การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต

DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION USING DEEP LEARNING ALGORITHM FOR MULTI-SERVICE IN FUTURE COMMUNICATIONS

เสาวนีย์ บุญส่ง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต

เสาวนีย์ บุญส่ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION USING DEEP LEARNING ALGORITHM FOR MULTI-SERVICE IN FUTURE COMMUNICATIONS

SAOWANEE BOONSONG

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

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก

สำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต

ของ

เสาวนีย์ บุญส่ง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์)

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจริต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์)

ชื่อเรื่อง	การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต
ผู้วิจัย	เสาวนีย์ บุญส่ง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิศา คุณารักษ์

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้ถูกนำมาพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยี และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวันอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความต้องการช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสวนทางกับปริมาณช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด การจัดสรรช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้ในปัจจุบันได้สูงสุดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ในการวิจัยนี้ได้ทำการเสนอการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว โดยจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณเมื่อผู้ใช้เริ่มเข้าสู่จุดที่มีการซ้อนทับกันของเซลล์การให้บริการตั้งแต่สองเครือข่ายเป็นต้นไป และจะใช้ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ และเวลาในการตอบสนองของเครือข่ายเป็นพารามิเตอร์ในการพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณ เพื่อแฮนด์โอเวอร์ต่อไป จากการวิจัยพบว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณได้มากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบ โดยสามารถลดจำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวได้เฉลี่ยร้อยละ 25.00, 24.41, 21.00 และ 33.33 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเปลี่ยนช่องสัญญาณ, การเรียนรู้เชิงลึก, การจัดสรรช่องสัญญาณพลวัต, หน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

Title	DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION USING DEEP LEARNING ALGORITHM FOR MULTI-SERVICE IN FUTURE COMMUNICATIONS
Author	SAOWANEE BOONSONG
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sunisa Kunarak , Ph.D.

At present, wireless communication has been developed with technology and devices to support daily life. As a result, the demand for channels has increased, in contrast to the limited number of available channels. Therefore, the optimized channel allocation and the ability to support the needs of users as much as possible are very important. In this research, dynamic channel allocation using long and short-term memory and deep learning method was proposed. It started the channel allocation process when users moved to areas where two or more service cells overlap. And will use The signal strength received that usable bandwidth and network latency are parameters for determining channel allocation and considered a handover to the next service cell. According to the research, dynamic channel allocation using long and short-term memory and deep learning can increase channel allocation efficiency more than comparable back propagation deep learning methods. This may reduce the number of blocked calls, the number of dropped calls, the number of handovers, and the number of failed handovers, averaging 25.00, 24.41, 21.00, and 33.33%, respectively.

Keyword : Handover, Deep Learning, Dynamic Channel Allocation, Long Short-Term Memory

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือในการชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย และจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจริต ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานในการสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ชัยปัญญา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร์ มาตรา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชไมพร สุขแจ่มศรี ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย จึงทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ และคณะกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนการศึกษาที่ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงคุณของบิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

เสาวนีย์ บุญส่ง

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 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การทบทวนวรรณกรรม 4

2.2 สถาปัตยกรรมเครือข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 - ยุคที่ 6 6

2.2.1 หลักการทำงานของเทคโนโลยี 6G 9

2.2.2 การนำเทคโนโลยี 6G มาประยุกต์ใช้ 9

2.2.3 ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 6 10

2.2.4 วัตถุประสงค์ของการออกแบบ 11

2.3 เทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร 12

2.3.1 การนำเทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อการสื่อสารมาประยุกต์ใช้ 13

2.4 มาตรฐาน IEEE 802.11 14

2.5 การแฮนด์โอเวอร์ 16
2.6 การจัดสรรช่องสัญญาณ 18
2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก 21
2.8 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 24
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31
3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย 31
3.2 โครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต 32
3.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 34
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 41
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลการวิจัย 46
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 46
5.3 ข้อเสนอแนะ 48
บรรณานุกรม 49
ประวัติผู้เขียน 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 คุณลักษณะของเครือข่ายไร้สาย 12

ตาราง 2 เปรียบเทียบการทำงานของมาตรฐาน IEEE 802.11 แต่ละประเภท..... 16

ตาราง 3 ช่วงของแบนด์วิดท์แต่ละเครือข่าย ในการออกแบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต 38

ตาราง 4 ช่วงของค่าเวลาในการตอบสนองของแต่ละเครือข่าย ในการออกแบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต 39

ตาราง 5 ความต้องการแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองของแอพพลิเคชั่น 39

ตาราง 6 ผลการวิจัยวิธีที่ได้ เปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ 45

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 เปรียบเทียบความสามารถในการให้บริการของเครือข่ายในยุค 1G - 6G 10

ภาพประกอบ 2 ความสามารถในการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในเครือข่ายไร้สายยุคที่ 6 11

ภาพประกอบ 3 ระดับวงโคจร และลักษณะการโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า, ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง และดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ 13

ภาพประกอบ 4 กระบวนการแฮนด์โอเวอร์แนวนอน และแนวตั้ง 17

ภาพประกอบ 5 วิธีการแฮนด์โอเวอร์แบบฮาร์ดแฮนด์โอเวอร์ และซอฟต์แฮนด์โอเวอร์..... 18

ภาพประกอบ 6 ลักษณะการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ 19

ภาพประกอบ 7 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม 22

ภาพประกอบ 8 ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก 23

ภาพประกอบ 9 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 25

ภาพประกอบ 10 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนฟอร์เกท เกท 26

ภาพประกอบ 11 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนอินพุตเกท 27

ภาพประกอบ 12 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนเอาต์พุต เกท 29

ภาพประกอบ 13 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 29

ภาพประกอบ 11 กระบวนการทำงานของงานวิจัย 32

ภาพประกอบ 12 โครงสร้างโครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต 33

ภาพประกอบ 13 ลำดับขั้นตอนกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว 36

ภาพประกอบ 17 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 42

ภาพประกอบ 18 จำนวนการเรียกติดขัด จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 43

ภาพประกอบ 19 จำนวนการเรียกขาดหาย จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 43

ภาพประกอบ 20 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ 44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว โดยจะมุ่งเน้นที่ความเร็ว และความต่อเนื่องไร้รอยต่อในการสื่อสารเป็นหลัก เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ ที่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นได้ทั้งแบบเวลาจริง (Real Time) และไม่ใช่เวลาจริง (Non-Real Time) ทำให้การสื่อสารไร้สายจึงต้องมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว

แม้ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าที่ผ่านมา แต่ยังมีในบางพื้นที่ที่แม้จะอยู่ในเขตเมือง หรือใกล้สถานีฐานมาก แต่ยังได้รับความแรงของสัญญาณค่อนข้างต่ำ เช่น ในอาคารชั้นใต้ดินที่จะได้รับความแรงของสัญญาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการใช้งานที่ชั้นปกติ หรือในกรณีการใช้งานในพื้นที่ที่มีผู้คนรวมตัวกันจำนวนมาก และมีความต้องการใช้เครือข่ายไร้สายในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งอาจทำให้เกิดการเรียกติดขัด (Blocked Call) การเรียกขาดหาย (Dropped Call) การแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็น (Number of Handover) หรือการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว (Failed Handover) ขึ้นได้ เนื่องจากข้อจำกัดของช่องสัญญาณที่มีให้บริการมีอยู่อย่างจำกัด และความต้องการใช้ช่องสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อเตรียมช่องสัญญาณปลายทางให้พร้อมก่อนแฮนด์โอเวอร์จากเทคโนโลยีเครือข่ายที่ผู้ใช้บริการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ไปยังช่องสัญญาณของเทคโนโลยีเครือข่ายข้างเคียง ซึ่งอาจเป็นช่องสัญญาณของเทคโนโลยีเครือข่ายชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน จึงเป็นการออกแบบที่สำคัญมาก เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และได้รับคุณภาพสัญญาณเป็นที่น่าพอใจสูงสุด

กล่าวคือเมื่อผู้ใช้มีการใช้บริการอยู่ในจุดหนึ่งที่เกิดการซ้อนทับกันของความครอบคลุมการให้บริการ ระหว่างเทคโนโลยีเครือข่ายตั้งแต่สองเครือข่ายขึ้นไป ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากแต่ละเครือข่ายจะไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างผู้ใช้ กับสถานีฐาน หากมีการเคลื่อนที่ออกจากเครือข่ายเดิมที่กำลังใช้งานอยู่ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับก็จะลดลง ในขณะเดียวกันความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากเครือข่ายข้างเคียงที่กำลังเคลื่อนที่เข้าไปหาก็จะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณให้ทัน ก่อนทำการส่งต่อบริการเพื่อไม่ให้เกิดการเรียกติดขัด การเรียกขาดหาย การแฮนด์โอเวอร์โดยไม่จำเป็น และการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวขึ้นได้ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Neural Network) นับว่า

เป็นวิธีการที่น่าสนใจสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ เพื่อใช้งานกับแอพพลิเคชั่นที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันที่มีทั้งแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริง เพื่อให้การจัดสรรช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพ และรองรับการใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างสูงสุด

โดยปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งหัวข้อการนำเสนอการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคตดังนี้ โดยบทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริงที่ทำให้เกิดงานวิจัยฉบับนี้ บทที่ 2 กล่าวถึงวรรณกรรม งานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา และมีความเกี่ยวข้องกับการวิจัย ทำให้เกิดการต่อยอดเป็นแนวทางในการวิจัยในครั้งนี้ บทที่ 3 จะกล่าวถึงกรอบแนวความคิดในการศึกษาวิจัย และการออกแบบงานวิจัยเพื่อให้สามารถบรรลุประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายไร้สายได้อย่างสูงสุด บทที่ 4 กล่าวถึงผลจากการจำลองกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณตามกรอบแนวความคิด และสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ และในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลในการวิจัย อภิปราย และเสนอแนะแนวทางในการต่อยอดงานวิจัยฉบับนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการใช้งานร่วมกับเครือข่ายไร้สายในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างสถานีดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดินสำหรับการสื่อสารแห่งอนาคต

1.2.2 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการจัดสรรช่องสัญญาณ

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สาย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ทำการออกแบบเครือข่ายไร้สายซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่าย 3 ชนิด ได้แก่ ไวไฟ (IEEE 802.11ax) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารแบบไร้สายขั้นสูง (Long Term Evolution Advanced: LTE-Advanced) และดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit Satellite: LEO Satellite) โดยให้เครือข่ายทั้งสามชนิดสามารถเชื่อมโยงการทำงานร่วมกันได้

1.3.2 ทำการออกแบบขั้นตอนการทำงานสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์

1.3.3 ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ โดยพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received

Signal Strength: RSS) แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ (Bandwidth Support) และเวลาในการตอบสนอง (Latency) ของเครือข่ายไร้สายทั้งสามชนิด

1.3.4 ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีซึ่งเป็นวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบแพร่ย้อนกลับ ในรูปของการเรียกติดขัด (Blocked Call) การเรียกขาดหาย (Dropped Call) จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ (Number of Handover) และการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว (Failed Handover)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทำให้ผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างต่อเนื่องแม้ในขณะที่มีการเคลื่อนที่เสมือนเป็นการทำงานของเทคโนโลยีเครือข่ายเดียวกัน

1.4.2 สามารถใช้ทรัพยากรในระบบได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ในการจัดสรรช่องสัญญาณ เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้แอพพลิเคชั่นทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริง

1.4.3 สามารถลดจำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวได้ ซึ่งจะส่งผลให้ลดระยะเวลาในการเชื่อมต่อระหว่างเทคโนโลยีเครือข่าย และเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายได้มากยิ่งขึ้น

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาในบทความที่ [1] จะเป็นการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างชาญฉลาด และมีประสิทธิภาพในเครือข่ายพื้นที่ใกล้เคียงสมาร์ทกริด (Smart Grid) โดยในบทความนี้จะใช้วิธีการพิจารณาตามความสำคัญของข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณระหว่างระบบเครือข่ายในเขตบ้าน (Home Area Network: HAN) เครือข่ายในเขตพื้นที่ให้บริการ (Neighborhood Area Network: NAN) และเครือข่ายระยะไกล (Wide area network: WAN) เพื่อลดระยะเวลาในการให้บริการข้อมูลที่มีความสำคัญมากได้ แต่ยังไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณของข้อมูลทุกลำดับความสำคัญเท่า ๆ กันได้ ซึ่งในบทความที่ [2] ไม่ได้สนใจลำดับความสำคัญของข้อมูล ในบทความนี้ใช้การเลือกพิจารณาผู้ใช้ใหม่ก่อน แล้วจึงพิจารณาผู้ใช้ที่อยู่ในระบบแต่ต้องการแฮนด์โอเวอร์เป็นลำดับถัดไป ในการจองช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ด้วยการเรียนรู้เชิงลึกแบบคิว (Deep Q – Learning) สำหรับหลายบริการในระบบดาวเทียมวงโคจรต่ำ ในการจองช่องสัญญาณจะมีเงื่อนไขในการพิจารณาค่าแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ของดาวเทียม เปรียบเทียบกับความต้องการของผู้ใช้ พบว่างานวิจัยนี้สามารถเพิ่มจำนวนการสื่อสารที่สำเร็จ และความเร็วของผู้ใช้ (Speed of user) ได้ ซึ่งแตกต่างจากบทความที่ [3] ที่เลือกพิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้ผู้ใช้ที่มีการร้องขอก่อน โดยจะทำการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบไดนามิกส์ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบเสริมแรงเชิงลึกสำหรับระบบดาวเทียมแบบหลายลำแสง โดยในงานวิจัยจะพิจารณาการใช้งานแแบบเวลาจริง (Real Time) ด้วยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณจากการเปรียบเทียบการร้องขอใช้ช่องสัญญาณ กับความสามารถในการให้บริการในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุดจึงจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณ พบว่าสามารถตอบสนองความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ได้ดี แม้เป็นช่วงเวลาที่มีผู้ใช้งานอยู่ในพื้นที่ที่ทำการพิจารณาจำนวนมาก และสามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น แต่ในบทความที่ [4] ได้กำหนดให้ผู้ใช้ที่มีการร้องขอใช้ช่องสัญญาณจะต้องรอจนกว่าจะมีช่องสัญญาณว่างจึงจะได้เริ่มเข้าสู่กระบวนการพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณ โดยจะพิจารณาจากช่วงเวลาที่มีการร้องขอใช้ช่องสัญญาณเป็นช่วง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์สำหรับดาวเทียมอินเตอร์เน็ตทุกสิ่ง (Internet of Things) ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบเสริมแรงเชิงลึก ร่วมกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบคิว แต่ในกระบวนการเรียนรู้ของวิธีนี้จะไม่นำประสบการณ์ที่ได้รับจากการฝึกสอนที่ไม่สำคัญมาพิจารณาต่อ เพื่อลดเวลาในกระบวนการจัดสรร

ช่องสัญญาณ ซึ่งจะพิจารณาที่ช่วงเวลาที่มีการร้องขอใช้ช่องสัญญาณก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความใกล้เคียงกับในบทความที่ [5] เป็นการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับได้สำหรับดาวเทียมสื่อสาร โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Algorithm) ทำการกำหนดค่าเวลาในการรอการจัดสรรไว้ที่เวลาหนึ่ง เมื่อผู้ใช้มีการรอใช้งานตามเวลาที่กำหนดแล้วจะได้รับการพิจารณาจัดสรรช่องสัญญาณ โดยพิจารณาจากข้อมูลที่มีความสำคัญมาก และพิจารณาความต้องการแบนด์วิดท์ ทำให้วิธีนี้สามารถลดเวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลลงได้ แต่ยังไม่สามารถลดเวลาในการจัดสรรให้ข้อมูลที่มีความสำคัญน้อยกว่าได้

