

การจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้ในระบบการเข้าถึง  
ช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2564

DOUBLE POWER ALLOCATION FOR USER FAIRNESS IN P-NOMA  
SYSTEM



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2021

การจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้ในระบบการเข้าถึง  
ช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน

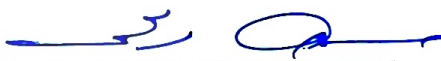
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.อภิญา ดีคำยคำ)

กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

และประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



ธิดาพร เพื่อสูงเนิน : การจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้ในระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน (DOUBLE POWER ALLOCATION FOR USER FAIRNESS IN P-NOMA SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 66 หน้า

คำสำคัญ : การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก/การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน/การจัดสรรพลังงาน/ความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน (P-NOMA) เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสูง ที่สามารถช่วยในการลดการรบกวนของสัญญาณระหว่างผู้ใช้งาน โดยที่ไม่มีการทับซ้อนของสัญญาณอย่างสมบูรณ์ดังในเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก แต่เป็นการพิจารณาการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้เพียงบางส่วนเท่านั้น สิ่งนี้ทำให้อัตราการส่งข้อมูลเพิ่มมากยิ่งขึ้น และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพของสเปกตรัมซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบดังกล่าว อย่างไรก็ตามการตระหนักถึงความเท่าเทียมในด้านอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานยังไม่ได้ถูกคำนึงถึงมากนัก ผู้ใช้ทั้งใกล้และไกลยังคงได้รับอัตราข้อมูลที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเทคนิคของการจัดสรรกำลังส่งที่แตกต่างกันระหว่างผู้ใช้งานตามการผกผันช่องสัญญาณ ที่มีการจัดสรรกำลังส่งที่มากกว่าให้กับผู้ใช้ที่อยู่ไกลเพื่อชดเชยการสูญเสียอัตราการส่งข้อมูลที่เกิดจากการรบกวน และจัดสรรกำลังส่งที่น้อยกว่าให้กับผู้ใช้ที่มีช่องสัญญาณที่ดีกว่า เนื่องจากมีการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคการตัดการแทรกสอดตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดสรรกำลังส่งเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้ โดยการจัดสรรพลังงานชั้นแรกระหว่างผู้ใช้ใกล้และไกลถูกนำเสนอเพื่อปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ การจัดสรรพลังงานสองชั้นจะให้ความสำคัญต่อผู้ใช้อย่างมาก โดยมุ่งเน้นไปที่การลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ และอัตราการส่งข้อมูลที่เท่ากัน ผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการนี้มีประสิทธิภาพที่สุดในการการจัดสรรพลังงานเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมของผู้ใช้

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา ธิดาพร เพื่อสูงเนิน  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

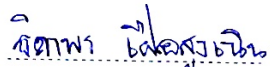
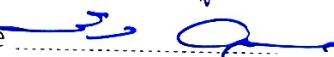


TIDAPORN FUASUNGNOEN : DOUBLE POWER ALLOCATION FOR USER FAIRNESS IN P-NOMA SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.PEERAPONG UTHANSAKUI, Ph.D., 66 PP.

Keyword : Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)/Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA)/Power Allocation/User Fairness

Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA) system is interesting communication technology. As a result, signal interference between users can be reduced where the signals of user equipment are not fully overlapped. The P-NOMA is presented for solving interference where consider the user equipment signals are only partially overlapped. This concept increases the data rate even more and it has been proven to be efficiently implemented. Both flexibility and spectrum efficiency are the benefits of such a system. However, the near and far users still achieve the different data rate which is the main problem of typical NOMA. However, user fairness still achieves the different data rates and it has received very little research. When considering the technique of transmit power allocation based on channel inversion between users that difference. To make up for the loss by interference, more transmission power is allocated to the far user and a lower power allocation to users with better channels because successive interference cancellations can eliminate interference. It can be seen that power allocation is an important factor in non-orthogonal multiple access. In this paper, we will present the double power allocation for user fairness. Where, the first power allocation is proposed to minimize the gap of achievable rate. However, the gap is still not zero. Thus, the double power allocation is introduced so that the equal rates of near and far users are achieved. Finally, the result shows that this method is the most efficient in allocation power to achieve user fairness

School of Telecommunication Engineering  
Academic Year 2021

Student's Signature   
Advisor's Signature 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งในด้านทางวิชาการ การดำเนินงานวิจัย และคอยให้คำปรึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจให้เสมอมา จากบุคคลต่างๆ ดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ในด้านต่างๆ ให้โอกาสทางการศึกษา คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย การแก้ไขปัญหา จนสามารถปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และคอยให้กำลังใจ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านวิชาการ ให้คำแนะนำในการดำเนินงานต่างๆ แนวทางการแก้ไข และข้อคิดในการศึกษา

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนการศึกษา (OROG) สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ ดร.ปธิกร อันซีน และพี่ๆ เพื่อน ระดับการศึกษาปริญญาเอกและบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำความรู้ แนวทางการแก้ไขและช่วยเหลือในด้านต่างๆ และขอขอบคุณคุณวีรินทร์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและดำเนินการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้อง ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างเต็มที่มาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จเรื่อยมา และวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยหวังว่าจะมีส่วนในการพัฒนา หากมีข้อบกพร่องประการใดผู้วิจัยก็ขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ธิดาพร เผื่อสูงเนิน

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ

## บทที่

<b>1</b>	<b>บทนำ .....</b>	<b>1</b>
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
	1.3 สมมติฐานของการวิจัย .....	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
	1.5 วิธีดำเนินการวิจัย .....	3
	1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ .....	4
<b>2</b>	<b>ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>5</b>
	2.1 กล่าวนำ .....	5
	2.2 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ .....	5
	2.2.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก (NOMA).....	8
	2.2.2.1 การเข้ารหัสซ้อนทับ (Superposition Coding: SC).....	10

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.2 การประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับหรือเอสไอซี (Successive Interference Cancellation: SIC).....	10
2.2.3 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน (P-NOMA) .....	12
2.2.4 การสูญเสียกำลัง (Path Loss) .....	16
2.2.5 แบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ (Rayleigh fading channel) .....	17
2.3 การจัดสรรพลังงานของแต่ละเทคนิค .....	17
2.4 ตัวชี้วัดการวัดสมรรถนะของระบบสื่อสาร .....	19
2.4.1 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณ รบกวน SINR และอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้.....	19
2.5 ความเท่าเทียม .....	21
2.5.1 ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ [3].....	21
2.5.2 Jain' fairness index [17][19].....	21
2.6 สรุป.....	22
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>23</b>
3.1 กล่าวนำ .....	23
3.2 การจำลองระบบ .....	23
3.2.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณไม่ตั้งฉากบางส่วน [4]-[5].....	23
3.2.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	25
3.2.3 การจัดสรรพลังงานชั้นแรก (First Power Allocation: $\gamma_1$ ).....	26
3.2.4 การจัดสรรพลังงานสองชั้น (Double Power Allocation: $\gamma_2$ ) .....	27

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5	อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณ รบกวน .....	27
3.2.6	อัตราการส่งข้อมูลที่ได้ของแต่ละผู้ใช้ .....	27
3.2.7	ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้.....	28
3.3	หลักการการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานนี้.....	28
3.3.1	Algorithm 1.....	29
3.3.2	Algorithm 2.....	32
3.4	ความน่าจะเป็นของการขาดหาย (OUTAGE PROBABILITY) .....	36
3.5	COMPLEXITY ANALYSIS.....	36
3.5.1	Big O notation.....	37
3.5.1.1	การประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึม .....	38
4	<b>วิเคราะห์และสรุปผลการจำลอง.....</b>	<b>41</b>
4.1	กล่าวนำ.....	41
4.2	การจำลองระบบ.....	41
4.3	ผลการจำลองอัตราส่งข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้งาน.....	42
4.3.1	อัตราการส่งข้อมูลเทียบกับคลื่นพาห้อย่อย.....	42
4.3.2	ความจุช่องสัญญาณของ P-NOMA P-NOMA-DPA NOMA และ OMA ..	43
4.3.3	การจัดสรรพลังงาน.....	44
4.3.4	Algorithm 1.....	45
4.3.5	Algorithm 2.....	46
4.4	ผลการจำลองช่องว่างอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน .....	48
4.4.1	Algorithm 1.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2 Algorithm 2.....	49
4.4.2.1 การเปรียบเทียบผลของช่องว่างอัตราการส่งข้อมูลในอัลกอริทึมที่ 2 .....	51
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม .....	52
4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรร พลังงานสองชั้น.....	53
4.7 สรุป.....	54
<b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>55</b>
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต .....	56
รายการอ้างอิง .....	57
ภาคผนวก ก .....	60
ประวัติผู้เขียน .....	66



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงถึง แบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในเทคนิค OFDMA สำหรับ LTE .....	7
2.2	เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางตามสภาพแวดล้อม .....	16
2.3	สมการการคำนวณของอัตราการส่งข้อมูลในแต่ละเทคนิค .....	19
3.1	ประเภทของการคำนวณ Big O .....	38
3.2	กระบวนการประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึม .....	40
4.1	จะเป็นการอธิบายค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลอง .....	42
4.2	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม .....	53

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ผู้ให้บริการย่อยบนเทคนิค OFDMA [ <a href="https://isecosmetic.com">https://isecosmetic.com</a> ] .....7
2.2	แสดงตัวอย่างของรูปแบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก [2] ..... 10
2.3	การถอดรหัสสัญญาณของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับ ..... 11
2.4	อัตรารวมที่ทำได้เทียบกับ SNR..... 13
2.5	ตัวอย่างการพิจารณาอัตราการทับซ้อน (TOR=1)..... 15
2.6	แบบจำลองการเข้าถึงช่องสัญญาณแต่ละเทคนิคด้วยผู้ใช้สองคน ..... 15
2.7	แบบจำลองการส่งสารดาวลิงก์การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก..... 18
3.1	แบบจำลองการเข้าถึงช่องสัญญาณไม่ตั้งฉากบางส่วน ..... 24
3.2	แบบจำลองการจัดสรร Subcarrier สำหรับผู้ใช้งาน ..... 25
3.3	หลักการงานของอัลกอริทึมที่ 1 ..... 29
3.4	หลักการงานของอัลกอริทึมที่ 2 ..... 32
4.1	อัตราข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้ใกล้และไกลในเงื่อนไขของคลื่นพายุย่อย ..... 43
4.2	การเปรียบเทียบอัตราข้อมูลในแต่ละเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณเทียบกับความจุของช่องสัญญาณ ..... 44
4.3	อัตราข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้ใกล้และไกลในการจัดสรรพลังงานสองชั้น ..... 45
4.4	อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน ..... 46
4.5	อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานชั้นแรก..... 47
4.6	อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานสองชั้น..... 48
4.7	ช่องว่างอัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ..... ,49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ช่องว่างอัตราการรวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานขั้นแรก .....	50
4.9 ช่องว่างอัตราการรวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานสองชั้น .....	51
4.10 การเปรียบเทียบช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานขั้นแรก (Gap1) และการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Gap2) ในอัลกอริทึมที่ 2 .....	52
4.11 การเปรียบเทียบช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานขั้นแรก (Gap1) และการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Gap2) ในอัลกอริทึมที่ 2 .....	52
4.12 การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการขาดหายกับเป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานในเทคนิคการจัดสรรพลังงานชั้นเดียวและการจัดสรรพลังงานสองชั้น .....	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับจำนวนการใช้งานอย่างมหาศาลที่จะเกิดขึ้น จำนวนและความหลากหลายของอุปกรณ์เพิ่มขึ้นอาจจะต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ความหน่วงที่น้อยลง สำหรับการพัฒนาการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 ที่กำลังถูกกล่าวถึงและใช้งานในปัจจุบันและจนกระทั่งการสื่อสารยุคถัดไปที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ (Multiple Access Technique: MA) จึงเป็นเทคนิคสำคัญอย่างหนึ่ง เมื่อเร็ว ๆ นี้ แนวทางหลายอย่างถูกศึกษา เพื่อให้ประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นของระบบดีขึ้น การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก (Non-Orthogonal Multiple Access : NOMA) ถูกมองว่าเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ ที่สามารถรองรับข้อมูลมหาศาลที่จะเกิดขึ้น การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากสามารถที่จะให้บริการผู้ใช้งานหลายคน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบตั้งฉาก (Orthogonal Multiple Access : OMA) เช่น การใช้เทคนิคการแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access : FDMA) การแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA) สามารถส่งข้อมูลของผู้ใช้งานได้พร้อมกัน โดยไม่มีการรบกวนกัน แต่ด้วยข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถที่จะรองรับการใช้งานของผู้ใช้งานที่จะถูกเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากจะมีการใช้ประโยชน์ของการจัดสรรทรัพยากร เช่น การใช้บล็อกทรัพยากร ความถี่ เวลา การเข้ารหัส และโดเมนพลังงาน เดียวกัน กล่าวคือการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากจะไม่ขึ้นอยู่กับโดเมนใดๆ แต่จะมีการจัดสรรกำลังส่งที่แตกต่างกันให้กับผู้ใช้งาน ด้วยเทคนิคการเข้ารหัสแบบซ้อนทับ (Superposition Coding : SC) สามารถช่วยให้เครื่องส่ง ส่งข้อมูลของผู้ใช้งานหลายคนในเวลาเดียวกัน และเทคนิคการตัดการแทรกสอดตามลำดับ (Successive interference cancellation : SIC) ที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานได้และทำการถอดรหัสข้อมูลของผู้ใช้งานที่ภาครับ สิ่งนี้ทำให้สัญญาณของผู้ใช้งานสามารถมีการรบกวนกันได้ และทำให้ประสิทธิภาพสเปกตรัมสูงขึ้น มีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ การพัฒนาเทคนิคโดยการแก้ปัญหาการรบกวนในเทคนิค NOMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอัตราการส่งข้อมูลของระบบภายใต้การจัดสรรพลังงานระหว่างผู้ใช้ ภายใต้การพิจารณารูปแบบการทับซ้อนของสัญญาณอย่างสมบูรณ์

ต่อมาได้มีการนำเสนอเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน (Partial Non-Orthogonal Multiple Access : P-NOMA) นักวิจัยหลายท่านให้ความสำคัญกับการพัฒนาประสิทธิภาพระบบให้สูงยิ่งขึ้นรวมทั้งให้ความสำคัญกับความเท่าเทียมกันระหว่างผู้ใช้งาน ได้มีการนำเสนอการใช้เทคนิคแบบไฮบริด โดยพิจารณารูปแบบการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน ถ้าหากมีการทับซ้อนกันของสัญญาณเพียงบางส่วนในกรณีของระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณ (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : OFDMA) ที่มีการแบ่งความถี่ระหว่างผู้ใช้งาน ร่วมกับการพิจารณาการทับซ้อนของสัญญาณอย่างสมบูรณ์ในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก ซึ่งเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วนได้รับความสนใจในการศึกษาอย่างมาก และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น และเนื่องจากในแนวคิดสามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนระหว่างผู้ใช้ การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากมีการจัดสรรกำลังส่งให้กับผู้ใช้งานตามการผกผันของสัญญาณ (Channel inversion) ผู้ใช้งานที่มีช่องสัญญาณที่แค่ว่าจะได้รับการจัดสรรกำลังส่งมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใช้งานที่มีช่องสัญญาณที่ดี เพื่อชดเชยการสูญเสียอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณเทียบกับกำลังของสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (Signal to Interference Plus Noise Ratio : SINR) แต่สิ่งนี้ถูกมองว่าอัตราอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้นั้นไม่มีความเท่าเทียมกันระหว่างผู้ใช้งาน จึงมีการนำเสนอเพื่อแสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียมกันของผู้ใช้งานใกล้และผู้ใช้งานไกล โดยลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลโดยรวมระหว่างผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลผู้ใช้งานใกล้และไกล และอีกทั้งมีการเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดสรรพลังงานมากมาย ที่แสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียมกัน ภายใต้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน

จากการสำรวจวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ระหว่างผู้ใช้งานนั้นก็ยังไม่ได้เท่ากันเสมอไป และเห็นได้ชัดเจนว่าการจัดสรรพลังงานยังไม่ได้มีความสำคัญในระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน ซึ่งควรได้รับการพัฒนาโดยเน้นไปที่การจัดสรรพลังงาน จากมุมมองของผู้วิจัยระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วนสามารถปรับปรุงการจัดสรรพลังงานเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีการนำเสนอการจัดสรรพลังงานงานสองชั้น โดยพิจารณาว่าหากมีการจัดสรรพลังงานให้ผู้ใช้งานระหว่างสองผู้ใช้งาน คือ อุปกรณ์ผู้ใช้งานใกล้และอุปกรณ์ผู้ใช้งานไกล จากการจัดสรรพลังงานชั้นแรกจะสามารถลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานก็ยังมีผลต่างและยังไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นการจัดสรรพลังงานสองชั้นจึงถูกพิจารณาเพื่อทำให้เกิดความเท่าเทียมกันอย่างแท้จริง ซึ่งจะแสดงผลให้เห็นว่า ณ จุดที่เกิดการทับซ้อนกันของผู้ใช้งานใกล้และไกลมีผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลที่สามารทำให้เกิดความเท่าเทียม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงวิธีการของการจัดสรรพลังงานสองชั้นที่ทำให้อัตราการส่งข้อมูลนั้นเท่ากันระหว่างผู้ใช้งานใกล้และไกล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบการจัดสรรพลังงานสำหรับการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากเพื่อความเหมาะสมสำหรับระบบและความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพอัตราข้อมูลเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Double Power Allocation) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน

1.3.2 เทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นสามารถทำให้เกิดความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่เท่ากัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานในระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน

1.4.2 ได้แบบจำลองอัตราข้อมูลเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.5.2 ออกแบบการจัดสรรพลังงานสำหรับการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากเพื่อความเหมาะสมสำหรับระบบและความเท่าเทียมต่อผู้ใช้งาน

1.5.3 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับอัตราการส่งข้อมูลเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น

1.5.4 วิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ได้เพื่อให้เกิดความ เป็นเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน



## 1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล การออกแบบ การจำลองผลวิเคราะห์และสรุปผล โดยประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค P-NOMA เทคนิคของการเข้าถึงช่องสัญญาณ แนวคิดการจัดสรรพลังงาน เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบและความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

บทที่ 3 กล่าวถึงการอธิบายวิธีดำเนินการ การศึกษาเทคนิค P-NOMA ด้วยการจัดสรรพลังงานสองชั้น วิธีการปรับปรุงความเท่าเทียม และวิธีการวัดประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 4 จะเป็นการจำลองผล การวิเคราะห์ แต่ละวิธีการในการปรับปรุงความเท่าเทียม การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการ การแสดงให้เห็นถึงอัตราการส่งข้อมูล และผลการจำลองที่แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้นช่วยปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งานได้

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

วิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบัน นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญและมีบทบาทอย่างมากในชีวิตของมนุษย์ ความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและเหนือกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารยุคก่อน ไม่ว่าจะเป็นประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่ (Spectrum Efficiency) การพัฒนาความเร็ว ความจุในการรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมหาศาล ความหน่วงการสื่อสารที่ต่ำ เพื่อนำมาใช้งานในการตอบสนองแบบเวลาจริง และแม้กระทั่งความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้ ในหัวข้อนี้จะเป็นกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคที่น่าสนใจและในงานงานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ โดยจะเน้นไปที่เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน และมีประสิทธิภาพสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคถัดไป การกล่าวถึงเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ ประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคที่มีความแตกต่างกัน เทคนิคการจัดสรรพลังงาน และการอธิบายถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมิน หรือวิเคราะห์ผลในแบบจำลอง

#### 2.2 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ

ในการเข้าถึงช่องสัญญาณ (Multiple Access Technique) ในแต่ละเทคนิคถูกใช้เพื่อรองรับการส่งข้อมูลปริมาณมากในทรัพยากร การที่ใช้ในแต่ละเทคนิคเช่น พื้นที่เดียวกัน เวลาความถี่ พลังงาน เป็นต้น และมีการใช้งานตั้งแต่เทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 1 มีการใช้เทคนิค Frequency Division Multiple Access (FDMA) ต่อมายุคการสื่อสารที่ 2 ใช้เทคนิค Time Division Multiple Access (TDMA) ในระบบการสื่อสารยุคที่ 3 นำเทคนิค Code division Multiple Access (CDMA) และการสื่อสารยุคที่ 4 ใช้เทคนิค Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) ในปัจจุบันนี้มีการพัฒนาการสื่อสารมาถึงการสื่อสารยุคที่ 5 และเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากก็คือ Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) แม้ในปัจจุบันจะมีการประการเทคนิคที่ถูกใช้

