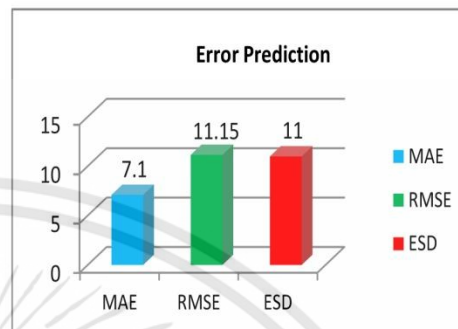


Fig. 9 The error of prediction

IV. CONCLUSION

This experimental shows that the comparison between prediction path loss by the standard macrocell model in rural area and measurement in the real environment. There are differences in some locations which may be caused by factors in the environment that obscured the radio wave propagation. The mean absolute error is 7.1 and the location that minimum error of path loss prediction is 0.1 % at distance 800 meters far from the base station. The standard macrocell model can use to planning, design installation the base station but should adjusted slightly to fit equation to reduce the errors in predicting a value close to the measured value.

REFERENCES

- [1] G. Mousa, Y. Dama, M. Najjar and B. Alsayeh, "Optimizing outdoor propagation model based on measurement for multiple RF cell," *International journal of computer applications*, vol. 60, pp. 5-10, December 2012.
- [2] ASSET, *User Reference Guide Software Version 6.1 Reference Guide Edition 1. V 6.0*.
- [3] C. Dalela, "Propagation path loss modeling for deployed WiMAX network," *International journal of emerging technology and advanced engineering*, vol. 2, Issue 8, pp. 172-176, August 2012.
- [4] L. Akhoondzadeh-Asl, N. Noori, "Modification and Tuning of the Universal Okumura-Hata Model for Radio Wave Propagation Predictions", *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2007 (APMC 2007)*, pp.1-4.
- [5] Z. Nadir, M. Suwailam "Path loss analysis at 900 MHz for outdoor environment", *Proceedings of the 2014 International Conference on communications, signal processing and computers*, pp.192-196. 2014.
- [6] T. Chai, R. R. Draxler "Root mean square error (RMSE) or mean absolute (MAE)-Arguments against avoiding RMSE in the literature," *Geoscientific Model Development*, pp. 1247-1250, 2014.
- [7] R. Timoteo, D. Cunha "A Proposal for path loss prediction in Urban environment using support vector regression," *The tenth advanced international conference on telecommunications*, pp. 119-124, 2014.

Final Program

ECTI-CON 2016

Chiang Mai Thailand, June 28 - July 1 , 2016

13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics
Computer, Telecommunications and Information Technology



Illustrated by Assoc.Prof. Wichit Chomtaveewiroot

Rajamangala University of Technology Lanna
Chiang Mai, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FI-CON 2016, Chiang Mai, Thailand

Final Program

ECTI-CON 2016

2016 13th International Conference on
Electrical Engineering/Electronics, Computer,
Telecommunications and Information Technology

<http://www.ecticon2016.org>

June 28th - July 1st, 2016
at Chiang Mai, Thailand.



June 28th - July 1st, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

A-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2016, Chiang Mai, Thailand

Paper ID 1099

Path loss Comparison in 850 MHz and 1800 MHz Frequency Bands

Wiyada Bhupak
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang Bangkok, Thailand
wi_dokmail@hotmail.com

Siraphop Tooprakai
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang Bangkok, Thailand
siraphop@telecom.kmitl.ac.th

Abstract—Nowadays people widely used mobile phone instead of using landlines phones. This paper proposes to compare the path loss in 850 MHz and 1800 MHz frequency bands by various path loss models. The path loss under terms of the transmitter height and the receiver height. The well known path loss model such as Walfisch-Ikegami (WI), SUI and Ericsson model used to simulate path loss by MATLAB. The results shown that when the longest distance WI model has the most path loss at the receiving antenna height is 1 and 5 meters. The path loss in the frequency bands 1800 MHz is greater than the path loss in the frequency bands 850 MHz under the same conditions. The path loss can be use to determine where to install the mobile base station with high quality. That means at the same distance if using the frequency band 1800 MHz for mobile network in the same technology will require to install the mobiles base station more than using frequency band 800 MHz.