ซึ่งในบทความทั้งห้าที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ มีกระบวนการพิจารณาก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดสรรที่แตกต่างกับในบทความที่ [6] โดยสิ้นเชิง ซึ่งในบทความนี้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์แบบสุ่มการเข้าถึงในระบบดาวเทียมอินเตอร์เน็ตทุกสิ่งเพื่อเปิดใช้งานซอฟต์แวร์กำหนดเครือข่าย (Software Nefined Network: SDN) ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณเพื่อเริ่มส่งคำขอเข้าใช้งานไปก่อนหนึ่งช่อง เพื่อให้ระบบประเมินความจุของช่องสัญญาณว่าเพียงพอหรือไม่ และตอบสนองกลับไป และระบบจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ที่มีการตอบสนองเท่านั้น ซึ่งทำการวัดประสิทธิภาพจากความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จจากจำนวนผู้ใช้ที่มีลำดับความสำคัญต่าง ๆ ซึ่งคล้ายคลึงกับบทความที่ [7] ที่ได้นำเสนอวิธีการคาดการณ์สีเทา (Grey Prediction) เพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมวงโคจรต่ำ โดยพิจารณาที่การแฮนด์โอเวอร์ระหว่างลำแสงในดาวเทียมเดียวกัน โดยการที่ผู้ใช้จะส่งกำลัง (Power) มาพิจารณาเทียบกับค่าเกณฑ์ก่อนเมื่อต้องการแฮนด์โอเวอร์ เพื่อพิจารณาช่องสัญญาณไว้ล่วงหน้า พบว่ามีอัตราการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว (Failed Handover) ลดลงอย่างมาก แต่อัตราการเรียกติดขัดสูง (Blocked Call) เนื่องจากระบบจะทำการพิจารณาการแฮนด์โอเวอร์ให้ผู้ใช้ใหม่ก่อน ซึ่งค่อนข้างแตกต่างกับในบทความที่ [8] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดช่องสัญญาณใหม่สำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำ โดยใช้วิธีชะลอการให้บริการผู้ใช้ใหม่ที่อยู่ในคิว และเพิ่มการให้บริการผู้ใช้ที่ยังอยู่ในช่องสัญญาณจนใกล้จุดที่ต้องทำการแฮนด์โอเวอร์มากที่สุด จึงจะรับผู้ใช้ใหม่เข้ามาใช้งานช่องสัญญาณ โดยพิจารณาจากระยะเวลาเฉลี่ยในการให้บริการ พบว่าวิธีนี้สามารถลดเวลาในการแฮนด์โอเวอร์ และการโทรที่ไม่สำเร็จลงได้

และในบทความที่ [9] มีวิธีการพิจารณาจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกว่าวิธีอื่น ๆ ที่กล่าวมา โดยบทความนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการจองช่องสัญญาณไร้สายส่วนบุคคลในการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยการจัดสรรช่องสัญญาณให้ตามลำดับโดยมีการติดตั้งรหัสของผู้ใช้งาน ในขณะ

ที่ใช้งานจะมีการตรวจสอบช่องสัญญาณดังกล่าวอยู่ตลอดเวลาว่าผู้ใช้ยังมีการใช้งานช่องสัญญาณนั้น ๆ อยู่หรือไม่ และหากผู้ใช้มีการใช้งานที่ต่อเนื่องจนถึงจุดซ้อนทับของเซลล์จะส่งคำขอจองช่องสัญญาณไปในเซลล์ข้างเคียงทันที และจะมีการติดตามจากรหัสของผู้ใช้ว่ามีการใช้งานต่อเนื่องไปที่เซลล์ที่จองไว้ก่อนหน้านี้หรือไม่ และจากการตรวจสอบสถานะการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้อยู่ตลอดนี้ทำให้สามารถเพิ่มคุณภาพในการบริการโดยการลดความน่าจะเป็นในการเกิดแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่สำเร็จลงได้

2.2 **สถาปัตยกรรมเครือข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่** 1 - **ยุคที่** 6

ยุคสมัย (Generation: G) ถูกนำมาใช้เป็นชื่อเรียกยุคของเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือ (Mobile Telecommunications Technology) วิวัฒนาการสื่อสารไร้สายในแต่ละยุคสามารถสรุปได้ดังนี้

การสื่อสารยุคที่ 1 (First Generation: 1G) เป็นยุคที่ใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียงและสามารถโทรเข้าออกได้อย่างเดียวเท่านั้น ยังไม่สามารถส่ง หรือรับข้อมูลที่เป็น (Data) ได้ ในยุคที่ 1 นี้จะใช้เทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบเอฟดีเอ็มเอ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ที่ความถี่ที่ 824 - 894 เมกะเฮิรตซ์ ทำงานโดยการแบ่งหนึ่งช่องความถี่ใหญ่ให้กลายเป็นหลายช่องความถี่เล็ก ๆ และส่งคลื่นเสียงผ่านสัญญาณวิทยุไปยังสถานีฐานที่รับส่งสัญญาณ โดยหนึ่งความถี่จะใช้งานหนึ่งช่องสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้การบริการได้เฉพาะช่องความถี่ที่ยังว่างอยู่เท่านั้น

การสื่อสารยุคที่ 2 (Second Generation: 2G) มีการพัฒนาการส่งคลื่นเสียงแบบแอนาลอกมาเป็นดิจิตอล (Digital) โดยการเข้ารหัส และส่งคลื่นเสียงผ่านคลื่นไมโครเวฟ ทำให้สามารถป้องกันความปลอดภัยในขณะที่มีการใช้งาน และช่วยให้สัญญาณเสียงคมชัดมากยิ่งขึ้น โดยมีการผสมระหว่างเอฟดีเอ็มเอ และทีดีเอ็มเอ (Time Division Multiple Access: TDMA) ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้งานที่ปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ ทำให้มีการกำหนดการติดต่อระหว่างสถานีลูก กับสถานีฐานโดยใช้วิธีแบ่งช่องเวลากันใช้จากหนึ่งช่องใหญ่ กลายเป็นหลายช่องเล็ก ทำให้ช่องสัญญาณมีความถี่เพิ่มขึ้นสามารถรองรับผู้ใช้ได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เกิดเป็นระบบจีเอสเอ็ม (Global System for Mobilization: GSM) ซึ่งเป็นการทำให้โทรศัพท์เครื่องเดียวสามารถใช้ได้ทั่วโลกหรือที่เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) ในยุคที่ 2 นี้ผู้คนทั่วไปเริ่มใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กันมากขึ้น ซึ่งถือเป็นยุคเฟื่องฟูของวงการโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอย่างมาก

การสื่อสารยุคที่ 2.5 (Second and Half Generation: 2.5G) เป็นต้นกำเนิดของเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service: GPRS) การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดใน

ยุคนี้คือ โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเพิ่มฟังก์ชันการรับส่งข้อมูลด้วยบริการข้อความมัลติมีเดีย (Multimedia Messaging Service: MMS) หน้าจอโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มมีการพัฒนาเป็นจอสี และระบบเสียงเรียกเข้าเป็นแบบประสานเสียง (Polyphonic) จากเดิมที่เป็นทำนองเสียงระดับเดียว (Monotone) รวมถึงเสียงเรียกเข้าที่ใช้เสียงจริงในรูปแบบดิจิตอล (True Tone) มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 115 กิโลบิตต่อวินาที

การสื่อสารในยุคที่ 2.75 เอดจ์ (2.75 Enhanced Data Rates for Global Evolution: 2.75 EDGE) เริ่มมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม ที่เพิ่มอัตราการส่งข้อมูล (Enhanced Data rates for Global Evolution: EDGE) เป็นการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพความเร็วจากจีพีอาร์เอส (GPRS) ให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งเป็นยุคที่มีการแข่งขันทางการตลาดของวงการผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือมากขึ้นทั้งเรื่องของการดาวน์โหลดเสียงรอสาย การรับ-ส่งภาพผ่านข้อความมัลติมีเดีย (MMS) และการดาวน์โหลดภาพ ทำให้ได้รับความสนใจจากผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก

การสื่อสารยุคที่ 3 (Third Generation: 3G) สามารถใช้งานการสื่อสารด้วยเสียง (Voice) และรับส่งข้อมูล เป็นระบบที่รองรับการรับส่งข้อมูลโดยตรงที่เรียกว่ามาตรฐานยูเอ็มทีเอส (Universal Mobile Telecommunication Systems: UMTS) การเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สายสามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ยังคงใช้การเข้าช่องสัญญาณเป็นแบบซีดีเอ็มเอ ที่สามารถบรรจุช่องสัญญาณได้มากกว่าแต่ใช้แบบแถบกว้าง จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า W-CDMA มีแนวโน้มที่จะสามารถเชื่อมโยงกับระบบอินเตอร์เน็ตได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีช่องความถี่ และความจุในการรับส่งสัญญาณที่มากกว่า จึงส่งผลให้การรับส่งข้อมูลหรือการใช้อินเตอร์เน็ตผ่านมือถือรวดเร็วมากขึ้น ประสิทธิภาพในการใช้งานมัลติมีเดียดีขึ้น และมีความเสถียรกว่าระบบ 2G

ความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้หลากหลายมากขึ้น เช่น โทรศัพท์ทางไกลผ่านอินเตอร์เน็ต (Voice Over IP) โทรศัพท์แบบเห็นหน้า (Video Call) ประชุมทางไกล (Video Conference) ดูทีวี ดูวีดีโอออนไลน์ (Streaming) เล่นเกมออนไลน์ (Online Gaming) ดาวน์โหลดเพลง หรือโปรแกรมต่าง ๆ ได้อย่างเร็วมากยิ่งขึ้น และยังสามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้ตลอดเวลา (Always On) เทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง (High Speed Internet) ทำให้สามารถใช้งานได้เวลาที่อยู่นอกบ้าน หรือพื้นที่ห่างไกล เพราะใช้สัญญาณคลื่นไมโครเวฟในการส่งทำให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ทุกที่เสมือนกับสัญญาณโทรศัพท์

การสื่อสารยุคที่ 4 (Fourth Generation: 4G) เป็นเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงชนิดพิเศษ ไม่ต้องใช้การลากสายเคเบิล และยังสามารถใช้งานการเชื่อมต่อเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติ (Three Dimensional) การติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้ การดูวีดีโอออนไลน์ การสื่อสารข้ามประเทศ การโทรศัพท์แบบเห็นหน้า และสามารถโต้ตอบได้ในทันที หรือการประชุมผ่านโทรศัพท์ (Mobile Teleconferencing) ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยลง ในยุคที่ 4 นี้จะแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ไวแมกซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access: WiMAX) และวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสัญญาณแบบไร้สายยุคที่สาม(Long Term Evolution: LTE) ไวแมกซ์เป็นเทคโนโลยีแถบกว้าง (Broadband) ไร้สายความเร็วสูง ที่พัฒนาจากมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับ Wi-Fi ไวแมกซ์สามารถทำความเร็วได้สูงสุด 100 เมกะบิตต่อวินาที และยังสามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 40 ไมล์ เมื่อใช้ความเร็ว 70 เมกะบิตต่อวินาที ส่วนวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสัญญาณแบบไร้สายยุคที่สามจะมีความเร็วมากกว่ายุค 3G ถึง 10 เท่า โดยมีความเร็วสูงสุด 1 กิกะบิตต่อวินาที สามารถส่งถ่ายข้อมูล และมัลติมีเดียได้เร็วถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที

การสื่อสารยุคที่ 5 (Fifth Generation: 5G) เป็นยุคที่เข้าสู่ยุคอินเตอร์เน็ตทุกสิ่ง (Internet of Things) ที่ทุกสิ่งในโลกจะสามารถเชื่อมโยงกันได้ด้วยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยใช้คลื่นความถี่สูง สามารถรองรับความจุเพิ่มขึ้น 1,000 เท่า สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วสูงสุดถึง 10 จิกะบิตต่อวินาที ความจุช่องสัญญาณ และความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้การเชื่อมต่อระหว่างคนกับอุปกรณ์เป็นแบบไร้ระยะทาง (Zero-Distance) อุปกรณ์ในยุคนี้จะสามารถรองรับการใช้งานรับส่งข้อมูล ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่ออุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้ จึงเกิดเป็นบิ๊กดาต้า (Big Data) นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ตามมา

การสื่อสารยุคที่ 6 (Sixth Generation: 6G) เป็นยุคที่การสื่อสารไร้สายมีความเสถียรและมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นหลายเท่า ได้มีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับระบบอินเตอร์เน็ต และอุปกรณ์สื่อสารเพื่อทำให้เกิดการเรียนรู้ การขับขี่ยานยนต์อัตโนมัติ การวิเคราะห์ปัญหา การทำงาน และการให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ซึ่งการสื่อสารในยุคที่ 6 สัญญาณจะใช้พลังงานในการสื่อสารที่ต่ำ และมีความเร็วมากกว่าการสื่อสารในยุคที่ 5 ถึง 100เท่า โดยใช้คลื่นความถี่ระดับเทราเฮิรตซ์ (Terahertz Wave: THz) ซึ่งความเร็วในระดับนี้สามารถทำให้การประมวลผลของปัญญาประดิษฐ์ ทำงานได้อย่างรวดเร็วขึ้นมากกว่าในนยุคที่ผ่านมาอย่างเห็นได้ชัด

2.2.1 **หลักการทำงานของเทคโนโลยี** 6G

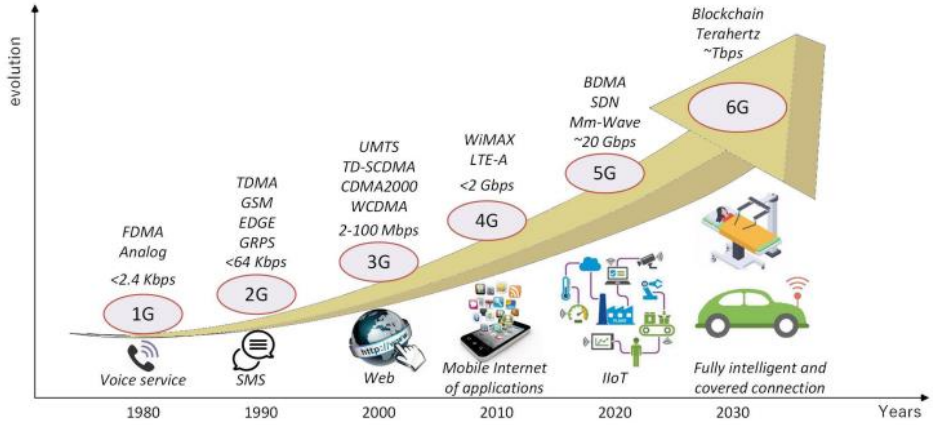
ในปัจจุบันเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อการสื่อสาร รวมไปถึงการควบคุมเทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ทั้งในด้านการศึกษา, การหาข้อมูล หรือการติดต่อสื่อสาร ให้สามารถประชุมข้ามประเทศได้แบบเห็นหน้า ในยุคของ 5G นี้ผู้ให้บริการจะแข่งขันกันที่ความเร็วในการเชื่อมต่อ และความเร็วในการรับส่งข้อมูล แต่ในยุคของ 6G จะมีความเร็วมากกว่า 5G ถึง 100เท่า และเมื่อระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถทำงานร่วมกับแอพพลิเคชั่นจนเกิดการเรียนรู้ เช่น การขับยานพาหนะอัตโนมัติ การทำการเกษตร จนเกิดการรู้จำที่แม่นยำเพียงพอ จะทำให้สามารถตัดสินใจได้ด้วยตัวเอง และยังสามารถเรียงลำดับของข้อมูลที่เข้ามาจากการสั่งการ และทำการคัดเลือกการตัดสินใจที่ดีที่สุดในสถานการณ์นั้น ๆ ได้ ซึ่งการตัดสินใจเหล่านี้จะต้องมีการทำงานผ่านระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อให้สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเหมาะสมที่สุด เช่น การใช้งานแอพพลิเคชั่นสำหรับค้นหาเส้นทาง และมีการเดินทางโดยใช้เส้นทางเดิมเป็นประจำในขณะที่มีการเปิดใช้งานแอพพลิเคชั่นอยู่ ระบบจะทำการจดจำเส้นทางที่ใช้เป็นปกติ แต่หากวันหนึ่งต้องการเดินทางไปสถานที่เดิม แต่เปลี่ยนเส้นทางจากที่เคยเดินทางตามปกติ ระบบจะต้องมีการรวบรวมข้อมูล เพื่อประมวลผลแผนที่ใหม่ในทันที พร้อมคำนวณเส้นทางในการเดินทางใหม่ ทำให้ต้องใช้กระบวนการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน และรวดเร็วมากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ความเร็วของอินเตอร์เน็ตที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้สามารถตอบสนองข้อมูลได้ในทันที

เทคโนโลยี 6G มีความถี่ในระดับ 300,000 - 3,000,000 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz) ใช้คลื่นความถี่ระดับเทราเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นระหว่างคลื่นไมโครเวฟ และอินฟราเรด ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงมาก สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุด 100 กิกะบิตต่อวินาที ปัจจุบันในหลายประเทศเริ่มมีการพัฒนาเทคโนโลยี 6G เพื่อให้เกิดความพร้อมในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น แต่ในการใช้งานจริงยังคงต้องใช้เวลาในการพัฒนาเพื่อให้เกิดความพร้อมที่สุด เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยี 6G ยังเป็นเพียงการวิจัย และพัฒนาเพื่อหาเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม และยังต้องพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อมารองรับการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสารให้สามารถใช้งานได้จริง

2.2.2 **การนำเทคโนโลยี** 6G **มาประยุกต์ใช้**

เทคโนโลยีในยุคที่ 6 เป็นยุคต่อเนื่องจากอินเตอร์เน็ตทุกสิ่งในยุคที่ 5 ที่มีการพัฒนาทางด้านการสื่อสารไร้สาย โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ทำงานร่วมกันผ่านระบบอินเตอร์เน็ตได้ และยังสามารถทำงานร่วมกับระบบปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างมีเสถียรภาพ

