



การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบผสมโดยใช้วิธีนิวโรฟัซซี่สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ต่างกัน  
HYBRID HANDOVER DECISION USING NEURO-FUZZY LOGIC APPROACH FOR  
HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

สุวิรยา ทองเทพ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

การตัดสินใจแชนด์โอเวอร์แบบผสมโดยใช้วิธีนิวโรฟuzzy สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ต่างกัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

HYBRID HANDOVER DECISION USING NEURO-FUZZY LOGIC APPROACH FOR  
HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS



SUVIRAYA THONGTHEP

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of MASTER OF ENGINEERING  
(Electrical Engineering)

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบผสมโดยใช้วิธีนิวโรฟัซซีสำหรับเครือข่ายไร้สายที่ต่างกัน

ของ

สุวิรยา ทองเทพ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์)

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจิต)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทีฆพันธ์ เจริญพงษ์)

ชื่อเรื่อง	การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบผสมโดยใช้วิธีนิวโรฟuzzy สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ต่างกัน
ผู้วิจัย	สุวิรยา ทองเทพ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิศา คุณารักษ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แนวตั้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในยุคมที่ 5 โดยใช้วิธีนิวโรฟuzzy ที่เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและฟuzzy logic ของเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด ได้แก่ โมบายไวแมกซ์ 4G LTE และแอลทีอีเอ นอกจากนี้ยังกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ของเครือข่ายไร้สาย เช่น ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความเร็วของผู้ให้บริการ และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ เพื่อเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบวิธีนิวโรฟuzzy โดยทำการจำลองโครงสร้างของนิวโรฟuzzy ซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้จากพารามิเตอร์ข้างต้น เงื่อนไขของการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์คือ ค่าเทรชโฮลด์ และเวลาพักรอ ซึ่งเป็นการป้องกันคุณภาพของการเชื่อมต่อและช่วยลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อให้ผู้ใช้พึงพอใจกับคุณภาพของการให้บริการ ลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์และจำนวนการเรียกติดขัด ผลการวิจัยพบว่าวิธีนิวโรฟuzzy มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฟuzzy logic และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยทำการแสดงผลในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์และจำนวนการเรียกติดขัดโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 38 และร้อยละ 26 เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และลดลงร้อยละ 59 และร้อยละ 36 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฟuzzy logic ตามลำดับ

คำสำคัญ : เวลาพักรอ, เครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน, นิวโรฟuzzy, คุณภาพของการให้บริการ, แฮนด์โอเวอร์

Title	HYBRID HANDOVER DECISION USING NEURO-FUZZY LOGIC APPROACH FOR HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS
Author	SUVIRAYA THONGTHEP
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sunisa Kunarak

This research is concerned with the vertical handover, which is a significant process in the fifth generation (5G), using neuro-fuzzy logic that works between artificial neural network and fuzzy logic of heterogeneous wireless networks. There are three categories: Wireless Local Area Network (WLAN), Long Term Evolution-Advanced (LTE-A), and Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mobile WiMAX). In addition, determining the parameters affecting the handover decision of wireless communication, such as received signal strength (RSS), mobile speed, and bandwidth to enter the handover decision process of neuro-fuzzy and the simulation of a structure and used the data measured from parameters. The conditions of handover decisions, threshold value and dwell time that prevent connection quality and unnecessary handover, leading to decreased visitor satisfaction with the quality of service (QoS) and reduced the number of handovers and blocked calls. The research results found that the neuro-fuzzy algorithm has better performance when compared with fuzzy logic and back-propagation neural network methods. Consequently, the neuro-fuzzy illustrates the number of handovers and the number of blocked calls on average decreased by 38% and 26%, when compared with the back-propagation neural networks and decreased by 59% and 36%, when compared with the fuzzy logic method, respectively.

Keyword : Dwell time, Heterogeneous wireless networks, Neuro-fuzzy, Quality of service, Handover

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ ผศ.ดร. สุนิศา คุณารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ซึ่งให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการวิจัย ทั้งยังช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเมตตาเสมอมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ในท้ายที่สุดขอกราบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รัก คนรอบตัวที่ให้คำปรึกษาและคอยรับฟังในเรื่องต่างๆเสมอ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา



สุวิรยา ทองเทพ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทบทวนวรรณกรรม .....	4
2.2 สถาปัตยกรรมเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ .....	6
2.3 การนำเทคโนโลยี 5G มาประยุกต์ใช้ .....	8
2.3.1 อุตสาหกรรม (Industry) .....	9
2.3.2 บ้านอัจฉริยะ (Smart Home) .....	9
2.3.3 การผลิตทางการเกษตร (Agricultural Production) .....	9
2.3.4 สาธารณสุข (Healthcare) .....	9
2.3.5 การคมนาคมขนส่ง (Transportation) .....	10
2.4 เทคโนโลยีใหม่สำหรับ 5G .....	11



2.4.1 Massive MIMO.....	11
2.4.2 Software-Defined Networking .....	11
2.4.3 mm-Wave.....	11
2.5 IEEE 802.11 (Wireless LAN).....	12
2.6 LTE Advance (LTE-A) .....	12
2.7 Mobile WiMAX.....	13
2.8 นิวโรฟัซซี่ (Neuro-Fuzzy).....	13
2.8.1 ระบบอนุมานฟัซซี่ (Fuzzy Inference System: FIS).....	13
2.8.2 ระบบอนุมานฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) .....	14
2.8.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function).....	16
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Network).....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	20
3.2 การออกแบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 5 .....	21
3.3 ค่าอินพุต.....	21
3.3.1 ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS).....	21
3.3.2 อินพุตของแต่ละเครือข่ายไร้สาย.....	23
3.3.3 การแบ่งค่าอินพุตออกเป็นแต่ละช่วง .....	24
3.4 ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้.....	28
4.2 การจำลองผู้ใช้.....	28

4.2.1 จำนวน 100 คน .....	28
4.2.2 จำนวน 300 คน .....	29
4.2.3 จำนวน 700 คน .....	29
4.2.4 จำนวน 1500 คน .....	30
4.2.5 จำนวน 3100 คน .....	30
4.3 การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้วยวิธีนิวโรฟuzzy .....	30
4.3.1 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด .....	31
4.3.2 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ .....	31
4.3.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์ .....	32
4.3.4 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ .....	33
4.3.5 ค่าแบนด์วิดท์ .....	33
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟuzzy .....	34
4.4.1 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ .....	34
4.4.2 จำนวนการเรียกติดขัด .....	35
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ .....	36
5.1 สรุปผล .....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	38
บรรณานุกรม .....	39
ประวัติผู้เขียน .....	42

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณสมบัติของการสื่อสารไร้สาย.....	8
ตาราง 2 อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่งที่มีการใช้งาน.....	10
ตาราง 3 คุณลักษณะของเครือข่ายไร้สาย.....	23
ตาราง 4 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด.....	24
ตาราง 5 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์.....	24
ตาราง 6 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ.....	24
ตาราง 7 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ.....	24
ตาราง 8 ค่าแบนด์วิดท์.....	24
ตาราง 9 การแสดงผลของวิธีนิวโรฟิชชี.....	36
ตาราง 10 การแสดงผลของวิธีฟิชชีลอจิก.....	37
ตาราง 11 การแสดงผลของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพรย่อนกลับ.....	37
ตาราง 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟิชชีและวิธีฟิชชีลอจิก.....	37
ตาราง 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟิชชีและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพรย่อนกลับ.....	37

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 วิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย .....	7
ภาพประกอบ 2 บล็อกไดอะแกรมของระบบอนุमानพีซี (FIS) .....	13
ภาพประกอบ 3 สถาปัตยกรรมของระบบอนุमानพีซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) .....	15
ภาพประกอบ 4 แผนผังโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ .....	17
ภาพประกอบ 5 แผนผังของการแพร่กระจายไปด้านหน้าเพื่อคำนวณเอาต์พุต .....	18
ภาพประกอบ 6 แผนผังของการแพร่กระจายแบบย้อนกลับเพื่อคำนวณข้อผิดพลาด.....	19
ภาพประกอบ 7 กรอบแนวความคิดในงานวิจัย.....	20
ภาพประกอบ 8 โครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 5 .....	21
ภาพประกอบ 9(a) ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ .....	25
ภาพประกอบ 10(b) ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ .....	26
ภาพประกอบ 11 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 100 คน.....	28
ภาพประกอบ 12 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 300 คน.....	29
ภาพประกอบ 13 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 700 คน.....	29
ภาพประกอบ 14 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 1500 คน.....	30
ภาพประกอบ 15 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 3100 คน.....	30
ภาพประกอบ 16 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด์ .....	31
ภาพประกอบ 17 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ .....	31
ภาพประกอบ 18 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์.....	32
ภาพประกอบ 19 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ.....	33
ภาพประกอบ 20 ค่าแบนด์วิดท์.....	33
ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ .....	34

ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบจำนวนการเรียกติดขัด ..... 35



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมนั้นได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงยุคที่ 5 โดยการสื่อสารเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศชาติ ส่งผลให้เกิดความเจริญก้าวหน้าในด้านสังคม เศรษฐกิจ การเมือง และวัฒนธรรม ซึ่งนำไปสู่การเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว แนวโน้มการใช้งานของระบบสื่อสารไร้สายในปัจจุบันมีปริมาณการใช้งานของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีใหม่เพื่อรองรับความต้องการที่มากขึ้น ส่งผลให้มีการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้บริการที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น แต่เนื่องจากการมีช่องสัญญาณและความครอบคลุมของเครือข่ายที่จำกัด ทำให้เกิดการเรียกขาดหาย (Dropped Call) หรือการเรียกติดขัด (Blocked Call) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่าย กล่าวคือเมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนที่จากสถานีฐานที่กำลังใช้งานอยู่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจะรับสัญญาณได้น้อยลงหรือตรวจไม่พบสัญญาณเลย ในขณะที่ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานที่อยู่ในระยะการใช้งานจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการเปลี่ยนช่องสัญญาณจึงมีความสำคัญในระบบการสื่อสาร เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับการบริการที่มีความต่อเนื่องและมีคุณภาพที่น่าพอใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณก่อนที่สัญญาณจะหลุดไป ซึ่งกระบวนการข้างต้นนี้ เรียกว่า การแฮนด์โอเวอร์ (Handover) โดยการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายชนิดเดียวกัน เรียกว่า การตัดสลับใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวนอน (Horizontal Handover) ในทางกลับกันถ้าเป็นเครือข่ายต่างชนิดกัน เรียกว่า การตัดสลับใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้ง (Vertical Handover) ซึ่งเป็นการตัดสลับใจที่งานวิจัยของเราใช้ โดยการเข้าใช้งานเครือข่ายบางครั้งอาจพบปัญหา Ping-Pong Handover Effect ที่เป็นการแฮนด์โอเวอร์ไปข้างหน้าและย้อนกลับระหว่าง 2 จุดเข้าใช้งานที่ใกล้เคียงซ้ำๆ จนกระทั่งเชื่อมต่อกับสถานีฐานที่ต้องการสำเร็จ ซึ่งเป็นการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็นและส่งผลต่อคุณภาพการเชื่อมต่อ กรณีตัวอย่างที่ทำให้เกิดปัญหา ได้แก่ การเปลี่ยนโซนการให้บริการ เป็นการที่ผู้ใช้อยู่ในพื้นที่ให้บริการที่มีสัญญาณไม่แข็งแรงหรือมีสัญญาณรบกวนสูง ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนเครือข่ายบ่อยๆ เพื่อค้นหาสัญญาณที่ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ตในรถยนต์ระหว่างการเดินทางบนท้องถนน ดังนั้น จึงมีการแก้ปัญหาจากเหตุการณ์ข้างต้นโดยนำเวลาพักรอ (Dwell Time) และค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) มาเป็นเงื่อนไขการตัดสลับใจก่อนที่เครือข่ายจะเข้าสู่กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ เพื่อเป็นการลดภาระก่อนเข้าสู่กระบวนการหลัก ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาการเกิด Ping-Pong Handover Effect ได้

จากที่เหตุการณ์ที่กล่าวไปข้างต้นนี้ ทำให้เกิดการพิจารณาสนใจผู้ใช้ที่อยู่ในช่วงทับซ้อน (Overlap) เป็นหลัก ซึ่งเป็นช่วงที่มีความคลุมเครือและทับซ้อน งานวิจัยนี้จึงได้เสนอการตัดสินใจ แสนด์โอเวอร์แบบผสมโดยใช้วิธีนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) สำหรับเครือข่ายไร้สายในอนาคต โดย นำปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจ แสนด์โอเวอร์มาเข้าสู่กระบวนการที่นำเสนอขึ้นเพื่อลด จำนวนการแสนด์โอเวอร์ (Number of Handover) และจำนวนการเรียกติดขัดลง (Number of Blocked Call) เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและไม่เปลืองทรัพยากรจากการเกิด Ping-Pong Handover Effect

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจแสนด์โอเวอร์แนวตั้งสำหรับวิธี นิวโรฟัซซีที่ได้ทำการออกแบบ ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ความเร็วของผู้ใช้บริการ (Mobile Speed) และแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของ ระบบสื่อสารไร้สายในอนาคต ซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด คือ ไวเลสแลนด (Wireless LAN: WLAN) แอลทีอีเอ (LTE Advanced: LTE-A) และโมบายวายแมกซ์ (Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access: Mobile WiMAX) ที่มีการทำงานร่วมกัน

1.2.2 เพื่อนำเอาหลักการของนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) เป็นการทำงานระหว่างโครงข่าย ประสาทเทียม (Neural Networks) ซึ่งมีข้อดีในการเรียนรู้ แต่ไม่สามารถอธิบายการตัดสินใจได้ และตรรกศาสตร์คลุมเครือหรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ซึ่งมีคุณสมบัติในการให้เหตุผลเชิง มนุษย์ แต่ไม่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจแสนด์โอเวอร์ของ ระบบสื่อสารไร้สายในอนาคต

