การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ENERGY EFFICIENT IN WIRELESS COMMUNICATION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

ณัฐพล ไชยสุภา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ณัฐพล ไชยสุภา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ENERGY EFFICIENT IN WIRELESS COMMUNICATION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

NATTHAPHON CHAISUPHA

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

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ของ

ณัฐพล ไชยสุภา

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	การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับ
ผู้วิจัย	ณัฐพล ไชยสุภา
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิศา คุณารักษ์

การให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับ หรือ Unmanned Aerial Vehicles (UAV) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วในการนำมาใช้งาน แต่ด้วยข้อจำกัดด้านพลังงานของแบตเตอรี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดบนอากาศยานไร้คนขับจึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอแนวทางสำหรับการจัดการพลังงานโดยการออกแบบระบบการให้บริการและกระบวนการจัดการพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการปรับตำแหน่งการบินของ UAV โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ และสำหรับการวัดประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้จะใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีที่ UAV หยุดนิ่งโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการใช้สเปกตรัม ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยและปริมาณการใช้พลังงาน จากผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถลดการใช้พลังงานของ UAV ในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายได้มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 36 และสามารถเพิ่มปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยรวมถึงประสิทธิภาพสเปกตรัมได้สูงมากกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 19 และ 68 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การสื่อสารไร้สาย, อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน, สถานีฐานทางอากาศ, การใช้พลังงาน, ประสิทธิภาพสเปกตรัม

Title	ENERGY EFFICIENT IN WIRELESS COMMUNICATION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES
Author	NATTHAPHON CHAISUPHA
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Assistant Professor Sunisa Kunarak , Ph.D.

Wireless communication with Unmanned Aerial Vehicles (UAV) services are getting a lot of attention because they were flexible and easy to use. However, the limited battery power constraints on the UAV, affected the performance of wireless communication services. Thus, energy efficient deployment of the UAV became a critical topic. In this paper, we proposed the energy management by designing service systems and energy management to increase the energy efficiency in wireless communication services. In particular, the repositioning method reduced altitudes of the UAV in response to bandwidth requirement has increased. The performance of the proposed approach was analyzed by mathematics that compared to the UAV hovering at a fixed location by considering spectral efficiency, average throughput and energy consumption. In the simulation outcomes, the proposed methods can reduce energy consumption more than the UAV hovering at a fixed location by 36%, increase average throughput and a spectral efficiency of 19% and 68%, respectively.

Keyword : Wireless communication, Rotary-Wing UAV, Aerial base station, Energy Consumption, Spectral Efficiency

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิศา คุณารักษ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และเมตตากรุณาเป็นที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจริต ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ฑีฆพันธุ์ เจริญพงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ชัยปัญญา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร์ มาตรา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชไมพร สุขแจ่มศรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ อีกทั้งยังเมตตากรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัยทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ และคณะกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนบัณฑิตศึกษาที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้มีส่วนร่วมในการสนับสนุนให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านด้วยความจริงใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงคุณบิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ณัฐพล ไชยสุภา

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 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทบทวนวรรณกรรม 3

2.2 อากาศยานไร้คนขับ 5

2.3 สัญญาณเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน 7

2.4 การใช้แบนด์วิดท์กับแอปพลิเคชัน 10

2.5 การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในเครือข่ายไร้สาย 10

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 13

3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย 13

3.2 ระบบการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับภายในเครือข่ายไร้สาย 14

3.3 การจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ 16

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 20

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 24

5.1 สรุปผลการวิจัย 24

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 24

5.3 ข้อเสนอแนะ 26

บรรณานุกรม 27

ประวัติผู้เขียน 30

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 คุณสมบัติของสัญญาณเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน 9

ตาราง 2 ความเร็วขั้นต่ำในการรับส่งข้อมูลสำหรับแอปพลิเคชันต่างๆ 10

ตาราง 3 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน รุ่น Yuneec H520 15

ตาราง 4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในสถานการณ์จำลอง 20

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกคงที่ 6

ภาพประกอบ 2 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน..... 6

ภาพประกอบ 3 ยูเอวีรีเลย์ 11

ภาพประกอบ 4 ยูเอวีรวบรวมข้อมูล..... 11

ภาพประกอบ 5 สถานีฐานทางอากาศ 12

ภาพประกอบ 6 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย 13

ภาพประกอบ 7 ระบบการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับภายในเครือข่ายไร้สาย..... 14

ภาพประกอบ 8 การจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพ..... 16

ภาพประกอบ 9 การใช้พลังงานของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง 21

ภาพประกอบ 10 การใช้พลังงานของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในการบินของ UAV 22

ภาพประกอบ 11 ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง 22

ภาพประกอบ 12 ประสิทธิภาพสเปกตรัมของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง 23

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การให้บริการสัญญาณเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันมีปริมาณความต้องการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการของสถานีฐานภาคพื้นดิน (Ground Base Station: GBS) กล่าวคือเมื่อปริมาณผู้ใช้งานมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นสถานีฐานก็ต้องรับภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับลดลง และสำหรับในกรณีเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติต่างๆ ที่ทำให้สถานีฐานภาคพื้นดินได้รับความเสียหายและหยุดให้บริการชั่วคราวทำให้สัญญาณการสื่อสารในพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติไม่สามารถใช้งานได้ส่งผลให้ผู้ประสบภัยไม่สามารถติดต่อขอความช่วยเหลือบนพื้นที่ดังกล่าวได้ ซึ่งการกู้คืนหรือติดตั้งสถานีฐานภาคพื้นดินนั้นจำเป็นจะต้องใช้งบประมาณในการลงทุนที่สูงทำให้ในบางพื้นที่ไม่มีการติดตั้งเสาสัญญาณสื่อสารเพราะไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้นจึงมีการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAV) มาประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารเพื่อให้บริการเครือข่ายไร้สายแก่ผู้ใช้งานภาคพื้นดิน เนื่องจาก UAV สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องตัวและนำมาใช้งานได้อย่างรวดเร็วรวมถึงใช้ต้นทุนต่ำ โดย UAV จะทำหน้าที่เป็นสถานีฐานทางอากาศด้วยการติดตั้งระบบการสื่อสารไร้สายไว้บน UAV เพื่อให้บริการสัญญาณเครือข่ายไร้สายแก่ผู้ใช้งานเมื่อสถานีฐานภาคพื้นดินเกิดการโอเวอร์โหลดหรือไม่พร้อมใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันการนำ UAV มาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายไร้สายกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยทั่วไป UAV จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ UAV แบบปีกคงที่และแบบปีกหมุน โดยพลังงานที่ใช้สำหรับระบบขับเคลื่อนและระบบสื่อสารของ UAV นั้นได้มาจากแบตเตอรี่ ซึ่งพลังงานจากแบตเตอรี่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้มีระยะเวลาในการบินที่สั้นและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการเครือข่ายไร้สายเป็นอย่างมาก

จากปัญหาพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของ UAV ทำให้ในปัจจุบันมีการพิจารณาแก้ไขปัญหาพลังงานของ UAV ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ UAV ในด้านต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะปรับปรุงในด้านของความครอบคลุมสัญญาณและการปรับวิถีการเคลื่อนที่อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคดังกล่าวอาจจะยังไม่เพียงพอสำหรับการให้บริการเครือข่ายไร้สายซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้เครือข่ายไร้สายมีประสิทธิภาพต่ำ

ดังนั้นในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงขอนำเสนอการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของ UAV ในการให้บริการบนเครือข่ายไร้สายด้วยการออกแบบระบบการให้บริการและกระบวนการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานของ UAV ทั้งพลังงานทางกลและพลังงานที่ใช้ในการสื่อสาร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในระบบเครือข่ายไร้สายที่ให้บริการโดยอากาศยานไร้คนขับ

1.2.2 เพื่อลดการใช้พลังงานในการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับในเครือข่ายไร้สาย

1.2.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้สเปกตรัมและปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยภายในระบบการสื่อสารไร้สายบนอากาศยานไร้คนขับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบระบบการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับภายในสภาพแวดล้อมเมืองเพื่อประหยัดพลังงานบนเครือข่ายไร้สาย

1.3.2 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานของอากาศยานไร้คนขับ ได้แก่ กำลังส่งและเวลาของอากาศยานไร้คนขับขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ กำลังส่งและเวลาที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย ระดับความสูงในการบินของอากาศยานไร้คนขับและปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการจัดการพลังงานภายในเครือข่ายไร้สายบนอากาศยานไร้คนขับ

1.3.3 ทำการวัดประสิทธิภาพในรูปของการใช้สเปกตรัม ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยและการใช้พลังงานของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีที่อากาศยานไร้คนขับหยุดนิ่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 สามารถลดการใช้พลังงานในระบบการสื่อสารไร้สายบนอากาศยานไร้คนขับได้