สามารถตอบสนองได้ในทันที การทำงานของเทคโนโลยีในยุคที่ 1 ถึงยุคที่ 6 สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน ทั้งในด้านสถาปัตยกรรมเครือข่าย คลื่นความถี่ และความสามารถในการให้บริการได้ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 เปรียบเทียบความสามารถในการให้บริการของเครือข่ายในยุค 1G - 6G

ที่มา: Huang T, Yang W, Wu J, Ma J, Zhang X, Zhang D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies. IEEE Access. 2019;7:175758-68. [10]

2.2.3 ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 6

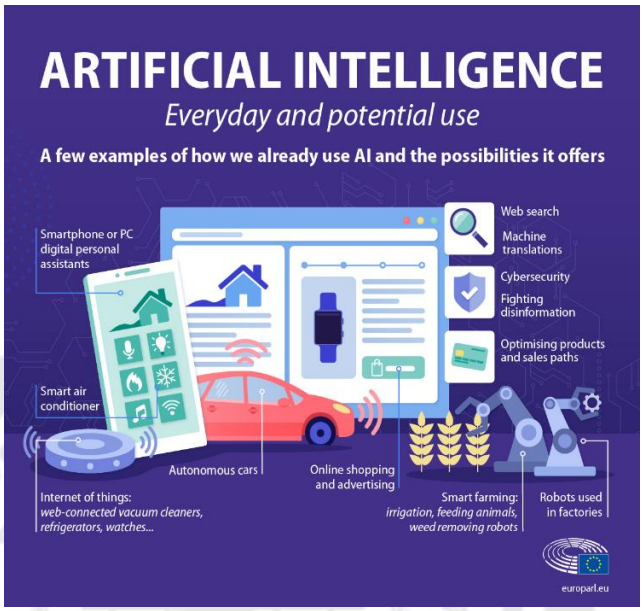
(1) พื้นที่ให้บริการครอบคลุมกว้าง (Wide Area Coverage) พื้นที่ให้บริการของระบบโทรศัพท์ในยุคที่ 6 ต้องมีความครอบคลุมในการให้บริการที่กว้าง สามารถให้บริการได้อย่างทั่วถึง ทั้งในเมืองที่มีผู้ใช้จำนวนมาก รวมถึงพื้นที่ห่างไกลถึงแม้มีผู้ใช้บริการที่น้อยกว่า ก็จะต้องสามารถใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อเนื่องไร้รอยต่อ

(2) สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายได้อย่างหลากหลายไร้ข้อจำกัด เช่น เครือข่ายอินเตอร์เน็ตไร้สาย วิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารไร้สายขั้นสูง และดาวเทียมวงโคจรต่ำ

(3) มีเวลาในการตอบสนองที่ต่ำมาก เพื่อให้การสื่อสาร และส่งข้อมูลสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง สามารถตอบสนองการใช้งานได้ทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงได้อย่างไร้รอยต่อ

(4) สามารถพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถวิเคราะห์ เรียนรู้ และตัดสินใจได้ จากการการนำฐานข้อมูลขนาดใหญ่มาทำการเรียนรู้ และประมวลผลด้วยตนเอง เช่น

การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เกษตรกรรม เทคโนโลยีการสื่อสาร สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ความสามารถในการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในเครือข่ายไร้สายยุคที่ 6

ที่มา: Thos. Technology Scenario ‘Artificial Intelligence in Industrie 4.0. 2021. [11]

2.2.4 วัตถุประสงค์ของการออกแบบ

การออกแบบระบบสื่อสารในยุคที่ 6 จำเป็นต้องสามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้ และต้องสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วถึงระดับเทราเฮิรตซ์ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มความจุช่องสัญญาณในการรองรับปริมาณผู้ใช้ และการเชื่อมต่อจำนวนมาก เพื่อลดเวลาในการตอบสนองในการใช้งานให้เหลือน้อยที่สุด

ตาราง 1 คุณลักษณะของเครือข่ายไร้สาย

คุณลักษณะของเครือข่าย	ไวไฟ (Wi-Fi) IEEE 802.11 ax	แอลทีอี แอดวานซ์ (LTE-Advance)	ดาวเทียมวงโคจรต่ำ (LEO Satellite)
ความแรงที่ผู้ใช้ได้รับสูงสุด	4.05 dBm	-54.00 dBm	22.98 dBm
ความแรงที่ผู้ใช้ได้รับต่ำสุด	-51.95 dBm	-165.16 dBm	-52.28 dBm
เวลาในการตอบสนอง	100 μs	10 ms	50 ms
รัศมีครอบคลุมการให้บริการ	100 m	150 km	580 km
แบนด์วิดท์	160 MHz	30MHz	40MHz
ความถี่	5 GHz	2.1 GHz	1.9 MHz

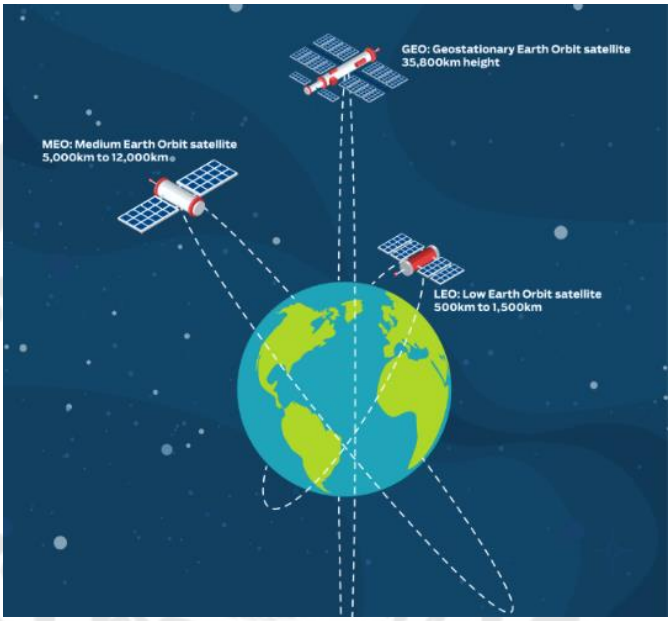
2.3 เทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร

ด้วยคุณสมบัติของดาวเทียมที่มีพื้นที่ครอบคลุมสูง สามารถเข้าถึงพื้นที่ห่างไกลได้ การสื่อสารผ่านดาวเทียมจึงเป็นหนึ่งในเครือข่ายหลัก ที่สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ด้วยเครือข่ายเดียว เครือข่ายการสื่อสารผ่านดาวเทียมมีทั้งการใช้ดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Orbit, GEO) ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) และดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit, LEO) โดยดาวเทียมทั้ง 3 ระบบนี้มีทั้งข้อดี และข้อเสียในการให้บริการที่แตกต่างกัน

ดาวเทียมค้างฟ้าค่อนข้างเป็นที่คุ้นเคย เนื่องจากมีการใช้งานมากว่าครึ่งศตวรรษ ด้วยวงโคจรที่สูงกว่า 35,800 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ทำให้ดาวเทียมค้างฟ้าหนึ่งดวงสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้ 1 ใน 3 ของโลก สามารถเข้าถึงพื้นที่ห่างไกลที่ยากต่อการเข้าถึง ง่ายต่อการดูแลรักษาอุปกรณ์ และเครื่องมือสื่อสาร ดาวเทียมค้างฟ้ามีการโคจรแบบวงกลมในระนาบเส้นศูนย์สูตร มีคาบของการโคจรเท่ากับคาบการหมุนของโลก ทำให้ดาวเทียมชนิดนี้ดูเหมือนลอยนิ่งเหนือเส้นศูนย์สูตรของโลก

ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง มีระดับความสูงตั้งแต่ 5,000 ถึง 12,000 กิโลเมตร หากต้องการให้ครอบคลุมการให้บริการทั่วทั้งโลกจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงในการทำงานร่วมกัน มักใช้ในการทำงานด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นหลัก และใช้เพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะพื้นที่เท่านั้น ไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อการสื่อสารโดยทั่วไป

ดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ จะใช้วงโคจรตามแนวขั้วโลก (Polar LEO Orbit) โคจรอยู่ในระดับความสูงในช่วง 500 ถึง 1,500 กิโลเมตร โดยลักษณะของการโคจรในระดับที่ต่ำนี้ทำให้มีข้อได้เปรียบในการใช้เพื่อการสื่อสารมากกว่าดาวเทียมค้างฟ้า คือมีความต้องการกำลังงานเพื่อใช้ในการโคจรน้อย และขนาดของเสาอากาศบนดาวเทียมเล็กกว่า รวมถึงมีเวลาในการตอบสนองจากการเดินทางของคลื่น (Propagation Delay) ที่น้อยกว่าวงโคจรค้างฟ้า โดยสามารถแสดงระดับวงโคจร และลักษณะการโคจรของดาวเทียมแต่ละชนิดได้ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ระดับวงโคจร และลักษณะการโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า, ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง และดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ

ที่มา: CONSULTING LB. LEO SATELLITE. 2022. [12]

2.3.1 การนำเทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อการสื่อสารมาประยุกต์ใช้

ความต้องการใช้งานเครือข่ายการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างไปจากยุคเดิมในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะการใช้งานอินเตอร์เน็ต และแอพพลิเคชั่นผ่านเครือข่ายไร้สายแบบเคลื่อนที่ที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วทั่วโลก ทำให้เครือข่ายการสื่อสารไร้สาย รวมถึงเครือข่ายการสื่อสารผ่านดาวเทียมมีการปรับตัว และพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ จึงเริ่มมีการนำดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำมาใช้งานในการสื่อสาร เนื่องจากมีการโคจรอยู่เหนือระดับพื้นดินเพียง 500 ถึง 1,500 กิโลเมตร ทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ

ระหว่างผู้ใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 3 – 5 มิลลิวินาที และค่าลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดาวเทียมค้างฟ้า ปัจจัยทั้งสองส่วนนี้ทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์สำหรับผู้ใช้ ให้สามารถใช้พลังงานในระดับต่ำ มีขนาดสายอากาศที่เล็กลง ลดเวลาในการเดินทางของสัญญาณระหว่างผู้ใช้งาน และสามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้ทั่วโลกด้วยวงโคจรที่สามารถโคจรผ่านขั้วโลกได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำในการออกแบบโครงข่ายไร้สายสำหรับอนาคต เนื่องจากปัจจุบันเริ่มมีการนำเทคโนโลยีดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำกลับมาใช้เพื่อการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น และคาดว่าในอนาคตอันใกล้นี้จะเริ่มเป็นที่นิยมในการพัฒนาเพื่อรองรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกล ในจุดที่เครือข่ายภาคพื้นไม่สามารถให้บริการได้ เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำมีความครอบคลุมการให้บริการที่กว้างกว่าเครือข่ายภาคพื้น มีวงโคจรอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าดาวเทียมประเภทอื่น ทำให้ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลน้อยกว่า ซึ่งเหมาะกับการรองรับการใช้งานแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริงที่จะนำมาพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณในลำดับถัดไป

2.4 มาตรฐาน IEEE 802.11

IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานโดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์นานาชาติ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมโยงอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ไอเอสเอ็ม (Industrial Scientific and Medical: ISM) ส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วค่อนข้างต่ำ โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณหลัก 2 รูปแบบคือ ดีเอสเอสเอส (Direct Sequent Spread Spectrum: DSSS) และแบบเอฟเฮชเอสเอส (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS) โดยการส่งสัญญาณทั้งสองรูปแบบจะใช้ความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่มากกว่าการส่งสัญญาณแบบแถบความถี่แคบ (Narrow Band) แต่จะทำให้สัญญาณมีความแรงมากกว่าซึ่งง่ายต่อการตรวจจับมากกว่าแบบความถี่แคบ

มาตรฐาน 802.11 ได้มีการปรับปรุง และพัฒนามาตรฐานหลายครั้ง เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานกับอุปกรณ์ที่รองรับการเชื่อมต่อไวไฟ และการให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไร้สาย (Wi-Fi Hotspot) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถรองรับเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นได้อย่างไม่หยุดยั้ง ซึ่งแน่นอนว่าการที่จะสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นจะต้องมีมาตรฐานกลางในการกำหนด และควบคุมรูปแบบการทำงาน

มาตรฐาน 802.11b ทำงานที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ สัญญาณสามารถส่งผ่านโครงสร้างอาคารได้มากกว่ามาตรฐาน 802.11a ปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ที่รองรับการใช้งานมาตรฐาน 802.11b เป็นจำนวนมาก เช่น บลูทูธ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เตาไมโครเวฟ และมีการนำไปใช้งานตามองค์กร หรือที่พักอาศัย โดยแต่ละอุปกรณ์สามารถใช้งานร่วมกันได้ และยังสามารถทำการเข้ารหัสความเป็นส่วนตัวได้อีกด้วย

มาตรฐาน 802.11a ทำงานที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ทำให้มีคลื่นรบกวนน้อยกว่าความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ สามารถรับส่งภาพที่มีความละเอียดสูงได้ สามารถปรับอัตราข้อมูลให้ช้าลง เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลได้ แต่ด้วยการทำงานที่ความถี่สูงทำให้มีระยะการรับส่งข้อมูลค่อนข้างใกล้ และสัญญาณไม่สามารถส่งผ่านโครงสร้างอาคารได้มากนัก รวมถึงไม่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ได้ ทำให้ IEEE 802.11a ไม่ได้รับความนิยม

มาตรฐาน 802.11g มีอัตราข้อมูลถึง 36 – 54 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน 802.11b แต่สามารถปรับระดับของอัตราข้อมูลลงเหลือ 2 เมกะบิตต่อวินาทีได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้งาน ทำให้มีบางผู้ผลิตบางรายนำเทคโนโลยีเฉพาะเข้ามาเสริมทำให้สามารถรับส่งสัญญาณเพิ่มได้เป็น 2 เท่า แต่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่ผลิตจากผู้ผลิตเดียวกันเท่านั้น การเพิ่มประสิทธิภาพในลักษณะนี้มีผลทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานมาตรฐาน 802.11b มีประสิทธิภาพลดลง

มาตรฐาน 802.11n ทำงานบนความถี่ 2.4 และ 5 กิกะเฮิรตซ์ มีการใช้เทคโนโลยีไมโม (Multiple Input Multiple Output: MIMO) ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นกว่ามาตรฐาน 802.11g ถึง 10 เท่า โดยมีอัตราข้อมูลสูงสุดถึง 600 เมกะบิตต่อวินาที สามารถเพิ่มระยะทางในการใช้งานได้ไกลมากขึ้น และมีความเสถียรมากขึ้น เนื่องจากสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ได้

มาตรฐาน IEEE 802.11ad มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงขึ้นถึง 7 กิกะบิตต่อวินาที เนื่องจากเป็นความถี่ที่สูงมาก สัญญาณจึงถูกลดทอนมาก ทำให้สัญญาณสามารถส่งผ่านโครงสร้างอาคารได้น้อย รองรับการทำงานที่ความถี่ 2.4 5 และ 60 กิกะเฮิรตซ์ สามารถใช้งานกับเทคโนโลยีการก่อรูปลำคลื่น (Beamforming) ที่ช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอด และเพิ่มความแรงของสัญญาณ ทำให้สามารถใช้งานได้ระยะทางไกลมากขึ้น

มาตรฐาน IEEE 802.11ac ทำงานบนความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ และแบนด์วิดท์กว้างขึ้นเป็น 160 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นถึง 4 เท่า ด้วยเทคโนโลยีไมโมที่สามารถ

เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้พร้อมกันหลายเครื่อง (Multi-User Multiple-Input Multiple-Output: MU-MIMO) ร่วมกับการบีบสัญญาณให้ส่งตรงไปยังอุปกรณ์ด้วยการก่อรูปลำคลื่น ทำให้อุปกรณ์ได้รับความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้นด้วย

มาตรฐาน IEEE 802.11ax ทำงานที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ สามารถเชื่อมต่อสัญญาณได้ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นถึง 9.6 กิกะบิตต่อวินาที และแบนด์วิดท์กว้างถึง 160 เมกะเฮิรตซ์ รวมถึงเทคโนโลยีไมโมที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้พร้อมกันหลายเครื่อง ช่วยให้การเชื่อมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ดีขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งานแอพพลิเคชั่นได้ทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไร้รอยต่อ โดยสามารถเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของมาตรฐาน IEEE 802.11 แต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 2.2