1.2.3 เพื่อช่วยทำให้การติดต่อสื่อสารมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยสามารถลดจำนวนการ เรียกติดขัดลงได้

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาและออกแบบเครือข่ายไร้สายซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด ได้แก่ ไวเลสแลนด (WLAN) แอลทีอีเอ (LTE-A) และโมบายวายแมกซ์ (Mobile WiMAX) โดยให้เครือข่ายทั้ง 3 ชนิดสามารถเชื่อมโยงการทำงานร่วมกันได้

1.3.2 ทำการศึกษาและออกแบบกระบวนการที่นำมาใช้สำหรับกระบวนการตัดสินใจ แสนด์โอเวอร์

1.3.3 ทำการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ ความเร็วของผู้ใช้บริการ และแบนด์วิดท์ของเครือข่ายไร้สายทั้ง 3 ชนิดมาเป็นอินพุตของกระบวนการนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy)

1.3.4 ทำการออกแบบโดยวิธีนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) ที่ใช้ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่า (Estimator) และการตัดสินใจที่จะเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Handover)

1.3.5 ทำการวัดประสิทธิภาพของนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation) ซึ่งแสดงในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ (Number of Handover) และจำนวนการเรียกติดขัด (Number of Blocked Call) ตามลำดับ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ระบบการติดต่อสื่อสารไร้สายในอนาคตสามารถเชื่อมโยงการทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมีความเหมาะสมกับการสื่อสารในยุคที่ 5

1.4.2 ทำให้ผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างต่อเนื่องระหว่างเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน เนื่องจากการออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม

1.4.3 ทำให้จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ (Number of Handover) และจำนวนการเรียกติดขัด (Number of Blocked Call) นั้นมีจำนวนลดน้อยลง ซึ่งส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรในแต่ละเครือข่ายมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย

1.4.4 ทำให้ผู้ใช้ได้รับความพึงพอใจในคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service: QoS) ที่มากขึ้น



## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องกระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์โดยใช้วิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) (1) สำหรับเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 ได้แก่ ไวเลสแลนด (Wireless LAN: WLAN) และแอลทีอี (Long Term Evolution: LTE) ซึ่งมีพารามิเตอร์อินพุตคือ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ความครอบคลุมของสัญญาณ (Network Coverage) แบนด์วิดท์ (Bandwidth) และคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service: QoS) ซึ่งประกอบไปด้วย เวลาแฝง (Latency) ค่าแปรผันของเวลาในการตอบสนอง (jitter) และการสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss) โดยได้ทำการเลือกเครือข่ายที่ใช้งานโดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายคุณสมบัตินี้ที่คลุมเครือ (Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Algorithm: FMADM) และทำการหาผลลัพธ์จากระบบอนุมานฟัซซี่ (Fuzzy Inference System: FIS) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบกฎฟัซซี่ของแมมดานี (Mamdani) จากผลการวิจัยจะพบว่า การใช้ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) สามารถช่วยลดเวลาและความซับซ้อนในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ของระบบที่จำเป็นต้องทำการพิจารณาพารามิเตอร์เป็นจำนวนมาก และสามารถปรับแต่งอัลกอริทึมได้อย่างง่ายดายเพื่อทำการรองรับข้อมูลจากเครือข่ายไร้สายที่มีความหลากหลาย ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของพารามิเตอร์ให้มากขึ้น แต่ข้อเสียของวิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) คือไม่มีกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งงานวิจัยนี้อัลกอริทึมจะถูกกำหนดโดยผู้วิจัย

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องกระบวนการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมแบบผสม (Hybrid Artificial Neural Networks: HANNs) ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างการแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบเรเดียลเบซิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function Neural Networks: RBFNNs) (2) สำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5 ได้แก่ ไวเลสแลนด (WLAN) โมบายวายแมกซ์ (Mobile WiMAX) และแอลทีอี (LTE) เป้าหมายหลักในงานวิจัยคือ การรักษาการเชื่อมต่อให้ดีที่สุดอยู่เสมอ เพื่อมอบคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ที่น่าพอใจ โดยจะทำการแสดงผลออกมาในรูปจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ (number of handover) จำนวนการเรียกติดขัด (number of blocked call) อัตราการรับส่งข้อมูล (Throughput Data Transmission) และเวลาแฝง (Latency) โดยจะนำ HANNs ไปทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Quality of Experience-based Artificial Neural Network: QoE-ANN) และการถ่วงน้ำหนักตามค่าเทรชโฮลด์ (Threshold-

based Weightage: TH-Weightage) จากผลการวิจัยจะพบว่า HANNs สามารถทำให้ผู้ใช้งานเชื่อมต่อได้อย่างดีในทุกที่และทุกเวลา แต่ข้อเสียคือ กระบวนการที่นำเสนอขึ้นใช้เวลาในการเรียนรู้ข้อมูลจำนวนหลายครั้ง อีกทั้งข้อมูลที่น่ามาจำต้องมีปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้กระบวนการรู้จำมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องกระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เทียบกับกฎของฟัซซี่ในโครงข่ายประสาทเทียม (Fuzzy rule-based Artificial Neural Network) (3) มาทำการออกแบบและพัฒนาเพื่อรองรับการแฮนด์โอเวอร์ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเครือข่ายสายพาย (Light Fidelity: Li-Fi) และไวไฟ (Wireless Fidelity: Wi-Fi) ซึ่งมีพารามิเตอร์อินพุตคือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal to Interference Noise Ratio: SINR) ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (RSS) ค่าเฉลี่ยของ SINR และความเร็วของผู้ใช้ ซึ่งจากผลการวิจัยที่ได้ทำการทดสอบความแม่นยำของทั้ง 2 อัลกอริทึมพบว่า วิธีฟัซซี่ลอจิกมีผลดีในการแฮนด์โอเวอร์ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับกฎของฟัซซี่ในโครงข่ายประสาทเทียม แต่ข้อเสียคือ พบว่าฟัซซี่ลอจิกสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมตามกฎ ในขณะที่ประสิทธิภาพของกฎของฟัซซี่ในโครงข่ายประสาทเทียม การตัดสินใจจะถูกจำลองโดยใช้ข้อมูลที่ผ่านมาการฝึกสอนจากกฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules) ซึ่งมีความสามารถในการรู้จำมากกว่า ส่งผลให้อัลกอริทึมนี้มีค่าความผิดพลาด (Error) น้อยเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์

การใช้การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ในแนวตั้งเพื่อเลือกจุดใช้งานที่ดีที่สุด ส่งผลให้มีคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ที่ดี ได้รับเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุดในระหว่างการแฮนด์โอเวอร์ และทำให้ผู้ใช้งานสามารถอยู่บนเครือข่ายได้นานขึ้น ซึ่งช่วยลดความถี่ในการแฮนด์โอเวอร์ลง ได้แก่ Ping-Pong Handover Effect เป็นการแฮนด์โอเวอร์หลายครั้งระหว่างจุดใช้งาน จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการให้บริการ ดังนั้นผู้เขียนจึงแก้ปัญหาด้วยการเลือกเครือข่าย (Network Selection) โดยมีคุณภาพของการให้บริการเป็นตัวกำหนดลำดับความสำคัญสำหรับอัลกอริทึม เพื่อให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น (4)-(5)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนได้ใช้การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบผสมโดยนิวโรฟัซซี่ ซึ่งเป็นการทำงานระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและนิวโรฟัซซี่ ใช้ในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ในแนวตั้ง เพื่อให้การติดต่อสื่อสารในเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 5 มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 2.2 สถาปัตยกรรมเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นโลกที่ทุกคนสามารถติดต่อกันได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากคนสามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างง่ายและรวดเร็ว ตัวอักษร G ย่อมาจาก เจเนอเรชัน (Generation) ที่แปลว่ารุ่นหรือยุคสมัย ซึ่งวิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องให้เข้ากับยุคสมัย สามารถสรุปได้ดังนั้น (6)-(7)

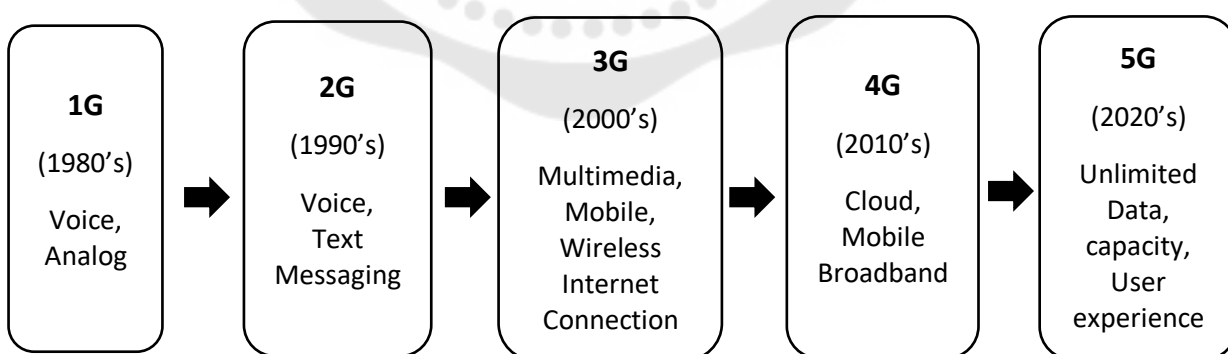
การสื่อสารไร้สายยุคที่ 1 (First Generation: 1G) ถูกเรียกว่า โทรศัพท์เซลลูลาร์แอมป์ (Advanced Mobile Phone Services: AMPS) ถูกสร้างขึ้นเพื่อรองรับการสื่อสารด้วยเสียง (Voice) สำหรับผู้ใช้มือถือ ซึ่งใช้เทคนิคการแบ่งการเข้าถึงหลายความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) และใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียงเพียงอย่างเดียว ไม่รองรับการส่งผ่านข้อมูลใดๆ เลย โดยมีการแบ่งช่องสัญญาณเป็นความถี่ย่อยหลายๆ ช่อง เพื่อใช้ในการสื่อสาร

การสื่อสารไร้สายยุคที่ 2 (Second Generation: 2G) ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มความจุของผู้ใช้เสียงในขณะเดียวกันก็มีการให้บริการของข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้นอย่างการส่งข้อความ (Short Message Service: SMS) โดยมีการใช้สัญญาณดิจิทัล (Digital) เข้ามาแทนที่สัญญาณอนาล็อก (Analog) ซึ่งทำให้การสื่อสารด้วยเสียงได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นผ่านตัวแปลงสัญญาณเสียง (Vocoder) แต่เมื่อ 2G มีความต้องการใช้บริการที่สูงขึ้น จึงถูกบังคับให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในระยะสั้นๆ ได้แก่ 2.5G และ 2.75G เพื่อเพิ่มความเร็วในการรับและส่งของข้อมูล เทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้ ได้แก่ การเข้าถึงแบบหลายส่วนเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) และการเข้ารหัสข้อมูลด้วยการกระจายหลายช่องทาง (Code Division Multiple Access: CDMA) นอกจากนี้เทคโนโลยี TDMA และ CDMA ถูกผสมผสานเข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้ในระบบจีเอสเอ็ม (Global System for Mobile Communication: GSM)

การสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 (Third Generation: 3G) ถูกออกแบบมาเพื่อขยายขีดจำกัดความสามารถและตอบสนองของความต้องการอัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นของ 3G ซึ่งสามารถเข้าถึงบริการอินเทอร์เน็ตในขณะที่ยังรับบริการทางโทรศัพท์อยู่ โดยทำการรวมเทคโนโลยี ได้แก่ CDMA, GSM, และ TDMA ในหนึ่งเดียว นอกจากนี้เป็นจุดเริ่มต้นของแอปพลิเคชันวิดีโอ (Video) บนโทรศัพท์มือถือ รวมทั้งบริการทางระบบเสียงที่มีประสิทธิภาพขึ้น พร้อมให้บริการมัลติมีเดียได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้การส่งข้อมูลแล้ว มีการปรับปรุงเพื่อรักษาคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service: QoS) อีกด้วย

การสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (Fourth Generation: 4G) ถูกเรียกว่า แอลทีอี (Long Term Evolution: LTE) โดยมีการพัฒนามาจาก IEEE802.16 เทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ ได้แก่ แอลทีอีเอ (LTE) และไวแมกซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access: WiMAX) เป็นเครือข่ายไร้สายที่มีอัตราข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตบนโทรศัพท์และวิดีโอ โดยมีการปรับปรุงความเร็วของข้อมูล เพื่อช่วยรองรับต่อการใช้งานอินเทอร์เน็ตไร้สาย ทำให้สามารถส่งรับข้อมูลได้รวดเร็วกว่าเดิม และใช้โปรแกรมมัลติมีเดียได้อย่างเต็มที่ โดยมีการใช้เทคโนโลยีคลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Computing) ที่ช่วยในการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูล ซึ่ง 4G ทำให้หลายประเทศสามารถใช้งานบนมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก

การสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 (Fifth Generation: 5G) มีประสิทธิภาพสูงกว่า 4G ในแง่ของคุณสมบัติและประสิทธิภาพ มีปริมาณการส่งข้อมูลมากกว่าถึง 1,000 เท่า ซึ่ง 5G มีการใช้เทคโนโลยี Beam Division Multiple Access (BDMA) เพื่อเพิ่มความจุของระบบ โดยเป็นเทคโนโลยีที่มีความเร็วสูง การเชื่อมต่อที่สูง เวลาแฝงต่ำ และมีความสามารถในการส่งข้อมูลสำคัญได้มากขึ้น อุปกรณ์ที่มารองรับการใช้งานจึงไม่จำกัดแค่โทรศัพท์ แต่ครอบคลุมถึงอินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (Internet of Thing) ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงระบบสาธารณสุขไปหมด ทั้งนี้ 5G ยังใช้เทคโนโลยีที่ใช้เสาสัญญาณมากกว่าหนึ่งต้น ในการรับหรือส่งคลื่นสัญญาณพร้อมกันหลายชุดในคลื่นความถี่เดียวกัน (Multiple-Input Multiple-Output: MIMO) เพื่อปรับปรุงการประสิทธิภาพการส่งสัญญาณของข้อมูลให้ส่งได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมกันหลายๆ อุปกรณ์



