

# Interference Coordination Method for Integrated HAPS-Terrestrial Networks

รายวิชา 01418497 สัมมนา

สรณสิริ หงษ์ษา

รหัสประจำตัวนิสิต 6410451431

sornsiri.h@ku.th

พศวัต ถิ่นกาญจน์วัฒนา

รหัสประจำตัวนิสิต 6410451199

potsawat.t@ku.th

คณะผู้จัดทำ

ผศ. ดร.ชาคริต วัชรโรภาส

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาคต้น ปีการศึกษา 2566

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สารบัญ

1	บทนำ ที่มาของปัญหา	1
2	ผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
3	การประยุกต์ใช้ ICM	3
4	การทำงานร่วมกันระหว่าง HAPS และ Terrestrial Networks	4
4.1	Non-overlapping Areas (Case a)	4
4.2	Overlapping Areas Between HAPS and Terrestrial Coverage (Case b)	4
5	ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง HAPS และ Terrestrial Networks	5
6	การปรับใช้	6
7	สรุป	7
8	ความเห็นของนิสิต	7

# 1 บทนำ ที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน แนวคิดของระบบเครือข่ายเหนือพื้นดิน(Non Terrestrial Network - NTN) ถูกพัฒนาและนำเสนอออกมาอย่างหลากหลาย และถูกนำไปปรับใช้กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายสัญญาณเครือข่ายเช่นดาวเทียม โดยแบ่งตามระดับวงโคจรได้แก่ ระดับต่ำ(Low-Earth-Orbit - LEO)/ ระดับกลาง(Medium-Earth-Orbit - MEO) ระดับสูงที่สุด(Geostationary-Earth-Orbit - GEO) โดยภายในระบบ NTN มีองค์ประกอบสำคัญคือเทคโนโลยีเครือข่ายยานพาหนะไร้คนขับ (High Altitude Platform Station - HAPS) เนื่องจากมีข้อดีคือปรับใช้ง่าย การตอบสนองรวดเร็วและครอบคลุมในวงกว้าง เพื่อควบคุมและรักษาศักยภาพของเครือข่ายเหล่านี้ การออกแบบระบบเครือข่ายรูปแบบใหม่ที่เกิดจากการรวม NTN และระบบเครือข่ายภาคพื้นดิน(Terrestrial Network - TN) จึงเป็นสิ่งที่ Developer และ Network Engineer ให้ความสนใจ

หลายงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงความท้าทายในการพัฒนาเทคโนโลยี HAPS เช่นการปรับโครงสร้างด้วยยานพาหนะ ปรับปรุงระบบกักเก็บและส่งพลังงาน รวมไปถึงระบบระบายความร้อน อีกทั้งยังมีการร่วมมือในภาคธุรกิจหลายองค์กร เพื่อเร่งการพัฒนา HAPS จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากหลายองค์กร จากงานวิจัย [1, High Altitude Platform Systems: Towers in the Skies] ได้นำเสนอแนวทางการนำเทคโนโลยี HAPS มาปรับใช้ในชีวิตประจำวัน แบ่งออกได้เป็นหลายสถานการณ์ได้แก่

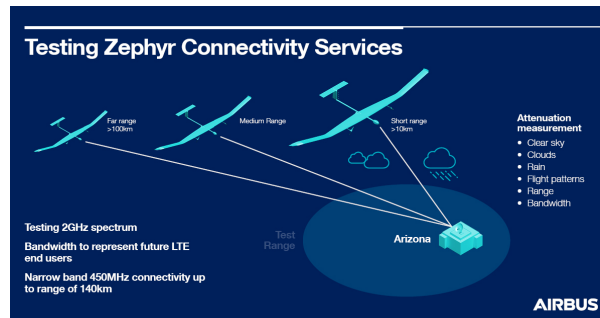
- เครือข่ายแบบเฉพาะ โดยผู้ให้บริการเครือข่ายจะสามารถเข้าถึงตัวอุปกรณ์กระจายสัญญาณ(Platform)ได้แต่เพียงผู้เดียว และจะใช้ Platform ดังกล่าวเพื่อให้บริการสัญญาณเครือข่ายแบบไร้สายแก่ลูกค้า
- ใช้งานเครือข่ายร่วมกัน โดย HAPS อาจถูกนำมาใช้เป็นการร่วมทุนของผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือที่เข้าร่วม
- หน่วยงานเอกชนรับหน้าที่เป็น Host ทำให้ HAPS เป็น Service Platform สาธารณะประเภทหนึ่ง ทุกคนสามารถเข้าถึงได้และมีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมตามปกติ
- หน่วยงานรัฐเป็นผู้ควบคุม
- แบบผสม(Hybrid) โดยผู้ให้บริการมือถือเป็น Host และมอบสิทธิการเข้าถึง Platform กับผู้ให้บริการรายอื่นแทน