1.4.2 สามารถเพิ่มคุณภาพการให้บริการได้สูงขึ้น เนื่องจากผู้ใช้สามารถใช้งานในเครือข่ายไร้สายได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น

1.4.3 สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัมและปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยภายในระบบการสื่อสารไร้สายได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านพลังงานของอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเทคนิคและกระบวนการในงานวิจัยต่างๆ ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอากาศยานไร้คนขับในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย โดยในบทความฉบับที่ [1] ใช้การโยงสายเคเบิลเส้นใยนำแสงติดไว้กับตัวเครื่อง UAV ซึ่งสายเคเบิลเส้นใยนำแสงจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานและเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างสถานีฐานภาคพื้นดินกับ UAV โดยพิจารณาจากความน่าจะเป็นในการครอบคลุมสัญญาณเทียบกับระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับจุดศูนย์กลางของผู้ใช้งาน และใช้เทคนิคการจำลองแบบมัลติคาโลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการใช้สายเคเบิลเส้นใยนำแสงสามารถทำให้ UAV มีระยะเวลาในการบินที่นานขึ้น แต่จะมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่เนื่องจากความยาวของสายโยงและต้องมีการรักษาความปลอดภัยให้กับสายโยง อันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบอาจทำให้สายโยงเกิดการพันกัน โดยในบทความฉบับที่ [2] เพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของ UAV และจัดสรรเวลาการสื่อสารระหว่าง UAV กับผู้ใช้ภาคพื้นดินซึ่งจะต้องค้นหาตำแหน่งและระยะเวลาในการบินสำหรับแต่ละสถานที่ให้เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้เทคนิคการประมาณแบบต่อเนื่อง (Successive Convex Approximation: SCA) และเทคนิคปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ในการพิจารณาปริมาณความต้องการใช้งานของผู้ใช้ร่วมกับความน่าจะเป็นในการเกิดช่องสัญญาณที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง (Line of Sight: LoS) ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความต้องการใช้งานมีค่าสูงขึ้นการบินโฉบเหนือผู้ใช้โดยตรงจะใช้พลังงานและระยะเวลาในการสื่อสารน้อยกว่าการบินโฉบที่จุดศูนย์กลางของผู้ใช้ แต่เทคนิคปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานในการประมวลผลจึงไม่เหมาะกับปัญหาที่มีตัวแปรหลายตัว โดยในบทความฉบับที่ [3] เพิ่มประสิทธิภาพความครอบคลุมสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดของกำลังส่งซึ่งพิจารณาจากมุมของเสาสัญญาณที่ติดตั้งบน UAV เทียบกับความสูงในการบินของ UAV รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างมุมและอัตราขยายของเสาสัญญาณ โดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ในการวิเคราะห์การปรับมุมเสาสัญญาณและความสูงในการบินของ UAV ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความครอบคลุมสูงสุด สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพความครอบคลุมสูงสุดเพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอต่อการประหยัดพลังงานในเครือข่ายไร้สาย ดังนั้น

ในบทความฉบับที่ [4] – [5] เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความครอบคลุมสูงสุดและคำนึงถึงประสิทธิภาพสเปกตรัมด้วยการใช้เทคนิคความน่าจะเป็นในการเกิดเส้นทางที่ปราศจากสิ่งกีดขวางร่วมกับการรับรู้ตำแหน่งของ UAV และผู้ใช้ที่มีประสิทธิภาพสเปกตรัม (Spectral efficienT Aware DBS pLacement and usEr association: STABLE) ในการพิจารณาความสูงในการบินของ UAV ระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้และค่าการสูญเสียเส้นทาง (Path Loss) ซึ่งผลลัพธ์จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัมได้ถึง 41.9% เมื่อเทียบกับเทคนิคการครอบคลุมพื้นที่สูงสุด นอกจากนี้สำหรับสภาพแวดล้อมเมืองที่หนาแน่น ถ้าหากว่า UAV บินอยู่ในระดับความสูงที่ต่ำมากเกินไปอาจจะทำให้ประสิทธิภาพสเปกตรัมต่ำลงอันเนื่องมาจากเกิดการสูญเสียเส้นทางจากสิ่งปลูกสร้าง (Non-Line of Sight: NLoS) ในบทความฉบับที่ [6] เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานด้วยการพิจารณาการใช้พลังงานขับเคลื่อนโดยไม่สนใจการใช้พลังงานในระบบสื่อสารไร้สายของ UAV และใช้เทคนิควิธีการจัดสรรคลื่นความถี่ ความเร็วในการบินและการกระจายตัวของผู้ใช้ระหว่าง UAV กับสถานีฐานภาคพื้นดิน ผลลัพธ์จากการจำลองพบว่าประสิทธิภาพพลังงานจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณผู้ใช้งานมีการกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น แต่หากการกระจายตัวของผู้ใช้มีปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพพลังงานลดลง เนื่องจากการทำงานร่วมกันของสถานีฐานภาคพื้นดินกับ UAV อาจจะต้องเผชิญกับปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างกันซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานของ UAV โดยในบทความฉบับที่ [7] ใช้เทคนิคการรับส่งสัญญาณข้อมูลด้วยช่วงความถี่เดียวกันและสลับช่วงเวลาในระยะเวลาที่รวดเร็ว (Time Division Duplex: TDD) ในการพิจารณาการจัดสรรเวลาการให้บริการร่วมกับความเร็วและวิถีในการเคลื่อนที่ของ UAV เพื่อตรวจสอบเทคนิคประสิทธิภาพการใช้พลังงานและเทคนิคประสิทธิภาพสเปกตรัม ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเทคนิคประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะมีเส้นทางการเคลื่อนที่ได้ไกลกว่าและประหยัดพลังงานมากกว่าเทคนิคประสิทธิภาพสเปกตรัม แต่เทคนิคประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพสเปกตรัมที่ต่ำ ในบทความฉบับที่ [8] เพิ่มประสิทธิภาพของสเปกตรัมด้วยการปรับตำแหน่ง UAV แบบไดนามิกด้วยการใช้เทคนิคการสุ่มจุดอ้างอิง (Random Way Point) สำหรับสุ่มผู้ใช้งานเพื่อลดระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้ซึ่งจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพสเปกตรัมให้สูงขึ้น เนื่องจากการนำ UAV เข้ามาใกล้กับผู้ใช้สามารถช่วยลดทอนการสูญเสียเส้นทางได้ดีขึ้นรวมทั้งเพิ่มความน่าจะเป็นในการเกิดช่องสัญญาณที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง สำหรับในสภาพแวดล้อมเมืองถ้าหากลดระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียเส้นทางอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางต่างๆ สำหรับในบทความฉบับที่ [9] เพิ่มปริมาณการรับส่งข้อมูลด้วยการพิจารณาจากความสูงในการบินของ UAV ความหนาแน่นของ

ผู้ใช้และความกว้างของเสาสัญญาณที่ติดตั้งบน UAV ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อความกว้างของเสาสัญญาณมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการรับส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ถ้าความกว้างของเสาสัญญาณมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณการรับส่งข้อมูลลดลง นอกจากนี้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในบทความฉบับที่ [10] ด้วยวิธีการค้นหาความครอบคลุมและอัตราการรับส่งข้อมูลของสถานีฐานทางอากาศที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการจางหายของสัญญาณแบบสุ่ม (Random fading) และผลกระทบจากสัญญาณที่ถูกบดบัง (Shadowing effects) ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อสัญญาณรบกวนมีค่าที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความครอบคลุมและอัตราการรับส่งข้อมูลมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียเส้นทางในระหว่างการรับส่งข้อมูล

สำหรับงานวิจัยที่ได้ศึกษาในข้างต้นแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของ UAV ในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะระดับความสูงในการบินของ UAV และปริมาณผู้ใช้งานที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการออกแบบระบบการให้บริการและกระบวนการจัดการพลังงานของ UAV ภายในเครือข่ายไร้สาย โดยพิจารณาระดับความสูงในการบินของ UAV ร่วมกับปริมาณผู้ใช้งานเพื่อให้การใช้พลังงานในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

2.2 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ หรือ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) เป็นอากาศยานที่ใช้ระบบอัตโนมัติในการบินและสามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกลโดยไม่ต้องใช้นักบินประจำการอยู่บนอากาศยาน สำหรับการแบ่งประเภทของ UAV นั้นแบ่งได้หลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน อาทิเช่น แบ่งตามขีดความสามารถในการบิน ความสูงในการบินของ UAV และลักษณะการควบคุม เป็นต้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.2.1 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกคงที่ (Fixed Wing UAV)