ภาพประกอบ 1 วิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย

ตาราง 1 คุณสมบัติของการสื่อสารไร้สาย

ยุค	เทคโนโลยี (Technology)	ความถี่ (Frequency)	แบนด์วิธ (Bandwidth)	ระบบการเข้าถึง (Access Network)
1G	Nordic Mobile Telephone (NMT), Advanced Mobile Phone Services (AMPS), Total Access Communication System (TACS)	30 KHz	2 kbps	Frequency Division Multiple Access (FDMA)
2G	Global System for Mobile Communications (GSM)	1.8 GHz	14.4-64 kbps	Time Division Multiple Access (TDMA), Code Division Multiple Access (CDMA)
3G	Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)	1.6-2 GHz	2 Mbps	Code Division Multiple Access (CDMA)
4G	Long Term Evolution (LTE), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)	2-8 GHz	2000 Mbps ถึง 1 Gbps	Code Division Multiple Access (CDMA)
5G	Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), Millimeter Wave (mm Waves)	3-30 GHz	1 Gbps และ สูงกว่านี้	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Beam Division Multiple Access (BDMA)

### 2.3 การนำเทคโนโลยี 5G มาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยี 5G ซึ่งให้ความเร็วดาวน์โหลด (Download) และอัปโหลด (Upload) ที่สูง ให้ความสำคัญการเชื่อมต่อที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อเทียบกับเครือข่ายยุคก่อนหน้า 5G มีความเร็วกว่าและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเครือข่าย 4G โดยความต้องการใช้อินเทอร์เน็ตในปัจจุบันทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ ขึ้นมา ได้แก่ อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และระบบอัตโนมัติ ซึ่งโครงสร้างของอุปกรณ์ในปัจจุบันไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับปริมาณการใช้ข้อมูลที่สูง ดังนั้น 5G จึงมารองรับเพื่อช่วยสนับสนุนการใช้งานในแอปพลิเคชันต่างๆ เช่น การสนทนาผ่านวิดีโอ การชำระเงินได้ทั่วยังโลก การทำงานนอกสถานที่ บริการขนส่งด้วยโดรน และการควบคุมจราจรที่ทำการเชื่อมต่อกับคลาวด์

โดยประสิทธิภาพและศักยภาพของ 5G สามารถเปลี่ยนแปลงวิถีการใช้ชีวิต การทำงาน และเศรษฐกิจโลกได้

เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่มาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (IoT) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบไฟฟ้าต่างๆ ในชีวิตประจำวันมาพัฒนาให้มีความก้าวหน้าและความสะดวกเหมาะแก่การใช้งานมากขึ้น ด้วยการควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต (Internet) โดยจะนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ดังต่อไปนี้ (8)

### 2.3.1 อุตสาหกรรม (Industry)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) การตรวจสอบระดับออกซิเจนและก๊าซพิษภายในโรงงานเคมีเพื่อให้มั่นใจถึงความปลอดภัยของพนักงานและสินค้า ติดตามอุณหภูมิภายในอุตสาหกรรม โดยในโรงงานอาหารจะมีการตรวจสอบระดับไอโซนในระหว่างกระบวนการอบแห้งเนื้อสัตว์ ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากแคนบัส (Control Area Network: Can Bus) เพื่อส่งสัญญาณเตือนแบบเรียลไทม์ (Real Time) ว่าเกิดเหตุฉุกเฉินหรือให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งาน

### 2.3.2 บ้านอัจฉริยะ (Smart Home)

IoT ที่เปลี่ยนบ้านอัตโนมัติให้เป็นบ้านอัจฉริยะ ด้วยการผสมผสานระหว่างเซนเซอร์ (Sensor) และระบบอัจฉริยะ IoT โดยจะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในชีวิตประจำวันเข้ากับเครือข่ายเพื่อช่วยให้อุปกรณ์เหล่านั้นสามารถทำงานให้เสร็จสิ้นและทำการสื่อสารระหว่างกันได้โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากมนุษย์ ซึ่งจะทำให้ระบบอัตโนมัติภายในบ้าน อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกัน และ IoT ส่งผลให้กลายเป็นบ้านอัจฉริยะ และบ้านอัจฉริยะสมัยใหม่สามารถควบคุมได้อย่างง่ายดายผ่านสมาร์ทโฟน (Smartphone) แท็บเล็ต (Tablet) หรือคอมพิวเตอร์ (Computer)

### 2.3.3 การผลิตทางการเกษตร (Agricultural Production)

การนำ IoT ไปใช้ในด้านเกษตรเพื่อพัฒนาอุปทาน (Supply) และการเติบโตของพืชผลโดยการรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัด ความต้องการสินค้าทางการเกษตรสามารถคาดการณ์ได้ แต่เนื่องจากความแตกต่างในด้านสภาพการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์ความเสียหายของโรคและแมลง ฯลฯ ได้ ดังนั้นอุปทานและความต้องการสินค้าทางการเกษตรจึงไม่ได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสม เพื่อทำการแก้ไขปัญหา จึงมีระบบติดตาม IoT เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของพืชผลและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการวิเคราะห์สถิติการเก็บเกี่ยว

### 2.3.4 สาธารณสุข (Healthcare)

IoT ในแอปพลิเคชันด้านการดูแลสุขภาพใช้เพื่อสังเกตและตรวจสอบความคืบหน้าสภาวะสุขภาพของผู้ป่วยในสเปกตรัม โดยจะเป็นประโยชน์กับผู้ป่วยที่อยู่ในสถานที่ห่างไกลที่สุด

IoT Healthcare สามารถตรวจสอบผู้ป่วยที่ได้รับผลกระทบจากความผิดปกติต่างๆ เช่น เบาหวาน โรคสมองเสื่อม อัลไซเมอร์ ฯลฯ จากระยะไกล แอปพลิเคชันเหล่านี้ไม่เพียงปรับปรุงการเข้าถึงการรักษา โดยในขณะที่ยังเพิ่มคุณภาพการดูแลรักษา ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการดูแลรักษาด้วย

### 2.3.5 การคมนาคมขนส่ง (Transportation)

IoT ช่วยลดปริมาณการจราจรติดขัดในเมือง ทำการแสดงข้อมูลในระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) และเวลาจากรถโดยสารในเมืองที่ทำการแสดงมุมมองการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะทั่วทั้งเมือง พร้อมการคาดการณ์บางอย่างเกี่ยวกับเวลาที่รถบัสที่จะมาถึง เวลาขนส่ง และความแออัดของเส้นทางบนแผนที่ดิจิทัลของเมือง จากข้อมูลนี้ สามารถออกแบบเมืองในการแก้ไขปัญหาเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัด และทำให้รถโดยสารประจำทางในเมืองวิ่งได้อย่างราบรื่นมากขึ้น

ตาราง 2 อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่งที่มีการใช้งาน

แอปพลิเคชัน	การสื่อสารที่ใช้งานได้	ชนิดของเครือข่าย	มาตรฐาน WLAN	การนำไปใช้งาน
เมืองอัจฉริยะ (Smart-Cities)	Wi-Fi, 3G, 4G, Satellite	MAN, WRANs	802.11	เทคโนโลยีที่รองรับสำหรับ IoT ในเมืองและศูนย์ข้อมูลครบวงจรสำหรับเมืองอัจฉริยะ
บ้านอัจฉริยะ (Smart Home)	Wi-Fi	WLAN	802.11	ระบบของบ้านบนคลาวด์ (Cloud) สำหรับการตรวจจับตำแหน่งโดยใช้เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (SDNs)
สมาร์ทกริด (Smart Grid)	3G, 4G, Satellite	WLAN, WANs	802.11	ระบบตรวจสอบแบบเรียลไทม์สำหรับการจ่ายไฟให้กับสายส่งเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุและระบบควบคุมสมาร์ทกริด
อาคารอัจฉริยะ (Smart Building)	Wi-Fi	WLAN	802.11	การควบคุมการเข้าถึงบริการภายในอาคารอัจฉริยะทั่วไป
ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Smart Transport)	Wi-Fi, Satellite	WAN, WRANs, MANs	802.11	การจองตั๋วและการนับผู้โดยสารอัจฉริยะ
ระบบการดูแลสุขภาพอัจฉริยะ (Smart Health)	Wi-Fi, 3G, 4G, Satellite	WLAN, WPANs, WANs	802.15.4	เครื่องมือที่สามารถใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้โดยผ่านโทรศัพท์
โรงงานอัจฉริยะ (Smart Industry)	Wi-Fi, Satellite	WLAN, WPANs, WANs	802.11	นำเทคโนโลยีอัตโนมัติผสานเข้ากับ IoT และปรับใช้ให้เข้ากับระบบโรงงาน

## 2.4 เทคโนโลยีใหม่สำหรับ 5G

ใน 5G ทำให้ปัจจุบันมีแอปพลิเคชันใหม่ๆ ถือกำเนิดขึ้นมา โดยสามารถใช้งานได้ เนื่องจากเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่บางอย่าง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีใหม่ๆ เหล่านี้ (6)

### 2.4.1 Massive MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) เป็นเทคโนโลยีเสาอากาศวิทยุที่ใช้เสา สัญญาณหลายตัวทั้งตัวส่งและตัวรับเพื่อเพิ่มคุณภาพ ปริมาณงาน และความจุของลิงก์วิทยุ เนื่องจากช่วยจัดสรรคลื่นความถี่ให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานพร้อมๆ กันได้ ซึ่งเทคโนโลยี MIMO ถูกนำไปใช้ในเทคโนโลยีไร้สายและคลื่นวิทยุสมัยใหม่มากมาย รวมถึง Wi-Fi และ LTE โดยรูปแบบเริ่มต้นนี้ใช้ตัวส่งสัญญาณสองตัวและตัวรับสัญญาณสองตัว 2x2 MIMO และการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นในเวลาต่อมาทำให้มีการเปิดใช้งานการใช้สตรีมข้อมูลพร้อมกันมากขึ้นในเครือข่ายไร้สายด้วยเครือข่าย 4G LTE ในปัจจุบันที่ใช้ 4x4 MIMO และใน 5G จะเป็นเทคโนโลยี Massive MIMO เพื่อให้อินเทอร์เน็ตสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับเครือข่ายไร้สายที่ต้องการให้สัญญาณมีความครอบคลุม และลดการรบกวนของสัญญาณที่อาจเกิดขึ้น

### 2.4.2 Software-Defined Networking

Software-Defined Networking (SDN) เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำให้เครือข่ายสามารถปรับตัวและตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งตั้งการจัดการเครือข่ายทั้งหมดมารวมกันที่ซอฟต์แวร์และไม่สนใจความแตกต่างของอุปกรณ์ โดย SDN มีลักษณะเฉพาะคือการออกแบบเครือข่าย การสร้าง และเทคนิคการจัดการ ทำให้สามารถควบคุมเครือข่ายพร้อมทั้งตั้งโปรแกรมได้โดยตรง SDN ยังช่วยในการรวมศูนย์การจัดการเครือข่ายสำหรับหลายองค์กรภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ คำว่า "ตั้งโปรแกรมได้โดยตรง" หมายถึงการแยกส่วนการควบคุมเครือข่ายและส่วนข้อมูล ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลเครือข่ายไว้ในตัวควบคุม SDN ที่ใช้ซอฟต์แวร์ได้ ซึ่งการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบเอจายล์ (Agile) ช่วยให้ผู้ให้บริการกำหนดค่า ดำเนินการ และเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายเซลลูลาร์แบบไดนามิกได้ ขึ้นอยู่กับสภาพการรับส่งข้อมูลและปัจจัยการใช้งานที่แตกต่างกัน

### 2.4.3 mm-Wave

Millimeter Wave (mm-Wave) คือส่วนหนึ่งของสเปกตรัมความถี่วิทยุที่มีความยาวคลื่นน้อยมากซึ่งอยู่ระหว่าง 24 GHz ถึง 100 GHz เนื่องจากสเปกตรัมส่วนนี้ส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกใช้งาน เทคโนโลยี mmWave จึงตั้งใจที่จะขยายจำนวนแบนด์วิดท์ที่สามารถเข้าถึงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยความถี่ที่ต่ำกว่าที่อยู่ระหว่าง 800 MHz ถึง 3,000 MHz นั้นจะมีความถี่หนาแน่น



มากกว่าด้วยการส่งสัญญาณโทรทัศน์และวิทยุ รวมถึงเครือข่าย 4G LTE ที่ทันสมัย ข้อดีอีกประการของความยาวคลื่นน้อยคือสามารถส่งข้อมูลได้เร็วยิ่งขึ้น แม้ว่าระยะเวลาการส่งข้อมูลจะลดลงก็ตาม ซึ่ง 5G เลือดย่านความถี่ที่สูงกว่า 24 GHz เนื่องจากมีความสามารถในการจัดการแบนด์วิดท์มหาศาลและอัตราข้อมูลสูง ทำให้เหมาะสมสำหรับการขยายความจุเครือข่ายไร้สาย โดยความยาวคลื่นเล็กๆ ที่สามารถวัดได้ในหน่วยมิลลิเมตร คลื่นความถี่สูงเหล่านี้จึงมักเรียกกันว่า "mm-Wave" แม้ว่าย่านความถี่ mm-Wave จะมีช่วงความถี่สูงสุด 300 GHz แต่ 5G มีแผนจะใช้ย่านความถี่ระหว่าง 24 GHz ถึง 100 GHz นอกจากนี้ แบนด์วิดท์ที่สูงถึง 2 GHz สามารถรองรับ mm-Wave ได้สูงถึง 100 GHz โดยไม่ต้องรวมแบนด์วิดท์เพื่อการรับส่งข้อมูลที่ดีขึ้น