Keywords—Path Loss; Walfisch-Ikegami; Frequency Bands

June 28th - July 1st, 2016 – RMUTL, Chiang Mai, Thailand

D-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Path loss Comparison in 850 MHz and 1800 MHz Frequency bands

Wiyada Bhupak
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
wi_dokmail@hotmail.com

Siraphop Tooprakai.
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
siraphop@telecom.kmitl.ac.th

Abstract— Nowadays people widely used mobile phone instead of using landlines phones. This paper proposes to compare the path loss in 850 MHz and 1800 MHz frequency bands by various path loss models. The path loss under terms of the transmitter height and the receiver height. The well known path loss model such as Walfisch-Ikegami (WI), SUI and Ericsson model used to simulate path loss by MATLAB. The results shown that when the longest distance WI model has the most path loss at the receiving antenna height is 1 and 5 meters. The path loss in the frequency bands 1800 MHz is greater than the path loss in the frequency bands 850 MHz under the same conditions. The path loss can be use to determine where to install the mobile base station with high quality. That means at the same distance if using the frequency band 1800 MHz for mobile network in the same technology will require to install the mobiles base station more than using frequency band 800 MHz.

Keywords— Propagation model; Path loss; Frequency Bands

I. INTRODUCTION

Currently the wireless communication technologies play a huge role in the daily life. The people can communicate with each other face to face talk and financial transactions from mobile phone through online banking. The preliminary base stations installation planning is required from the service provider to be able to use it well worth the investment. How many base stations in an area, the distance between the base stations should be and how it would be appropriate to use it effectively. The path loss is important to consider for network planning. It will vary according to the criteria such as frequency of use, the distance between the transmitter and receiver, the height of the transmitter and the height of the receiver. Despite the path loss model is the major component, we will focus on the Walfisch-Ikegami (WI) [1], SUI [2] and Ericsson [3] model in this paper. In fact, these models are suitable for the use in 850 MHz and 1800 MHz frequency bands.

II. PROPAGATION PREDICTION MODEL

A. COST231 Walfisch-Ikegami

The COST231 Walfisch-Ikegami model is an interesting model [4]. This empirical model is a combination of the

models from J. Walfisch-Bertoni and Ikegami. The loss factor for this model such as the height of the base station antenna and mobile antenna, width of the road. It is now called Empirical COST-Walfisch-Ikegami Model [5], [6]. The frequency ranges are from 800 MHz to 2 GHz. The path loss equation as in (1)-(9).

$$L(\text{dB}) = L_0 + L_{rts} + L_{msd} \quad (1)$$

Where L_0 = free-space loss
 L_{rts} = rooftop to street diffraction and scatter loss
 L_{msd} = multi screen loss diffraction loss due to the rows of building.
Free space loss is given as

$$L_0 = 32.4 + 20\log d + 20\log f \quad (2)$$

The rooftop to street diffraction and scatter loss are given as followed:

$$L_{rts} = -16.9 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(h_{\text{roof}} - h_m) + L_{Ori} \quad (3)$$

$$L_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0.345 \frac{\varphi}{\text{deg}} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 55 \right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (4)$$

For w = width of the roads

Where L_{Ori} = Orientation loss

φ = is the angle between incident wave and street oriented

The multi screen loss is given as:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(fc) + 9\log(b) \quad (5)$$

Where b The distance between buildings.

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18\text{Log}[1 + (h_b - h_{\text{roof}})] & \text{for } h_b > h_{\text{roof}} \\ 0 & \text{for } h_b \leq h_{\text{roof}} \end{cases} \quad (6)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_b > h_{\text{roof}} \\ 54 + 0.8(h_b - h_{\text{roof}}) & d > 0.5 \text{ Km and } h_b \leq h_{\text{roof}} \\ 54 + 0.8(h_b - h_{\text{roof}})^d \frac{d}{0.5} & d < 0.5 \text{ Km and } h_b \leq h_{\text{roof}} \end{cases} \quad (7)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_b > h_{\text{roof}} \\ 18 - 15 \frac{(h_b - h_{\text{roof}})}{h_{\text{roof}}} & h_b \leq h_{\text{roof}} \end{cases} \quad (8)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f_{\text{MHz}}}{925} - 1 \right) & \text{mediumcity and suburban} \\ 1.5 \left(\frac{f_{\text{MHz}}}{925} - 1 \right) & \text{metropolitan area} \end{cases} \quad (9)$$

This model is restricted to the following range of parameters: frequency range of this model is 800 to 2000 MHz [7],[8] and the base station height is 4 to 50 m and mobile station height is 1 to 3 m, and distance between base station and mobile station (d) is 0.02 to 5 Km. The parameters definition is illustrated in Fig.1.