ตาราง 2 เปรียบเทียบการทำงานของมาตรฐาน IEEE 802.11 แต่ละประเภท

มาตรฐาน	**มาตรฐานไวไฟ**	**ความถี่** (GHz)	**แบนด์วิดท์** (MHz)	**ความเร็วสูงสุด**
802.11b	Wi-Fi 1	2.4	20	11 Mbps
802.11a	Wi-Fi 2	5	20	54 Mbps
802.11g	Wi-Fi 3	2.4	20	54 Mbps
802.11n	Wi-Fi 4	2.4, 5	20, 40	600 Mbps
802.11ad	WiGig	60	2160	6.76 Gbps
802.11ac	Wi-Fi 5	5	40, 80,160	6.93 Gbps
802.11ax	Wi-Fi 6	2.4, 5	40, 80,160	9.60 Gbps

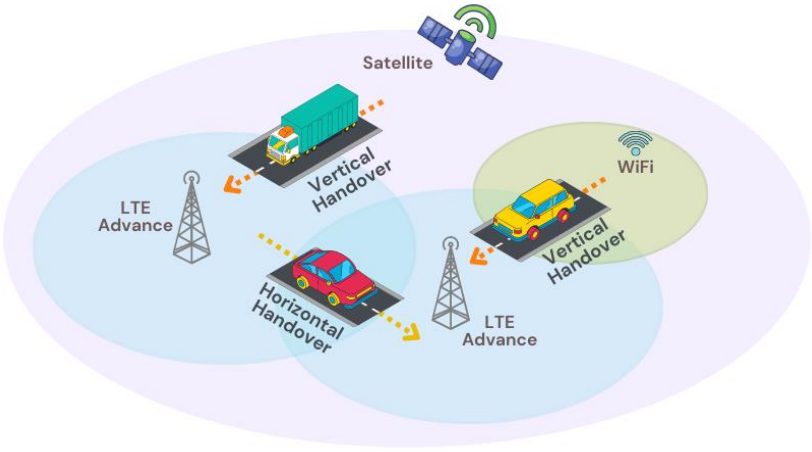
เนื่องจากการความต้องการใช้งานแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ เพิ่มขึ้นทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงทำให้ความต้องการแบนด์วิดท์ในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้น และต้องการการตอบสนองแบบใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุดความสามารถในการรองรับการใช้งานแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงได้อย่างไร้รอยต่อ ด้วยความเร็วในการเชื่อมต่อ และแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นทำให้เครือข่าย WiFi (IEEE 802.11ax) เป็นเครือข่ายที่น่าสนใจในการนำมาออกแบบโครงข่ายไร้สายสำหรับอนาคต เพื่อพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณ

2.5 การแฮนด์โอเวอร์

กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ หรือแฮนด์ออฟ (Handover or Handof: HO) เป็นกระบวนการส่งต่อบริการจากสถานีฐานที่ผู้ใช้กำลังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ไปยังสถานีฐานใกล้เคียง

เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพของสัญญาณเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากเมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ออกจากสถานีฐานเดิมที่กำลังใช้งานอยู่ จนถึงจุดที่มีการซ้อนทับกันของเซลล์ความครอบคลุมการให้บริการตั้งแต่ 2 เครือข่ายขึ้นไป ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพการบริการที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันลดลง ในขณะเดียวกันความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานใกล้เคียงที่กำลังเคลื่อนที่ไปจะสูงขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย จึงต้องมีกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ช่วยในการตัดสินใจการส่งต่อบริการให้ทันเวลาก่อนที่สัญญาณจากสถานีฐานปัจจุบันจะหลุดไป

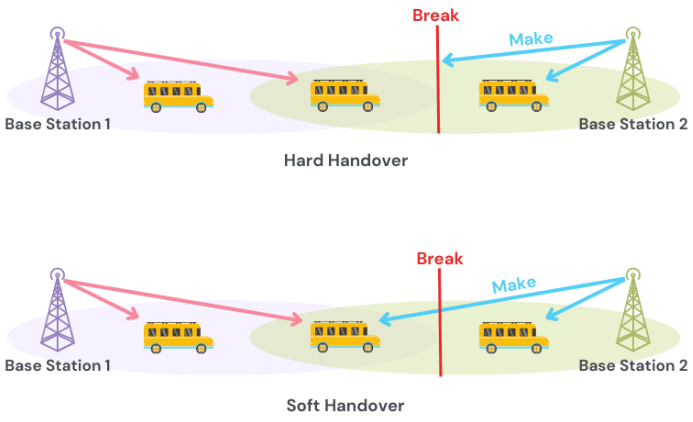
การแฮนด์โอเวอร์สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก คือ การแฮนด์โอเวอร์แนวนอน (Horizontal Handover) และการแฮนด์เวอร์แนวตั้ง (Vertical Handover) โดยการแฮนด์โอเวอร์แนวนอน เป็นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ที่เกิดระหว่างเทคโนโลยีชนิดเดียวกัน เช่น การแฮนด์โอเวอร์จากสถานีฐานเดิมที่เป็นเทคโนโลยีไวไฟ ไปยังสถานีฐานใหม่ที่เป็นเทคโนโลยีไวไฟเหมือนกัน ส่วนการแฮนด์เวอร์แนวตั้ง คือกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ที่เกิดระหว่างเทคโนโลยีต่างชนิดกัน เช่น การแฮนด์โอเวอร์จากสถานีฐานเดิมที่เป็นเทคโนโลยีไวไฟ ไปยังสถานีฐานใหม่ที่เป็นเทคโนโลยีแอลทีอี-แอดวานซ์ กระบวนการแฮนด์โอเวอร์แนวนอน และแนวตั้งสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 กระบวนการแฮนด์โอเวอร์แนวนอน และแนวตั้ง

นอกจากนี้กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ยังมีวิธีการที่เรียกว่าฮาร์ดแฮนด์โอเวอร์ (Hard Handover) เป็นการแฮนด์โอเวอร์โดยจะทำการตัดสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสถานีฐานปัจจุบันก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อกับสถานีฐานใหม่ หรือที่เรียกว่าการตัดก่อนต่อ (Break Before Make) ซึ่งวิธีนี้

จะมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการเรียกติดขัด และการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวค่อนข้างสูง และอีกวิธีการหนึ่งคือ ซอฟต์แฮนด์โอเวอร์ (Soft Handover) ซึ่งเป็นวิธีการที่ตรงข้ามกับฮาร์ดแฮนด์โอเวอร์คือ เมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ออกจากสถานีฐานปัจจุบัน จะต้องมีการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ไปที่สถานีฐานใหม่ที่อยู่ใกล้เคียงก่อน จึงจะทำการตัดสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสถานีฐานปัจจุบันได้ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการต่อก่อนตัด (Make Before Break) วิธีซอฟต์แฮนด์โอเวอร์จึงเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดโอกาสที่จะเกิดการเรียกติดขัด และการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวลงได้อย่างมาก วิธีการแฮนด์โอเวอร์แบบฮาร์ดแฮนด์โอเวอร์ และซอฟต์แฮนด์โอเวอร์สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 วิธีการแฮนด์โอเวอร์แบบฮาร์ดแฮนด์โอเวอร์ และซอฟต์แฮนด์โอเวอร์

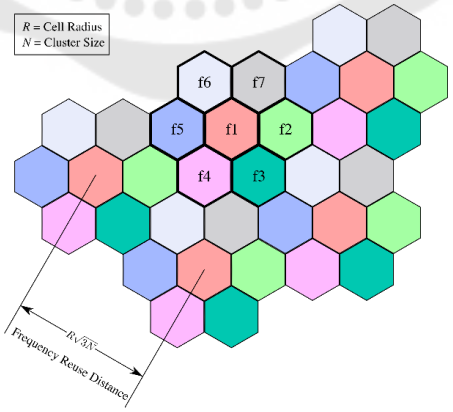
ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณในกรณีซอฟต์แฮนด์โอเวอร์ คือผู้ใช้จะต้องได้รับการเชื่อมต่อกับเครือข่ายเป้าหมายก่อนจะทำการแฮนด์โอเวอร์ แล้วจึงตัดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายปัจจุบัน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เสี่ยงต่อการเกิดการเรียกติดขัด หรือแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว โดยได้ทำการพิจารณาขณะที่ผู้ใช้อยู่ในจุดที่มีการซ้อนทับของเซลล์ ซึ่งจะประกอบด้วยการซ้อนทับของเซลล์ที่เป็นเครือข่ายเดียวกัน และต่างเครือข่าย ทำให้จะเกิดการแฮนด์โอเวอร์ทั้งแบบแนวนอน และแฮนด์โอเวอร์ในแนวตั้ง เพื่อทำการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณได้อย่างใกล้เคียงสถานการณ์จริงที่สุด

2.6 การจัดสรรช่องสัญญาณ

ในการสื่อสารแบบไร้สาย สเปกตรัมที่ใช้ในการส่งทรัพยากรณ์มีอยู่อย่างจำกัด สวนทางกับความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องแบ่งช่องสัญญาณกันเพื่อให้สามารถ

ส่งข้อมูลได้สำเร็จ และไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างสัญญาณใกล้เคียง ซึ่งแตกต่างจากการสื่อสารที่เป็นแบบใช้สาย ที่จะไม่เกิดการรบกวนกันของสัญญาณใกล้เคียง ในการวิจัยได้มีการเสนอแนวคิดพื้นฐานที่มีการแบ่งภูมิศาสตร์ออกเป็นรูปหลายเหลี่ยมที่เรียกว่าเซลล์ และทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ในแต่ละเซลล์ในรูปแบบต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบหลัก คือ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ (Fixed Channel Allocation: FCA) การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ (Dynamic Channel Allocation: DCA) และการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด (Hybrid Channel Allocation: HCA)

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณเฉพาะให้กับแต่ละเซลล์ การจัดสรรนี้เป็นแบบคงที่เท่ากันทุกเซลล์ และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยจะเน้นไปที่การจัดสรรช่องสัญญาณให้เซลล์ที่มีความถี่เดียวกันสามารถอยู่ใกล้กันได้มากที่สุด โดยจะต้องเป็นระยะที่ยังไม่ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 6 ถึงแม้การจัดสรรช่องสัญญาณนี้จะใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในด้านการใช้งานช่องสัญญาณยังถือว่าใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับเซลล์ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ เมื่อทำการแบ่งช่องสัญญาณให้กับแต่ละเซลล์เท่า ๆ กัน แต่ความต้องการใช้งานของผู้ใช้ที่อยู่ในแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ที่ความต้องการใช้ช่องสัญญาณสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ อาจเกิดการเรียกขาดหาย การเรียกติดขัด หรือแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวได้ ทำให้ไม่สามารถรองรับความต้องการใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ในขณะที่อีกเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเท่ากันแต่มีการใช้งานอยู่จำนวนน้อยมากกว่าที่จัดสรรไว้ ทำให้ช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับเซลล์นั้นถูกใช้ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 6 ลักษณะการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่

ที่มา: 35151 SI. Frequency reuse distance diagram vector image. 2015. [13]

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ เป็นวิธีที่นำมาใช้ลดปัญหาของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ โดยวิธีนี้จะทำงานร่วมกับอัลกอริธึมที่มีความซับซ้อน เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าช่องสัญญาณใดที่มีอยู่ และจะทำการจัดสรรให้กับเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถช่วยในการประมวลผลได้มาก แต่อาจต้องใช้ทรัพยากรณ์ในการคำนวณขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้แบบเวลาจริงตามความต้องการช่องสัญญาณของผู้ใช้ในขณะนั้น โดยวิธีการที่พิจารณาความต้องการช่องสัญญาณได้แบบเวลาจริงนี้ ทำให้วิธีจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์สามารถใช้งานช่องสัญญาณที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากผู้ใช้ที่ต้องการใช้แอพพลิเคชั่นที่เป็นเวลาจริงจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณมากกว่าผู้ใช้ที่ต้องการใช้แอพพลิเคชั่นที่ไม่ใช่เวลาจริง ทุกความต้องการใช้ช่องสัญญาณจะได้รับการตอบสนองอย่างเหมาะสม และแม่นยำที่สุด แต่วิธีนี้จะมีข้อเสียเนื่องจากเซลล์ที่มีความถี่เดียวกันอาจถูกจัดสรรช่องสัญญาณใกล้กัน ทำให้เกิดการรบกวนกันได้

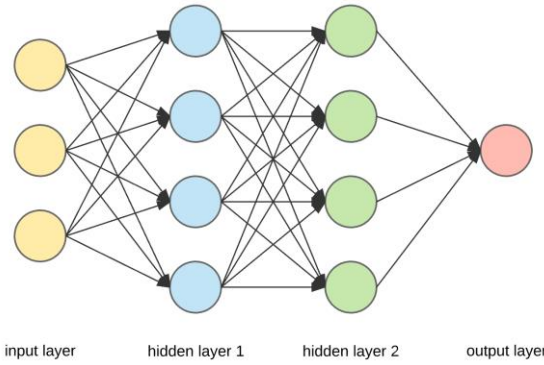
การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด เป็นการจัดสรรช่องสัญญาณที่ผสมระหว่างการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ และการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์ โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นหลากหลายวิธี เช่น การยืมช่องสัญญาณ (Channel Borrowing: CB) เป็นหนึ่งในวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไฮบริด โดยช่องสัญญาณจะถูกจัดสรรให้กับเซลล์เหมือนกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ หากเซลล์ต้องการช่องสัญญาณมากกว่าช่องที่กำหนดไว้จะต้องทำการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียงเซลล์หนึ่งได้ โดยไม่ละเมิดข้อกำหนดการใช้ความถี่เดียวกันในเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากทุกช่องสัญญาณจะมีความสัมพันธ์ที่กำหนดไว้เป็นแบบการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ โดยเซลล์ที่มีความถี่เดียวกันอยู่ใกล้กันได้มากที่สุดโดยเป็นระยะที่ยังไม่เกิดการรบกวนกัน แต่เมื่อทำการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง เซลล์อื่น ๆ ใกล้เคียงจะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณที่ยืมมา เนื่องจากอาจเกิดการรบกวนกันของช่องสัญญาณที่อยู่ใกล้กว่าระยะที่กำหนดจากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ ซึ่งอาจนำไปสู่การเรียกขาดหาย และการเรียกติดขัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นนี้อัลกอริทึมต้องแน่ใจว่าช่องสัญญาณถูกยืมจากเซลล์ใกล้เคียงที่มีปริมาณช่องสัญญาณอยู่มากที่สุด นั่นคือเซลล์ข้างเคียงที่มีช่องสัญญาณที่ไม่ได้กำหนดให้กับเซลล์นำไปใช้งานมากที่สุด

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์มาใช้กับการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับโครงข่ายไร้สายในอนาคต เนื่องจากในการวิจัยนี้จะเน้นที่การตอบสนองความต้องการใช้ช่องสัญญาณของแอพพลิเคชั่นที่เป็นเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงที่มีความต้องการใช้ช่องสัญญาณที่ไม่เท่ากันได้อย่างเหมาะสม และสามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้

ใกล้เคียงเวลาจริงที่สุด วิธีการการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการวิจัยในครั้งนี้มากกว่าวิธีอื่น ๆ

2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เป็นการจำลองรูปแบบการทำงานของเครือข่ายประสาทของมนุษย์ ที่สามารถเรียนรู้ และจดจำได้ โดยจะประกอบด้วยเซลล์ประสาทหรือนิวรอน (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) โดยจะมีเดนไดรท์ (Dendrite) ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตเข้ามาทำการประมวลผล โดยแต่ละเดนไดรท์จะมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน จากนั้นตัวเซลล์ (Cell Body) จะทำการรวบรวมสัญญาณอินพุตส่งไปยังปลายของกระแสประสาทหรือแอคซอน (Axon) ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไปเป็นสัญญาณเอาต์พุต โดยหลักการทำงานคือโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการรับอินพุต (Input) เข้ามาในระบบ และนำค่าอินพุตมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของอินพุตแต่ละตัว จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้มารวมกัน และเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (Threshold) ที่ได้ทำการกำหนดไว้ก่อนแล้ว หากผลรวมมากกว่าค่าเริ่มต้นที่กำหนดไว้จะสามารถส่งเอาต์พุตออกไปได้ ซึ่งค่าเอาต์พุตนี้จะถูกส่งต่อไปยังอินพุตของเซลล์ประสาทอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในเครือข่ายด้วย ถ้าค่าของผลรวมน้อยกว่าค่าเริ่มต้นที่กำหนดไว้เอาต์พุตจะไม่สามารถส่งออกไปได้ โดยโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) ทำหน้าที่ในการรับอินพุตเพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ทำหน้าที่ในการเรียนรู้ภายในโครงข่ายประสาทเทียม ในโครงข่ายประสาทเทียมบางรูปแบบอาจมีชั้นซ่อนจำนวนมากเพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้ที่มีความซับซ้อน และขั้นเอาต์พุต (Output Layer) จะทำการแสดงออกผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้ ดังแสดงในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา: Dertat A. Applied Deep Learning - Part 1: Artificial Neural Networks. 2017. [14]