## 2.5 IEEE 802.11 (Wireless LAN)

IEEE 802.11 คือมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายกำหนดขึ้นโดย สถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์ดิจิทัลภายในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งสามารถสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุได้ ถูกนำมาใช้บ่อยครั้งและแพร่หลายในปัจจุบัน โดย Wireless LAN (WLAN / Wi-Fi) เปิดตัวครั้งแรกในปี 1997 ด้วยมาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นรุ่นบุกเบิก โดยช่วยให้สามารถรับส่งข้อมูลไร้สายที่ความเร็วสูงสุด 2 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ 2.4 จิกะเฮิรตซ์

โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนามาจนถึง IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) ซึ่งเผยแพร่ในปี 2021 ที่มีความเร็วสูงสุด 9.6 จิกะบิตต่อวินาที โดยมาตรฐานนี้มีการปรับปรุงมากมาย เพื่อช่วยให้สามารถแบ่งความเร็วสูงสุดไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังรองรับเราเตอร์ (Router) ที่ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์หลายเครื่องพร้อมกันผ่านทางอากาศ และช่วยให้อุปกรณ์ Wi-Fi กำหนดเวลาการส่งสัญญาณไปยังเราเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มกลไกเพื่อรองรับการทำงานกลางแจ้งระยะไกลอีกด้วย

## 2.6 LTE Advance (LTE-A)

LTE Advance (LTE-A) คือ LTE ขั้นสูง ถือเป็นมาตรฐานการสื่อสารเคลื่อนที่และเป็น การปรับปรุงที่สำคัญของมาตรฐาน Long Term Evolution (LTE) โดยได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีมือถือที่พัฒนาเร็วที่สุดในโลก LTE-A เป็นการทำให้ได้รับประสิทธิภาพที่มากขึ้น ทั้งเรื่องระยะเวลาการรับส่งข้อมูลที่ไกลมากขึ้นและยังได้ความเร็วที่มากกว่าเดิม เป็นการนำเทคนิค Carrier Aggregation (CA) หรือการนำความถี่หลายย่านมาผสมรวมกัน โดยส่งคลื่นมาที่เครื่องของเราเครื่องเดียว ทำให้ 4G ที่ใช้ในการส่งข้อมูลเร็วขึ้นเป็น 2 เท่าและสามารถรับส่งข้อมูลได้

มากกว่า 2 เท่า และมีแบนด์วิดท์ที่ใหญ่กว่าเดิม โดยปัจจุบันการนำคลื่นแต่ละความถี่มารวมกันมีผู้ให้บริการอยู่ 3 รายใหญ่ ได้แก่ AIS, TrueMove H และ Dtac

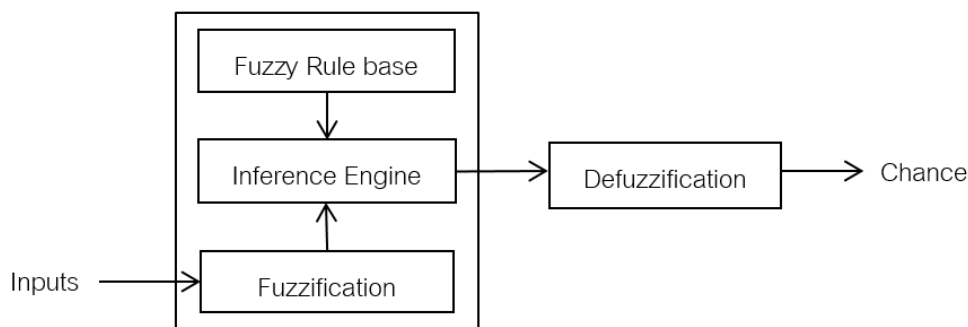
## 2.7 Mobile WiMAX

Mobile WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) เป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายที่ช่วยให้สามารถเรียกดูเว็บและถ่ายโอนข้อมูลแบบไร้สายได้ในขณะเดินทาง เป็นอีกวิธีหนึ่งในการเรียก IEEE 802.16e มีความถี่อยู่ที่ 2-6 จิกะเฮิรตซ์ ให้ความเร็วสูงสุด 30 เมกะบิตต่อวินาทีเทียบเท่ากับบรอดแบนด์โดยไม่ต้องใช้สายเคเบิล สามารถทำงานได้แม้มีสิ่งกีดขวางที่ระยะทาง 1.6-5 กิโลเมตร และรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารได้ด้วย ความยืดหยุ่น ซึ่งให้บริการครอบคลุมทั่วทั้งเมือง ภูมิภาค หรือแม้แต่ทั้งประเทศ

## 2.8 นิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy)

### 2.8.1 ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System: FIS)

ภาพรวมของฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ Fuzzification, Inference Engine, Fuzzy Rule base และ Defuzzification โดยสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 2 บล็อกไดอะแกรมของระบบอนุมานฟัซซี (FIS)

1. Fuzzification: เป็นการรวบรวมข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของเซตแบบดั้งเดิมหรือเซตทวินัย (Crisp Set) ที่มีค่าระหว่าง 0 กับ 1 และถูกแปลงให้เป็นฟัซซีเซตที่สามารถแสดงค่าได้ในระหว่าง 0 ถึง 1

2. Fuzzy Rule base: เป็นที่จัดเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ใน If-Then rules

3. Inference Engine: เป็นการนำค่าอินพุตและ If-Then rules เพื่อจำลองการให้เหตุผลในระบบอนุมานฟัซซี่ (FIS)

4. Defuzzification: เป็นการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปฟัซซี่เซตให้กลับไปเป็นเซตแบบดั้งเดิมหรือเซตทวินัย (crisp set)

### 2.8.2 ระบบอนุมานฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS)

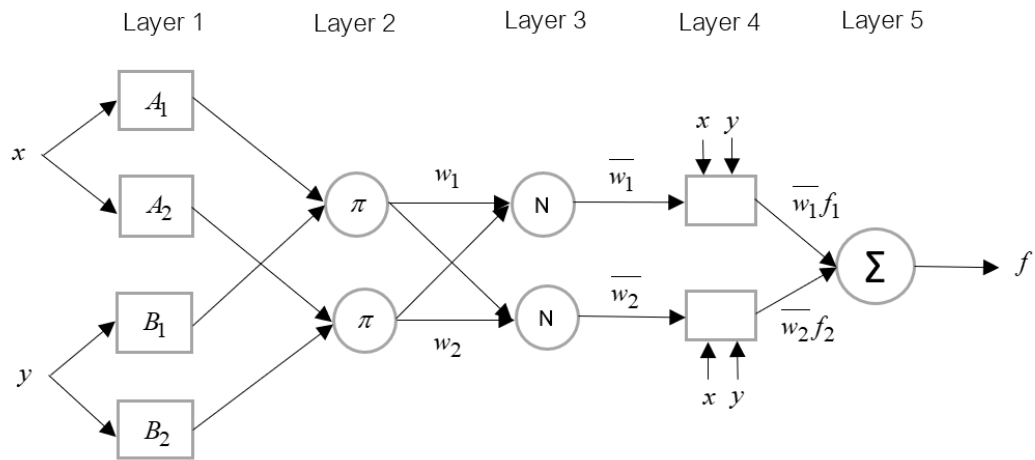
โมเดลนี้ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งมีข้อดีในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบแต่ไม่สามารถอธิบายการตัดสินใจได้ โดยทำงานร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ซึ่งมีคุณสมบัติในการให้เหตุผลเยี่ยงมนุษย์ แต่ไม่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยก่อนเข้าสู่กระบวนการ ANFIS อินพุตจะถูกนำไปแปลงด้วยระบบอนุมานฟัซซี่ (FIS) ดังแสดงในภาพประกอบ 1 และป้อนข้อมูลลงใน ANN เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ซึ่งมีการใช้ If-Then rules เพื่อแสดงชุดข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยโมเดลจะประกอบไปด้วย 5 ชั้น ภายในชั้น 2 ชั้น 3 และชั้น 5 เป็นชั้นที่โหนดคงที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ในขณะที่ชั้น 1 และชั้น 4 โหนดสามารถปรับเปลี่ยนได้ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ของเครือข่ายจะได้รับการเรียนรู้และทำการปรับปรุงข้อมูลเพื่อลดข้อผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตจริงและเอาต์พุตที่ต้องการ (9)-(10)

จากภาพประกอบ 2 เป็นสถาปัตยกรรมของระบบอนุมานฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (ANFIS) ซึ่งมีอินพุต 2 ตัว สำหรับอินพุต คือ  $x$  และ  $y$  ฟัซซี่เซต คือ  $A1$ ,  $A2$ ,  $B1$  และ  $B2$  พารามิเตอร์ของ defuzzification layer คือ  $p1$ ,  $p2$ ,  $q1$ ,  $q2$ ,  $r1$  และ  $r2$  สุดท้ายนี้เอาต์พุตคือ  $f$  โดย If-Then rules สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Rule1: If } x \text{ is } A1 \text{ and } y \text{ is } B1, \text{ then } f1 = p1x + q1y + r1 \quad (2.1)$$

$$\text{Rule2: If } x \text{ is } A2 \text{ and } y \text{ is } B2, \text{ then } f2 = p2x + q2y + r2 \quad (2.2)$$

จากกฎที่กล่าวมาข้างต้น If เป็นพารามิเตอร์ตั้งต้น Then เป็นพารามิเตอร์ของผลลัพธ์ โดยขั้นตอนการทำงานของแต่ละชั้น สามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพประกอบ 3 สถาปัตยกรรมของระบบอนุมานฟัซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS)

ชั้นที่ 1 (Layer 1) เรียกว่า Fuzzification layer หรืออินพุตของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (input membership function) โดยมีการใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular function) ดังสมการที่ 2.9 ซึ่งเลเยอร์นี้โหนดสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอินพุต  $x$  และชุดพารามิเตอร์  $\{a, b, c\}$  ดังนั้น เอาต์พุตของเลเยอร์นี้จึงเป็นพารามิเตอร์ตั้งต้น

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) = \text{triangular}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.3)$$

ชั้นที่ 2 (Layer 2) เรียกว่า Fuzzy rule layer โดยค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่คำนวณจาก fuzzification layer ได้นำมาใช้ในการคำนวณค่าของ firing strength หรือค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ด้วยการหาผลรวมของค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาจะเรียกว่า normalized weight ( $w$ ) โหนดในเลเยอร์นี้เป็นโหนดคงที่ ดังนั้นค่าความเป็นสมาชิก  $\mu_{A_i}, \mu_{B_i}$  และ weight สามารถคำนวณเอาต์พุตออกมาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(x) \quad \text{for } i=1,2 \quad (2.4)$$

ชั้นที่ 3 (Layer 3) เรียกว่า Normalization layer โหนดในเลเยอร์นี้เป็นโหนดคงที่ ดังนั้น normalized weight ( $w$ ) จะถูกคำนวณโดยนำไปเทียบกับผลรวมทั้งหมด สำหรับ weight  $w_1, w_2$  ละ normalized weight  $\bar{w}_i$  โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad \text{for } i=1,2 \quad (2.5)$$

ชั้นที่ 4 (Layer 4) เรียกว่า Defuzzification layer ในเลเยอร์นี้ใช้สมการพหุนามเชิงเส้น (linear polynomial equation) เพื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ของกฎในแต่ละโหนด โดยในเลเยอร์นี้โหนดสามารถปรับเปลี่ยนได้ ดังนั้น normalized weight  $\bar{w}_i$  สามารถกำหนดเอาต์พุตได้เป็นดังนี้

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad \text{for } i=1,2 \quad (2.6)$$

ชั้นที่ 5 (Layer 5) เรียกว่า Summation layer ทำการรวมผลลัพธ์จาก Defuzzification layer เพื่อหาเอาต์พุต โหนดในเลเยอร์นี้เป็นโหนดคงที่ ดังนั้นเอาต์พุตทั้งหมดสามารถคำนวณออกมาได้ดังนี้

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (2.7)$$

### 2.8.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญในการออกแบบระบบอนุมานฟัซซี (FIS) โดยมีแต่ละชนิดจะมีรูปทรงที่แตกต่างกัน ได้แก่ ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal function) และฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน (gaussian membership) เป็นต้น (11)

#### 2.8.3.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

เป็นหนึ่งในฟังก์ชันที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีความเรียบง่าย แต่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูง โดยมีพารามิเตอร์ 3 ตัว  $a$ ,  $b$  และ  $c$  โดยขีดจำกัดล่างคือ  $a$  ขีดจำกัดบนคือ  $c$  และค่าของ  $b$  คือ  $a < b < c$  ดังนั้นสามารถแสดงดังสมการที่ 2.8

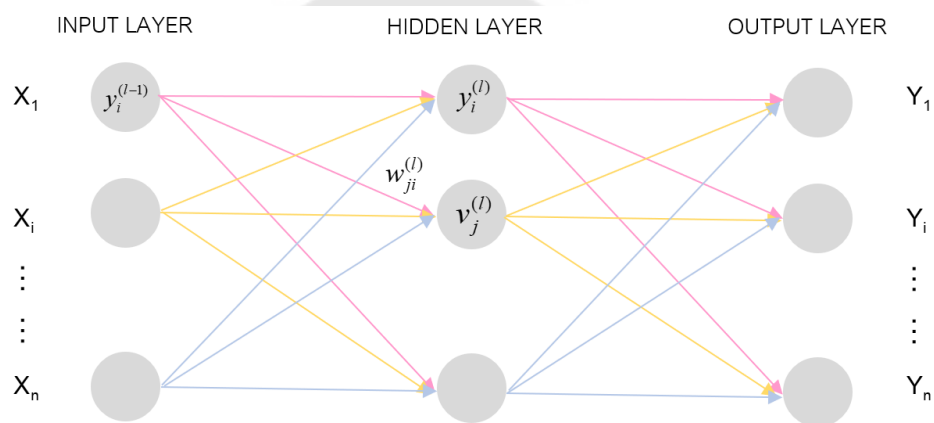
$$\text{triangular}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b < x < c \\ 0 & ; x \geq c \end{cases} \quad (2.8)$$