แต่ระหว่างขั้นตอนในการพัฒนาย่อมมีปัญหาหลายประเภทเกิดขึ้นเช่นกัน เช่น ปัญหาในการจัดสรรทรัพยากร สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการรวมสองระบบที่แตกต่างกัน ปัญหาในการจัดสรรทรัพยากรมีสาเหตุมาจากข้อผิดพลาดระหว่างการกระจายสัญญาณรับส่งข้อมูลแบบไดนามิก กล่าวคือ ในความเป็นจริงแล้วปริมาณการรับส่งข้อมูลนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โดยมีสาเหตุมาจากเทคโนโลยี HAPS เนื่องจากระบบบางส่วนยังไม่สามารถควบคุมให้เสถียรได้ สำหรับเรื่องสัญญาณรบกวนเป็นอีกหนึ่งในปัญหาสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพของ HAPS เนื่องจากสัญญาณเครือข่ายที่ HAPS เชื่อมต่อกับ Platform บนโลกนั้นเป็นเพียงสัญญาณไป-กลับเท่านั้น สัญญาณรบกวนจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความล่าช้าของเครือข่ายที่ HAPS ควบคุมอยู่

ซึ่งในรายงานฉบับนี้ได้นำเสนอถึงการแก้ไขปัญหานี้ด้วยวิธีการแทรกคลื่นสัญญาณอีกประเภทหนึ่ง(Interference Coordination Method) เข้าไประหว่างคลื่นสัญญาณของ HAPS กับ สถานีเครือข่ายภาคพื้นดิน และต้องคำนึงถึงการกระจายปริมาณรับส่งข้อมูลเป็นหลัก เนื่องจากในแต่ละพื้นที่มีจำนวนสัญญาณเครือข่ายประเภทไม่เท่ากัน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความถี่ของสัญญาณทับซ้อน ผู้ใช้งานเครือข่ายอาจได้รับผลกระทบจากการรบกวนภายในระบบ จึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบขณะดำเนินการแทรกคลื่นสัญญาณเข้าไประยะมั่วๆเพื่อแก้ไขปัญหานี้ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีแทรกคลื่นสัญญาณนั้นมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบเดิม โดยสังเกตที่ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากร

## 2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

จากงานนำเสนอ [2, HAPS Strategy of Space Compass] กล่าวถึงความร่วมมือของบริษัท Airbus, NTT, DOCOMO, JSAT ในการส่งเสริมงานวิจัยและการพาณิชย์ในธุรกิจ Space RAN(Radio Access Network) โดยเริ่มต้นจากการติดตั้งระบบ HAPS ในเครื่องบิน ชื่อว่า Zephyr ของบริษัท Airbus บินในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์(Stratospher) และเริ่มการทดลองจริงโดยส่งคลื่นวิทยุไปสถานีเครือข่ายภาคพื้นดินโดยความถี่ UHF - 2GHz, 450MHz เพื่อวัดความสามารถในการกระจายสัญญาณ การทดลองนี้ใช้ระยะเวลา 18 วัน จึงสรุปผลการทดลองได้ว่าที่สัญญาณความถี่ 450MHz นั้นมีระยะการเชื่อมต่อสูงสุดอยู่ที่ 140 กม.



จากงานวิจัย [1, High Altitude Platform Systems: Towers in the Skies] นำเสนอถึงความหลากหลายของ HAPS ที่ปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการในด้านพื้นที่ที่สัญญาณครอบคลุม ด้วยเทคโนโลยีเสาอากาศแบบใหม่ช่วยให้กำหนดทิศทางไปยังพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการ กลายเป็นเครือข่าย ประเภทหนึ่งชื่อว่า Fixed wireless access (FWA) เป็นเครือข่ายสัญญาณไร้สายประเภทหนึ่งที่ให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแก่ประชาชนภาคครัวเรือน ในทางทฤษฎีแล้ว FWA ผ่าน HAPS สามารถปลดล็อคขีดจำกัดการถ่ายโอนข้อมูลสูงสุด(Capacity)และความล่าช้า(Latency)ที่ต่ำกว่าเครือข่ายจากดาวเทียม ทำให้อาจเป็นอีกหนึ่งทางเลือกนอกจากเครือข่ายสัญญาณแบบไฟเบอร์(Fibre-based)