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เป็นนวัตกรรมที่สร้างความเปลี่ยนแปลงและนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีแห่งอนาคต ที่สามารถใช้งานได้ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ซึ่งในการพัฒนาระบบ และอุปกรณ์การสื่อสารให้สามารถเรียนรู้พฤติกรรมจากการป้อนค่าอินพุต และสามารถตัดสินใจได้เองเหมือนระบบโครงข่ายประสาทเทียมของมนุษย์ ปัญญาประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

2.7.1 การเรียนรู้ของเครื่อง เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ทำการรับข้อมูลอินพุต เรียนรู้ลักษณะเด่น แล้วจึงทำการจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มตามลักษณะเด่นที่สามารถตรวจจับได้ชัดเจน ยิ่งได้รับการเรียนรู้มาก จะยิ่งทำให้สามารถจำแนกกลุ่มได้แม่นยำยิ่งขึ้น แล้วทำการแสดงผลลัพธ์เป็นตัวเลข หรือรหัส (Code) ก่อนส่งต่อให้ปัญญาประดิษฐ์นำไปแสดงผลลัพธ์ตอบสนองออกมาเป็นการกระทำ การเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน แต่ต้องใช้อัลกอริธึมในการกำหนดการทำงานให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งาน โดยมีหลักการเรียนรู้ข้อมูล 3 หลัก คือ

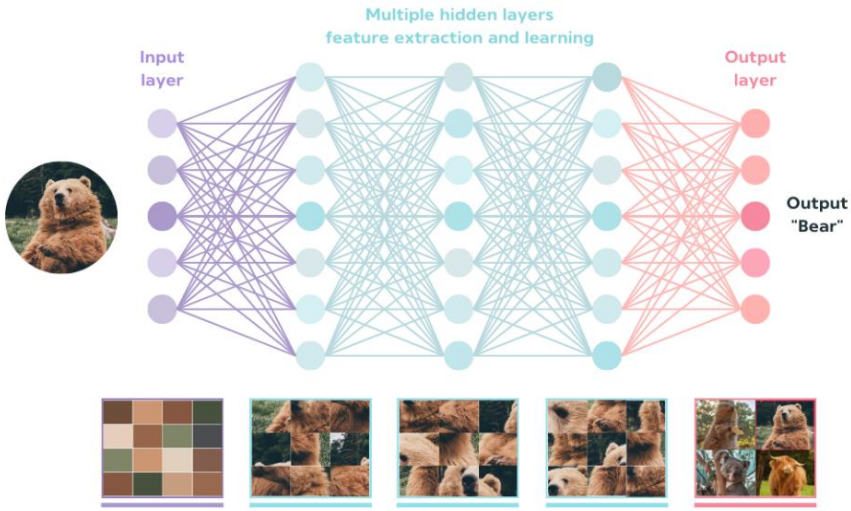
(1) การเรียนรู้โดยมีผู้สอน (Supervised Learning) จะต้องทำการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบเพื่อให้ระบบรู้จักวิธีการเรียนรู้ โดยจำเป็นต้องป้อนชุดของข้อมูลอินพุต และผลลัพธ์ที่ต้องการก่อน จึงจะสามารถทำการเรียนรู้ได้ และสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาได้อย่างแม่นยำ

(2) การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ระบบจะสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องทำการป้อนข้อมูลที่จะสอนระบบเพื่อทำการเรียนรู้ แต่จะป้อนเพียงข้อมูล

อินพุตต่าง ๆ และกำหนดสิ่งที่ต้องการจากข้อมูลเหล่านั้น โดยให้ระบบทำการเรียนรู้ จำแนก และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้เองจากข้อมูลอินพุตที่ได้รับมา ให้มีความแม่นยำสูงสุด

(3) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) เป็นการเรียนรู้จากการลองผิดลองถูกเองจากการตัดสินใจครั้งที่ผ่านมาในอดีต และพัฒนาระบบการตัดสินใจให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยพัฒนาด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ มีการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punishments) จากการตัดสินใจที่เกิดจากการเรียนรู้ โดยมีการใช้อัลกิริธึมต่าง ๆ ร่วมด้วย

2.7.2 การเรียนรู้เชิงลึก มีชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมหลายอันต่อกัน และมีชั้นซ่อน มากกว่า 2 ชั้น โดยการที่มีจำนวนชั้นการเรียนรู้ที่มากขึ้นจะทำให้สามารถประมวลผลอินพุตที่มีความซับซ้อนได้มากยิ่งขึ้น การเรียนรู้เชิงลึกถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้ง่ายมากขึ้น และยังประยุกต์ใช้ได้หลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงจำเป็นต้องออกแบบการทำงานของตัวแปรต่างๆ ทั้งในกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก และอัลกอริธึมอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อให้สามารถเลือกอัลกอริธึมได้อย่างเหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง โดยการเรียนรู้เชิงลึกคือการจำลองรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการประมวลผล ที่มีลักษณะคล้ายกับเซลล์ประสาทของมนุษย์ เมื่อได้รับข้อมูลอินพุตการเรียนรู้เชิงลึกจะทำการแยกข้อมูล และรายละเอียดต่าง ๆ เพื่อประมวลผลหาจุดเด่น และจุดแตกต่างของข้อมูลในเชิงลึกทีละชั้น พร้อมทำการเรียนรู้ แล้วจึงทำการสรุปผลส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นเอาต์พุต และตรวจสอบว่าข้อมูลนั้นส่งผลได้ถูกต้องหรือไม่ แสดงดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้เชิงลึก

ซึ่งหากผลออกมาผิดระบบจะเรียนรู้ และประมวลผลใหม่ไปเรื่อย ๆ จนกว่าเอาต์พุตที่ได้จะส่งผลที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด ยิ่งได้รับการเรียนรู้มากก็จะเข้าใจได้มากขึ้น และลงลึกในรายละเอียดได้มากขึ้น จนสามารถสังเกตความแตกต่างของข้อมูลได้แม้เป็นรายละเอียดเพียงเล็กน้อย โดยที่มนุษย์ไม่จำเป็นต้องทำการฝึกสอนเอง สามารถจำแนกเป็น ประเภทหลักได้ดังนี้

(1) โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปหน้า (Feed-Forward Neural Networks: FFNN) ถือเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างที่เรียบง่ายที่สุด การดำเนินการของข้อมูลจะเป็นไปในทิศทางเดียวคือ รับข้อมูลจากชั้นอินพุต แล้วส่งไปต่อไปยังชั้นซ่อน จนถึงชั้นเอาต์พุต จึงสิ้นสุดการทำงาน ไม่มีการวนซ้ำ

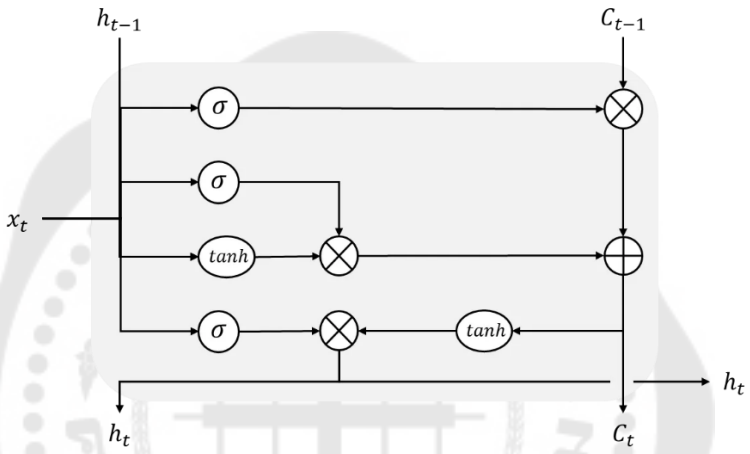
(2) โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Networks: RNN) สามารถรับข้อมูลอินพุตเป็นแบบลำดับ (Data Sequences) และให้ผลลัพธ์เอาต์พุตออกมาเป็นลำดับของข้อมูลได้ มีโครงข่ายประสาทเทียมเชื่อมต่อกันหลายอัน สามารถต่อกันเป็นวง (Loop) ได้ และมีโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนหลายชั้นทำให้สามารถเก็บข้อมูลไว้ที่โหนดได้อีกด้วย จึงเหมาะสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่เป็นลำดับ

(3) โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks :CNN) มีโครงสร้างเฉพาะตัว และเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่ถูกออกแบบมาเพื่อการเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะเฉพาะที่มีความซับซ้อน และมีโครงสร้างเฉพาะตัว โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน จะสามารถตอบโจทย์การนำไปใช้งานประเภทการรับรู้ (Perceptual Tasks) ได้เป็นอย่างดี

2.8 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวที่ผู้วิจัยได้เลือกมาใช้ในการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สายแห่งอนาคตนี้ เป็นการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้รับการพัฒนาจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ และยังสามารถลดเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับจะมีการนำเอาต์พุตที่ได้จากการเรียนรู้ครั้งก่อนหน้า กลับมาเป็นข้อมูลอินพุตของการเรียนรู้ครั้งใหม่ร่วมกับอินพุตใหม่ที่เข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ ทำให้สามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลที่มีความยาว และความสัมพันธ์ในระยะยาวได้ ทำให้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวมีลักษณะเด่นที่คล้ายกันคือ สามารถเก็บสถานะของข้อมูลไว้ที่แต่ละโหนดได้ว่าข้อมูลที่ผ่านแต่ละโหนดนั้นเป็นค่าอะไร จำเป็นในการเรียนรู้หรือไม่ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ในระยะยาว หรือระยะสั้น

วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว มีหลักการทำงานที่สามารถเก็บสถานะ หรือข้อมูลของแต่ละโหนดให้สามารถย้อนกลับไปดูที่มาของข้อมูลได้ และมีส่วนที่ทำหน้าที่เสมือนประตู (Gate) ที่ทำการคัดแยกข้อมูลที่จะเข้ามาในระบบของการประมวลผล ว่าข้อมูลที่เข้ามานั้นมีความจำเป็นต่อการเรียนรู้ที่จะต้องเก็บไว้ หรือไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ [15] โดยในวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวจะประกอบด้วย ฟอร์เกท เกท (Forget Gate) อินพุต เกท (Input Gate) และเอาต์พุต เกท (Output Gate) แสดงดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

ที่ ม า : Doratong24. medium.com 2017 [Available from: Available from: https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms. [15]

ฟอร์เกท เกท เป็นส่วนที่จะทำการคัดแยกข้อมูลที่เข้ามาว่าเป็นข้อมูลที่ความจำเป็นต่อการเรียนรู้ที่จะต้องเก็บไว้หรือไม่ โดยข้อมูลที่เข้าสู่เกทนี้จะเป็นข้อมูลอินพุตที่ได้รับจากเอาต์พุตการเรียนรู้ครั้งก่อนหน้า ร่วมกับอินพุตใหม่ที่เริ่มเข้าสู่โหนด โดยผ่านฟังก์ชัน Sigmoid แสดงดังสมการที่ 2.1

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \qquad (2.1)$$

เมื่อ f_t คือ Forget Gate

σ คือ ฟังก์ชัน Sigmoid

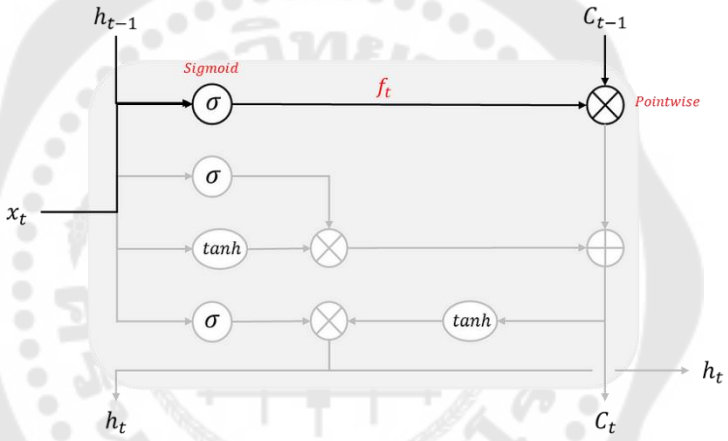
W_f คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์

h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตของ Cell State ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$

x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t

b_f คือ ค่า bias

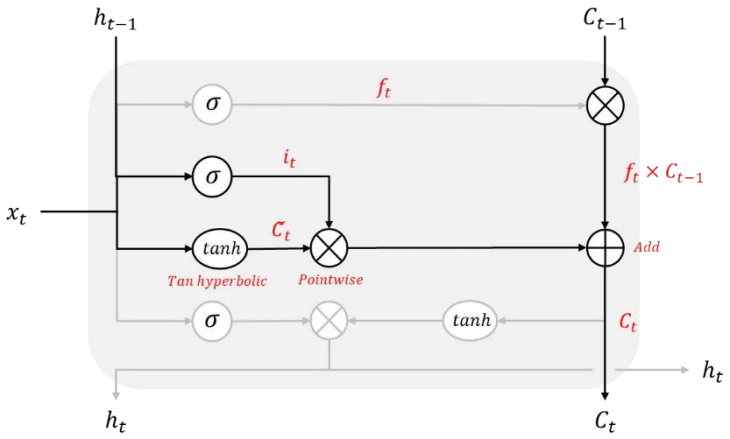
ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน Sigmoid ในส่วนของฟอร์เกท เกทจะอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งหากได้ค่าฟอร์เกทเกท เท่ากับ 1 หมายถึงให้เก็บค่าอินพุตที่ได้จากโหนดเดิมไว้ มีความจำเป็นต่อการเรียนรู้ แต่หากได้ค่าฟอร์เกทเกท เท่ากับ 0 หมายถึงให้ลบค่าอินพุตที่ได้จากโหนดเดิมออก ไม่มีความจำเป็นในการเรียนรู้ต่อไป แสดงดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนฟอร์เกท เกท

ที่ ม า : Doratong24. medium.com 2017 [Available from: Available from: https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

อินพุต เกท เป็นส่วนที่รับข้อมูลเข้ามาใหม่ และทำการบันทึกข้อมูลลงในแต่ละโหนดว่าข้อมูลไหนจำเป็นต่อการเรียนรู้ที่จะต้องเก็บไว้ หรือไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ โดยในอินพุต เกทนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน แสดงดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนอินพุตเกท

ที่มา : Doratong24. medium.com 2017 [Available from: Available from: https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

โดยในส่วนแรกฟังก์ชัน Sigmoid จะทำการเรียกใช้ข้อมูลอินพุตเกทเพื่อทำการพิจารณาว่าจะทำการอัพเดท Cell State หรือไม่ โดยคำนวณดังสมการ 2.2 หากอินพุต เกทพิจารณาแล้วว่าต้องทำการอัพเดท Cell State ในส่วนที่สองของฟังก์ชัน $tanh$ จะรับหน้าที่ทำการสร้างค่าที่ใกล้เคียง (Candidate Value) ขึ้นใน Cell State โดยใช้ฟังก์ชัน $tanh$ แสดงดังสมการ 2.3 และทำการคัดเลือกข้อมูลว่าข้อมูลใดที่จะได้เป็นเอาต์พุต

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \qquad (2.2)$$

$$C_t = tanh(W_c \times [h_{t-1}, x_t] + b_c) \qquad (2.3)$$

เมื่อ i_t คือ Input Gate

σ คือ ฟังก์ชัน Sigmoid

C_t คือ ค่าที่มีความใกล้เคียง (Candidate Value)

$tanh$ คือ ฟังก์ชัน $tanh$

W_i , W_c คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์

h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตของ Cell State ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$

x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t

b_i , b_c คือ ค่า bias

เอาต์พุต เกท เมื่ออินพุต เกท และฟอร์เกท เกททำการคัดเลือกข้อมูลแล้วว่าข้อมูลใดที่จะได้เป็นเอาต์พุตของแต่ละเกทจะทำการนำ Cell State เข้าสู่ฟังก์ชัน $tanh$ เพื่อคำนวณร่วมกับค่าเอาต์พุต เกท เพื่อหาค่าเอาต์พุตที่จะส่งออกไปแสดงผลลัพธ์ และส่งไปพิจารณาร่วมกับอินพุตรอบถัดไปโดยใช้ฟังก์ชัน Sigmoid แสดงดังสมการ 2.4