สมการที่แสดงอยู่ในรูปค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดจะแสดงดังสมการที่ 2.9

$$\text{triangular}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.9)$$

## 2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Network)

อัลกอริทึมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การแพร่กระจายแบบด้านหน้า (Forward Propagation) และการแพร่กระจายแบบย้อนกลับ (Backward Propagation) (12) โดยการแพร่กระจายไปด้านหน้าสัญญาณจะไหลไปในทิศทางเดียวกันจากอินพุตไปสู่เอาต์พุต เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าความผิดพลาด จากนั้นจึงถูกส่งกลับไปที่การแพร่กระจายแบบย้อนกลับ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมใช้ Mean Squared Error (MSE) มาเป็นฟังก์ชันหลัก เพื่อนำค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าเทรชโฮลด์ (threshold) มาปรับอย่างต่อเนื่องให้ได้ซึ่งผลลัพธ์ที่ดีที่สุด



ภาพประกอบ 4 แผนผังโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

กระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับดังแสดงในภาพประกอบ 4 มีการกำหนดตัวแปรสมมติ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่าง  $i_{th}$  ของชั้น input layer ( $L-1$ ) :  $y_i^{(l-1)}$

ค่า weight ของกลุ่มตัวอย่าง  $i_{th}$  สำหรับใช้ใน hidden layer ( $L_{th}$ ) :  $w_{ji}$

ค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง  $i_{th}$  ของชั้น hidden layer ( $L_{th}$ ) หน่วย  $j$  :  $v_j^{(l)}$

กลุ่มตัวอย่าง  $j_{th}$  ของชั้น hidden layer ( $L_{th}$ ) ที่ได้รับการส่งสัญญาณมาจากกลุ่มตัวอย่าง  $i_{th}$  ของชั้น input layer ( $L-1$ ) :  $y_i^{(l)}(j)$

การคำนวณย้อนกลับเพื่อทำการปรับค่า :  $\delta_j^{(l)}$

จากโครงข่ายประสาทเทียมข้างต้น สามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 3 ขั้นตอน โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

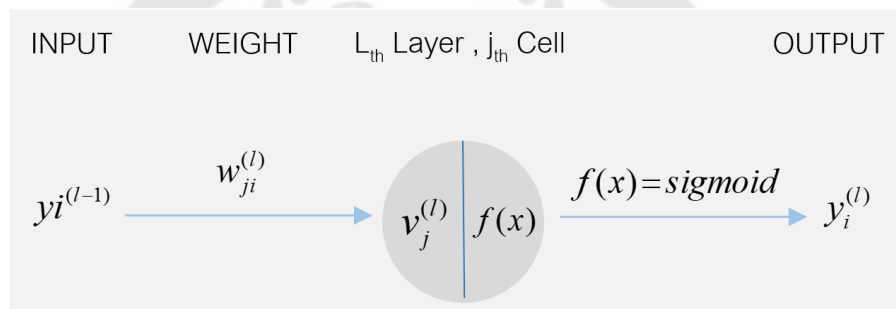
### 2.9.1 การแพร่กระจายแบบด้านหน้า (Forward Propagation) และการหาเอาต์พุต

ขั้นตอนการคำนวณของกระบวนการแพร่กระจายแบบด้านหน้า ดังภาพประกอบ 5 สำหรับหน่วย  $j$  ในชั้น  $L_{th}$  หรืออินพุตใน hidden layer  $v_j^{(l)}$  :

$$v_j^{(l)}(n) = \sum_{i=1}^p w_{ji}^{(l)} y_i^{(l-1)}(n) \quad (2.10)$$

ฟังก์ชันที่ทำงานในหน่วย  $j$  ถูกกำหนดเป็นฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) ดังนั้น เอาต์พุต  $y_i^{(l)}$  :

$$y_i^{(l)}(n) = \frac{1}{1 + \exp(-v_j^{(l)}(n))} \quad (2.11)$$

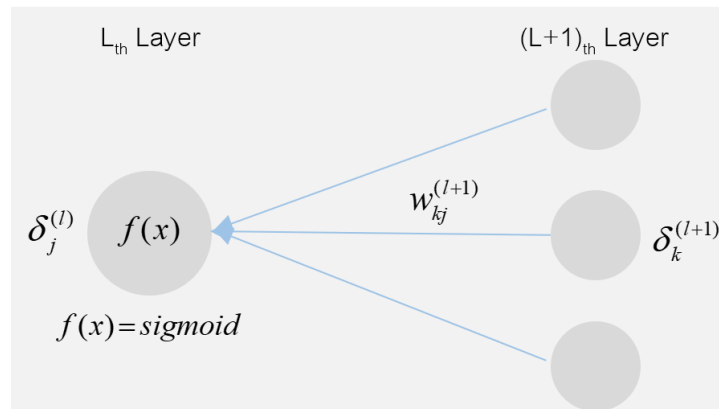


ภาพประกอบ 5 แผนผังของการแพร่กระจายไปด้านหน้าเพื่อคำนวณเอาต์พุต

### 2.9.2 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับ (Backward propagation) และการคำนวณข้อผิดพลาด (error)

ขั้นตอนการคำนวณของกระบวนการแพร่กระจายแบบย้อนกลับ ดังภาพประกอบ 6 สำหรับเซลล์ใน hidden layer เพื่อนำค่ามาทำการปรับแก้ไข  $\delta$  :

$$\delta_j^{(l)}(n) = y_j^{(l)}(n)[1 - y_j^{(l)}(n)] \sum_k \delta_k^{(l+1)}(n) w_{kj}^{(l+1)}(n) \quad (2.12)$$



ภาพประกอบ 6 แผนผังของการแพร่กระจายแบบย้อนกลับเพื่อคำนวณข้อผิดพลาด

### 2.9.3 การคำนวณน้ำหนักเพื่อทำการแก้ไขตามกฎเดลต้า (Delta rule)

ในแต่ละขั้นตอนในการทำซ้ำ ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ของแต่ละขอบเขตในเครือข่ายจะได้รับการปรับค่าให้เหมาะสมกับข้อมูล

$$w_{ji}^{(l)}(n+1) = w_{ji}^{(l)}(n) + \eta \delta_j^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n) \quad (2.13)$$

ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้รับมาใหม่จะถูกนำไปใช้ในการทำงานของเครือข่ายรอบถัดไป โดย  $\eta$  คือ learning function

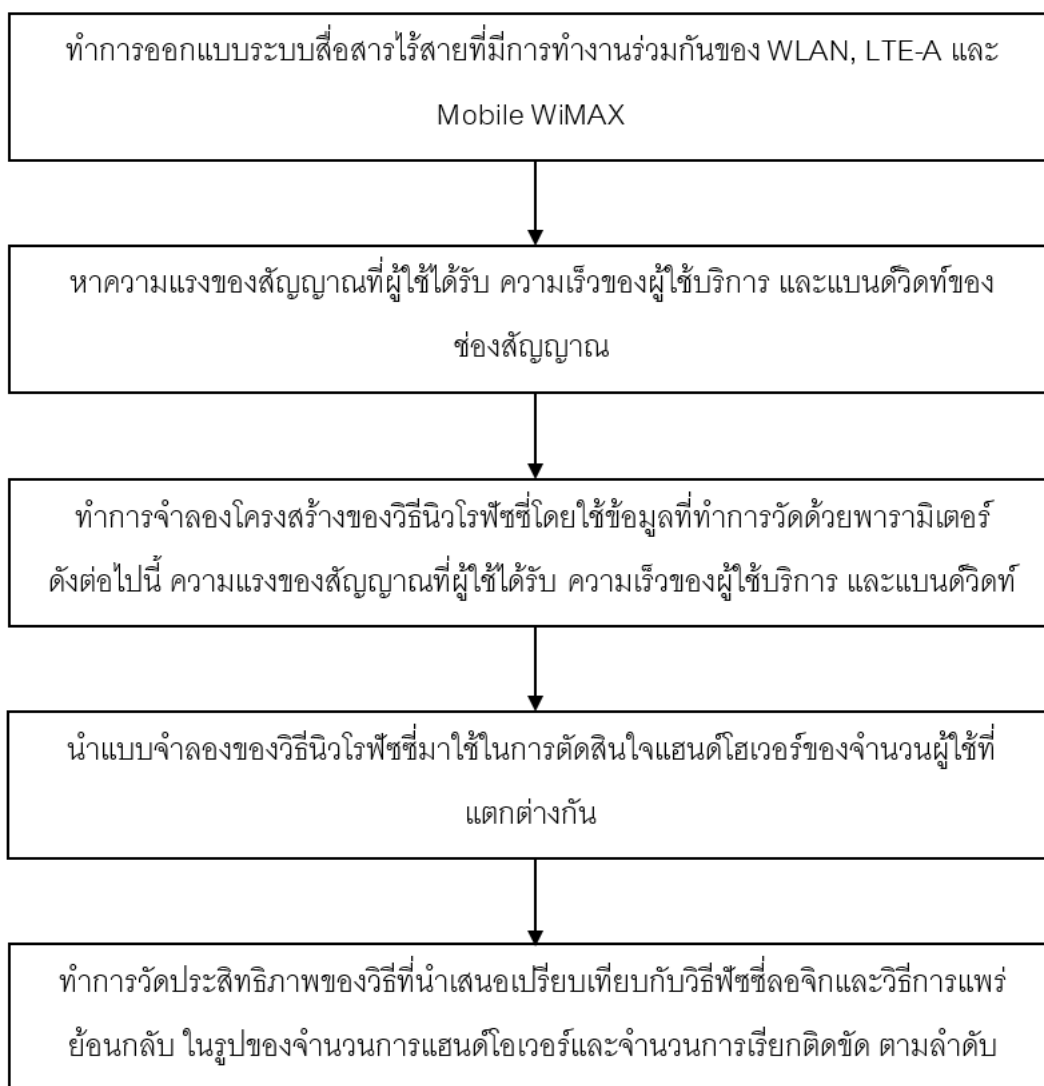


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

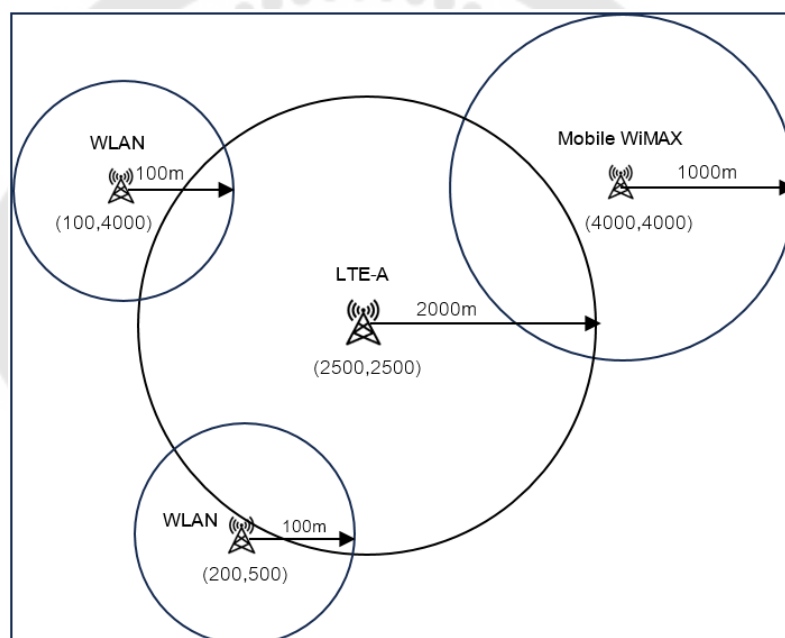
ในการศึกษาการตัดสินใจแฮนดโอเวอร์ในแนวตั้งของนิวโรฟัซซี่ (Neuro-Fuzzy) เพื่อทำการพัฒนาและเรียนรู้สำหรับการสื่อสารเครือข่ายไร้สายในอนาคต โดยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานที่น่าเสนอขึ้น ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 7 กรอบแนวความคิดในงานวิจัย

### 3.2 การออกแบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 5

ทำการจำลองเครือข่ายด้วยโปรแกรม MATLAB และแสดงผลให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำมาแสดงภาพจำลองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Word กำหนดช่วงของเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด ไวลเลสแลนด (WLAN) แอลทีอีเอ (LTE-A) และโมบายวายแมกซ์ (Mobile WiMAX) ที่ใช้ในหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (RSS) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งผู้ใช้งานและกำหนดรัศมีสัญญาณจากสถานีฐาน ผู้เขียนได้ทำการกำหนดรัศมีของเครือข่าย WLAN, Mobile WiMAX และ LTE-A เป็น 100 เมตร 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร ตามลำดับ ตำแหน่งของผู้ใช้จะถูกสุ่มจากระยะที่กำหนดในระนาบแกน x ภายในระยะ 0 เมตร ถึง 5,000 เมตร และระนาบแกน y ภายในระยะ 400 เมตร ถึง 5,000 เมตร โดยกำหนดให้ตำแหน่งครอบคลุมทั้ง 3 เครือข่าย ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 5

### 3.3 ค่าอินพุต

#### 3.3.1 ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS)

การหาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจะทำการหาจากเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด ได้แก่ ไวลเลสแลนด (WLAN) แอลทีอีเอ (LTE-A) และโมบายวายแมกซ์ (Mobile WiMAX) ซึ่งทำการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ (2)

### 3.3.1.1 เครือข่ายไวเลสแลนด (Wireless LAN: WLAN)

$$RSS(d)_{dBm} = 10 \log \left( \frac{100}{(39.37d)^\gamma} \right) \quad (3.1)$$

โดย  $\gamma$  คือ ค่าลดทอนการสูญเสียมีค่าเท่ากับ 2.8

$d$  คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานมีหน่วยเป็นเมตร

### 3.3.1.2 เครือข่ายแอลทีอีเอ (LTE Advanced: LTE-A)

$$RSS(d) = P_t - PL(d) \quad (3.2)$$

โดย  $P_t$  คือ ค่ากำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานมีค่าเท่ากับ 1 วัตต์