อากาศยานไร้คนขับแบบปีกคงที่เป็นอากาศยานไร้คนขับที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องบินทั่วไป โดยจะอาศัยแรงยกจากปีกด้วยการใช้หลักการไหลของอากาศพลศาสตร์ซึ่งจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องในแนวราบและมีความเร็วสูงเหมาะกับการนำไปใช้งานเพื่อสำรวจในพื้นที่กว้าง นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกคงที่นั้นจำเป็นจะต้องมีรันเวย์เพื่อใช้สำหรับในการนำเครื่องบินขึ้นและลง

ภาพประกอบ 1 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกคงที่

ที่มา: https://www.routescene.com [11]

2.2.2 **อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน** (Rotary Wing UAV)

อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุนมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับเฮลิคอปเตอร์แต่จะมีหลายใบพัด โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้แบบปีกหมุนที่มี 4 ใบพัด ซึ่ง UAV ประเภทนี้จะใช้หลักการหมุนของใบพัดในการบินขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่างๆ ได้อย่างยืดหยุ่นทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการรักษาตำแหน่งการบินได้ดี

ภาพประกอบ 2 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน

ที่มา : https://www.pixelsquid.com/png/dji-mavic-air-quadcopter-drone [12]

การนำ UAV มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ นั้นมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน เช่น การใช้ UAV ในทางทหารเพื่อสำรวจและจู่โจมพื้นที่เป้าหมาย การใช้งานเพื่อการเกษตรและการเก็บข้อมูลทางด้านภูมิศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันกำลังนิยมนำ UAV ไปประยุกต์ใช้ในเครือข่ายไร้สายเพื่อเพิ่มความครอบคลุมให้แก่ผู้ใช้งานบนพื้นที่ที่มีปริมาณความต้องการใช้งานที่หนาแน่น รวมทั้งกรณีที่สถานีฐานภาคพื้นดินไม่สามารถให้บริการได้ชั่วคราว โดยจะติดตั้งระบบการสื่อสารไร้สายไว้บนตัว UAV เพื่อให้บริการสัญญาณเครือข่ายไร้สายแก่ผู้ใช้งานภาคพื้นดิน

2.3 สัญญาณเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน

2.3.1 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1 (First Generation Mobile Network: 1G)

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1 เป็นการเริ่มต้นของเทคโนโลยีการสื่อสารทางไกลด้วยโทรศัพท์มือถือในระบบแอนะล็อกซึ่งจะใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียงเท่านั้นยังไม่สามารถใช้ในการรับส่งข้อมูลอื่นๆ ได้ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1 จะใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบเอฟดีเอ็มเอ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) โดยจะแบ่งช่องความถี่ออกเป็นหลายๆ ช่องซึ่งช่องความถี่นี้จะมีจำนวนจำกัด ดังนั้นหากมีผู้ใช้จำนวนมากระบบจะไม่สามารถรองรับช่องสัญญาณได้อย่างเพียงพอต่อปริมาณความต้องการใช้งาน นอกจากนี้โทรศัพท์มือถือในยุคนี้จะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักเยอะและราคาแพง ซึ่งทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1 ไม่ได้รับความนิยม

2.3.2 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2 (Second Generation Mobile Network: 2G)

การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2 เป็นยุคที่นำเทคโนโลยีของ 1G มาพัฒนาจากระบบแอนะล็อกเป็นระบบดิจิทัลซึ่งใช้คลื่นไมโครเวฟในการส่งคลื่นเสียง โดยจะใช้เทคนิคทีดีเอ็มเอ (Time Division Multiple Access: TDMA) คือการแบ่งช่องสัญญาณรวมออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ ซึ่งในยุคนี้จะนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ร่วมกับเทคนิคเอฟดีเอ็มเอเพื่อเพิ่มช่องสัญญาณการสื่อสารทำให้สามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานที่มากขึ้นได้ สำหรับโทรศัพท์มือถือในยุคนี้จะมีลักษณะหน้าจอเป็นขาวดำ ตัวเครื่องโทรศัพท์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อีกทั้งยังสามารถรับส่งข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อความสั้นๆ (Short Message Service: SMS) ได้อีกด้วย

2.3.3 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2.5 (Second and Half Generation Mobile Network: 2.5G)

ในยุคนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service: GPRS) เข้ามาประยุกต์ใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อพัฒนาอัตราการรับส่งข้อมูลให้มีความเร็วสูงขึ้น โดยโทรศัพท์ในยุคนี้ได้มีการเพิ่มฟังก์ชันการรับส่งข้อมูลแบบรูปภาพ (Multimedia Messaging Service: MMS) และหน้าจอโทรศัพท์ได้มีการพัฒนาจากหน้าจอขาวดำเป็นหน้าจอสี

2.3.4 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2.75เอจ (2.75 Enhanced Data Rates for Global Evolution: 2.75EDGE)

สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2.75เอจ ได้มีการพัฒนาในด้านของการเพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลให้มีค่าสูงขึ้น โดยนำเทคโนโลยีเอจ (EDGE) เข้ามาใช้ในระบบโทรศัพท์มือถือซึ่งมีความเร็วสูงมากกว่าเทคโนโลยี GPRS ทำให้โทรศัพท์ในยุคนี้สามารถรับส่งสัญญาณที่มีข้อมูลทั้งภาพและเสียงได้อย่างรวดเร็วและที่สำคัญยุคนี้ถือเป็นการเริ่มต้นของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย โดยจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ในช่วงระหว่าง 70 ถึง 180 กิโลบิตต่อวินาที

2.3.5 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 (Third Generation Mobile Network: 3G)

เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสัญญาณที่ดีขึ้นและมีความเสถียรมากกว่าระบบ 2G เพื่อตอบสนองต่อปริมาณความต้องการใช้งานของผู้ใช้ โดยในระบบ 3G จะใช้การเข้าช่องสัญญาณแบบดับบิวซีดีเอ็มเอ (W-CDMA) ทำให้การรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายมีความเร็วสูงขึ้น เช่น การดาวน์โหลดรูปภาพหรือวีดีโอ การสนทนาแบบเห็นหน้ากัน (Video Call) และการดูทีวีออนไลน์ (Streaming) เป็นต้น นอกจากนี้ 3G ยังเป็นระบบที่ไร้รอยต่อซึ่งผู้ใช้สามารถใช้งานสัญญาณสื่อสารและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้ทุกที่ทุกเวลา

2.3.6 การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 (Fourth Generation Mobile Network: 4G)

การพัฒนาประสิทธิภาพของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 4 มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า วิวัฒนาการระยะยาวของการสื่อสารสัญญาณแบบไร้สายขั้นสูง (Long Term Evolution: LTE) โดยเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาเป็นเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงซึ่งจะมีความเร็วและแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า 3G สำหรับระบบ 4G สามารถรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายด้วยความเร็วตั้งแต่ 100 เมกะบิตต่อวินาที ถึง 1 จิกะบิตต่อวินาที ทำให้สามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สายได้ดีขึ้นและช่วยให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น โดยในยุคนี้จะมีการพัฒนาในด้านของความครอบคลุมสัญญาณและประโยชน์ใน

ด้านอื่นๆ อาทิเช่น คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QOS) และการสนับสนุนด้านความปลอดภัยในเครือข่าย เป็นต้น ในระบบเครือข่าย 4G มีการใช้เสาอากาศแบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต (Multiple Input and Multiple Output: MIMO) ซึ่งจะสามารถช่วยในการเพิ่มปริมาณการรับส่งข้อมูลโดยไม่ต้องเพิ่มแบนด์วิดท์และจะส่งผลให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น รวมถึงมีการครอบคลุมที่เชื่อถือได้มากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีแอลทีอีนั้นแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เทคโนโลยีแอลทีอีขั้นสูง (LTE Advanced) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาให้มีความเร็วสูงในการดาวน์โหลดข้อมูลตั้งแต่ 100 ถึง 1000 เมกะบิตต่อวินาที และเทคโนโลยีไวแมกซ์ (Wimax) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงที่ได้รับการพัฒนามาจากมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับไวไฟ (Wifi) แต่มาตรฐานไวแมกซ์จะสามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 40 ไมล์ ด้วยความเร็ว 70 ถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที

2.3.7 **การสื่อสารไร้สายในยุคที่** 5G (Fifth Generation Mobile Network: 5G)

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5 เป็นยุคที่เข้าสู่สังคมดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบ โดยอุปกรณ์ทุกชนิดสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ซึ่งเรียกว่า ไอโอที (Internet of Things: IoT) สำหรับในยุคนี้การทำงานด้วยระบบอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการทำงานต่างๆ แทนที่การใช้แรงงานของมนุษย์ด้วยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่มีความแข็งแกร่ง สะดวกรวดเร็วและฉลาด โดยเทคโนโลยี 5G นั้นมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 10,000 เมกะบิตต่อวินาที ทำให้การดูหนัง ฟังเพลงและการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตทำได้อย่างรวดเร็ว