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \tag{2.4}$$

เมื่อ o_t คือ Output Gate

σ คือ ฟังก์ชัน Sigmoid

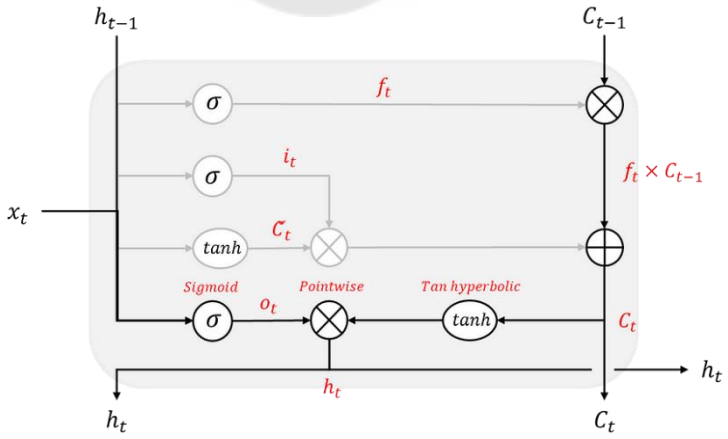
W_o คือ ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์

h_{t-1} คือ ค่าเอาต์พุตของ Cell State ก่อนหน้า ณ เวลา $t-1$

x_t คือ ค่าอินพุตใหม่ที่เข้ามาที่โหนด ณ เวลา t

b_o คือ ค่า bias

ค่าเอาต์พุตที่ได้จากในส่วนนี้จะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ เอาต์พุตที่จะถูกส่งไปเป็นผลลัพธ์และเอาต์พุตที่จะถูกส่งต่อทันทีไปให้โหนดถัดไปโดยไม่ผ่านฟังก์ชันใด ๆ อีก แสดงดังภาพประกอบ 12

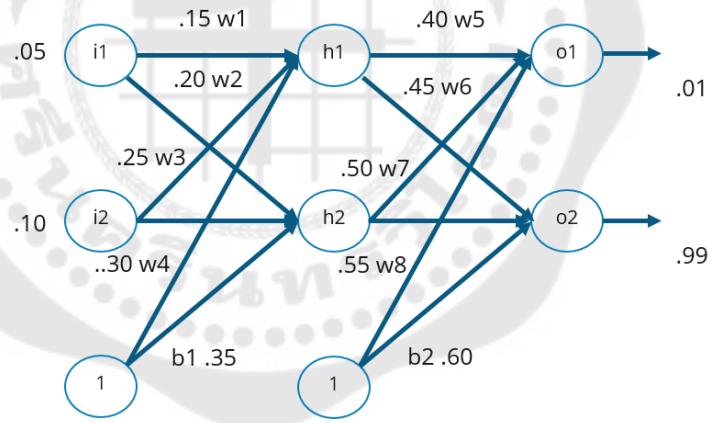


ภาพประกอบ 12 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว แสดงการทำงานในส่วนเอาต์พุต เกท

ที่ ม า : Doratong24. medium.com 2017 [Available from: Available from: https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

2.9 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ

วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการเรียนรู้โดยจะต้องรู้เอาต์พุตเป้าหมายเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้ และตัดสินใจจัดสรรช่องสัญญาณให้ได้ใกล้เคียงเอาต์พุตเป้าหมายที่สุด โดยในการเรียนรู้จะป้อนอินพุตเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือค่าแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองที่ผู้ใช้ต้องการ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ และทำการตัดสินใจออกมาให้ใกล้เคียงกับเอาต์พุตเป้าหมาย แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 โครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ

ที่ ม า : Saurabh. Backpropagation – Algorithm For Training A Neural Network. 2022.

ในการเรียนรู้แต่ละครั้งหากเอาต์พุตที่ได้จากการเรียนรู้ยังไม่ใกล้เคียงกับเป้าหมายตามเงื่อนไขค่าความผิดพลาดที่สามารถรับได้ จะต้องทำการคำนวณค่าความผิดพลาดเพื่อนำไปปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าความเอนเอียง (Bias) ในแต่ละชั้นการเรียนรู้ แล้วจึงทำการเรียนรู้ใหม่ โดย

การหาค่าเอาต์พุตของชั้นซ่อน สามารถแสดงดังสมการ 2.5 และการหาค่าเอาต์พุตที่จะตัดสินใจออกมาเป็นผลลัพธ์แสดงดังสมการ 2.6

$$h_1 = i_1 \cdot w_1 + i_2 \cdot w_2 + b \quad (2.4)$$

$$netout_h_1 = sigmoid(h_1) = \frac{1}{\left(1 - e^{-h_1}\right)} \quad (2.5)$$

เมื่อ h_1 คือ ตำแหน่งโหนดของชั้นซ่อน

i_1 คือ ค่าอินพุตในโหนดที่หนึ่ง

w_1 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในโหนดที่หนึ่ง

b คือ ค่าความเอนเอียง

เมื่อได้ค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนดแล้วจะต้องทำการ คำนวณค่าความผิดพลาดเพื่อนำไปปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าความเอนเอียง (Bias) ในแต่ละชั้นการเรียนรู้ จนกว่าเอาต์พุตที่ได้จะใกล้เคียงกับเอาต์พุตเป้าหมายตามเงื่อนไขค่าความผิดพลาดที่สามารถรับได้ แสดงดังสมการ 2.6

$$E_{total} = \frac{\sum (target - output)^2}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อ *target* คือ ค่าเอาต์พุตที่จะตัดสินใจออกมาเป็นผลลัพธ์

output คือ ค่าเอาต์พุตเป้าหมาย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

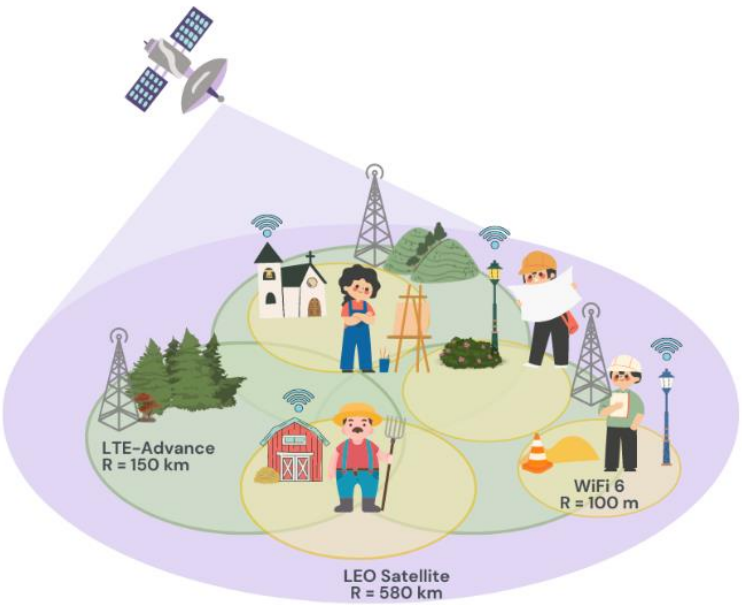
ในการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบด้วยกรอบแนวความคิดของงานวิจัย และการออกแบบโครงข่ายสำหรับการสื่อสารแห่งอนาคต โดยจะทำการพิจารณาจากความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ (Bandwidth) และเวลาในการตอบสนอง (Latency) ในการใช้งานของแอพพลิเคชั่นที่นำมาเปรียบเทียบ โดยที่ได้เลือกพารามิเตอร์ทั้งสามมาเป็นเกณฑ์พิจารณาการแฮนด์โอเวอร์ในกรอบแนวความคิดของงานวิจัยนี้ เนื่องจากความต้องการใช้งานแอพพลิเคชั่นที่หลากหลายในปัจจุบัน และโดยส่วนใหญ่เป็นแอพพลิเคชั่นที่ต้องการเวลาในการตอบสนองที่ใกล้เคียงกับเวลาจริงมากที่สุด การเชื่อมต่อจึงต้องมีความรวดเร็ว และไร้รอยต่อมากที่สุด การพิจารณาความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับให้สามารถรองรับความแรงของสัญญาณที่แอพพลิเคชั่นต้องการได้สูงที่สุด และเวลาในการตอบสนองต่ำที่สุดจึงถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากในการพิจารณา และขณะเดียวกันเมื่อแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาให้มีฟังก์ชันการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นทำให้ความต้องการใช้งานแบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นด้วย การที่เครือข่ายสามารถรองรับความต้องการแบนด์วิดท์ตามที่ผู้ใช้ต้องการใช้งานได้อย่างเหมาะสม และราบรื่นจึงถือเป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน

โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว และนำอินพุตที่ได้มาทำการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อทำการเรียนรู้จนอินพุตสามารถบรรลุเงื่อนไขที่ตั้งไว้ (Policy) จึงจะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณได้ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จึงทำการวัดประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณที่ได้ ในรูปของอัตราความผิดพลาด (Bit Error Rate: BER) กระบวนการทำงานของงานวิจัยดังแสดงในภาพประกอบ 11

ภาพประกอบ 14 กระบวนการทำงานของงานวิจัย

3.2 โครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต

โครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต ในงานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาที่เครือข่าย WiFi (IEEE 802.11ax) โดยมีรัศมีการให้บริการครอบคลุมจากสถานีฐาน 100 เมตร เครือข่ายแอลทีอี-แอดวานซ์ โดยมีรัศมีการให้บริการครอบคลุมจากสถานีฐาน 150 กิโลเมตร และดาวเทียมวงโคจรต่ำ ที่มีรัศมีการให้บริการครอบคลุมจากสถานีฐาน 580 กิโลเมตร โดยในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบเครือข่ายทั้งสามให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างไร้รอยต่อ ซึ่งจะทำการจำลองค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ ความต้องการแบนด์วิดท์ เวลาการตอบสนองในการส่งข้อมูลโดยการสุ่มด้วยโปรแกรมแมทแลป โดยมีขอบเขตในการพิจารณาขณะที่ผู้ใช้มีการใช้งานอยู่ในจุดที่ซ้อนทับกันของเซลล์ความครอบคลุมการให้บริการของแต่ละเครือข่ายเท่านั้น เพื่อวัดประสิทธิภาพในรูปแบบของจำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 15 โครงสร้างโครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต

ในการเลือกใช้เครือข่ายการให้บริการที่นำมาพิจารณา จะต้องมีความสอดคล้องกับการใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้ใช้เป็นสำคัญ เนื่องจากในปัจจุบันมีความต้องการใช้เครือข่ายไร้สายในการติดต่อสื่อสารเพิ่มขึ้นอย่างมากจากยุคแรก ๆ ที่มีการใช้งานเพียงแค่การโทรด้วยเสียงหรือส่งข้อความในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ในยุคปัจจุบันนอกจากการโทรด้วยเสียง และการส่งข้อความแล้ว ผู้ใช้ยังสามารถรับส่งข้อมูลข่าวสาร รับชมสื่อบันเทิง หรือสามารถทำงานผ่านเครือข่ายไร้สายได้ครบทุกความต้องการในชีวิตประจำวัน จนเรียกได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งในการดำรงชีวิตอย่างปฏิเสธไม่ได้ เครือข่ายไร้สายในอนาคตจึงต้องสามารถรองรับการใช้งานแอพพลิเคชั่นที่ต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น มีความแรงของสัญญาณมากขึ้น และมีเวลาในการตอบสนองต่ำที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกพิจารณาเครือข่ายที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารในอนาคตทั้ง 3 เครือข่ายมาพิจารณา โดยแต่ละเครือข่ายจะมีคุณสมบัติในการให้บริการที่แตกต่างกันดังนี้

เครือข่ายไวไฟ (IEEE 802.11ax) ที่เป็นเทคโนโลยีที่มีความแรงของสัญญาณ และความเสถียรมากที่สุด มีการใช้งานมาอย่างต่อเนื่องในหลายยุค ทั้งในที่อยู่อาศัย สำนักงาน หรือพื้นที่สาธารณะ แม้จะมีรัศมีการให้บริการครอบคลุมจากจุดกระจายสัญญาณเพียง 100 เมตร ซึ่งน้อยกว่าเครือข่ายอื่น ๆ แต่ด้วยความแรงของสัญญาณที่ค่อนข้างสูง และมีความครอบคลุมการให้บริการที่ค่อนข้างแคบ ทำให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อได้พร้อมกันหลายอุปกรณ์ และยังสามารถเชื่อมต่อได้ทั้งอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ไปจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้าน ไวไฟในยุค

ที่ 6 หรือไวไฟ IEEE 802.11ax นี้สามารถทำงานที่ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ สามารถเชื่อมต่อสัญญาณได้ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น 9.6 กิกะบิตต่อวินาที และแบนด์วิดท์กว้างถึง 160 เมกะเฮิรตซ์ รวมถึงมีเทคโนโลยีไมโมที่ช่วยให้การเชื่อมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ดีขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งานแอพพลิเคชั่นได้ทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครือข่ายแอลทีอี-แอดวานซ์ (LTE-Advance) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามการพัฒนาของแอพพลิเคชั่น ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตได้แม้กำลังเดินทาง หรืออยู่นอกพื้นที่พักอาศัย สร้างความสะดวกในการใช้งานได้เป็นอย่างมาก เป็นระบบเครือข่ายไร้สายเคลื่อนที่ที่พัฒนามาจากแอลทีอี ทำให้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงขึ้นกว่าแอลทีอีปกติถึง 2 เท่า มีรัศมีการให้บริการครอบคลุมจากสถานีฐานเพิ่มขึ้นจาก 100 กิโลเมตร เป็น 150 กิโลเมตร ทำงานบนความถี่ 2.1 กิกะเฮิรตซ์ และสามารถนำคลื่นความถี่ที่ต่างกันหลายคลื่นมาทำงานร่วมกัน (Carrier Aggregation: CA) สามารถรับส่งข้อมูลไปพร้อมกันในปริมาณมากได้ ทำให้เครือข่ายไร้สายชนิดนี้มีความน่าสนใจที่จะนำมาพิจารณาในโครงข่ายสำหรับการสื่อสารในอนาคต

ดาวเทียมวงโคจรต่ำ (LEO Satellite) ถือเป็นเครือข่ายไร้สายที่มีความครอบคลุมการให้บริการที่กว้างที่สุดกว่าเครือข่ายอื่น ๆ สามารถครอบคลุมได้ถึงพื้นที่การให้บริการที่การติดตั้งสถานีฐาน หรือการพาดสายสื่อสารเป็นไปได้ยาก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาที่ย่าน Ku-Band ความถี่ 1.9 เมกะเฮิรตซ์ การโคจรอยู่เหนือระดับพื้นดิน 500 ถึง 1,500 กิโลเมตร ทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 3 – 5 มิลลิวินาที ทำงานที่ความถี่ 1.9 เมกะเฮิรตซ์ และค่าลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดาวเทียมค้างฟ้า ปัจจัยทั้งสองส่วนนี้ทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ ให้ใช้พลังงานในระดับต่ำ มีขนาดสายอากาศที่เล็กลง และลดเวลาในการเดินทางของสัญญาณระหว่างผู้ใช้งาน และสามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้ทั่วโลกด้วยวงโคจรที่สามารถโคจรผ่านขั้วโลกได้ โดยต้องใช้ดาวเทียมจำนวนมากจึงจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ทั้งหมด

3.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

ในการวิจัยนี้จะทำการพิจารณาการใช้งานในจุดที่มีการซ้อนทับกันของเซลล์เพื่อทำการจัดสรรช่องสัญญาณเท่านั้น แต่ถึงแม้ว่าผู้ใช้ไม่ได้อยู่ในจุดที่มีการซ้อนทับกันของเซลล์ ก็จะยังมีการติดตามวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับอยู่ตลอดเวลา โดยระบบจะทำการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครือข่ายปัจจุบัน (Received Signal Strength Indicator

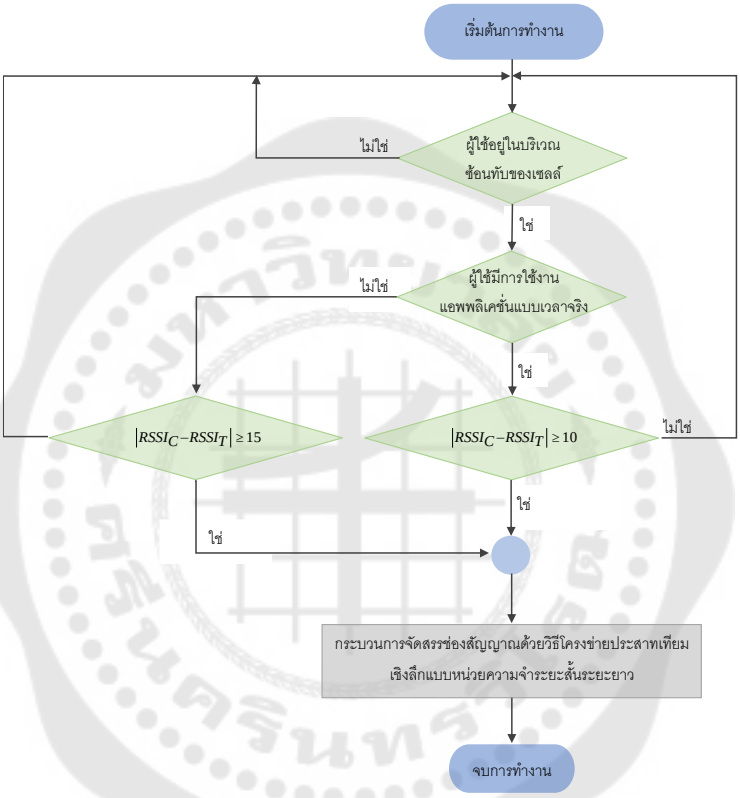
Current: $RSSI_C$) เปรียบเทียบกับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครือข่ายเป้าหมายที่อยู่ใกล้เคียง (Received Signal Strength Target: $RSSI_T$) การกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาตามความต้องการใช้งานที่ใกล้เคียงเวลาจริงของแอพพลิเคชั่น โดยเกณฑ์ในการวัดค่าความแรงของสัญญาณได้มีการแบ่งขอบเขตการพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ

(1) ในกรณีที่ผู้ใช้มีการใช้งานแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริง (Real Time Application) ผู้ใช้จำเป็นต้องมีการรับส่งข้อมูลอย่างรวดเร็ว และใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุด ผลต่างระหว่างค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครือข่ายปัจจุบันกับเครือข่ายเป้าหมายมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เดซิเบลมิลลิวัตต์ จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ และเข้าสู่กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ต่อไป เพื่อให้เครือข่ายเป้าหมายสามารถรองรับการใช้งานได้โดยมีค่าความแรงของสัญญาณที่แตกต่างจากเครือข่ายเดิมน้อยที่สุดก่อนจะเกิดการเรียกติดขัด หรือการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว ผู้ใช้จึงจะสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และไร้รอยต่อ หากไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดผู้ใช้จะไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณ และต้องกลับเข้าสู่กระบวนการพิจารณาจุดที่มีการซ้อนทับของเซลล์ต่อไป

(2) กรณีที่ผู้ใช้มีการใช้งานแอพพลิเคชั่นแบบไม่ใช่เวลาจริง (Non-Real Time Application) สามารถใช้งานภายใต้ความแรงของสัญญาณที่น้อยกว่าแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริงได้ เนื่องจากแอพพลิเคชั่นแบบไม่ใช่เวลาจริงโดยส่วนมากจะเป็นการใช้งานแบบการรับหรือส่งข้อมูลทางเดียว จึงไม่จำเป็นต้องทำงานแบบโต้ตอบใกล้เคียงเวลาจริงเท่ากับแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริง ในกรณีนี้ได้ทำการพิจารณาที่ผลต่างของค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครือข่ายปัจจุบันกับเครือข่ายเป้าหมายมากกว่าหรือเท่ากับ 15 เดซิเบลมิลลิวัตต์ จึงจะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ หากไม่ตรงตามเงื่อนไขผู้ใช้จะไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณ และต้องกลับเข้าสู่กระบวนการพิจารณาจุดที่มีการซ้อนทับของเซลล์เช่นเดียวกับกรณีการใช้งานแอพพลิเคชั่นแบบเวลาจริง

ค่าความแรงของสัญญาณที่ผ่านเงื่อนไขดังกล่าวจะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว โดยในกระบวนการนี้จะพิจารณาที่ความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ในเครือข่ายเป้าหมาย และค่าเวลาในการตอบสนองที่จะเกิดขึ้นในการใช้งาน โดยผู้ใช้จะได้รับการพิจารณาว่าความต้องการแบนด์วิดท์

และค่าเวลาในการตอบสนองที่ต้องการ มีช่องสัญญาณที่สามารถรองรับการใช้งานในขณะนั้นหรือไม่ หากมีช่องสัญญาณเพียงพอจะถูกตัดสินใจให้ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อเข้าสู่กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ต่อไป ส่วนความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ และค่าเวลาในการตอบสนองที่ไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ จะเกิดการเรียกติดขัด การเรียกขาดหาย หรือการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวในที่สุด แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 16 ลำดับขั้นตอนกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

3.3.1 การพิจารณาความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ในแต่ละเครือข่ายของการสื่อสารแห่งอนาคตตามที่ได้ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายไว้

3.3.1.1 เครือข่าย WiFi สามารถหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ [16] ได้ดังสมการที่ 3.1

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

เมื่อ γ คือ ค่าลดทอนของการสูญเสียมีค่าเท่ากับ 2.8

d คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้ และสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร

3.3.1.2 เครือข่าย LTE-Advance สามารถหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ดังสมการที่ 3.2

$$RSS(d)_{dBm} = P_t - PL(d) \tag{3.2}$$

เมื่อ P_t คือ ค่ากำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานเท่ากับ 1 วัตต์

d คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้ และสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร

โดยสามารถหาค่าการลดทอนได้จากสมการที่ 3.3

$$PL(d)_{dBm} = S + 10n\log(d) + X_\gamma \tag{3.3}$$

เมื่อ S คือ ค่าลดทอนกำลังของสัญญาณ ในการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 19 dB

n คือ ค่าตัวคูณในการลดทอนของสัญญาณ ที่เกิดจากวัตถุบดบังสัญญาณต่างๆเช่น สิ่งปลูกสร้าง หรือตึกอาคาร ในงานวิจัยนี้ให้มีค่าเท่ากับ 3.5

d คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้ และสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร

X_γ คือ ค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ในงานวิจัยนี้ให้มีค่าเท่ากับ 36 dB และนำค่าการลดทอนที่ได้ในสมการที่ 3.3 มาคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับของเครือข่าย LTE-Advance ในสมการที่ 3.2

3.3.1.3 เครือข่ายดาวเทียมวงโคจรต่ำ สามารถหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ดังสมการที่ 3.2 โดยสามารถหาค่าการลดทอนได้จากสมการที่ 3.4

$$PL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \tag{3.4}$$

เมื่อ d คือ ค่าระยะทางระหว่างผู้ใช้ และสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร

λ คือ ค่าความยาวคลื่นของสัญญาณ

ทำการคำนวณเพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับของแต่ละเครือข่าย ได้ผลลัพธ์ดังนี้

WiFi มีความแรงของสัญญาณที่ได้รับ -51.95 ถึง 4.05 เดซิเบล

LTE-Advance มีความแรงของสัญญาณที่ได้รับ -165.16 ถึง -54.00 เดซิเบล

LEO Satellite มีความแรงของสัญญาณที่ได้รับ -52.28 ถึง 22.98 เดซิเบล

3.3.2 กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

หลังจากที่ผู้ใช้ได้รับการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณแล้วพบว่าค่าความแรงของสัญญาณเป็นไปตามเงื่อนไขของแต่ละแอพพลิเคชั่น โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการพิจารณาค่าแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองของแอพพลิเคชั่น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองค่าทั้งสองโดยการสุ่มด้วยโปรแกรมแมทแลป และทำการแบ่งช่วงของแบนด์วิดท์ และช่วงของเวลาในการตอบสนองของเครือข่ายไร้สายในอนาคตที่ได้ทำการออกแบบไว้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงต่ำ ช่วงกลาง และช่วงสูง เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้รองรับความต้องการแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการกำหนดค่าช่วงแบนด์วิดท์ของแต่ละเครือข่ายแสดงดังตารางที่ 3 และกำหนดค่าช่วงของเวลาในการตอบสนองแต่ละเครือข่ายแสดงดังตารางที่ 4

ตาราง 3 ช่วงของแบนด์วิดท์แต่ละเครือข่าย ในการออกแบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต

เครือข่าย	ช่วงต่ำ (เมกะเฮิรตซ์)	ช่วงกลาง (เมกะเฮิรตซ์)	ช่วงสูง (เมกะเฮิรตซ์)
WiFi (IEEE 802.11 ax)	(0, 53.33]	(53.33, 106.66]	(106.66, 160.00)
LTE-Advance	(0, 10]	(10, 20]	(20, 30)
LEO Satellite	(0, 13.33]	(13.33, 26.66]	(26.66, 40)

ตาราง 4 ช่วงของค่าเวลาในการตอบสนองของแต่ละเครือข่าย ในการออกแบบโครงข่ายไร้สายแห่งอนาคต

เครือข่าย	ช่วงต่ำ (มิลลิวินาที)	ช่วงกลาง (มิลลิวินาที)	ช่วงสูง (มิลลิวินาที)
WiFi (IEEE 802.11 ax)	(0, 0.03]	(0.03, 0.06]	(0.06, 0.10)
LTE-Advance	(0, 3.33]	(3.33, 6.66]	(6.66, 10.00)
LEO Satellite	(0, 16.67]	(16.67, 33.34]	(33.34, 50.00)

โดยแอพพลิเคชั่นที่นำมาใช้ในการพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย แอพพลิเคชั่นที่เป็นเวลาจริง คือ การโทรศัพท์ภาพ (Video Calling) การถ่ายทอดสดภาพและเสียง (Live Streaming) และการโทรผ่านอินเทอร์เน็ต (Voice over Internet Protocol: VoIP) และแอพพลิเคชั่นไม่ใช่เวลาจริงที่นำมาใช้ในการพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณ คือ โปรแกรมสืบค้นข้อมูลบนอินเตอร์เน็ต (Web Browser) จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) และโปรโตคอลการโอนย้ายไฟล์ (File Transfer Protocol: FTP) ซึ่งเป็นแอพพลิเคชั่นที่ผู้ใช้นิยมใช้งานในการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมากในปัจจุบัน และผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ในหลากหลายแพลตฟอร์มจากการพัฒนาแอพพลิเคชั่นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ทั้งในรูปแบบของการติดต่อสื่อสารอย่างเป็นทางการ และไม่เป็นทางการ การรับส่งไฟล์ และเพื่อความบันเทิง โดยความต้องการแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองของแอพพลิเคชั่นสามารถแสดงดังตารางที่ 5

ตาราง 5 ความต้องการแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองของแอพพลิเคชั่น

แอพพลิเคชั่น	ความต้องการแบนด์วิดท์	เวลาในการตอบสนอง
Video Calling	130-810 MB	< 150 ms
Live Streaming	3-25 Mbps	< 200 ms
VoIP	85-100 Kbps	< 20 ms
Web Browser	60 MB	40-60 ms
E-mail	<1 MB	15 s
File Transfer Protocol	2 KBps	30 ms

3.3.3 การวัดประสิทธิภาพในรูปอัตราความผิดพลาดบิต

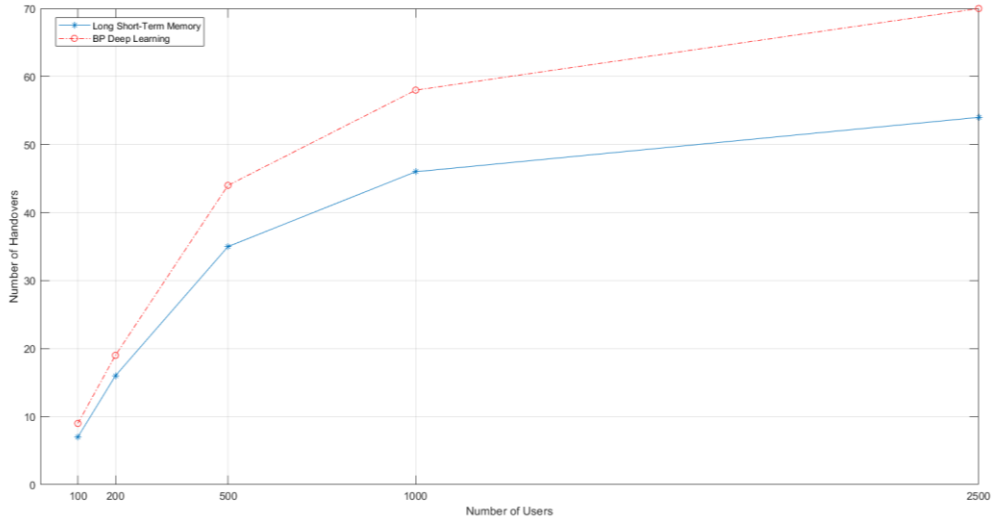
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจัดสรรช่องสัญญาณโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวเปรียบเทียบกับวิธีการแพร่ย้อนกลับ โดยการวัดประสิทธิภาพในรูปของอัตราความผิดพลาดบิต ซึ่งทำการพิจารณาที่จำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว โดยใช้การจำลองตำแหน่งของผู้ใช้บริการ ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ เวลาในการตอบสนอง และความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ด้วยโปรแกรมแมทแลปเพื่อทำการจำลองสถานการณ์ และผลลัพธ์ในการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อวัดจำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการเรียกติดขัด และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ ในส่วนของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวมาสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

$$\text{จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว} = \frac{\text{จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่สำเร็จ}}{\text{จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ร้องขอทั้งหมด}} \quad (3.5)$$

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

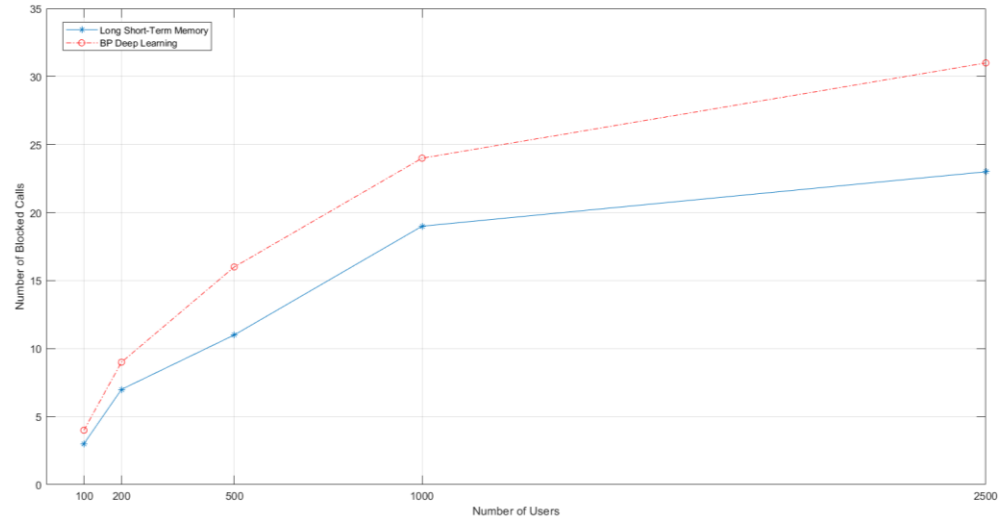
ในกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการ เป็นกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณนี้จะเกิดบนเครือข่ายของผู้ให้บริการแทนการตัดสินใจบนอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเพื่อช่วยลดการทำงานที่จะเกิดบนอุปกรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่มีการใช้งานจริง เช่น กรณีที่ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครือข่ายใกล้เคียงต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ผู้ใช้อยู่ในจุดที่มีการซ้อนทับของเซลล์มากกว่า 2 เครือข่าย หรือช่องสัญญาณไม่เพียงพอให้จัดสรรได้ เพื่อทดสอบการตัดสินใจในการจัดสรรช่องสัญญาณให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่อาจเกิดในการใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งผลจากการดำเนินการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ทำการวิจัยมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบ ทั้งในด้านของจำนวนการเรียกขาดหาย จำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว

ในส่วนของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ วิธีที่นำเสนอได้ทำการพิจารณาความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับตามแอพพลิเคชั่นที่ใช้งานก่อน ทำให้ผู้ใช้ที่ได้เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณเป็นผู้ใช้ที่ผ่านการพิจารณามาขั้นตอนหนึ่งแล้วว่ามีความจำเป็นต้องแฮนด์โอเวอร์จริง ๆ เท่านั้น จึงทำให้วิธีที่นำเสนอสามารถลดจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์โอเวอร์โดยไม่จำเป็น จนเกิดเป็นปิงปองเอคเฟค (Ping-Pong Effect) ลงได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นเหตุให้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวสามารถลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ลงได้มากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ แสดงดังภาพประกอบ 17