$d$  คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานมีหน่วยเป็นเมตร และนำค่าที่คำนวณได้มาหาค่าการสูญเสียตามระยะทาง (path loss) จากสมการที่ 3.3

$$PL(d)_{dB} = S + 10n \log(d) + \chi_\sigma \quad (3.3)$$

โดย  $S$  คือ ค่าลดทอนกำลังของสัญญาณในการทดลองมีค่าเท่ากับ 19 dB

$n$  คือ ค่าตัวคูณในการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้าง หรือตึกอาคารสถานที่โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3.5

$d$  คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานมีหน่วยเป็นเมตร

$\chi_\sigma$  คือ ค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนในการทดลองกำหนดให้ค่าเท่ากับ 36 dB

### 3.3.1.3 เครือข่ายโมบายวายแมกซ์ (Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access: Mobile WiMAX)

$$RSS(d) = P_t - PL(d) \quad (3.4)$$

โดย  $P_t$  คือ ค่ากำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานมีค่าเท่ากับ 1 วัตต์

$d$  คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานมีหน่วยเป็นเมตร และนำค่าที่คำนวณได้มาหาค่าการสูญเสียตามระยะทาง (path loss) จากสมการที่ 3.5

$$PL(d)_{dB} = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (3.5)$$

โดย  $f$  คือ ความถี่มีค่าเท่ากับ 3.5 GHz

$d$  คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐานมีหน่วยเป็นเมตร

ซึ่ง  $d$  หาได้จาก Euclidean Distance ดังสมการที่ 3.6

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.6)$$

โดย  $x_1$  คือ จุดเริ่มต้นของขอบเขตเครือข่าย

$y_1$  คือ จุดสิ้นสุดของขอบเขตเครือข่าย

$x_2$  คือ ค่าสุ่มตัวอย่างของผู้ใช้จากแกน  $x$

$y_2$  คือ ค่าสุ่มตัวอย่างของผู้ใช้จากแกน  $y$

### 3.3.2 อินพุตของแต่ละเครือข่ายไร้สาย

ตาราง 3 คุณสมบัติของเครือข่ายไร้สาย

คุณลักษณะของเครือข่าย	WLAN	Mobile WiMAX	LTE-A
ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (dBm)	-81 ถึง -25	-161 ถึง -120	-140 ถึง -80
ความเร็วของผู้ใช้บริการ (m/s) (2)	5	139	19
แบนด์วิดท์ (MHz) (13)	40	10	20

### 3.3.3 การแบ่งค่าอินพุตออกเป็นแต่ละช่วง

ตาราง 4 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด

ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง
[-81,-58.5)	[-64,-42)	[-47.5,-25]

ตาราง 5 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์

ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง
[-161,-145)	[-149,-132)	[-136,-120]

ตาราง 6 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ

ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง
[-140,-118)	[-122,-98)	[-102,-80]

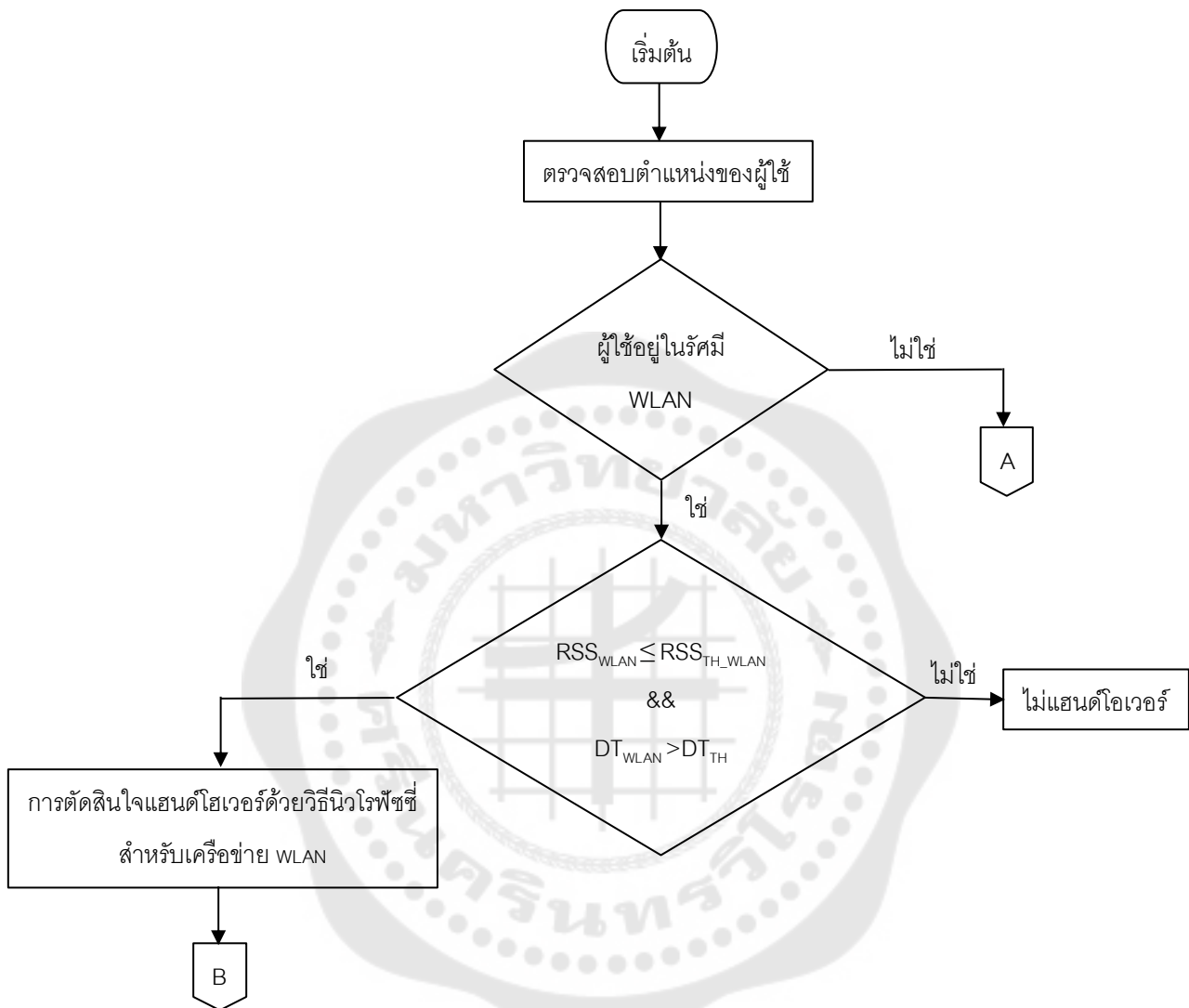
ตาราง 7 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ

ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง
[5,54)	[47,97)	[90,139]

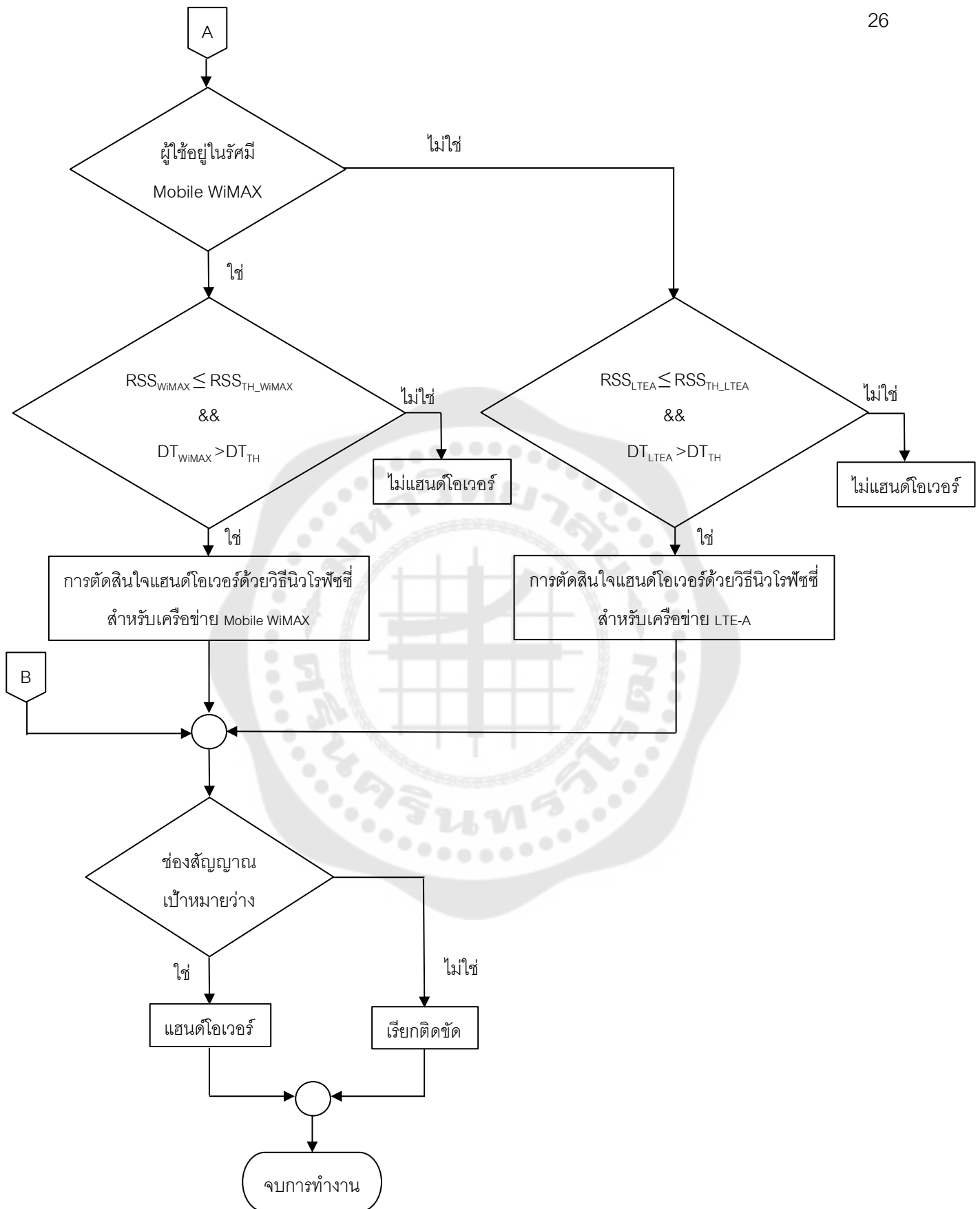
ตาราง 8 ค่าแบนด์วิดท์

ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง
[10,23)	[18,32)	[27,40]

### 3.4 ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์



ภาพประกอบ 9(a) ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์



ภาพประกอบ 10(b) ขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์

ในภาพประกอบ 5(a) กระบวนการตัดสินใจส่งมอบ เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบตำแหน่งของผู้ใช้ ขั้นตอนแรก หากผู้ใช้ยังอยู่ในพื้นที่ WLAN ในกรณีนี้ ให้ตรวจสอบเงื่อนไขต่อไปนี้ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ WLAN ( $RSS_{WLAN}$ ) น้อยกว่าหรือเท่ากับความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ threshold ใน WLAN ( $RSS_{TH\_WLAN}$ ) และ dwell time ของ WLAN ( $DT_{WLAN}$ ) มากกว่า dwell time ของ threshold ( $DT_{TH}$ ) ถ้าเป็นจริงดังที่กล่าวมาข้างต้นการตัดสินใจส่งมอบด้วยวิธีนิวโรฟuzzy ของ WLAN จะดำเนินการ และหากเป็นเท็จ ผู้ใช้จะไม่แฮนด์โอเวอร์

ในภาพประกอบ 6(b) ผู้ใช้ภายในพื้นที่ Mobile WiMAX จะตรวจสอบความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ Mobile WiMAX ( $RSS_{WIMAX}$ ) น้อยกว่าหรือเท่ากับความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ threshold ใน Mobile WiMAX ( $RSS_{TH\_WIMAX}$ ) และ dwell time ของ Mobile WiMAX ( $DT_{WIMAX}$ ) มากกว่า dwell time ของ threshold ( $DT_{TH}$ ) หากเป็นจริง การตัดสินใจส่งมอบด้วยวิธีนิวโรฟuzzy ของ Mobile WiMAX จะดำเนินการ และหากเป็นเท็จ ผู้ใช้จะไม่แฮนด์โอเวอร์ สุดท้ายนี้ผู้ใช้ไม่เข้าเงื่อนไขใดเลยจากกรณีข้างต้น ให้ทำการตรวจสอบเงื่อนไขของ LTE-A ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ LTE-A ( $RSS_{LTE-A}$ ) น้อยกว่าหรือเท่ากับความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของ threshold ใน LTE-A ( $RSS_{TH\_LTE-A}$ ) และ dwell time ของ LTE-A ( $DT_{LTE-A}$ ) มากกว่า dwell time ของ threshold ( $DT_{TH}$ ) หากเป็นจริง การตัดสินใจส่งมอบด้วยวิธีนิวโรฟuzzy ของ LTE-A จะดำเนินการ และหากผู้ใช้เป็นเท็จ จะไม่แฮนด์โอเวอร์ อย่างสุดท้ายเมื่อการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีนิวโรฟuzzy ของเครือข่ายไร้สายที่ต่างกันเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบว่าช่องสัญญาณของเป้าหมายหากว่างให้ส่งต่อข้อมูลเพื่อแฮนด์โอเวอร์ ในทางกลับกันจะเกิดการเรียกติดขัด เป็นการจบการทำงาน

ในขั้นตอนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ได้ทำการแยกเงื่อนไขเครือข่ายออกจากกัน เนื่องจาก การเลือกใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานและการจัดลำดับความสำคัญของเครือข่าย จึงเป็นสาเหตุของการสร้างเงื่อนไข และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ที่แตกต่างกันขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้ที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการสามารถเกิดการตัดสินใจว่าจะทำการเปลี่ยนเครือข่ายที่ใช้งานหรือไม่