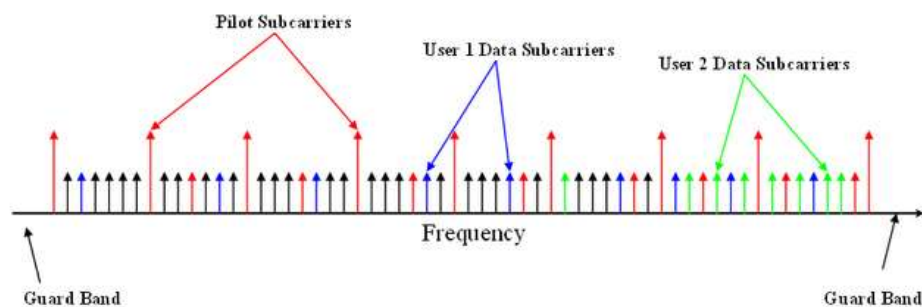
สำหรับ 5G ก็คือ Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) เนื่องจาก NOMA ยังคงมีความซับซ้อนและข้อจำกัดหลายๆ ด้าน จำเป็นต้องมีการวิจัยในอนาคต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะเป็นการศึกษาเทคนิคแบบไฮบริด ก็คือ P-NOMA เพื่อศึกษาประสิทธิภาพความยืดหยุ่นที่สามารถรองรับการให้บริการที่จะเกิดขึ้น และในส่วนนี้จะอธิบายเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ก่อนอื่นเพื่อทำความเข้าใจถึงแต่ละเทคนิคจะเป็นการพิจารณาช่องสัญญาณดาวนลิงค์ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้งานเพียงสองคน โดยกำหนดให้ผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐานเรียกว่า ผู้ใช้งานใกล้ (near user) ผู้ใช้ที่ได้รับสัญญาณจากช่องสัญญาณเดียวกันแต่อยู่ไกลจากสถานีฐานว่า ผู้ใช้งานไกล (far user)

### 2.2.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบ่งความถี่ตั้งฉาก (OFDMA)

การเข้าถึงช่องสัญญาณแบ่งความถี่ตั้งฉาก OFDMA เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรวม OFDM เข้ากับ การเข้าถึงหลายการแบ่งเวลา (TDMA) หรือโดเมนเวลา และเทคโนโลยีด้านความถี่คลื่นวิทยุที่นำเข้ามาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ต่าง ๆ เช่น WiMAX และ LTE และยังเป็นวิธีการเข้าถึงของผู้สมัครสำหรับ IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks (WRAN), cognitive radio technology ซึ่งใช้ white space ในคลื่นความถี่ โทรทัศน์ (TV) และข้อเสนอ วิธีการเข้าถึงสำหรับข้อกำหนด DECT -5G ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการ IMT-2020 สำหรับแอปพลิเคชัน บรอดแบนด์มีอัตราเร็วสูง (eMMB) และแอปพลิเคชันที่มีความหน่วงแฝงต่ำ (URLLC) ที่เชื่อถือได้ต่ำ

เทคนิค OFDMA เป็นการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกัน ลักษณะของ OFDMA จะเป็นการแบ่งคลื่นพาห่อย่อยหรือ Subcarrier ให้กับแต่ละผู้ใช้งาน ในส่วนของการแบ่งนั้นจะเป็นลักษณะเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณความถี่ย่อยตามเวลาที่เปลี่ยนไป และทำการรับส่งข้อมูล เพื่อให้ไม่รบกวนกัน โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้เป็นอิสระต่อกันหรือ Orthogonal โดยการมอดดูเลขชี้กำลังที่ทำให้เกิดสัญญาณ Sideband รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้าง ๆ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้อัตรา Throughput ที่สูง [3],[9] และเทคนิค OFDMA เป็นการกำหนดจำนวน Subcarrier ให้กับผู้ใช้งาน เพื่อที่จะรองรับการ access จากผู้ใช้งานหลายๆ คนพร้อมกัน ในช่วงของทรัพยากรเวลาเดียวกัน สมมุติว่าผู้ใช้แต่ละคน ได้รับจำนวน Subcarrier ไม่เท่ากัน แต่จะสามารถใช้บริการพร้อมกันได้ ในเทคนิค OFDMA สำหรับระบบ LTE สามารถรองรับความกว้างแถบความถี่สูงสุด 20 เมกะเฮิร์ตซ์ และระยะห่างระหว่างคลื่นพาห่อย่อยของ OFDMA จะมีขนาดเดียวคือ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ [6]



รูปที่ 2.1 ผู้ให้บริการย่อยบนเทคนิค OFDMA [https://isecosmetic.com]

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทางกายภาพของเทคนิค OFDMA สำหรับ LTE

Channel Bandwidth [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Sampling Frequency [MHz]	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Subcarrier Spacing [kHz]	15					
FFT Size	128	256	512	1024	1536	2048
Usable Subcarriers	72	180	300	600	900	1200
Resource Blocks	6	15	25	50	75	100
Slot Duration[ms]	0.5					

จากตารางที่ 2.1 จะเป็นการแสดงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของเทคนิค OFDMA และอธิบายรายละเอียดของพารามิเตอร์ ได้ดังนี้

Channel bandwidth คือ การปรับเปลี่ยนการความกว้างแถบความถี่ แบ่งออกเป็น 6 ขนาด ตั้งแต่ 1.4 MHz ถึง 20 MHz

Sampling frequency มีการกำหนดมาตรฐานของ clock หรือ Sampling frequency เท่ากับ 1.92 MHz ให้กับกรณีใช้ bandwidth 1.4 MHz x 2 ไปเรื่อยๆ ในแต่ละ

bandwidth เช่น bandwidth 3 MHz จะได้ Sampling frequency =  $1.92 \text{ MHz} \times 2 \times 2 = 7.68 \text{ MHz}$

Subcarrier spacing 15 kHz เป็นระยะห่างของ subcarrier หรือขนาดของ bandwidth ของ subcarrier

FFT Size (Fast Fourier Transform Size) จะเป็นการแยกบิตสตรีมออกเป็น ส่วนๆ ทางด้านส่งจะใช้ Invert fast Fourier transform (IFFT) มารวมสัญญาณจากหลายๆ subcarrier ของทุกๆผู้ใช้งาน ให้เป็นหนึ่งเดียวกันก่อนส่ง ในกรณีของด้านรับก็ใช้ FFT มากระจาย สัญญาณที่รับได้จากการรวมกันออกกลับเป็นแต่ละ subcarrier ซึ่งขนาดของ FFT จะมีขนาดเท่ากับ Sampling frequency / subcarrier bandwidth เช่น bandwidth 1.4 MHz จะมีขนาดของ FFT =  $1920 \text{ kHz} / 15 \text{ kHz} = 128$

Usable subcarrier คือ ขนาดของ FFT ที่สะท้อนจำนวนของ subcarrier แต่ ในทางปฏิบัติจะมีบางส่วนถูกใช้เป็น guard subcarrier ทำให้มี subcarrier ที่จะใช้ส่งข้อมูล และ นำมาจัดเป็น กลุ่ม Resource Block โดยกำหนดให้ RB ละ 12 subcarrier ที่ bandwidth ขนาด 1.4 MHz ก็จะมี usable subcarrier ได้ 72 subcarriers, 3 MHz ก็มีได้ 180 subcarriers เป็นต้น

Resource block มาตรฐานกำหนดไว้ให้มี 12 subcarrier ต่อหนึ่ง resource block (RB) ทำให้แต่ละ bandwidth จะมีจำนวน RB ได้เท่ากับ Usable subcarrier / 12

Slot duration จะมีขนาดเท่ากันหมดทุกขนาด bandwidth คือ 0.5 ms

Symbol per slot ก็คือจำนวนครั้งของการ modulation

ในเทคโนโลยี 5G NR สามารถที่จะปรับระยะระหว่างคลื่นพหุย่อย ให้สามารถที่จะปรับขนาดตามความกว้างแถบความถี่ เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความซับซ้อนในการประมวลผลของการ แปลงฟูราเยร์ (Fast Fourier Transform) เพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลัง และรองรับการใช้งานย่าน ความถี่ต่าง ๆ ที่สูงมาก แบ่งออกเป็น 15 kHz, 30 kHz, 60 kHz, 120 kHz และสูงสุดที่ 240 kHz

## 2.2.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก (NOMA)

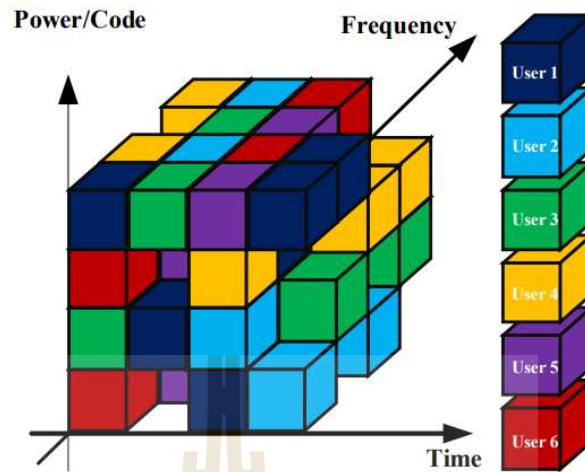
ในการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 5 และการสื่อสารในยุคถัดไปได้มีการพูดถึงถึงอย่างมากมายเพื่อรองรับความต้องการใช้งานในปัจจุบัน[11]การเชื่อมต่อของอุปกรณ์จำนวนมาก ความต้องการด้านความเร็วที่สูงขึ้น ความหน่วงที่ต่ำ เพื่อนำมาให้บริการในด้านต่างๆ ดังนั้นหนึ่งในเทคนิคที่สำคัญที่กำลังได้รับความสนใจและถูกพูดถึงอย่างมากมาย นั่นก็คือการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก ที่แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพเหนือกว่าการเข้าถึงช่องสัญญาณ

(OMA) สามารถให้สเปกตรัมความถี่ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและมีความยืดหยุ่นในการใช้สเปกตรัมและในแง่ของความเท่าเทียมกันของผู้ใช้งาน

การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก[2] ได้ถูกพูดถึงในการนำเสนอในการประชุม 3GPP Release 13 และ 3GPP Radio Access Network (RAN) มีการศึกษาเทคนิค NOMA ดาวน์ลิงค์ ในส่วนของ (Multiuser Superposition Transmission : MUST) โดยใช้วิธีการเข้ารหัสซ้อนทับ ที่สามารถช่วยให้ส่งข้อมูลของผู้ใช้งานหลายคนในช่วงเวลาเดียวกันในระบบ LTE-A ต่อมา 3GPP LTE Release 14 ได้กล่าวว่า NOMA สามารถช่วยกำจัดสัญญาณรบกวน และช่วยให้ระบบ LTE ให้บริการสัญญาณของผู้ใช้งานได้พร้อมกัน นอกจากนี้ การศึกษามาตรฐานของ NOMA สำหรับ 5G New Radio (NR) ใน 3GPP LTE Release 15 ได้กล่าวถึงรูปแบบการประมวลผลด้านภาคส่ง ในทำนองเดียวกันด้านภาครับก็จะมีพูดถึง Minimum Mean-Square Error (MMSE) receiver, เทคนิค SIC และเทคนิค Parallel Interference Cancellation (PIC) receiver การวิเคราะห์ NOMA ในการรองรับการบริการทั้งการใช้งานในรูปแบบ eMBB, mMTC and URLLC และในส่วนของ NOMA เวอร์ชันอัปลิงค์ ได้ถูกศึกษาใน 3GPP Release 16 และการสื่อสารในยุคถัดไป ยังพูดถึง NOMA ในนาม Layered Division Multiplexing (LDM) ที่ใช้ในมาตรฐานทีวีดิจิทัลในอนาคต ATSC 3.0 อย่างไรก็ตาม NOMA ยังคงมีความซับซ้อนของระบบ และยังคงถูกศึกษาอย่างต่อเนื่อง แม้ในปัจจุบันจะมีการพูดเทคนิคที่ใช้ในการสื่อสารยุคที่ 5 แล้ว แต่ NOMA ก็ยังได้รับความสนใจในการใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารยุคถัดไป

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก สามารถให้บริการผู้ใช้งานหลายคนในช่วงทรัพยากรเวลา หรือความถี่เดียวกัน โดยใช้การจัดสรรพลังงานที่แตกต่างกัน ที่สามารถช่วยให้การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากสามารถเพิ่มความจุได้มากขึ้น เพื่ออธิบายความเข้าใจถึง NOMA มากขึ้น จะแสดงรูปตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากในดาวลิงค์สถานีฐานจะมีการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานพร้อมกันโดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสซ้อนทับ (หัวข้อ 2.2.2.1) ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นคือการทับซ้อนสัญญาณที่ส่งออกมาพร้อมกันหรือกล่าวคือมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้น NOMA จึงมีการการจัดสรรกำลังส่งให้กับผู้ใช้งานตามการผกผันของสัญญาณ (Channel Inversion) เพื่อช่วยในการถอดข้อมูลของผู้ใช้ตามหลักการของการประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับหรือเอสไอซี (หัวข้อ 2.2.2.2) จึงช่วยให้สามารถลบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจนกระทั่งได้ข้อมูลของผู้ใช้งานเอง โดยผู้ใช้งานที่มีช่องสัญญาณที่แย่กว่าจะได้รับการจัดสรรกำลังส่งมากกว่าเพื่อช่วยลดการสูญเสียและเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใช้งานที่มีช่องสัญญาณที่ดีจะได้รับการจัดสรรพลังงานที่น้อยกว่า





รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของรูปแบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก [2]

#### 2.2.2.1 การเข้ารหัสซ้อนทับ (Superposition Coding : SC)

การเข้ารหัสซ้อนทับ เป็นเทคนิคที่ช่วยให้ NOMA สามารถที่จะส่งข้อมูลของผู้ใช้งานหลายคนพร้อมกันหรือกล่าวคือส่งข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน และการเข้ารหัสซ้อนทับ [12] สามารถคำนวณ โดยที่กำหนดให้

$$x = \sqrt{P}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) \quad (2.1)$$

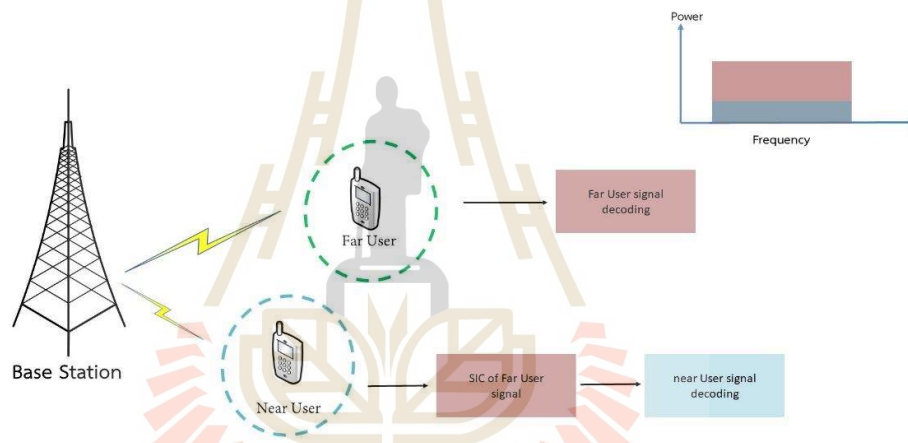
โดยที่  $x$  คือสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐาน  $P$  แทนกำลังส่งทั้งหมด  $x_1, x_2$  เป็นสัญญาณของผู้ใช้งานใกล้และไกล ตามลำดับ และกำหนดให้  $\alpha_1, \alpha_2$  การจัดสรรพลังงานของผู้ใช้งาน

#### 2.2.2.2 การประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับหรือเอสไอซี

(Successive Interference Cancellation : SIC)

การประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับ สามารถที่จะถอดรหัสสัญญาณของผู้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้วิธีการถอดรหัสของผู้ใช้งานรายอื่นก่อน หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกมองว่าเป็นสัญญาณรบกวนและจะถูกลบออกไป และสุดท้ายจะถอดรหัสสัญญาณของผู้ใช้สุดท้ายออกมา เช่น ในกรณีที่มีสัญญาณผู้ใช้งานสองราย ดังรูปที่ 2.3 คือ ผู้ใช้งาน

ใกล้และผู้ใช้งานไกล สัญญาณของผู้ใช้จะถูกส่งพร้อมกัน ดังนั้นจึงมีการถอดรหัสสัญญาณ ในการประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากจะพิจารณาความแรงของช่องสัญญาณด้วย เริ่มจากการถอดรหัสสัญญาณผู้ใช้งานไกล สัญญาณของผู้ใช้งานไกลจะถูกถอดรหัสก่อนเนื่องจากมีช่องสัญญาณที่ดีกว่า หลังจากถอดรหัสจะถือว่าเป็นสัญญาณรบกวนและจากถูกลบออก และสุดท้ายจะทำการถอดรหัสของของผู้ใช้งานใกล้ออกมา และในกรณีของผู้ใช้งานไกล จะถูกมองว่ามีช่องสัญญาณที่ดีเนื่องจากได้รับการจัดสรรพลังงานที่มาก จึงไม่จำเป็นที่จะใช้กระบวนการการประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับ สัญญาณของผู้ใช้งานใกล้จะถูกมองว่าเป็นสัญญาณรบกวน จึงสามารถถอดรหัสได้ทันที และการจัดสรรพลังงานจะช่วยขจัดเซกการสูญเสีย



รูปที่ 2.3 การถอดรหัสสัญญาณของผู้ใช้ด้วยเทคนิคการประยุกต์ใช้การตัดการแทรกสอดตามลำดับ

สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้เมื่อทำการตัดการแทรกสอดตามลำดับ สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$y_i = h_i x + n_i \quad (2.2)$$

สัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้งานใกล้ สามารถสรุปได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 y_{near} &= h_1 x + \omega_1 \\
 y_{near} &= h_1 \sqrt{P} (\sqrt{\gamma_1} x_1 + \sqrt{\gamma_2} x_2) + \omega_1 \\
 y_{near} &= \underbrace{h_1 \sqrt{P} (\sqrt{\gamma_1} x)}_{\text{interference \& dominating}} + \underbrace{h_1 \sqrt{\gamma_2} x_2}_{\text{desired \& lowpower}} + \underbrace{\omega_1}_{\text{noise}}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

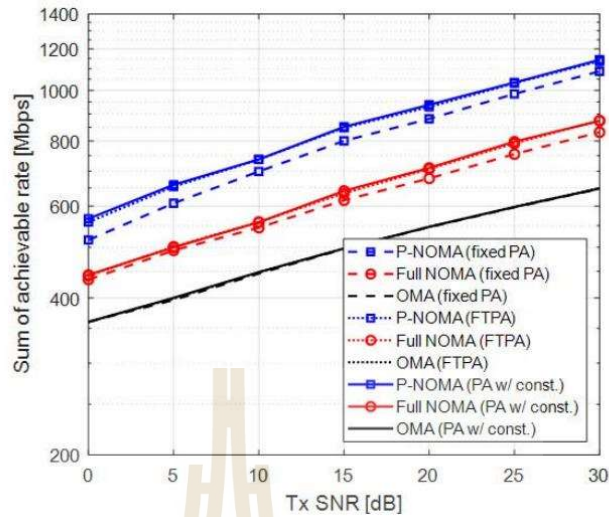
และสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้งานไกล เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 y_{far} &= h_1 x + \omega_1 \\
 y_{far} &= h_2 \sqrt{P} (\sqrt{\gamma_1} x_1 + \sqrt{\gamma_2} x_2) + \omega_2 \\
 y_{far} &= \underbrace{h_2 \sqrt{P} (\sqrt{\gamma_1} x)}_{\text{desired \& dominating}} + \underbrace{h_2 \sqrt{\gamma_2} x_2}_{\text{interference \& lowpower}} + \underbrace{\omega_2}_{\text{noise}}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

เมื่อ  $h_i$  แทนด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ช่องสัญญาณเชิงซ้อนระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน  $n_i$  แทนสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive white Gaussian noise : AWGN) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$  การตัดการแทรกสอดตามลำดับ ( $\delta$ ) จะมีค่าเป็นจำนวนจริงบวก 0 หรือ 1 ในเทคนิค NOMA และ P-NOMA กล่าวคือ กรณีที่มีการตัดการแทรกสอดตามลำดับได้สำเร็จ จะมีค่าเท่ากับ  $\delta = 0$  ก็คือสามารถถอดรหัสของสัญญาณผู้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ไม่มีสัญญาณรบกวนเหลืออยู่

### 2.2.3 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน (P-NOMA)

การศึกษาในงานวิจัย [4] นำแนวคิดของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วนในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบให้สูงขึ้น โดยประเมินจากอัตราผลรวม (The sum of achievable rate) มีการใช้รูปแบบการจัดสรรพลังงานที่แตกต่างกันร่วมกับการพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ เช่นการจัดสรรพลังงานแบบ Fixed Power Allocation, Fractional Transmission Power Allocation (FTPA) และ Optimal power allocation minimum rate constraint



รูปที่ 2.4 อัตรารวมที่ทำได้เทียบกับ SNR

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดสรรพลังงานทั้ง 3 รูปแบบส่งผลอัตรารวมที่ทำได้ของเทคนิค P-NOMA ดีกว่าเทคนิค NOMA และ OMA และวิธีที่ดีที่สุดของการจัดสรรพลังงานจะเป็นการจัดสรรพลังงานที่เหมาะสม ตามเงื่อนไขที่ถูกนำเสนอ ต่อมา [14] มีการนำเสนอการศึกษาการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากร่วมกับเทคโนโลยีลำแสงบีม (Beamforming) สำหรับคลื่นความถี่สูงในย่าน mmWave ที่เป็นคลื่นที่เหมาะสมกับเทคโนโลยี 5G มากไปกว่านั้นแสดงให้เห็นว่าระบบ P-NOMA น่าสนใจมากขึ้น จากกรวัดประสิทธิภาพการขาดหายของสัญญาณในระบบ ซึ่งแน่นอนว่าประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคอื่นๆ [8] และอีกสิ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยี คือ การให้บริการของผู้ใช้งานในด้านความเท่าเทียมของอัตราการส่งข้อมูล [5] มีการใช้ตัวชี้วัดในคำนวณการหาผลต่างของอัตราการส่งข้อมูล โดยใช้วิธีคำนวณช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล (Achievable rate gap) และนำเสนอทฤษฎีของ Jain' fairness [17] เพื่อแสดงให้เห็นความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งานใกล้และไกล

การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน เป็นเทคนิคแบบไฮบริด กล่าวคือเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคของ NOMA และ OFDMA ร่วมกัน ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบดาวลิงค์ให้สูงขึ้นรวมทั้งความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน [5],[14] และ [17] เทคนิค NOMA มีการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานทั้งหมดในการส่งข้อมูลพร้อมกัน ก็คือสามารถใช้แบนด์วิดท์สูงสุด แต่ P-NOMA จะมีพิจารณาการทับซ้อนกันของสัญญาณเพียงบางส่วน ซึ่งมีทั้งสัญญาณของผู้ใช้งานที่มีการทับซ้อนกันและในกรณีที่ไม่มีสัญญาณของผู้ใช้ทับซ้อนกัน แนวคิดนี้ช่วยให้สามารถลด

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ และเพื่อปรับปรุงระบบเทคโนโลยีการสื่อสารให้สูงขึ้น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่า NOMA

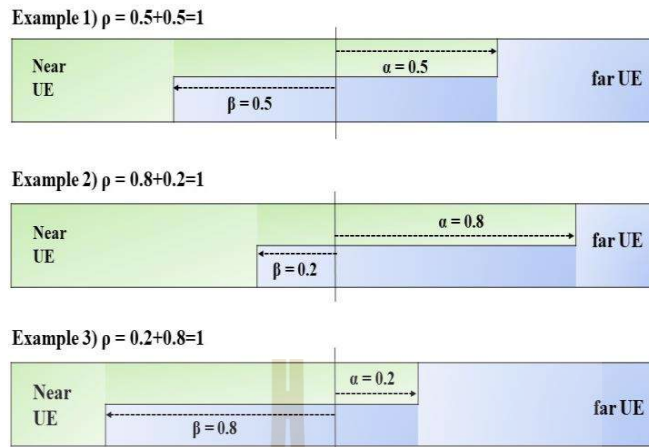
พื้นฐานของเทคนิค P-NOMA ก็คือการแบ่งความถี่เป็นช่องเล็กเป็น Subcarrier คือผู้ใช้จะได้รับการกำหนดจำนวน Subcarrier โดยทั่วไปของเทคนิค NOMA จะสามารถใช้ bandwidth ได้ทั้งหมด จากนั้นผู้ใช้งานใน P-NOMA จะสามารถได้รับการบริการให้ช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้โดเมนพลังงานตามหลักการของ NOMA การจัดสรรพลังงานให้กับผู้ใช้ แนวคิดของหลักการนี้คือช่วยลดการรบกวนของสัญญาณที่เกิดขึ้นพร้อมกัน การปรับขนาดความเร็วของการส่งข้อมูลได้ง่าย ถ้าต้องการความเร็วที่สูงก็ใช้ Subcarrier จำนวนมาก แต่ก็จะขึ้นอยู่กับ bandwidth ของคลื่นพาห์ ดังนั้นจึงช่วยอัตราการส่งข้อมูลของผู้ที่มีความเท่าเทียมกันมากขึ้น

เพื่อแสดงให้เห็นถึงอัตราการทับซ้อนของสัญญาณในเทคนิค P-NOMA มากขึ้น กำหนดให้พารามิเตอร์ของอัตราการทับซ้อนสัญญาณผู้ใช้งานทั้งหมด สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\rho = \alpha + \beta \quad (2.5)$$

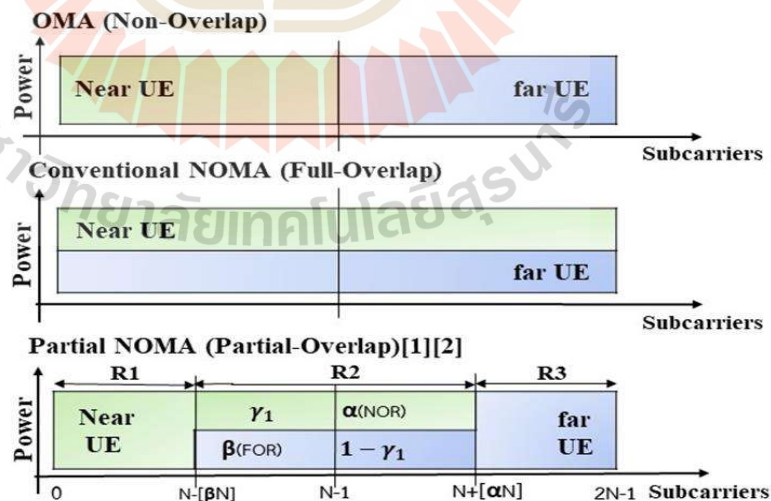
โดยที่  $\rho$  คือ อัตราการทับซ้อนสัญญาณผู้ใช้งานทั้งหมด (Total Overlap Ratio :TOR)  
 $\alpha$  คือ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้ (Near UE's Overlap Ratio : NOR)  
 $\beta$  คือ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกล (Far UE's Overlap Ratio : FOR)

การพิจารณาการทับซ้อนของสัญญาณ (Overlap Ratio) ที่เป็นพารามิเตอร์สำคัญในเทคนิคนี้ คือ การปรับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน ซึ่งปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณาประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ความกว้างและตำแหน่งของการทับซ้อน ในความกว้างของการทับซ้อนจะเกิดได้จากสัญญาณรบกวนกันระหว่างผู้ใช้งานเอง และเพื่ออธิบายถึงตำแหน่งการทับซ้อน ดังรูป 2.5 จะยกตัวอย่างให้เห็นถึงกรณีที่ความกว้าง TOR เท่ากัน ในกรณีที่ 1 สัญญาณรบกวนระหว่างผู้ใช้ใกล้และไกลเท่ากัน และในกรณีที่ 2 ผู้ใช้งานใกล้ได้รับสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่เกิดจากตำแหน่งของผู้ใช้ใกล้ และในกรณีที่ 3 ผู้ใช้งานใกล้ได้รับสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่จากตำแหน่งของผู้ใช้งานไกล และในการปรับ NOR และ FOR จะถูกนำไปใช้ในเงื่อนไขของคำนวณอัตราส่วนที่กำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการพิจารณาอัตราการใช้ช่อง (TOR=1)

ภาพที่ 2.6 อธิบายตัวอย่างการพิจารณาการใช้ช่องในแต่ละเทคนิค กรณีของผู้ใช้งานใกล้และไกล ในเทคนิค OMA, NOMA และ P-NOMA ตามลำดับ เทคนิค OMA เป็นกรณีของผู้ใช้งานมีการแบ่งแบนด์วิดท์ ดังนั้นแต่ละช่องสัญญาณของผู้ใช้งานไม่มีการรบกวนกัน เทคนิค NOMA สามารถที่จะให้บริการผู้ใช้งานได้พร้อมกัน สัญญาณของผู้ใช้งานจึงมีการรบกวนกันเกิดขึ้น และ P-NOMA จะพิจารณาทั้งในกรณีที่ผู้ใช้ใกล้และไกลไม่มีการทับซ้อน และมีการรบกวนกันเกิดขึ้นบางส่วน



รูปที่ 2.6 แบบจำลองการเข้าถึงช่องสัญญาณแต่ละเทคนิคด้วยผู้ใช้สองคน



โดยจะกำหนดให้มีเงื่อนไขของการกำหนดจำนวน subcarrier ตามอัตราการใช้ของ  
 ของผู้ใช้งานใกล้เคียง ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

$$R1: 0 \leq k \leq N - [\beta N] \quad (2.6)$$

$$R2: (N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N] \quad (2.7)$$

$$R3: (N + [\alpha N]) \leq k \leq 2N \quad (2.8)$$

โดยที่ R1 คือ เงื่อนไขของการกำหนดจำนวน Subcarrier ให้ผู้ใช้งานใกล้เคียง

R2 คือ เงื่อนไขของการกำหนดจำนวน Subcarrier ให้ผู้ใช้งานใกล้เคียง  
 ผู้ใช้งานใกล้เคียง

R3 คือ เงื่อนไขของการกำหนดจำนวน Subcarrier ให้ผู้ใช้งานใกล้เคียง

#### 2.2.4 การสูญเสียกำลัง (Path Loss)

การสูญเสียกำลัง (Path loss) จะถูกพิจารณาในการจำลองช่องสัญญาณของ  
 เทคนิค P-NOMA คือการที่สัญญาณที่ได้รับได้ถูกลดทอนหรือรับได้ต่ำ หมายความว่าสัญญาณของ  
 ภาครับมีกำลังสัญญาณน้อยกว่าที่ส่งออกมา เนื่องจากอาจมีผลกระทบของสัญญาณกระเจิง สัญญาณ  
 เลี้ยวเบน สัญญาณสะท้อน เป็นต้น ทำให้กำลังมีการลดลงตามระยะทาง ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับ  
 สภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางตามสภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อม	เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง
ชนบท	2.5
เขตเมือง	2.7-3.5
ภายในโรงงาน	2.0-3.0
ภายในอาคารที่มี LOS	1.6-1.8
ภายในอาคารที่ไม่มี LOS	4.0-6.0
เขตเมืองที่มีการบดบังของตึกสูง	3.0-5.0
ช่องว่างอิสระ	2.0

### 2.2.5 แบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ (Rayleigh fading channel)

แบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ (Rayleigh fading channel) มีความกระจายตัวอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน เกิดจากการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใด ในการรับสัญญาณมากกว่า 1 เส้นทาง การสะท้อน การแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงในสภาพแวดล้อม ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากคลื่นหลายวิธีจำนวนมาก สามารถเขียนได้ดังนี้

$$h = N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + jN\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.9)$$

โดยที่  $h$  แทนแบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ และ  $N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$  แทนการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  โดยช่องสัญญาณมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน

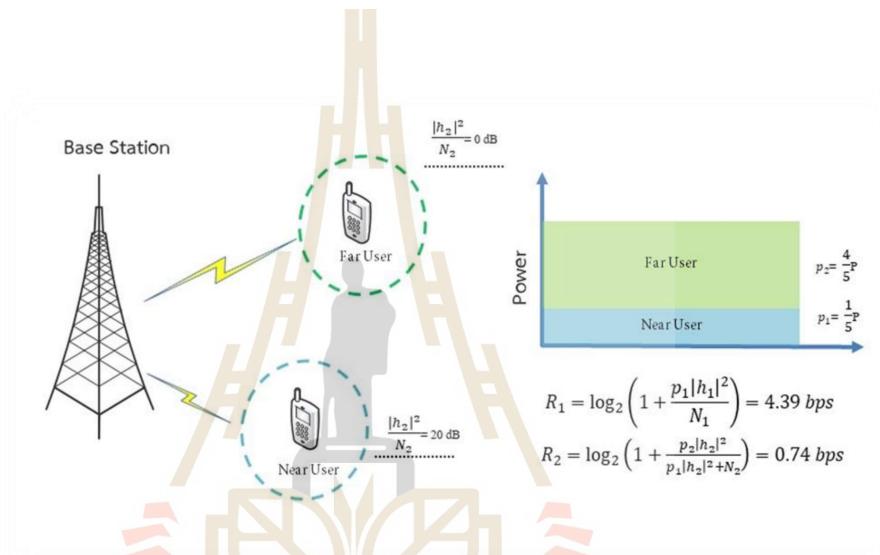
การจำลองระบบด้วยเทคนิค P-NOMA เป็นการจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่ง่าย และถูกใช้ในการจำลองช่องสัญญาณของระบบเป็นจำนวนมาก

### 2.3 การจัดสรรพลังงานของแต่ละเทคนิค

การจัดสรรพลังงานในเทคนิคของ NOMA และ P-NOMA เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ทำให้สามารถรองรับการให้บริการของผู้ใช้งานได้พร้อมกัน และในส่วนของเทคนิค OFDMA เป็นการให้บริการผู้ใช้งานโดยจากการแบ่งความถี่ ซึ่งจะเป็นการแบ่งแบนด์วิดท์ที่เท่ากัน ดังนั้นในการจัดพลังงานของผู้ใช้จะเท่ากัน ในหัวข้อของการจัดพลังงานจะแสดงให้เห็นว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของระบบและความเท่าเทียมของผู้ใช้งานอย่างไร

อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานของเทคนิค OFDMA และ NOMA จากการจัดสรรพลังงานจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.7 สถาปนาฐานส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้งาน โดยกำหนดให้  $|h_{near}|^2/N$  ของผู้ใช้งานใกล้จะมีช่องสัญญาณที่ดีกว่าก็คือ 20 dB และผู้ใช้งานไกล  $|h_{far}|^2/N = 0$  dB ตามลำดับ สำหรับเทคนิค OFDMA จะกำหนดให้กำลังส่งหรือการจัดสรรพลังงาน เท่ากับ  $P_1 = P_2 = 1/2 P$  เมื่อคำนวณอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละผู้ใช้ใกล้และไกล จะเท่ากับ  $R_{near} = 3.33$  และ  $R_{far} = 0.50bps$

ตามลำดับ และสำหรับการจัดสรรพลังงานในเทคนิคของ NOMA ผู้ใช้งานใกล้ได้รับช่องสัญญาณที่ดี จะได้รับจัดสรรกำลังส่งที่น้อยกว่า โดยที่  $P_1 = 1/5 P$  และผู้ใช้ไกลมีช่องสัญญาณที่แย่กว่าทำให้มีการจัดสรรกำลังส่งที่มากกว่า  $P_2 = 4/5 P$  จากสมการจะเห็นได้ว่า อัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ (Achievable rate) ของผู้ใช้งานใกล้และผู้ใช้งานไกล เท่ากับ  $R_{near} = 4.39$  และ  $R_{far} = 0.74 bps$  แม้ว่าจะมีการจัดสรรกำลังส่งให้กับผู้ใช้งานไกลมากกว่าแล้วก็ตาม อัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานก็ยังมีผลที่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ใกล้และไกลของเทคนิค NOMA และ OFDMA ปรากฏว่าในเทคนิค NOMA เพิ่มขึ้นถึง 32% และ 48% ตามลำดับ [10][15]



รูปที่ 2.7 แบบจำลองการส่งสารดาวลิงค์การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉาก

เทคนิค P-NOMA จะมีการคำนวณอัตราการส่งข้อมูลตามการกำหนดผู้ใช้ภายในชั้นแคเรีย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือไม่มีการทับซ้อนของสัญญาณ โดยการกำหนดกำลังส่งทั้งหมดให้กับผู้ใช้ และในส่วนที่การทับซ้อนของสัญญาณ ซึ่งจะใช้แนวคิดการจัดสรรพลังงานเทคนิค NOMA ก็คือมีการจัดสรรพลังงานที่แตกต่างกันให้กับผู้ใช้งานใกล้และไกล และในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้ไม่มีการรบกวน ผู้ใช้ใกล้และไกลจะได้รับการจัดสรรพลังงานทั้งหมด

จากตารางที่ 2.3 จะแสดงให้เห็นถึงสรุปการเปรียบเทียบสมการอัตราการส่งข้อมูลด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน โดยการจัดสรรพลังงานที่แตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 2.3 สมการการคำนวณของอัตราการส่งข้อมูลในแต่ละเทคนิค

อัตราการส่งข้อมูล เทคนิค	อัตราการส่งข้อมูลผู้ใช้ใกล้	อัตราการส่งข้อมูลผู้ใช้ไกล
OMA	$R_n = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 P}{\sigma^2} \right)$	$R_f = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P}{\sigma^2} \right)$
Conventional NOMA	$R_n = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 P \gamma_1}{\sigma^2} \right)$	$R_f = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P (1 - \gamma_1)}{ h_f ^2 P \gamma_1 + \sigma^2} \right)$
P-NOMA	$R_n = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 P}{\sigma^2} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 P \gamma_1}{\delta  h_f ^2 P (1 - \gamma_1) + \sigma^2} \right)$	$R_f = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P}{\sigma^2} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P (1 - \gamma_1)}{ h_f ^2 P \gamma_1 + \sigma^2} \right)$
Proposed	$R_n = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 \gamma_2 P}{\sigma^2} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{ h_n ^2 P \gamma_1}{\delta  h_f ^2 P (1 - \gamma_1) + \sigma^2} \right)$	$R_f = \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P}{\sigma^2} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{ h_f ^2 P (1 - \gamma_1)}{ h_f ^2 P \gamma_1 + \sigma^2} \right)$

## 2.4 ตัวชี้วัดการวัดสมรรถนะของระบบสื่อสาร

เพื่อแสดงให้เห็นอัตรารวมที่ทำได้ของผู้ใช้งาน หรืออัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้และไกล ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของผู้ใช้งาน รวมทั้งการจำลองผลเพื่อแสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียม ในเทคนิค P-NOMA สามารถพิจารณาได้จากสมการดังนี้

### 2.4.1 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณ

รบกวน SINR และอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้

การคำนวณอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ที่ทำได้ โดยที่ SINR ของผู้ใช้งานใกล้และไกล ในเทคนิค P-NOMA จะมีการพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ  $\alpha, \beta$  และการจัดสรรพลังงานร่วมกัน ดังนั้น SINR ที่ได้รับของผู้ใช้ใกล้ สามารถเขียนได้เป็น

$$SINR_{near}[k] = \begin{cases} |H_{near}[k]|^2 P_k / \sigma^2 & k \text{ is in R1} \\ \frac{|H_{near}[k]|^2 \gamma P_k}{\delta |H_{near}[k]|^2 (1-\gamma) P_k + \sigma^2} & k \text{ is in R2} \end{cases} \quad (2.10)$$

และ SINR ที่รับได้ของผู้ใช้งานไกล เขียนได้ดังนี้

$$SINR_{far}[k] = \begin{cases} \frac{|H_{far}[k]|^2 (1-\gamma) P_k}{|H_{far}[k]|^2 \gamma P_k + \sigma^2}, & k \text{ is in R2} \\ |H_{far}[k]|^2 P_k / \sigma_k^2, & k \text{ is in R3} \end{cases} \quad (2.11)$$

โดยที่  $H_{near}[k], H_{far}[k]$  = ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานใกล้และไกล ซึ่งจะ พิจารณาการ สูญเสีย กำลังและช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ (Rayleigh fading channel)

$\sigma_k$  = ค่าความอิสระต่อกันและการแจกแจงเหมือนกัน (independent and identically distributed) แบบสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive white Gaussian noise : AWGN)

$P_k$  = กำลังส่งทั้งหมดของผู้ใช้งาน

$\delta$  = การตัดการแทรกสอดตามลำดับ (SIC)

$\gamma$  = การจัดสรรพลังงานชั้นแรก

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$R_{near} = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2 (1 + SINR_{near}[k]) \quad (2.12)$$

$$R_{far} = \Delta \sum_{k \in [R2, R3]} \log_2 (1 + SINR_{far}[k]) \quad (2.13)$$

และอัตราการส่งข้อมูลทั้งหมดของผู้ใช้งาน คำนวณได้จาก

$$R_{sum} = R_{near} + R_{far} \quad (2.14)$$

## 2.5 ความเท่าเทียม

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน มีวิธีที่แสดงให้เห็นถึงผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ชัดเจน หรือจะเป็นวิธีการคำนวณให้เห็นในรูปแบบของค่าคงที่ หรือเปอร์เซ็นต์ความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน ในหัวข้อนี้จะอธิบายแนวทางการคำนวณความไม่เท่าเทียม ดังนี้

### 2.5.1 ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ [3]

ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล คือผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ใกล้และไกล เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียม สามารถคำนวณได้จาก

$$R_{gap} = |R_{near} - R_{far}| \quad (2.15)$$

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงความต่างของอัตราการส่งข้อมูล ถ้าหากมีผลต่างที่น้อยที่สุดก็จะมีค่าความเท่าเทียมมากที่สุด

### 2.5.2 Jain' fairness index [17][19]

ในบทความ[4] เสนอวิธีการนำอัตราผลรวมระหว่างผู้ใช้งานมาคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นถึงความความเท่าเทียม อัตราผลรวมของผู้ใช้ใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$S_n = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2 (1 + SINR_{near} [k]) \quad (2.16)$$

$$S_f = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2 (1 + SINR_{far} [k])$$



ดังนั้นทฤษฎี Jain' fairness สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$F = \frac{\left( \sum_{m=1}^M S_m \right)^2}{M \sum_{m=1}^M (S_m)^2} \quad (2.17)$$

ค่า index ความเท่าเทียมจะมีค่าเท่ากับ  $1/M \leq F \leq 1$  โดยที่  $F=1$  เมื่ออัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้เคียงและใกล้เคียงกัน และค่าความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้ต้องไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1/M$  หรือ  $F=1/2$  เมื่อพิจารณาผู้ใช้เพียงสองคนในระบบ

## 2.6 สรุป

จากที่กล่าวไปข้างต้น เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลักการของเทคนิค OFDMA NOMA และ P-NOMA ซึ่งแต่ละเทคนิคสามารถที่จะทำงานร่วมกันได้ อย่างที่อธิบายไปข้างต้น เทคนิค P-NOMA เป็นเทคนิคแบบไฮบริดระหว่าง OFDMA และ NOMA ดังนั้นจึงพิจารณาการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน ผู้ใช้จะได้รับการกำหนดจำนวน Subcarrier เพื่อที่จะสามารถปรับขนาดความเร็วของการส่งข้อมูลได้ง่ายจากจำนวนของ Subcarrier และการอธิบายแนวทางการแสดงผลของความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูล เพื่อใช้ในการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ เพื่อปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณไม่ตั้งฉากบางส่วน ของงานวิจัยนี้ โดยผู้วิจัยนำเสนอวิธีการจัดสรรพลังงานสองชั้น เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้เพื่อให้เกิดความเท่าเทียม ซึ่งจะเป็นการศึกษาวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรกร่วมกับการจัดสรรพลังงานสองชั้น รวมทั้งพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ จากนั้นนำเสนออัลกอริทึมของวิธีการจัดสรรพลังงานที่ช่วยลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานได้มากที่สุด และเพื่อให้แน่ใจว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้นมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจะนำเสนอการความน่าจะเป็นของการขาดหายเมื่อส่งข้อมูลของผู้ใช้งานเทียบกับการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดพลังงานสองชั้น

