



การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตโดยอาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์
แบบไฮบริด

HANDOVER MANAGEMENT IN NEXT GENERATION WIRELESS NETWORKS BASED
ON HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE

โยทกา ชูทอง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตโดยอาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์
แบบไฮบริด



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

HANDOVER MANAGEMENT IN NEXT GENERATION WIRELESS NETWORKS BASED
ON HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE



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

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตโดยอาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์

แบบไฮบริด

ของ

โยทกา ชูทอง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิระจิต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิมพันธุ์ เจริญพงษ์)

ชื่อเรื่อง	การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตโดยอาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด
ผู้วิจัย	โยทกา ชูทอง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิศา คุณนารักษ์

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้งานที่มีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากรโลก ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารไร้สายให้สามารถรองรับการใช้งานมากที่สุด งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอกระบวนการตัดสินใจการเปลี่ยนช่องสัญญาณบนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยพิจารณาความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในแต่ละเครือข่าย มาเป็นอินพุตของกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ผ่านการจำลองบนเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Number of Handovers) จำนวนการเรียกขาดหาย (Dropped Calls) และจำนวนการเรียกติดขัด (Blocked Calls) โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.14, 29.17 และ 19.05 เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ (Q-Learning Algorithm) ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 25.64, 37.04 และ 26.09 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเปลี่ยนช่องสัญญาณ, ปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด, การเรียนรู้ของเครื่อง, การเรียนรู้เชิงลึก, การเรียกขาดหาย, การเรียกติดขัด

Title HANDBOOK MANAGEMENT IN NEXT GENERATION WIRELESS
NETWORKS BASED ON HYBRID ARTIFICIAL INTELLIGENCE
Author YOTAKA CHOOTHONG
Degree MASTER OF ENGINEERING
Academic Year 2022
Thesis Advisor Assistant Professor Sunisa Kunarak , Ph.D.

Wireless communication technology has constantly responded the quantity and user requirements that tend to increase depending to the world population and needs to optimize communication to support as many applications as possible. This research presents handover management based on hybrid artificial intelligence from the collaboration of Deep Learning and Machine Learning, considering the received signal strength, bandwidth, and the traffic intensity in each network is the input of the handover management through simulation in the wireless communication networks of the future. The results compared to the Long and Short-Term Memory showed that the proposed method can reduce the number of handovers, dropped calls and blocked calls by an average of 17.14, 29.17 and 19.05. Similarly, to compare to the Q-Learning Algorithm an average of 25.64, 37.04 and 26.09, respectively.

Keyword : Handover, Hybrid Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Dropped Calls, Blocked Calls

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ เมตตากรุณาเป็นที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจิต ที่ให้ความเมตตา อนุเคราะห์เป็นประธานสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ทิมพันธุ์ เจริญพงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ชัยปัญญา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร์ มาตรา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชไมพร สุขแจ่มศรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ อีกทั้งยังเมตตาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณาจารย์ และคณะกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ ให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทูบบัณฑิตศึกษา ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และเมตตาช่วยเหลือในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

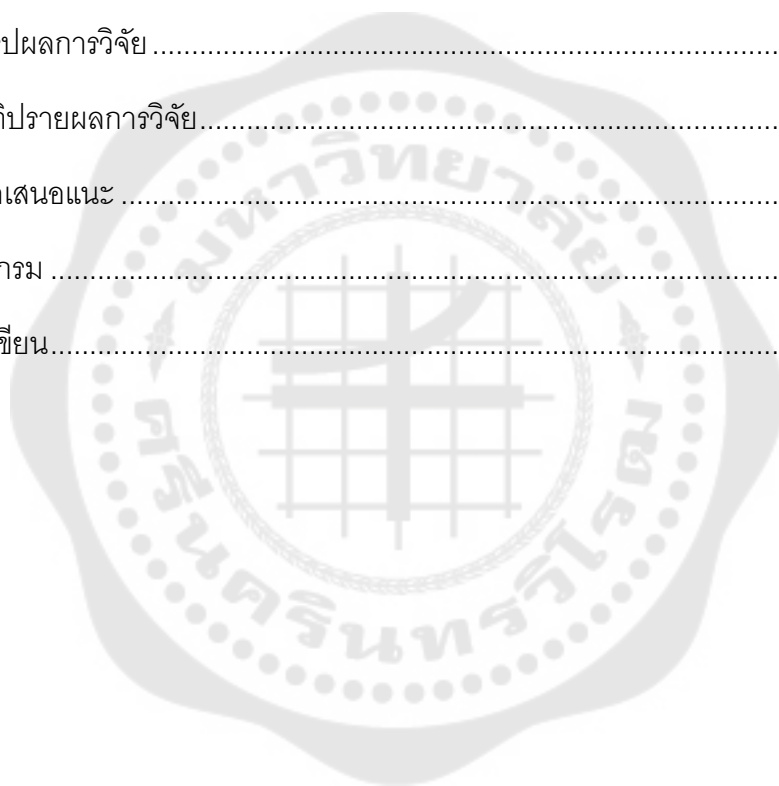
สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงคุณบิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

โยทกา ชูทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การทบทวนวรรณกรรม	4
2.2 มาตรฐานการเลือกเครือข่าย.....	7
2.3 อากาศยานไร้คนขับ.....	14
2.4 การเปลี่ยนช่องสัญญาณ.....	17
2.5 ปัญญาประดิษฐ์.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย	28
3.2 โครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต.....	29
3.3 การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต	31

3.4 การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ.....	36
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	46
4.1 จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ.....	46
4.2 จำนวนการเรียกขาดหาย.....	47
4.3 จำนวนการเรียกติดขัด.....	47
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	50
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	51
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	52
บรรณานุกรม.....	54
ประวัติผู้เขียน.....	58



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณลักษณะของเครือข่ายไร้สาย	14
ตาราง 2 คุณลักษณะของอากาศยานไร้คนขับ	16
ตาราง 3 แสดงค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย	33
ตาราง 4 แสดงค่าแอปพลิเคชันของเวลาจริงของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย	34
ตาราง 5 แสดงค่าแอปพลิเคชันของเวลาไม่จริงของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย	34
ตาราง 6 แสดงค่าปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย	35
ตาราง 7 แสดงการแบ่งช่วงของการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของการจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 3G HSPA+ และ 4G LTE Advanced	38
ตาราง 8 แสดงการแบ่งช่วงของการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของการจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 5G IEEE 802.11ac และ 6G IEEE 802.11ax.....	40
ตาราง 9 แสดงการแบ่งช่วงของเงื่อนไขในการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของเงื่อนไขในการ จัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 3G HSPA+ และ 4G LTE Advanced	42
ตาราง 10 แสดงการแบ่งช่วงของเงื่อนไขในการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของเงื่อนไขในการ จัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 5G IEEE 802.11ac และ 6G IEEE 802.11ax....	44
ตาราง 11 แสดงค่าประสิทธิภาพของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม แบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ	49

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับ	12
ภาพประกอบ 2 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน	15
ภาพประกอบ 3 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยึด	15
ภาพประกอบ 4 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกตรึง	16
ภาพประกอบ 5 ประเภทของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ.....	18
ภาพประกอบ 6 อัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ	21
ภาพประกอบ 7 โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ.....	22
ภาพประกอบ 8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ.....	23
ภาพประกอบ 9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว	24
ภาพประกอบ 10 ประตูกำหนดการลืม (Forget gate).....	25
ภาพประกอบ 11 ประตูอินพุต (Input gate)	26
ภาพประกอบ 12 สถานะของเซลล์ (Cell State).....	26
ภาพประกอบ 13 ประตูเอาต์พุต (Output gate)	27
ภาพประกอบ 14 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย.....	28
ภาพประกอบ 15 โครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต	29
ภาพประกอบ 16 กระบวนการตัดสินใจของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ.....	31
ภาพประกอบ 17 จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธี โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ	47
ภาพประกอบ 18 จำนวนการเรียกหาข้อมูลของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่าย ประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ.....	48

ภาพประกอบ 19 จำนวนการเรียกตัดของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ..... 48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน เป็นส่วนหนึ่งในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของการสื่อสารให้สามารถรองรับปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้งานที่มีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากรโลก [1] จึงมีการพัฒนาการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ยุคที่ 1 (1G) จนถึงยุคที่ 5 (5G) และยังคงรวมถึงการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายในอนาคตอย่างยุคที่ 6 (6G) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นในการตอบโจทย์การใช้งานให้มีประสิทธิภาพได้อย่างราบรื่น และรวดเร็ว ด้วยการเชื่อมต่อที่มีความเสถียรภาพสูง โดยนำเอาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI) มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง มีเหตุมีผลที่จะตัดสินใจ และการแก้ไขปัญหาเช่นเดียวกับมนุษย์ รองรับความต้องการในการใช้งานสูง สามารถนำไปใช้งานโดยทำการติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อเข้าถึงผู้ใช้งานได้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น กรณีที่ผู้ใช้งานอยู่ในบริเวณพื้นที่อับสัญญาณ หรือพื้นที่ที่มีปริมาณผู้ใช้งานหนาแน่น จะช่วยเพิ่มความคล่องตัวขณะใช้งาน สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และยังสามารถแบ่งเบาภาระของสถานีฐานได้อีกด้วย เทคโนโลยีการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายจึงตอบสนองความต้องการให้แก่ผู้ใช้งานได้มากมายทั้งในปัจจุบัน และอนาคต แต่เมื่อปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้งานเพิ่มสูงขึ้นจนถึงขีดจำกัดในการให้บริการของสถานีฐาน หรือกรณีที่ผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจากสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่ไปยังสถานีฐานถัดไป ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า กระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Handover) โดยความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ของสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนที่ไปถึงจุดเปลี่ยนสัญญาณบริเวณระหว่างขอบเซลล์ของเซลล์ทั้งสอง สถานีฐานที่ใช้บริการจะต้องส่งต่อการให้บริการไปยังสถานีฐานข้างเคียงที่สามารถให้บริการได้ ซึ่งการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่เร็ว หรือช้าเกินไปเป็นปัจจัยที่ส่งผลถึงคุณภาพของการให้บริการ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การทำงานบนกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณจะต้องให้บริการทันเวลาก่อนที่สัญญาณจะหลุดหายไป เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น หรือที่เรียกว่า ปราบกฏการถ่วง Ping Pong Effect รวมถึงจะต้องไม่เกิดการขัดข้องของสัญญาณระหว่างการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือการเรียกขาดหาย (Dropped Calls) ที่เกิดขึ้นจากกรณีผู้ใช้งานใหม่ต้องการที่จะใช้บริการ แต่ยังไม่สามารถเข้ารับบริการได้ ตัวอย่างเช่น การต่อโทรศัพท์ไม่ติด และการเรียกติดขัด (Blocked Calls) จะเกิดขึ้นกรณีที่ผู้ใช้งานอยู่ในพื้นที่อับสัญญาณ

ตัวอย่างเช่น อยู่ในลิฟต์ หรือลานจอดรถใต้ดิน สามารถลดปัญหาทั้งหมดนี้ได้ด้วยกระบวนการตัดสินใจการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้น ปรวิญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอกระบวนการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณระหว่างเครือข่ายชนิดเดียวกัน หรือการส่งต่อบริการสื่อสารในแนวนอน (Horizontal Handover) และการเปลี่ยนช่องสัญญาณระหว่างเครือข่ายต่างชนิดกัน หรือการส่งต่อบริการสื่อสารในแนวตั้ง (Vertical Handover) เริ่มจากการออกแบบโครงข่ายไร้สายเพื่อจำลองการทำงานของระบบ โดยออกแบบให้โครงข่ายไร้สายมีการทำงานร่วมกันของหลากหลายเครือข่ายทั้งยุคที่ 3 ยุคที่ 4 ยุคที่ 5 และยุคที่ 6 ในเครือข่ายยุคที่ 6 จะทำการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อให้บริการในพื้นที่อับสัญญาณ หรือบริเวณที่มีผู้ใช้งานหนาแน่น จากนั้นพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนช่องสัญญาณ โดยนำหลักการงานของการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาช่วยจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้งานได้รับการติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องแบบไร้รอยต่อ สามารถช่วยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Number of Handovers) รวมไปถึงจำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการเรียกติดขัดได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานร่วมกันของเครือข่ายไร้สายยุคที่ 3 ยุคที่ 4 ยุคที่ 5 และยุคที่ 6

1.2.2 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณกราฟฟิกในเครือข่าย

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการงานของการเรียนรู้เชิงลึก และการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการออกแบบโครงข่ายไร้สายที่ประกอบด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G)

1.3.2 ทำการออกแบบโครงสร้างปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด โดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย เป็นอินพุตพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณา

1.3.3 ทำการออกแบบกระบวนการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีไฮบริด ระหว่างวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้คิว

1.3.4 ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้คิว ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ในรูปของจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ จำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการเรียกติดขัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.4.1 ทำให้ผู้ใช้งานได้รับบริการที่มีคุณภาพสูงขึ้น กล่าวคือ ถึงแม้ว่าจะมีการเคลื่อนที่ข้ามเครือข่าย ผู้ใช้งานก็ยังคงสามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างต่อเนื่อง และราบรื่น

1.4.2 ทำให้เกิดการเปลี่ยนช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพจึงส่งผลให้สามารถลดการใช้ทรัพยากรในเครือข่ายได้

1.4.3 สามารถลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ จำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการเรียกติดขัดได้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยด้านการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Handover) บนเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย พบว่า กระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ผู้ใช้งานได้รับ ดังนั้น เพื่อให้การใช้งานมีความต่อเนื่องมากที่สุด ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณซึ่งมีด้วยกันหลากหลายวิธี วิธีแรกเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) จากบทความ [2] และ [3] ได้เสนอวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ประตูสัญญาณ (Gated Recurrent Unit: GRU) เพื่อคาดการณ์ความแม่นยำของปริมาณกราฟฟิคในเครือข่าย เปรียบเทียบกับค่าปริมาณกราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริง โดยจำลองการคาดการณ์จำนวนรอบในการเรียนรู้ที่ 5 รอบ เมื่อพิจารณาปริมาณกราฟฟิคที่เกิดขึ้นจริงกับการคาดการณ์ความแม่นยำของปริมาณกราฟฟิคทั้งสองวิธี พบว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว มีการคาดการณ์ความแม่นยำอยู่ที่ 53% และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ประตูสัญญาณ มีการคาดการณ์ความแม่นยำอยู่ที่ 72.6% จากนั้นจำลองการคาดการณ์ให้จำนวนรอบในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเป็น 100 และ 200 รอบ พบว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว มีการคาดการณ์ความแม่นยำอยู่ที่ 92.1% และ 92.5% ตามลำดับ ส่วนวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ประตูสัญญาณ มีการคาดการณ์ความแม่นยำอยู่ที่ 91.9% และ 92.0% ตามลำดับ โดยผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว จะมีค่าการคาดการณ์ความแม่นยำที่มากกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ประตูสัญญาณ เมื่อมีจำนวนรอบการเรียนรู้ที่เพิ่มมากขึ้น จึงเหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีชุดข้อมูลขนาดใหญ่ แต่ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีชุดข้อมูลขนาดเล็ก

การเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณวิธีที่สอง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ (Q-Learning Algorithm) บทความนำเสนออัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ มาใช้เป็นอัลกอริทึมในการตัดสินใจการเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารแบบไร้สาย หรือเครือข่ายแอลทีอี (LTE) โดยทดสอบจากระยะขอบเขตระหว่างเซลล์ และเวลาที่ จะทำการทรานส์มิทของสัญญาณ บทความ [4]