โดยการจัดลำดับความสำคัญของเครือข่ายไร้สายทั้ง 3 ชนิด จะทำการเรียงลำดับดังตารางที่ 2 ซึ่งไวเลสแลน (WLAN) เป็นเครือข่ายแรกที่ได้รับการสนใจก่อน เนื่องจาก มีต้นทุนที่ต่ำ แต่ให้ความเร็วที่สูงพร้อมทั้งมีรัศมีที่น้อยที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครือข่ายที่เหลือ จากนั้นจึงไล่ลำดับความสำคัญขึ้นมาเป็น โมบายไวแมกซ์ (Mobile WiMAX) และแอลทีอีเอ (LTE-A) ที่มีความเร็วกับรัศมีที่มากขึ้นตามลำดับ



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้

การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จะมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบเอกกรุป (Uniform Distribution) โดยเป็นการกระจายข้อมูลทางสถิติที่ทุกระดับความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่ากัน ซึ่งมีการกระจายตำแหน่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 เมตร ถึง 5,000 เมตร ในแนวแกน x และตั้งแต่ 400 เมตร ถึง 5,000 เมตร ในแนวแกน y

$$xx2 = ax + (bx - ax) * rand(m, n) \quad (4.1)$$

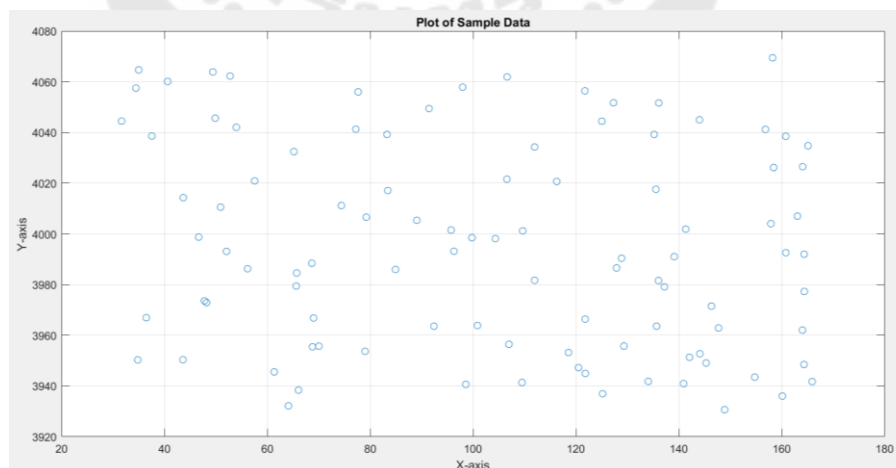
$$yy2 = ay + (by - ay) * rand(m, n) \quad (4.2)$$

สมการ 4.1 และ 4.2 คือคำสั่งการกระจายตำแหน่งของผู้ใช้ให้อยู่บนระนาบของค่า X และค่า Y ที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

#### 4.2 การจำลองผู้ใช้

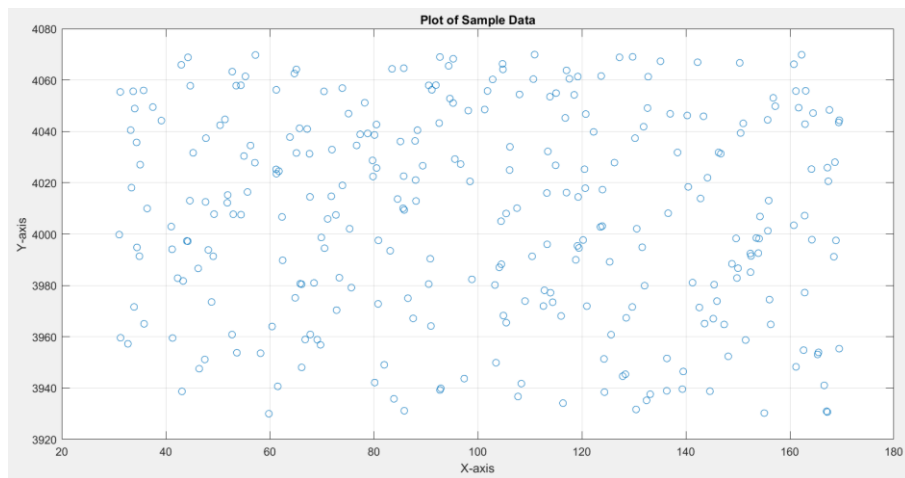
เป็นการนำผู้ใช้จำนวน 100 คน 300 คน 700 คน 1500 คน และ 3100 คน ไปเข้าสู่การกระจายตำแหน่งของผู้ใช้ในระนาบแกน X และแกน Y ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 แล้วจึงนำไปจำลองให้ออกมาในรูปของกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB สามารถแสดงได้ดังนี้

##### 4.2.1 จำนวน 100 คน



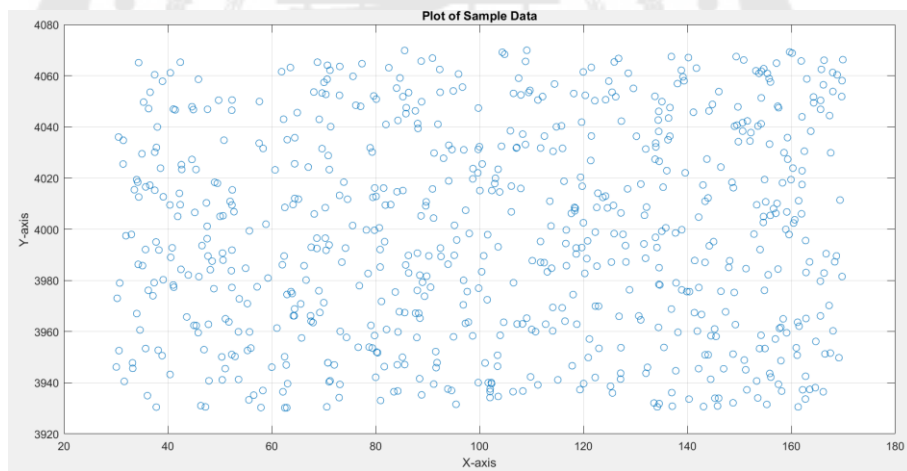
ภาพประกอบ 11 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 100 คน

#### 4.2.2 จำนวน 300 คน



ภาพประกอบ 12 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 300 คน

#### 4.2.3 จำนวน 700 คน



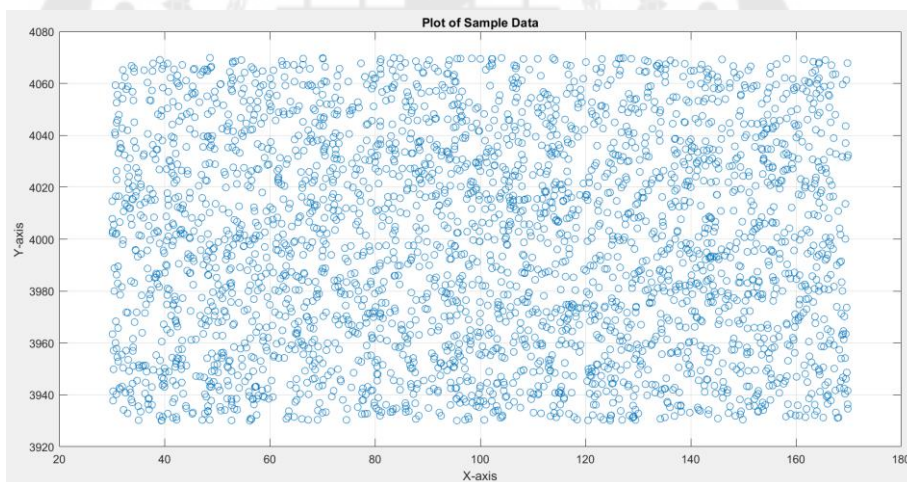
ภาพประกอบ 13 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 700 คน

#### 4.2.4 จำนวน 1500 คน



ภาพประกอบ 14 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 1500 คน

#### 4.2.5 จำนวน 3100 คน

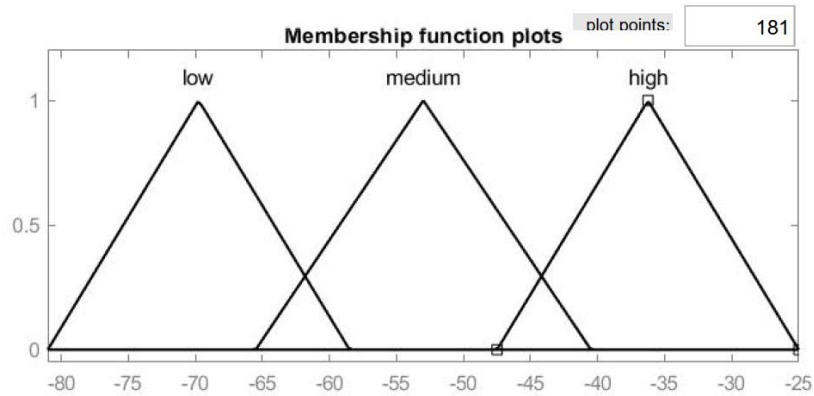


ภาพประกอบ 15 ผลการจำลองผู้ใช้จำนวน 3100 คน

### 4.3 การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้วยวิธีนิวโรฟัซซี

การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular function) นั้นเป็นฟังก์ชันที่มีการแบ่งช่วงออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงต่ำ (low) ช่วงกลาง (medium) และช่วงสูง (high) โดยแต่ละช่วงจะมีส่วนช่วยในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ของผู้ใช้เครือข่าย

#### 4.3.1 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด



ภาพประกอบ 16 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของไวเลสแลนด

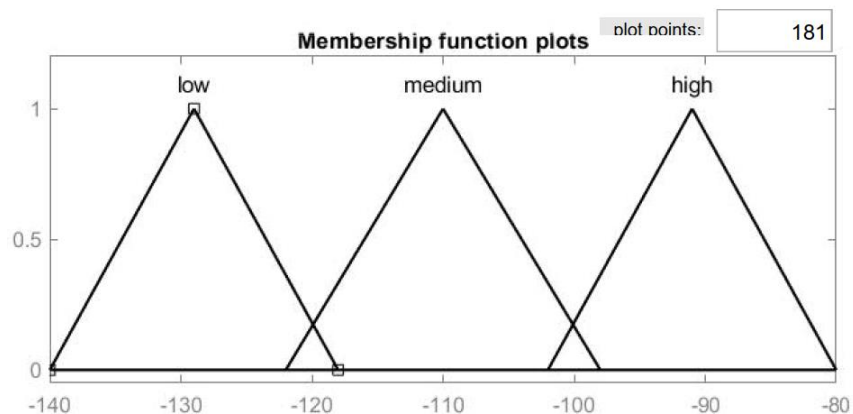
จากกราฟมีการแบ่งค่าทั้งหมดออกเป็น 3 ช่วงดังภาพประกอบ ได้แก่ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง ช่วงสูง โดยช่วงต่ำและช่วงสูงห่างเท่ากับ 22.5 ส่วนช่วงกลางห่างเท่ากับ 22 และช่วงที่ทับซ้อนกันมีค่าเท่ากับ 5.5 ดังนี้

ช่วงต่ำ มีค่า -81.0 ถึง -58.5

ช่วงกลาง มีค่า -64.0 ถึง -42.0

ช่วงสูง มีค่า -47.5 ถึง -25.0

#### 4.3.2 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ



ภาพประกอบ 17 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแอลทีอีเอ

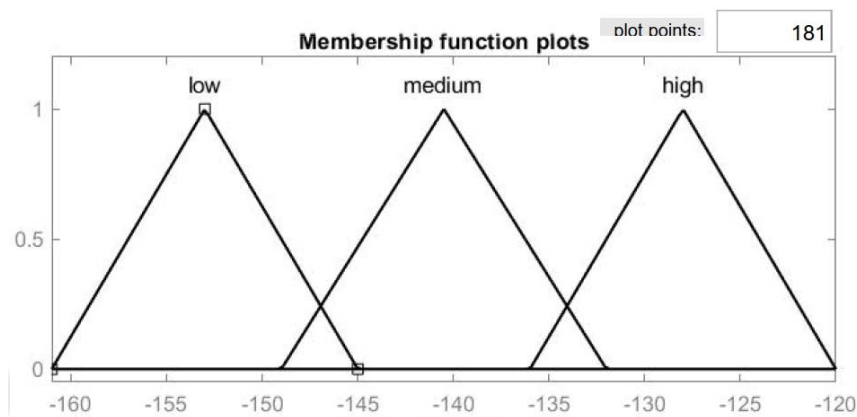
จากกราฟมีการแบ่งค่าทั้งหมดออกเป็น 3 ช่วงดังภาพประกอบ ได้แก่ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง ช่วงสูง โดยช่วงต่ำและช่วงสูงห่างเท่ากับ 45 ส่วนช่วงกลางห่างเท่ากับ 46 และช่วงที่ทับซ้อนกันมีค่าเท่ากับ 4 ดังนี้

ช่วงต่ำ มีค่า -140 ถึง -118

ช่วงกลาง มีค่า -122 ถึง -98

ช่วงสูง มีค่า -102 ถึง -80

#### 4.3.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์



ภาพประกอบ 18 ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของโมบายไวแมกซ์

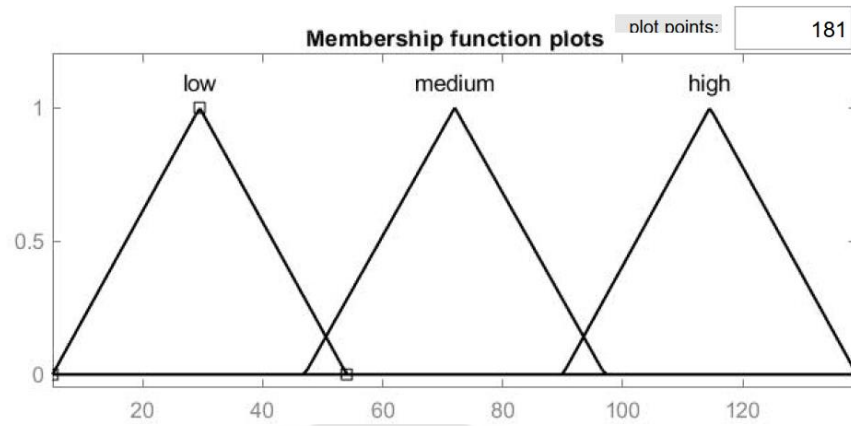
จากกราฟมีการแบ่งค่าทั้งหมดออกเป็น 3 ช่วงดังภาพประกอบ ได้แก่ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง ช่วงสูง โดยช่วงต่ำและช่วงสูงห่างเท่ากับ 29 ส่วนช่วงกลางห่างเท่ากับ 28 และช่วงที่ทับซ้อนกันมีค่าเท่ากับ 4 ดังนี้