ตาราง 1 คุณสมบัติของสัญญาณเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน

คุณสมบัติของสัญญาณเครือข่ายไร้สาย	3G	4G LTE Advanced	4G WiMax	5G IEEE 802.11ac
ความถี่ในการทำงาน	2100 MHz	2600 MHz	2-11 GHz	5 GHz
แบนด์วิดท์	5 MHz	Up to 20 MHz	20 MHz	20/40/80/160 MHz
อัตราการส่งข้อมูลขาขึ้น	42 Mbps	1 Gbps	100 Mbps	6.9 Gbps
อัตราการส่งข้อมูลขาลง	11 Mbps	500 Mbps	70 Mbps	4.9 Gbps
ความครอบคลุมต่อเสาอากาศ	1-5 km	1-2 km	6.4-10 km	35m

ที่มา: https://www.cyberthai.com/th/resource/wireless/item/35-wimax [13]

2.4 การใช้แบนด์วิดท์กับแอปพลิเคชัน

การให้บริการในเครือข่ายไร้สายจำเป็นที่จะต้องมีประสิทธิภาพการให้แบนด์วิดท์ที่เพียงพอต่อปริมาณการใช้งานในแต่ละแอปพลิเคชัน ดังนั้นจึงมีการกำหนดความเร็วขั้นต่ำในการรับส่งข้อมูลสำหรับแอปพลิเคชันต่างๆ ซึ่งอ้างอิงจากคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ดังตารางที่ 2

ตาราง 2 ความเร็วขั้นต่ำในการรับส่งข้อมูลสำหรับแอปพลิเคชันต่างๆ

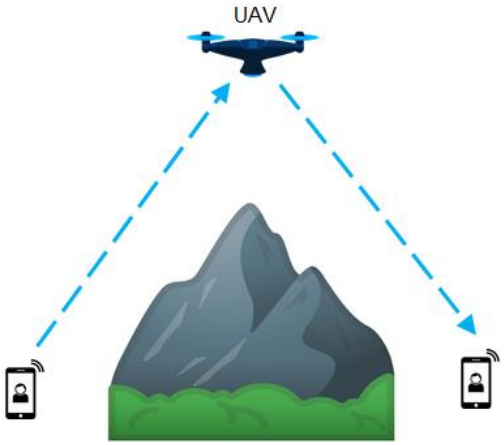
ประเภทการใช้งาน	ความเร็วขั้นต่ำ (Mbps)
การดาวน์โหลดข้อมูล	10
การส่งถ่ายข้อมูลต่างๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต (File Transfer Protocol: FTP)	0.02
สื่อสังคมออนไลน์ (Social Media)	1
การสนทนาทางโทรศัพท์แบบเห็นหน้า	1.5
การรับส่งอีเมล์	0.5

ที่มา: https://www.fcc.gov/consumers/guides/broadband-speed-guide [14]

2.5 การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในเครือข่ายไร้สาย

2.5.1 ยูเอวีรีเลย์ (UAV Relay)

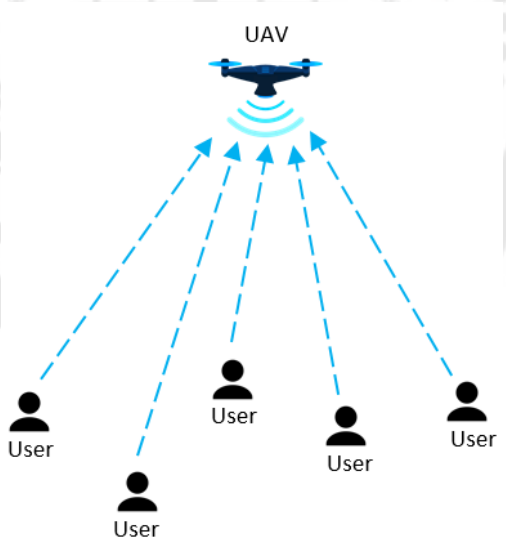
ยูเอวีรีเลย์ คือการนำ UAV มาประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานภาคพื้นดินซึ่งถูกบดบังสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง ดังนั้นการใช้ยูเอวีรีเลย์จะสามารถช่วยให้การรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น



ภาพประกอบ 3 ยูเอวีรีเลย์

2.5.2 **ยูเอวีรวบรวมข้อมูล** (UAV data gathering)

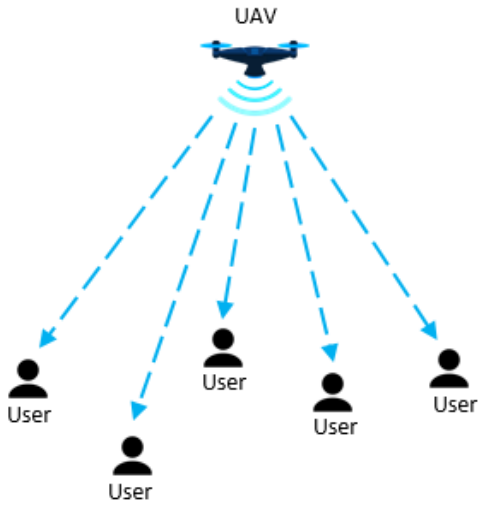
ยูเอวีรวบรวมข้อมูล คือการนำ UAV มาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายบนพื้นที่อันตรายหรือไม่มีการติดตั้งสถานีฐานภาคพื้นดิน



ภาพประกอบ 4 ยูเอวีรวบรวมข้อมูล

2.5.3 **สถานีฐานทางอากาศ** (Aerial Base Stations)

สถานีฐานทางอากาศ คือการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายไว้บน UAV และบินให้บริการเครือข่ายไร้สายแก่ผู้ใช้งานภาคพื้นดินเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเชื่อมต่อและความจุของเครือข่ายไร้สาย สำหรับ UAV นั้นมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องตัวจึงทำให้มีข้อได้เปรียบในแง่ของการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณโดยปราศจากสิ่งกีดขวางทำให้การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการนำ UAV มาประยุกต์ใช้งานเป็นสถานีฐานทางอากาศ ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ UAV แบบปีกหมุนเนื่องจากมีความคล่องตัวสูงและสามารถบินรักษาตำแหน่งได้ดีทำให้ผู้ใช้งานได้รับการบริการสัญญาณเครือข่ายไร้สายอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ UAV แบบปีกหมุนยังสามารถค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการให้บริการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพช่องสัญญาณที่ดีขึ้น สำหรับ UAV แบบปีกคงที่จะไม่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นสถานีฐานทางอากาศ เนื่องด้วยมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่โดยจะสามารถเคลื่อนที่ได้แค่ในแนวราบเท่านั้นไม่สามารถบินรักษาตำแหน่งอยู่กับที่ได้ส่งผลให้การบริการเครือข่ายไร้สายเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง

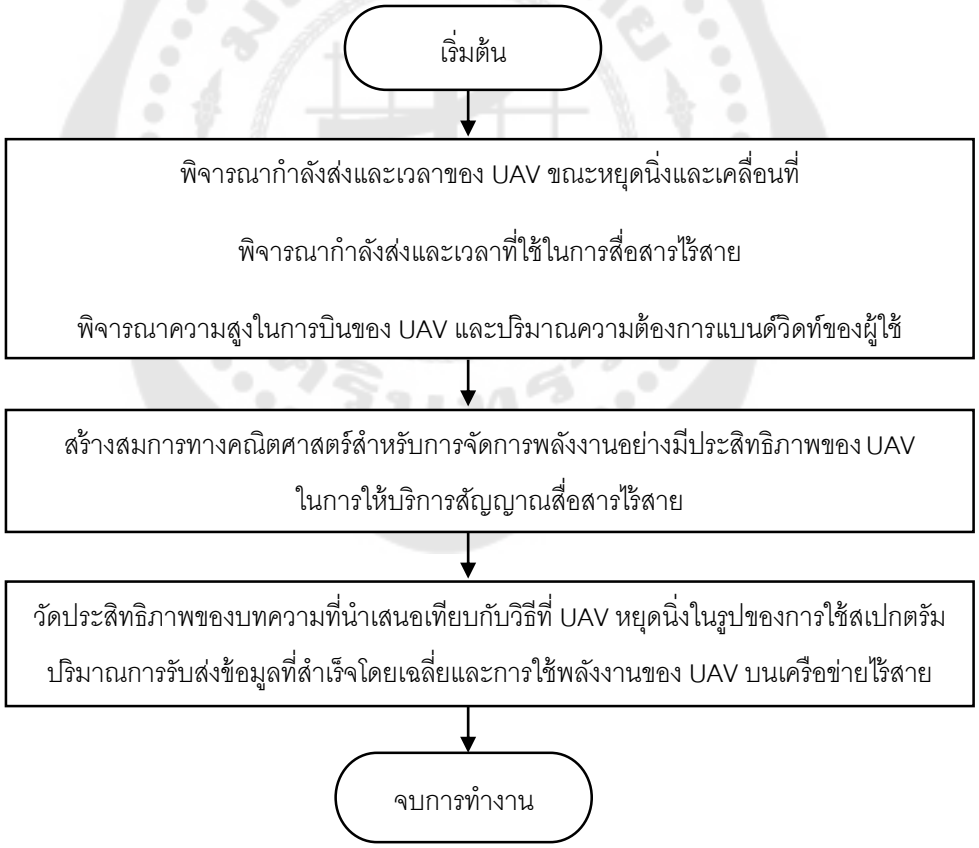


ภาพประกอบ 5 สถานีฐานทางอากาศ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การให้บริการสัญญาณเครือข่ายไร้สายด้วย UAV นั้นมีข้อจำกัดทางด้านพลังงานซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญและจำเป็นที่จะต้องได้รับการแก้ไขและพัฒนาด้วยการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเนื้อหาในงานวิจัยฉบับนี้จะเสนอวิธีการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วย UAV ซึ่งเราจะคำนึงถึงการใช้พลังงานของ UAV ที่ประกอบไปด้วยพลังงานทางกลและพลังงานการสื่อสารร่วมกับการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ตามปริมาณผู้ใช้งานซึ่งพิจารณาจากปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้

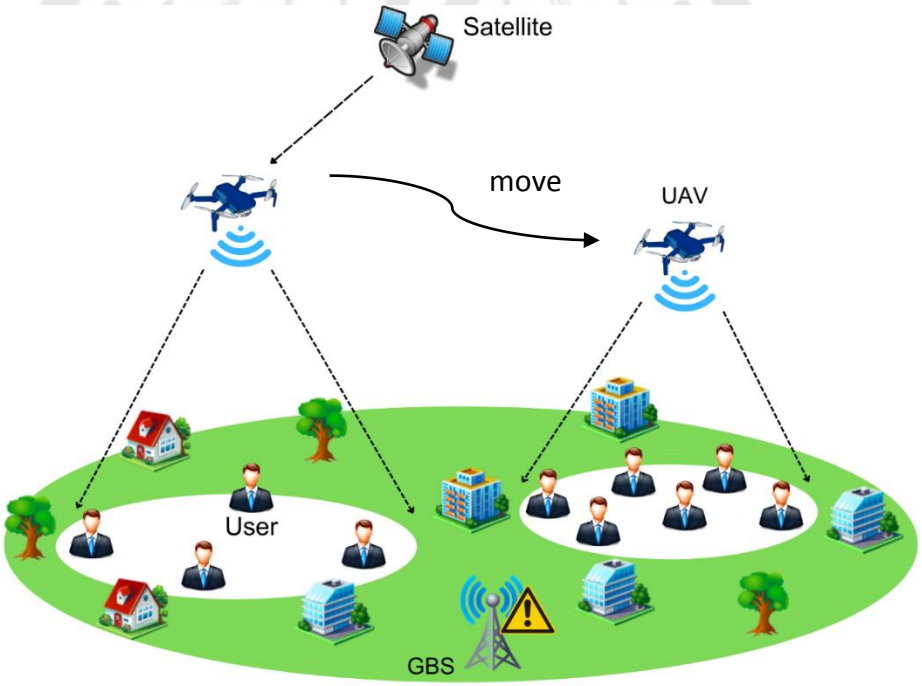
3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย



ภาพประกอบ 6 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

สำหรับกรอบแนวความคิดของงานวิจัยนี้ เราจะเริ่มต้นจากการพิจารณาการใช้พลังงานของ UAV ในเครือข่ายไร้สายซึ่งจะประกอบไปด้วยพลังงานกลและพลังงานการสื่อสาร โดยพลังงานกลเราจะพิจารณาจากกำลังส่งและเวลาของ UAV ขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ รวมทั้งพิจารณาการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ร่วมด้วย สำหรับพลังงานการสื่อสารเราจะพิจารณาจากกำลังส่งและเวลาที่ใช้ในการสื่อสารไร้สายร่วมกับปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ และในขั้นตอนต่อไปเราจะนำองค์ประกอบเหล่านี้ไปทำการออกแบบสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของ UAV ในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย จากนั้นจะทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีที่ UAV หยุดนิ่งในรูปของการใช้สเปกตรัม ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยและปริมาณการใช้พลังงาน

3.2 ระบบการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับภายในเครือข่ายไร้สาย



ภาพประกอบ 7 ระบบการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับภายในเครือข่ายไร้สาย

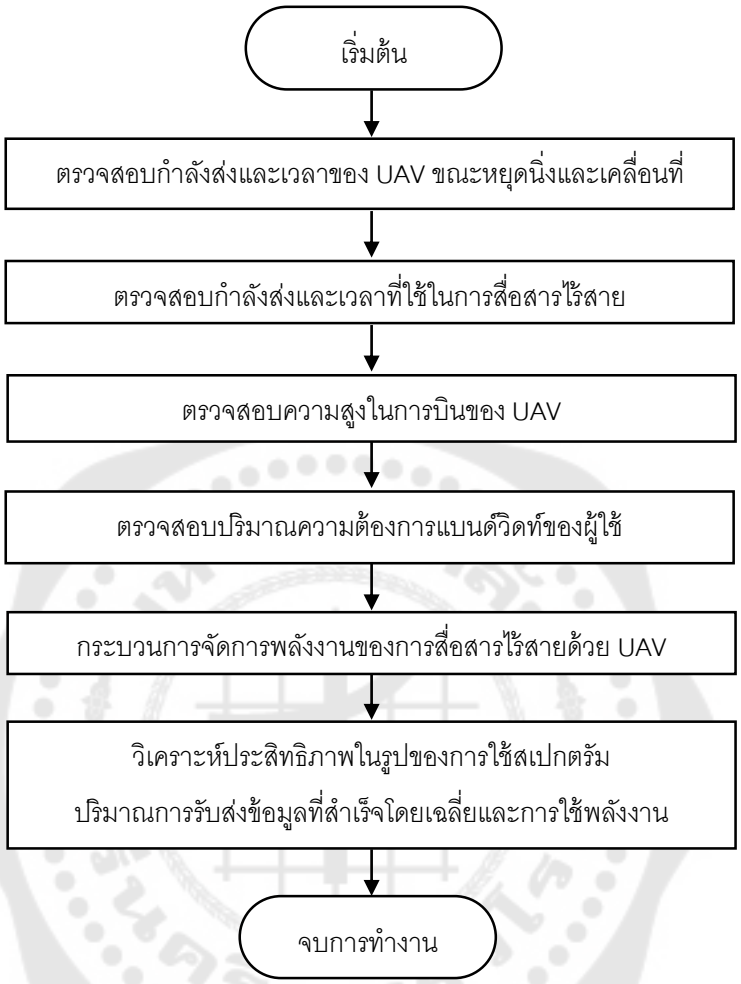
ระบบการให้บริการของอากาศยานไร้คนขับในเครือข่ายไร้สายจะประกอบไปด้วย UAV แบบปีกหมุนที่ได้รับการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายไว้บน UAV ซึ่งมีความถี่ในการทำงาน 2,600 เมกะเฮิรตซ์ และแบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับในงานวิจัยนี้เราพิจารณา UAV แบบปีกหมุน รุ่น Yuneec H520 เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่แบบ 3 มิติและสามารถปรับใช้งานตามสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างคล่องตัวจึงเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายไร้สาย โดย UAV จะบินให้บริการแก่ผู้ใช้งานเมื่อสถานีฐานภาคพื้นดินในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวได้รับความเสียหายและไม่สามารถให้บริการได้ซึ่ง UAV จะได้รับสัญญาณการสื่อสารจากจานดาวเทียมหรือสถานีฐานในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง จากนั้นจะทำการบินกระจายสัญญาณสื่อสารให้กับผู้ใช้งานบนพื้นที่ 500 ตารางเมตร สำหรับในงานวิจัยนี้เรากำหนดให้ UAV บินให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายตามข้อกำหนดขององค์การบริหารการบินแห่งชาติของสหรัฐอเมริกาภายในสภาพแวดล้อมเมืองซึ่งมีอาคารสูงเฉลี่ย 30 เมตร โดย UAV จะบินอยู่ที่ระดับความสูง 150 เมตร ด้วยความเร็วในการบินสูงสุด 13.5 เมตรต่อวินาทีและมีรัศมีการครอบคลุมสัญญาณ 1,000 เมตร ซึ่ง UAV จะคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการปรับระดับความสูงในการบินตามปริมาณผู้ใช้งานซึ่งพิจารณาจากปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้

ตาราง 3 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน รุ่น Yuneec H520

คุณสมบัติ	**มีค่าเท่ากับ**
น้ำหนักบรรทุก (หน่วย กิโลกรัม)	2
ความเร็วสูงสุดในการบิน (หน่วย เมตรต่อวินาที)	13.5
เวลาในการบินสูงสุด (หน่วย นาที)	30
ความสูงในการบินสูงสุด (หน่วย เมตร)	500

ที่มา: https://us.yuneec.com/h520-series/info/ [15]

3.3 การจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ



ภาพประกอบ 8 การจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.1 การตรวจสอบกำลังส่งและเวลาของ UAV ขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่

สำหรับการจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพด้วย UAV จะเริ่มต้นจากการนำเทคนิคการสุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจสอบกำลังส่งของ UAV ขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ จากนั้นเราจะทำการตรวจสอบระยะเวลาของ UAV ขณะเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากความเร็วของ UAV ในช่วง 1 ถึง 13.5 เมตรต่อวินาที

3.3.2 การตรวจสอบกำลังส่งและเวลาที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย

เราจะนำเทคนิคการสุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจสอบกำลังส่งของสัญญาณสื่อสารไร้สายในช่วง 0.01 ถึง 0.10 วัตต์ และตรวจสอบเวลาที่ใช้ของการสื่อสารไร้สายในเชิงของฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (Exponential Function)

3.3.3 การตรวจสอบความสูงในการบินของ UAV

ในขั้นตอนถัดไปคือการตรวจสอบระดับความสูงในการบินของ UAV โดยใช้เทคนิคการสุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเราจะกำหนดให้ UAV สามารถปรับระดับความสูงในการบินได้ในช่วง 40 ถึง 150 เมตร ตามข้อกำหนดขององค์การบริหารการบินแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา โดย UAV จะปรับระดับความสูงในการบินตามปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ซึ่ง UAV จะปรับระดับความสูงในการบินลดลงเมื่อปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เพื่อลดระยะห่างในการส่งสัญญาณระหว่าง UAV กับผู้ใช้งาน

3.3.4 การตรวจสอบปริมาณความต้องการของแบนด์วิดท์ของผู้ใช้

ในขั้นตอนนี้เราจะทำการตรวจสอบปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ตามปริมาณการใช้งานในแต่ละแอปพลิเคชันซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เรียลไทม์ (Real Time) เช่น การสนทนาทางโทรศัพท์แบบเห็นหน้า การเล่นเกมส์ออนไลน์ เป็นต้น กำหนดให้มีค่าแบนด์วิดท์มากกว่า 512 กิโลบิตต่อวินาที และไม่เรียลไทม์ (Non-Real Time) เช่น การถ่ายโอนข้อมูลต่างๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต (FTP) การรับส่งอีเมล์ เป็นต้น กำหนดให้มีค่าแบนด์วิดท์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 512 กิโลบิตต่อวินาที

3.3.5 กระบวนการจัดการพลังงานของการสื่อสารไร้สายด้วย UAV

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้จำลองการใช้พลังงานของ UAV ทั้งพลังงานกลและพลังงานการสื่อสารเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดการพลังงานของการสื่อสารไร้สายด้วย UAV โดยเราจะทำการออกแบบสมการพลังงานที่ใช้ (Energy Consumption) ซึ่งพิจารณาจากกำลังส่งและเวลาของ UAV ขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ กำลังส่งและเวลาที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย ระดับความสูงในการบินของ UAV และปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ โดยสมการพลังงานที่ใช้สามารถแสดงออกมาได้ดังสมการที่ 1

$$E_{cons} = E_{mech} + E_{comm} \tag{1}$$

โดย E_{mech} คือ พลังงานกล มีหน่วยเป็นจูล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$E_{mech} = P_{hovering} \cdot t_{hovering} + P_{moving} \cdot t_{moving} + w_{UAV} \cdot m \cdot g \cdot \frac{h_{UAV}}{t_r} \tag{2}$$

เมื่อ $P_{hovering}$ คือ กำลังส่งของ UAV ขณะหยุดนิ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

P_{moving} คือ กำลังส่งของ UAV ขณะเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นวัตต์

$t_{hovering}$ คือ เวลาที่ใช้ของ UAV ขณะหยุดนิ่ง มีหน่วยเป็นวินาที

t_{moving} คือ เวลาที่ใช้ของ UAV ขณะเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นวินาที โดยจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของ UAV

m คือ น้ำหนักบรรทุกของ UAV มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

g คือ ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที ^{2}

h_{UAV} คือ ระดับความสูงในการบินของ UAV มีหน่วยเป็นเมตร

w_{UAV} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักความสูงในการบินของ UAV

t_r คือ เวลาที่ใช้ของ UAV ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในการบิน มีหน่วยเป็นวินาที

โดย E_{comm} คือ พลังงานการสื่อสาร มีหน่วยเป็นจูล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$E_{comm} = P_{trans} \cdot t_{comm} + w_{user} \cdot B_{user} \quad (3)$$

เมื่อ P_{trans} คือ กำลังส่งของสัญญาณสื่อสารไร้สาย มีหน่วยเป็นวัตต์

t_{comm} คือ เวลาในการสื่อสารไร้สาย มีหน่วยเป็นวินาที

B_{user} คือ ปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

w_{user} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้

3.3.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ย

ในขั้นตอนนี้เราจะนำสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในรูปของปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ย ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 4

$$R = \frac{MSS}{RTT} \cdot \frac{1.2}{p^{0.5}} \quad (4)$$

เมื่อ R คือ ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็นเมกะบิตต่อวินาที

MSS คือ ขนาดของชุดข้อมูล มีเป็นหน่วยเป็นเมกะบิต

RTT คือ เวลาที่ชุดข้อมูลใช้ในการเดินทางในเครือข่ายจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับและกลับมาที่เครื่องส่งอีกครั้งหนึ่ง มีหน่วยเป็นวินาที

p คือ ค่าการสูญเสียชุดข้อมูล

3.3.7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในรูปของการใช้สเปกตรัม

ในขั้นตอนนี้เราจะนำสมการที่ได้ออกแบบไว้มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในรูปของการใช้สเปกตรัม โดยเราจะใช้ทฤษฎีความจุของแชนนอน (Shannon Capacity) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสเปกตรัมซึ่งพิจารณาจากสมการที่ 5

$$S(d) = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{P_r(d)}{N}\right) \tag{5}$$

โดย $S(d)$ คือ ประสิทธิภาพสเปกตรัมของผู้ใช้ที่มีระยะห่าง d

B คือ ปริมาณแบนด์วิดท์ในเครือข่ายไร้สายของ UAV มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์

N คือ กำลังของสัญญาณรบกวน มีหน่วยเป็นวัตต์

d คือ ระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้ มีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งจะหาได้จากสมการที่ 6

$$d = \sqrt{h_{UAV}^2 + r^2} \tag{6}$$

r คือ ระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้ในแนวราบ มีหน่วยเป็นเมตร

$P_r(d)$ คือ กำลังของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับที่มีระยะห่าง d มีหน่วยเป็นวัตต์ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 7

$$P_r(d) = P_{trans} \cdot 10^{\left(\frac{-PL(d)}{10}\right)} \tag{7}$$

เมื่อ $PL(d)$ คือ กำลังการสูญเสียของสัญญาณที่ระยะห่าง d มีหน่วยเป็นเดซิเบล โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 8

$$PL(d) = A + 10\gamma \log(d) \tag{8}$$

เมื่อ A คือ กำลังการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ว่าง มีหน่วยเป็นเดซิเบล

γ คือ เลขชี้กำลังการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้าง

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

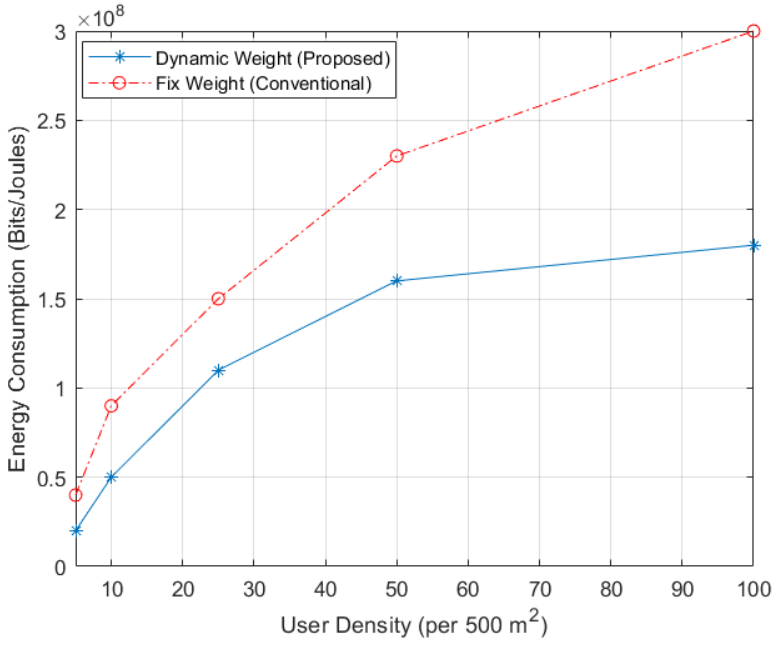
สำหรับในการวิจัยกระบวนการจัดการพลังงานในการสื่อสารไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยนำสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในรูปของปริมาณการใช้พลังงานและสเปกตรัม รวมถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแสดงดังตารางที่ 4

ตาราง 4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในสถานการณ์จำลอง

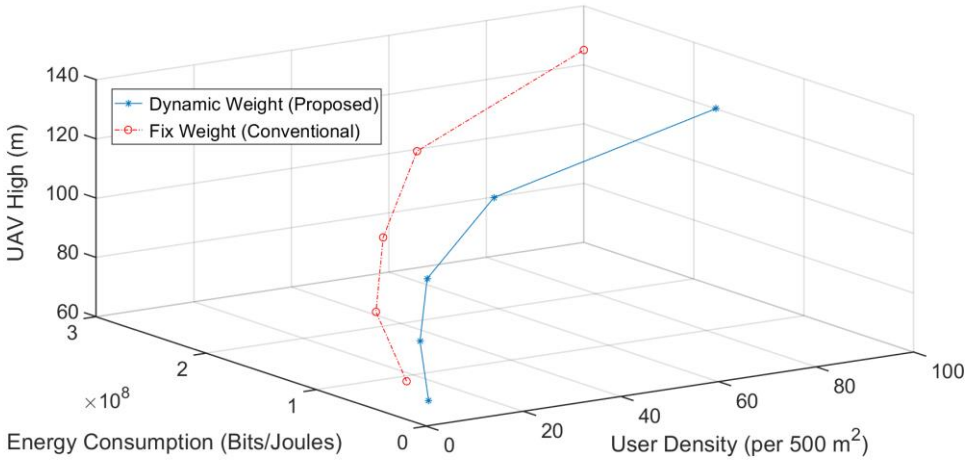
พารามิเตอร์	กำหนดให้มีค่าเท่ากับ
แบนด์วิดท์ของเครือข่ายไร้สาย (หน่วย เมกะเฮิรตซ์), B	20
กำลังส่งของสัญญาณสื่อสารไร้สาย (หน่วย วัตต์), P_{trans}	0.1
กำลังของสัญญาณรบกวน (หน่วย วัตต์), N	10^{-9} [16]
เลขชี้กำลังการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างในสภาพแวดล้อมเมือง, γ	3.5 [17]
กำลังการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ว่าง (หน่วยเดซิเบล), A	24
กำลังส่งสูงสุดของ UAV ขณะหยุดนิ่ง (หน่วย วัตต์), $P_{hovering}$	1,650 [8]
กำลังส่งสูงสุดของ UAV ขณะเคลื่อนที่ (หน่วย วัตต์), P_{moving}	2,228 [8]
น้ำหนักบรรทุกของ UAV (หน่วย กิโลกรัม), m	2
ความสูงในการบินของ UAV (หน่วย เมตร), h_{UAV}	150

จากการจำลองวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ UAV ในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย โดยกำหนดให้ UAV ปรับระดับความสูงในการบินให้ต่ำลงเมื่อปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในการจำลองนี้จะทำการวัดประสิทธิภาพในรูปของการใช้พลังงานและสเปกตรัม รวมถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีทั่วไปที่ UAV หยุดนิ่งซึ่งไม่มีการปรับระดับความสูงในการบินระหว่างการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สาย

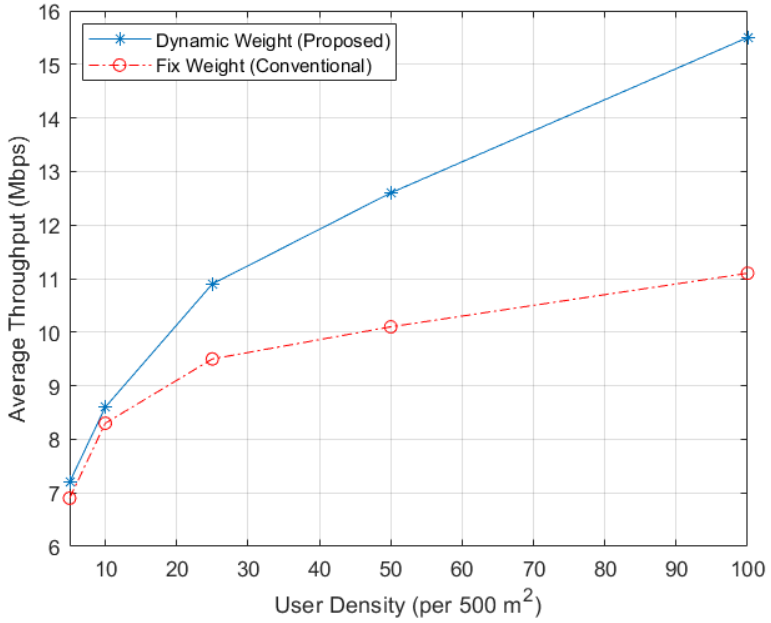
สำหรับผลการจำลองปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption) ในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายแสดงดังภาพประกอบที่ 9 พบว่าเมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้งานเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้การใช้พลังงานก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งจากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอ (Dynamic Weight) มีปริมาณการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง (Fix Weight) เนื่องจากเมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นวิธีที่นำเสนอจะทำการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในการบินของ UAV จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานดังภาพประกอบที่ 10 โดยจะพบว่าการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ให้ลดลงจะช่วยให้ปริมาณการใช้พลังงานลดน้อยลงด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาในกรณีที่ปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV สำหรับวิธีที่นำเสนอจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 36



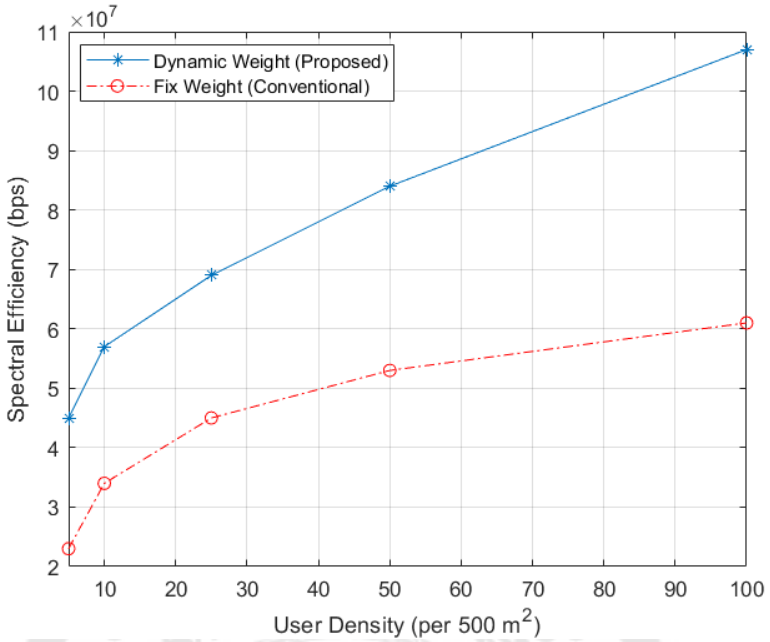
ภาพประกอบ 9 การใช้พลังงานของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง



ภาพประกอบ 10 การใช้พลังงานของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในการบินของ UAV



ภาพประกอบ 11 ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง



ภาพประกอบ 12 ประสิทธิภาพสเปกตรัมของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง

ภาพประกอบที่ 11 แสดงผลการจำลองของปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ย (Average Throughput) พบว่าวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่งจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลสำเร็จโดยเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นตามความหนาแน่นของผู้ใช้ โดยในช่วงแรกที่ปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 จะสังเกตเห็นว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลสำเร็จโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับวิธีที่นำเสนอ แต่เมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลสำเร็จโดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 19 เนื่องจากระยะห่างในการส่งสัญญาณที่ลดลงทำให้ปริมาณการสูญเสียชุดข้อมูลมีค่าลดน้อยลงด้วย ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง

ภาพประกอบที่ 12 แสดงผลการจำลองประสิทธิภาพสเปกตรัม (Spectral Efficiency) พบว่า เมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นวิธีที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพสเปกตรัมสูงกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 68 เนื่องจากวิธีที่นำเสนอมีการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ซึ่งสามารถช่วยให้กำลังการสูญเสียของสัญญาณมีค่าน้อยลงส่งผลให้ประสิทธิภาพของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับดีขึ้นและมีประสิทธิภาพสเปกตรัมสูงกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารไร้สายด้วยอากาศยานไร้คนขับมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสเปกตรัม รวมถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ย สำหรับในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายและกระบวนการจัดการพลังงานในการให้บริการของ UAV และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจำลองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นผู้วิจัยจะนำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีที่ UAV หยุดนิ่งซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานโดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1.สรุปผลการวิจัย

2.อภิปรายผลการวิจัย

3.ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการจำลองระบบการให้บริการและกระบวนการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพบนเครือข่ายไร้สายด้วย UAV โดยใช้วิธีการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ให้ลดลงเมื่อปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสเปกตรัม รวมถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยของวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีทั่วไปที่ UAV หยุดนิ่ง เนื่องจากวิธีที่นำเสนอมีการคำนึงถึงปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ร่วมกับการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัมและปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยได้สูงขึ้นรวมถึงยังช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากปัญหาข้อจำกัดด้านพลังงานของ UAV ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายด้วย UAV ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบระบบการให้บริการและสมการพลังงานที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายซึ่งจะคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมในการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายด้วย UAV อย่างมีประสิทธิภาพทั้งพลังงานทางกลและพลังงานการสื่อสาร โดยพลังงานทางกลเราจะพิจารณาจากกำลังส่งและเวลาของ UAV ขณะหยุดนิ่งและ

เคลื่อนที่ รวมทั้งพิจารณาการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ร่วมด้วย สำหรับพลังงานการสื่อสารเราจะพิจารณาจากกำลังส่งและเวลาที่ใช้ในการสื่อสารไร้สายร่วมกับปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ โดยในกรณีที่ปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน จากนั้นกำหนดให้ UAV ลดระดับความสูงในการบินเพื่อลดระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้ส่งผลให้ระยะห่างในการส่งสัญญาณลดน้อยลง และเมื่อวิเคราะห์จากสมการพลังงานที่ใช้จะพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของ UAV บนเครือข่ายไร้สายได้ นอกจากนี้การปรับระดับความสูงในการบินของ UAV เพื่อลดระยะห่างระหว่าง UAV กับผู้ใช้จะทำให้กำลังการสูญเสียของสัญญาณมีค่าลดน้อยลงซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัมและปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยได้สูงขึ้นอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น เมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้มีค่าเท่ากับ 10 วิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่งจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.6 และ 8.3 เมกะบิตต่อวินาที มีประสิทธิภาพสเปกตรัมเท่ากับ 5.7×10^{7} และ 3.4×10^{7} บิตต่อวินาที และมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 0.5×10^{8} และ 0.9×10^{8} บิตต่อจูล ตามลำดับ จากนั้นเมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 25 พบว่าวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่งจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.9 และ 9.5 เมกะบิตต่อวินาที มีประสิทธิภาพสเปกตรัมเท่ากับ 6.9×10^{7} และ 4.5×10^{7} บิตต่อวินาที และมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 1.1×10^{8} และ 1.5×10^{8} บิตต่อจูล ตามลำดับ และเมื่อปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 50 จะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอและวิธีที่ UAV หยุดนิ่งจะมีปริมาณการรับส่งข้อมูลสำเร็จโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.6 และ 10.1 เมกะบิตต่อวินาที มีประสิทธิภาพสเปกตรัมเท่ากับ 8.4×10^{7} และ 5.3×10^{7} บิตต่อวินาที และมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 1.6×10^{8} และ 2.3×10^{8} บิตต่อจูล ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ปริมาณความหนาแน่นของผู้ใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง พบว่าวิธีที่นำเสนอจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 36 และมีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยรวมถึงประสิทธิภาพสเปกตรัมสูงกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่งเฉลี่ยร้อยละ 19 และ 68 ตามลำดับ จากผลการจำลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอด้วยการปรับระดับความสูงในการบินของ UAV ให้ลดลงเมื่อปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของผู้ใช้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง รวมถึงช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากวิธีที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัมและปริมาณการรับส่งข้อมูลที่สำเร็จโดยเฉลี่ยได้สูงขึ้นมากกว่าวิธีที่ UAV อยู่นิ่ง ดังนั้นการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายด้วย UAV ของวิธีที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีที่ UAV หยุดนิ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้พารามิเตอร์ในการจำลองเพียงบางส่วนเท่านั้นหากมีการนำพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานมาวิเคราะห์ร่วมด้วยอาจจะช่วยให้การให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายของ UAV ประหยัดพลังงานได้สูงขึ้น

5.3.2 สำหรับแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้จะพิจารณาการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายโดยใช้ UAV เพียงตัวเดียวเท่านั้นซึ่งงานวิจัยในอนาคตอาจจะมีการใช้ UAV แบบหลายตัวมาทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสัญญาณสื่อสารไร้สายให้ดียิ่งขึ้น

5.3.3 แบบจำลองระบบการให้บริการและกระบวนการจัดการพลังงานบนเครือข่ายไร้สายด้วย UAV ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้เป็นเพียงการออกแบบในสภาพแวดล้อมจำลองดังนั้นหากมีการนำมาทดลองใช้งานจริงและนำข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติมาใช้ในการพัฒนาการออกแบบระบบอาจจะช่วยให้แบบจำลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

บรรณานุกรม

1. Kishk M, Bader A, Alouini MS. Aerial Base Station Deployment in 6G Cellular Networks Using Tethered Drones: The Mobility and Endurance Tradeoff. IEEE Vehicular Technology Magazine. 2020;15(4):103-11.

2. Zeng Y, Xu J, Zhang R. Energy Minimization for Wireless Communication With Rotary-Wing UAV. IEEE Transactions on Wireless Communications. 2019;18(4):2329-45.

3. Li B, Chen C, Zhang R, Jiang H, Guo X, editors. The Energy-Efficient UAV-Based BS Coverage in Air-to-Ground Communications. 2018 IEEE 10th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM); 2018 8-11 July 2018.

4. Al-Hourani A, Kandeepan S, Lardner S. Optimal LAP Altitude for Maximum Coverage. IEEE Wireless Communications Letters. 2014;3(6):569-72.

5. Sun X, Ansari N, editors. Jointly Optimizing Drone-Mounted Base Station Placement and User Association in Heterogeneous Networks. 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC); 2018 20-24 May 2018.

6. Zeng F, Li S, Huang P, Xiao Z, Hu Z, editors. Energy-Efficient UAV-Assisted Communication with Spectrum optimization. 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC); 2019 29 June-3 July 2019.

7. Zhang J, Zeng Y, Zhang R, editors. Spectrum and energy efficiency maximization in UAV-enabled mobile relaying. 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC); 2017 21-25 May 2017.

8. Fotouhi A, Ding M, Hassan M, editors. Dynamic Base Station Repositioning to Improve Performance of Drone Small Cells. 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps); 2016 4-8 Dec. 2016.

9. He H, Zhang S, Zeng Y, Zhang R. Joint Altitude and Beamwidth Optimization for UAV-Enabled Multiuser Communications. IEEE Communications Letters. 2018;22(2):344-7.

10. Hourani AA-, Chandrasekharan S, Kaandorp G, Glenn W, Jamalipour A, Kandeepan S. Coverage and rate analysis of aerial base stations [Letter]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2016;52(6):3077-81.

11. Routescene. Fixed Wing Drone 2021 [Available from: Retrieved from https://www.routescene.com/resources/recommended-uav-drones-lidar/attachment/hanseatic-s360-fixed-wing-drone/.

12. Pixelsquid. Dji Mavic Air Quadcopter Drone 2022 [Available from: Retrieved from https://www.pixelsquid.com/png/dji-mavic-air-2703841428059985656?image=G01.

13. ChalermPun. Wireless Broadband 2016 [Available from: สืบค้นจาก https://www.cyberthai.com/th/resource/wireless/item/35-wimax.

14. Commission FC. Broadband Speed Guide 2020 [Available from: Retrieved from https://www.fcc.gov/consumers/guides/broadband-speed-guide.

15. Company. YHL. Yuneec H520E/520 2021 [Available from: Retrieved from https://us.yuneec.com/h520-series/info/.

16. Galkin B, Kibilda J, DaSilva LA. A Stochastic Model for UAV Networks Positioned Above Demand Hotspots in Urban Environments. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2019;68(7):6985-96.

17. Chaisupha N, Kunarak S, Chaichan A, editors. Energy Efficient Management in Wireless Communication with Unmanned Aerial Vehicles. The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45); 2022 16-18 November 2022; Nakhon Nayok, Thailand.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐพล ไชยสุภา
วัน เดือน ปี เกิด	09 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	กรุงเทพมหานคร