แสดงผลลัพธ์ให้เห็นว่า อัลกอริทึมการเรียนรู้ควมสามารถเพิ่มปริมาณงานในระบบ (Throughput) ได้ถึง 15% และลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น (Ping-Pong Effect) ได้ถึง 30% เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) เช่นเดียวกันกับบทความ [5] ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปรับใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ควมบนเครือข่ายแอดที่ีสามารถช่วยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็นได้ แต่การเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมตรรกศาสตร์คลุมเครืออย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอ เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่มีการประมวลผลค่อนข้างนาน

จากกรณีที่ผู้ใช้งานอยู่ในพื้นที่รอยต่อระหว่างขอบเซลล์ของเซลล์ทั้งสอง ยังมีกรณีที่ผู้ใช้งานอยู่บริเวณพื้นที่อับสัญญาณ หรืออาจจะเป็นกรณีที่สถานีฐานไม่สามารถรองรับการให้บริการได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปัจจัยต่อการเปลี่ยนช่องสัญญาณเช่นกัน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาบทความ [6] นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์สำหรับการเปลี่ยนช่องสัญญาณของสถานีฐานทางอากาศ (Flying Base Station) เข้ามาให้บริการเครือข่ายท่ามกลางสถานีฐานภาคพื้นดิน (Ground Base Station) ในสถานการณ์ที่สถานีฐานภาคพื้นดินเกิดการโอเวอร์โหลด (Overload) ทำให้ไม่สามารถให้บริการผู้ใช้งานในพื้นที่ได้ทั้งหมด สถานีฐานทางอากาศ จะทำการติดตามผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ และเข้ามาครอบคลุมการให้บริการระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจะทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปยังสถานีฐานภาคพื้นดินใหม่ที่สามารถรองรับการให้บริการต่อไปได้ สถานีฐานภาคพื้นดินจะทำการปรับค่าชดเชยแต่ละเซลล์ (Cell Individual Offset: CIO) ผ่านอัลกอริทึมการเรียนรู้ควม ผลการทดลองสามารถเพิ่มความจุของผู้ใช้งานได้มากถึง 18% และเพิ่มความพึงพอใจต่อความต้องการความจุขั้นต่ำได้มากถึง 20% แต่เมื่อผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้น อาจจะต้องใช้สถานีฐานทางอากาศหลายตัว เพื่อให้ครอบคลุมกับพื้นที่การให้บริการของสถานีฐานภาคพื้นดิน

การเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณวิธีที่สาม เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีการปรับสมดุลโหลดระหว่างเซลล์ (Mobility Load Balancing Algorithm) บทความ [7] นำเสนอวิธีการปรับสมดุลโหลดระหว่างเซลล์ ทำให้ระบบสามารถรองรับโหลดงาน หรือปริมาณการใช้งานในระบบที่เพิ่มขึ้นได้ โดยการเลือกผู้ใช้งานที่อยู่บริเวณขอบเซลล์ของเซลล์ที่มีโหลดการทำงานสูง ทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปยังเซลล์ใกล้เคียงที่มีโหลดการทำงานที่ต่ำกว่า เพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์โหลด ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังปรับค่าสมดุลโหลดระหว่างเซลล์ พบว่าหลังทำการปรับค่า ผู้ใช้งานจะมีประสิทธิภาพความคล่องตัวที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็นได้ แต่ถ้าเซลล์ที่ใกล้เคียงก็เกิดการโอเวอร์โหลดด้วย วิธีนี้ก็อาจจะทำให้ผู้ใช้งานเกิดการเรียกขาดหายได้

การเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณวิธีที่สี่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพความคล่องตัวให้ทนทานขึ้น (Mobility Robustness Optimization) บทความ [8] นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพความคล่องตัวให้ทนทานขึ้น เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน โดยพิจารณาพารามิเตอร์การปรับเวลาที่ จะเกิดการทรักเกอร์ระหว่างการเปลี่ยนช่องสัญญาณซึ่งอาจจะเกิดการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่เร็วเกินไป ช้าเกินไป หรือส่งไปยังเซลล์ที่ไม่ถูกต้องได้ เมื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานโดยการปรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนช่องสัญญาณแล้ว สามารถช่วยลดความล้มเหลวในการเปลี่ยนช่องสัญญาณได้ดีกว่าอัลกอริทึมการปรับค่าชดเชยแบบอัตโนมัติ และอัลกอริทึมตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยการจำลองสภาพแวดล้อม ที่มีการวางเซลล์ 7 เซลล์ ติดต่อกัน และกำหนดสิ่งกีดขวางเพื่อประเมินการทำงานของอัลกอริทึมให้เหมือนการทำงานที่อยู่ในสภาพการทำงานจริง แต่ในสภาพการทำงานจริง ระหว่างกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สามารถตรวจจับความล้มเหลวในการเปลี่ยนช่องสัญญาณได้ก็ต่อเมื่อความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าต่ำมาก ทำให้อาจจะเกิดการขาดหายของสัญญาณก่อนที่จะรู้ว่าการล้มเหลวในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ส่งผลให้มีความล่าช้าเกินไปที่จะส่งต่อค่าบริการไปยังเซลล์ข้างเคียงที่สามารถให้บริการได้

การเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณวิธีที่ห้า เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีอัลกอริทึมคาดการณ์การเคลื่อนที่สำหรับการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Mobility Prediction Algorithm) ในเครือข่ายไร้สายแบบไฮบริด บทความ [9] นำเสนอความน่าจะเป็นของความเร็วในการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่น ความเร็วในการเดิน ความเร็วบนรถไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ ความเร็วบนทางด่วน และความเร็วบนรถไฟฟ้าความเร็วสูง ผลการทดลองพบว่า อัลกอริทึมคาดการณ์การเคลื่อนที่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ โดยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น แม้ความเร็วในการเปลี่ยนทิศทางจะสูงขึ้นก็ตาม แต่บทความนี้ นำเสนอพารามิเตอร์ความเร็วของผู้ใช้งานเพียงอย่างเดียวในการคาดการณ์การเคลื่อนที่สำหรับการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจในกระบวนการการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

การเพิ่มประสิทธิภาพของการเปลี่ยนช่องสัญญาณวิธีสุดท้าย เป็นการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะ (Multi-Attribute Decision Making: MADM) ทำการศึกษาจากบทความ [10] นำเสนอ อัลกอริทึมการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะ และคุณประโยชน์ของฟังก์ชัน มาเป็นเกณฑ์หลักในการเลือกเครือข่ายเป้าหมาย และนำแต่ละเกณฑ์มาผสมผสานกัน มีการจัดอันดับ

เครือข่าย และมีการเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุดในช่วงตอนสุดท้าย โดยพิจารณาความเร็วของผู้ใช้งาน และความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ผลการจำลอง วิธีนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ลดการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น แม้ว่าจะใช้เกณฑ์ร่วมกันในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจเลือกเครือข่ายที่ถูกต้อง และเหมาะสมที่สุด แต่ผลลัพธ์ของเกณฑ์การเลือกเครือข่ายในการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะนั้นอาจจะไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอไป เพราะอัลกอริทึมต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การเลือกเครือข่ายตามวิธีการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น (Analytic hierarchy process : AHP) มีขั้นตอนในการเลือกเครือข่ายโดยการวิเคราะห์ทางเลือกที่ละคู่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์ เมื่อได้ผลจากการเปรียบเทียบในแต่ละคู่เรียบร้อยแล้ว ถึงจะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ออกมาเป็นตัวเลขได้ เป็นวิธีที่ค่อนข้างเสียเวลา เนื่องจากมีการประมวลผลหลายขั้นตอน การเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW) จะค่อนข้างเหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีความละเอียดน้อย และการเลือกเครือข่ายด้วยวิธีโมเดลการถ่วงน้ำหนัก (Weighted Product Model: WPM) เหมาะกับการใช้ในการตัดสินใจแบบมิติเดียว และหลายมิติ บทความ [11] นำเสนอวิธีการเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะโดยใช้แนวคิดการให้คะแนน (Scoring methods) กำหนดทางเลือกที่ดีที่สุด คือ ทางเลือกที่มีผลรวมของค่าคะแนนมากที่สุด ข้อดีของการเลือกใช้แนวคิดนี้ คือ เป็นอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมักให้ค่าความเหมาะสมที่เกินความเป็นจริง จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่ต้องใช้เวลาละเอียดมาก

2.2 มาตรฐานการเลือกเครือข่าย

มาตรฐานการสื่อสารวิทยุและโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลระหว่างประเทศ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า International Mobile Telecommunications (IMT) เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดยองค์การสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) สำหรับเพื่อใช้ในการกำหนดมาตรฐานของการสื่อสารเคลื่อนที่วิทยุบนเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ITU Radio-Communication Sector: ITU-R) โดยมีการกำหนดมาตรฐานดังต่อไปนี้

2.2.1 มาตรฐาน IMT-2000 สำหรับการให้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 (3G)

ทางองค์กร ITU-R กำหนดมาตรฐานให้รองรับการติดต่อสื่อสารบนโทรศัพท์มือถือแบบเวลาจริง (Real-Time) และการใช้งานแบบการสัญจรต่างประเทศ (International Roaming) เช่น การสนทนาทางโทรศัพท์แบบเห็นหน้า (Video Call), การเข้าร่วมประชุมทางไกลผ่านจอภาพ

(Video Conference), การดูรายการถ่ายทอดสด (Streaming) และการเล่นเกมออนไลน์ (Online Gaming) เป็นต้น โครงการความร่วมมือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 หรือ 3rd Generation Partnership Project (3GPP) มี 2 เทคโนโลยีหลัก ภายใต้ข้อกำหนดของ ITU-R ดังนี้

สำหรับเทคโนโลยีแรกที่เป็นมาตรฐาน และใช้กันอย่างแพร่หลายในเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 (3G) คือ แถบความถี่กว้างของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งรหัส (Wideband Code Division Multiple Access: WCDMA) เป็นระบบมาตรฐานยูเอ็มทีเอส หรือเรียกอีกอย่างว่า Universal Mobile Telecommunication (UMTS) ถูกพัฒนามาจากระบบจีเอสเอ็ม (Global System for Mobile Communication: GSM) โดยระบบยูเอ็มทีเอสจะใช้การเข้าถึงช่องสัญญาณเป็นแบบซีดีเอ็มเอ (Code-Division Multiple Access: CDMA) ซึ่งสามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียงได้มากกว่า และมีรูปแบบการทำงานแบบแถบความถี่กว้าง (Wideband) จึงเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า ดับเบิลยู-ซีดีเอ็มเอ (WCDMA) เทคโนโลยีดับเบิลยู-ซีดีเอ็มเอ มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ใช้งานบนความถี่ 2100 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 5 เมกะบิตต่อวินาที อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 2 เมกะบิตต่อวินาที ความคล่องตัวสูงสุดอยู่ที่ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้กว้างถึง 1.6 ถึง 8 กิโลเมตร ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 100 ถึง 500 มิลลิวินาที

อีกหนึ่งเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานในเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 (3G) โดยออกแบบมาเพื่อพัฒนาการรับส่งข้อมูลไร้สายบนเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ความเร็วสูงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น คือ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง หรือ Evolved High Speed Packet Access (HSPA+) เป็นเทคโนโลยีที่เกิดจากการรวมตัวกันของเทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตดาวนลิงก์ความเร็วสูง หรือ High Speed Uplink Packet Access (HSDPA) และเทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตอัปลิงก์ความเร็วสูง หรือว่า High Speed Downlink Packet Access (HSUPA) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากเทคโนโลยีดับเบิลยู-ซีดีเอ็มเอ (WCDMA) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ใช้งานบนความถี่ 2100 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 42 เมกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่มีค่าอยู่ที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที ความคล่องตัวสูงสุดอยู่ที่ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้กว้างถึง 1 ถึง 5 กิโลเมตร ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 70 มิลลิวินาที

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีดับเบิลยู-ซีดีเอ็มเอ จะมีพื้นที่ที่ครอบคลุมการใช้งานได้สูงกว่า แต่โดยรวมแล้วเทคโนโลยีดับเบิลยู-ซีดีเอ็มเอ มีการลงทุนในการตั้งเสาสัญญาณที่สูง อัตราการรับส่งข้อมูลที่น้อยกว่าเทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูงถึง 20 เท่า และยังมีเวลาการ

ตอบสนองที่สูงกว่าอีกด้วย ทำให้เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตเกิดความเร็วขั้นสูงมีระยะเวลาในการโต้ตอบของเครือข่ายดีกว่า ส่งผลให้มีการประกันคุณภาพแบนด์วิดท์ หรือ Quality of Service (QoS) ดีกว่าด้วยเช่นกัน

2.2.2 มาตรฐาน IMT-Advanced สำหรับการให้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 4 (4G)

ทางองค์กร ITU-R กำหนดมาตรฐานที่มีเป้าหมายทำให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการรองรับผู้ใช้งานที่มากขึ้น มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล ขณะประจำที่อยู่ที่ 1 กิกะบิตต่อวินาที และขณะเคลื่อนที่ด้วยยานพาหนะอยู่ที่ 100 เมกะบิตต่อวินาที มีความเสถียรภาพในการใช้งานแบบหลากหลายเครือข่าย สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่าย 4G, 3G และ 2G ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังรองรับการใช้งานด้านสื่อประสมคุณภาพสูง ไม่ว่าจะเป็นการสนทนาทางโทรศัพท์แบบเห็นหน้าที่มีความคมชัดสูง (High Definition: HD), การถ่ายทอดสดความละเอียดคมชัดสูง (Full-High Definition: Full-HD) และการดาวน์โหลดเพิ่มของข้อมูลขนาดใหญ่ด้วยเวลาอันรวดเร็ว โดยมาตรฐาน 3GPP เสนอ 2 เทคโนโลยีหลัก ภายใต้ข้อกำหนดของ ITU-R ดังนี้

นำเสนotechnologyแรก คือ วิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (Long Term Evolution Advanced: LTE Advanced) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอลทีอีขั้นสูง เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 4 (4G) ถูกพัฒนาจากมาตรฐานวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สาย หรือแอลทีอี (LTE) ให้มีการรองรับการใช้งานได้มากขึ้น โดยนำเอาเทคนิครวมคลื่นความถี่ (Carrier Aggregation) ทำให้สามารถส่งข้อมูลหลายคลื่นความถี่พร้อมกันได้ มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20 เมกะเฮิรตซ์ ใช้งานบนความถี่ 2600 เมกะเฮิรตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 1 กิกะบิตต่อวินาที อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 500 เมกะบิตต่อวินาที ความคล่องตัวสูงสุดอยู่ที่ 350 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้กว้างถึง 1 ถึง 2 กิโลเมตร ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 10 มิลลิวินาที และเทคโนโลยีที่สอง คือ ไวแมกซ์ หรือเรียกว่า WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access) เป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูง (Wireless Broadband) ถูกพัฒนาจากเทคโนโลยีไวเลสแลน (Wireless LAN) หรือมาตรฐาน IEEE 802.16a มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20 เมกะเฮิรตซ์ สามารถใช้งานบนความถี่ 2 ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 100 เมกะบิตต่อวินาที อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 70 เมกะบิตต่อวินาที สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้กว้างถึง 48 กิโลเมตร