ช่วงต่ำ มีค่า -161 ถึง -145

ช่วงกลาง มีค่า -149 ถึง -132

ช่วงสูง มีค่า -136 ถึง -120

#### 4.3.4 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ



ภาพประกอบ 19 ค่าความเร็วของผู้ใช้บริการ

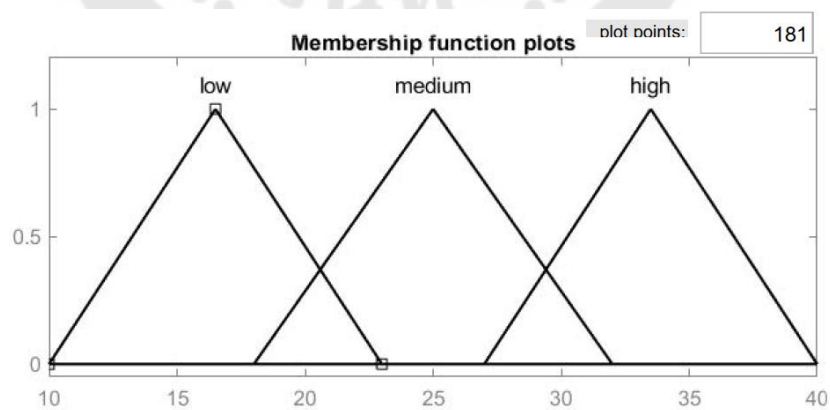
จากกราฟมีการแบ่งค่าทั้งหมดออกเป็น 3 ช่วงดังภาพประกอบ ได้แก่ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง ช่วงสูง โดยช่วงต่ำและช่วงสูงห่างเท่ากับ 49 ส่วนช่วงกลางห่างเท่ากับ 50 และช่วงที่ทับซ้อนกันมีค่าเท่ากับ 7 ดังนี้

ช่วงต่ำ มีค่า 5 ถึง 54

ช่วงกลาง มีค่า 47 ถึง 97

ช่วงสูง มีค่า 90 ถึง 139

#### 4.3.5 ค่าแบนด์วิดท์



ภาพประกอบ 20 ค่าแบนด์วิดท์

จากกราฟมีการแบ่งค่าทั้งหมดออกเป็น 3 ช่วงดังภาพประกอบ ได้แก่ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง ช่วงสูง โดยช่วงต่ำและช่วงสูงห่างเท่ากับ 13 ส่วนช่วงกลางห่างเท่ากับ 14 และช่วงที่ทับซ้อนกันมีค่าเท่ากับ 5 ดังนี้

ช่วงต่ำ มีค่า 10 ถึง 23

ช่วงกลาง มีค่า 18 ถึง 32

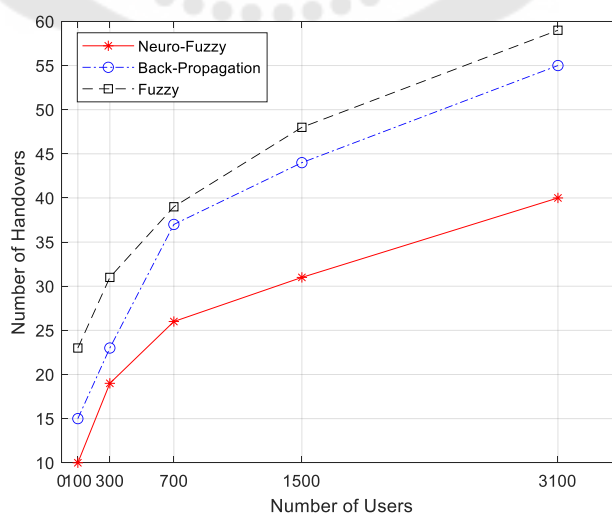
ช่วงสูง มีค่า 27 ถึง 40

#### 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟuzzy

สำหรับการวัดประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟuzzy ที่เปรียบเทียบกับวิธีฟuzzy ลอจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยทำการวัดจากจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการเรียกติดขัด ตามลำดับ

##### 4.4.1 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์

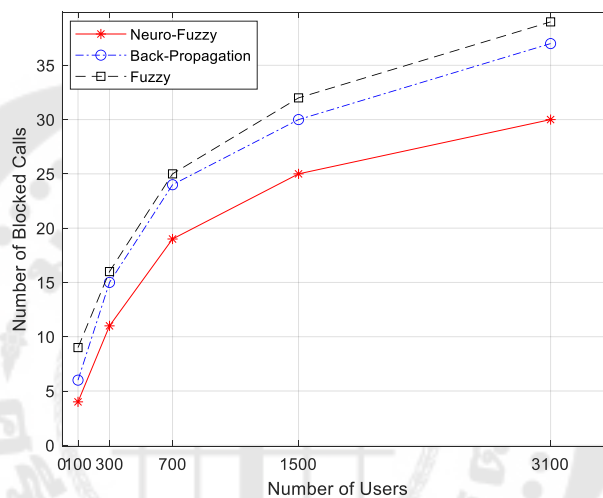
จากภาพประกอบ 13 เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีนิวโรฟuzzy ที่เปรียบเทียบกับวิธีฟuzzy ลอจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าวิธีนิวโรฟuzzy ที่มีจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่น้อยกว่าวิธีอื่น เนื่องจากวิธีนิวโรฟuzzy นั้นมีกระบวนการรู้จำที่มากกว่าวิธีอื่น ซึ่งส่งผลให้มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำ โดยมีความสอดคล้องกับกราฟที่แสดงให้เห็นว่าวิธีนิวโรฟuzzy มีอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่น้อยกว่าวิธีฟuzzy ลอจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ แม้จะมีจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นก็ตาม



ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบจำนวนการแฮนด์โอเวอร์

#### 4.4.2 จำนวนการเรียกติดขัด

จากภาพประกอบ 14 เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการเรียกติดขัดของวิธีนิวโรฟัซซีเปรียบเทียบกับวิธีฟัซซีลอจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าวิธีนิวโรฟัซซีมีจำนวนการเรียกติดขัดที่น้อยกว่าวิธีอื่น เนื่องจากวิธีนิวโรฟัซซีสามารถช่วยลดจำนวนการเรียกติดขัดลงได้ โดยผู้ใช้บริการสามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างต่อเนื่องแบบไร้รอยต่อระหว่างเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน โดยไม่เกิดการติดขัดในระหว่างการร้องขอเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์



ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบจำนวนการเรียกติดขัด



## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

สำหรับเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการสรุปผลของวิธีนิวโรฟิชชี เพื่อการเรียนรู้เปรียบเทียบกับวิธีฟิชชีลอคจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยทำการพิจารณาอินพุตพารามิเตอร์ของทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งทั้ง 3 พารามิเตอร์ที่กล่าวมานั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแฮนด์โอเวอร์ นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดงานให้มีประสิทธิภาพและดียิ่งขึ้นในอนาคต

#### 5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์โดยใช้วิธีนิวโรฟิชชีสำหรับการสื่อสารไร้สาย ซึ่งพิจารณาพารามิเตอร์ของผู้ใช้ ได้แก่ แบนด์วิดท์ ความเร็วของผู้ให้บริการ และความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับทั้ง 3 ชนิด คือ ไวลเลสแลนด แอลทีอีเอ และโมบายไวแมกซ์ มาเป็นอินพุตของกระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์โดยใช้วิธีนิวโรฟิชชี โดยทำการกระจายตำแหน่งของผู้ใช้งานในลักษณะของการแจกแจงแบบเอกฐานที่มีการกำหนดค่าตั้งแต่ 100, 300, 700, 1500 และ 3100 คน ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

เนื่องจากกระบวนการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์มีผลต่อจำนวนการแฮนด์โอเวอร์และจำนวนการเรียกติดขัด ซึ่งการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีนิวโรฟิชชีนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีฟิชชีลอคจิกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยทำการแสดงผลอยู่ในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์และจำนวนการเรียกติดขัด จากผลการทดลองพบว่า มีจำนวนลดลงร้อยละ 59 และร้อยละ 36 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฟิชชีลอคจิกและลดลงร้อยละ 38 และร้อยละ 26 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ตาราง 9 การแสดงผลของวิธีนิวโรฟิชชี

จำนวนของผู้ใช้	100	300	700	1500	3100
จำนวนการแฮนด์โอเวอร์	10	19	26	31	40
จำนวนการเรียกติดขัด	4	11	19	25	30

ตาราง 10 การแสดงผลของวิธีพีชชีล่อจิก

จำนวนของผู้ใช้	100	300	700	1500	3100
จำนวนการ แฮนด์โอเวอร์	23	31	39	48	59
จำนวนการเรียก ติดขัด	9	16	25	32	39

ตาราง 11 การแสดงผลของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

จำนวนของผู้ใช้	100	300	700	1500	3100
จำนวนการ แฮนด์โอเวอร์	15	23	37	44	55
จำนวนการเรียก ติดขัด	6	15	24	30	37

ตาราง 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรพีชชีและวิธีพีชชีล่อจิก

จำนวนการแฮนด์โอเวอร์	จำนวนการเรียกติดขัด
ร้อยละ 59	ร้อยละ 36

ตาราง 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรพีชชีและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

จำนวนการแฮนด์โอเวอร์	จำนวนการเรียกติดขัด
ร้อยละ 38	ร้อยละ 26

จากตาราง 8 การแสดงผลของวิธีนิวโรพีชชี ตาราง 9 การแสดงผลของวิธีพีชชีล่อจิก และ ตาราง 10 การแสดงผลของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ จะเห็นได้ว่าทั้งสาม ตารางเมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้นจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์และจำนวนการเรียกติดขัด ที่ลดลง

จากตารางที่ 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟuzzy และวิธีฟuzzy logic ซึ่งแสดงผลในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ลดลงร้อยละ 59 และจำนวนการเรียกติดขัดลดลงร้อยละ 36 โดยในตารางที่ 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีนิวโรฟuzzy และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ซึ่งแสดงผลในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ลดลงร้อยละ 38 และจำนวนการเรียกติดขัดลดลงร้อยละ 26

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตสำหรับงานวิจัยนี้ ทำการพัฒนาและปรับเปลี่ยนอินพุตพารามิเตอร์ให้มีจำนวนที่มากกว่างานวิจัยในปัจจุบันที่มีเพียง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งสามารถทำให้จำนวนและชนิดของพารามิเตอร์มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์อีกกรณีในอนาคต ให้ทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเครือข่ายที่เราทำการออกแบบให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งอาจจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ส่งผลให้ระบบมีความถูกต้องแม่นยำในกระบวนการแฮนด์โอเวอร์มากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

1. Goutam S, Unnikrishnan S, editors. QoS based Vertical Handover Decision Algorithm using Fuzzy Logic. 2019 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE); 2019 4-5 Jan. 2019.
2. Kunarak S, Duangchan T, editors. Vertical Handover Decision based on Hybrid Artificial Neural Networks in HetNets of 5G. 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp); 2021 23-25 Aug. 2021.
3. Sanusi J, Idris S, Adeshina S, Aibinu AM, Umar I, editors. Development of Handover Decision Algorithms in Hybrid Li-Fi and Wi-Fi Networks. 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS); 2020 3-5 Dec. 2020.
4. Ipaye AAA, Ibrahim AMA, Ahmed IIO, Nagar SA, Mitropoulos DNG, editors. Mathematical Model Implementation of Vertical Handover Network Decision Algorithms in Heterogeneous Network Based On QoS Parameters. 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE); 2018 12-14 Aug. 2018.
5. Maaloul S, Afif M, Tabbane S, editors. Handover Decision in Heterogeneous Networks. 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA); 2016 23-25 March 2016.
6. Shah AFMS, editor A Survey From 1G to 5G Including the Advent of 6G: Architectures, Multiple Access Techniques, and Emerging Technologies. 2022 IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC); 2022 26-29 Jan. 2022.
7. Dai NHP, Ruiz L, Zoltan R, editors. 5G revolution: Challenges and opportunities. 2021 IEEE 21st International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI); 2021 18-20 Nov. 2021.
8. Dudhe PV, Kadam NV, Hushangabade RM, Deshmukh MS, editors. Internet of Things (IOT): An overview and its applications. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS); 2017 1-2 Aug. 2017.

9. Jang JSR, Chuen-Tsai S. Neuro-fuzzy modeling and control. Proceedings of the IEEE. 1995;83(3):378-406.
10. Kabir M, Kabir MMJ, editors. Fuzzy membership function design: An adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) based approach. 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI); 2021 27-29 Jan. 2021.
11. Azam MH, Hasan MH, Hassan S, Abdulkadir SJ, editors. Fuzzy Type-1 Triangular Membership Function Approximation Using Fuzzy C-Means. 2020 International Conference on Computational Intelligence (ICCI); 2020 8-9 Oct. 2020.
12. Liu D, He X, Xiao Y, Wang X, editors. Research on Renewal Prediction of Life Insurance Policy Based on Back Propagation (BP) Neural Network. 2022 International Conference on Big Data, Information and Computer Network (BDICN); 2022 20-22 Jan. 2022.
13. Kunarak S, editor A Dynamic Channel Allocation Algorithm Based on Back-Propagation Neural Network for Vertical Handover in HetNets. 2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim); 2016 6-8 April 2016.



ประวัติผู้เขียน