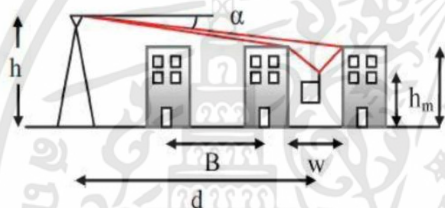


Fig. 1 Walfisch-Ikegami model parameter.

III. EXPERIMENT AND RESULTS

In this paper, MATLAB is used for the path loss simulation. The parameters of the Walfisch-Ikegami model are defined in the first process and the path loss comparison is done between 850 and 1800 MHz on the same condition. The data as shown in Table. I. are the path loss results of transmitter height 15 m, receiver height 1 m and 3 m.

TABLE I. PATH LOSS (TRANSMITTER HEIGHT 15 M)

Distance (m.)	Path loss (850 MHz)		Path loss (1800 MHz)	
	Receiver Height		Receiver Height	
	1 m	3 m	1 m	3 m
500	83.8	81.6	97.2	95.0
1000	95.2	93.0	108.7	106.5
1500	101.9	99.7	115.4	113.2
2000	106.7	104.5	120.1	117.9
2500	110.39	108.2	123.8	121.6
3000	113.4	111.2	126.8	124.6
3500	115.9	113.7	129.3	127.2
4000	118.1	115.9	131.5	129.4
4500	120.0	117.9	133.5	131.3
5000	121.8	119.6	135.2	133.0

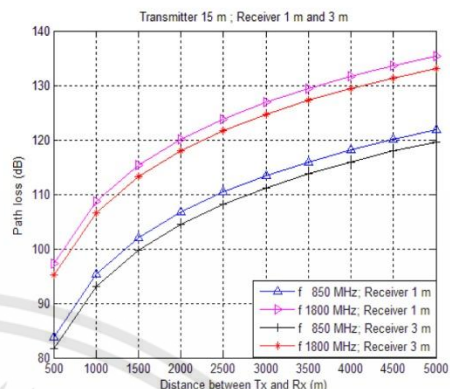


Fig. 2 The path loss (850,1800 MHz) transmitter 15 m; receiver 1,3 m

Fig. 2 illustrates the path loss in a different distance of the transmitter height 15 m. It can be seen that when the distance increases path loss will increase also. The path loss in 1800 MHz is higher than 850 MHz at the same conditions.

The data as shown in Table. II. are the path loss results of transmitter height 25 m, receiver height 1 m and 3 m.

TABLE II. PATH LOSS (TRANSMITTER HEIGHT 25 M)

Distance (m.)	Path loss (850 MHz)		Path loss (1800 MHz)	
	Receiver Height		Receiver Height	
	1 m	3 m	1 m	3 m
500	76.1	73.9	89.6	87.4
1000	87.6	85.4	101.0	98.8
1500	94.2	92.1	107.7	105.5
2000	99.4	96.8	112.4	110.3
2500	102.7	100.5	116.1	113.9
3000	105.7	103.5	119.1	116.9
3500	108.2	106.0	121.7	119.5
4000	110.4	108.2	123.9	121.7
4500	112.4	110.2	125.8	123.6
5000	114.1	111.9	127.6	125.4

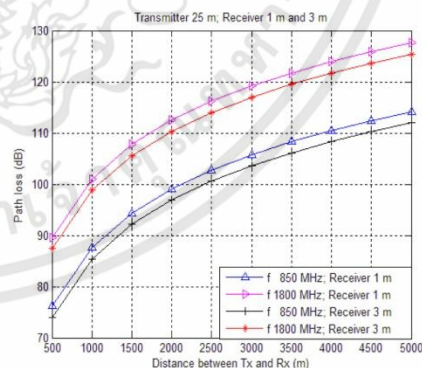


Fig. 3 The path loss (850,1800 MHz) transmitter 25 m ; receiver 1,3 m

Fig. 3 illustrates the path loss in a different distance of the transmitter height 15 m. The path loss at 1800 MHz is higher than 850 MHz at the same conditions but it is lower than path loss of transmitter height 15 m.

The data as shown in Table. III. are the path loss results of transmitter height 40 m, receiver height 1 m and 3 m.