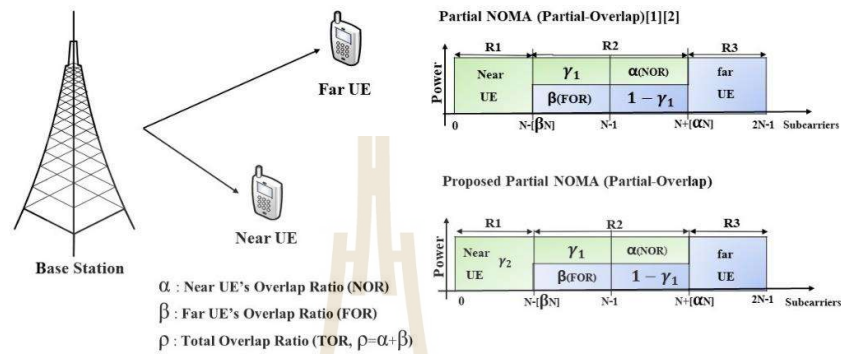
#### 3.2 การจำลองระบบ

การจำลองระบบ จะกล่าวถึงเทคนิคของ P-NOMA โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองผล วิเคราะห์และการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยจะอธิบายเริ่มจากแบบจำลองระบบ การจัดสรรพลังงานชั้นแรก การจัดสรรพลังงานสองชั้น แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน

##### 3.2.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณไม่ตั้งฉากบางส่วน [4]-[5]

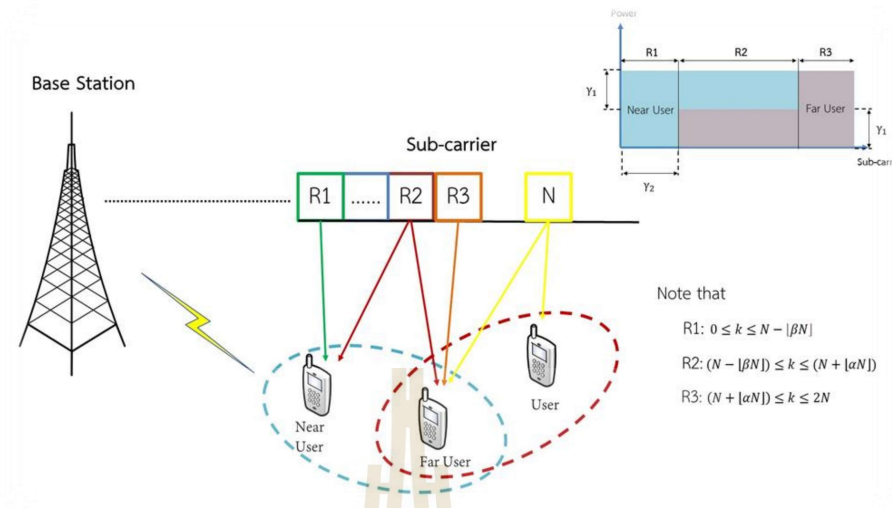
เทคนิค P-NOMA เป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและความเท่าเทียมของผู้ใช้งานให้สูงขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจัดสรรพลังงานสองชั้น เพื่อวิเคราะห์อัตราการส่งของผู้ใช้งานใกล้และไกล การจำลองระบบ เป็นช่องสัญญาณดาวนลิงค์ เป็นการพิจารณา รูปแบบของเทคนิค NOMA กับ OFDMA เป็นพื้นฐาน ซึ่งคือเทคนิค P-NOMA กำหนดให้เป็นการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้งานเพียงสองคน โดยผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐานเรียกว่า ผู้ใช้งานใกล้ (Near User) ที่ได้รับ

สัญญาณจากช่องสัญญาณเดียวกันแต่อยู่ไกลจากสถานีฐานว่า ผู้ใช้งานไกล (Far User) ในระบบจะเป็นการพิจารณาอัตราการใช้ของสัญญาณจากการส่งข้อมูลออกมาพร้อมกัน และมีการปรับอัตราส่วนของการทับซ้อนบางส่วน ที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการเข้าถึงช่องสัญญาณไม่ตั้งฉากบางส่วน

การจำลองรูปแบบการจัดสรรผู้ใช้งานในเทคนิค P-NOMA ในช่วงของแต่ละ Subcarriers ตามการพิจารณาอัตราการใช้ของสัญญาณ ในกรณีที่กำลังกล่าวถึง คือ การศึกษาการทับซ้อนเพียงบางส่วนของสัญญาณ ถ้าหากว่าอัตราการใช้มีค่า TOR เท่ากันทั้งคู่ สมมติว่า  $NOR = 0.1$  และ  $FOR = 0.9$  หมายความว่า ผู้ใช้งานไกลได้รับสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่จากผู้ใช้งานใกล้ และสัญญาณของผู้ใช้ใกล้ทับซ้อนเพียงเล็กน้อย โดยที่ อัตราการใช้ของสัญญาณจะถูกพิจารณาการกำหนดจำนวนแต่ละ Subcarriers ก็จะถูกคำนวณตามเงื่อนไขของ R1, R2 และ R3 ดังรูปที่ 3.2 เพื่อที่จะสามารถคำนวณหาขนาดความเร็วของการส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการจัดสรร Subcarrier สำหรับผู้ใช้งาน

### 3.2.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

จากการจำลองในรูปแบบระบบของเทคนิค P-NOMA เมื่อทำการส่งสัญญาณของผู้ใช้งานพร้อมกัน เทคนิคที่ช่วยให้สามารถที่จะส่งข้อมูลของผู้ใช้งานหลายคนพร้อมกันหรือกล่าวคือส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน คือ การเข้ารหัสซ้อนทับ สามารถคำนวณ โดยที่กำหนดให้

$$x = \sqrt{P_1} \left( \sqrt{\alpha_{near}} x_1 + \sqrt{\alpha_{far}} x_2 \right) \quad (3.1)$$

และเมื่อสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้งานจากภาคส่งโดยสถานีฐาน สรุปได้ดังนี้

$$y_i = h_i x + n_i \quad (3.2)$$

โดยที่  $n_i$  แทนสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive white Gaussian noise : AWGN) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$  และ  $h_i$  คือ แบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเรเลย์ (Rayleigh fading channel) มีความกระจายตัวอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน และมีการสูญเสียกำลัง จะมีค่าขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ประมาณ 2-4 สามารถสรุปการเขียนได้ดังนี้

$$h_{near} = N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + jN\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.3)$$

$$h_{far} = N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + jN\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.4)$$

โดยที่  $N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$  แทนด้วยส่วนจริงและส่วนจินตภาพและทั้งสองส่วนนี้เป็นการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  โดยช่องสัญญาณมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน

### 3.2.3 การจัดสรรพลังงานชั้นแรก (First Power Allocation: $\gamma_1$ )

การจัดสรรพลังงานชั้นแรก เป็นการกำหนดพลังงานให้กับผู้ใช้งานตามการผกผันของช่องสัญญาณ นิยามของการจัดสรรพลังงานในบทความนี้ เป็นการวิเคราะห์ตามความเหมาะสมของผู้ใช้งาน โดยที่จะกำหนดให้การจัดสรรพลังงานชั้นแรก คือ  $0 \leq \gamma_1 \leq 1$  การจัดสรรพลังงานในเทคนิคนี้จะถูกกำหนดให้กับผู้ใช้งานใกล้และไกล ตามเงื่อนไขของการกำหนดจำนวน Subcarriers ในเงื่อนไขของการแบ่งแบนด์วิดท์ ในช่วงคลื่นพาห้อย่อยที่  $(N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N]$  หรือ R2 กำหนดให้ผู้ใช้งานใกล้และไกล อยู่ในการบริการเดียวกัน สัญญาณของผู้ใช้งานจึงมีอัตราการใช้ช่องสัญญาณที่ต่างกันอยู่ ดังนั้น ผู้ใช้งานที่อยู่ในเงื่อนไขของ R2 จะได้รับการจัดสรรพลังงานชั้นแรกให้กับผู้ใช้งานใกล้และไกล ซึ่งอัตราการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานใกล้และไกล มีค่าเท่ากับ  $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$  ตามลำดับ ตัวอย่างของการคำนวณเพื่อที่จะกำหนดจำนวน Subcarrier ให้กับผู้ใช้งาน อย่างเช่นในกรณีที่อัตราการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานใกล้ NOR = 0.2 และอัตราการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานไกล FOR = 0.3 จะนำมาคำนวณการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้งานแต่ละราย เพื่ออัตราการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งาน และเงื่อนไขของ R3 คือ  $(N + [\alpha N]) \leq k \leq 2N$  กำหนดให้มีเพียงผู้ใช้งานไกลเท่านั้น ดังนั้น กรณีนี้ผู้ใช้งานไม่ได้รับสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้งานอื่น ซึ่งจะได้รับจัดสรรพลังงานทั้งหมด การจัดสรรพลังงานชั้นแรกจะถูกพิจารณาให้กับผู้ใช้งาน ในการคำนวณหาอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน เพื่อหาอัตราการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งาน การจัดสรรตามความเหมาะสมของแต่ละผู้ใช้งานหรือเป็นการแบ่งพลังงานกันตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน

### 3.2.4 การจัดสรรพลังงานสองชั้น (Double Power Allocation: $\gamma_2$ )

การจัดสรรพลังงานสองชั้น ถูกนำเสนอในงานนี้เพื่อช่วยลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งาน เป็นการเพิ่มการจัดสรรพลังงานให้กับผู้ใช้ใกล้ เพียงคนเดียว ซึ่งจะต้องอยู่ภายในเงื่อนไขของ R2:  $0 \leq k \leq N - [\beta N]$  เมื่อพิจารณาเงื่อนไขของการจัดสรรจำนวน Subcarriers การจัดสรรพลังงานสองชั้น จะช่วยในการปรับพลังงานใช้น้อยลงหรือเพิ่มขึ้นตามความเหมาะสม ในการจำลองผลของอัตราการส่งข้อมูล และเพื่อปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

### 3.2.5 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน

เมื่อทำการพิจารณาอัตราการทับซ้อนของแต่ละผู้ใช้งานแล้ว จะนำมาคำนวณหา SINR ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ดังนี้

$$SINR_{near}[k] = \begin{cases} |H_{near}[k]|^2 P_k / \sigma^2 & k \text{ is in R1} \\ \frac{|H_{near}[k]|^2 \gamma P_k}{\delta |H_{near}[k]|^2 (1-\gamma) P_k + \sigma^2} & k \text{ is in R2} \end{cases} \quad (3.5)$$

และ SINR ที่รับได้ของผู้ใช้งานไกล เขียนได้ดังนี้

$$SINR_{far}[k] = \begin{cases} \frac{|H_{far}[k]|^2 (1-\gamma) P_k}{|H_{far}[k]|^2 \gamma P_k + \sigma^2} & k \text{ is in R2} \\ |H_{far}[k]|^2 P_k / \sigma_k^2 & k \text{ is in R3} \end{cases} \quad (3.6)$$

### 3.2.6 อัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ของแต่ละผู้ใช้

เพื่อที่จะวิเคราะห์อัตราการส่งข้อมูล ในการศึกษาอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้และไกล NOR และ FOR และการจัดสรรพลังงานร่วมกัน ทั้งการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและสองชั้น จากสมการที่ (3.5) และ (3.6) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้



$$R_{near} = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2(1 + SINR_{near}[k]) \quad (3.7)$$

$$R_{far} = \Delta \sum_{k \in [R2, R3]} \log_2(1 + SINR_{far}[k]) \quad (3.8)$$

และอัตราการส่งข้อมูลทั้งหมดของผู้ใช้งาน คำนวณได้จาก

$$R_{sum} = R_{near} + R_{far} \quad (3.9)$$

### 3.2.7 ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้

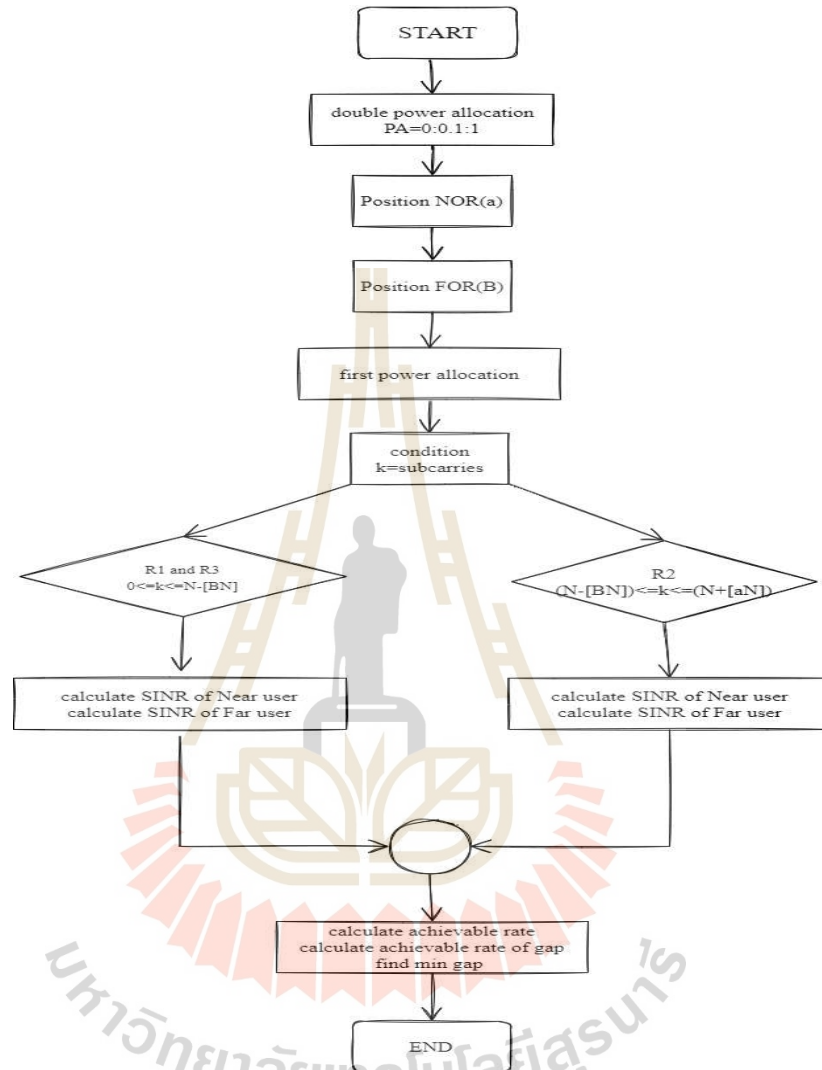
ในงานวิจัยนี้การศึกษาความเท่าเทียมของผู้ใช้งานในเทคนิค P-NOMA เราจะศึกษาช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล โดยจะสังเกตและวิเคราะห์อัตราการทับซ้อนของสัญญาณของผู้ใช้งานใกล้และไกล NOR และ FOR นิยามของความเท่าเทียมคือ อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานมีค่าเท่ากัน หรือผลต่างที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งเราเสนอวิธีการที่จะแสดงให้เห็นถึงความเท่ากัน สามารถเขียนได้เป็น

$$R_{gap} = |R_{near} - R_{far}| \quad (3.10)$$

### 3.3 หลักการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานนี้

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ทำให้เกิดความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้ด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น เราจะอธิบายถึงวิธีการที่นำเสนอซึ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

## 3.3.1 Algorithm 1



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของอัลกอริทึมที่ 1

วิธีการที่ 1 สำหรับวิธีการดำเนินการ การจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น ในขั้นตอนแรกจะเป็นการกำหนด subcarrier ให้กับผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้ และไกล ทีละจุด เริ่มจากกรณีที่ไม่มีการทับซ้อน การเกิดการทับซ้อนเพียงบางส่วนของสัญญาณ จนกระทั่งมีการทับซ้อนกันทั้งหมด สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$UE_{near} \begin{cases} R1[k] = 0 \leq k \leq N - [\beta N] \\ R2[k] = (N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N] \end{cases} \quad (3.11)$$

$$UE_{far} \begin{cases} R2[k] = (N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N] \\ R3[k] = (N + [\alpha N]) \leq k \leq 2N \end{cases} \quad (3.12)$$

โดยที่  $N$  คือ Fast Fourier Transform (FFT) size of UEs' signals และอัตรา  
การทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้และไกลเท่ากับ  $0 \leq \alpha \leq 1$  และ  $0 \leq \beta \leq 1$  ตามลำดับ

จากนั้นจะทำการคำนวณโดยใช้การจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงาน  
สองชั้นในสมการของ SINR แต่ละผู้ใช้งาน ดังนี้

$$SINR_{near}[k] = \begin{cases} |H_{near}[k]|^2 \gamma_2 P_k / \sigma^2 & k \text{ is in R1} \\ \frac{|H_{near}[k]|^2 \gamma_1 P_k}{\delta |H_{near}[k]|^2 (1 - \gamma_1) P_k + \sigma^2} & k \text{ is in R2} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$SINR_{far}[k] = \begin{cases} \frac{|H_{far}[k]|^2 (1 - \gamma_1) P_k}{|H_{far}[k]|^2 \gamma_1 P_k + \sigma^2} & k \text{ is in R2} \\ |H_{far}[k]|^2 P_k / \sigma_k^2 & k \text{ is in R3} \end{cases} \quad (3.14)$$

จากสมการที่ (3.13) และ (3.14) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่ทำ  
ได้ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$R_{near}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2(1 + SINR_{near}[k]) \quad (3.15)$$

$$R_{far}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R2, R3]} \log_2(1 + SINR_{far}[k]) \quad (3.16)$$

การหาอัตราผลรวมที่ทำได้ของผู้ใช้งาน จากสมการที่ (3.15) และ (3.16) ในวิธีการนี้จะเก็บค่าของอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุดของแต่ละผู้ใช้งาน จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2}{\text{maximize}} \quad R_{sum} = R_{near} + R_{far} \quad (3.17)$$

และจะคำนวณหาค่าความเท่ากันระหว่างผู้ใช้งาน สรุปได้ดังนี้

$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2}{\text{minimize}} \quad R_{gap} = |R_{near} - R_{far}| \quad (3.18)$$

สรุปวิธีการนี้เป็นการหาคำตอบ โดยการป้อนข้อมูลที่ใช้ไปทั้งหมด เพื่อหาคำตอบออกมาโดยเป็นการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละตำแหน่ง การจัดสรรพลังงานทั้งสองวิธีจะถูกหาค่าที่เหมาะสมตามความต้องการของวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาค่าความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน ข้อมูลที่ถูกป้อนในการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

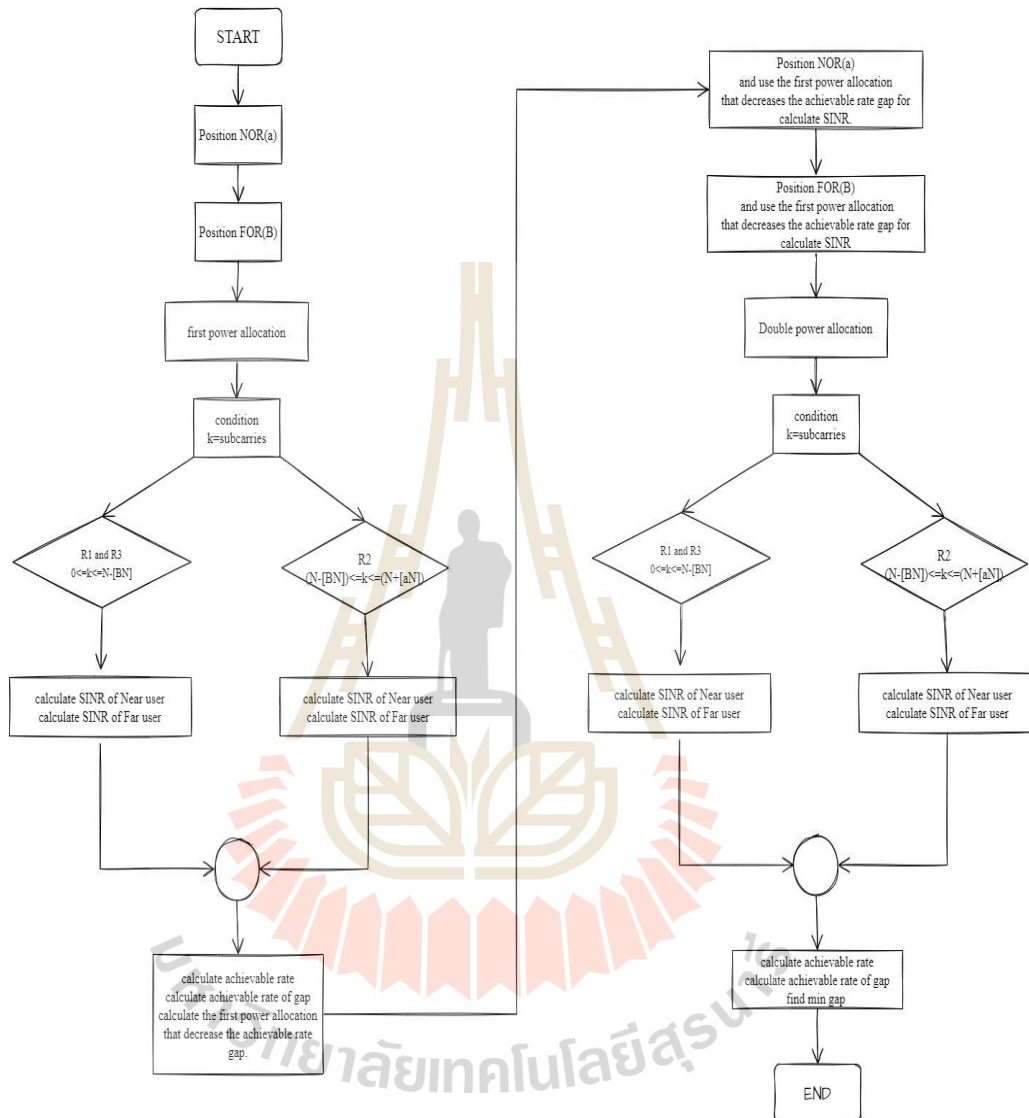
$$\text{Subject to} \quad 0 \leq \gamma_1 \leq \gamma_{max}, 0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_{max} \quad (3.19)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$$

$$R_{sum}(\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2)$$

$$R_{gap}(\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2)$$

## 3.3.2 Algorithm 2



รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของอัลกอริทึมที่ 2

วิธีการที่ 2 ในการปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานให้มีความเท่าเทียมกัน วิธีนี้เป็น การหาคำตอบใน ส่วนของการจัดสรรพลังงานชั้นแรก ร่วมกับการพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณในทุกตำแหน่ง ที่ทำให้ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลมีค่าน้อยที่สุดก่อน และในขั้นตอนแรกก็จะเป็นการคำนวณจำนวนคลื่นพาห์ย่อยของแต่ละผู้ใช้ในแต่ละกรณีของ NOR และ FOR สามารถเขียนได้ดังนี้

$$UE_{near} \begin{cases} R1[k] = 0 \leq k \leq N - [\beta N] \\ R2[k] = (N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N] \end{cases} \quad (3.20)$$

$$UE_{far} \begin{cases} R2[k] = (N - [\beta N]) \leq k \leq N - [\alpha N] \\ R3[k] = (N + [\alpha N]) \leq k \leq 2N \end{cases} \quad (3.21)$$