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีไวแมกซ์ จะมีการครอบคลุมพื้นที่ได้สูง และสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ห่างไกลได้ดีกว่า แต่ก็ยังมีอัตราการรับส่งสัญญาณที่ต่ำกว่าแอลทีอีขั้นสูงถึง 10 เท่า รวมถึงอุปกรณ์ของไวแมกซ์ ยังไม่หลากหลาย และมีราคาที่ยังค่อนข้างสูง ไม่เหมือนกับแอลทีอีขั้นสูงที่มีอุปกรณ์รองรับที่หลากหลาย ระบบเครือข่ายที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอยู่แล้ว ซึ่งใช้งานในเกือบทุกประเทศทั่วโลก แต่มีแค่เพียงบางประเทศเท่านั้นที่ใช้เทคโนโลยีไวแมกซ์

2.2.3 มาตรฐาน IMT-2020 สำหรับการใช้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 5 (5G)

ทางองค์กร ITU-R กำหนดให้มีการเพิ่มขีดจำกัดในการให้บริการ มีเวลาตอบสนองที่ต่ำกว่า 3G และ 4G มีความสามารถในการรองรับติดต่อสื่อสาร และเข้าถึงผู้ใช้งานขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เช่น รถไฟความเร็วสูง เป็นการก้าวสู่สังคมดิจิทัล ด้วยการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ หรือที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตของทุกสิ่ง (Internet of Things: IoT) ทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงเทคโนโลยีสื่อสารมากขึ้น สามารถสั่งการควบคุมอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ส่งผลให้การทำงานแบบอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีบนมาตรฐานของการทำงานเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 5 (5G) ที่กำหนดโดยองค์กร ITU-R ให้รองรับการทำงาน 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านแรก Enhanced Mobile Broadband (eMBB) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นด้วยความเร็วระดับกิกะบิตต่อวินาที ด้านที่สอง Ultra-reliable and Low Latency Communication (URLLC) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีความเสถียรภาพอย่างมากด้วยเวลาในการตอบสนองที่ต่ำถึง 1 มิลลิวินาที และด้านสุดท้าย Massive Machine Type Communication (mMTC) เป็นเทคโนโลยีที่มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์จำนวนมากในพื้นที่เดียวกัน โดยส่งข้อมูลปริมาณน้อยๆ ที่ไม่ต้องการความเร็วสูง หรือเวลาในการตอบสนองที่ต่ำ อุปกรณ์ในการเชื่อมต้อมีราคาต่ำ และมีอายุการใช้งานแบบเตอะรี่ที่สูง เหมาะสำหรับการใช้งานด้านอินเทอร์เน็ตของทุกสิ่ง

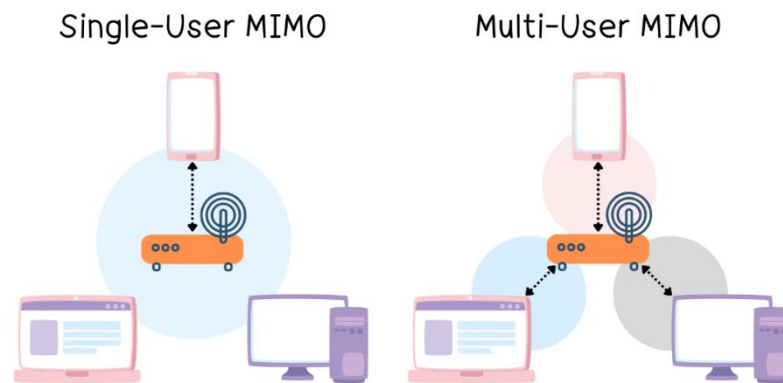
2.2.4 มาตรฐาน IMT-2030 สำหรับการใช้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 6 (6G)

เป็นการนำเอาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial Intelligent (AI) เข้ามาใช้งานร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) ความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่าระบบ 5G ถึง 100 เท่า จากการใช้คลื่นความถี่ เทราเฮิรตซ์ (Terahertz Wave: THz) หรือ เทเรย์ (T-ray) ระดับ 300 ถึง 3000 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อเพิ่มการเชื่อมต่อที่มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งคลื่นความถี่ในช่วงนี้มีประโยชน์ในหลากหลายด้าน สามารถรองรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำที่สูงได้ (Critical Application) เช่น ด้านการแพทย์ สามารถทำการผ่าตัดทางไกลเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยที่อยู่ในพื้นที่ที่

ขาดแคลนบุคลากรทางการแพทย์ได้ และยังสามารถนำมาใช้เพื่อวินิจฉัยทางการแพทย์ โดยการตรวจสอบร่างกายบนแผ่นฟิล์ม ไม่มีผลข้างเคียง หรือเกิดความเสียหายต่อร่างกาย สามารถจำแนก แยกแยะของเหลว และเนื้อเยื่อ คล้ายการตรวจแบบการตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging: MRI) ต่างจากวิธีการตรวจสอบร่างกายด้วยการใช้เอกซเรย์ (X-ray) ซึ่งภายหลังจากการตรวจสอบอาจจะมีสารรังสีตกค้างที่ส่งผลร้ายต่อโมเลกุล และเซลล์ในร่างกายได้ ด้านการวิเคราะห์ปัญหาการจราจร สามารถควบคุมยานพาหนะไร้คนขับ ส่งผลทำให้อุบัติเหตุที่เกิดจากการขับที่ลดลง และลดปัญหาการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุอีกด้วย รวมไปถึงจนถึงด้านการเกษตร และอาหาร โดยการทำการเกษตรแบบอัตโนมัติ สามารถใช้โดรนตรวจสอบการพ่นปุ๋ย พ่นยาจำกัดศัตรูพืช เป็นต้น

2.2.5 ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับ หรือ Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO)

ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับ เป็นเทคโนโลยีที่นำเอาเสาส่งสัญญาณหลายๆ เสามาใช้ในการส่งและรับสัญญาณ หลักพื้นฐานของเทคนิคนี้จะมีเทคโนโลยี 2 เทคโนโลยี คือ ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับแบบเสาเดี่ยว หรือ Single-User Multiple-Input and Multiple-Output (SU-MIMO) โดยเป็นเทคโนโลยีที่อุปกรณ์จัดเส้นทาง (Wireless Router) สามารถทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางได้ครั้งละ 1 ตัว เท่านั้น เมื่อมีอุปกรณ์มากกว่า 1 อุปกรณ์เข้ามาเชื่อมต่อ อุปกรณ์จัดเส้นทางจะทำการใช้วิธีรับส่งสัญญาณสลับไปมาอย่างรวดเร็วทีละตัว ทำให้การส่งสัญญาณอาจเกิดการหน่วงขึ้นหากมีผู้ใช้งานมากเกินไป จึงเป็นข้อจำกัดของการใช้งานของเทคโนโลยีแบบ SU-MIMO ดังนั้นเทคโนโลยีที่เข้ามาแก้ไขข้อจำกัดนี้ได้ คือ ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับแบบหลายเสา หรือ Multi-User Multiple-Input and Multiple-Output (MU-MIMO) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเสริมความเสถียรภาพของความเร็วในการเชื่อมต่อสัญญาณไร้สายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีความสามารถในการรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่า โดยอุปกรณ์จัดเส้นทางสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางที่หลากหลายในช่วงเวลาเดียวกันได้



ภาพประกอบ 1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลายหลายสัญญาณส่งและรับ

2.2.6 มาตรฐาน IEEE 802.11

เทคโนโลยีของการใช้งานเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 5 (5G) และยุคที่ 6 (6G) สามารถที่จะรองรับการทำงานของมาตรฐาน IEEE 802.11 หรือ Institute of Electrical Engineering (IEEE) ซึ่งเป็นองค์กรที่กำหนดมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลบนระบบเครือข่ายไร้สาย โดยการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย หรือ Wireless Local Area Network (WLAN) ต้องใช้อุปกรณ์ 2 ชนิด คือ จุดเชื่อมต่อ (Access Point) คือ ตัวรับส่งสัญญาณไร้สายของอุปกรณ์จัดเส้นทาง (Wireless Router) กับผู้ใช้งาน และตัวรับส่งสัญญาณไวเลส ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณระหว่างตัวรับส่งแต่ละตัว หรือระหว่างตัวลูกข่ายกับจุดเชื่อมต่อ โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 จะมีการกำหนดตัวอักษรย่อของมาตรฐานต่างๆ ดังนี้

2.2.6.1 มาตรฐาน IEEE 802.11a หรือ Wi-Fi 1 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ที่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ความเร็วในการรับส่งข้อมูล 54 เมกะบิตต่อวินาที ไม่สามารถใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.11b และมาตรฐาน IEEE 802.11g ได้

2.2.6.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b หรือ Wi-Fi 2 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ความเร็วในการรับส่งข้อมูล 11 เมกะบิตต่อวินาที เป็นมาตรฐานที่มีความนิยมในการใช้งานสูง ระยะการครอบคลุมการรับส่งข้อมูลค่อนข้างไกล

2.2.6.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g หรือ Wi-Fi 3 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ความเร็วในการรับส่งข้อมูล 54 เมกะบิตต่อวินาที สามารถใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ เนื่องจากมีคลื่นความถี่เดียวกัน

2.2.6.4 มาตรฐาน IEEE 802.11n หรือ Wi-Fi 4 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ เป็นการส่งสัญญาณแบบรองรับการใช้งานสองความถี่ (Dual-Band) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล 150 เมกะบิตต่อวินาที และ 300 เมกะบิตต่อวินาที สามารถใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.11b และมาตรฐาน IEEE 802.11g ได้

2.2.6.5 มาตรฐาน IEEE 802.11ac หรือ Wi-Fi 5 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ เป็นการเชื่อมต่อไร้สายของเทคโนโลยีของการใช้งานเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 5 (5G) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20/40/80/160 เมกะเฮิรตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 6.9 เมกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 4.49 กิกะบิตต่อวินาที ความคล่องตัวสูงสุดอยู่ที่ 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน 35 เมตร ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 1 มิลลิวินาที การใช้งานจุดเชื่อมต่อแบบระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับแบบหลายเส้า หรือ Multi-User Multi-Input Multi-Output (MU-MIMO) มีการใช้งาน 4 จุดเชื่อมต่อกับ 4 ผู้ใช้งาน ทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้น

2.2.6.6 มาตรฐาน IEEE 802.11ax หรือ Wi-Fi 6 สามารถใช้งานบนคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ เป็นการเชื่อมต่อไร้สายของเทคโนโลยีของการใช้งานเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 6 (6G) โดยมีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20/40/80/160 เมกะเฮิรตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 10 กิกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 5 กิกะบิตต่อวินาที ความคล่องตัวสูงสุดอยู่ที่ 1000 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน 10 เมตร ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 100 ไมโครวินาที การใช้งานจุดเชื่อมต่อแบบระบบสื่อสารไร้สายแบบหลากหลายสัญญาณส่งและรับแบบหลายเส้า หรือ Multi-User Multi-Input Multi-Output (MU-MIMO) มีการใช้งาน 8 จุดเชื่อมต่อกับ 8 ผู้ใช้งาน สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าระบบ 5G

ตาราง 1 คุณลักษณะของเครือข่ายไร้สาย

คุณลักษณะของเครือข่าย	3G HSPA+	4G LTE Advanced	5G IEEE 802.11ac	6G IEEE 802.11ax
ความถี่ในการทำงาน	2100 MHz	2600 MHz	5 GHz	2.4 / 5 GHz
แบนด์วิธ (MHz)	5	20	20/40/80/160	20/40/80/160
อัตราการส่งข้อมูลขาขึ้น	42 Mbps	1 Gbps	6.90 Gbps	10 Gbps
อัตราการส่งข้อมูลขาลง	11 Mbps	500 Mbps	4.49 Gbps	5 Gbps
ความคล่องตัวสูงสุด	120 km/h	350 km/h	500 km/h	1000 km/h
พื้นที่ครอบคลุม (m)	1000-5000	1000-2000	35	10
เวลาในการตอบสนอง	50 ms	10 ms	1 ms	100 μ s

ที่มา: <https://twitter.com/6Gtraining/status> [12]

2.3 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAVs) หรือเรียกอย่างหนึ่งว่า โดรน (Drone) คือ อากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง ใช้การควบคุมอัตโนมัติ 2 รูปแบบ เป็นการควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกล และการควบคุมอัตโนมัติระบบการบินด้วยตัวเอง โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งไว้บนอากาศยาน ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน ตัวอย่างเช่น โดรนสำหรับกู้ภัย เพื่อการค้นหาผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุ หรือพื้นที่ที่เสี่ยงอันตราย เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม อาคารถล่ม, โดรนสำหรับพยากรณ์อากาศ เพื่อการสำรวจความชื้น แรงแลม ความกดอากาศ, โดรนสำหรับถ่ายภาพ เพื่อการถ่ายภาพมุมสูง และยังใช้ในการถ่ายทอดสดได้อีกด้วย, โดรนสำหรับเกษตรกรรม เพื่อการพ่นสารเคมีทางการเกษตรในระยะกว้าง สามารถประหยัดทั้งเวลา แรงงาน ลดการสัมผัสกับสารเคมีโดยตรง และสุดท้ายโดรนสำหรับขนส่งสินค้า เพื่อการขนส่งขนาดเล็ก โดยอากาศยานไร้คนขับ สามารถกำหนดรูปแบบได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

2.3.1 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน

อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน (Multi-Rotor) เป็นประเภทที่สามารถพบเห็นได้บ่อยที่สุด มีลักษณะการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีใบพัด 4, 6 และ 8 ใบพัด สามารถบินอยู่ได้ประมาณ 10 ถึง 20 นาที ไม่ต้องใช้สนามบินในการขึ้นลง เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง



ภาพประกอบ 2 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน

ที่มา: <https://diamu.com.bd/product/dji-inspire-2/> [13]

2.3.2 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยึด

อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยึด (Fixed-Wing) เป็นอากาศยานที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องบิน แต่มีขนาดเล็ก สามารถบินได้ประมาณ 30 ถึง 60 นาที เหมาะกับการใช้งานเพื่อสำรวจในพื้นที่กว้าง การขึ้นลงต้องให้สนามบินในการขึ้นลง



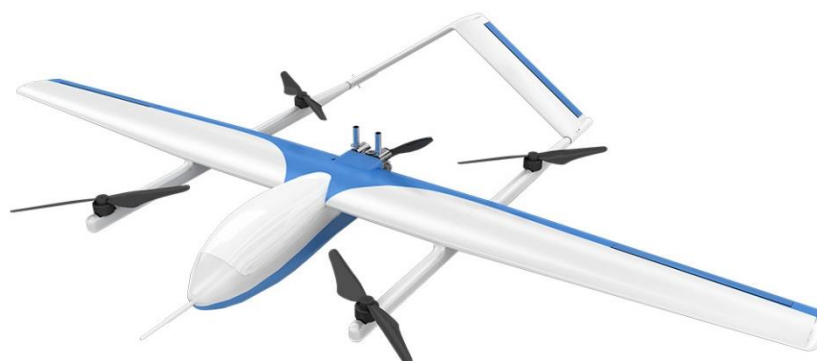
ภาพประกอบ 3 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยึด

ที่มา: <https://th.aliexpress.com/item/32840398479.html?gatewayAdapt=glo2tha>

[14]

2.3.3 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกตรึง

อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกตรึง (Fixed-Wing Hybrid) เป็นอากาศยานที่ใบพัดมีลักษณะผสมกันระหว่างปีกหมุนและปีกยี่ด สามารถขึ้นลงในแนวดิ่งได้ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สนามบินในการขึ้นลง บินได้ไกล และเร็วกว่า แต่ปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย



ภาพประกอบ 4 อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกตรึง

ที่มา: <https://thai.alibaba.com/product-detail/MH-VT60-Aircraft-5km-flight-height-1600208209438.html> [15]

ตาราง 2 คุณลักษณะของอากาศยานไร้คนขับ

คุณลักษณะของอากาศยานไร้คนขับ	ประเภทปีกหมุน	ประเภทปีกยี่ด
ชนิดของอากาศยานไร้คนขับ	DJI Inspire 2	Predator B
น้ำหนักของอากาศยาน	2-5 kg	>150 kg
ระยะทางการบินของอากาศยาน	2 km	1852 km
ระยะเวลาที่ใช้ในการบิน	27 minutes	60 hours
แหล่งจ่ายพลังงาน	4280 mA Li-Battery	Turboprop engine
พื้นที่สำหรับการขึ้นลง	ใช้พื้นที่น้อย	จำเป็นต้องใช้สนามบิน

ที่มา : Jiang X, Sheng M, Zhao N, Xing C, Lu W, and Wang X. Green UAV communications for 6G: A survey. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2021. [16]

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับ 2 ประเภท ที่ปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน และอากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยี่ด พบว่า อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกยี่ดจะสามารถบินได้นานกว่า แต่ด้วยน้ำหนัก และลักษณะการขึ้นลงของอากาศยาน จึงอาจจะส่งผลต่อการใช้งานในด้านการสื่อสารได้

ดังนั้น ปรวิญญาณิพนธ์ฉบับนี้ จึงเลือกทำการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์จัดเส้นทางไร้สาย (Wireless Router) บนอากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน (Multi-Rotor) รุ่น DJI Inspire 2 ที่มีหลักการทำงานโดยใช้แรงยกจากใบพัดแบบปีกหมุนหลายใบพัด ทำให้สามารถผลักดันตัวเองให้ลอยขึ้นในแนวตั้งได้ สามารถควบคุมทิศทาง การขึ้น-การลง, เอียงซ้าย-เอียงขวา และลอยนิ่งในอากาศได้อย่างอิสระ จากการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) มีน้ำหนักเบาอยู่ที่ 2 ถึง 5 กิโลกรัม สามารถบินอยู่บนอากาศได้นานถึง 27 นาที โดยใช้ลิเทียม-แบตเตอรี่ (Li-battery) ความจุ 4280 มิลลิแอมแปร์ จึงเหมาะสำหรับการนำไปปรับใช้ในงานด้านการสื่อสาร เพื่อแก้ปัญหาปริมาณของผู้ใช้งานในพื้นที่ที่จำกัดได้

2.4 การเปลี่ยนช่องสัญญาณ

กระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Handover) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้งานเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เคลื่อนที่ข้ามเซลล์จากสถานีฐานที่ใช้บริการสถานีฐานหนึ่งไปยังอีกสถานีฐานหนึ่ง ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) จากสถานีฐานแรกจะลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งผู้ใช้งานอยู่ที่บริเวณขอบเซลล์ของสถานีฐานแรก สถานีฐานแรกจะต้องส่งต่อการให้บริการกับสถานีฐานถัดไป เมื่อถึงจุดเปลี่ยนสัญญาณ ผู้ใช้งานต้องสามารถไปจับสัญญาณจากสถานีฐานถัดไปได้ทันที เพื่อให้ผู้ใช้บริการทางการสื่อสารที่มีความต่อเนื่อง ราบรื่น และรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น การดูรายการถ่ายทอดสดบนรถไฟฟ้าความเร็วสูง โดยที่สัญญาณภาพ และเสียงไม่กระตุก เป็นต้น การเปลี่ยนช่องสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

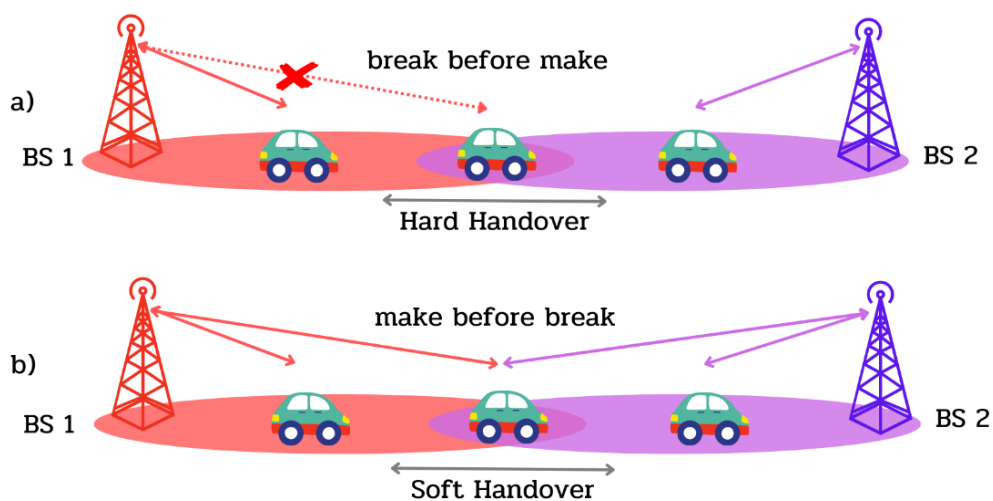
2.4.1 การเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายสื่อสารโดยผู้ใช้งานติดต่อกับสถานีฐานเดี่ยวขณะโอนย้ายการบริการ

การเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายสื่อสารโดยผู้ใช้งานติดต่อกับสถานีฐานเดี่ยวขณะโอนย้ายการบริการ หรือ Hard Handover (HHO) เป็นกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ด้วยวิธีการส่งต่อแบบ ตัดก่อนต่อ (break before make) โดยระบบจะสร้างช่องสัญญาณเชื่อมต่อไปสำหรับผู้ใช้งานกับสถานีฐานตัวเดียวเท่านั้น โดยระบบจะทำการตัดสัญญาณจากสถานีฐานเดิม

ก่อนที่ผู้ใช้งานจะไปจับกับสถานีฐานใหม่ ทำให้การเปลี่ยนช่องสัญญาณประเภทนี้ เกิดปัญหาการเรียกขาดหาย (Dropped Calls) ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานได้

2.4.2 การเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายสื่อสารโดยผู้ใช้งานติดต่อกับหลายสถานีฐานขณะโอนย้ายการบริการ

การเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายสื่อสารโดยผู้ใช้งานติดต่อกับหลายสถานีฐานขณะโอนย้ายการบริการ หรือ Soft Handover (SHO) เป็นกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ด้วยวิธีการส่งต่อแบบ ต่อก่อนตัด (make before break) โดยระบบจะสร้างช่องสัญญาณเชื่อมต่อสำหรับผู้ใช้งาน และสถานีฐานตัวใหม่ก่อนที่จะตัดการเชื่อมต่อกับสถานีฐานตัวเดิม ซึ่งผู้ใช้งานจะมีการติดต่อกับสถานีฐานหลายตัวเพื่อรองรับการให้บริการ การเปลี่ยนช่องสัญญาณประเภทนี้ ทำให้การให้บริการมีความราบรื่น และมีความต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 5 ประเภทของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

2.5 ปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) หรือระบบอัตโนมัติ (Automatics) เป็นเทคโนโลยีที่มีกลไกการทำงานอย่างชาญฉลาด ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของมนุษย์ เน้นความเป็นเหตุเป็นผล โดยใช้หลักตรรกศาสตร์ที่มีระบบความคิดความอ่าน สามารถเรียนรู้ แก้ปัญหา และตัดสินใจได้ด้วยตนเองเช่นเดียวกับมนุษย์ แต่ไม่อาศัยอารมณ์มาช่วยในการวิเคราะห์ แก้ไขปัญหาและตัดสินใจ ปัจจุบันได้มีการนำเอาปัญญาประดิษฐ์เข้ามาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหาร

อุตสาหกรรมกรรมการคนาคม และอุตสาหกรรมการเงิน เป็นต้น ซึ่งปัญญาประดิษฐ์มีศักยภาพในการทำงานที่ดีมากเมื่อเทียบกับเทคนิคการวิเคราะห์แบบอื่น อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุน และเพิ่มรายได้ อย่างมากมาย ซึ่งปัญญาประดิษฐ์สามารถแบ่งประเภทได้ ดังต่อไปนี้

2.5.1 หลักการของการเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากการเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างมีแบบแผน (Pattern) จากข้อมูลตัวอย่างพื้นฐานที่ถูกป้อนเข้าไป และใช้อัลกอริทึมเพื่อวิเคราะห์ ประมวลผล คาดการณ์ แก้ไขปัญหา และตัดสินใจ ซึ่งจะสามารถสร้างแบบจำลองของผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้นเรื่อยๆ ปัจจุบันการเรียนรู้ของเครื่อง มีการพัฒนาความสามารถที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น สามารถรับคำสั่งด้วยเสียง และถอดบทความ โดยไม่มีเงื่อนไขด้านภาษาเข้ามาเกี่ยวข้อง การเรียนรู้ของเครื่อง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การเรียนรู้ด้วยวิธีที่มีผู้สอน (Supervised Learning) การเรียนรู้ด้วยวิธีที่ไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) และการเรียนรู้ด้วยวิธีการเสริมแรง (Reinforcement Learning)

2.5.1.1 อัลกอริทึมการเรียนรู้คิว (Q-Learning Algorithm) เป็นเทคโนโลยีที่มาจากพื้นฐานของการเรียนรู้ของเครื่อง โดยอยู่ในประเภทของการเรียนรู้ด้วยวิธีการเสริมแรง เป็นการเรียนรู้ตามสภาพแวดล้อม ลองผิดลองถูกจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด โดยการประมาณค่าผลรางวัล (Reward) ระยะเวลาที่ได้จากแต่ละการกระทำ (Action) ในแต่ละสถานะ (State) โดยมีผลรวมของผลรางวัล [17] ดังสมการที่ 1

$$Q(s_t, a_t) = E[r_t + \gamma^1 r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots | s = s_t, a = a_t] \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ	$Q(s, a)$	คือ ผลรวมของผลรางวัลทั้งในเวลาปัจจุบันและอนาคต
	s_t	คือ สถานะ ณ เวลา t
	a_t	คือ การกระทำ ณ เวลา t
	r_t	คือ ผลรางวัลที่ได้จากการทำ a_t ใน s_t
	γ	คือ ส่วนลดของผลรางวัล
	E	คือ ค่าประมาณ (Estimate)

สำหรับพารามิเตอร์ ส่วนลดของผลรางวัล (Reward Discount Factor) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 อยู่ที่จะให้ความสำคัญกับค่าผลรางวัลในอนาคตมากแค่ไหน ถ้าอยากให้ความสำคัญมากก็ตั้งให้ค่าส่วนลดของผลรางวัลมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด จากสมการที่ 1 สามารถแทนค่า

ผลรางวัลในอนาคตด้วยค่าการกระทำที่ดีที่สุด (Optimal Action) โดยที่ค่าผลรวมของผลรางวัลที่สถานะจะสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ ดังสมการที่ 2 เรียกสมการนี้ว่า Bellman Equation

$$Q(s_t, a_t) = r_t + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) = r_t + \gamma Q(s_{t+1}, a^*) \quad \dots\dots(2)$$

เมื่อ a^* คือ ค่าการกระทำที่ดีที่สุด

\max_a คือ การหาค่ามากที่สุดโดยการปรับค่า a

จากสมการที่ 2 สามารถอัปเดตค่าคิว ดังสมการที่ 3 โดยที่ค่าการเรียนรู้ (Learning Rate) จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อเป็นตัวกำหนดให้เรียนรู้ได้ช้า หรือเรียนรู้ได้เร็ว จะต้องเป็นค่าที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ทำการอัปเดตค่าคิวของแต่ละสถานะ และการกระทำไปจนกว่าจะได้ค่าที่แม่นยำมากที่สุด

$$Q(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha(r_t + \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)) \quad \dots\dots(3)$$

เมื่อ α คือ ค่าการเรียนรู้

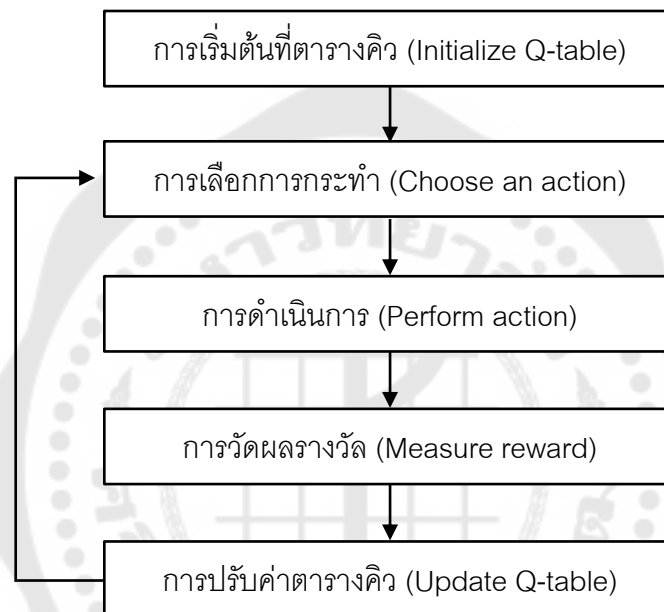
อัลกอริทึมการเรียนรู้คิว มีขั้นตอนการทำงาน ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การเริ่มต้นที่ตารางคิว (Initialize Q-table) เป็นขั้นตอนการสร้างตารางเริ่มต้นเพื่อเก็บค่าผลรวมของผลรางวัลในทุกการกระทำ และทุกสถานะ โดยมีขนาดเป็นจำนวน n แถว และจำนวน m หลัก โดยที่ จำนวน n คือ จำนวนสถานะที่เป็นไปได้ และจำนวน m คือ การกระทำที่เป็นไปได้ ซึ่งค่าในตารางทั้งหมดมีค่าเป็น 0

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกการกระทำ (Choose an action) เป็นขั้นตอนเลือกการกระทำ โดยใช้เทคนิคขั้นตอนละโมบแบบเอปซิลอน (Epsilon Greedy) เข้ามาช่วยตัดสินใจในการเลือกระหว่างการค้นหารูปแบบใหม่ (Explore) หรือการเลือกทำแบบที่คิดว่าดีอยู่แล้ว (Exploit) เพื่อให้ได้การกระทำที่ดีที่สุด ในสถานะนั้นๆ ปกติแล้วจะกำหนดให้ค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่ 1 คือ แนวโน้มในการเลือกระหว่างการค้นหารูปแบบใหม่ แต่ถ้ามีค่าลดลงเข้าใกล้ 0 ก็จะมีแนวโน้มในการเลือกทำแบบที่คิดว่าดีอยู่แล้วนั่นเอง

ขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการ (Perform action) และการวัดผลรางวัล (Measure reward) เป็นการดำเนินการเลือกการกระทำ เมื่อทำการเลือกรูปแบบการกระทำได้แล้ว

ก็จะนำรูปแบบนั้นๆ ไปปรับใช้กับสภาพแวดล้อม ซึ่งสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวชี้วัดว่าหลังจากที่กระทำ ขั้นตอนการวัดผลรางวัลจะอยู่ในสถานะใด และจะได้รางวัลที่เท่าใด

และขั้นตอนที่ 5 การปรับค่าตารางคิว (Update Q-Table) เป็นการปรับค่าตารางคิว เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสม คำนวณการอัปเดตค่าคิว ในสมการที่ 3 จากนั้นวนไปขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด [18] ดังภาพประกอบที่ 6