### 3 การประยุกต์ใช้ ICM

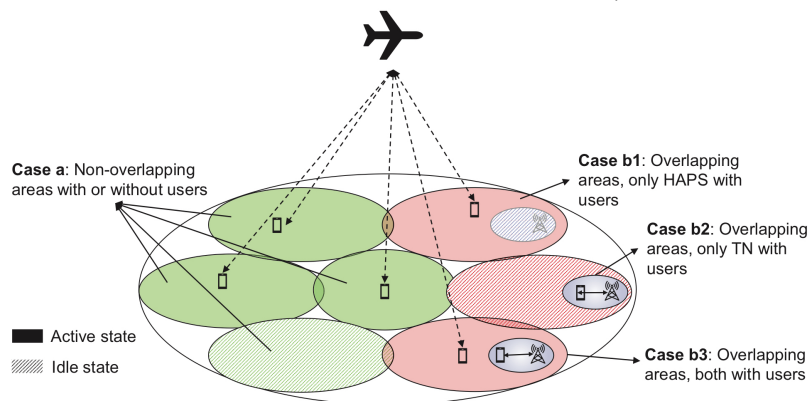
จากงานวิจัยของ [3, Interference Coordination Method for Integrated HAPS-Terrestrial Networks] นำเสนอถึงวิธีการแทรกคลื่นสัญญาณ(Interference Coordination Method - ICM) เข้าไประหว่างคลื่นสัญญาณของ HAPS กับ สถานีเครือข่ายภาคพื้นดิน โดยมีเงื่อนไขต่อไปนี้

- คำนึงถึงการกระจายปริมาณรับส่งข้อมูลเป็นหลัก
- ประสิทธิภาพที่ได้โดยเทียบจากปริมาณพลังงาน,ทรัพยากรที่สูญเสียไปและปริมาณข้อมูลที่เคลื่อนที่ผ่านเครือข่าย ณ เวลาที่กำหนด (Traffic Load)

## 4 การทำงานร่วมกันระหว่าง HAPS และ Terrestrial Networks

เทคนิค interference สามารถใช้เพื่อประสานการทำงานระหว่าง HAPS และ TN ได้ นั่นก็เพื่อ utilize ทรัพยากรทั้งบน HAPS และ TN ให้มากขึ้น โดยรูปแบบของการประสานการทำงานนั้นเป็นไปตามรูปที่ 1

รูปที่ 1: Different cases based on the traffic distribution and the deployment of integrated system



หากพิจารณาการกระจาย traffic และความเป็นไปได้ในการที่จะมี TN ที่พร้อมให้ประสานการทำงานอยู่ใน coverage area จะสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นหลายกรณี ดังต่อไปนี้

### 4.1 Non-overlapping Areas (Case a)

กรณีที่เฉพาะ HAPS เท่านั้นที่ให้บริการใน coverage area

### 4.2 Overlapping Areas Between HAPS and Terrestrial Coverage (Case b)

กรณีที่ทั้ง HAPS และ TN อยู่ใน coverage area ซึ่งในกรณีนี้จะต้องพิจารณาความพร้อมในการให้บริการของทั้ง HAPS และ TN โดยสามารถแบ่งแยกเป็นกรณีย่อยได้ดังนี้

**Traffic only in HAPS system (Case b1)** HAPS ที่ทำงานเพื่อให้บริการ coverage area และ TN base station ใน coverage area นั้นอยู่ห่างไกลกัน เนื่องจากไม่มี traffic เกิดขึ้นใน TN base stations จึงสามารถตั้งเป็นสถานะ idle ได้เพื่อประหยัดการใช้พลังงาน และลด interference ระหว่าง HAPS และ TN

**Traffic only in TN (Case b2)** ไม่มี traffic เกิดขึ้นใน HAPS ใน coverage area และไม่เกิด interference จาก HAPS ไปสู่ TN ใน coverage area แต่ยังคงต้องพิจารณา interference จาก HAPS อื่น ๆ

**Traffic only in both HAPS and TN (Case b3)** เกิด interference ทั้งจาก HAPS อื่น ๆ และระหว่าง HAPS กับ TN ใน coverage area ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องออกแบบการประสานการทำงานระหว่าง HAPS และ TN อย่างระมัดระวัง

## 5 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง HAPS และ Terrestrial Networks

สาเหตุของสัญญาณรบกวนนั้น เกิดจากข้อจำกัดปริมาณการส่งข้อมูลใน 1 ชุดคำสั่ง(Protocol) HAPS กระจายสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่กว้าง จึงทำให้ไม่สามารถแยกแยะความถี่ในแต่ละคลื่นสัญญาณได้ การสื่อสารระหว่างสัญญาณจาก HAPS ไปยังสถานีภาคพื้นดินหลัก(Base Station - BS) และอุปกรณ์รับสัญญาณของผู้ใช้งานทั่วไป เช่น Smartphone(User Equipment - UE)

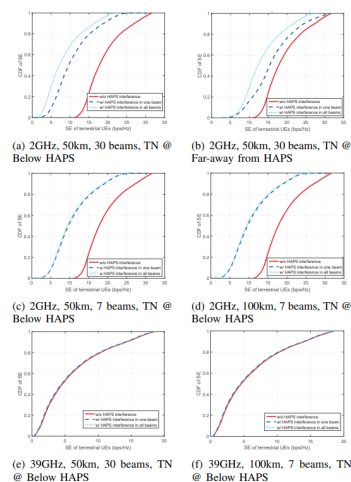
TABLE I  
ANALYSIS FOR INTER-SYSTEM INTERFERENCE

Interference type	Illustration	Feature
HAPS downlink to terrestrial receiver		Dominant interference due to the wide coverage of HAPS and omni-directional antennas at the UE side.
Terrestrial transmitter to HAPS downlink		Little interference due to the large elevation angle for receiving at H-UE side.
HAPS uplink to terrestrial receiver		Little interference due to the large elevation angle for transmitting at H-UE side.
Terrestrial transmitter to HAPS uplink		Little interference due to the small elevation angle for transmitting at terrestrial BSs/UEs.

รูปที่ 1 : Analysis for Inter-System Interference

- Type 1 - เกิดสัญญาณรบกวนเป็นหลักที่ฝั่ง UE
- Type 2 - เกิดสัญญาณรบกวนเล็กน้อยที่ฝั่ง H-UE
- Type 3 - สัญญาณ Uplink เกิดสัญญาณรบกวนเล็กน้อยที่ฝั่ง H-UE แสดงให้เห็นว่าการปรับทิศทางส่งสัญญาณส่งผลต่อการลดสัญญาณรบกวน
- Type 4 - การส่งสัญญาณจากสถานีหลัก(Base Station - BS) ไป HAPS Uplink

ผลการทดลองทั้ง 4 Type สรุปได้ว่าสัญญาณที่ส่งจากสถานีหลักไปยัง HAPS ด้วยการปรับมุมและทิศทางสามารถช่วยลดโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวนและลดปริมาณทรัพยากรที่ใช้ และประเมินผลออกมาเป็นกราฟดังนี้



รูปที่ 2 : Downlink SE performance in terrestrial network (TN) with or without the interference from HAPS downlink.

กราฟแสดงถึงผลที่เกิดจากสัญญาณรบกวนจาก HAPS ไปยังสถานีภาคพื้นดิน(TN) และอุปกรณ์ของผู้ใช้(UE) ในความถี่และรัศมีครอบคลุมที่แตกต่างกัน(2 GHz, 39 GHz, 0 km., 100 km.) โดยมีตัวชี้วัดคือประสิทธิภาพของสเปกตรัม(Spectral Efficiency - SE) วัดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านแบนด์วิธ(bandwidth)ภายในระบบ