โดยที่  $N$  คือ Fast Fourier Transform (FFT) size of UEs' signals

จากนั้นจากสมการ (3.20) และ (3.21) ทำการคำนวณโดยใช้การจัดสรรพลังงานชั้นแรกในสมการของ SINR แต่ละผู้ใช้งาน ดังนี้

$$SINR_{near,1}[k] = \begin{cases} |H_{near}[k]|^2 P_k / \sigma^2 & k \text{ is in } R1 \\ \frac{|H_{near}[k]|^2 \gamma_1 P_k}{\delta |H_{near}[k]|^2 (1 - \gamma_1) P_k + \sigma^2} & k \text{ is in } R2 \end{cases} \quad (3.22)$$

$$SINR_{far,1}[k] = \begin{cases} \frac{|H_{far}[k]|^2 (1 - \gamma_1) P_k}{|H_{far}[k]|^2 \gamma_1 P_k + \sigma^2} & k \text{ is in } R2 \\ |H_{far}[k]|^2 P_k / \sigma_k^2 & k \text{ is in } R3 \end{cases} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ (3.22) และ (3.23) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$R_{near,1}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2(1 + SINR_{near}[k]) \quad (3.24)$$

$$R_{far,1}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R2, R3]} \log_2(1 + SINR_{far}[k]) \quad (3.25)$$

เมื่อกำหนดหาอัตราผลรวมที่ทำได้ของผู้ใช้งาน จากสมการที่ (3.24) และ (3.25) ในวิธีการนี้จะเก็บค่าของอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ใกล้และไกล ณ ค่าผลลัพธ์ที่ให้ผลต่างของการส่งข้อมูลน้อยที่สุด ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล จะเขียนได้ดังนี้



$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_1}{\text{minimize}} \quad R_{\text{gap}, \min} = |R_{\text{near}} - R_{\text{far}}| \quad (3.26)$$

จากนั้นจะนำมาคำนวณหาอัตราการส่งข้อมูลได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_1}{\text{optimize}} \quad R_{\text{sum}, \text{opt}} = R_{\text{near}, \text{opt}} + R_{\text{far}, \text{opt}} \quad (3.27)$$

ในขั้นตอนแรกหลังจากที่คำนวณช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานแล้วจะทำการเก็บค่าของ  $\alpha, \beta, \gamma_1$  เพื่อนำมาคำนวณในการจัดสรรพลังงานสองชั้นอีกครั้ง ผลของกระบวนการแรก สามารถสรุปได้ดังนี้

$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_1}{\text{optimize}} \quad 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1 \quad (3.28)$$

$$\gamma_{1, \text{opt}} = \gamma_1(R_{\text{gap}, \min}[\alpha, \beta])$$

จากนั้นจากสมการ (3.27) และ (3.28) ทำการคำนวณหาค่าของ SINR แต่ละผู้ใช้งาน โดยนำคำตอบจากการคำนวณการจัดสรรพลังงานชั้นแรกของค่าที่เหมาะสมที่สุด มาใช้ในการคำนวณหาค่าตอบของการใช้การจัดสรรพลังงานสองชั้น เพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน เขียนได้ดังนี้

$$\text{SINR}_{\text{near}, 2}[k] = \begin{cases} |H_{\text{near}}[k]|^2 \gamma_2 P_k / \sigma^2 \\ \frac{|H_{\text{near}}[k]|^2 \gamma_{1, \text{opt}} P_k}{\delta |H_{\text{near}}[k]|^2 (1 - \gamma_{1, \text{opt}}) P_k + \sigma^2} \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\text{SINR}_{\text{far}, 2}[k] = \begin{cases} \frac{|H_{\text{far}}[k]|^2 (1 - \gamma_{1, \text{opt}}) P_k}{|H_{\text{far}}[k]|^2 \gamma_{1, \text{opt}} P_k + \sigma^2} \\ |H_{\text{far}}[k]|^2 P_k / \sigma_k^2 \end{cases} \quad (3.30)$$

จากสมการที่ (3.29) และ (3.30) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ของผู้ใช้งานใกล้และไกล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$R_{near,2}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R1, R2]} \log_2(1 + SINR_{near}[k]) \quad (3.31)$$

$$R_{far,2}(\alpha, \beta) = \Delta \sum_{k \in [R2, R3]} \log_2(1 + SINR_{far}[k]) \quad (3.32)$$

เมื่อกำหนดหาอัตราผลรวมที่ทำได้ของผู้ใช้งาน จากสมการที่ (3.31) และ (3.32) ในวิธีการนี้ ค่าผลลัพธ์ที่ให้ผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลน้อยที่สุดหรือช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ใช้เทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น จะเขียนได้ดังนี้

$$\min_{\alpha, \beta, \gamma_2} R_{gap, \min} = |R_{near} - R_{far}| \quad (3.33)$$

จากนั้นจะนำมาคำนวณหาอัตราการส่งข้อมูลได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{optimize}_{\alpha, \beta, \gamma_2} R_{sum, opt} = R_{near, opt} + R_{far, opt} \quad (3.34)$$

สรุปวิธีการนี้เป็นการหาคำตอบ แบบการแบ่งปัญหาออกเป็นสองส่วน ก่อนอื่นจะทำการหาคำตอบในส่วนแรกก่อน หลังจากนั้นจะนำคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาในส่วนแรกเพื่อมาใช้แก้ปัญหาในส่วนที่สอง เพื่อหาคำตอบของการลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล จากการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น สามารถสรุปวัตถุประสงค์ของการคำนวณ ได้ดังนี้

$$\text{Subject 1 to} \quad 0 \leq \gamma_1 \leq \gamma_{\max} \quad (3.35)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$$

$$R_{sum}(\alpha, \beta, \gamma_1)$$

$$R_{gap}(\alpha, \beta, \gamma_1)$$

$$\text{Subject 2 to } \gamma_{1,opt} = \gamma_1(R_{gap,min}[\alpha, \beta])$$

$$0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_{max}$$

$$\underset{\alpha, \beta, \gamma_2}{\text{minimize}} \quad R_{gap}(\alpha, \beta, \gamma_2)$$

$$R_{sum}(\alpha, \beta, \gamma_2)$$

### 3.4 ความน่าจะเป็นของการขาดหาย (Outage probability)

ความน่าจะเป็นของการขาดหาย (Outage probability) คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นในระบบ กล่าวคือการขาดหายที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ (Achievable rate) ในหน่วยบิตต่อวินาทีต่อเฮิร์ตซ์ มีนียมาม ดังนี้

$$P_{out} = \Pr\{SINR_{near} < SINR_{far} < R_{target}\} \quad (3.36)$$

เมื่อประเมินความน่าจะเป็นของการขาดหายในงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้และไกล โดยวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งานที่สามารถรถช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลได้ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Outage_{\gamma_1, \gamma_2} \quad P_{out} = \Pr\{R_{far} < R_{target}\} \quad (3.37)$$

$$P_{out} = \Pr\{R_{near} < R_{target}\} \quad (3.38)$$

เมื่อ  $R_{target}$  คือ เป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูลที่ไว้วัดความน่าจะเป็นของการขาดหาย

### 3.5 Complexity Analysis

การประเมินความซับซ้อนเป็นวิธีประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ได้ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีที่ดีที่สุดสำหรับความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน จะอธิบายในส่วนถัดไป ดังนี้

### 3.5.1 Big O notation

ในการประเมินประสิทธิภาพหรือความซับซ้อนของอัลกอริทึม (Algorithm Complexity) จะเป็นการวิเคราะห์แบบ Big O notation ซึ่งคือการประเมิน ระยะเวลาที่แย่ที่สุด หรือพื้นที่ในหน่วยประมวล ที่คอมพิวเตอร์ต้องจ่ายให้กับการ run เมื่อทำการป้อน Input ก็จะมี ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ขนาดของ Input ซึ่งในการคำนวณ Big O notation จะถูกแบ่ง ออกเป็น 7 ประเภท สามารถอธิบายได้ ดังนี้

$O(1)$  หรือ constant คืออัลกอริทึมที่ดีที่สุดในการประมวลผล ไม่ว่าจะค่าอินพุตจะมี ขนาดเล็ก หรือใหญ่แค่ไหน ระยะเวลาจะมีค่าเท่า 1 เสมอ

$O(\log n)$  หรือ logarithmic เป็นอัลกอริทึมที่ทำการวนลูปแต่ละรอบ จะตัด จำนวนข้อมูลที่ไม่มีโอกาสเกิดขึ้นออกไป จะทำให้เป็นอีกอัลกอริทึมที่มีความดีเยี่ยม เช่น อัลกอริทึม Binary Search

$O(n)$  หรือ linear เป็นอัลกอริทึมที่พิจารณาระยะเวลาขึ้นอยู่กับจำนวนอินพุต ที่ ป้อนเข้ามา ถ้าอินพุต เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าก็จะทำให้เวลาในการประมวลผลเพิ่มสองเท่า ทำให้ ประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี

$O(n \log n)$  หรือ linearithmic เป็นวิธีการประมวลผลของการวนลูปสองรอบ โดย แบ่งออกเป็นการวนในครั้งแรกจะมีค่าเท่ากับ  $n$  รอบ และการวนลูปชั้นในจะมีการตัดข้อมูลที่ไม่ เกี่ยวข้องออกไป ด้วย  $\log n$  ดังนั้นจะมีความซับซ้อน  $O(n \log n)$  ความเร็วในการประมวลผลปาน กลาง

$O(n^2)$  หรือ quadratic เป็นการเพิ่มขนาดอินพุตเข้ามา แต่จะทำให้เวลาในการ ประมวลผลเป็นเท่าตัว เช่นเพิ่มอินพุตเข้ามาสองเท่า จะทำให้เวลาเพิ่มเป็นสี่เท่า ประสิทธิภาพจึงช้า มากๆ

$O(2^n)$  หรือ exponential เป็นวิธีที่ค่อนข้างเลวร้าย เนื่องจากการเพิ่มอินพุตเข้า มาเพียงนิดเดียวก็ทำให้ระยะเวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล

$O(n!)$  หรือ factorial เป็นการประมวลผลที่แย่ที่สุด เนื่องจากจะไม่สามารถทราบ ได้ว่าจะใช้เวลาอย่างน้อยเพียงใด

ตารางที่ 3.1 ประเภทของการคำนวณ Big O [<https://itopstory.com>]

Big O function	Name
$O(1)$	Constant
$O(\log n)$	Logarithmic
$O(n)$	Linear
$O(n \log n)$	Quasilinear, log-linear หรือ Linearithmic
$O(n^2)$	Quadratic
$O(2^n)$	Exponential
$O(n!)$	factorial

### 3.5.1.1 การประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึม

จากข้างต้นได้กล่าวถึงหลักการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมที่นำเสนอการจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียม ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงการประเมินความซับซ้อนของหลักการทำงาน ดังตารางที่ 3.2

วิธีการประมวลผลเพื่อเป็นการประเมินความซับซ้อนในอัลกอริทึมที่ 1 เป็นการป้อนข้อมูลเข้าไปทั้งหมด เพื่อหาค่าตอบของการลดช่องว่างการจัดสรรพลังงานในการปรับปรุงความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน เมื่อทำการป้อนค่าของการจัดสรรพลังงานชั้นแรก  $\gamma_1$  ตั้งแต่  $0:0.1:1$  โดยกำหนดให้เป็นการดึงข้อมูลจากตัวแปรของ  $\gamma_1$  เพื่อนำค่าของการจัดสรรพลังงานชั้นแรกมาประมวลผล ดังนั้นจะทำให้ในขั้นตอนนี้มีความซับซ้อนเป็น  $O(n)$  จากนั้นทำการป้อนข้อมูลของการจัดสรรพลังงานสองชั้น  $\gamma_2$  มีค่าเท่ากับ  $0:0.1:1$  จะมีการนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผลจากการดึงข้อมูลมาจากตัวแปรของ  $\gamma_2$  จึงทำให้มีความซับซ้อนเป็น  $O(n)$  และเมื่อทำการป้อนข้อมูลของตำแหน่งการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้ (Near UE's Overlap Ratio : NOR ( $\alpha$ )) และการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานไกล (Far UE's Overlap Ratio : FOR ( $\beta$ )) โดยจะพิจารณาตั้งแต่  $\alpha = 0:0.1:1$  และ  $\beta = 0:0.1:1$  ตามลำดับ หมายความว่า จะมีการพิจารณาในกรณีของตำแหน่ง  $\alpha = 0$  และ  $\beta = 0$  หรือแทนด้วยคู่อันดับ (0,0) และจะพิจารณาทุกๆ ตำแหน่งที่เกิดขึ้น จะทำให้ได้คู่อันดับของการทับซ้อนสัญญาณทั้งหมด 121 ตำแหน่ง เพื่อแสดงให้เห็นว่าถ้าหากไม่มีการทับซ้อนของสัญญาณ ในตำแหน่ง (0,0) มีการทับซ้อนบางส่วน อย่างเช่นในตำแหน่ง (0.5,0.5) มีการทับซ้อนสัญญาณอย่างสมบูรณ์ระหว่างผู้ใช้งานในตำแหน่ง (1,1) จะส่งผลต่ออัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานอย่างไร เมื่อนำมาประเมินความซับซ้อนของระบบจะทำให้ Near UE's Overlap Ratio มี

ค่าความซับซ้อนเท่ากับ  $O(11)$  เนื่องจากตำแหน่งของการทับซ้อนมีเพียง 11 ค่า ซึ่งเป็นการป้อนข้อมูลโดยการกำหนดค่าเลย เช่นเดียวกันกับ Far UE's Overlap Ratio : FOR ก็มีค่าเท่ากับ  $O(11)$  ที่พิจารณา 11 ค่า และสุดท้ายเมื่อประมวลผล เนื่องจากทุกขั้นตอนอยู่ภายใต้กระบวนการเดียวกัน จึงนำผลลัพธ์ของทุกกระบวนการมาคูณกัน จะมีค่าเท่ากับ  $(O(n) \times O(n) \times O(11) \times O(11)) = O(n^2)$

วิธีการประมวลผลเพื่อเป็นการประเมินความซับซ้อนในอัลกอริทึมที่ 2 แบบการแบ่งปัญหาออกเป็นสองส่วน เพื่อหาคำตอบของการลดช่องว่างการจัดสรรพลังงานในการปรับปรุงความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งาน ในขั้นตอนแรกเมื่อทำการป้อนค่าของการจัดสรรพลังงานขั้นแรก  $\gamma_1$  ตั้งแต่  $0:0.1:1$  โดยกำหนดให้เป็นการดึงข้อมูลจากตัวแปรของ  $\gamma_1$  เพื่อนำค่าของการจัดสรรพลังงานขั้นแรกมาประมวลผล ดังนั้นจะทำให้ในขั้นตอนนี้มีความซับซ้อนเป็น  $O(n)$  และทำการป้อนข้อมูลของตำแหน่งการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้ (Near UE's Overlap Ratio : NOR ( $\alpha$ )) และการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานไกล (Far UE's Overlap Ratio : FOR ( $\beta$ )) โดยจะพิจารณาตั้งแต่  $\alpha = 0:0.1:1$  และ  $\beta = 0:0.1:1$  ตามลำดับ เมื่อนำมาประเมินความซับซ้อนของระบบจะทำให้ Near UE's Overlap Ratio มีความซับซ้อนเท่ากับ  $O(11)$  เช่นเดียวกันกับ Far UE's Overlap Ratio : FOR ก็มีค่าเท่ากับ  $O(11)$  เมื่อประมวลผล เนื่องจากทุกขั้นตอนอยู่ภายใต้กระบวนการเดียวกัน จึงนำผลลัพธ์ของทุกกระบวนการมาคูณกัน จะมีค่าเท่ากับ  $(O(n) \times O(11) \times O(11)) = O(n)$  ในขั้นตอนแรกจะทำให้เราสามารถหาค่าของการจัดสรรพลังงานขั้นแรกที่ทำให้ผลต่างอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานมีค่าน้อยที่สุด จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้ของการจัดสรรพลังงานขั้นแรกที่มีค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่งของแต่ละตำแหน่ง มาคำนวณในขั้นตอนที่ 2 โดยการป้อนข้อมูลของการจัดสรรพลังงานสองชั้น  $\gamma_2$  มีค่าเท่ากับ  $0:0.1:1$  ก็จะทำให้มีความซับซ้อนเป็น  $O(n)$  และเมื่อทำการป้อนข้อมูลของตำแหน่งการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้ (Near UE's Overlap Ratio : NOR ( $\alpha$ )) และการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานไกล (Far UE's Overlap Ratio : FOR ( $\beta$ )) โดยจะพิจารณาตั้งแต่  $\alpha = 0:0.1:1$  และ  $\beta = 0:0.1:1$  ตามลำดับ เมื่อนำมาประเมินความซับซ้อนของระบบจะทำให้ Near UE's Overlap Ratio มีค่าความซับซ้อนเท่ากับ  $O(11)$  เช่นเดียวกันกับ Far UE's Overlap Ratio : FOR ก็มีค่าเท่ากับ  $O(11)$  ทำให้ในขั้นตอนที่สองมีความซับซ้อนเท่ากับ  $(O(n) \times O(11) \times O(11)) = O(n)$  จากนั้นนำผลลัพธ์การประเมินของขั้นตอนที่ 1 และ 2 มารวมกัน จะทำให้มีค่าเท่ากับ  $O(n \times 11 \times 11) + O(n \times 11 \times 11) = O(n)$  การนำผลลัพธ์มาบวกกันได้เนื่องจากแต่ละขั้นตอนไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันได้ จึงทำให้มีความซับซ้อนของระบบน้อยลง



จากกระบวนการประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึมจะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การออกแบบการจัดสรรพลังงานที่ดีที่สุดในการปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน เวลาในการประมวลผลส่งผลต่อระบบอย่างไร เป็นต้น ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมที่ 1 มีความซับซ้อนที่มากกว่าก็จะส่งผลให้เวลาในการประมวลผลที่มากกว่าเช่นกัน

ตารางที่ 3.2 กระบวนการประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึม

Process	Complexity
<b>Algorithm 1</b>	
Double power allocation value	$O(n)$
First power allocation value	$O(n)$
Near UE's Overlap Ratio: NOR	$O(11)$
Far UE's Overlap Ratio: FOR	$O(11)$
Total	$(O(n) \times O(n) \times O(11) \times O(11)) = O(n^2)$
<b>Algorithm 2</b>	
First power allocation value	$O(n)$
Near UE's Overlap Ratio: NOR	$O(11)$
Far UE's Overlap Ratio: FOR	$O(11)$
Double power allocation value	$O(n)$
Near UE's Overlap Ratio: NOR	$O(11)$
Far UE's Overlap Ratio: FOR	$O(11)$
Total	$O(n \times 11 \times 11) + O(n \times 11 \times 11) = O(n)$

## บทที่ 4

### วิเคราะห์และสรุปผลการจำลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

การจำลองเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน ที่ถูกกล่าวไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้ เป็นการพูดถึงทฤษฎี หลักการ แนวคิดของเทคนิค และวิธีการที่ออกแบบการจัดสรรพลังงาน เพื่อความเหมาะสมสำหรับระบบและความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพอัตราข้อมูลเพื่อความเท่าเทียมของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น ในเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการจำลองของอัตราการส่งข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้งาน ช่องว่างของ อัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งาน ด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น การเปรียบเทียบอัลกอริทึมการจัดสรรพลังงานที่ช่วยลดช่องว่าง โดยการประเมินและคำนวณความซับซ้อนในโปรแกรม และแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรสองชั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ จากการศึกษาค่าความน่าจะเป็นของการขาดหาย Outage probability ที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นในระบบ กล่าวคือการขาดหายที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการส่งข้อมูลที่ได้

#### 4.2 การจำลองระบบ

การจำลองระบบด้วยเทคนิค P-NOMA ในส่วนนี้จะอธิบายพารามิเตอร์พื้นฐานในการจำลองระบบ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จะเป็นการอธิบายค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลอง

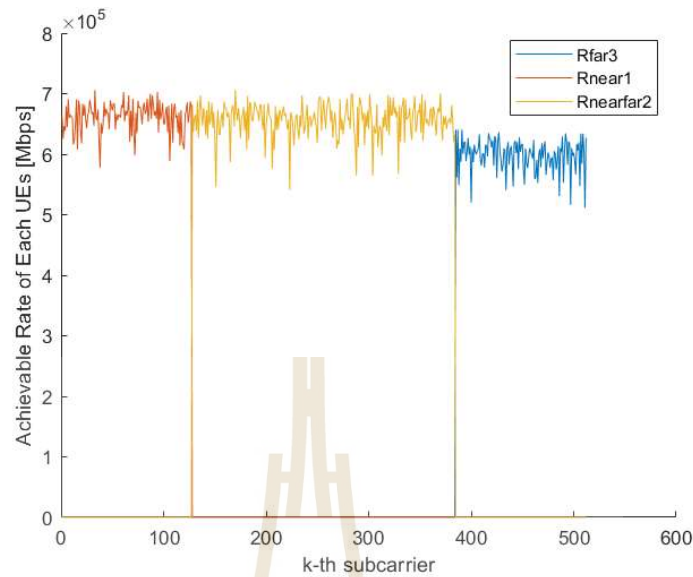
พารามิเตอร์	ค่า
ระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานใกล้และไกล	1:2
จำนวนของซับแคเรีย (N)	512
ระยะของคลื่นพาห์ ( $\Delta$ )	15 kHz
กำลังส่ง (P)	10 dB
กำลังสูญเสีย (L)	3
แบบจำลองช่องสัญญาณ	Rayleigh fading
การตัดการแทรกสอดตามลำดับ (SIC)	0
อัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้ (NOR)	$0 \leq \alpha \leq 1$
อัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานไกล (FOR)	$0 \leq \beta \leq 1$

#### 4.3 ผลการจำลองอัตราส่งข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้งาน

ก่อนอื่นจะอธิบายถึงอัตราการส่งข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้งาน ในเทคนิค P-NOMA ด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น ร่วมกับการพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานใกล้และอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกล หรือเป็นการพิจารณาการรบกวนของสัญญาณผู้ใช้งานบางส่วน การวิเคราะห์อัตราการส่งข้อมูลเทียบตำแหน่งของอัตราการทับซ้อน

##### 4.3.1 อัตราการส่งข้อมูลเทียบกับคลื่นพาห์ย่อย

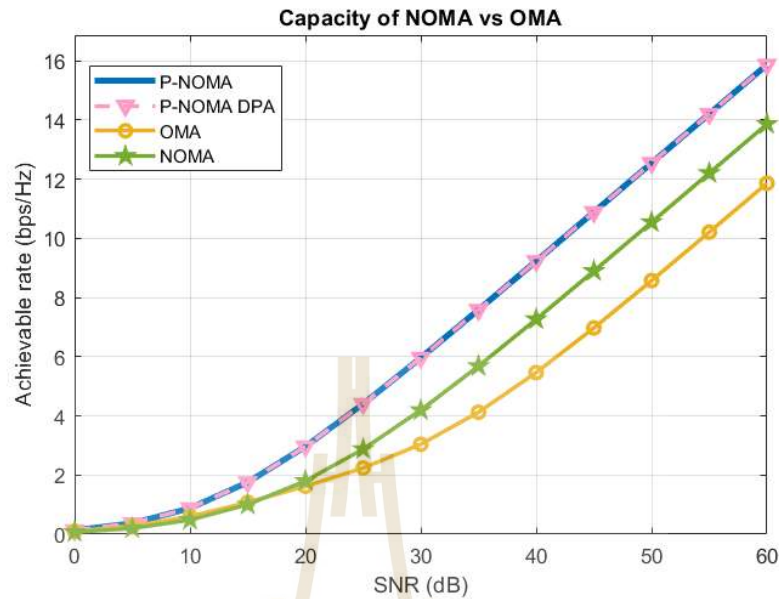
การนำอัตราการทับซ้อนของสัญญาณมาพิจารณาในการกำหนดแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้งาน รูปที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละผู้ใช้งาน ภายใต้เงื่อนไขของการกำหนด subcarrier ให้กับผู้ใช้งาน ก็คือเงื่อนไขของ R1, R2 และ R3 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้และไกล  $R_{near2}$  และ  $R_{far2}$  ในเงื่อนไขของ R2 มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากัน เนื่องจากการจัดสรรพลังงานชั้นแรกมีบทบาทสำคัญสำหรับอัตราการส่งข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้  $R_{near1}$  ที่อยู่ในเงื่อนไขของ R1 มีอัตราที่สูงกว่าผู้ใช้งานไกล  $R_{far3}$  ที่อยู่ในเงื่อนไขของ R3 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น



รูปที่ 4.1 อัตราข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้ใกล้และไกลในเงื่อนไขของคลื่นพาห้อย่อย

#### 4.3.2 ความจุช่องสัญญาณของ P-NOMA P-NOMA-DPA NOMA และ OMA

การจำลองระบบด้วยเทคนิคของ P-NOMA, P-NOMA-DPA, NOMA และ OMA เพื่อเปรียบเทียบความจุของช่องสัญญาณ จะแสดงให้เห็นถึงเทคนิคการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้นในเทคนิค P-NOMA แทนด้วย P-NOMA และ P-NOMA-DPA ตามลำดับ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ถูกศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ โดยกำหนดให้มีผู้ใช้งานเพียงสองคน จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิค จากการจำลองผลดังรูป 4.2 สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพของ P-NOMA และ P-NOMA-DPA จะดีกว่าประสิทธิภาพของ OMA และ NOMA เมื่อ SNR สูงขึ้น NOMA และ P-NOMA ก็ยังมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น และในกรณีที่เทคนิค P-NOMA และ P-NOMA-DPA ที่มีเทคนิคการจัดสรรพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพของระบบเท่ากัน เนื่องจากในงานวิจัยนี้เน้นไปที่การปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน จึงเป็นการแสดงให้เห็นในกรณีที่มีการเพิ่มการจัดสรรพลังงานเข้ามาจะส่งผลต่อระบบในทางที่ไม่ดีหรือไม่ แต่ผลที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดี

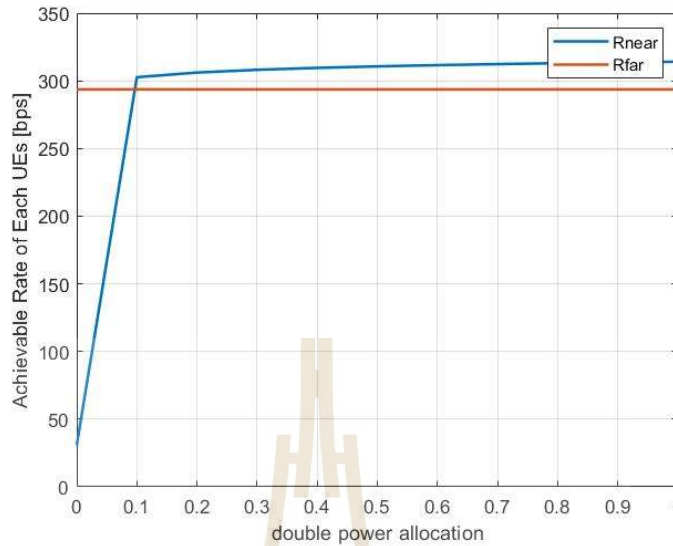


รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบอัตราข้อมูลในแต่ละเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณเทียบกับความจุของช่องสัญญาณ

#### 4.3.3 การจัดสรรพลังงาน

การจัดสรรพลังงานที่ศึกษามีทั้งการจัดสรรพลังงานขั้นแรกที่เป็นหลักการของเทคนิค NOMA ที่จัดสรรพลังงานตามการผกผันของช่องสัญญาณผู้ใช้งานมีช่องสัญญาณที่ดีกว่าจะได้รับการจัดสรรพลังงานที่น้อยกว่าและผู้ใช้ที่มีช่องสัญญาณที่แย่จะได้รับพลังงานที่มาก แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบการจัดสรรพลังงานมีหลากหลายวิธีการเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดสรรพลังงานแบบการหาค่าที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และมีการเพิ่มเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อปรับปรุงความไม่เท่าเทียมของอัตราการส่งข้อมูล ซึ่งจากการจัดสรรพลังงานขั้นแรกที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ใกล้ก็ยังคงได้รับอัตราการส่งข้อมูลที่ดีกว่าผู้ใช้งานไกล

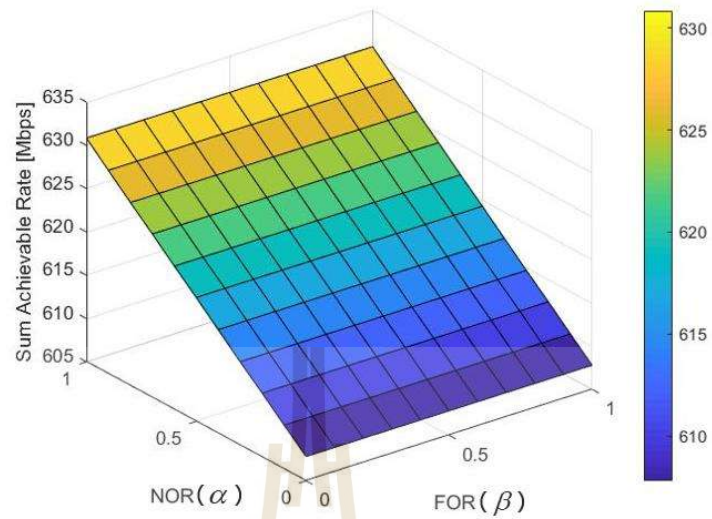
การออกแบบจัดสรรพลังงานสองชั้นเป็นเทคนิคที่สำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อใช้ในการปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานให้มีความเท่าเทียมกัน จากการจำลองผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้น โดยหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานมีค่าเท่ากัน ตั้งแต่  $\gamma_2 = 0$  จนกระทั่งเท่ากับ  $\gamma_2 = 1$  จะเห็นได้ว่าเมื่อ  $\gamma_2 = 0.1$  อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้และไกลมีค่าเท่ากัน ดังนั้นการจัดสรรพลังงานสองชั้นช่วยในการปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานได้



รูปที่ 4.3 อัตราข้อมูลที่ได้ของผู้ใช้ใกล้และไกลในการจัดสรรพลังงานสองชั้น

#### 4.3.4 Algorithm 1

วิธีการที่ 1 ในการจัดสรรพลังงานเพื่อปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน และการพิจารณาการทับซ้อนในแต่ละตำแหน่ง ด้วยวิธีการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยการป้อนข้อมูลของการจัดสรรพลังงานชั้นแรก  $0 \leq \gamma_1 \leq 1$  และการจัดสรรพลังงานสองชั้น  $0 \leq \gamma_2 \leq 1$  เพื่อหาอัตรารวมการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งาน ตามอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ ดังรูปที่ 4.4 จะแสดงให้เห็น อัตรารวมของการส่งข้อมูลเทียบกับการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้ และการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกล เริ่มจากกรณีที่ไม่มีการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้เกิดขึ้น นั่นหมายความว่าอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้จะถูกคำนวณโดยใช้เทคนิคของ OMA ส่วนกรณีของการทับซ้อนบางส่วน จะเป็นเทคนิคของ P-NOMA จนกระทั่งมีการทับซ้อนกันของสัญญาณผู้ใช้งานแบบสมบูรณ์ หรือผู้ใช้งานสามารถใช้งานแบนด์วิดท์ได้สูงสุดในกรณีของเทคนิค NOMA และจากผลการจำลองในกรณีที่อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้คงที่  $NOR = 0.1$  และ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลเปลี่ยนแปลง อัตรารวมของการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานมีค่าเท่ากัน และในกรณีที่ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกล (FOR) เปลี่ยน อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานใกล้จะสูงขึ้น แต่ก็ยังคงมีอัตรารวมที่เท่ากันอยู่แม้ว่าการรบกวนของผู้ใช้งานไกลจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม

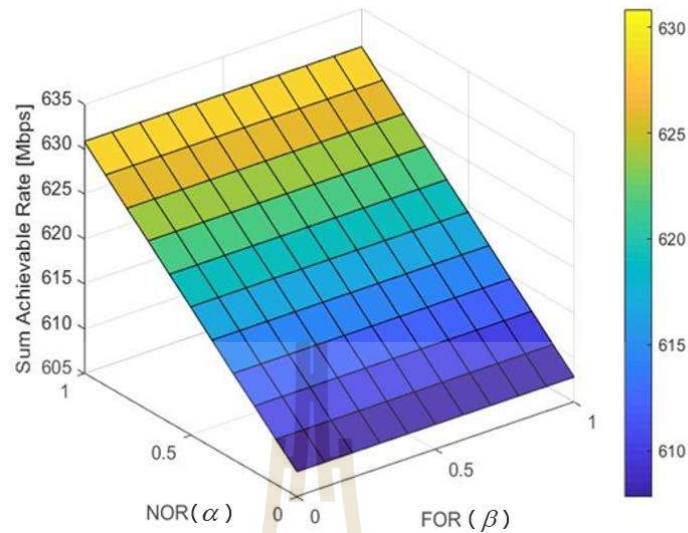


รูปที่ 4.4 อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ของอัลกอริทึมที่ 1

#### 4.3.5 Algorithm 2

แนวคิดของวิธีการนี้เพื่อปรับปรุงแบบจำลองของความเท่าเทียมให้ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าตอบของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานด้วยการแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะใช้การจัดสรรพลังงานในขั้นแรกก่อน จากนั้นเป็นการนำผลของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละผู้ใช้งานวิเคราะห์ หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้ของการจัดสรรพลังงานในขั้นตอนแรกมาใช้ต่อในขั้นตอนที่สอง ซึ่งจะเป็นการจัดสรรพลังงานสองชั้น ภายใต้เงื่อนไขของสมการที่จะถูกจัดสรรให้ผู้ใช้งานใกล้เคียงกันนั้น ผลการจำลองเราจะแสดงให้เห็นถึงอัตรารวมที่ได้ของผู้ใช้เทียบกับตำแหน่งการทับซ้อนของสัญญาณ ทั้งในรูปแบบการจัดสรรพลังงานขั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น ดังนี้

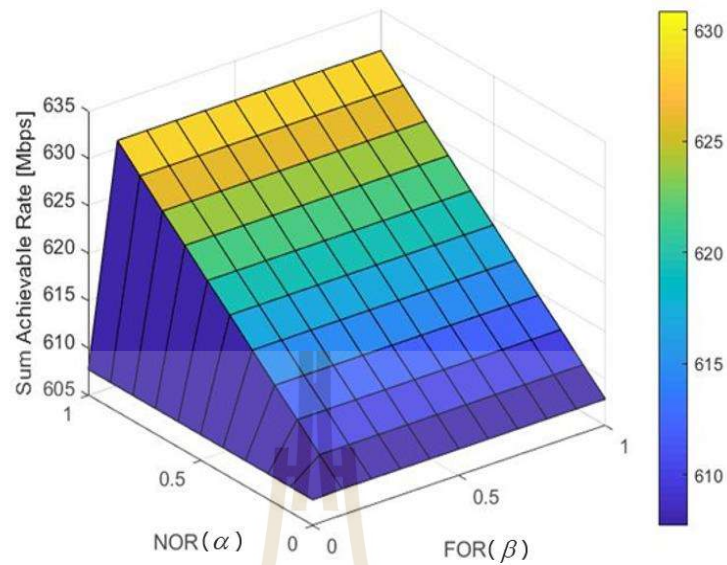




รูปที่ 4.5 อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน NOR และ FOR ในการจัดสรรพลังงานชั้นแรก

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงอัตรารวมที่ทำได้ระหว่างผู้ใช้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้เคียงและไกลด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรก เมื่ออัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้เคียงที่  $(NOR(\alpha)) = 0.1$  และอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลเปลี่ยนแปลง อัตรารวมของการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานมีค่าเท่ากัน และในกรณีที่ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกล ( $FOR(\beta)$ ) เปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานไกลจะสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการนี้กับการจัดสรรพลังงานในอัลกอริทึมที่ 1 ดังรูป 4.4 และ 4.5 จะเห็นว่าผลการจำลองมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อ  $NOR(\alpha) =$  คงที่  $FOR$  เปลี่ยนแปลง ก็ได้อัตราการส่งข้อมูลเท่ากัน เปรียบเสมือนว่าถ้าหากใช้วิธีการของอัลกอริทึมที่ 1 ที่มีการจัดสรรพลังงานสองชั้นมีค่าเท่ากับการจัดสรรพลังงานชั้นเดียวในรูปที่ 4.4 อย่างไรก็ตาม เป้าหมายของงานนี้ต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น จึงนำเสนออัลกอริทึมที่ 2 ในการปรับปรุงความเท่าเทียม



รูปที่ 4.6 อัตรารวมการส่งข้อมูลที่ทำได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานสองชั้นของอัลกอริทึมที่ 2

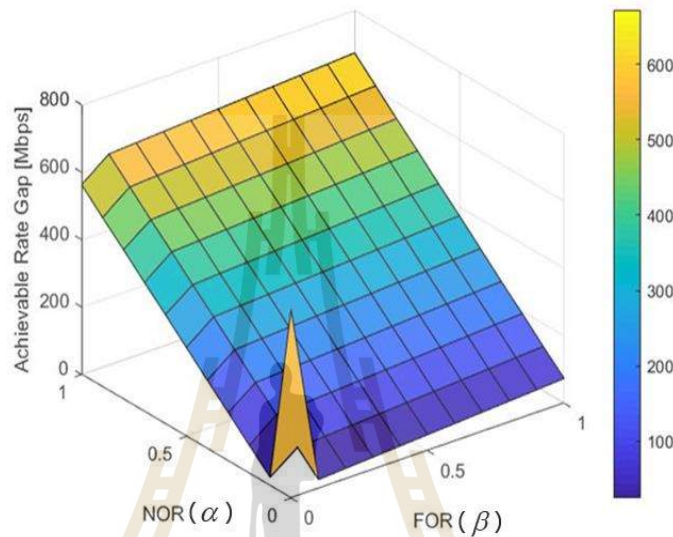
ต่อไปจะเป็นการจำลองผลของการปรับปรุงอัตราผลรวมที่ทำได้ด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นของอัลกอริทึมที่ 2 จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลคงที่ FOR มีค่าเท่ากับ 0.1 อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้ใกล้เคียงเปลี่ยนแปลง อัตราผลรวมที่ทำได้มีค่าเท่ากัน เปรียบเสมือนว่าการที่ผู้ใช้ใกล้เคียงจะได้รับแบนด์วิดท์ขนาดคงที่ เมื่อผู้ใช้งานใกล้เคียงมีแบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้น อัตราการส่งข้อมูลในแต่ละตำแหน่งมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากัน ทำให้เห็นว่าผู้ใช้งานไกลมีอัตราการส่งข้อมูลที่ดีขึ้นจากการใช้การจัดสรรพลังงานสองชั้น และจะเห็นได้ว่ายังมีผลที่เท่ากันกับเมื่อ  $NOR(\alpha) = 0.1$  และอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลเปลี่ยนแปลง และในตำแหน่งอื่นๆ ของการทับซ้อน เมื่ออัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานใกล้เคียงที่ในแต่ละตำแหน่ง อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลยังคงได้อัตราผลรวมที่เท่ากัน

#### 4.4 ผลการจำลองช่องว่างอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน

การจำลองนี้ เพื่อวิเคราะห์ความเท่าเทียมของผู้ใช้งานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ การแสดงให้เห็นว่า การจัดสรรพลังงานสองชั้นช่วยลดผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานในเทคนิคของ P-NOMA แบบจำลองจะแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการทับซ้อนแบบบางส่วนของผู้ใช้งานใกล้เคียงและไกลมีการเปลี่ยนแปลง การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ส่งผลต่อผลต่างอัตราการส่งข้อมูล

ระหว่างผู้งานอย่างไร ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล คือ ผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลผู้ใช้งานไกล และไกล ถ้าหากมีค่าน้อยมากจะแสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียมดีที่สุดในที่สุด

#### 4.4.1 Algorithm 1



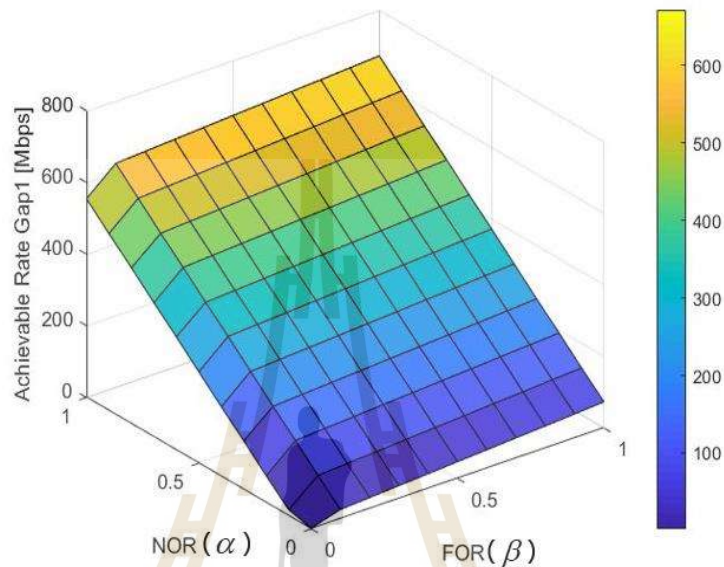
รูปที่ 4.7 ช่องว่างอัตราการรวมการส่งข้อมูลที่สามารถทำได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR)