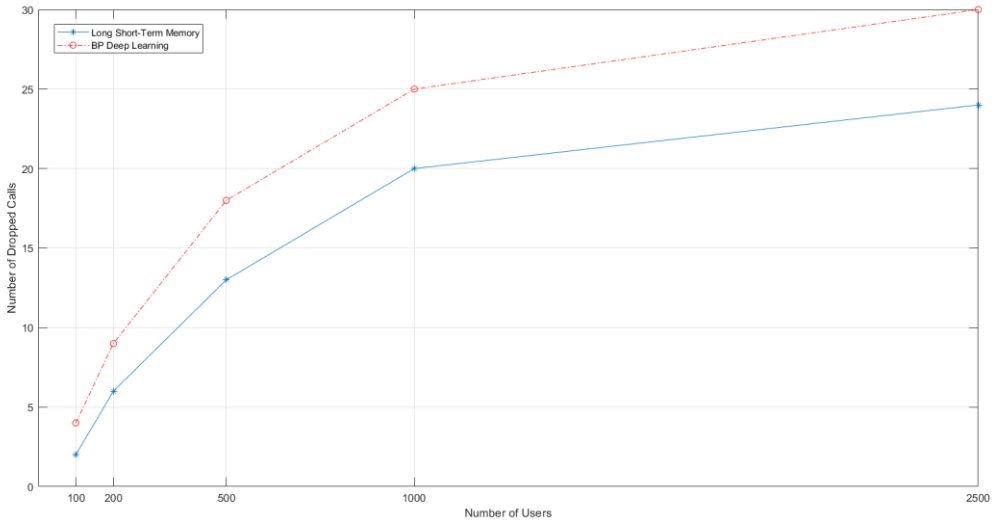


ภาพประกอบ 17 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ

ในด้านของจำนวนการเรียกติดขัด และจำนวนการเรียกขาดหาย วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบ จะต้องทำการเรียนรู้จนจบกระบวนการก่อน จึงจะนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากผลลัพธ์ไปทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการเรียนรู้ในครั้งต่อไป จนกว่าเอาต์พุตที่ได้จะใกล้เคียงกับเอาต์พุตเป้าหมายตามเงื่อนไขค่าความผิดพลาดที่สามารถรับได้ ทำให้กระบวนการเรียนรู้เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณใช้เวลาค่อนข้างมาก ซึ่งแตกต่างกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวที่มีส่วนที่ทำหน้าที่เสมือนประตู ทำการคัดแยกอินพุตที่เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณว่าเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ที่จะต้องเก็บไว้ หรือไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ ทำให้ในการเรียนรู้ครั้งต่อไปสามารถนำข้อมูลจากการพิจารณาครั้งที่ผ่านมาเป็นอินพุตประกอบการพิจารณาเรียนรู้ครั้งใหม่ต่อได้ทันที ส่งผลให้ใช้เวลาในการเรียนรู้และจัดสรรช่องสัญญาณน้อยกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ และสามารถลดจำนวนการเรียกติดขัด และจำนวนการเรียกขาดหายลงได้ แสดงดังภาพประกอบ 18 และภาพประกอบ 19 ตามลำดับ

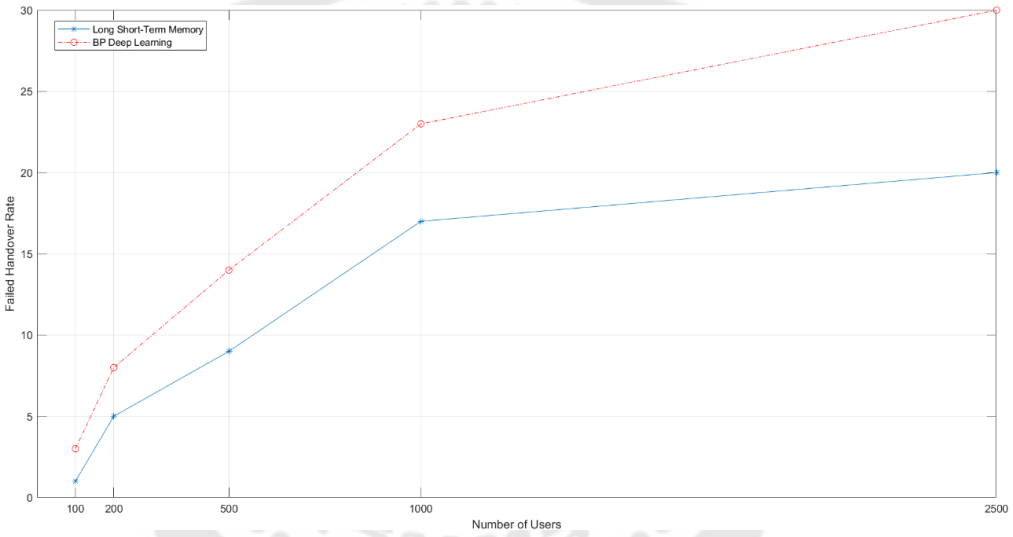


ภาพประกอบ 18 จำนวนการเรียกติดขัด จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ



ภาพประกอบ 19 จำนวนการเรียกขาดหาย จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ

จากการพิจารณาความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณโดยพิจารณาที่ความต้องการแบนด์วิดท์ และเวลาในการตอบสนองของแอพพลิเคชั่นทำให้สามารถคัดกรองผู้ใช้ที่มีความจำเป็นต้องได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณจริง ๆ เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ส่งผลให้สามารถลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ จำนวนการเรียกติดขัด และจำนวนการเรียกขาดหายลงได้ แต่เนื่องจากช่องสัญญาณเป็นทรัพยากรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัด หากในขณะที่ผู้ใช้มีความต้องการใช้ช่องสัญญาณ แต่ไม่มีช่องสัญญาณในเครือข่ายที่ผู้ใช้อยู่ในจุดซ้อนทับว่างในขณะนั้น ผู้ใช้อาจไม่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณได้ทันจนเกิดการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวในที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังคงสามารถลดจำนวนแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวลงได้มากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบ แสดงดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว จากการจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณได้มากกว่าวิธีที่เปรียบเทียบในทุกด้าน จากการที่มีการคัดกรองผู้ใช้ด้วยความแรงของสัญญาณก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ทำให้ช่วยลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 21.00และยังมีส่วนที่คัดแยกอินพุตที่เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณว่าเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ที่จะต้องเก็บไว้ หรือไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ ทำให้การเรียนรู้ในครั้งถัดไปรวดเร็ว และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในจัดสรรช่องสัญญาณน้อยลง จึงสามารถจัดสรร

ช่องสัญญาณให้ผู้ใช้ได้ทัน ลดจำนวนการเรียกติดขัด และจำนวนการเรียกขาดหายลงได้มากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับเฉลี่ยร้อยละ 25.00 และร้อยละ 24.41 ตามลำดับ และวิธีที่นำเสนอใช้วิธีการพิจารณาความแรงของสัญญาณก่อนจะเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ทำให้มีเพียงผู้ใช้ที่จำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณจริง ๆ และผู้ใช้จะไม่สามารถแฮนด์โอเวอร์ หรือแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวได้ในกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างรองรับเท่านั้น ทำให้สามารถลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวลงได้เฉลี่ยร้อยละ 33.33 เมื่อเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ แสดงดังตารางที่ 6

ตาราง 6 ผลการวิจัยวิธีที่ได้ เปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ

การวัดประสิทธิภาพ	วิธีการที่ใช้	จุดที่ 1 (คน)	จุดที่ 2 (คน)	จุดที่ 3 (คน)	จุดที่ 4 (คน)	จุดที่ 5 (คน)	ปริมาณเฉลี่ย (คน)	ลดลงร้อยละ
จำนวน การแฮนด์โอเวอร์	BP	9	19	44	58	70	40	21
	LSTM	7	16	35	46	54	31.6	
จำนวนการเรียกติดขัด	BP	4	9	16	24	31	16.8	25
	LSTM	3	7	11	19	23	12.6	
จำนวน การเรียกขาดหาย	BP	4	9	18	25	30	17.2	24.41
	LSTM	2	6	13	20	24	13	
จำนวน การแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว	BP	3	8	14	23	30	15.6	33.33
	LSTM	1	5	9	17	20	10.4	

เนื่องจากวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับไม่มีส่วนคัดแยก และเก็บข้อมูลที่จำเป็นหรือไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ ทำให้ต้องเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้จนกว่าจะจบกระบวนการ แล้วจึงทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และทำการเรียนรู้อีกครั้ง ทำให้ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ และจัดสรรช่องสัญญาณมากกว่าวิธีการเรียนรู้แบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับจึงยังไม่เหมาะกับการใช้งานในข้อมูลที่มีปริมาณมาก มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในระยะยาว และต้องการเวลาตอบสนองต่ำ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวที่จะมีคัดแยกข้อมูลที่จำเป็น และไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ ทำให้การเรียนรู้ในครั้งต่อไปทำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้การจัดสรรช่องสัญญาณทำได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เหมาะสมกับการใช้งานในข้อมูลที่มีปริมาณมาก มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในระยะยาว และต้องการเวลาตอบสนองต่ำ

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่องการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการในการสื่อสารแห่งอนาคต ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายของระบบ รวมถึงกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวสำหรับหลายบริการ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการจำลองสถานการณ์ ผลที่อาจเกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมแมทแลป แสดงให้เห็นว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณได้มากกว่าวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ โดยในการวิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพจากจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ จำนวนการเรียกติดขัด จำนวนการเรียกขาดหาย และจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลว เมื่อผู้ใช้อยู่ในจุดที่มีการซ้อนทับของเซลล์เครือข่าย และมีปริมาณผู้ใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบในทุกด้านที่กล่าวมา

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมติฐานในเบื้องต้นที่คาดการณ์ว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการ โดยการใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณร่วมกันในหลากหลายเทคโนโลยีเครือข่าย ได้แก่ ไวไฟ (IEEE 802.11ax) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารแบบไร้สายขั้นสูง และดาวเทียมวงโคจรต่ำ ซึ่งจากการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณได้จริง โดยสามารถอ้างอิงได้จากการลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ลงได้เฉลี่ย

ร้อยละ 21.00 เมื่อเทียบกับวิธีการแพร่ย้อนกลับที่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณที่ได้ทำการออกแบบ มีการพิจารณาผู้ใช้ในขณะที่อยู่ในจุดซ้อนทับของเซลล์เครือข่ายเท่านั้น ผู้ใช้ที่ไม่อยู่ในจุดซ้อนทับของเซลล์เครือข่ายจึงจะยังไม่ได้ถูกรับเข้ามาพิจารณา เนื่องจากยังไม่มีความจำเป็นต้องแฮนด์โอเวอร์ และยังทำการคัดกรองความจำเป็นในการแฮนด์โอเวอร์จากความแรงสัญญาณของแอพพลิเคชั่นทั้งแบบเวลาจริง และไม่ใช่เวลาจริงที่ผู้ใช้ต้องการใช้งาน เพื่อตรวจสอบว่าความแรงที่ผู้ใช้ต้องการใช้งานเครือข่ายปัจจุบันยังสามารถให้บริการได้หรือไม่ หากความแรงของสัญญาณเครือข่ายปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะให้บริการได้จึงจะให้เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ต่อไป ทำให้สามารถลดจำนวนผู้ใช้ที่จะเกิดการแฮนด์โอเวอร์โดยไม่จำเป็นลงได้จำนวนมาก วิธีการที่นำเสนอยังสามารถลดจำนวนการเรียกติดขัดลงได้เฉลี่ยร้อยละ 25.00 และลดจำนวนการเรียกขาดหายลงได้เฉลี่ยร้อยละ 24.41 เมื่อนำวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบแพร่ย้อนกลับ เปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวที่ทำการวิจัย พบว่าการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวมีลักษณะเด่นของการจดจำข้อมูลอินพุตที่จำเป็นในแต่ละเกทที่ทำการเรียนรู้ ทำให้การเรียนรู้ในครั้งต่อไปสามารถนำค่าอินพุตที่ได้จากการเรียนรู้ในโหนดก่อนหน้ามาใช้งานได้ทันที เพิ่มความรวดเร็วในกระบวนการเรียนรู้ได้มากยิ่งขึ้น ไม่ต้องนำค่าอินพุตเดิมวนกลับมาทำการเรียนรู้ในรอบใหม่ตั้งแต่เริ่มต้น และยังสามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงกระบวนการเรียนรู้ และค่าอินพุตต่าง ๆ ได้ในระยะยาว ซึ่งแตกต่างกับวิธีการแพร่ย้อนกลับที่จะต้องทำการเรียนรู้ในแต่ละครั้งให้เสร็จก่อน จึงจะสามารถปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าความเอนเอียง เพื่อวนกลับมาทำการเรียนรู้ข้อมูลอินพุตใหม่ทั้งหมดซึ่งใช้เวลามาก ทำให้ผู้ใช้ที่รอการจัดสรรช่องสัญญาณอาจเกิดการเรียกติดขัด หรือเรียกขาดหายไปก่อนที่จะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับหลายบริการ โดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาวยังสามารถลดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวลงได้เฉลี่ยร้อยละ 33.33 เนื่องจากในกระบวนการที่มีการพิจารณาผู้ใช้ที่อยู่ในจุดซ้อนทับของเซลล์เครือข่าย พิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากแอพพลิเคชั่นที่ต้องการใช้งาน ก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณ ทำให้ผู้ใช้ที่เข้าสู่กระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณถูกคัดกรองมาแล้วว่าจำเป็นที่จะต้องได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ต่อไปจริง ๆ ทำให้ผู้ใช้ที่อาจเกิดการแฮนด์โอเวอร์ล้มเหลวมีจำนวนน้อยลงตามไปด้วย เพราะอาจเกิดได้ในกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างในเครือข่ายปลายทางนั้น ๆ แล้ว หรือมีปริมาณผู้ใช้ที่อยู่ในจุดเดียวกันและรอการจัดสรรช่องสัญญาณจำนวนมากเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาที่เทคโนโลยีเครือข่าย ไวไฟ (IEEE 802.11ax) เครือข่ายวิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารแบบไร้สายขั้นสูง (Long Term Evolution Advanced: LTE-Advanced) และดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit Satellite: LEO Satellite) สามารถทำการพิจารณาที่เทคโนโลยีเครือข่ายอื่น ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน หรือมีแนวโน้มจะพัฒนาไปใช้งานในอนาคตเพิ่มขึ้นอีกได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรช่องสัญญาณให้ครอบคลุมการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีเครือข่ายต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย และเหมาะสมกับการใช้งานในอนาคต

5.3.2 การวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกส์โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว หากมีการต่อยอดในอนาคต สามารถใช้วิธีการเรียนรู้ในรูปแบบอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับข้อมูล และพารามิเตอร์ที่จะทำการพิจารณามากขึ้น เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตามเทคโนโลยีเครือข่าย และแอพพลิเคชั่นที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

บรรณานุกรม

1. Gupta M, Dhurandher SK, Nicopolitidis P, editors. Intelligent and Efficient Channel Allocation in Smart Grid Neighhorhood Area Network. 2018 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS); 2018 11-13 July 2018.

2. Li Z, Xie Z, Liang X. Dynamic Channel Reservation Strategy Based on DQN Algorithm for Multi-Service LEO Satellite Communication System. IEEE Wireless Communications Letters. 2021;10(4):770-4.

3. Deep Reinforcement Learning for Dynamic Bandwidth Allocation in Multi-Beam Satellite Systems. 2021 IEEE 6th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS); 2021 Apr 23-26; Chengdu, China.

4. Dynamic Channel Allocation for Satellite Internet of Things via Deep Reinforcement Learning. 2020 International Conference on Information Networking (ICOIN); 2020 Jan 7-10; Barcelona, Spain.

5. Adaptive Bandwidth Allocation Strategy for Satellite Communication. 2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN); 2019; Huangshan, China2019.

6. Yan L, Ding X, Zhang G. Dynamic Channel Allocation Aided Random Access for SDN-Enabled LEO Satellite IoT. Journal of Communications and Information Networks. 2021;6:2509-3312.

7. Dynamic Channel Allocation Strategy of Satellite Communication Systems Based on Grey Prediction. 2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC); 2019 June 18-20 Istanbul, Turkey.

8. A New Channel Assignment Strategy for Low Earth Orbit Mobile Satellite Systems. 2010 Second International Conference on Advances in Satellite and Space Communications; 2010 June 13-19; Venice, Italy.

9. Dynamic channel reservation in satellite-based wireless personal communication networks. Joint 4th IEEE International Conference on ATM(ICATM'01) and High Speed Intelligent Internet Symposium ICATM 2001 (Cat No00EX486); 2001 Apr 22-25; Seoul,

Korea.

10. Huang T, Yang W, Wu J, Ma J, Zhang X, Zhang D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies. IEEE Access. 2019;7:175758-68.

11. Thos. Technology Scenario 'Artificial Intelligence in Industrie 4.0. 2021.

12. CONSULTING LB. LEO SATELLITE. 2022.

13. 35151 SI. Frequency reuse distance diagram vector image. 2015.

14. Dertat A. Applied Deep Learning - Part 1: Artificial Neural Networks. 2017.

15. Doratong24. medium.com 2017 [Available from: Available from: https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

16. Boonsong S, Chaysin S, Kunarak S. Dynamic Channel Allocation Using Long Short-Term Memory Deep Learning for Multi-Services. The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45); 2022 Nov 16-18; Nakhon Nayok, Thailand2022. p. 61-4.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เสาวนีย์ บุญส่ง
วัน เดือน ปี เกิด	18 มีนาคม 2538
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม พ.ศ. 2560 ปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2565 กำลังศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	26/1 หมู่ที่ 8 ต.ตลาดจินดา อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110
ผลงานตีพิมพ์	พ.ศ.2561 การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยขึ้นอยู่กับโครงข่ายประสาทเทียม แบบการแบ่งนับเวกเตอร์เพื่อการเรียนรู้ (Vertical handover decision based on learning vector quantization neural networks)