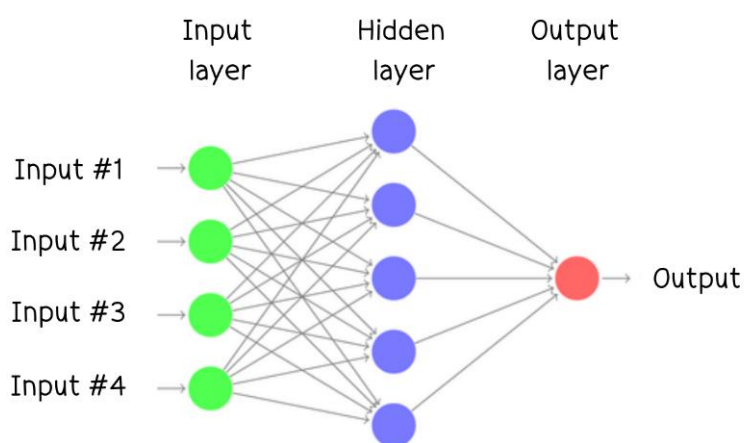


ภาพประกอบ 6 อัลกอริทึมการเรียนรู้คิว

2.5.2 หลักการเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning: DL) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากการเรียนรู้ของเครื่อง สามารถวิเคราะห์การเรียนรู้ แก้ไขปัญหา และตัดสินใจได้ด้วยตนเอง โดยการเลียนแบบระบบเซลล์ประสาทของสมองมนุษย์ หรือที่เรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ (Artificial Neural Networks) ซึ่งประกอบไปด้วย เซลล์ประสาท หรือ นิวรอน (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทจะประกอบไปด้วยปลายในการรับกระแสประสาท หรือ เดนไดรต์ (Dendrite) มีหน้าที่รับสัญญาณอินพุต (Input) เข้ามา โดยแต่ละเดนไดรต์มีค่าน้ำหนักที่ไม่เท่ากัน จากนั้นเซลล์ (Cell Body) มีหน้าที่รวบรวมสัญญาณอินพุตส่งไปยังปลายของกระแสประสาท หรือ แอคซอน (Axon) ซึ่งเป็นเอาต์พุต (Output) ของเซลล์ ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณออกไปนั่นเอง

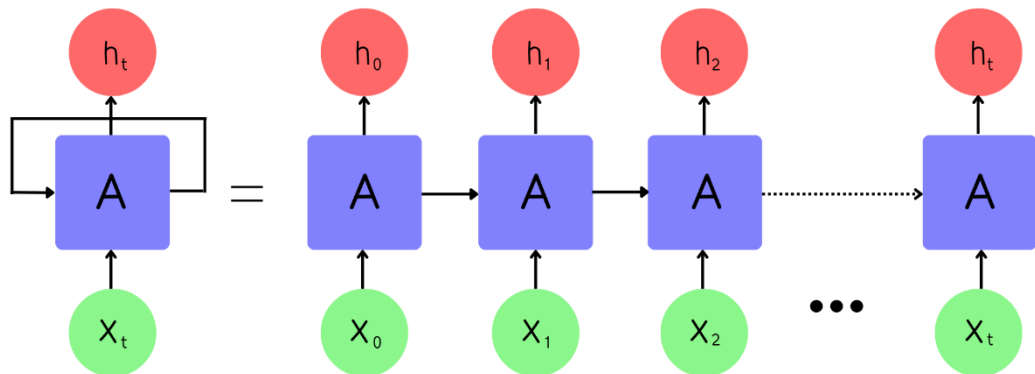
โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ มีทั้งหมด 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) โดยหลักการทำงานจำลองให้อินพุต เข้ามาในระบบและนำค่าอินพุตมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ผลลัพธ์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (Threshold) ที่กำหนดไว้ ถ้าผลลัพธ์มีค่าผลรวมที่น้อยกว่าค่าเริ่มต้นก็จะไม่สามารถส่งเอาต์พุตออกไปได้ แต่ถ้าผลลัพธ์มีค่าผลรวมที่มากกว่าค่าเริ่มต้นก็จะสามารถส่งเอาต์พุตออกไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ ได้ แสดงขั้นตอนการใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้



ภาพประกอบ 7 โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ

ที่มา: <https://inovancetech.com/ann.html> [19]

2.5.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกออกแบบมาเพื่อสำหรับใช้งานกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นลำดับ (Sequence) ตัวอย่างเช่น ภาพวีดิทัศน์ ข้อมูลเสียง หรือข้อความ เป็นต้น มีการทำงานในรูปแบบวนกลับ (Loop) โดยนำเอาค่าเอาต์พุตจากสถานะก่อนหน้าเข้ามาพิจารณาพร้อมกับค่าอินพุตในสถานะต่อไปด้วย

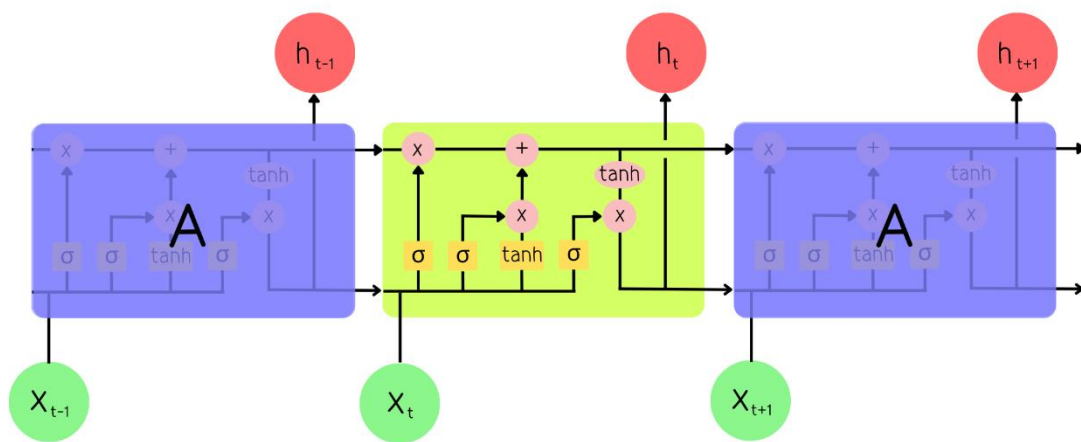


ภาพประกอบ 8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ

โดยที่ x คือ ชั้นอินพุต (Input Layer)
 h คือ ชั้นเอาต์พุต (Output Layer)
 A คือ ชั้นซ่อน (Hidden Layer)

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ จะต้องอาศัยกระบวนการการเผยแพร่ข้อผิดพลาดย้อนหลัง หรือ Backpropagation ซึ่งเป็นกระบวนการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ โครงข่ายประสาทเทียมจะมีความสัมพันธ์กับข้อผิดพลาด ถ้าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ข้อผิดพลาดและผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน กระบวนการการเผยแพร่ข้อผิดพลาดย้อนหลังใช้เทคนิคการไล่ระดับสี (Gradient) เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์และข้อผิดพลาด เริ่มจากการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) แบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์ออกมา โดยจะปรับค่าถ่วงน้ำหนักไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ผลลัพธ์มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ค่าการไล่ระดับสีมีค่าลดลงจนไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลง และไม่สามารถทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักได้อีกแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับจึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดความยาวมากเกินไป เนื่องจากข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่มีลำดับเวลาในการเกิดเหตุการณ์ชัดเจน หรือเรียกว่า รูปแบบของอนุกรมเวลา (Time Series)

2.5.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ เพื่อแก้ปัญหาในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดความยาวมากเกินไป เหมาะสำหรับการจำแนกประมวลผล และคาดการณ์ข้อมูลในรูปแบบของอนุกรมเวลา มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้ประตูสัญญาณ (Gate) เป็นตัวกำหนดและควบคุมการไหลของข้อมูล ประกอบไปด้วย ประตูกำหนดการลืม (Forget gate), ประตูอินพุต (Input gate) และประตูเอาต์พุต (Output gate) [20]



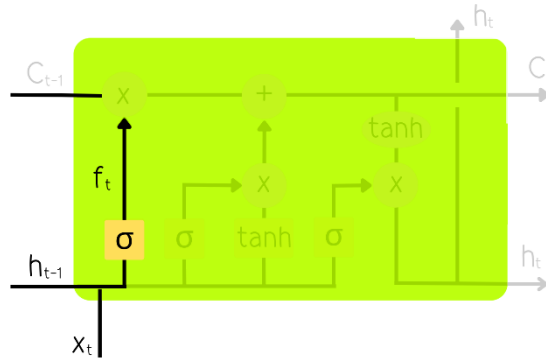
ภาพประกอบ 9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว

เริ่มกันที่ประตูกำหนดการลืม หรือ Forget gate ทำหน้าที่ตัดสินใจว่าข้อมูลที่เข้ามา มีความสำคัญมากน้อยเพียงใด ควรที่จะลบหรือไม่ลบข้อมูลนั้นออกจากสถานะของเซลล์ (Cell State) โดยทำการวิเคราะห์จากเอาต์พุตของสถานะก่อนหน้าร่วมกับอินพุตปัจจุบัน ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) มาช่วยในการตัดสินใจ ถ้าตัดสินใจลบจะให้ค่าเป็น 0 และทำการลบสถานะเดิมนั้นทิ้งไป แต่ถ้าไม่ตัดสินใจลบจะให้ค่าเป็น 1 และยังคงเก็บสถานะของเซลล์เดิมนั้นต่อไป ดังสมการที่ 4

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \dots\dots(4)$$

- เมื่อ f_t คือ ประตูกำหนดการลืม
- σ คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์
- W_f คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์

- h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตสถานะของเซลล์ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$
- x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t
- b_f คือ ค่าไบอัส (bias)



ภาพประกอบ 10 ประตูกำหนดการลืม (Forget gate)

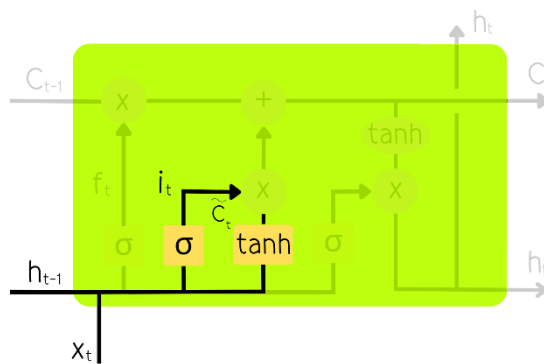
ต่อด้วยประตูอินพุต หรือ Input gate ทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุตที่เข้ามาใหม่ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการอัปเดตสถานะของเซลล์ เมื่อทำการรับข้อมูลอินพุตเข้ามา ส่วนนี้จะถูกควบคุมด้วยประตูอินพุตจากการใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์เป็นตัวตัดสินใจว่าจะอนุญาตให้อัปเดตหรือไม่ ซึ่งการคำนวณยังคงใช้เอาต์พุตของสถานะก่อนหน้าร่วมกับอินพุตปัจจุบัน ดังสมการที่ 5 สำหรับในส่วนที่สอง เมื่อประตูอินพุตเลือกที่จะทำการอัปเดตสถานะของเซลล์ โดยมีประตูสัญญาณด้วยการกล้ำสัญญาณอินพุต (Input Modulation Gate) ทำหน้าที่จัดการข้อมูลที่จะนำมาทำการอัปเดตด้วยการใช้ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Activation Function) โดยสร้างค่าที่มีความใกล้เคียงกัน (Candidate Value) ขึ้นมาในสถานะ เรียกว่า สถานะของเซลล์ที่ค่ามีความใกล้เคียงกัน (Cell State Candidate) ทำการเก็บค่าทั้งในอดีต และปัจจุบันเพื่อรอการอัปเดต ดังสมการที่ 6

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad \dots\dots(5)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad \dots\dots(6)$$

- เมื่อ i_t คือ ประตูอินพุต
- σ คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์

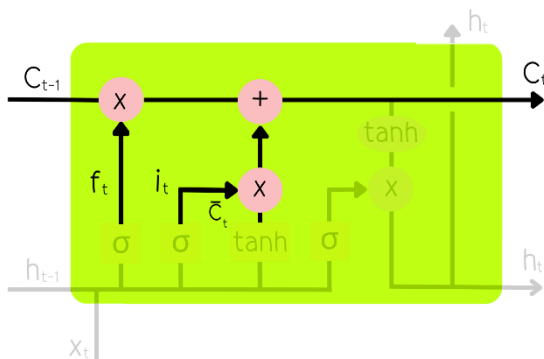
- \tilde{C}_t คือ ค่าที่มีความใกล้เคียงกัน
- \tanh คือ ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์
- W_i, W_c คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์
- h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตสถานะของเซลล์ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$
- x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t
- b_i, b_c คือ ค่าไบอัส



ภาพประกอบ 11 ประตูอินพุต (Input gate)

จากนั้นนำทั้งสองส่วนจากประตูกำหนดการลืม และประตูอินพุตมารวมกัน จะได้ค่าสถานะของเซลล์ หรือ Cell State สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad \dots\dots(7)$$



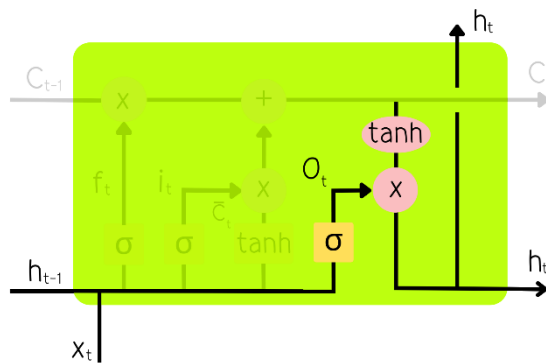
ภาพประกอบ 12 สถานะของเซลล์ (Cell State)

สุดท้ายประตูเอาต์พุต หรือ Output gate ทำหน้าที่เตรียมการส่งออกข้อมูล (Output data) โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์เป็นตัวเลือกว่าข้อมูลส่วนไหนในสถานะของเซลล์จะถูกส่งออก นำไปรวมกับค่าสถานะของเซลล์ที่เข้าฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ จะได้ค่าเอาต์พุต ดังสมการที่ 8

$$O_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad \dots\dots(8)$$

- เมื่อ o_t คือ ประตูเอาต์พุต
 σ คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์
 W_o คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์
 h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตสถานะของเซลล์ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$
 x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t
 b_o คือ ค่าไบอัส (bias)

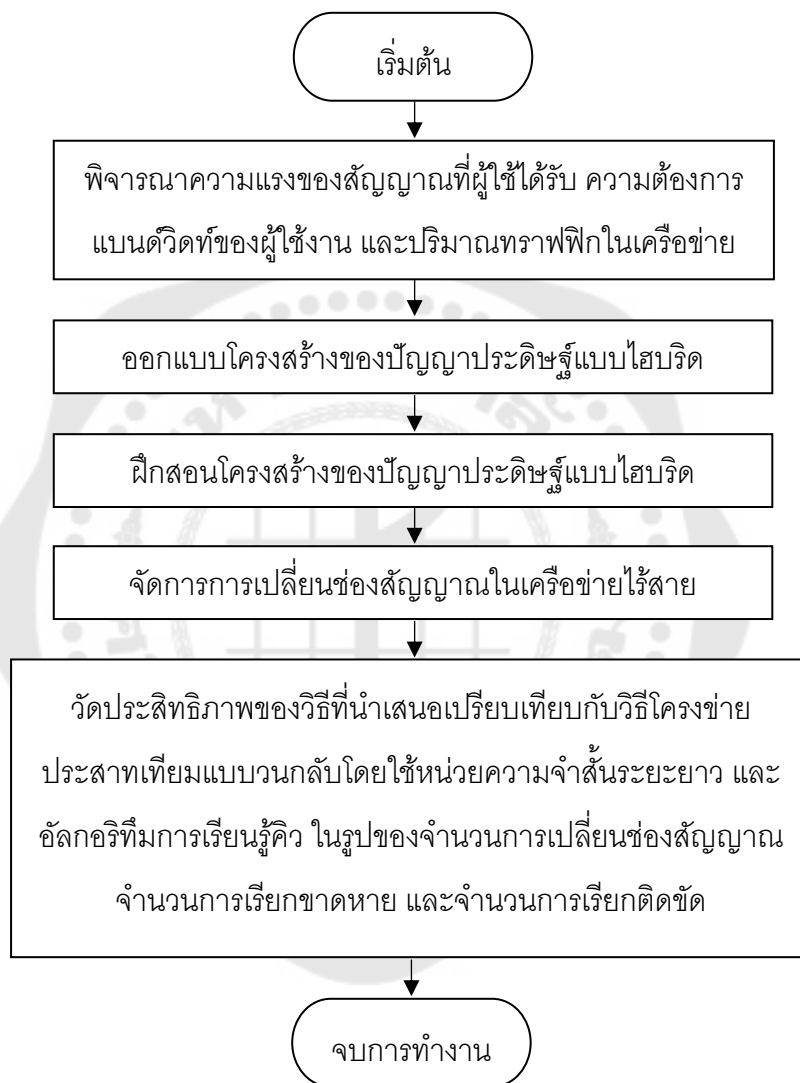
โดยค่าเอาต์พุตที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากโหนดนั้นๆ และค่าเอาต์พุตที่จะถูกส่งไปเป็นข้อมูลอินพุตยังโหนดถัดไป



ภาพประกอบ 13 ประตูเอาต์พุต (Output gate)

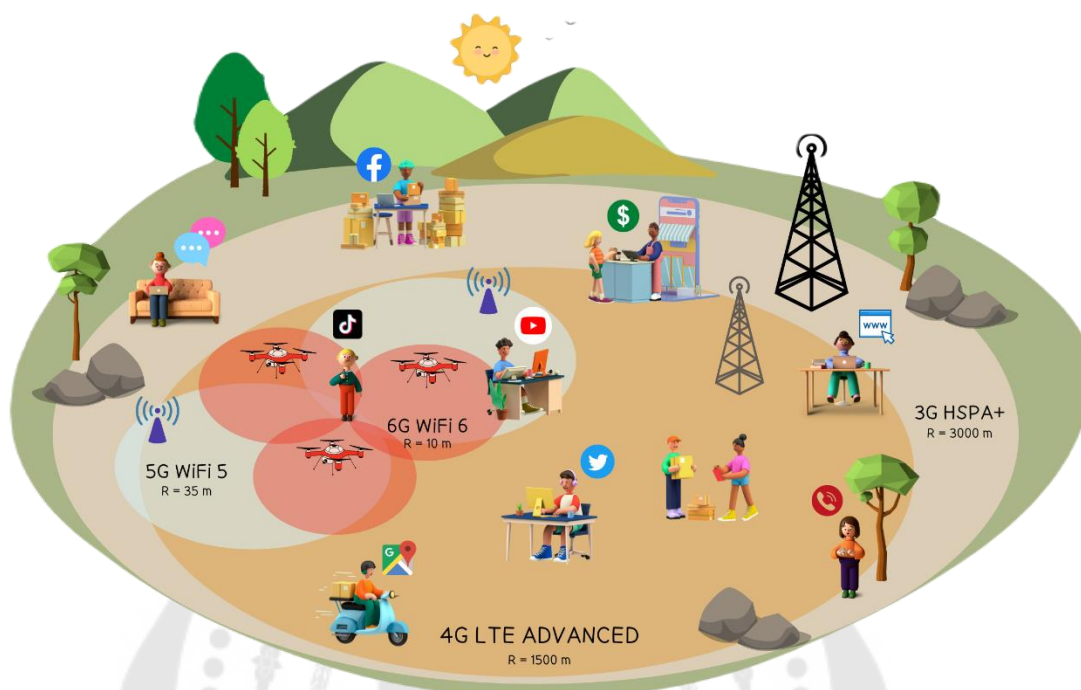
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย



ภาพประกอบ 14 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

3.2 โครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต



ภาพประกอบ 15 โครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต

โครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตที่นำมาพิจารณา ประกอบไปด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐานการสื่อสารวิทยุและโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากลระหว่างประเทศ หรือเรียกว่า International Mobile Telecommunications (IMT) สามารถรองรับการใช้งานในชีวิตประจำวันที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone) การรับส่งจดหมายไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) การสนทนาโทรศัพท์แบบเห็นหน้า (Video call) และการเข้าร่วมประชุมทางไกลผ่านจอภาพ (Video Conference) เป็นต้น โดยผู้วิจัยทำการเลือกพิจารณาเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็คเกจความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) ที่มีคุณสมบัติการทำงานของแต่ละเครือข่ายดังนี้

การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 (3G) ที่พิจารณา คือ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็คเกจความเร็วขั้นสูง (Evolved High Speed Packet Access: HSPA+) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ใช้งานบนความถี่ 2100 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่

อยู่ที่ 42 เมกะบิตต่อวินาที อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 70 มิลลิวินาที

การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 (4G) ที่พิจารณา คือ เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (Long Term Evolution Advanced: LTE Advanced) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ใช้งานบนความถี่ 2600 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 1 กิกะบิตต่อวินาที อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 500 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 10 มิลลิวินาที

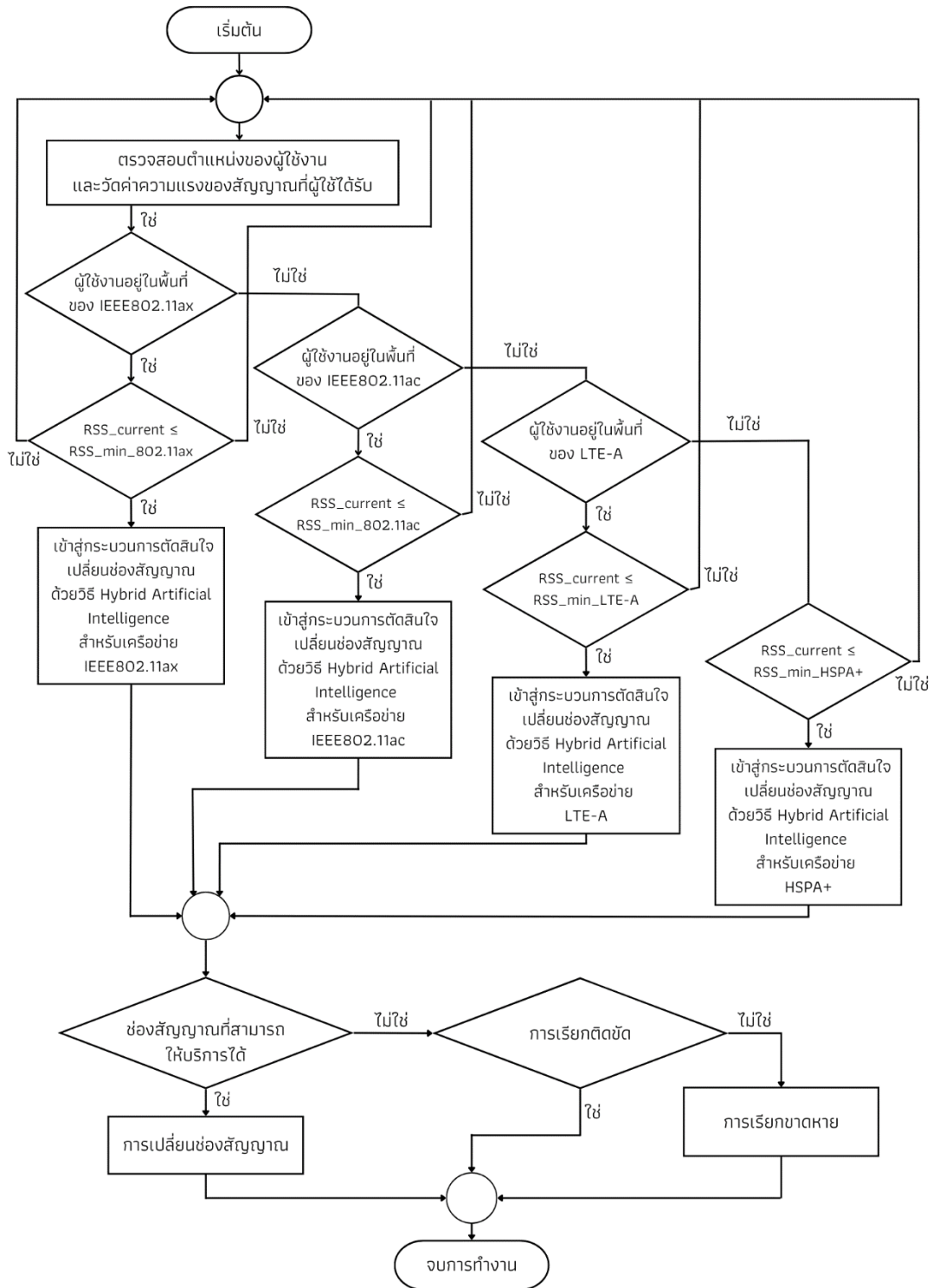
การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5 (5G) ที่พิจารณา คือ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20/40/80/160 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 6.9 เมกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 4.49 กิกะบิตต่อวินาที ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 1 มิลลิวินาที

การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 6 (6G) ที่พิจารณา คือ มาตรฐาน IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) มีคุณสมบัติในการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ขนาด 20/40/80/160 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดขณะประจำที่อยู่ที่ 10 กิกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ 5 กิกะบิตต่อวินาที ด้วยเวลาในการตอบสนองที่ 100 ไมโครวินาที โดยออกแบบให้ติดตั้งอุปกรณ์จัดเส้นทางไร้สาย (Wireless Router) บนอากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน (Multi-Rotor) ที่มีน้ำหนักเบา 2 ถึง 5 กิโลกรัม สามารถควบคุมทิศทางการบินลง เอียงซ้ายขวา และลอยนิ่งในอากาศได้อย่างอิสระ โดยบินได้นานถึง 27 นาที ด้วยลิเทียม-แบตเตอรี่ (Li-battery) ความจุ 4280 มิลลิแอมแปร์

กำหนดรัศมีการทำงานโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตทั้ง 4 เครือข่ายดังนี้

เครือข่าย 3G HSPA+	มีรัศมีการของสถานีฐานอยู่ที่ 3000 เมตร
เครือข่าย 4G LTE Advanced	มีรัศมีการของสถานีฐานอยู่ที่ 1500 เมตร
เครือข่าย 5G IEEE 802.11ac	มีรัศมีการของสถานีฐานอยู่ที่ 35 เมตร
เครือข่าย 6G IEEE 802.11ax	มีรัศมีการของสถานีฐานอยู่ที่ 10 เมตร

3.3 การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต
 3.3.1 กระบวนการตัดสินใจของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ



ภาพประกอบ 16 กระบวนการตัดสินใจของการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

3.3.2 ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) แต่ ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต

3.3.2.1 ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ สำหรับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) แสดงได้จากสมการที่ 9

$$RSS(d)_{dBm} = 10 \log \left(\frac{100}{(39.37d)^\gamma} \right) \quad \dots\dots(9)$$

โดยที่ γ คือ ค่าลดทอนการสูญเสีย กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.8

d คือ ค่าระยะทาง มีหน่วยเป็นเมตร

3.3.2.2 ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ สำหรับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) และเครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) โดยทำการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ (Path Loss) แสดงได้จากสมการที่ 10

$$PL(d)_{dB} = S + 10n \log(d) + X_\gamma \quad \dots\dots(10)$$

โดยที่ S คือ ค่าลดทอนกำลังของสัญญาณ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 19 dB

n คือ ค่าตัวคูณในการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างหรือตึกอาคารสถานที่ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3.5

d คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้อุปกรณ์กับสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร

X_γ คือ ค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 36 dB

จากนั้นนำสมการที่ 10 มาคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ แสดงได้จากสมการที่ 11

$$RSS(d) = P_t - PL(d) \quad \dots\dots(11)$$

โดยที่ P_t คือ ค่ากำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน เท่ากับ 1 วัตต์

d คือ ค่าระยะทาง มีหน่วยเป็นเมตร

การคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต จะได้ค่าผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้ และสามารถทำการแบ่งช่วงความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับออกมาเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 3

เครือข่าย 3G HSPA+	มีค่า	-146.70 dBm ถึง -25.00 dBm
เครือข่าย 4G LTE Advanced	มีค่า	-136.16 dBm ถึง -25.00 dBm
เครือข่าย 5G IEEE 802.11ac	มีค่า	-67.90 dBm ถึง -24.67 dBm
เครือข่าย 6G IEEE 802.11ax	มีค่า	-52.67 dBm ถึง -24.67 dBm

ตาราง 3 แสดงค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย

ชนิดของเครือข่าย	ช่วงต่ำ (dBm)	ช่วงกลาง (dBm)	ช่วงสูง (dBm)
3G HSPA+	[-146.70, -106.13]	(-106.13, -65.57]	(-65.57, -25.00)
4G LTE Advanced			
5G IEEE 802.11ac	[-67.90, -53.49]	(-53.49, -39.08]	(-39.08, -24.67)
6G IEEE 802.11ax			

ที่ ม ๑ : Choothong Y, Kunarak S, and Duangjan T, editors. Handover in Next Generation Wireless Networks based on Hybrid Artificial Intelligence. *The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)*; 2022 16-18 November 2022; Nakhon Nayok, Thailand. [21]

3.3.3 ความต้องการแบนด์วิดท์

3.3.3.1 แอปพลิเคชันของเวลาจริง (Real-Time Application) ของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งชาติ โดยการกำหนดให้แอปพลิเคชันของเวลาจริงในเครือข่ายทั้ง 4 เครือข่าย มีค่ามากกว่า 384 กิโลบิตต่อวินาที สามารถทำการแบ่งช่วงแอปพลิเคชันของเวลาจริงออกมาเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 4

ตาราง 4 แสดงค่าแอปพลิเคชันของเวลาจริงของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย

ชนิดของเครือข่าย	ช่วงต่ำ (bps)	ช่วงกลาง (bps)	ช่วงสูง (bps)
3G HSPA+ Evolved			
4G LTE Advanced	(0K, 1M]	(1M, 5M]	>5M
5G IEEE 802.11ac			
6G IEEE 802.11ax			

3.3.3.2 แอปพลิเคชันของเวลาไม่จริง (Non-Real-Time Application) ของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งชาติ โดยกำหนดให้แอปพลิเคชันของเวลาไม่จริงในเครือข่ายทั้ง 4 เครือข่าย มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 384 กิโลบิตต่อวินาที สามารถทำการแบ่งช่วงแอปพลิเคชันของเวลาไม่จริงออกมาเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 5

ตาราง 5 แสดงค่าแอปพลิเคชันของเวลาไม่จริงของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย

ชนิดของเครือข่าย	ช่วงต่ำ (bps)	ช่วงกลาง (bps)	ช่วงสูง (bps)
3G HSPA+ Evolved			
4G LTE Advanced	(0K, 64K]	(64K, 128K]	>128K
5G IEEE 802.11ac			
6G IEEE 802.11ax			

3.3.4 ปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย (Traffic Intensity) แต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต

กำหนดปริมาณทราฟฟิกของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต และสามารถทำการแบ่งช่วงของปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายออกมาเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 6

เครือข่าย 3G HSPA+ และ 4G LTE Advanced มีค่า 0 ถึง 4000 คน
เครือข่าย 5G IEEE 802.11ac และ 6G IEEE 802.11ax มีค่า 0 ถึง 20 คน

ตาราง 6 แสดงค่าปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายของแต่ละเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สาย

ชนิดของเครือข่าย	ช่วงต่ำ (คน)	ช่วงกลาง (คน)	ช่วงสูง (คน)
3G HSPA+	[0, 1300]	[1301, 2650]	[2651, 4000]
4G LTE Advanced			
5G IEEE 802.11ac	[0, 6]	[7, 13]	[14, 20]
6G IEEE 802.11ax			

ที่มา: Kunarak, S., Suleesathira, R. (2013). Algorithmic vertical handoff decision and merit network selection across heterogeneous wireless networks. *WSEAS Transactions on Communications*, 12, 1-13. [22]

3.4 การจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

3.4.1 การออกแบบเงื่อนไขของอินพุต และเงื่อนไขของเป้าหมายในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต

กำหนดเงื่อนไขของการออกแบบค่าอินพุตเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงต่ำ (Low), ช่วงกลาง (Medium) และช่วงสูง (High) เพื่อช่วยตัดสินใจในการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สามารถแบ่งการออกแบบทั้งหมดเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรก สำหรับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) และเครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) มี 27 กรณี ดังตารางที่ 7 และช่วงที่สอง สำหรับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) มี 27 กรณี ดังตารางที่ 8 รวมทั้งหมดเป็น 54 กรณี ดังนี้

เงื่อนไขของการออกแบบค่าอินพุต

ช่วงต่ำ	เท่ากับ 0.25
ช่วงกลาง	เท่ากับ 0.50
ช่วงสูง	เท่ากับ 0.75

เงื่อนไขของเป้าหมายในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

เปลี่ยนช่องสัญญาณ	เท่ากับ 0
ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ	เท่ากับ 1

การตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณของเครือข่ายในระบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต ประกอบด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) โดยมุ่งเน้นไปที่ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับเป็นการตัดสินใจหลัก เมื่อค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าต่ำ ควรพิจารณาในการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปยังเซลล์อื่นข้างเคียงที่สามารถให้บริการต่อไปได้ แต่ถ้าค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่ากลาง หรือมีค่าสูง ก็ควรพิจารณาพารามิเตอร์ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย เป็นขั้นตอนถัดไป

เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) และเครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เป็นเครือข่ายที่รองรับปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานกว้าง สามารถรองรับความต้องการแบนด์วิดท์โดยขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้แอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่น ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ความต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าอยู่ในช่วงต่ำ และปริมาณทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วงสูง ก็ยังสามารถใช้งานบนเครือข่ายได้โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณ แต่ถ้าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ความต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าอยู่ในช่วงสูง และปริมาณทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ ก็ควรพิจารณาให้เปลี่ยนช่องสัญญาณไปยังเซลล์ข้างเคียงที่สามารถให้บริการได้ต่อไป

เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) เป็นเครือข่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณที่น้อย ทำให้ไม่สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกที่สูงได้ การรองรับความต้องการแบนด์วิดท์ก็ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้แอปพลิเคชันของผู้ใช้งานเช่นกันกับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP แต่มีคุณสมบัติการรับส่งผ่านแบนด์วิดท์ได้กว้างกว่า ตัวอย่างเช่น ความแรงของของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ความต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าอยู่ในช่วงสูง และปริมาณทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ ก็ยังสามารถใช้งานบนเครือข่ายได้โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณ แต่ถ้าความแรงของของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับมีค่าอยู่ในช่วงกลาง ความต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าอยู่ในช่วงต่ำ และปริมาณทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วงสูง ก็ควรพิจารณาให้ผู้ใช้งานมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปยังเครือข่ายใกล้เคียงที่สามารถให้บริการถัดไป

กำหนดเงื่อนไขของการออกแบบค่าอินพุต สามารถแสดงการแบ่งช่วงของเงื่อนไขในการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของเงื่อนไขในการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตาราง 7 แสดงการแบ่งช่วงของการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของการจัดการเปลี่ยน
ช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 3G HSPA+ และ 4G LTE Advanced

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ

ตาราง 7 (ต่อ)

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ



ตาราง 8 แสดงการแบ่งช่วงของการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของการจัดการเปลี่ยน
ช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 5G IEEE 802.11ac และ 6G IEEE 802.11ax

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิธ	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ

ตาราง 8 (ต่อ)

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงต่ำ	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงกลาง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ
ช่วงสูง	ช่วงสูง	ช่วงสูง	ไม่เปลี่ยนช่องสัญญาณ

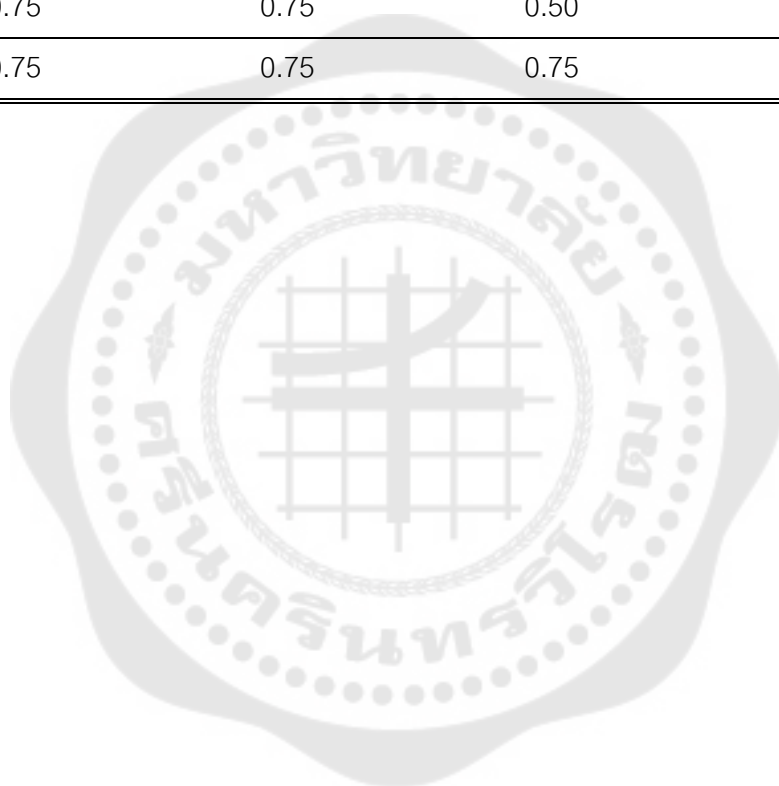


ตาราง 9 แสดงการแบ่งช่วงของเงื่อนไขในการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของเงื่อนไขในการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 3G HSPA+ และ 4G LTE Advanced

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
0.25	0.25	0.25	0
0.25	0.25	0.50	0
0.25	0.25	0.75	0
0.25	0.50	0.25	0
0.25	0.50	0.50	0
0.25	0.50	0.75	0
0.25	0.75	0.25	0
0.25	0.75	0.50	0
0.25	0.75	0.75	0
0.50	0.25	0.25	1
0.50	0.25	0.50	1
0.50	0.25	0.75	1
0.50	0.50	0.25	1
0.50	0.50	0.50	1
0.50	0.50	0.75	0
0.50	0.75	0.25	0
0.50	0.75	0.50	0
0.50	0.75	0.75	0
0.75	0.25	0.25	1
0.75	0.25	0.50	1
0.75	0.25	0.75	1
0.75	0.50	0.25	1

ตาราง 9 (ต่อ)

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
0.75	0.50	0.50	1
0.75	0.50	0.75	1
0.75	0.75	0.25	1
0.75	0.75	0.50	1
0.75	0.75	0.75	1

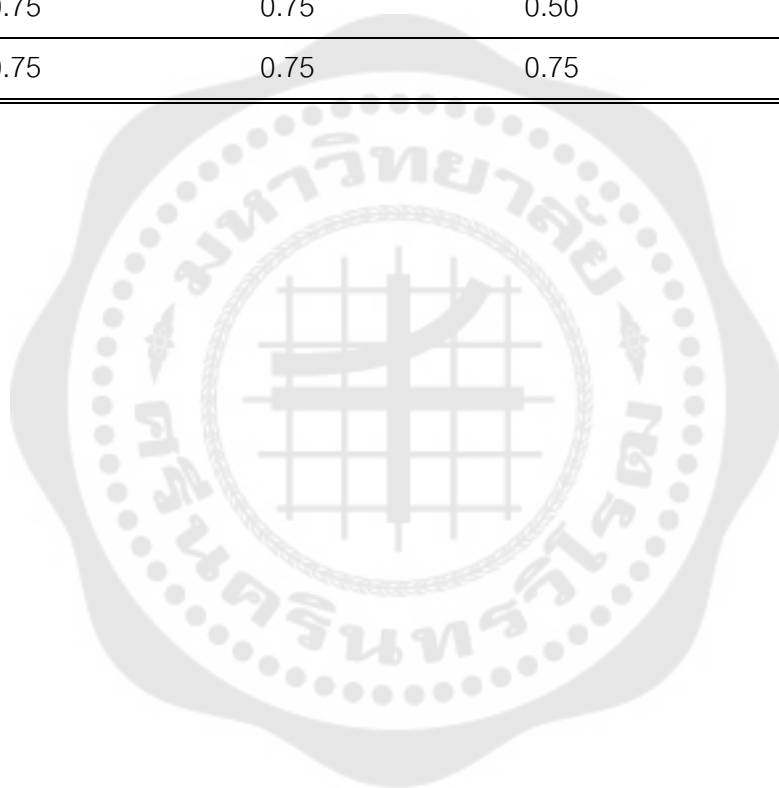


ตาราง 10 แสดงการแบ่งช่วงของเงื่อนไขในการออกแบบค่าอินพุต และผลลัพธ์ของเงื่อนไขในการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ สำหรับเครือข่าย 5G IEEE 802.11ac และ 6G IEEE 802.11ax

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
0.25	0.25	0.25	0
0.25	0.25	0.50	0
0.25	0.25	0.75	0
0.25	0.50	0.25	0
0.25	0.50	0.50	0
0.25	0.50	0.75	0
0.25	0.75	0.25	0
0.25	0.75	0.50	0
0.25	0.75	0.75	0
0.50	0.25	0.25	1
0.50	0.25	0.50	1
0.50	0.25	0.75	0
0.50	0.50	0.25	1
0.50	0.50	0.50	1
0.50	0.50	0.75	0
0.50	0.75	0.25	1
0.50	0.75	0.50	1
0.50	0.75	0.75	1
0.75	0.25	0.25	1
0.75	0.25	0.50	1
0.75	0.25	0.75	1
0.75	0.50	0.25	1

ตาราง 10 (ต่อ)

ความแรงของ สัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ	ความต้องการ แบนด์วิดท์	ปริมาณทราฟฟิก ในเครือข่าย	การจัดการเปลี่ยน ช่องสัญญาณ
0.75	0.50	0.50	1
0.75	0.50	0.75	1
0.75	0.75	0.25	1
0.75	0.75	0.50	1
0.75	0.75	0.75	1



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

สำหรับผลการดำเนินการวิจัยของปริญญาโทฉบับนี้ วัดผลจากประสิทธิภาพในการเปลี่ยนช่องสัญญาณของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด ซึ่งเป็นวิธีที่ผสมผสานการทำงานร่วมกันของสองวิธี คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก เริ่มจากพิจารณาชุดข้อมูลอินพุตของแต่ละเครือข่าย ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย โดยทำการสุ่มจำนวนผู้ใช้งานในเครือข่าย 100 ถึง 2500 คน จำลองผ่านการใช้งานบนระบบเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคต ประกอบไปด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) จากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก ผลลัพธ์แสดงในรูปแบบของจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Number of Handovers) จำนวนการเรียกขาดหาย (Dropped Calls) และจำนวนการเรียกติดขัด (Blocked Calls) สามารถแบ่งเนื้อหาเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ
2. จำนวนการเรียกขาดหาย
3. จำนวนการเรียกติดขัด

4.1 จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

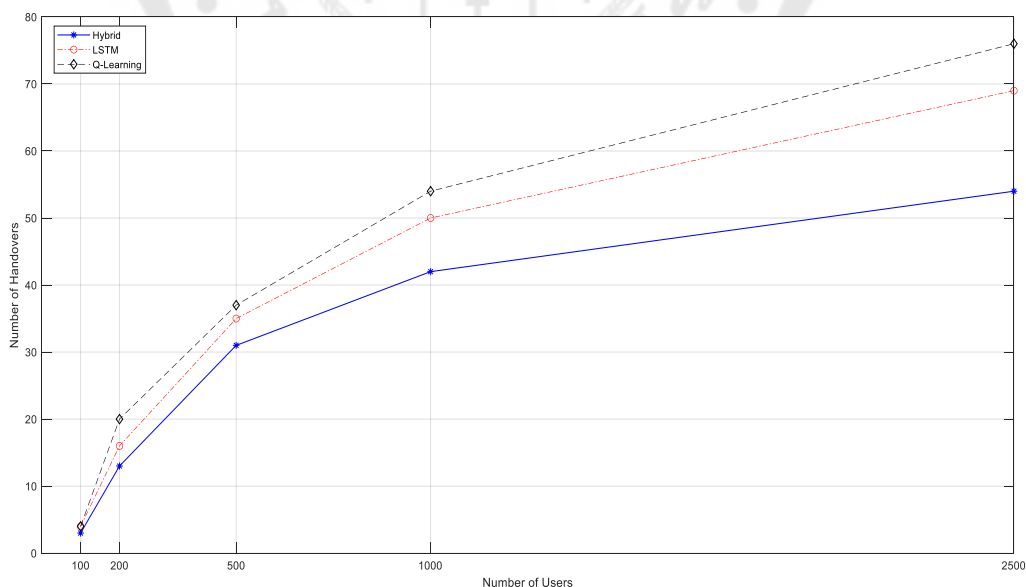
สำหรับการวัดประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ดังภาพประกอบที่ 17 จากกราฟเมื่อจำนวนผู้ใช้งานในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น วิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดมีแนวโน้มในการลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณได้ดีกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก จึงตอบโจทย์ในการแก้ปัญหาเรื่องจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ หรือการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น ทำให้เกิดการเปลี่ยนช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดการใช้ทรัพยากรในเครือข่ายไร้สายได้ ซึ่งส่งผลถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานในขณะที่ได้รับบริการ

4.2 จำนวนการเรียกขาดหาย

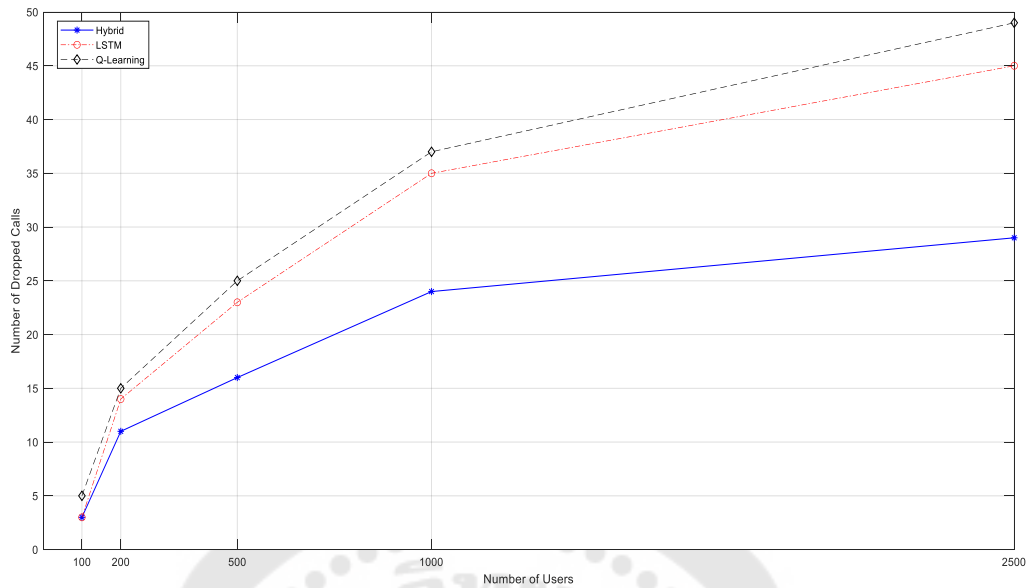
สำหรับการวัดประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบจำนวนการเรียกขาดหาย กรณีเมื่อจำนวนผู้ใช้งานในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น วิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดที่นำเสนอก็สามารถช่วยลดจำนวนการเรียกขาดหายได้ดีกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิคว ส่งผลให้การเชื่อมต่อมีความเสถียรภาพ รองรับการให้บริการกับผู้ใช้งานในเครือข่ายมากขึ้น มีช่องสัญญาณที่เพียงพอต่อปริมาณผู้ใช้งานในเครือข่าย ผู้ใช้งานจะสามารถใช้บริการเครือข่ายได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการติดต่อสื่อสาร แสดงดังภาพประกอบที่ 18

4.3 จำนวนการเรียกติดขัด

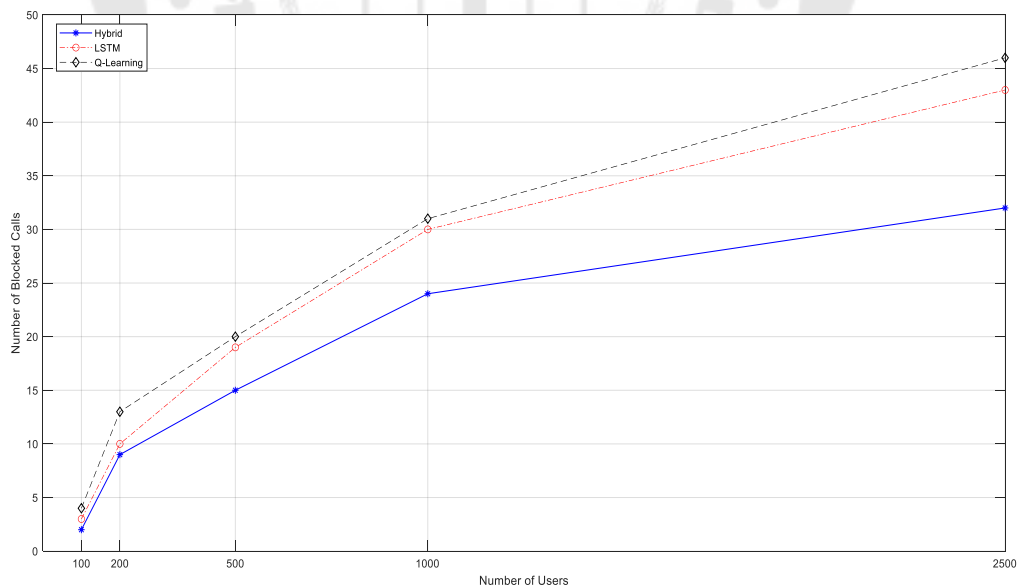
สำหรับการวัดประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบจำนวนการเรียกติดขัด มีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันกับจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ และจำนวนการเรียกขาดหาย โดยพิจารณาเมื่อผู้ใช้งานในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น วิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดที่นำเสนอก็สามารถช่วยลดจำนวนการเรียกติดขัดได้ดีกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิควเช่นกัน โดยช่วยลดการสะดุด หรือสัญญาณติดขัดในการติดต่อสื่อสารระหว่างการให้บริการได้ แสดงดังภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบ 17 จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิคว



ภาพประกอบ 18 จำนวนการเรียกขาดหายของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิก



ภาพประกอบ 19 จำนวนการเรียกติดขัดของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิก

ตาราง 11 แสดงค่าประสิทธิภาพของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้คิว

ค่าเฉลี่ย	วิธี ปัญญาประดิษฐ์ แบบไฮบริด	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม แบบวนกลับโดยใช้ หน่วยความจำสั้นระยะยาว	อัลกอริทึม การเรียนรู้คิว
จำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ	29	35	39
จำนวนการเรียกขาดหาย	17	24	27
จำนวนการเรียกติดขัด	17	21	23

จากผลการทดลอง เห็นได้ชัดว่าเมื่อปริมาณผู้ใช้งานในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น กระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด สามารถลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ จำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการเรียกติดขัด โดยคำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งผู้ใช้งานที่ 100, 200, 500, 1000 และ 2500 คน จะได้ค่าเฉลี่ยตามตารางที่ 11 พบว่ามีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 17.14, 29.17 และ 19.05 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการเรียนรู้คิว มีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 25.64, 37.04 และ 26.09 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สำหรับการสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ จากการทำวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณ เริ่มต้นด้วยการนำพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย มาเป็นอินพุตของระบบ จากนั้นทำการพิจารณาการตัดสินใจเปลี่ยนช่องสัญญาณบนพื้นฐานของวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด ผ่านการจำลองบนเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตที่ทำการออกแบบไว้ ประกอบด้วยเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP และเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 สุดท้ายทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ โดยสามารถแบ่งเนื้อหาเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สำหรับการสรุปผลการวิจัยจากการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดที่มีการทำงานร่วมกันของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งช่วยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ลดจำนวนการเรียกขาดหาย และลดจำนวนการเรียกติดขัดได้ เนื่องจากข้อดีของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว สามารถประมวลผลบนข้อมูลที่มีลักษณะเป็นลำดับ และมีฟังก์ชันหน่วยความจำคอยควบคุมข้อมูลที่เข้ามาในระบบ ทำให้วิเคราะห์ข้อมูลสื่อสารที่มีความต่อเนื่องได้ดี ส่วนอัลกอริทึมการเรียนรู้ควิ จะเข้ามาช่วยเสริมการทำงานของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว ด้วยการนำเทคนิคปรับค่าถ่วงน้ำหนักมาคำนวณหาค่าความผิดพลาด เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ทั้งสองวิธีจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณบนระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สาย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

สำหรับการอภิปรายผลจากข้อสมมติฐานในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณบนเครือข่ายสื่อสารไร้สายแห่งอนาคตโดยอาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด เป็นการนำวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้คว มาผสมผสานการทำงานโดยนำข้อดีของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาวที่สามารถคาดการณ์ข้อมูลในรูปของอนุกรมเวลาได้อย่างแม่นยำจากการประมวลผลข้อมูลผ่านทั้ง 3 ประตู่ ได้แก่ ประตู่กำหนดการลิ้ม ประตู่อินพุต และประตู่เอาต์พุต โดยคำนวณค่าเอาต์พุตออกมาเป็น 2 ค่า คือ เอาต์พุตของสถานะนี้ กับเอาต์พุตที่จะไปเป็นข้อมูลอินพุตของสถานะถัดไป ในส่วนเอาต์พุตของสถานะนี้จะนำไปปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยการใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ควที่มีเทคนิคการวัดผลรางวัล มาคำนวณหาค่าความผิดพลาดเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตที่มีการทำงานร่วมกันของเครือข่ายหลายเทคโนโลยีประกอบไปด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP ได้แก่ เทคโนโลยีการเข้าถึงแพ็กเก็ตความเร็วขั้นสูง (3G) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (4G) เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แก่ มาตรฐาน IEEE 802.11ac (5G) และมาตรฐาน IEEE 802.11ax (6G) มาเป็นแบบจำลองการทดสอบกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ โดยสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานในเครือข่าย 100 ถึง 2500 คน ทำการเลือกพิจารณาพารามิเตอร์ในแต่ละเครือข่ายทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ คือ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย กำหนดค่าให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง และเข้าสู่กระบวนการจัดการเปลี่ยนช่องสัญญาณของเครือข่ายนั้นๆ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า กระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด สามารถช่วยลดจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ ลดจำนวนการเรียกขาดหาย และลดจำนวนการเรียกติดขัดได้ดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่มีคุณภาพ ลดการใช้ทรัพยากรของระบบสื่อสารไร้สาย การใช้งานบนเครือข่ายสื่อสารไร้สายมีความต่อเนื่อง และราบรื่น ส่งผลถึงความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน โดยพบว่ามีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 17.14, 29.17 และ 19.05 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และยังมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 25.64, 37.04 และ 26.09 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการเรียนรู้คว

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 งานวิจัยนี้ สามารถพัฒนากระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณได้ด้วยการเลือกพิจารณาพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ นอกเหนือจากพารามิเตอร์ที่นำเสนอ คือ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิธ และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย

5.3.2 งานวิจัยนี้ ทำการออกแบบเครือข่ายการสื่อสารไร้สายแห่งอนาคต และจำลองการทำงานร่วมกันของเทคโนโลยีบางชนิด ประกอบด้วย เครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน 3GPP และเครือข่ายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 อนาคตอาจมีเทคโนโลยีอื่นที่มีความทันสมัย และรวดเร็วมากกว่า จึงสามารถเลือกพิจารณาเครือข่ายอื่นๆ ที่สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างหลากหลาย เทคโนโลยี เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมที่ใช้งานจริง

5.3.3 งานวิจัยนี้ พิจารณาการทำงานแบบไฮบริดของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับโดยใช้หน่วยความจำสั้นระยะยาว และอัลกอริทึมการเรียนรู้คว ในอนาคตสามารถพัฒนากระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณได้ด้วยการเลือกพิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมวิธีอื่นๆ หรือการทำวิธีปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริดของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่นเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำนายประสิทธิภาพที่แม่นยำ และถูกต้องในกระบวนการตัดสินใจเปลี่ยนช่องสัญญาณมากยิ่งขึ้น

5.3.4 งานวิจัยนี้ เลือกวัดผลประสิทธิภาพในรูปแบบของจำนวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณ จำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการเรียกติดขัดเท่านั้น อนาคตสามารถพิจารณาเลือกการวัดผลประสิทธิภาพด้วยรูปแบบอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่มากกว่าได้

บรรณานุกรม

1. Tanaporn C. สถิติ Digital และ Social Media จาก We Are Social อัปเดตปี 2023 2023 [Available from: สืบค้นจาก : <https://thegrowthmaster.com/trends/digital-trend-statistic-2023>].
2. Shubyn B, Maksymyuk T, editors. Intelligent Handover Management in 5G Mobile Networks based on Recurrent Neural Networks. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT); 2019 2-6 July 2019.
3. Shubyn B, Lutsiv N, Syrotynskiy O, Kolodii R, editors. Deep Learning based Adaptive Handover Optimization for Ultra-Dense 5G Mobile Networks. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET); 2020 25-29 Feb. 2020.
4. Abdelmohsen A, Abdelwahab M, Adel M, Darweesh MS, Mostafa H, editors. LTE Handover Parameters Optimization Using Q-Learning Technique. 2018 IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS); 2018 5-8 Aug. 2018.
5. Adel M, Darweesh MS, Mostafa H, Kamal H, El-Ghoneimy M, editors. Optimization of Handover Problem Using Q-learning for LTE Network. 2018 30th International Conference on Microelectronics (ICM); 2018 16-19 Dec. 2018.
6. Madelkhanova A, Becvar Z, editors. Optimization of Cell Individual Offset for Handover of Flying Base Station. 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring); 2021 25-28 April 2021.
7. Gao Z, Chen C, Li Y, Wen B, Huang L, Zhao Y, editors. A mobility load balancing algorithm based on handover optimization in LTE network. 2015 10th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE); 2015 22-24 July 2015.
8. Nguyen MT, Kwon S, Kim H. Mobility Robustness Optimization for Handover Failure Reduction in LTE Small-Cell Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2018;67(5):4672-6.
9. Joe I, Hong S, editors. A Mobility-based Prediction Algorithm for Vertical Handover

in Hybrid Wireless Networks. 2007 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Broadband Convergence Networks; 2007 21-21 May 2007.

10. Ezz-Eldien NA, Abdelkader MF, Abdalla MI, Abdel-Atty HM, editors. Handover Performance Improvement in Heterogeneous Wireless Network. 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON); 2020 4-7 Nov. 2020.

11. Debnath A, Kumar N, editors. Simple Additive Weighted Algorithm for Vertical Handover in Heterogeneous Network. 2020 2nd PhD Colloquium on Ethically Driven Innovation and Technology for Society (PhD EDITS); 2020 8-8 Nov. 2020.

12. Training FG. Comparison of different Technology Generations 2020 [Available from: Retrieved from <https://twitter.com/6Gtraining/status>.

13. Diamu. DJI Inspire 2 2022 [Available from: Retrieved from <https://diamu.com.bd/product/dji-inspire-2/>.

14. AliExpress. Believer UAV 1960Mm Wingspan EPO 2021 [Available from: Retrieved from <https://th.aliexpress.com/item/32840398479.html?gatewayAdapt=glo2tha>.

15. Alibaba. VTOL Fixed Wing UAV 2022 [Available from: Retrieved from <https://thai.alibaba.com/product-detail/MH-VT60-Aircraft-5km-flight-height-1600208209438.html>.

16. Jiang X, Sheng M, Zhao N, Xing C, Lu W, Wang X. Green UAV communications for 6G: A survey. Chinese Journal of Aeronautics. 2021.

17. Hampadungkij T. Q-Learning 2020 [Available from: สืบค้นจาก : <https://thammasorn.github.io/2020/05/03/Q-learning.html>.

18. Chukamphaeng N. Reinforcement Learning: สอน AI ด้วย Q-Learning กันดีกว่า 2018 [Available from: สืบค้นจาก : <https://medium.com/@nutorbitx/reinforcement-learning-สอน-ai-ด้วย-q-learning-กันดีกว่า-cb5e0f4a2cac>.

19. Technologies IF. What is an Artificial Neural Network 2017 [Available from: Retrieved from <https://inovancetech.com/ann.html>.

20. Smitsomboon S. สรุปความเข้าใจ RNN, LSTM, GRU 2020 [Available from: สืบค้นจาก : <https://sirawich99.medium.com/สรุปความเข้าใจ-rnn-lstm-gru-24-10-2020-95602afe3053>.

21. Choothong Y, Kunarak S, Duangjan T, editors. Handover in Next Generation Wireless Networks based on Hybrid Artificial Intelligence. The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45); 2022 16-18 November 2022; Nakhon Nayok, Thailand.
22. Kunarak S, Suleesathira, R. Algorithmic vertical handoff decision and merit network selection across heterogeneous wireless networks. WSEAS Transactions on Communications. 2013;12:1-13.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	โยทกา ชูทอง
วัน เดือน ปี เกิด	9 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	พ.ศ.2561 การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยขึ้นอยู่กับโครงข่าย ประสาทเทียม แบบการแบ่งนับเวกเตอร์เพื่อการเรียนรู้ (Vertical Handover Decision based on Learning Vector Quantization Neural Networks) พ.ศ.2565 การเปลี่ยนช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตโดย อาศัยพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์แบบไฮบริด (Handover in Next Generation Wireless Networks based on Hybrid Artificial Intelligence)