## 6 การปรับใช้

แบ่งออกได้เป็นหลายกรณี ได้แก่

- Case a - ทดลองในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณซ้อน(Non-overlapping areas) ผลที่ได้คือจะไม่เกิดสัญญาณรบกวนภายในระบบ ทำให้วิธีการเชื่อมต่อแบบเดิมโดย HAPS เป็นศูนย์กลาง(HAPS Stand-Alone) ยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ
- Case b1 - ทดลองในพื้นที่ที่มีสัญญาณทับซ้อนแต่ไม่มีการรับส่งข้อมูลเครือข่ายภาคพื้นดิน(Overlapping area, No traffic in terrestrial systems) ผลที่ได้คือสามารถเปลี่ยนเป็นโหมด Idle เพื่อลดการใช้พลังงานและป้องกันสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบ เนื่องจากระยะระหว่าง HAPS กับ User Equipment ห่างกันมาก
- Case b2 - ทดลองในพื้นที่ที่มีสัญญาณทับซ้อนแต่ไม่มีการรับส่งข้อมูลทางฝั่ง HAPS(Overlapping areas, No traffic in HAPS Coverage) เมื่อเปิด HAPS beam และสัญญาณจากอุปกรณ์ของผู้ใช้(Customer premises equipment - CPE) ส่งผลในสัญญาณรบกวนระหว่าง HAPS กับ TN ลดลงอย่างมาก
- Case b3 - ทดลองในพื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนและมีการรับส่งข้อมูลทั้งสองเครือข่าย(Both overlapping areas and traffic in HAPS with terrestrial systems) ผู้ใช้งานจะได้รับผลกระทบจากทั้งสองระบบ นอกจากนี้ใน Case b3 ยังจำแนกออกเป็น 4 Pattern หลักได้ดังต่อไปนี้ Pattern 1 -> HAPS และ TN กระจายสัญญาณในพื้นที่ที่ครอบคลุมโดยใช้ปริมาณทรัพยากรและสัญญาณความถี่ในช่วงเวลาเดียวกัน หมายความว่าไม่มีการประสานงานระหว่างทั้งสองระบบ อาจส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนจนส่งผลให้ประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากรลดลง Pattern 2 -> HAPS และ TN กระจายสัญญาณเหมือนเดิม แต่ใช้วิธี Inter-Cell Interference Coordination(ICIC) เป็นอีกความเป็นไปได้ในการลดสัญญาณรบกวน Pattern 3 -> HAPS cells เปลี่ยนสถานะเป็น Idle และให้ Base Station เป็นตัวกลางหลักแทน โดย Pattern นี้ส่งผลแค่ในกรณีที่รับส่งข้อมูลใน cell ต่ำเท่านั้น Pattern 4 -> Base Station เปลี่ยนสถานะเป็น Idle และให้ HAPS จัดการในพื้นที่ที่มีสัญญาณซ้อน โดย Pattern นี้ส่งผลแค่ในกรณีที่ traffic load ใน TN น้อย

โดยรวมแล้วเราสรุปผลในทาง technical terms ออกมาได้ดังตารางต่อไปนี้

TABLE II  
EVALUATION ASSUMPTIONS.

Parameters	Values or assumptions
Carrier frequency	2 GHz
Total bandwidth	20 MHz
Number of HAPS cells	30 cells
Layer number of HAPS cells and layout (Note: Cells with same distance from the center are defined in one layer.)	4 layers with, 1 cell for layer-1, 8 cells for layer-2, 9 cells for layer-3, 12 cells for layer-4
Radius of HAPS coverage	50 km
Number of users	Uniformly distributed in [0,30000]
Number of terrestrial BSs per HAPS cell	Uniformly distributed in [0,6]



## 7 สรุป

อ้างอิงจาก [3, Interference Coordination Method for Integrated HAPS-Terrestrial Networks]

การใช้งาน HAPS และ TN ร่วมกันจะต้องคำนึงถึง interference ระหว่างระบบ วิธีที่แนะนำให้เสนอคือ ให้พิจารณาการกระจาย traffic load และความพร้อมในการให้บริการของ HAPS และ TN ใน coverage area

- พื้นที่ที่ไม่มีการ overlap กันระหว่าง HAPS และ TN จะไม่มีการประสานการทำงาน
- พื้นที่ที่มีการ overlap กันระหว่าง HAPS และ TN จะมีการให้บริการโดย (ก.) HAPS หรือ TN หรือ (ข.) ทั้ง HAPS และ TN โดยพิจารณาจากปัจจัยที่กำหนดจะมีการกำหนดขึ้นเพื่อให้เกิด throughput สูงสุด

พื้นที่ที่ไม่มี traffic load จะเปลี่ยนสถานะของ HAPS beam หรือ TN base station ไปเป็น idle เพื่อประหยัดการใช้พลังงาน

## 8 ความเห็นของนิสิต

## บรรณานุกรม

- [1] GSMA. “High Altitude Platform Systems: Towers in the Skies”. in 2021.
- [2] Yoshihisa Kishiyama. “HAPS Strategy of Space Compass”. in 2022.
- [3] Wenjia Liu and others. “Interference Coordination Method for Integrated HAPS-Terrestrial Networks”. in 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Spring): 2022.

## สารบัญรูป

1	Different interference cases . . . . .	4
---	--	---

## สารบัญตาราง