รูปที่ 4.7 จะแสดงให้เห็นถึงช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ ในอัลกอริทึมที่ 1 จากที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นการหาค่าที่ดีที่สุด จากการจัดสรรพลังงานสองชั้น ด้วยวิธีการป้อนข้อมูลทั้งหมด เพื่อหาช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูล ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการทับซ้อนของสัญญาณ NOR คงที่ อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลเปลี่ยนแปลง อัตราการส่งข้อมูลมีผลที่เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลจะเพิ่มขึ้น ก็ไม่ส่งผลต่อความไม่เท่าเทียม

#### 4.4.2 Algorithm 2

รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลในการจัดสรรพลังงานชั้นแรก ของอัลกอริทึมที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการปรับปรุงความเท่าเทียม กล่าวคือ การจัดสรรพลังงานชั้นแรกในรูปแบบการหาค่าที่เหมาะสมของพลังงาน เพื่อให้ผลต่างระหว่างผู้ใช้น้อยที่สุดในที่สุด จากนั้นจะนำค่าของการจัดสรรพลังงานเพื่อมาปรับปรุงประสิทธิภาพต่อ ผลการจำลองสามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออัตราการทับซ้อนของผู้ใช้ไกลเพิ่มขึ้น ช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ได้จะสูงขึ้น แต่ถ้า

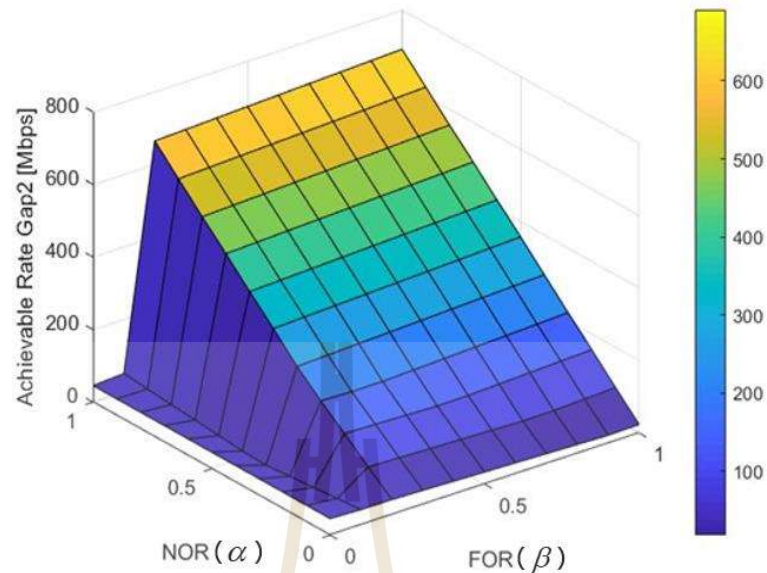
หากอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ NOR คงที่ ณ ทุกๆตำแหน่ง อัตราการทับซ้อนของผู้ใช้งานไกลเปลี่ยนแปลง อัตราการส่งข้อมูลมีผลที่เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลที่เท่าเทียม



รูปที่ 4.8 ช่องว่างอัตราการรวมการส่งข้อมูลที่ทำได้เทียบกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานขั้นแรก

รูปที่ 4.9 เมื่อวิเคราะห์คำตอบของการจัดสรรพลังงานขั้นแรกแล้วจะทำการนำค่าของการจัดสรรพลังงานงานขั้นเดียวมาใช้ในการปรับปรุง และหาคำตอบจากการจัดสรรพลังงานสองชั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่อัตราการทับของผู้ใช้งานไกล  $FOR=0.1$  และ  $0.2$  และอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้ใกล้  $NOR(\alpha)$  เท่ากับ เปลี่ยนแปลงการทับซ้อนจากไม่มีทับ มีการทับซ้อนบางส่วน และการทับซ้อนทั้งหมด มีผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ได้ระหว่างผู้ใช้เท่ากัน และในตำแหน่งของ  $FOR$  ตั้งแต่  $0.3$  จนถึง  $1$  และ  $NOR$  คงที่ ตั้งแต่  $0.3$  จะเห็นว่าช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลเท่ากัน และในผลการจำลองนี้ทำให้เห็นว่าสามารถทำให้ช่องว่างลดลงได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนมากขึ้นในหัวข้อถัดไป

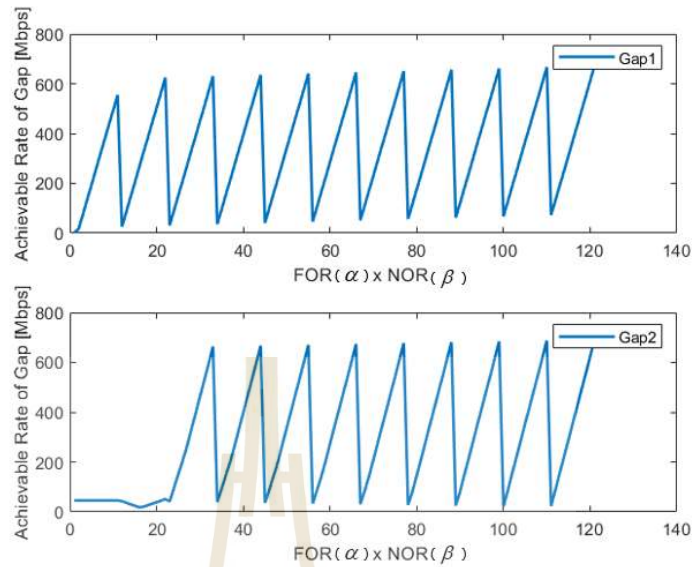




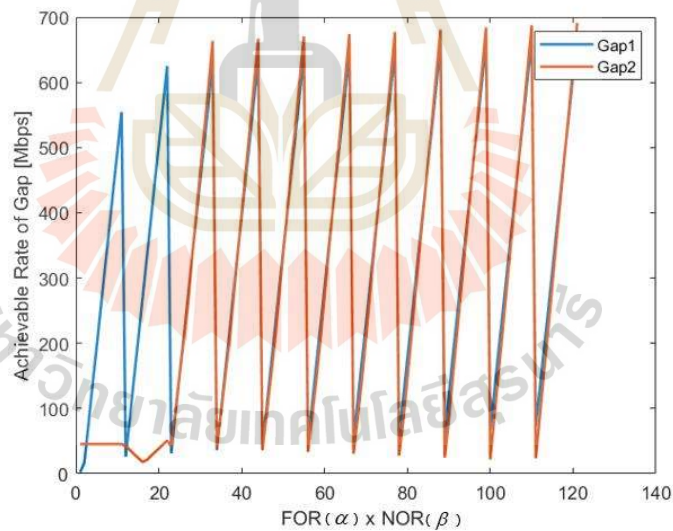
รูปที่ 4.9 ช่องว่างอัตราการรวมการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทำซ้ำของสัญญาณผู้ใช้งาน (NOR และ FOR) ในการจัดสรรพลังงานสองชั้น

#### 4.4.2.1 การเปรียบเทียบผลของช่องว่างอัตราการส่งข้อมูลในอัลกอริทึมที่ 2

เมื่อนำช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลมาเปรียบเทียบกันด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานลดลงเมื่อใช้การจัดสรรพลังงานสองชั้น จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 จากทำการปรับปรุงอัลกอริทึมด้วยการหาคำตอบทีละขั้นตอน โดยที่ พิจารณาช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลที่ได้เทียบกับอัตราการทำซ้ำของตำแหน่งผู้ใช้งานใกล้ และไกล  $NOR: 0 \leq \alpha \leq 1$  และ  $FOR = 0 \leq \beta \leq 1$  ตามลำดับ ในรูปแบบ 2 มิติ จะเกิดขึ้นได้ทั้งหมด 121 ตำแหน่งจากการพิจารณาทุกๆตำแหน่ง จากผลทำให้เห็นว่า เมื่ออัตราการทับของผู้ใช้งานใกล้  $FOR=0$  และ 0.1 และอัตราการทับซ้อนของผู้ใช้ใกล้ NOR เท่ากับเปลี่ยนแปลงการทับซ้อน เป็นคู่ลำดับของตำแหน่ง  $[NOR, FOR : (0,0), (0.1,0), (0.2,0), (0.3,0), (0.4,0), (0.5,0), (0.6,0), (0.7,0), (0.8,0), (0.9,0), (1,0), (0,0.1), (0.1,0.1), (0.2,0.1), (0.3,0.1), (0.4,0.1), (0.5,0.1), (0.6,0.1), (0.7,0.1), (0.8,0.1), (0.9,0.1), (1,0.1)]$  จากตำแหน่งดังกล่าว จะเห็นว่าเมื่อใช้การจัดสรรพลังงานสองชั้นสามารถช่วยลดช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลได้



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรก (Gap1) และการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Gap2) ในอัลกอริทึมที่ 2



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรก (Gap1) และการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Gap2) ในอัลกอริทึมที่ 2

#### 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

จากรูปแบบการปรับปรุงประสิทธิภาพความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้งานที่นำเสนอ ซึ่งมี 2 วิธี ได้แก่ อัลกอริทึมที่ 1 และ 2 จะแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของทั้งสองวิธีจากการคำนวณ Big O

notation และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (Elapsed time) ดังตารางที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณา เวลาที่ใช้ในการประมวลผล วิธีที่ 2 สามารถใช้เวลาเพียง 1.927315 วินาที ก็คือเร็วกว่า วิธีที่ 1 ที่ใช้เวลาไป 2.495113 และจากการคำนวณความซับซ้อนของระบบด้วย Big O notation ในวิธีที่ 2 ให้ความซับซ้อนที่น้อยกว่า ในวิธีแรก เนื่องจากในวิธีแรกเป็นการป้อนข้อมูลเข้าไปในทั้งหมดทีเดียวอาจเป็นการเพิ่มความล่าช้าใช้กับการประมวลผล ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่ 2 ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าทั้งในแง่ของความซับซ้อนและความเท่าเทียมกันระหว่างผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

complexity	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
Elapsed time	2.495113 seconds.	1.927315 seconds.
Big O notation	$O(n^2)$	$O(n)$

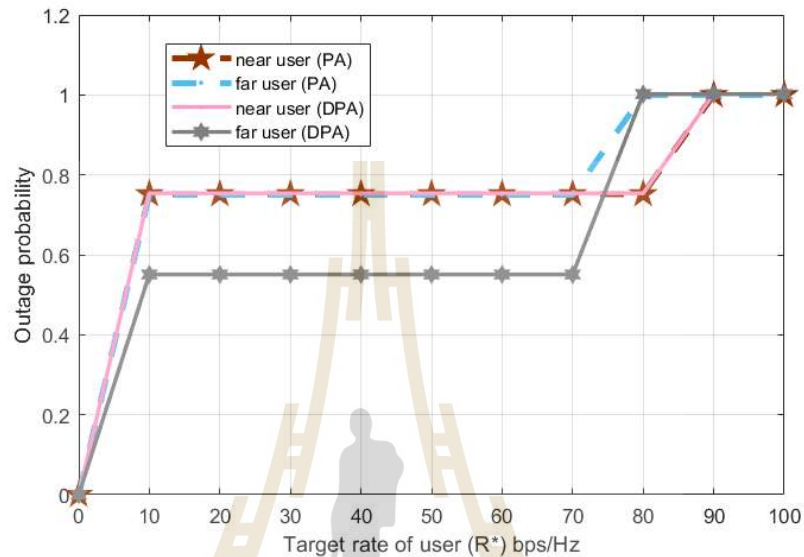
#### 4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น

การจำลองเทคนิค P-NOMA ด้วยการจัดสรรพลังงานสองชั้น ซึ่งในการวัดประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการขาดหายของอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ ระหว่างผู้ใช้เทียบกับเป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้ เมื่อใช้การจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น ซึ่งในกรณีที่แยหหรือความน่าจะเป็นของการขาดหายมีค่ามาก กล่าวคืออัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้น้อยกว่าเป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูลจะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความน่าจะเป็นของการขาดหาย

กราฟดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ความน่าจะเป็นของการขาดหายของผู้ใช้งานเทียบกับเป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูล โดยที่ กราฟเส้นสีน้ำตาล หมายถึง ผู้ใช้งานใกล้ (near user (PA)) และกราฟเส้นสีฟ้า หมายถึง ผู้ใช้งานไกล (far user (PA)) ในเทคนิคการจัดสรรพลังงานชั้นแรก (First Power Allocation :PA) และกราฟเส้นสีชมพู หมายถึง ผู้ใช้งานใกล้ (near user (DPA)) และกราฟเส้นสีเทา หมายถึง ผู้ใช้งานไกล (far user (DPA)) ในเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้น (Double Power Allocation :DPA) จากแบบจำลองสามารถอธิบายได้ว่าโอกาสของการเกิดความน่าจะเป็นของการขาดหายในผู้ใช้งานไกลดีมากเมื่อทำการปรับปรุงโดยใช้การจัดสรรพลังงานสองชั้น ในช่วงของ  $R^*=0-70$  bps/Hz ส่วนกรณีของผู้ใช้งานใกล้จะเห็นได้ว่ามีผลที่เท่ากันกับการจัดสรร



พลังงานชั้นแรกแต่จะดีกว่าในกรณีที่  $R^* = 80$  bps/Hz ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้นสามารถช่วยให้อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ไกลดีขึ้นและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการขาดหายกับเป้าหมายของอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานในเทคนิคการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดสรรพลังงานสองชั้น

#### 4.7 สรุป

การจำลองผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงวิธีการปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน ซึ่งการจัดสรรพลังงานมีผลต่ออัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน การจัดสรรที่แตกต่างกันทำให้ผู้ใช้งานคนใดคนหนึ่งมีผลที่ดีกว่า ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นช่วยให้ผลต่างของผู้ใช้งานดีขึ้น การเสนออัลกอริทึมทั้ง 2 วิธีในการปรับปรุง ก็แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ 2 นั้นสามารถปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งานได้ดีกว่า และการจัดสรรพลังงานสองชั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดยการแสดงผลของการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการขาดหาย ซึ่งผลของผู้ใช้งานไกลนั้นดีขึ้นมากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดสรรพลังงานชั้นแรก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

เทคนิคของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากบางส่วน เป็นเทคนิคที่น่าสนใจอย่างมากสำหรับเทคโนโลยีสื่อสารในยุคที่ 5 และยุคที่ 6 เป็นเทคนิคที่สามารถทำให้สเปกตรัมความถี่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและมีความยืดหยุ่นในการใช้สเปกตรัม ในระบบดาวลิงค์ โดยการจำลองให้สถานีฐานส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้งานใกล้และไกล ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคนิค NOMA และ OMA การพิจารณาอัตราการทับซ้อนบางส่วนส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เทคนิคของ P-NOMA เป็นการพัฒนาจากเทคนิคของ NOMA และ OFDMA หรือกล่าวคือเทคนิคแบบไฮบริด จากเดิม NOMA สามารถที่จะให้บริการผู้ใช้งานพร้อมกันและสามารถใช้แบนด์วิดท์ได้สูงสุด ซึ่งทำให้มีการรบกวนของสัญญาณแบบสมบูรณ์ แต่ด้วยเทคนิคของการตัดการแทรกสอดตามลำดับสามารถช่วยให้กำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม P-NOMA สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนระหว่างผู้ใช้งาน จากการพิจารณาอัตราการทับซ้อนเพียงบางส่วนระหว่างผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นการนำการทับซ้อนของสัญญาณมาพิจารณาการแบ่งแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละผู้ใช้งาน เพื่อให้ประสิทธิภาพอัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้น และเพื่อปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นการนำเสนอเทคนิคของ P-NOMA เพื่อปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน โดยใช้เทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นสำหรับการจัดสรรพลังงานให้กับผู้ใช้ใกล้ในเงื่อนไขของคลื่นพายุย่อย ซึ่งจะนำเสนอวิธีการจัดสรรพลังงานชั้นแรกร่วมกับการจัดสรรพลังงานสองชั้น รวมทั้งพิจารณาอัตราการทับซ้อนของสัญญาณ แบ่งออกเป็น 2 อัลกอริทึมในการปรับปรุงความเท่าเทียมระหว่างผู้ใช้ และเพื่อให้แน่ใจว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้น มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจะนำเสนอการความน่าจะเป็นของการขาดหายเมื่อส่งข้อมูลของผู้ใช้งานเมื่อเทียบกับแบบการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดพลังงานสองชั้น

จากการวิเคราะห์และศึกษาวิธีปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งานในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้นสามารถทำให้ลดผลต่างของอัตราการส่งข้อมูลได้ โดยหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการจัดสรรพลังงาน เมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราการทับซ้อนของสัญญาณผู้ใช้งานในเทคนิคของ P-NOMA การเสนออัลกอริทึมทั้ง 2 วิธีในการปรับปรุง ก็แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ 2 นั้นสามารถปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งานได้ดีกว่า และช่องว่างของอัตราการส่งข้อมูลลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นได้จากแบบจำลองและการคำนวณของความซับซ้อน เวลาที่ใช้ในการคำนวณของ MATLAB มีความซับซ้อนและใช้เวลาน้อยกว่า และความน่าจะเป็นของการขาดหายเมื่อส่งข้อมูลของผู้ใช้งานเมื่อเทียบกับแบบการจัดสรรพลังงานชั้นแรกและการจัดพลังงานสองชั้น แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสองชั้นมีโอกาสเกิดความน่าจะเป็นของการขาดหายได้น้อยกว่า และมีผลที่ดีมากสำหรับผู้ใช้งานไกล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเท่าเทียมของผู้ใช้งาน

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับการจำลองเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่ตั้งฉากด้วยเทคนิคการจัดสรรพลังงานสองชั้นเพื่อความเท่าเทียมสำหรับผู้ใช้งาน เป็นการจำลองด้วยผู้ใช้งานเพียง 2 คนเท่านั้น หากมีการนำไปในอนาคต ในมุมมองของความเท่าเทียม อาจมีการนำ User experience data rate ของเทคโนโลยีสื่อสารยุคถัดไปหรือ 6G มาเป็นมาตรฐานในการทำให้อัตราการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานสูงขึ้น ซึ่งในเทคโนโลยี 6G มีความต้องการสูงถึง 1000 Mbps เช่น มีการปรับระยะของคลื่นพาห์ย่อย ซึ่งเทคโนโลยี 5G สามารถใช้ได้สูงสุดถึง 240 kHz เพื่อที่จะรองรับการใช้งานในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน และในมุมมองของเทคนิค P-NOMA ด้วยการจัดสรรพลังงาน สามารถที่จะนำไปศึกษาร่วมกับระบบสื่อสารโมเด็มขนาดใหญ่ เทคโนโลยี Beamforming เป็นต้น เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบสูงมากยิ่งขึ้นในการรองรับการให้บริการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

## รายการอ้างอิง

- Innok A., Uthansakul P., Uthansakul M., "Angular beamforming technique for MIMO beamforming system," International Journal of Antennas and Propagation,, pp.1-9, 2012.
- Islam S.M.R., Avazov N., Dobre O.A., Kwak K.-S., "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.19, no.2, pp.721-742, 2017.
- Uthansakul P., Bialkowski M.E., "Multipath signal effect on the capacity of MIMO MIMO-OFDM and spread MIMO-OFDM," 15th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, pp.989-992, MIKON – 2004.
- Kim B., Park Y., Hong D., "Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA)," IEEE Wireless Communications Letters, vol.8, no.5, pp.1377-1380, 2019.
- Kim B., Heo J., Hong D., "Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA) with Respect to User Fairness," 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall).
- Uthansakul P., Anchuen P., Uthansakul M., Khan A.A., "QoE-Aware self-tuning of service priority factor for resource allocation optimization in LTE networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.69, no.1, pp.887-900, 2020.
- Uthansakul P., Anchuen P., Uthansakul M., Ahmad Khan A., "Estimating and Synthesizing QoE Based on QoS Measurement for Improving Multimedia Services on Cellular Networks Using ANN Method," IEEE Transactions on Network and Service Management, vol.17, no.1, pp.389-402, 2020.

- Sharma P., Kumar A., Bansal M., "Performance Analysis of P-N-NOMA Over Generalized Fading Channel," *IEEE Access*, vol.8, no.1, pp. 105962-105971, 2020.
- Promsuvana N., Uthansakul P., "Feasibility of adaptive 4x4 MIMO system using channel reciprocity in FDD mode," 14th Asia-Pacific Conference on Communications, pp.1-6, 2008.
- Tomida S., Higuchi K., "Non-orthogonal Access with SIC in Cellular Downlink for User Fairness Enhancement," *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS) 2011 International Symposium on*, pp. 1-6.
- Ding Z., Lei X., George K, Schober R., Yuan J., Bhargava V.K., "A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 10, pp.2181-2195, 2017.
- Fang F., Zhang H., Cheng J., Leung V.C.M., "Energy-Efficient Resource Allocation for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access Network," *IEEE Transactions on Communications*, 64, 9, pp.3722-3732, 2016.
- Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., ... & Razavi, R. "Toward the standardization of non-orthogonal multiple access for next generation wireless networks." *IEEE Communications Magazine*, vol.56, no.3, pp.19-27, 2018.
- N. W. M. Thet and M. K. Ozdemir, "Partial-Beam Non-Orthogonal Multiple Access (PB-NOMA) With Fuzzy Clustering," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 6, pp. 1202-1206, 2021.
- A. Benjebbour, A. Li, K. Saito, Y. Saito, Y. Kishiyama and T. Nakamura, "NOMA: From concept to standardization," 2015 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), pp. 18-23, 2015.
- Lei, L. *From Orthogonal to Non-orthogonal Multiple Access: Energy-and Spectrum-Efficient Resource Allocation* (Doctoral dissertation, Linköping University Electronic Press), (2016).