TABLE III. PATH LOSS (TRANSMITTER HEIGHT 40 M)

Distance (m.)	Path loss (850 MHz)		Path loss (1800 MHz)	
	Receiver Height		Receiver Height	
	1 m	3 m	1 m	3 m
500	70.9	68.8	84.4	82.2
1000	82.4	80.2	95.8	93.6
1500	89.1	86.9	102.5	100.3
2000	93.8	91.6	107.3	105.1
2500	97.5	95.3	111	108.8
3000	100.5	98.3	114	111.8
3500	103.1	100.9	116.5	114.3
4000	105.3	103.1	118.7	116.5
4500	107.2	105.0	120.7	118.5
5000	108.9	106.8	122.4	120.2

Fig. 4 illustrates the path loss in a different distance of the transmitter height 40 m. The path loss in 1800 MHz is higher than 850 MHz at the same conditions but it is lower than path loss of transmitter height 15 m and 25 m.

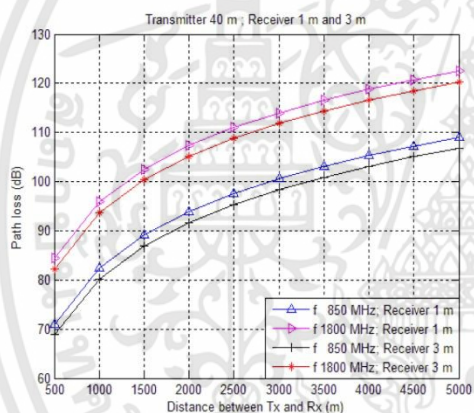


Fig.4 Path loss (850 MHz, 1800 MHz) transmitter 40 m ; receiver 1,3 m

Fig. 5 illustrates the maximum path loss of the receiver height 1 m and the transmitter height 15 m, 25 m, 40 m. The maximum path loss is 135.2 dB at distance 5000 m in 1800 MHz and the transmitter height 15 m.

Fig. 6 illustrates the maximum path loss of the receiver height 3 m and the transmitter height 15 m, 25 m, 40 m. The maximum path loss is 133 dB at distance 5000 m in 1800 MHz and the transmitter height 15 m.

Fig. 7 illustrates the minimum path loss of the receiver height 1 m and the transmitter height 15 m, 25 m, 40 m. The minimum path loss is 70.9 dB at distance 500 m in 850 MHz and the transmitter height 40 m.

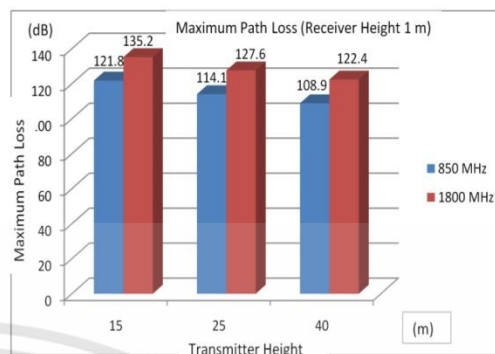


Fig. 5 The maximum path loss (Receiver height 1 m)

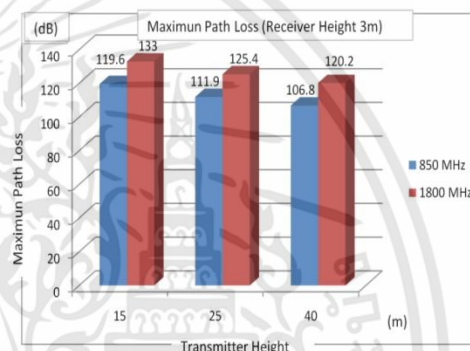


Fig. 6 The maximum path loss (Receiver height 3 m)

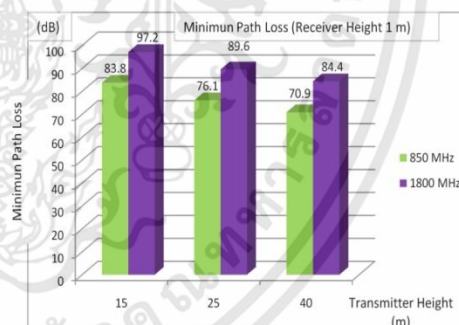


Fig. 7 The minimum path loss (Receiver height 1 m)

Fig. 8 illustrates the minimum path loss of the receiver height 3 m and the transmitter height 15 m, 25 m, 40 m. The lowest path loss is 68.8 dB at distance 500 m in 850 MHz and the transmitter height 40 m.

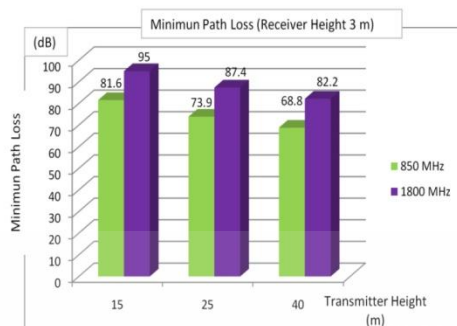


Fig. 8 The minimum path loss (Receiver height 3 m)

The data as shown in Table. IV. are the path loss comparison results of the transmitter height 15 m, 25 m and 40 m, the receiver height 1 m and 3 m. The average difference path loss between path loss in 850 MHz and 1800 MHz and the percentage of the difference path loss between path loss in 850 MHz and 1800 MHz.

TABLE IV. PATH LOSS COMPARISON (850 MHz AND 1800 MHz)

Transmitter Height (m.)	Path Loss Comparison (850 MHz, 1800 MHz)			
	Receiver Height 1 m		Receiver Height 3 m	
	Avg. Diff PL (dB)	Diff PL (%)	Avg. Diff PL (dB)	Diff PL (%)
15	13.43	12.51	13.44	12.78
25	13.41	13.46	13.45	13.82
40	13.46	14.27	13.44	14.59

Fig. 9 illustrates path loss comparison in 850 MHz and 1800 MHz frequency bands. The highest average different path loss is 13.46 dB at the transmitter height 40 m and the receiver height 1 m. The lowest average different path loss is 13.41 dB at the transmitter height 25 m and the receiver height 1 m.



Fig. 9 The average different path in 850 MHz and 1800 MHz



Fig. 10 The percentage different path loss in 850 MHz and 1800 MHz

Fig. 10 illustrates the lowest percentage different path loss is 12.51 % at the transmitter height 15 m and the receiver height 1 m. The lowest percentage different path loss is 14.59 % at the transmitter height 40 m and the receiver height 3 m.

IV. CONCLUSION

The heightening transmitter will reduce path loss similarly the receiver. The comparison path loss between frequency bands 850 MHz and 1800 MHz at the same distance and the height of the antenna. The results conclude that the path loss in 1800 MHz is greater than path loss in 850 MHz all the same conditions. Therefore, using 850 MHz frequency bands in communications will be cost-saving cost comparing to the 1800 MHz frequency bands. The 850 MHz frequency band is suitable for supplement the coverage in the long distance of mobile network.

REFERENCES

- [1] T. Ashraf, T. Mohammad, "Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Propagation Model Using Particle Swarm Optimization," Communication and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), pp. 1-6, 2012.
- [2] P. Supachai, P. Pisit, "Comparison between Xia and Walfisch-Ikegami Models for Low-Rise Building Path Loss Prediction," IEEE Region 10 conference (TENCON), pp. 889-892, 2010.
- [3] M. Allam, D. Yousef, N. Mahmoud, A. Bashar, "Optimizing Outdoor Propagation Model based on Measurements for multiple RF Cell," International Journal of Computer Applications, pp. 5-10, 2012.
- [4] J. Slawomir, K. Ryszard, "Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Model for the Unotypical Environment," The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp. 208-2091, 2014.
- [5] M. Farhad, "Mobile radio propagation path loss simulation for two districts of different buildings structures in Mosul-city," International Conference on Energy, Power and control (EPC-IQ), pp. 273-277, 2010.
- [6] A. Dayanand, K. Deepak, P. Tejas, B.K.Landy, R.D.Daruwala, S. Ankit, "Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Model in Urban and Suburban Environments," Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation, pp. 538-543, 2010.
- [7] A. Yazan, "On the Performance of Cost 231 Walfisch Ikegami Model in deployed," Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), pp. 524-527, 2013.
- [8] T. Ashraf, A. Yazan, "Analysis of Propagation Models at 2.1 GHz for Simulation of a Live 3G Cellular Network," Wireless Advanced (WiAd), pp. 164-169, 2011.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางวิยะดา ภูพวก
 ประวัติการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี
 สาขาไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
 2546 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สาขาวิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน
 พ.ศ.2535-2536 ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต บริษัท สามารถแซทคอม จำกัด
 พ.ศ.2536-ปัจจุบัน บริษัท ทีโอที จำกัดมหาชน
 ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 7
 สังกัดส่วนพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่