- L. Lei, D. Yuan, C. K. Ho and S. Sun, "Joint Optimization of Power and Channel Allocation with Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Cellular Systems," IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1-6, 2015.
- K. S. Ali, E. Hossain and M. J. Hossain, "Partial Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in Downlink Poisson Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 19, no. 11, pp. 7637-7652, Nov. 2020.
- Ali, Z. J., Noordin, N. K., Sali, A., Hashim, F., & Balfaqih, M, "Novel resource allocation techniques for downlink non-orthogonal multiple access systems." Applied Sciences, vol.10, no.17, pp.5892, 2020.





ภาคผนวก ก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Fuasungnoen, T., Uthansakul, P. and Uthansakul, M., "Double Power Allocations for User Fairness in P-NOMA System," In 2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON), pp. 504-507, .2021



# Double Power Allocations for User Fairness in P-NOMA System

Tidaporn Fuasungnoen, Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul  
 School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology  
 Muang, NakhonRatchasima, Thailand 30000  
 Email: m6203191@g.sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th and mtp@sut.ac.th

**Abstract**— Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA) system has been proven to be efficiently implemented. Both flexibility and spectrum efficiency are the benefits of such a system. However, near and far users still achieve the different data rate which is the main problem of typical NOMA. In literature, power allocation between near and far users was presented to minimize this gap but still the gap cannot be zero. In this paper, the method to make a zero gap is proposed by using double power allocations. The first power allocation aims to minimize the gap between near and far users and the second power allocation focuses on equal achievable rate. The results illustrate the most effective solution in valuing of power allocations in order to realize the user fairness.

**Keywords**—Non-Orthogonal Multiple Access, Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA), power allocation, user fairness

## I. INTRODUCTION

Recently, various solutions have been studied in order to contribute a user fairness in Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA). The most effective method in developing and improving power allocation to equalize user equipment in P-NOMA is considered to be achievable rate. The P-NOMA is considered to be an attractive communication technology for the next generation as it can support an enormous amount of user data and is able to serve multiple users at the same time, frequency and code resource block. The conventional P-NOMA has been facing many problems such as signal overlapping and interference from other user devices [1], yet, a Superposition Coding (SC) technique can help the machine to send information of multiple users at the same time and a Successive Interference Cancellation (SIC) technique is able to eliminate user interference and decode the users' data at the receiver. So far, several researchers have focused on the overlapped ratio of users to find the best achievable rate for user equipment. The work presented in [2-3] has studied the partial overlapped ratio of users considered under the basic Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) structure. The results have shown that the total achievable rate of P-NOMA is higher than the ones obtained from conventional NOMA and Orthogonal Multiple Access (OMA). However, this was viewed as being unfair to the user equipment. Consequently, further studies were conducted to demonstrate the fairness of users by studying the gap of achievable rate to find the differences of sum achievable rate between the near and far users [4-5]. More studies have revealed that the different rate affects the different quality of services [6-7]. Afterwards, lots of studies in algorithm have been continually presented to encourage the achievable rate for the user fairness. The user fairness has been continuously studied as shown in [8] which has mentioned the improvement of user fairness under the composition of NOMA.

Nevertheless, it is an improvement in the outage probability, which was derived for PN-NOMA system over the generalized  $\eta$ - $\mu$  fading channel.

Regarding to literatures, the variety of fairness and user equality in P-NOMA have been presented. Nevertheless, the sum rate of users does not always remain the same. And it can be clearly seen that the power allocation has not been emphasized in P-NOMA system. However, P-NOMA should be evolved by focusing on power allocation. It can be further improved to double power allocation. In this paper, we study the difference of sum rates between near and far users. Afterwards, the first power allocation is proposed to minimize the gap of achievable rate. However, the gap is still not zero. Thus, the second power allocation is introduced so that the equal rates of near and far users are achieved. Finally, the result shows that the point of overlapping the user device can be the most achievable fairness as well as to demonstrate the optimal value of power allocation for the equity.

This paper is organized as follows. Section II describes the system model of P-NOMA and the various signal overlapping situations. The proposed double power allocation can be used to calculate the achievable rate and the gap of achievable rate of near and far UEs in Section III. Also the simulation results are shown in Section IV. Finally, the conclusion of this paper is presented in Section V.

## II. SYSTEM MODEL

### A. System Model Basic P-NOMA

Firstly, we will explain how the P-NOMA system works and its mechanism [2]. From Figure 1, according to LTE downlink, we will show a model of P-NOMA that employs the OFDMA system which consists of basic signal composition between two users. We also define the user devices based on different distance between Base Station (BS) and user devices which are assigned according to SIC technique in NOMA. However, the UE with a larger (or smaller) amplitude of channel is described as a near (or far) UE. The Near UE's Overlap Ratio (NOR) is given by parameters:  $\alpha$ , while  $\beta$  represents the Far UE's Overlap Ratio (FOR) and  $\rho$  means the total overlap ratio (TOR). Finally,  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha$ ) and  $\beta$  ( $\beta \leq 1$ ) are defined as positive real numbers. Although this operation suitably supports for TDD, it is also possible for FDD [9].

In Figure 1, the various signal overlapping situations affect the achievable rate sum, which is being studied in this paper and shown as following. Firstly, the non-overlapping signal scenario between near and far UE signals in OMA is presented. In other words, both UE signals do not interfere each other. The conventional NOMA UE signal fully overlapped and causes interference to both the near and the far

user equipment. Afterwards, we illustrate the P-NOMA signal pattern. It can be seen that the NOR and the FOR partially overlap.

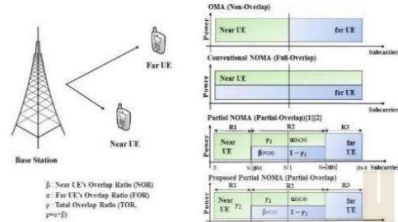


Fig. 1 System model of P-NOMA with two used cases [5] and proposed partial NOMA.

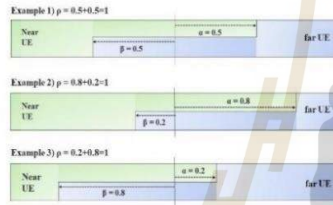


Fig. 2 Partial overlap scenarios.

### B. The Description of Partial Overlap in Different Outlines. [5]

The concept of P-NOMA is considered at a controlled overlap ratio in which it needs to be determined by two factors: position and width. These two factors are affected by interference and transmitted power of user device. In case of overlapping width, it can be said that if the interference increases, the overlap ratio increases. Regarding to the overlapping position, we will show an easy-to-understand example by assigning the same TOR as shown in Figure 2. As we can see in case 1, the interference magnitude of far UE and near UE is the same. For case 2, the far UE receives a larger noise and, for case 3, the near UE receives the larger interference. However, in this paper, TOR may not be equal in all cases. Therefore, NOR and FOR parameters, which indicate how these parameters affect the overlap signal. In addition, it is considered to be the key factor in valuing the sum of achievable rate and the achievable rate gap.

## III. PROPOSED DOUBLE POWER ALLOCATIONS

### A. Power Allocation and The Indication SINR and Achievable Rate of Each UEs

In this paper, we emphasize on a downlink network with a single BS with two users, therefore the BS will send data to both users at the same time using the NOMA principles. The superposition coding can transmit data simultaneously to multiple users. Furthermore, BS defines different transmission power based on the conditions for equality. Therefore, the high transmission power allocation is assigned to distant users primarily. Consequently, we can use our proposed technique

to improve the fairness in both near and far user equipments. Thus, we also consider power allocation in the next section. The received signal at user equipment transmitted by the BS can be represented as

$$y_i = h_i x + n_i \quad (1)$$

Thereby, the superposed coding NOMA signal is transmitted by the BS where  $x = \sqrt{P}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2)$ ,  $x_1$  is the signal for far user,  $x_2$  is the signal for near user,  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are the power allocation coefficient for the near and far users, respectively. In principle, the NOMA system will define  $\alpha_2 > \alpha_1$  owing to channel coefficient. As a result, this paper will denote  $\alpha_1 = \gamma_1$  and  $\alpha_2 = (1 - \gamma_1)$ ,  $P$  is the transmit power and  $n_i$  denotes AWGN at receiver of the near and far users. Note that  $\gamma_1$  is called as the first power allocation in this paper.

We will define NOR and FOR adjustments to be considered to determine the SINR of each UEs. Then, it also affects the efficiency of the system in terms of the achievable rate. To improve the fairness of the user equipment between near and far by reducing the difference in achievable rates (or gap of achievable rate) when considering the overlapping ratio. From Figure 1, the P-NOMA system is divided into three systems: R1, R2 and R3, where R1 and R3 are non-overlapping. There is no interference from FOR and NOR. After that R2 will have partial overlap. At the same time for both NOR and FOR, there are some segments incompletely overlapped. Furthermore, the first power allocation in Figure 3 is  $\gamma_1$  which will be considered for NOR as well as  $(1 - \gamma_1)$  is considered for FOR.

To find the achievable rate, we can calculate the SINR of near and far UEs overlap ratios. The  $\alpha$  and  $\beta$ , and also set the conditions for R1, R2 and R3, where the overlapping region is R1 and R3,  $0 \leq k \leq N - \lfloor \beta N \rfloor - 1$  and  $0 \leq k \leq N - \lfloor \beta N \rfloor - 1$ , respectively and the overlapping region is R2,  $(N - \lfloor \beta N \rfloor) \leq k \leq (N + \lfloor \alpha N \rfloor) - 1$ . the  $SINR_{near,k}$  and the  $SINR_{far,k}$  are the FOR and NOR's SINR that are taken up from k-th subcarriers respectively, without the loss of generality. The N is the total number of subcarriers for a user. The notation  $\lfloor \cdot \rfloor$  is the greatest integer function. The received SINRs of near UE can be written as:

$$SINR_{near,k} \begin{cases} |H_{near,k}|^2 \gamma_2 P_k / \sigma_k^2 & k \text{ is in R1} \\ \frac{|H_{near,k}|^2 \gamma_1 P_k}{\delta |H_{near,k}|^2 (1 - \gamma_1) P_k + \sigma_k^2} & k \text{ is in R2} \end{cases} \quad (2)$$

where  $H_{near,k} = \sqrt{d_{near,k}^{-\eta}} (\text{randn}(1, N) + li * \text{randn}(1, N)) / \sqrt{2}$  is the k-th downlink channel coefficient of near UE. Each channel coefficient is modelled by Rayleigh fading with zero mean and unit variance. The  $\sigma_k$  is the variance of independent and identically distributed (i.i.d.) zero mean complex additive white Gaussian noise (AWGN) of the k-th subcarrier. Also, the  $\eta$  is called the path loss exponent and  $P_k$  is the total transmitted power of the k-th subcarrier. Note that  $\gamma_2$  is the second power allocation to adjust power of near user.

Basically, the achievable rate in the near user is higher than that of the far one. Besides, the conventional NOMA system is usually emphasized on the first power allocation that leads to overlap ratio and aims to minimize the gap between near and far users. Hence, we propose the second power allocation in near user, which is without overlap ratio between the two different UEs. Overall, we have developed and improved power allocations. Thus, the power allocations result in equal



achievable rate sum and prevents the gap of achievable rate among users.

In this section, we will be illustrating the double power allocations in respect of the  $SINR_{near,k}$  and we define it as  $\gamma_1, \gamma_2$  which are the power allocation coefficients for the near's UE,  $0 \leq \gamma_{1,2} \leq 1$ . In R1,  $\gamma_2$  is allocated power to R1, the near's UE signals without interrupting signals. In R2, as  $\gamma_1$  is allocated power to R2, the near user initially performs SIC due to interference signal from far user before decoding its own signal [10]. We consider the effect of SIC performance in (3) using  $\delta$ , which is a positive integer number (0 or 1). When the SIC succeeds ( $\delta = 0$ ) [11].

Similarly, the received SINRs of far UE can be written as:

$$SINR_{far,k} = \begin{cases} \frac{|H_{far,k}|^2(1-\gamma_1)P_k}{\delta|H_{far,k}|^2\gamma_1P_k + \sigma_k^2} & k \text{ is in R2} \\ |H_{far,k}|^2P_k/\sigma_k^2 & k \text{ is in R3} \end{cases} \quad (3)$$

Where  $H_{far,k} = \sqrt{d_i^{-\eta}}(\text{randn}(1, N) + li * \text{randn}(1, N))/\sqrt{2}$  is the k-th downlink channel coefficient of far UE. The term containing the near UE component will be treated as an interference. The BS has two distinct messages to the far user and the near user. Consequently, the power allocation factors for the far and the near user can promote user fairness in which the higher power is given to the far user and the lower power to the near user makes up for the SINR loss by the interference. Note that, we assume  $P_k = P$  for all  $k$ .

From the achievable rate of each UEs in (2) and (3), the achievable rates for the near and far UEs,  $R_{near}$  and  $R_{far}$ , are calculated and can be expressed respectively,

$$R_{near} = \Delta \sum_{k \in \{R1, R2\}} \log_2(1 + SINR_{near}[k]), \quad (4)$$

$$R_{far} = \Delta \sum_{k \in \{R2, R3\}} \log_2(1 + SINR_{far}[k]),$$

#### B. Fairness between UEs' Achievable Rates

In this section, we will demonstrate P-NOMA system improvements in terms of equipment fairness based on near UE's overlap ratio (NOR) and far UE's overlap ratio (FOR), also explain how to improve power allocation in the P-NOMA system. Finally, we illustrate the results of the achievable rate of each UEs.

First of all, we investigate the sum of the achievable rate, which identify the differences in the sum of achievable rate between near UE and far UE. if the gap of achievable rate is reduced or very slight. There will be highlighted as fairness. The sum of the achievable rate and gap of achievable rate,  $R_{sum}$  and  $R_{gap}$ , are calculated as follows, respectively,

$$R_{sum} = R_{near} + R_{far} \quad (5)$$

$$R_{gap} = |R_{near} - R_{far}|$$

The declaration of parameters values are followed by N which is the number of sub-carriers. That number is equal to 512, the tone space  $\Delta$  is 15kHz and the total transmitted SNR per subcarrier is 10 dB. The first power allocation coefficient,  $0 \leq \gamma_1 \leq 1$ , is obtained by the fractional transmitted power allocation scheme [12]. In the beginning, SIC threshold is 0

dB as our assumption. The location between the near and far UE is double distances which is accounted for 1:2, and  $\eta$  is called the path loss exponent. Typically, we set  $\eta=4$ . The below Table I shows variable values.

TABLE I  
SIMULATION PARAMETERS

Parameter	Values
Distance between the near and far UE	1:2
Number of subcarriers, N	512
Subcarrier offset, $\Delta$	15 kHz
transmit power, P	10 dB
Path loss exponent, $\eta$	4
Channel model	Rayleigh fading
Power allocations, $\gamma_1, \gamma_2$	$0 \leq \gamma_1, \gamma_2 \leq 1$
SIC succeeds	0
The far UE's overlap ratio (FOR)	$0 \leq \alpha$
The near UE's overlap ratio (NOR)	$\beta \leq 1$

The result shown in Figure 3 shows the achievable rate of UE according to NOR and FOR. The NOR is in a fixed position and the FOR position is changed or increased. The result of the sum rate is the same, when NOR is added. In addition, the resulting sum rate increases as the achievable rate remains stable and the NOR is raised.

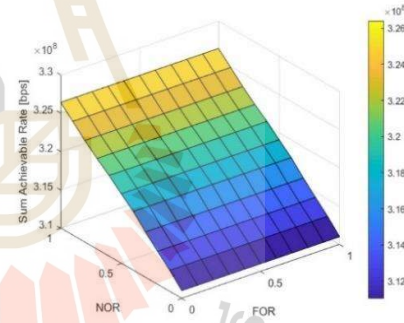


Fig. 3 The sum of achievable rate in each UEs.

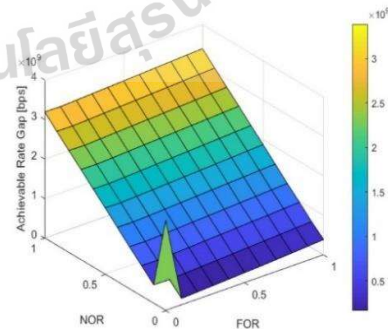


Fig. 4 The difference of achievable rate in each UEs.

Figure 4 illustrate the gap of achievable rate of Each UEs. The user fairness will be highlighted overlap ratio. If the gap of achievable rate decreases, it effects to a better quality of user. From the figure, the NOR is minimal. As the FOR increases, there is the smallest gap of achievable rate.

#### IV. SIMULATION RESULTS

In this section, we present an analysis gap of achievable rate in the P-NOMA system. The results demonstrate that the achievable rate sum is equivalent between the near and far users.

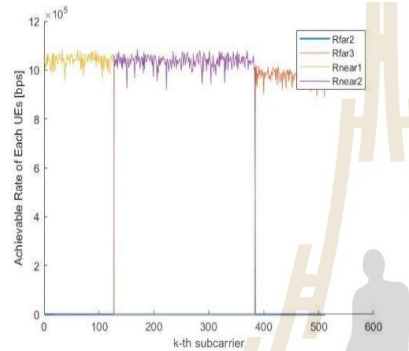


Fig. 5 The achievable rate of near and far UEs in conditions for three regions.

Figure 5. shows the difference of achievable rate in each UEs under the conditions of the system (R1, R2, and R3). It is noticeable that near and far users in R2 have the same achievable rate. This is because the first power allocation pays a successful role on R2. However, the rate of near user in R1 is always higher than far user. Therefore, we need the second power allocation to make this gap be zero.

We explore the second power allocation parameters and methods for calculating the achievable rate and gap of achievable rate for each UEs. The improvement of the second power allocation is considered in R1.

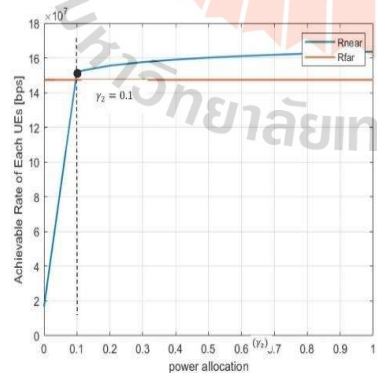


Fig. 6 The achievable rate of near and far UEs in the proposed double power allocations.

The analyzing results are shown in Figure 6. It may be considered that when we adjust the second power allocation in region 1 by finding the optimal value of the second power allocation,  $\gamma_2 = 0.1$ , NOR=0 and FOR=0.1. The intersection between  $R_{near}$  and  $R_{far}$  is the best value to the guarantee fairness with zero gap.

#### V. CONCLUSION

In this paper, we have proposed the partial non-orthogonal multiple access (P-NOMA) system to conduct the improving of double power allocations to support user fairness by introducing the effective method to allocate power. As a result, the power allocations affect the sum achievable rate. Likewise, we have repaired the power allocation of the near UEs signals, which is without interference. It is noticeable that the achievable rate between the near ever though the far user has introduced an increase in the overlap ratio. Furthermore, we insist that this approach makes a neutral result between user equipments.

#### REFERENCES

- [1] Innok A., Uthansakul P., Uthansakul M., "Angular beamforming technique for MIMO beamforming system," *International Journal of Antennas and Propagation*, 2012, pp.1-9.
- [2] Islam S.M.R., Avazov N., Dobre O.A., Kwak K.-S., "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2, pp.721-742, 2017.
- [3] Uthansakul P., Bialkowski M.E., "Multipath signal effect on the capacity of MIMO MIMO-OFDM and spread MIMO-OFDM," *15th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON - 2004*, pp.989-992.
- [4] Kim B., Park Y., Hong D., "Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA)," *IEEE Wireless Communications Letters*, 8, 5, pp.1377-1380, 2019.
- [5] Kim B., Heo J., Hong D., "Partial Non-Orthogonal Multiple Access (P-NOMA) with Respect to User Fairness," *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*.
- [6] Uthansakul P., Anchuen P., Uthansakul M., Khan A.A., "QoE-Aware self-tuning of service priority factor for resource allocation optimization in LTE networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69, 1, pp.887-900, 2020.
- [7] Uthansakul P., Anchuen P., Uthansakul M., Ahmad Khan A., "Estimating and Synthesizing QoE Based on QoS Measurement for Improving Multimedia Services on Cellular Networks Using ANN Method," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 17, 1, pp.389-402, 2020.
- [8] Sharma P., Kumar A., Bansal M., "Performance Analysis of P-NOMA Over Generalized Fading Channel," *IEEE Access*, 8, 1, pp.105962-105971, 2020.
- [9] Promsuvana N., Uthansakul P., "Feasibility of adaptive 4x4 MIMO system using channel reciprocity in FDD mode," *14th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC 2008*, pp.1-6.
- [10] Tomida S., Higuchi K., "Non-orthogonal Access with SIC in Cellular Downlink for User Fairness Enhancement," *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPCS) 2011 International Symposium on*, pp. 1-6.
- [11] Ding Z., Lei X., George K., Schober R., Yuan J., Bhargava V.K., "A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 10, pp.2181-2195, 2017.
- [12] Fang F., Zhang H., Cheng J., Leung V.C.M., "Energy-Efficient Resource Allocation for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access Network," *IEEE Transactions on Communications*, 64, 9, pp.3722-3732, 2016.

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวธิดาพร เผื่อสูงเนิน เกิดวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ 2540 เริ่มศึกษาชั้นอนุบาลปีที่ 1-2 ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านโป่ง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ได้สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนสูงเนิน อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ 2563

ปี พ.ศ 2563 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนการศึกษา (OROG)

ผลงานวิจัย : บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 1 ฉบับคือ 2021 IEEE 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2021), Chiang Mai, Thailand วันที่ 19 พฤษภาคม 2564 เรื่อง Double Power Allocations for User Fairness in P-NOMA System.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี