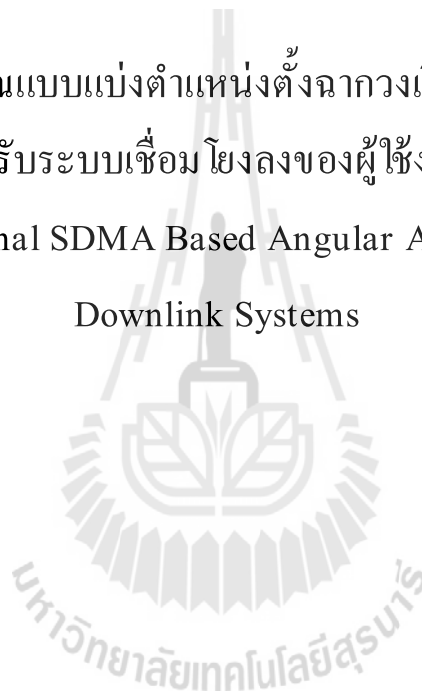




รายงานการวิจัย

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์
เชิงมุมสำหรับระบบเชื่อมต่อ โยงลงของผู้ใช้งานหลายคน

Open Loop Orthogonal SDMA Based Angular Analysis for Multiuser
Downlink Systems



ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์
เชิงมุมสำหรับระบบเชื่อมต่อ โยงลงของผู้ใช้งานหลายคน

Open Loop Orthogonal SDMA Based Angular Analysis for Multiuser
Downlink Systems

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2559

ก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้
ขอขอบคุณนักศึกษาในที่ปรึกษาของผู้วิจัยที่ช่วยเก็บผลการทดลอง นางสาวพิมพ์จันทร์ ชัยชนะและ
ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อูทาสกุล สำหรับคำแนะนำในเชิงวิชาการที่เป็นประโยชน์

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2559



บทคัดย่อ

วิวัฒนาการของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงยุคที่ 4 ซึ่งในปัจจุบัน นิยมใช้ระบบแอลทีอี แต่เนื่องจากการเติบโตของแอปพลิเคชันใหม่ที่ใช้งานบนแอลทีอีพัฒนาไปอย่างรวดเร็วซึ่งหมายความว่าความต้องการเข้าใช้อินเตอร์เน็ตจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตรา ทราฟฟิกข้อมูลเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องเร่งพัฒนาระบบแอลทีอีให้ทันต่อ การเติบโตเหล่านี้ ซึ่งในบางบทความทางวิชาการที่มีการสำรวจและศึกษาไปแล้วนั้นใช้คำว่า โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 5 โดยมีแนวความคิดว่าจะมีอัตราเร็วข้อมูลสูงกว่าแอลทีอีมาก แต่ เนื่องจากทรัพยากรความถี่มีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องมีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการหลายด้าน เพื่อ จัดสรรให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจพัฒนาเกี่ยวกับการร่วมใช้ ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง ซึ่งผู้ให้บริการอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันแต่สามารถร่วมใช้ ช่องสัญญาณเดียวกันพร้อมกันได้

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิคใหม่ของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม โดยเรียกว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัย โอกาสจากจีพีเอส ซึ่งสามารถก่อรูปลำคลื่นโดยไม่อาศัยข้อมูลช่องสัญญาณป้อนกลับโดยตรง แต่ อาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการจากจีพีเอสเข้ามาช่วยในการก่อรูปลำคลื่นแทนเพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณ แบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ออกซึ่งอาศัยข้อมูลช่องสัญญาณป้อนกลับโดยตรงในการก่อรูปลำคลื่นแล้วเทคนิคที่นำเสนอได้รับค่าความจุช่องสัญญาณที่มากกว่า

Abstract

The evolution of mobile telephone networks is currently stepping into the fourth generation (4G) era. The most well-known system in this era is LTE system. The rapid growth of new applications for LTE system is the main reasons to drive the new development for LTE system to support the required demand. Some works in literature defined such a development as the fifth generation (5G) era by expecting to have much more data transmission than LTE system. However, the limitation of resource is still so big problem that many techniques have been proposed to utilize the limited resource. Among those techniques, the space division multiple access is the most efficient technique to share the same resource at the same time for the different users.

In this research, we proposed a new technique based on open loop orthogonal SDMA called as GPS-aided OSDMA. The beam can be formed without the channel information fed back but the perception of the use of GPS to help to increase the capacity of the channel. The test results comparing the performance with angle of departure aided opportunistic space division multiple access technique which channel information fed back directly into the beamforming. The proposed technique has been greater than the capacity of the channel.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย	3
1.4 ผลสำเร็จของโครงการ	4
1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ โครงการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 สายอากาศแก่ง.....	5
2.2.1 สายอากาศแถวลำดับ	6
2.2.2 การก่อรูปลำคลื่น.....	14
2.2.3 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง.....	19
2.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	20
2.3.1 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน	21
2.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring”	22
2.4 ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโม (MIMO Channel Capacity).....	24
2.4.1 ช่องสัญญาณ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Static channel).....	24
2.4.2 ช่องสัญญาณที่มีการเฟด (Fading channel).....	27
2.4.3 ช่องสัญญาณที่ ใช้พิจารณาในโครงการวิจัย	28

2.5	กล่าวท้ายบท	28
บทที่ 3	การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม	29
3.1	กล่าวนำ	29
3.2	การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม	29
3.2.1	ประเภทของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส	31
3.2.2	การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม	36
3.3	หลักการทํางานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้	63
3.4	การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight)	64
3.5	ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย	68
3.5.1	ช่องสัญญาณที่พิจารณา	68
3.6	แบบจําของระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส	71
3.7	กล่าวท้ายบท	72
บทที่ 4	ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์	73
4.1	กล่าวนำ	73
4.2	ผลการจำลองแบบเมื่อยังไม่เกิดความคลาดเคลื่อน	73
4.3	ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน	75
4.4	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้	78
4.5	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ	79
4.6	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น	81
4.7	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR	82
4.7.1	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 67%	82
4.7.2	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 95%	84
4.8	กล่าวท้ายบท	85
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	86
5.1	สรุป	86
5.2	ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม	60

ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัย.....	63
ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....	64
ประวัติผู้วิจัย.....	77



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	สายอากาศแก่ง.....	6
รูปที่ 2.2	สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน $N \times 1$ ต้น [อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).].....	7
รูปที่ 2.3	สายอากาศแถวลำดับระนาบจำนวน $N \times M$ ต้น [อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).]	11
รูปที่ 2.4	สายอากาศแถวลำดับวงกลมจำนวน N ต้น [Frank B. Gross, PhD. (2005).]	13
รูปที่ 2.5	การก่อรูปลำคลื่นที่มีพหุลักษณะไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และมีจุดศูนย์หันไป	15
รูปที่ 2.6	ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 2 ต้น	16
รูปที่ 2.7	ระบบเอสดีเอ็มเอแบบหลายลำคลื่น [Constantine A. Balanis. (2005).].....	18
รูปที่ 2.8	บล็อกไดอะแกรมของระบบเอสดีเอ็มเอ	18
รูปที่ 2.9	การรับส่งข้อมูลในระบบโมโม	19
รูปที่ 2.10	แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” [อภิญา อินทร์นอก. (2553).]	22
รูปที่ 3.1	แบบจำลองของระบบโอเอสดีเอ็มเอ	30
รูปที่ 3.2	บล็อกไดอะแกรมของระบบ OSDMA-S [Wan Choi; Forenza. (2007).].....	32
รูปที่ 3.3	บล็อกไดอะแกรมของระบบ AOD-OSDMA.....	34
รูปที่ 3.4	การรวมระบบจีพีเอสเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	38
รูปที่ 3.5	ทิศทางของผู้ใช้ในระนาบ 2 มิติ	40
รูปที่ 3.6	โครงสร้างสถาปัตยกรรมของแอลทีอี [http://telecom10.blogspot.com].....	41
รูปที่ 3.7	สถาปัตยกรรมโครงข่ายสำหรับ LCS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]	42
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการระบุตำแหน่งทั่วไป [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).].....	44
รูปที่ 3.9	หลักการของ A-GPS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]	45
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวิธี A-GPS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).].....	46
รูปที่ 3.11	LTE DL/UL การจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับ คลื่นพาหะย่อย (subcarriers) ใช้สำหรับ	47
รูปที่ 3.12	เทคโนโลยี OFDM และ OFDMA [http://telecom10.blogspot.com]	49
รูปที่ 3.13	การผสมสัญญาณที่ตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน [http://www.wirelessdesignmag.com]	50
รูปที่ 3.14	หลักการของ OFDMA และ SC-FDMA [http://telecom10.blogspot.com]	63
รูปที่ 3.15	เทคโนโลยี OFDMA และ SC-FDMA [https://www.exploreagate.com]	63

รูปที่ 3.16	แผนการทำงานของการทำงานร่วมกันใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส	64
รูปที่ 3.17	ระบบสายอากาศเก็ง	65
รูปที่ 3.18	ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น	66
รูปที่ 3.19	แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบไมโม [อภิญา อินทร์นอก, 2553.]	68
รูปที่ 3.20	ทิศทางที่ผิดพลาดจากการประมาณตำแหน่งในวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS	70
รูปที่ 3.21	แบบจำลองของระบบการทำงานร่วมกันใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส	71
รูปที่ 4.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของเทคนิค SDMA(full) AOD-OSDMA และ OSMDA (proposed) โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 และอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน	74
รูปที่ 4.2	ระยะทางคลาดเคลื่อนในคอลัมน์ 67%	75
รูปที่ 4.3	ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน	77
รูปที่ 4.4	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้	79
รูปที่ 4.5	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ	80
รูปที่ 4.6	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น	82
รูปที่ 4.7	การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 60 เมตร	82
รูปที่ 4.8	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 60 \text{ m}$	83
รูปที่ 4.9	การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 200 เมตร	84
รูปที่ 4.10	ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 200 \text{ m}$	85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหน่วยเมตร [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).].....42

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาในการตอบสนองของแต่ละวิธี [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]42

ตารางที่ 3.3 แสดงแบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในระบบแอลทีอี [Ericsson. (2010).].....47

ตารางที่ 3.4 แบนด์ความถี่ที่เป็นแบนด์คู่ในข้อกำหนดของ 3GPP [Ericsson. (2010).].....48

ตารางที่ 3.5 แบนด์ความถี่ที่ไม่เป็นแบนด์คู่ในข้อกำหนดของ 3GPP [Ericsson. (2010).]48

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.1..... 74

ตารางที่ 4.2 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหน่วยเมตร 75

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.3..... 76

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.4..... 78

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5..... 80

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.6..... 81

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.8..... 83

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.10..... 84

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ระบบสื่อสารที่มีสายอากาศแถวลำดับทั้งสองด้านของภาคส่งและภาครับ ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่าระบบโมโม (MIMO) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากความสามารถที่ทำให้เกิดข้อดีมากมายในสภาพแวดล้อมที่มีการกระเจิงคลื่นเต็มไปหมด ระบบโมโมสามารถเพิ่มความจุของช่องสัญญาณได้อย่างมากและเป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถือสูงแถมยังใช้ทรัพยากรความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย แต่ระบบโมโมก็มีข้อเสียที่การใช้งานในทางปฏิบัตินั้นจำเป็นต้องมีการประมาณช่องสัญญาณและการรับรู้ช่องสัญญาณที่ประมาณมานี้ทั้งภาคส่งและภาครับให้ถูกต้องที่สุด ความคิดพลาดในการรับรู้ช่องสัญญาณนี้ก็จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบโมโมโดยตรง อย่างไรก็ตามระบบโมโมนี้ก็ได้รับการยอมรับให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารในอนาคตที่รองรับความต้องการใช้งานที่อัตราการส่งข้อมูลสูง ตัวอย่างมาตรฐานที่มีระบบโมโมอยู่ด้วย เช่น LTE-A, mobile WiMAX, IEEE 802.11ac เป็นต้น

ในการใช้งานจริงระบบสื่อสารต้องรองรับการทำงานจากผู้ใช้หลายคน (Multiuser) พร้อมกัน ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอยู่ในขณะนี้ และปัญหาจะซับซ้อนมากขึ้นเมื่อใช้เทคโนโลยีของระบบโมโม วิธีการหนึ่งที่จัดการปัญหาจากผู้ใช้หลายคนคือการเข้ารหัสข้างหน้าเชิงตำแหน่ง (Spatial Precoding) สำหรับแต่ละผู้ใช้งาน เมื่อสัญญาณทั้งหมดถูกส่งจากผู้ใช้งานพร้อมๆ กัน สัญญาณเหล่านี้จะรวมกันและทำหน้าที่เป็นสัญญาณแทรกสอดของกันและกัน แต่ที่ภาครับจะต้องสามารถรับสัญญาณที่ส่งถึงผู้ใช้งานรายนั้นแยกออกจากสัญญาณรวมได้ บางกรณีต้องถอดรหัสข้างหลังเชิงตำแหน่ง (Spatial Postcoding) ร่วมด้วย กระบวนการเหล่านี้ทำให้เสมือนเป็นการส่งข้อมูลหลายๆ เส้นทางพร้อมๆ กัน ไปยังผู้ใช้งานแต่ละคนแยกตามตำแหน่งที่ผู้ใช้งานอยู่หรือเรียกว่าเป็นการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง (Space Division Multiple Access: SDMA) และถ้ารหัสที่เข้านั้นมีคุณสมบัติพิเศษที่ตั้งฉากกันและกัน ก็จะเรียกกระบวนการนี้ว่าการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉาก (Orthogonal SDMA: OSDMA) ทั้งนี้ระบบ OSDMA ก็ยังคงต้องการข้อมูลจากช่องสัญญาณป้อนกลับมาให้กับภาคส่งในลักษณะวงปิด (Close Loop) ซึ่งทำให้ในทางปฏิบัติมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก นอกจากนี้ยังเพิ่มการหน่วงเวลาที่จะต้องรอการป้อนกลับของช่องสัญญาณอีกด้วย ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากในลักษณะที่เป็นแบบวงเปิด (Open Loop) เพราะจะทำให้ระบบไม่ซับซ้อน สามารถสร้างและใช้จริงได้

อย่างมีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติ โดยการพัฒนานี้จะอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณเชิงมุมร่วมด้วย ทั้งนี้ เพราะรูปแบบของสัญญาณที่ส่งและรับกันจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง หรือทิศทางที่สัญญาณนั้น ส่งออกและรับเข้า ทำให้การกำหนดรหัสที่ข้างหน้าสามารถพิจารณาจากเวกเตอร์ทิศทาง (Steering Vector) ได้โดยตรง

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มียานวิจัยใดที่พัฒนาพัฒนาการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบ แบ่งตำแหน่งตั้งฉากแบบวงเปิด ซึ่งผลสำเร็จจากการวิจัยนี้จะช่วยให้ระบบสื่อสารสามารถใช้งานเชื่อมโยง ลงกับผู้ใช้หลายคนได้พร้อมๆกัน และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ รวมถึงยังเพิ่ม จำนวนผู้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้น ทำให้งานวิจัยนี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทาง เศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่ 7 เพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศด้าน เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แผนงานวิจัยที่ 5 การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ โทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ และยังสอดคล้องกับแผนงานวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) เรื่อง 4. ยุทธศาสตร์การปรับ โครงสร้างเศรษฐกิจสู่การเติบโตอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน หัวข้อ 4.2 การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม

นอกจากนี้ผลสำเร็จของโครงการวิจัยยังทำให้คุณภาพของการสื่อสารไร้สายดีขึ้นเพราะไม่มีการหน่วง เวลาในการรอข้อมูลของช่องสัญญาณที่ส่งย้อนกลับมา เป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มเป้าหมาย ด้วย การพัฒนาองค์ความรู้จากนักวิจัยในประเทศไทย ทำให้ตรงกับนโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก หัวข้อที่ 8. ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเพิ่มกำลังซื้อภายในประเทศ สร้างสมดุลและความ เข้มแข็งอย่างมีคุณภาพให้แก่ระบบเศรษฐกิจมหภาค และตรงกับนโยบายระยะการบริหารราชการ 4 ปี ของ รัฐบาล หัวข้อที่ 5. นโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัย และนวัตกรรม 5.1 เรื่องการเร่งพัฒนาให้ ประเทศไทยเป็นสังคมที่อยู่บนพื้นฐานขององค์ความรู้

จากการสำรวจวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคที่เสนอในงานวิจัยนี้เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่เคยมี งานวิจัยใดเสนอมาก่อน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพัฒนาเทคนิคดังกล่าวในทางปฏิบัติด้วยชุดทดสอบการร่วมใช้ ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉาก ชุดทดสอบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆที่สามารถหาซื้อได้ตาม ท้องตลาดทั่วไปและนำมาเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการพัฒนาโครงการวิจัยนี้ จึงถือเป็นแนวทางในการพัฒนา เครื่องรับส่งในระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยีที่สำคัญทั้งในปัจจุบันและอนาคต ทำให้นำไปสู่การสร้างฐานรากของอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสื่อสารอื่นๆ ของประเทศ จึงสอดคล้องกับ กลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2555-2559) หัวข้อ 9.

เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม และสอดคล้องแผนงานวิจัยกับยุทธศาสตร์การวิจัย
ของชาติรายประเด็นที่ 8 ยุทธศาสตร์การวิจัยรายเทคโนโลยี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ความรู้ของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉาก
2. เพื่อพัฒนาการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากแบบวงเปิด
3. เพื่อสร้างเทคโนโลยีใหม่ที่มีศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศได้

1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง ด้วยการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ศึกษาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉาก โดยใช้การจำลองแบบด้วยโปรแกรม MATLAB ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. ศึกษาลักษณะของวงเปิด เพื่อนำไปประยุกต์กับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉาก ด้วยโปรแกรม MATLAB ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
4. พัฒนารูปแบบในการกำหนดทรัพยากรสำหรับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากแบบวงเปิด ด้วยโปรแกรม MATLAB ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
5. ศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดทดสอบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่ได้ นำเสนอ โดยพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาและทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
6. เก็บผลการทดสอบชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
7. วิเคราะห์ผลการทดสอบ และเปรียบเทียบกับแนวทางที่เสนอไว้ในงานวิจัยอื่นๆ
8. พัฒนา ปรับปรุง แก้ไข เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้
9. เสนอบทความในงานประชุมวิชาการ
10. นำข้อเสนอแนะในงานประชุมวิชาการมาปรับปรุงงานวิจัย

11. สรุปผลสำเร็จของโครงการและทำรายงานโครงการ

1.4 ผลสำเร็จของโครงการ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือการเผยแพร่ผลงานวิจัยนี้ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 1 บทความ ซึ่งเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เผยแพร่แก่นักวิจัยที่ทำงานใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับงานวิจัยอื่นๆ ได้ ซึ่งหน่วยงานวิจัยทางโทรคมนาคมในประเทศไทยสามารถนำผลงานดังกล่าวไปใช้ได้

1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Sharif, M.; Hassibi, B., (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คือ อาศัยการป้อนกลับข้อมูลสถานะช่องสัญญาณเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่นเนื่องจาก การป้อนกลับข้อมูลอย่างสมบูรณ์นั้นมีความยากและซับซ้อนสูง หลักการของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คือ ภาคส่งส่งข้อมูลออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับลำคลื่นไหนก็จะป้อนข้อมูลกลับมายังภาครับจากนั้นภาครับก็จะส่งข้อมูลออกไปตามลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้ แต่พบว่ามีร่องรับหากมีผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้น Wan Choi; Forenza, (2007) จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสการเลือกลำคลื่น คือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการรองรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่ามีข้อมูลป้อนกลับนั้นมีผิดพลาดจำนวนมากทำให้ Dahman, G.S.; (2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย แต่ยังพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นอาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิดในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้แล้วจะคำนวณทิศทางของผู้ใช้นั้นและก่อรูปลำคลื่นออกไปยังผู้ใช้เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะได้อธิบายละเอียดในบทถัดไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

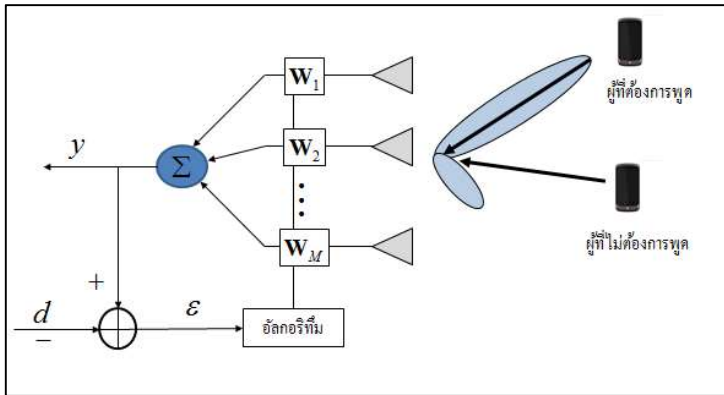
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 3 ส่วน ส่วนแรกคือทฤษฎีสายอากาศเก่ง โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีในการก่อรูปลำคลื่นในสายอากาศแถวลำดับแบบต่างๆ ต่อมาในส่วนที่สองจะกล่าวถึงช่องสัญญาณในระบบ โมโม่และช่องสัญญาณที่ใช้ในโครงการวิจัย ในส่วนที่สามจะกล่าวถึงทฤษฎีความจุช่องสัญญาณ ในส่วนสุดท้ายเป็นการสรุปท้ายบท

2.2 สายอากาศเก่ง

คำว่า สายอากาศเก่ง โดยทั่วไปนั้นหมายถึงสายอากาศแถวลำดับ (array antennas) มีการประมวลผลสัญญาณที่ซับซ้อน ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับตัวให้ลำคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการและลดสัญญาณแทรกสอด สายอากาศเก่งจะครอบคลุมทั้งระบบสวิตซ์ลำคลื่น (switched beam) และระบบการก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว (adaptive beamforming) ระบบสวิตซ์ลำคลื่นจะมีลำคลื่นคงที่หลายรูปแบบ การตัดสินใจสวิตซ์ลำคลื่นในการเข้าถึงไปยังจุด ณ เวลาใดๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการ (requirement) ของระบบ ส่วนระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัวมีการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่สนใจในขณะที่เดียวกันจะหันจุดศูนย์ (null) ไปในทิศทางสัญญาณแทรกสอด สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศเก่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว

ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงสายอากาศเก่งที่มีการออกแบบเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัญญาณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยอัลกอริทึมที่กำหนด เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพหรือฟังก์ชันค่าใช้จ่ายที่จะถูกกำหนดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการในคู่มือ เช่น ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายมีการกำหนดค่าผิดพลาด (error) เป็นขนาดยกกำลังสอง $|e|^2$ ระหว่างสัญญาณ d ที่ต้องการกับสัญญาณเอาท์พุท y และตัวถ่วงน้ำหนัก \mathbf{W} ที่มีการปรับตัวไปให้ตรงกับสัญญาณที่ต้องการ ผลที่ได้คือรูปแบบที่เหมาะสม



รูปที่ 2.1 สายอากาศแก่ง

2.2.1 สายอากาศแถวลำดับ

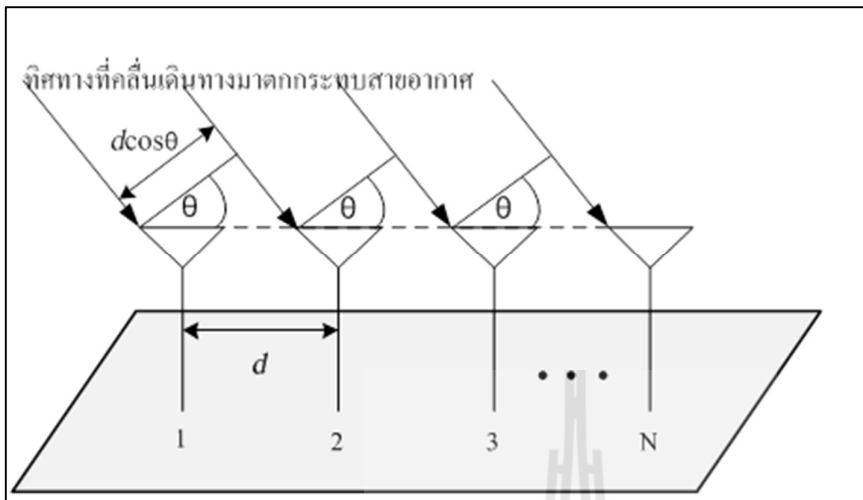
สายอากาศแถวลำดับ (antenna array) เป็นระบบที่นำเอาสายอากาศมาวางเรียงกันในรูปแบบต่าง ๆ โดยอาจมีการป้อนสัญญาณเข้าที่ตัวสายอากาศต้นเดียวหรือหลายต้นเพื่อแผ่กระจายคลื่นออกไป การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองหรือระบบสายอากาศแก่ง (smart antennas) แบบดั้งเดิมจำเป็นที่จะต้องใช้สายอากาศในรูปแบบแถวลำดับเท่านั้นจึงจะสามารถหันพู่คลื่นหลักไปยังทิศทางที่ต้องการได้ด้วยกระบวนการถ่วงน้ำหนักหรือปรับเฟสที่สายอากาศแต่ละต้นซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนที่ 2.2.2 สายอากาศแถวลำดับจะมีการวางตัวหลายรูปแบบเช่น แบบเส้น ระนาบและวงกลม

2.2.1.1 สายอากาศแถวลำดับแบบเส้น

สายอากาศแถวลำดับแบบเส้น (linear array antennas) เป็นสายอากาศแถวลำดับพื้นฐานและมีโครงสร้างที่ง่ายที่สุด คือประกอบด้วยสายอากาศแต่ละต้นวางตัวเรียงกันเป็นเส้นตรงซึ่งอาจจะมีระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละต้นเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ สายอากาศแถวลำดับในรูปแบบที่ 2.2 เป็นสายอากาศแบบแบบเส้นจำนวน N ต้นหรือ $N \times 1$ ต้น ในการวางตัวสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงระยะห่าง (d) ขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบนั้นด้วย เนื่องจากระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้นนั้นจะมีผลต่อการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโดยปกติแล้วสายอากาศแต่ละต้นจะวางตัวห่างกันครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งการคำนวณหาระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละต้นนั้น สามารถหาได้จากสมการ (2.1)

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (2.1)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น



รูปที่ 2.2 สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน $N \times 1$ ต้น [อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).]

ในรูปที่ 2.2 แสดงถึงสายอากาศแบบแบบเส้น $N \times 1$ ต้น โดยที่ระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้นเท่ากันทุกต้นและมีแอมพลิจูดเท่ากัน ซึ่งสายอากาศแถวลำดับที่มีรูปแบบดังกล่าวจะเรียกว่า แถวลำดับสม่ำเสมอ (uniform array) ซึ่งจะมีองค์ประกอบแถวลำดับที่เหมือนกัน มีการป้อนกระแสให้กับทุกๆ องค์ประกอบเท่ากัน และจะมีความต่างเฟสเป็นลำดับกันไปอย่างเท่า ๆ กัน เราสามารถหาค่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับ (U_{array}) นี้จากการคูณกันระหว่างค่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นเดียวที่จุดอ้างอิงหรือจุดกำเนิด (U_{ant}) กับตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor: AF) ดังแสดงในสมการ (2.2)

$$U_{array} = U_{ant} \times AF \quad (2.2)$$

โดยทั่วไปแล้วในตำราต่าง ๆ จะนิยมใช้สายอากาศต้นเดียวเป็นจุดกำเนิดสัญญาณ หรือสายอากาศไอโซทรอปิก (isotropic antenna) ที่มีคุณสมบัติแผ่พลังงานในทุกทิศทางรอบตัวเท่ากัน ดังนั้นแบบรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับจึงมีค่าเท่ากับตัวประกอบแถวลำดับนั่นเอง ตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{+j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.3)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.4)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \quad (2.5)$$

เมื่อ $\psi = kd \cos \theta + \beta$ k คือหมายเลขคลื่น (wave number) เท่ากับ $2\pi/\lambda$ d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละต้นและ β คือ ความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้น จากสมการ (2.5) เราสามารถลดรูปของสมการได้ดังนี้

$$(AF)e^{j\psi} = e^{j\psi} + e^{j2\psi} + e^{j3\psi} + \dots + e^{j\psi(N-1)} + e^{jN\psi} \quad (2.6)$$

แทนสมการ (2.5) ลงใน (2.6) จะสามารถลดรูปของสมการลงเหลือ

$$(AF)(e^{j\psi} - 1) = (-1 + e^{jN\psi}) \quad (2.7)$$

ย้ายข้างและจัดรูปสมการจะได้

$$\begin{aligned} AF &= \left[\frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} \right] \\ &= e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}} \right] \\ &= e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

ถ้ากำหนดให้จุดอ้างอิงอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของสายอากาศแถวลำดับ ดังนั้นค่าของระยะห่างของสายอากาศ $d = 0$ และ $\beta = 0$ และ $\psi = kd \cos \theta + \beta = 0$ ดังนั้นสมการ (2.8) จะสามารถลดรูปลงได้เท่ากับ

$$AF = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.9)$$

ค่าของ ψ จะถือว่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นเราสามารถประมาณค่าสมการได้เท่ากับ

$$AF \cong \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{\psi}{2}} \right] \quad (2.10)$$

ค่าสูงสุดของสมการ (2.9) และ (2.10) จะมีค่าเท่ากับ N เพื่อที่จะกำหนดให้ค่าตัวประกอบแถวลำดับเป็นมาตรฐาน เราจึงต้องกำหนดให้ค่าสูงสุดของแต่ละสมการเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น

สมการมาตรฐานของตัวประกอบแถวลำดับคือ

$$AF_n = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.11)$$

$$AF_n \cong \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right] \quad (2.12)$$

2.2.1.2 สายอากาศแถวลำดับระนาบ

สายอากาศแถวลำดับระนาบ (planar array antennas) เป็นรูปแบบที่ประยุกต์มาจากรูปแบบสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นที่ได้อธิบายในหัวข้อย่อยที่ 2.2.1.1 สายอากาศแต่ละตัวถูกจัดวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมหรือที่เรียกว่าสายอากาศแถวลำดับระนาบ สายอากาศแถวลำดับระนาบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงาน

ที่ยืดหยุ่นกว่าแบบแบบเส้น คือสามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงแบบรูปการแผ่พลังงานได้ ดังนั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบมีความเอนกประสงค์มากและสามารถให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีความสมดุลและมีพูรองที่ต่ำ ยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบสามารถที่จะหันพู่หลักในมุมเงยและทุก ๆ ทิศรอบตัว 360° ดังนั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงานเรดาร์ การชี้ทางระยะไกล (remote sensing) การสื่อสารไร้สายและรวมถึงระบบสายอากาศแก่งด้วย ตามที่ได้อธิบายไว้ในหนังสือของ Allen, B., and Ghavami, M. (2005).

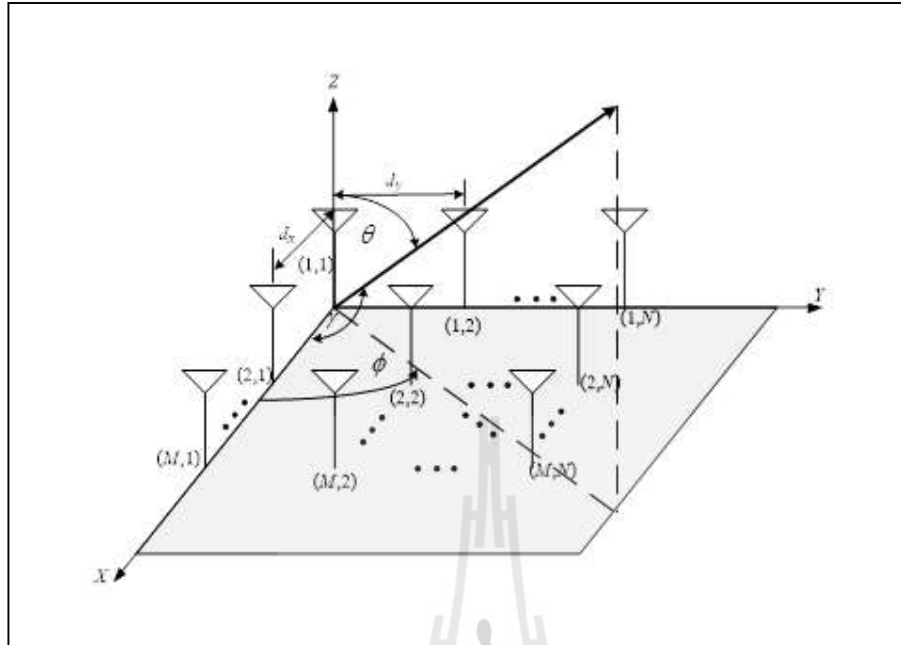
เราสามารถคำนวณหาพลังงานของสายอากาศแถวลำดับระนาบโดยใช้สมการ (2.12) ได้เช่นเดียวกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้น แต่จะมีค่าตัวประกอบแถวลำดับแตกต่างกันซึ่งสามารถหาได้โดยเริ่มจากพิจารณามุม γ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 จะได้

$$\begin{aligned}\cos \gamma &= \hat{a}_x \cdot \hat{a}_r = \hat{a}_x \cdot (\hat{a}_x \sin \theta \cos \phi + \hat{a}_y \sin \theta \sin \phi + \hat{a}_z \cos \theta) \\ &= \sin \theta \cos \phi\end{aligned}\quad (2.13)$$

เมื่อ \hat{a}_x \hat{a}_y \hat{a}_z และ \hat{a}_r คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของแกน x y z และ r ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะแนวแกน x เราจะได้ค่าตัวประกอบแถวลำดับดังนี้

$$\begin{aligned}AF_x &= \sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \cos \gamma + \beta_x)} \\ &= \sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)}\end{aligned}\quad (2.14)$$

เมื่อ I_{m1} คือค่าสัมประสิทธิ์กระแสกระตุ้นของสายอากาศแต่ละต้น d_x คือระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้นในแนวแกน x และ β_x คือค่าความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้นในแนวแกน x เมื่อ



รูปที่ 2.3 สายอากาศแถวลำดับระนาบจำนวน $N \times M$ ต้น [อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).]

พิจารณาเฉพาะแนวแกน y เช่นเดียวกันกับที่พิจารณาแกน x เราจะได้ค่าตัวประกอบแถวลำดับเท่ากับ

$$AF_y = \sum_{n=1}^N I_{1n} e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.15)$$

เมื่อ I_{1n} คือค่าสัมประสิทธิ์กระตุ้นของแต่ละต้นของสายอากาศแต่ละต้น d_y คือระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้นในแนวแกน y และ β_y คือค่าความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้นในแนวแกน y ดังนั้นเราสามารถหาค่าตัวประกอบแถวลำดับของทั้งแกน x และ y รวมกันหรือที่เรียกว่าระนาบได้ด้วยการคูณค่าตัวประกอบแถวลำดับของทั้งแกน x และ y เข้าด้วยกันจะได้

$$AF = \sum_{n=1}^N I_{1n} \left[\sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.16)$$

สมมติให้แอมพลิจูดของสายอากาศแต่ละต้นทั้งในแกน x และ y มีค่าเท่ากันจะได้

$$I_{mn} = I_{m1}I_{1n} \quad (2.17)$$

และกำหนดให้แอมพลิจูดมีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วยจะได้ $I_{mn} = I_0$ ดังนั้นเราสามารถลดรูปสมการ (2.16) ลงเหลือเท่ากับ

$$AF = I_0 \sum_{m=1}^M e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.18)$$

เช่นเดียวกันกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นเราสามารถทำสมการค่าตัวประกอบให้อยู่ในรูปมาตรฐานได้โดยใช้ฟังก์ชันไซน์ตามที่แสดงในสมการ (2.12) และ (2.13) ซึ่งจะได้เท่ากับ

$$AF_n(\theta, \phi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right\} \quad (2.19)$$

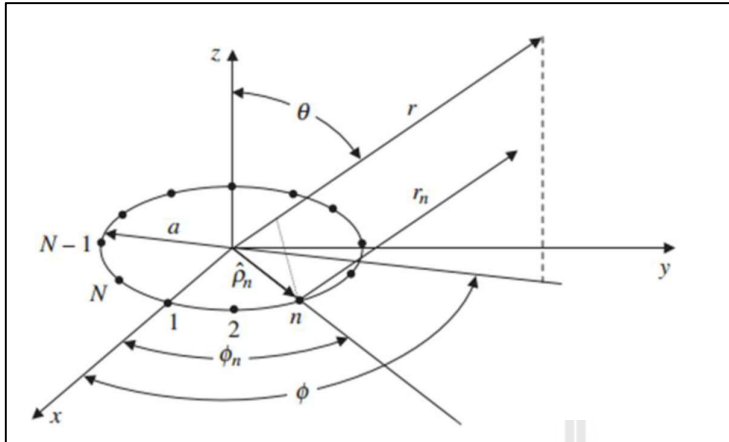
$$\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x \quad (2.20)$$

$$\psi_y = kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y \quad (2.21)$$

2.2.1.3 สายอากาศแถวลำดับวงกลม

ในบางกรณีที่สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นที่มีลักษณะขนาดใหญ่ไม่สามารถนำมาติดตั้งได้เนื่องจากข้อจำกัดทางพื้นที่ที่จะนำไปติดตั้ง เช่น บนเพดานหรือบนหลังคารถ เป็นต้น สายอากาศแถวลำดับวงกลม (circular array antenna array) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ โดยสายอากาศแถวลำดับวงกลมมีข้อดีเช่นเดียวสายอากาศแถวลำดับระนาบ คือสามารถที่จะหันพหุหลักในมุมเงยและทุก ๆ ทิศรอบตัว 360° โดยรูปที่ 2.4 แสดงแบบจำลองของสายอากาศแถวลำดับวงกลมที่มีสายอากาศจำนวน N ต้นที่วางอยู่บนระนาบ $x-y$ โดยตำแหน่งของสายอากาศแต่ละต้นจะถูกระบุด้วยรัศมี a และมุม ϕ_n ตามที่แสดงในรูปที่ 2.4 โดยเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของสายอากาศแต่ละต้นคือ

$$\hat{\rho}_n = \cos \phi_n \hat{x} + \sin \phi_n \hat{y} \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.4 สายอากาศแถวลำดับวงกลมจำนวน N ต้น [Frank B. Gross, PhD. (2005).]

และเราสามารถกำหนดให้เวกเตอร์ทิศทางที่พิจารณาในสนามระยะไกลคือ

$$\hat{\gamma} = \sin \theta \cos \phi \hat{x} + \sin \theta \sin \phi \hat{y} + \cos \theta \hat{z} \quad (2.23)$$

จากรูปที่ 2.4 เวกเตอร์ γ_n จะมีขนาดเล็กกว่าเวกเตอร์ γ เท่ากับขนาดของสเกลาร์ของ $\hat{\rho}_n$ ที่ตั้งฉากกับ $\hat{\gamma}$ ดังนั้น

$$\gamma_n = \gamma - a \hat{\rho}_n \cdot \hat{\gamma} \quad (2.24)$$

เมื่อ a คือตำแหน่งเชิงรัศมีของสายอากาศแต่ละต้นและ

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_n \cdot \hat{\gamma} &= \sin \theta \cos \phi \cos \phi_n + \sin \theta \sin \phi \sin \phi_n \\ &= \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) \end{aligned} \quad (2.25)$$

จากรูปที่ 2.4 เมื่อ θ คือทิศทางของพหุคูณเมื่ออ้างอิงกับแกน z และ ϕ คือทิศทางของพหุคูณเมื่ออ้างอิงกับแกน x และ ϕ_n คือตำแหน่งเชิงมุมของสายอากาศแต่ละต้น

เช่นเดียวกับสายอากาศแถวลำดับระนาบ เมื่อได้เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางที่สนใจแล้ว จะสามารถหาสมการค่าตัวประกอบแถวลำดับดังนี้

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{-j(ka\hat{p}_n \cdot \hat{r} + \delta_n)}$$

$$= \sum_{n=1}^N e^{-j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \delta_n]} \quad (2.26)$$

เมื่อ k คือหมายเลขคลื่น (wave number) $k = 2\pi/\lambda$ δ_n คือค่าความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้นและในกรณีที่สายอากาศวางตัวห่างกันอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นตำแหน่งเชิงมุมของสายอากาศแต่ละต้น ϕ_n สามารถคำนวณได้จาก

$$\phi_n = \frac{2\pi}{N}(n-1) \quad (2.27)$$

ถ้าเราให้ทิศทางของพู่หลักอยู่ที่ (θ_0, ϕ_0) ดังนั้นค่าความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้นจะเท่ากับ $\delta_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n)$ ซึ่งจะได้ค่าตัวประกอบแอมพลิจูดในทิศทาง (θ_0, ϕ_0) ดังนี้

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{-j\{ka[\sin \theta \cos(\phi - \phi_n) - \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n)]\}} \quad (2.28)$$

2.2.2 การก่อรูปลำคลื่น

การก่อรูปลำคลื่น คือ วิธีการประมวลผลสัญญาณสำหรับระบบที่มีสายอากาศมากกว่าหนึ่งต้น เพื่อที่สามารถสร้างแบบรูปลำคลื่นที่มีพู่หลักหันไปยังทิศทางที่ต้องการและสามารถหันจุดศูนย์ (null) ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งยกตัวอย่างการนำเอาการก่อรูปลำคลื่นไปใช้งานที่สถานีฐานในเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย จะเห็นว่าการก่อรูปลำคลื่นสามารถหันพู่หลักไปยังทิศทางที่ต้องการนั่นคือโทรศัพท์ไร้สาย และสามารถหันจุดศูนย์ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่อาจมาจากสถานีฐานอื่น ในเครือข่ายข้างเคียง ด้วยความสามารถดังกล่าวส่งผลให้การก่อรูปลำคลื่นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับระบบการสื่อสารไร้สายได้

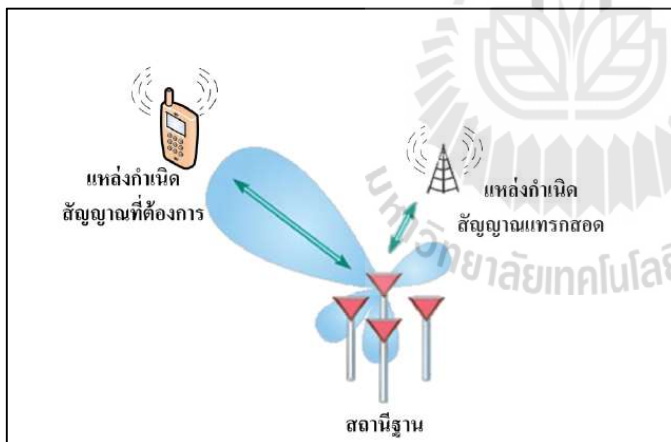
ดังนี้

- 1) เพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงขยายพื้นที่ครอบคลุมให้กว้างขึ้น และทำให้ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงขึ้น

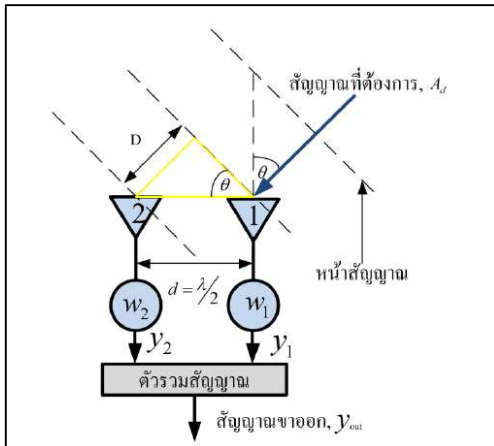
- 2) เนื่องจากการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองสามารถหันพหุหลักไปเฉพาะในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น จึงไม่สูญเสียพลังงานไปในทิศทางอื่นทำให้ประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่
- 3) ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้น
- 4) ลดสัญญาณแทรกสอด

ด้วยข้อดีดังกล่าวการก่อรูปลำคลื่นจึงได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ งาน เช่น เรดาร์ โซนาร์ และการสื่อสารไร้สาย เป็นต้น

การก่อรูปลำคลื่นสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองหรือการก่อรูปลำคลื่นโดยใช้สายอากาศแถวลำดับและการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย หรือการก่อรูปลำคลื่นด้วยการอาศัยความร่วมมือ โดยการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองจะอาศัยสายอากาศแถวลำดับที่มีตำแหน่งของสายอากาศที่แน่นอนในการก่อรูปลำคลื่นดังนั้นลูกข่ายหรือ โหนด (node) ขณะที่การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจะอาศัยความร่วมมือจากโหนดอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงที่มีการกระจายตัวแบบสุ่มมาช่วยก่อรูปลำคลื่น ดังนั้นแต่ละ โหนดจึงไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศแถวลำดับเหมือนการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง โดยการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.2.2.1 และการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.2.2.2



รูปที่ 2.5 การก่อรูปลำคลื่นที่มีพหุหลักหันไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และมีจุดศูนย์หันไปยังสัญญาณแทรกสอด [อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).]



รูปที่ 2.6 ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 2 ต้น
[อัจฉริยา คงบรรทัด. (2556).]

2.2.2.1 การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง

การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ สายอากาศแถวลำดับและชุดประมวลผลสัญญาณ ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหักพหุหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยหลักการเบื้องต้นในการที่จะหักพหุหลักสามารถอธิบายได้โดยยกตัวอย่างการใช้ระบบสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 2 ต้นตามที่แสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อ D คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ

$$y_1 = w_1 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_1 A_d \quad (2.30)$$

$$y_2 = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)} \quad (2.31)$$

เมื่อ d คือระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละต้น w_n คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสัญญาณและ A_d คือสัญญาณที่ต้องการที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศในมุม θ ดังนั้นสัญญาณขาออกหรือ y_{out} คือ

$$y_{out} = y_1 + y_2$$

$$\begin{aligned}
 &= w_1(A_d) + w_2(A_d e^{-j(kd \sin \theta)}) \\
 &= A_d(w_1 + w_2 e^{-j(kd \sin \theta)})
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

หลักการสำคัญของการก่อรูปลำคลื่นที่จะสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการได้ คือการปรับเฟสของสัญญาณที่รับเข้ามาด้วย w_n ที่เหมาะสม หรือในกรณีนี้เราต้องการปรับเฟสเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่ต้องการสูงสุด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก w_n คือ

$$w_1 = e^{j(0)} \tag{2.33}$$

$$w_2 = e^{j(kd \sin \theta)} \tag{2.34}$$

เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากสมการ (2.34) และ (2.33) ลงใน (2.32) เราจะได้สัญญาณขาออกที่ได้สัญญาณที่ต้องการสูงสุดดังนี้

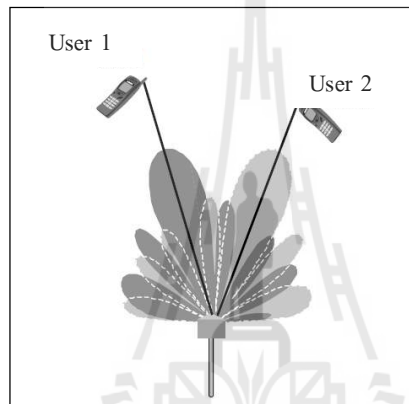
$$y_{out} = A_d(e^{j(0)} + e^{-j(kd \sin \theta)} e^{j(kd \sin \theta)}) = 2A_d \tag{2.35}$$

2.2.2.2 การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย

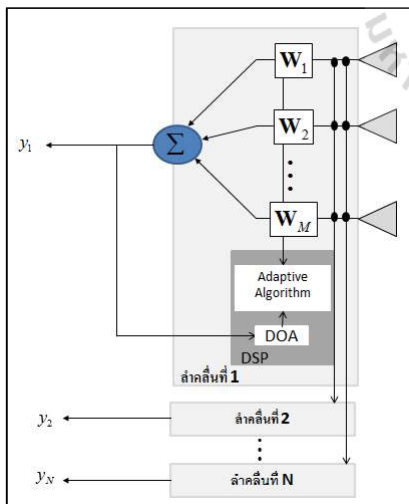
การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย (distributed beamforming) เป็นวิธีการสื่อสารที่อาศัยการร่วมมือจากอุปกรณ์สื่อสารหรือโหนดอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกันในการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับที่มีการสุ่มตำแหน่งของสายอากาศ (random array antenna) โดยทุกโหนดที่ร่วมมือจะส่งสัญญาณที่มีข้อมูลเหมือนกันและส่งพร้อม ๆ กันไปที่สถานีฐาน โดยสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากแต่ละโหนดจำเป็นต้องถูกทำการซิงโครไนซ์เฟสเพื่อที่ไม่ให้เกิดการหักล้างกันเองคอนรวมสัญญาณที่สถานีฐาน เมื่อแต่ละโหนดมีเฟสของสัญญาณที่สถานีฐานเท่ากัน ดังนั้นการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจึงสามารถก่อรูปลำคลื่นที่มีพู่หลักหันไปยังสถานีฐานได้ ด้วยเหตุนี้การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจึงสามารถเพิ่มระยะทางการสื่อสารและเพิ่มอัตราขยายซึ่งได้จากการก่อรูปลำคลื่น โดยมีอัตราขยายเฉลี่ยเท่ากับ

$$E[P_R] = 1 + (K-1)(E[\cos \phi_k]) \tag{2.36}$$

เมื่อ K คือจำนวนโนดและ ϕ_k คือเฟสของสัญญาณแต่ละโนด จากสมการจะเห็นว่าในกรณีที่เฟสซิงโครไนซ์ได้สมบูรณ์คือไม่มีความต่างเฟสเลยหรือเฟสของทุกโนดเท่ากัน ผลรวมสัญญาณ $E[P_R]$ จะเท่ากับจำนวนโนดซึ่งเป็นค่าสูงสุด นอกจากนี้การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายยังสามารถหันทิศทางของพูลหลักไปยังทิศที่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอดได้เช่นเดียวกับการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง แต่การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศแถวลำดับในการก่อรูปลำคลื่น ดังนั้นจะเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบที่มีโนดขนาดเล็กและมีพลังงานจำกัด



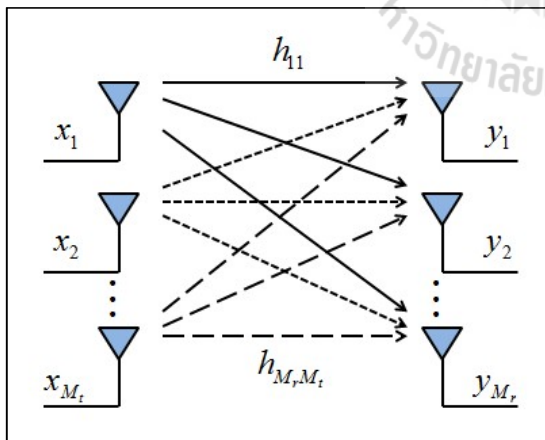
รูปที่ 2.7 ระบบเอสดีเอ็มเอแบบหลายลำคลื่น [Constantine A. Balanis. (2005).]



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบเอสดีเอ็มเอ

2.2.3 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง เอสดีเอ็มเอ (Space-Division Multiple Access or Spatial Division Multiple Access : SDMA) คือจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาพัฒนาในระบบสื่อสารไร้สายเซลลูลาร์มากที่สุด เอสดีเอ็มเอเป็นอีกหนึ่งของเทคโนโลยีสายอากาศที่ได้รับการใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งสามารถประมวลผลเชิงตำแหน่งขั้นสูงเพื่อเข้าถึงตำแหน่งผู้ใช้บริการได้ โดยการก่อลำคลื่นหลักไปยังผู้ใช้บริการแต่ละคน ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.7 ซึ่งมีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งสามารถเข้าใช้บริการช่องสัญญาณเดียวกันที่เซลล์เดียวกันพร้อมๆกันได้แต่จะมีการแยกมุมกันเท่านั้น ที่สถานีฐานมีการดำเนินการอย่างอิสระต่อกันในการก่อรูปลำคลื่นที่ขนานกันจำนวน N ลำคลื่นอย่างสมบูรณ์ เมื่อแต่ละลำคลื่นที่มีการปรับตัวนั้นจะมีอัลกอริทึมเพื่อควบคุมชุดถ่วงน้ำหนัก (weight) และอัลกอริทึมทิศทางที่มาถึง (direction-of-arrival : DOA) เพื่อกำหนดการหน่วงเวลาของแต่ละสัญญาณของผู้ใช้บริการดังแสดงในรูปภาพที่ 2.8 โดยแต่ละลำคลื่นนั้นจะสร้างค่าสูงสุดไปในทิศทางของผู้ใช้ที่ต้องการและหักจุดศูนย์หรือลดทอนสัญญาณไปในทิศทางผู้ใช้อื่นๆ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะช่วยปราบปรามสัญญาณแทรกสอดในขณะเดียวกันก็เพิ่มการนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำได้มาก ส่งผลให้ความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นและยังลดค่าใช้จ่ายพื้นฐานได้ด้วย โดยทั่วไปแล้วความจุช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนั้น ไม่เพียงแต่จากการนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำระหว่างเซลล์เท่านั้นแต่ยังขึ้นกับการนำกลับมาใช้ซ้ำภายในเซลล์อีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะพัฒนาอัลกอริทึมในระบบเอสดีเอ็มเอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณและเนื่องจากเอสดีเอ็มเอ เป็นระบบสื่อสารแบบไมโม (MIMO) เราจึงจะพิจารณาค่าความจุช่องสัญญาณจากระบบไมโมซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.9 การรับส่งข้อมูลในระบบไมโม

2.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ระบบโมโมจะมีการใช้สายอากาศหลายต้นในการรับส่งสัญญาณทั้งในภาคส่งและภาครับ โดยที่ระบบโมโมนี้สามารถดึงความสามารถทั้งการมัลติเพลกซ์ (Multiplexing) หรือพัฒนาคุณลักษณะด้วยไดเวอร์ซิตี (Diversity) ในระบบนี้สายอากาศส่งและรับช่วยในการเพิ่มอัตราขยายไดเวอร์ซิตี การมัลติเพลกซ์จะส่งเสริมในด้านโครงสร้างของอัตราขยายของช่องสัญญาณ ซึ่งจะมีความเป็นอิสระในแต่ละทิศทางการเดินทางของคลื่น จากรูปภาพที่ 2.9 จะพิจารณาช่องสัญญาณระบบโมโมที่เป็นแถบแคบ ใช้กับการสื่อสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมี M_t คือ จำนวนสายอากาศส่ง และ M_r คือ จำนวนสายอากาศรับ สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{M_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1M_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_r,1} & \cdots & h_{M_r,M_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{M_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{M_r} \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

สามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ $y = \mathbf{H}x + n$ เมื่อ n คือเวกเตอร์สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ภาครับ ส่วน \mathbf{H} คือ เมทริกซ์ช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์ประกอบ สมมติให้ช่องสัญญาณมีแถบความถี่และสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ มีค่าเฉลี่ยศูนย์ สัมพันธ์กับเมทริกซ์ $\sigma^2 \mathbf{I}_{M_r}$ โดย $\sigma^2 \triangleq E[n_i^2] = \frac{N_0}{2}$ และมีกำลังคงที่ โดยสมมติให้กำลังสัญญาณรบกวน σ^2 และ $P/\sigma^2 = \rho$ คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน จะต้องเป็นไปตาม

$$\sum_{i=1}^{M_t} E[x_i x_i^*] = \rho \quad (2.37)$$

* แสดงถึงการตั้งยุคเชิงซ้อน

ในการสื่อสารแบบไร้สาย สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจะสมมุติให้ได้รับหลังจากที่ผ่านกระบวนการของการแผ่กระจายคลื่น ซึ่งจะประกอบด้วยผลของการกระจัดกระจาย การสะท้อน การแทรกสอด และการหักเหที่เกิดขึ้นจากวัตถุที่ปรากฏในแต่ละเหตุการณ์ของการสื่อสาร ผลจากความหลากหลาย และความยากในการหาแบบจำลองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับสภาวะแต่ละชนิดได้ จึงได้นำเสนอแบบจำลองเบื้องต้นมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองระบบโมโม ซึ่งจะได้อธิบายแบบจำลองช่องสัญญาณแบบต่าง ๆ ในรายละเอียดในลำดับถัดไป

2.3.1 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน

สำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเลย์ลี (Rayleigh fading channel) ที่มีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันเกิดจากการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใดเนื่องจากการสะท้อน และการแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงในสภาพแวดล้อม และระยะห่างระหว่างสายอากาศแถวลำดับที่ภาคส่งและภาครับในระบบสื่อสาร ซึ่งจะส่งผลให้ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากคลื่นหลายวิถีจำนวนมาก รูปแบบสัญญาณที่รับได้เป็นไปตามการแจกแจงแบบเลย์ลี (Rayleigh Distribution) ถือเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่ง่ายและใช้กันมากสำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยที่แบบจำลองช่องสัญญาณระบบโมเด็มที่เป็นช่องสัญญาณการเฟดแบบเลย์ลีที่มีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$h_{mn} = N(0,1/\sqrt{2}) + jN(0,1/\sqrt{2}) \quad (2.38)$$

โดยที่ h_{mn} แทนค่าอัตราขยายเชิงซ้อนระหว่างสายอากาศส่งตัวที่ n กับสายอากาศภาครับตัวที่ m ส่วน $N(0,1/\sqrt{2})$ แทนการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น $1/\sqrt{2}$ โดยช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน สามารถเรียกเป็นช่องสัญญาณขาว (White channel) แทนด้วยสัญลักษณ์ H_w โดยที่คุณสมบัติของ H_w สามารถสรุปได้ดังนี้

$$E\{[H_w]_{i,j}\} = 0 \quad (2.39a)$$

$$E\{|[H_w]_{i,j}|^2\} = 1 \quad (2.39b)$$

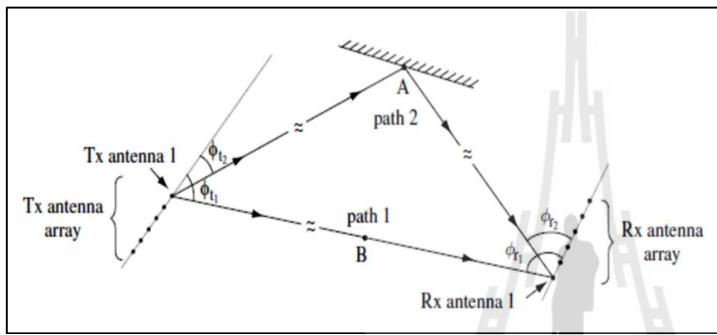
$$E\{[H_w]_{i,j}[H_w]_{m,n}^*\} = 0, \text{ ถ้า } i \neq m \text{ และ } j \neq n \quad (2.39c)$$

โดยที่ $E\{x\}$ คือ ค่าความคาดหวังของ x

$[.]^*$ คือ ค่าคอนจูเกตทรานสโพสเชิงซ้อน (complex conjugate transpose)

2.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring”

แบบช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” ได้รับความอธิบายไว้ในงานของ Bakhshi, G., Saadat, R., and Shatalebi, K. (2008) โดยสำหรับแบบจำลองนี้จะใช้อธิบายการกระจัดกระจายของสัญญาณ โดยเกิดจากการสะท้อนโดยวัตถุที่ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของสัญญาณทั้งด้านภาครับและด้านภาคส่ง โดยจะแสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบ โมโม โดยที่ พิจารณามุมที่กระทำกันระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่มุมที่ภาคส่งและมุมที่ภาครับเกิดจากการใช้สัญญาณแบบสุ่ม (random channel) ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” [อภิญา อินทร์นอก. (2553).]

จากรูปที่ 2.10 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทาง เมื่อมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ โดยมีอัตราการลดทอนที่เกิดขึ้นในแต่ละทิศทางแทนด้วย a_i มุมส่งแทนด้วย ϕ_{ti} ($\Omega_{ti} = \cos \phi_{ti}$) และมุมรับแทนด้วย ϕ_{ri} ($\Omega_{ri} = \cos \phi_{ri}$) ดังนั้นช่องสัญญาณหาได้จาก

$$\mathbf{H} = \sum_i \mathbf{a}_i^b \mathbf{e}_r(\Omega_{ri}) \mathbf{e}_t(\Omega_{ti})^H \quad (2.10)$$

โดย
$$a_i^b = a_i \sqrt{M_t M_r} \exp\left(\frac{-j2\pi d_i}{\lambda_c}\right) \quad (2.11)$$

$$\mathbf{e}_t(\Omega_{ti}) = \frac{1}{M_t} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_t \Omega_{ti})] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_t - 1)(2\pi\Delta_t \Omega_{ti})] \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$e_r(\Omega_{ri}) = \frac{1}{M_r} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_r\Omega_{ri})] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_r-1)(2\pi\Delta_r\Omega_{ri})] \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

โดยที่ d_i คือ ระยะทางระหว่างภาคส่ง ๆ ไปยังภาครับในแต่ละทิศการเดินทางของคลื่น

$e_i(\Omega_{ii})$ คือ เวกเตอร์ใช้แทนการกระจายตัวในทิศทาง Ω_{ii}

$e_r(\Omega_{ri})$ คือ เวกเตอร์ใช้แทนการกระจายตัวในทิศทาง Ω_{ri}

λ_c คือ ความยาวคลื่นของความถี่กลาง

Δ_i คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศมีการนอร์มัลไลซ์ที่ภาคส่ง

Δ_r คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศมีการนอร์มัลไลซ์ที่ภาครับ

จากการส่งและรับข้อมูลในรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมุมที่ส่งออกไปหรือมุมที่รับเข้ามาเกิดจาก องค์ประกอบของมุมทั้งสิ้น โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจากมุม Ω_{ri} ที่ภาครับ และแทน เวกเตอร์หนึ่งหน่วยได้เป็น $e_r(\Omega_{ri})$ จากสมการ 2.13 ดังนั้นจะได้เวกเตอร์มูลฐานที่ภาครับ

$$\xi_r = \left\{ e_r(0), e_r\left(\frac{1}{L_r}\right), \dots, e_r\left(\frac{M_r-1}{L_r}\right) \right\} \quad (2.14)$$

ในทำนองเดียวกันการประมวลผลจะมีสัญญาณที่ส่งออกไปที่ภาคส่ง และมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยเป็น $e_i(\Omega_{ii})$ หากได้จากสมการ 2.12 ดังนั้นจะได้เวกเตอร์มูลฐานที่ภาคส่ง

$$\xi_i = \left\{ e_i(0), e_i\left(\frac{1}{L_i}\right), \dots, e_i\left(\frac{M_i-1}{L_i}\right) \right\} \quad (2.15)$$

โดยที่ $L_i = M_i\Delta_i$ และ $L_r = M_r\Delta_r$ คือการนอร์มัลไลซ์ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับ ส่วน Δ_i และ Δ_r คือระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับกำหนดให้ U_i และ U_r เป็นเมทริกซ์ยูนิแทรี จะมีจำนวนคอลัมน์เป็นไปตามเวกเตอร์มูลฐานตามสมการ 2.14 และ 2.15 จะได้สมการ 2.16 และสมการ 2.17 ตามลำดับ

$$U_i = \frac{1}{\sqrt{M_i}} \exp\left(\frac{-j2\pi kl}{M_i}\right) \quad k, l = 0, 1, \dots, M_i - 1 \quad (2.16)$$

$$U_r = \frac{1}{\sqrt{M_r}} \exp\left(\frac{-j2\pi kl}{M_r}\right) \quad k, l = 0, 1, \dots, M_r - 1 \quad (2.17)$$

โดยช่องสัญญาณจะมีค่าคงสมการ 2.18

$$\mathbf{H}^a = \mathbf{U}_r^H \mathbf{H} \mathbf{U}_t \quad (2.18)$$

2.4 ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโม (MIMO CHANNEL CAPACITY)

หัวข้อนี้เสนอความจุช่องสัญญาณโดยทฤษฎีของ Shannon ซึ่งจะให้อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด ภายใต้ช่องสัญญาณที่มีความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดน้อย ความจุช่องสัญญาณเทียบกับปริมาณที่สูญเสียอธิบาย โดยอัตราเร็วการส่งข้อมูลได้จากการส่งผ่านช่องสัญญาณซึ่งมีความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดไม่เป็นศูนย์ ความจุช่องสัญญาณอยู่ภายใต้การรับรู้สถานะช่องสัญญาณ รวมถึงอัตราขยายช่องสัญญาณทั้งภาคส่งและภาครับ ในส่วนแรกจะอธิบายถึงความจุช่องสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ภายใต้ความแตกต่างในการสมมติช่องสัญญาณที่รับรู้ได้

2.4.1 ช่องสัญญาณไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Static channel)

ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโมสามารถกระจายได้จากสูตรของช่องสัญญาณในระบบที่มีสายอากาศส่งและรับภาละ 1 ต้น โดยกำหนดให้มีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาครับ ช่องสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถรับได้ที่ระยะใกล้ๆ ภายใต้การสมมติความจุช่องสัญญาณในเทอมของข้อมูลร่วมกันระหว่างช่องสัญญาณที่ส่งจากภาคส่งไปยังภาครับขณะ

$$C = \max_{p(x)} I(X; Y) = \max_{p(x)} [H(Y) - H(Y|X)] \quad (2.19)$$

สำหรับ $H(Y)$ และ $H(Y|X)$ อยู่ภายใต้ y โดยที่ $H(Y|X) = H(n)$ เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นโดยสัญญาณรบกวน n มีความเป็นอิสระจากอินพุตที่ส่งเข้ามา

กำหนดความสัมพันธ์ของเมตริกต์ R_x อยู่บนอินพุตเวกเตอร์ x และ R_y อยู่บนเอาต์พุตเวกเตอร์ y จะได้

$$R_y = E[yy^H] = \mathbf{H}R_x\mathbf{H}^H + \mathbf{I}_{M_r} \quad (2.20)$$

เมื่อ

$$I(X;Y) = B \log_2 \det[\mathbf{I}_{M_r} + \mathbf{H}R_x\mathbf{H}^H] \quad (2.21)$$

ดังนั้นความจุช่องสัญญาณหาได้จาก การแทน สมการ 2.21 ลงใน สมการ 2.19 จะได้

$$C = \max_{R_x: T_r(R_x) = \rho} B \log_2 \det[\mathbf{I}_{M_r} + \mathbf{H}R_x\mathbf{H}^H] \quad (2.22)$$

โดย $T_r(R_x)$ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

การรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่งโดยวิธีวอเตอร์ไฟลลิง (Channel

known at transmitter

: Water filling)

เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณ มีการรับรู้สถานะของช่องสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่ง โดยเฉพาะความจุช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับการรวมกันในแต่ละช่องสัญญาณ จะได้ว่า

$$C = \max_{\rho: \sum_i \rho_i \leq \rho} \sum_{i=1}^{R_H} B \log_2 (1 + \sigma_i^2 \rho_i) \quad (2.23)$$

โดย R_H คือจำนวนค่าเฉพาะตัวที่ไม่ใช่ศูนย์ และในสมการ 2.23 แสดงให้เห็นในเทอมของการจัดสรร P_i ในแต่ละช่องสัญญาณ จะได้

$$C = \max_{P_i: \sum_i P_i \leq P} \sum_{i=1}^{R_H} B \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_i^2 P_i}{\sigma^2} \right) = \max_{P_i: \sum_i P_i \leq P} \sum_{i=1}^{R_H} B \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_i^2 \gamma_i}{P} \right) \quad (2.24)$$

เมื่อ $\gamma_i = \sigma_i^2 P / \sigma^2$ คืออัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องสัญญาณแสดงให้เห็นว่า เมื่อ γ_i มีค่าสูง ๆ ความจุช่องสัญญาณที่รับได้ก็จะสูงตามไปด้วยความจุช่องสัญญาณในสมการ 2.24 คล้ายกับกรณีของสัญญาณราบเรียบ หรือกรณีที่เลือกความถี่การเฟดเมื่อใช้การจัดสรรด้วยวิธีการวอเตอร์ไฟลลิงจะได้

$$\frac{P_i}{P} = \begin{cases} \frac{1}{\gamma_0} - \frac{1}{\gamma_i} & \gamma_i \geq \gamma_0 \\ 0 & \gamma_i < \gamma_0 \end{cases} \quad (2.25)$$

และความจุช่องสัญญาณ

$$C = \sum_{i=\gamma_i \geq \gamma_0} B \log_2 \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right) \quad (2.26)$$

การไม่รู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่ง : การจัดสรรกำลังที่สม่ำเสมอ (Channel unknown at transmitter : uniform power allocation)

เมื่อรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาครับแต่ไม่รู้ที่ภาคส่ง ข้อมูลที่ภาคส่งไม่สามารถจัดสรรข้อมูลได้ โดยให้ความสัมพันธ์เป็นเมตริกซ์ $R_x(\rho/M_t)I_{M_t}$ ภายใต้การสมมติให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากที่สุด จะได้ข้อมูลร่วมกัน คือ

$$I(X;Y) = B \log_2 \det \left[\mathbf{I}_{M_r} + \frac{\rho}{M_t} \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right] \quad (2.27)$$

เมื่อใช้ SVD เทคนิคในโปรแกรมเมทแลบหาช่องสัญญาณ \mathbf{H} แล้วจะได้ข้อมูลเป็น

$$I(X;Y) = \sum_{i=1}^{R_H} B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_i}{M_t} \right) \quad (2.28)$$

โดยที่ $\gamma_i = \sigma_i^2 \rho = \sigma_i^2 P / \sigma^2$ ข้อมูลที่ใช้ร่วมกันของระบบโมโนในสมการ 2.28 อยู่ภายใต้เมตริกซ์ช่องสัญญาณ \mathbf{H} ซึ่งในทางปฏิบัติจะได้ค่าเฉพาะตัว σ^2 ในช่องสัญญาณแบบราบ ภาคส่งสามารถส่งด้วยอัตราเร็วที่เท่ากับค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ใช้ร่วมกันและมีความถูกต้องด้วย แต่ช่องสัญญาณคงที่ ภาคส่งไม่สามารถรับรู้สถานะช่องสัญญาณ และไม่รู้อัตราการส่งข้อมูล ทำให้ค่าความจุช่องสัญญาณที่ไม่สามารถรับได้ P_{out} ต้องมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วการส่งผ่าน R โดยข้อมูลที่ใช้ร่วมกันต้องมีค่าน้อยกว่า R จะได้ว่า

$$P_{out} = p \left(\mathbf{H} : B \log_2 \det \left[\mathbf{I}_{M_r} + \frac{\rho}{M_t} \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right] < R \right) \quad (2.29)$$

เราสามารถหาการกระจายค่าราคาของสมการที่มีลักษณะเฉพาะของ $\mathbf{H}\mathbf{H}^H$ การกระจายค่านี้จะใช้วิธีการของ SVD จากเหตุผลที่ว่าจำนวนสายอากาศที่เพิ่มขึ้นทั้งภาครับและภาคส่งมีผลทำให้ความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นแบบจำนวนเชิงเส้น

2.4.2 ช่องสัญญาณที่มีการเฟด (Fading channel)

หัวข้อนี้สมมติให้อัตราขยายของช่องสัญญาณได้จากช่องสัญญาณราบเรียบแทนด้วย \mathbf{H}_{ij} ในกรณีที่ช่องสัญญาณเป็นแบบคงที่ ความจุช่องสัญญาณจะขึ้นอยู่กับความรู้สถานะช่องสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่ง ซึ่งมีความสมบูรณ์แบบมากจึงได้ความจุช่องสัญญาณเท่ากับค่าเฉลี่ยช่องสัญญาณภายใต้การจัดสรรกำลังสูงสุด

1. การรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่งโดยวิธีวอเตอร์ฟิลลิงค์ (Channel known at transmitter: water filling)

การรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่งจะมีการส่งผ่านในแต่ละช่องสัญญาณโดยค่ากำลังสูงสุดและค่าเฉลี่ยความจุช่องสัญญาณนี้เรียกว่า ความจุช่องสัญญาณแบบเออร์กอร์ดิกมีค่าเฉลี่ยกำลังคงที่ในแต่ละพอร์ตแทนด้วย \bar{P} ดังนั้นจะได้ความจุช่องสัญญาณ

$$\begin{aligned} C &= E_{\mathbf{H}} \left[\max_{R_x: T_r(R_x)=\rho} B \log_2 \det [\mathbf{I}_{M_r} + \mathbf{H}\mathbf{R}_x\mathbf{H}^H] \right] \\ &= E_{\mathbf{H}} \left[\max_{P_i: \sum_i P_i \leq \bar{P}} \sum_i B \log_2 \left(1 + \frac{P_i \gamma_i}{\bar{P}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.30)$$

โดยที่ $\gamma_i = \sigma_i^2 \bar{P} / \sigma^2$

2. เมื่อไม่รู้ช่องสัญญาณที่ภาคส่ง: ความจุช่องสัญญาณแบบเออร์กอร์ดิกและความจุช่องสัญญาณแบบขาดหาย (Channel unknown at transmitter: Ergodic capacity and capacity with outage)

พิจารณาวลาแปรผันตามช่องสัญญาณ โดยมีการสุ่มใช้ช่องสัญญาณที่เกิดขึ้น มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาครับแต่ไม่รู้ที่ภาคส่ง หากความจุช่องสัญญาณได้จาก

$$C = \max_{R_x: T_r(R_x)=\rho} E_{\mathbf{H}} [B \log_2 \det [\mathbf{I}_{M_r} + \mathbf{H}\mathbf{R}_x\mathbf{H}^H]] \quad (2.31)$$

โดยความจุช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนสายอากาศที่มีค่าน้อยสุดของภาคส่งหรือภาครับ

$$M = \min(M_t, M_r)$$

3. เมื่อไม่รู้ช่องสัญญาณที่ภาคส่งหรือภาครับ (No CSI at transmitter or receiver)

ความจุช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเชิงเส้นเช่นเดียวกับเมื่อรับรู้สถานะช่องสัญญาณ แต่จะให้ความจุช่องสัญญาณที่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามความจุช่องสัญญาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่เปลี่ยนไป ซึ่งการหาช่องสัญญาณในแต่ละวิธีจะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป

2.4.3 ช่องสัญญาณที่ใช้พิจารณาในโครงการวิจัย

เมื่อไม่มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาคส่ง ความจุช่องสัญญาณในระบบโมเด็มที่ใช้แสดงได้ดังนี้

$$C = B \log_2 \det \left[\mathbf{I}_{M_r} + \frac{P_t}{P_n M_t} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right] \quad (2.32)$$

เมื่อ B คือ แบนด์วิธ

$\det(\cdot)$ คือ การแทนการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ (determinant) ของเมทริกซ์

\mathbf{I}_{M_r} คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ ขนาด $M_r \times M_r$

\mathbf{H} คือ ช่องสัญญาณ ขนาด $M_r \times M_t$

\mathbf{H}^H คือ การทรานสโพสคอนจูเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ

P_t / P_n คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

2.5 กล่าวท้ายบท

สายอากาศเก่งประกอบสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นสายอากาศแถวลำดับและส่วนประมวลผลสัญญาณ ซึ่งสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการและหันจุดศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ การที่จะหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการได้นั้นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศแต่ละต้น และระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งก็เป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาพัฒนาในเครือข่ายไร้สาย เพราะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้แต่ไม่เพิ่มการใช้ทรัพยากรความถี่จึงมีหลายงานวิจัยคิดค้นเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งรวมทั้งงานวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน

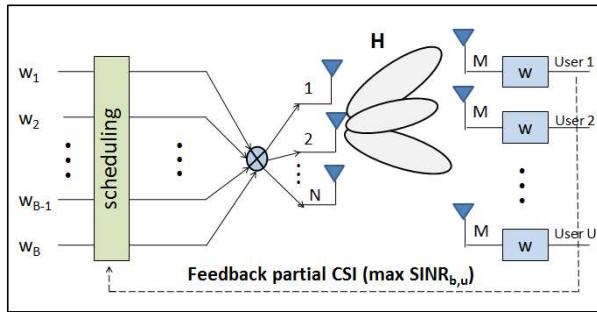
บทที่ 3 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยกล่าวถึงการใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม โดยมีข้อมูลจากการประมาณตำแหน่งในระบบแอลทีอีเป็นพื้นฐาน ตามด้วยหลักการการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย และแบบจำลองระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม

อย่างที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีโมโม หรือ เอสดีเอ็มเอนั้นสามารถในการเพิ่มความจุช่องสัญญาณให้กับระบบสื่อสารไร้สายเซลลูลาร์โดยปราศจากการใช้ทรัพยากรความถี่เพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามการที่จะประสบความสำเร็จที่สูงในระบบเอสดีเอ็มเอนั้น จะต้องมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ (CSI) ที่ภาคส่ง ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นสำหรับการรับรู้สถานะช่องสัญญาณอย่างสมบูรณ์นั้น (full CSI) มีความยากและซับซ้อนสูง อีกทั้งช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา และบิต (bit) ข้อมูลที่ป้อนกลับนั้นต้องใช้จำนวนมาก ทำให้เมื่อบิตข้อมูลมาถึงภาคส่งเปลี่ยนไป เกิดการถอดรหัสผิดพลาด จึงได้มีการวิจัยเกิดขึ้นเรียกว่าการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม คำว่าตั้งฉากวงเปิดนั้นหมายถึงการที่ภาคส่งรับรู้ข้อมูลอย่างอื่นที่ไม่ใช่สถานะของช่องสัญญาณ ทำให้ระบบที่ส่งกลับไม่มีการป้อนกลับของช่องสัญญาณ แต่จะเป็นข้อมูลอื่นๆ ที่ช่วยสร้างโอกาสในการส่งข้อมูลให้สำเร็จ เหมือนเป็นการอาศัยการรับรู้ข้อมูลเพียงบางส่วน แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณได้ ซึ่งในหลายงานวิจัยนิยามหลักการนี้ว่าเป็น การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส (Opportunistic Space-Division Multiple Access : OSDMA) จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงหลักการการทำงานของระบบ โอเอสดีเอ็มเอ ซึ่งที่ภาคส่งมีการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปจำนวน B ลำคลื่น และมีใช้บริการที่ต้องการเข้าใช้งานช่องสัญญาณจำนวน U คน หากผู้ใช้ได้รับสัญญาณสูงสุดตรงกลับลำคลื่นใดก็จะส่งข้อมูลนั้นป้อนกลับไปยังภาคส่งเพื่อที่ภาคส่งจะได้ใช้ข้อมูลนั้นในการส่งข้อมูลไปตามทิศทางของลำคลื่นนั้นๆ และสัญญาณที่ภาครับรับได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบโอเอสดีเอ็มเอ

$$\mathbf{Y} = \sqrt{\rho} \mathbf{H} \mathbf{W} + \mathbf{n} \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ทางภาครับ \mathbf{H} คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณมีขนาด $M \times N$ และ \mathbf{n} คือเมทริกซ์สัญญาณรบกวนที่ภาครับมีขนาด $M \times 1$

เนื่องจากปราศจากการรับสถานะช่องสัญญาณอย่างสมบูรณ์ที่ภาคส่งจึงมีการส่งต่อรูปลำคลื่นออกไปเท่ากับ B ลำคลื่น เป็นเวกเตอร์ตั้งฉากของ ϕ_b เมื่อ $b=1, \dots, B$ และ ϕ คือทิศทางการส่งออกไปที่สอดคล้องกับทุกทิศทาง และมีเวกเตอร์สัญญาณ s_b ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งออกไปจะได้

$$w_b = \sum_{b=1}^B \phi_b s_b \quad (3.2)$$

เราสมมติให้ค่าเฉลี่ยกำลังส่งต่อสายอากาศเท่ากับ $E\{s_u^2\} = 1$ และกำลังส่งรวมเท่ากับ $E\{S * S\} = M$ สามารถเขียนสมการสัญญาณที่รับได้ดังนี้

$$\mathbf{Y} = \sum_{b=1}^B \mathbf{H}[\phi_b s_b] + \mathbf{n} \quad (3.3)$$

สมมติให้ทางภาครับรับรู้สถานะช่องสัญญาณ \mathbf{H} ดังนั้น ϕ_u คือทิศทางที่ภาครับรับสัญญาณได้ และสามารถคำนวณสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดและรบกวน (signal-to-interference-plus-noise ratio : SINR) ดังนี้

$$SINR_{b,u} = \frac{|\mathbf{H}\phi_b|^2}{1/\rho + \sum_{b \neq u} |\mathbf{H}\phi_b|^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ $u = 1, \dots, U$ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะมีการป้อนกลับข้อมูลกลับมายังภาคส่ง ว่าได้รับสัญญาณ SINR สูงสุดตรงกับอินเด็กซ์ (index) ลำคลื่นใดที่มีการส่งออกไปแล้วทางภาคส่งก็จะทำการส่งสัญญาณออกไปตามทิศทางลำคลื่นนั้น และค่าความจุช่องสัญญาณสามารถคำนวณได้

$$R \leq E \left\{ \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \max_{u=1, \dots, U} SINR_{u,b} \right) \right\} \quad (3.5)$$

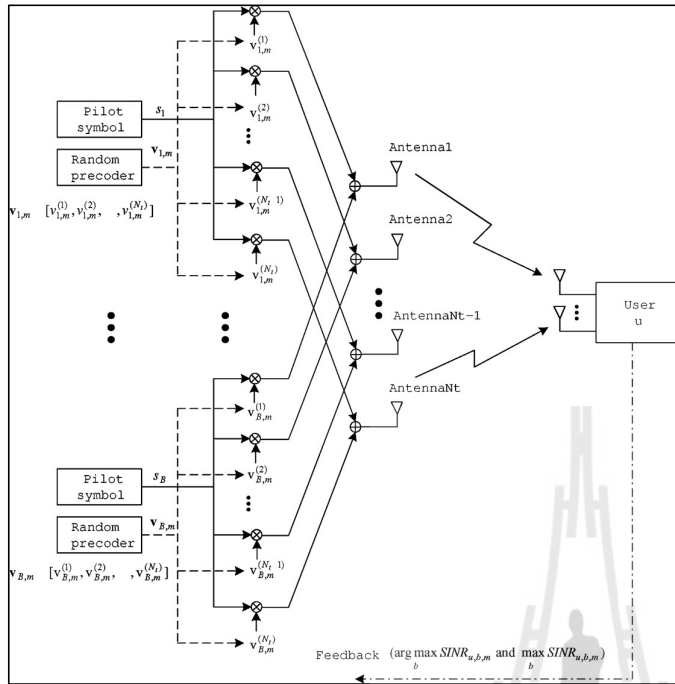
เมื่อกำหนดให้สายอากาศทางภาครับเป็น $M=1$

3.2.1 ประเภทของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส

เทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสนั้นสามารถที่จะลดบิตข้อมูลในการส่งข้อมูลออกไปได้และยังเพิ่มค่าความจุช่องสัญญาณได้ด้วยเช่นกัน แต่การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสยังไม่สามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น จึงมีหลายงานวิจัยพัฒนาเทคนิคเพื่อรองรับกับจำนวนของผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นแต่ยังคงแนวความคิดของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คืออาศัยการรับสถานะช่องสัญญาณเพียงบางส่วนของภาคส่ง ซึ่งรายละเอียดวิธีการของแต่ละเทคนิคนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.2.1.1 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น

แนวความคิดของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น (Opportunistic space division multiple access with beam selection :OSDMA-S) คือทางภาคส่งมีการส่งข้อมูลออกไปยังภาครับหลายๆชุด แล้วภาครับรับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นไหนและส่งข้อมูลป้อนกลับมายังภาคส่งก็ส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สมมติให้ N_t คือสายอากาศทางภาคส่ง และมี U ผู้ใช้บริการ ทางภาคส่งมีการส่งชุดลำคลื่น B ชุด ไปยังแต่ละผู้ใช้ในทางปฏิบัติสมมติให้ ทุกๆไทม์สล็อต (time slot) มีขนาดเท่ากับ L ซึ่งประกอบด้วย M มินิสล็อต (mini-slot) มีขนาดเท่ากับ τ ค่าสูงสุดของ M คือ $\left\lfloor \frac{L}{\tau} \right\rfloor$ เมื่อ $[\cdot]$ คือฟังก์ชันพื้นฐาน นั่นคือ ช่วงเวลา τM ใช้สำหรับเทรนนิ่ง (training)



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบ OSDMA-S [Wan Choi; Forenza. (2007).]

และ $L-zM$ ใช้สำหรับส่งข้อมูลในทุกๆ ไทม์สล็อต ในทุกๆ มินิสล็อตจะมีเวกเตอร์ $B = \{v_{b,m} \in C^{N_t \times 1}, m=1, \dots, M\}$ คู่ส่งออกไปเมื่อ b และ m หมายถึงอินเด็กซ์ของลำดับและมินิสล็อตตามลำดับ สัญลักษณ์ไพลอต (pilot symbol) B คือ $\{s_b\}$ เป็นตัวคูณกับเวกเตอร์ลำดับคลื่น $v_{b,m}$ และส่งออกไปบนเครือข่ายไร้สายที่ทุกๆ มินิสล็อต ($m=1, \dots, M$) และสัญญาณที่รับได้ที่ u ผู้ใช้ ใน m -th มินิสล็อต คือ

$$y_{u,m} = \sum_{b=1}^B \mathbf{h}_u^T v_{b,m} s_b + n_u \quad u = 1, \dots, U \quad (3.6)$$

เมื่อ h_u คือเวกเตอร์ช่องสัญญาณสำหรับ u ผู้ใช้ใดๆ $v_{b,m}$ คือเวกเตอร์คู่ส่งออกไปที่ m -th มินิสล็อตใดๆ s_b คือ b -th สัญลักษณ์ไพลอต n_u คือเวกเตอร์สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนที่ u -th ผู้ใช้ และ T คือทราสโพลของเวกเตอร์ นอกจากนั้นแล้วสมมติให้ $E[s_m^2] = P/B$ ดังนั้นกำลังส่งรวมคือ P ทางภาครับแต่ละ u -th ผู้ใช้สามารถคำนวณสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดและรบกวนได้ดังนี้

$$SINR_{u,b,m} = \frac{|\mathbf{h}_u^T v_{b,m}|^2}{1/\rho + \sum_{l \neq b} |\mathbf{h}_u^T v_{l,m}|^2} \quad (3.7)$$

เมื่อ $\rho = P/N_0$ คือ สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio : SNR) อินพุต สำหรับทุกๆ มินิสต์ลีดที่ผู้ใช้รับได้จะมีการป้อนกลับข้อมูลที่รับสัญญาณ SINR ได้สูงสุดตรงกับอินเด็กซ์ b ใดมาซึ่งภาคส่ง และค่าความจุช่องสัญญาณสามารถคำนวณได้

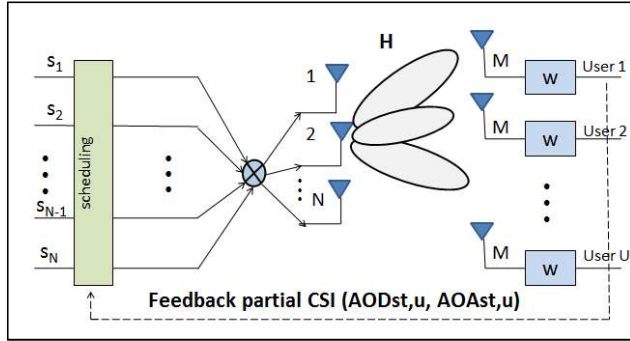
$$R_m \triangleq \sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq u \leq U} \text{SINR}_{u,b,m} \right) \quad m = 1, \dots, M \quad (3.8)$$

และสำหรับค่าความจุช่องสัญญาณของทุกๆ ไทม์สล็อตสามารถหาได้จาก

$$R \triangleq (L - \tau M) \max_{1 \leq m \leq M} R_m \quad (3.9)$$

3.2.1.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออก

ถึงแม้ว่าระบบ OSDMA-S จะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณขึ้นได้แต่ยังพบว่ายังมีข้อด้อยอยู่ คือ ยังใช้บิตในการส่งออกไปเพื่อรับรู้สถานะช่องสัญญาณป้อนกลับจากภาครับในจำนวนที่มากอยู่และมีโอกาสเกิดบิตผิดพลาด จึงมีงานวิจัยพัฒนาเทคนิคใหม่ขึ้นเรียกว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออก (Angle of departure aided opportunistic space division multiple access : AOD-OSDMA) เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี OSDMA-S และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของระบบ AOD-OSDMA ที่มีจำนวน U ผู้ใช้ และที่ภาคส่งมีองค์ประกอบสายอากาศ N ต้นและทางภาครับแต่ละผู้ใช้นี้มี M ต้น ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ $\lambda/2$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่น และ \mathbf{H} คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณมีขนาด $M \times N$ ระหว่างภาคส่งและภาครับและโครงสร้างของเฟรมสมมติให้ทุกๆ ไทม์สล็อตมีขนาด T ประกอบด้วย K มินิสต์ลีดแต่ละมินิสต์ลีดสำหรับส่งเทรนนิ่งมีขนาด τ และจะเหลือ $T - \tau K$ สำหรับใช้ส่งข้อมูล



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ AOD-OSDMA

ในสภาพแวดล้อมการแผ่กระจายของคลื่นมีหลายทิศทาง (multipath) ที่ภาคส่งส่งไปยังภาครับ สัญญาณที่รับได้ก็ประกอบด้วยหลายทิศทาง (multipath components :MPCs) ซึ่งแต่ละ MPCs จะประกอบด้วย กำลัง เฟส AOD AOA และการประวิง (delay) ซึ่งในเทคนิคนี้จะอาศัยทิศทางของการเดินทางออกจากภาคส่งและมาที่ทิศทางที่มาถึงภาครับ แล้วทิศทางสามารถรับสัญญาณ ได้สูงสุดก็จะก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกตามทิศทางนั้น

- 1) การประมาณมุมที่ต้นทาง (angle of departure estimation)

ถ้าทางภาคส่งมีการส่งสัญญาณนำ (pilot symbol) s_n

ออกไปและสัญญาณที่แต่ละ u -th ผู้ใช้รับได้คือ

$$\mathbf{y}_u^{M \times 1} = \mathbf{H}_u^{M \times N} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \dots & s_N \end{bmatrix}^T + \mathbf{n}_u^{M \times 1} \quad (3.10)$$

เมื่อ $[\dots]^T$ คือทรานสโพส $\mathbf{n}_u^{M \times 1}$ คือเวกเตอร์เกาส์เซียนสัญญาณรบกวน s_n คือ สัญญาณนำที่ภาคส่งส่งออกไป $\mathbf{H}_u^{M \times N}$ คือช่องสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับแต่ละ u -th ซึ่งสามารถเขียนได้

$$\mathbf{H}_u^{M \times N} = \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{l,u} e^{j\phi_{l,u}} \mathbf{S}V_{AOA_{l,u}}^T \mathbf{S}V_{AOD_{l,u}} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{S}V_{AOD_{l,u}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} e^{jka_{BS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{1,BS})} \\ e^{jka_{BS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{2,BS})} \\ \dots \\ e^{jka_{BS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{N,BS})} \end{bmatrix}^T \quad (3.12)$$

$$SV_{AOA_{l,u}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} e^{jka_u \cos(AOA_{l,u} - \phi_{1,u})} \\ e^{jka_u \cos(AOA_{l,u} - \phi_{2,u})} \\ \dots \\ e^{jka_u \cos(AOA_{l,u} - \phi_{M,u})} \end{bmatrix}^T \quad (3.13)$$

เมื่อ $SV_{AOD_{l,u}}$ คือ เวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบสายอากาศในทิศทาง $AOD_{l,u}$ $SV_{AOA_{l,u}}$ คือ เวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบสายอากาศทางภาครับในทิศทาง $AOA_{l,u}$ $\phi_{n,BS}$ คือตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบสายอากาศแถวลำดับทางภาคส่งและมีค่า $\phi_{n,BS} = \frac{2\pi n}{N}, n=1,2,\dots,N$ $\phi_{m,u}$ คือตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบสายอากาศแถวลำดับทางภาครับและมีค่า $\phi_{m,u} = \frac{2\pi m}{M}, n=1,2,\dots,M$ a_{BS} และ a_u คือรัศมีของสายอากาศแถวลำดับทางภาคส่งและรับตามลำดับ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ คือหมายเลขคลื่น λ คือความยาวคลื่น L_u คือ จำนวนของ MPCs ทั้งหมดที่เชื่อมโยงระหว่างภาคส่งและภาครับ และ $\alpha_{l,u}$ $\phi_{l,u}$ $AOD_{l,u}$ และ $AOA_{l,u}$ คือ แอมพลิจูด เฟส AOD และ AOA ของแต่ละ l-th MPCs

สมมติมี N สัญญาณไหลอดโดยผู้ใช้ทั้งหมดรับรู้ และสามารถประมาณช่องสัญญาณ $\mathbf{H}_u^{M \times N}$ จากสัญญาณ $y_u^{M \times 1}$ ที่รับได้ ให้จำกัดจำนวนสายอากาศทางภาคส่งและภาครับ จำนวนลำคลื่นที่สามารถตรวจจับได้จากการประมาณช่องสัญญาณเท่านั้น เมื่อแต่ละลำคลื่นประกอบด้วยหลาย MPCs กับ AOD_s และ AOA_s ค่า AOD ของลำคลื่นที่แข็งแกร่งที่สุด (strongest beam) สามารถหาได้จาก

$$AOD_{st,u} = \arg \max_{0 \leq AOD \leq 2\pi} \sum_{m=1}^M \left| \hat{h}_{m,u} SV_{AOD}^H \right| \quad (3.14)$$

เมื่อ $|\dots|$ คือค่าสัมบูรณ์ $(\dots)^H$ คือคอนจูเกตทรานสโพสจำนวนเชิงซ้อน และ $\hat{h}_{m,u}$ คือแถวของเมทริกซ์ $\mathbf{H}_u^{M \times N}$

- 2) การก่อรูปลำคลื่นร่วมระหว่างภาคส่งและภาครับ (joint Tx-Rx Beamforming)

ถ้า $M > 1$ ผู้ใช้แต่ละคนสามารถประมาณ AOA ของลำคลื่นที่แข็งแกร่งที่สุดและเพิ่ม AOD ด้วยเมื่อสำเร็จจะมีการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่แข็งแกร่งที่สุดระหว่างภาครับและภาคส่งและสามารถหาค่า AOA จากลำคลื่นที่แข็งแกร่งที่สุดได้

$$AOA_{st,u} = \arg \max_{0 \leq AOA \leq 2\pi} \left| SV_{AOA}^* \mathbf{H}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st,u}}^H \right| \quad (3.15)$$

เมื่อ $(\dots)^*$ คือคอนจูตเชิงซ้อนและ $SV_{AOD_{st,u}}$ คือเวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบและมีทิศทางลำคลื่นที่แข็งแกร่งที่สุดระหว่างภาคส่งและภาครับ ค่า SNR ของลำคลื่นที่แข็งแกร่งสุดซึ่งเป็นผลจากการรวมก่อรูปลำคลื่นระหว่างภาคส่งและภาครับสามารถคำนวณได้

$$SNR(AOD_{st,u}, AOA_{st,u}) = \frac{|SV_{AOA_{st,u}}^* \mathbf{H}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st,u}}^H|^2}{1/\rho} \quad (3.16)$$

เมื่อ ρ คือ SNR อินพุตที่แต่ละผู้ใช้และค่าความจุช่องสัญญาณของ AOD-OSDMA สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R = (T - \tau) \sum_{u=1}^U \log_2(1 + SINR_u) \quad (3.17)$$

เมื่อ $SINR_u$ คือสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ที่ u -th ผู้ใช้รับได้และสามารถคำนวณได้จาก

$$SINR_u = \frac{|SV_{AOA_{st,u}}^* \mathbf{H}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st,u}}^H|^2}{1/\rho + \sum_{n=1, n \neq u}^U |SV_{AOA_{st,BS}}^* \mathbf{H}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st,BS}}^H|^2} \quad (3.18)$$

3.2.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุม

เทคนิคใหม่ที่น่าสนใจนี้เป็นอีกหนึ่งประเภทของระบบ OSDMA ที่อาศัยข้อมูลในเชิงมุมส่งกลับให้ภาคส่งพิจารณา ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นการรู้ข้อมูลในเชิงมุมทำได้โดยการรู้ตำแหน่งของเครื่องมือสื่อสารต่างๆ ว่าอยู่ที่ไหนในระบบ ซึ่งปัจจุบันสามารถใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่งเพื่อเปลี่ยนให้เป็นเชิงมุมได้ ข้อมูลเชิงตำแหน่งนั้นเป็นไปได้ด้วยเทคโนโลยี GPS ทำให้เรียกเทคนิคที่น่าสนใจใหม่นี้ว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส (GPS Aided Opportunistic Space Division Multiple Access : GPS-Aided OSDMA) เป็นการสร้างโอกาสให้เกิดการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งโดยไม่อาศัยการป้อนกลับ (ตั้งฉากเปิด) ข้อมูลช่องสัญญาณโดยตรงจากผู้ใช้อาศัยข้อมูลการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ของผู้ใช้โดยอ้อมที่สถานีฐาน เพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังผู้ใช้ สำหรับการออกแบบระบบและรายละเอียดต่างๆ จะบรรยายในหัวข้อถัดไป

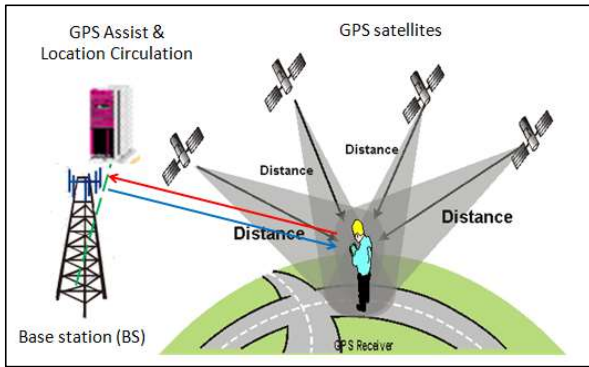
3.2.2.1 การประมาณตำแหน่ง (Location estimation)

ระบบกำหนดตำแหน่งของโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System :GPS) คือระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรอยู่บนโลก ซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ทั่วโลก แต่ไม่ได้ช่วยนำทางอะไรเลย เพราะระบบจีพีเอสจะระบุได้เพียงตำแหน่งที่อยู่เป็นเพียงตัวเลขเท่านั้น บนพื้นที่ว่างเปล่าอย่างมากที่สุดคือสามารถบอกได้ว่ากำลังมุ่งหน้าสู่ทิศใด เช่น ทิศเหนือหรือใต้ ฯ ดังนั้นการที่อุปกรณ์จีพีเอสจะสามารถนำทางไปสู่ที่หมายปลายทางที่ต้องการได้นั้นจะต้องมีอุปกรณ์แผนที่ในอุปกรณ์นั้นด้วย เราจึงจะสามารถรู้ได้ว่า ณ ขณะนี้กำลังอยู่ที่ไหนบนแผนที่และจะเดินทางไปบนถนนเส้นไหนได้ที่สามารถไปถึงปลายทางที่ต้องการ การใช้งานหลักของจีพีเอสคือการค้นหาตำแหน่งที่เราอยู่หรือที่ที่เราต้องการ ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์การนำจีพีเอสไปใช้งานอย่างหลากหลาย อาทิ ระบบนำร่อง (Navigator System), ระบบติดตามยานพาหนะ, สำรวจพื้นที่, การทำแผนที่, PC Navigator, และกำลังแพร่หลายในปัจจุบันนี้คือ จีพีเอส ในโทรศัพท์มือถือ ซึ่งแทบจะทุกรุ่นทุกยี่ห้อได้มีการออกแบบให้เชื่อมโยงกับแผนที่ออนไลน์ เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นในการค้นหาตำแหน่งจากโทรศัพท์มือถือ

แต่เนื่องจากการที่จะได้รับตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำนั้น ต้องใช้การยืนยันตำแหน่งโดยอาศัยพิกัดจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง นอกจากนั้นแล้วจีพีเอส จะระบุตำแหน่งที่แน่นอนได้ภายนอกอาคาร แต่ภายในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างจะเกิดการลุดทอนหรือจางหายของสัญญาณดาวเทียมและอีกประการหนึ่งคือการใช้ข้อมูลการโคจรของดาวเทียมในการคำนวณตำแหน่งนั้นใช้เวลาประมาณ 30 ถึง 40 วินาที ซึ่งการดาวน์โหลดข้อมูลโคจรโดยตรงหลายๆครั้งจะใช้เวลาานมากกว่านั้น ดังนั้น ระบบจีพีเอส จึงถูกนำมาใช้โดยผ่านทางเซิร์ฟเวอร์ โทรศัพท์มือถือสามารถดาวน์โหลดได้ผ่าน เซิร์ฟเวอร์สถานีฐานที่ให้บริการนั้น เป็นการรวมโครงข่ายไร้สาย และระบบดาวเทียมเข้าด้วยกันเพื่อรองรับปัญหาทั้งสองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงยุค 3G และยังคงพัฒนาต่อไปในอนาคตดังปรากฏในแนวความคิดของของโทรศัพท์ในยุค 5G จะต้องสามารถบอกตำแหน่งได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้

การหาตำแหน่งภายใต้จุดศูนย์กลางของโลกหรือขอบเขตการอ้างอิงอื่นๆ $U_u(x_u, y_u)$ กำหนดระยะพิกัดใน 2 มิติของผู้ใช้และ $U_i(x_i, y_i)$ $i=1, \dots, n$, $n \geq 4$ เป็นระยะห่างจากดาวเทียม (หรือสถานีฐาน) กับผู้ใช้โดยคำนวณได้จาก

$$\rho_i = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2} + ct_u + \varepsilon_i \quad (3.19)$$



รูปที่ 3.4 การรวมระบบจีพีเอสเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อ $(i = 1, 2, \dots, n, n \geq 4)$ t_u คือสัญญาณนาฬิกาที่ดาวเทียม(หรือสถานีฐาน)ส่งมาถึงผู้ใช้ C คือความเร็วแสง ε_i คือ สัญญาณรบกวน แก้สมการหาค่าสมการที่ (3.19) เขียนได้

$$T_u = (x_u, y_u, ct_u)^T \quad (3.20)$$

ในสมการที่ (3.20) ทั้ง 3 พารามิเตอร์นั้น คือการทำให้ได้ตำแหน่งสุดท้ายที่แน่นอนจากสัญญาณดาวเทียมที่มีอย่างน้อย 4 ดวง แต่ถ้าสัญญาณดาวเทียมที่น้อยกว่า 4 ดวง จะสามารถคำนวณตำแหน่งได้การรับสัญญาณจากสถานีฐาน คือ

$$\hat{T}_u = (\hat{x}_u, \hat{y}_u, ct_u)^T \quad (3.21)$$

นอร์มอลไลซ์ได้

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{l}_i = (\hat{x}_u - x_i) / \hat{r}_i \\ \hat{m}_i = (\hat{y}_u - y_i) / \hat{r}_i \end{array} \right\} \quad (3.22)$$

$$\text{เมื่อ } \hat{r}_i = \sqrt{(\hat{x}_u - x_i)^2 + (\hat{y}_u - y_i)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n, n \geq 4$$

ใช้ทฤษฎีอนุกรม เทย์เลอร์กับสมการที่ (3.19) จะได้

$$\Delta\rho_i = \hat{l}_i\Delta x_u + \hat{m}_i\Delta y_u + c\Delta t_u \quad (3.23)$$

เมื่อ $\Delta\rho_i = \rho_i - \hat{\rho}_i, \Delta x_u = \hat{x}_u - x_i, \Delta y_u = \hat{y}_u - y_i$, เขียนสมการที่ (2.54) ในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{aligned} \Delta\rho &= G\Delta T_u \\ \Delta\rho &= (\Delta\rho_1, \Delta\rho_2, \dots, \Delta\rho_n) \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\Delta T_u = (\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta ct_u), G = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & 1 \\ l_n & m_n & 1 \end{bmatrix}$$

การประมาณลำดับที่ 1 ที่รับได้

$$\Delta T_u = (G^T G)^{-1} G^T \Delta\rho \quad (3.25)$$

และเขียนขั้นตอนการประมาณได้

$$\hat{T}_u = (\hat{x}_u - \Delta x_u, \hat{y}_u - \Delta y_u, c\hat{t}_u - \Delta ct_u)^T \quad (3.26)$$

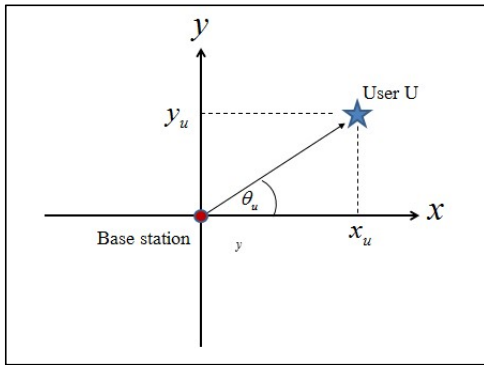
หาค่าที่ได้น้อยกว่าได้

$$T = (\delta x_u, \delta y_u, \delta ct_u)^T \quad (3.27)$$

สุดท้ายการประมาณตำแหน่งที่แม่นยำได้

$$\bar{T}_u = (\bar{x}_u, \bar{y}_u, c\bar{t}_u) \quad (3.28)$$

เมื่อ $\bar{x}_u = \hat{x}_u - \Delta x_u - \delta x_u, \bar{y}_u = \hat{y}_u - \Delta y_u - \delta y_u, c\bar{t}_u = c(\hat{t}_u - \Delta t_u - \delta t_u)$



รูปที่ 3.5 ทิศทางของผู้ใช้ในระนาบ 2 มิติ

ในกรณีที่ โทรศัพท์มือถือรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้ ก็จะมีเทคนิคในการประมาณตำแหน่งจากสายอากาศคู่ในการรับมุม แล้วหาจาก adopted ซึ่งเป็นความต่างของเวลาที่มาถึง (TDOA) ที่วัดจะการส่ง link pilot signal แล้วคำนวณที่มาถึง

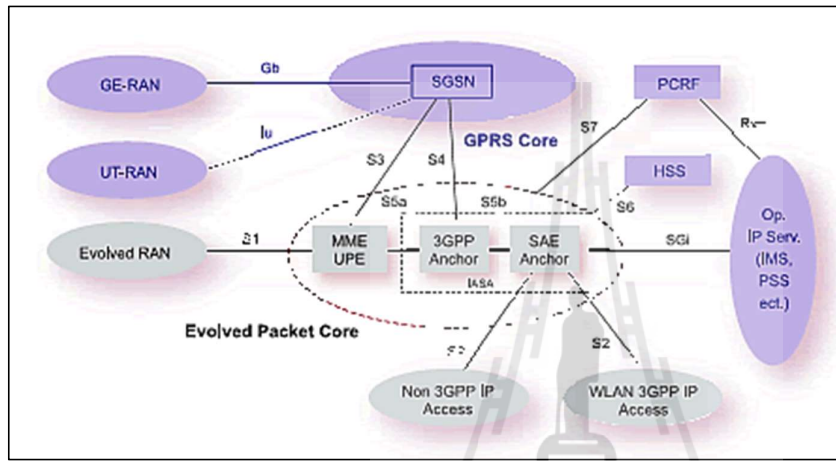
จากรูปที่ 3.5 เมื่อข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ถูกเก็บอยู่ในเซิร์ฟเวอร์แล้วหากมีการร้องขอใช้บริการจากผู้ใช้เข้ามายังระบบสถานีฐานก็สามารถคำนวณทิศทางในการก่อรูปลำคลื่นไปยังตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่ได้ดังนี้

$$\theta_u = \tan^{-1} \left(\frac{y_u}{x_u} \right) \quad (3.29)$$

3.2.2.2 ระบบหาตำแหน่งในแอลทีอี (LTE system)

แอลทีอี (Long Term Evolution: LTE) เป็นชื่อโครงการของระบบสื่อสาร โทรศัพท์มือถือ 4G จุดประสงค์ของการสร้างแอลทีอีส่วนหนึ่งก็คือการทำให้เวลาแฝง (Latency) ลดลง ซึ่งวิธีที่ได้ผลที่สุดก็คือการทำให้สถาปัตยกรรม (Architecture) นั้นแบนราบที่สุด ซึ่งทำให้เทคโนโลยีแอลทีอีเป็นแบบง่าย ๆ มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือระบบย่อยสถานีฐาน eNodeB (evolved Node B) และ EPS (Evolved Packet System) และยังมีส่วนประกอบภายในเพื่อให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนแรกที่เราไม่ได้คือ HSS (Home Subscriber Server) ซึ่งเป็นส่วนที่เก็บข้อมูลลูกค้าเอาไว้ ส่วน PCRF (Policy and Charging Rule Function) แต่ส่วนที่สำคัญก็คือ MME (Mobility Management Entity) และ SAE (System Architecture Evolution) เกตเวย์ (Gateway) ส่วน MME ทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมของเครือข่ายแอลทีอีรวมทั้งสัญญาณ (Signaling) ต่าง ๆ การตรวจสอบต่าง ๆ ในระบบ และรวมถึงการทำงานร่วมกันของเครือข่าย 2G/3G กับแอลทีอีด้วย ส่วน SAE Gateway จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ให้กับข้อมูลในด้านการรับส่งออกจากเครือข่าย ซึ่ง SAE Gateway เองก็อาจจะทำหน้าที่เป็น PDN (Packet Data Network) Gateway ที่จะรับส่งข้อมูลต่าง ๆ จากภายนอกเครือข่ายอีก

ด้วย ซึ่ง ณ จุดนี้จะมีการกำหนดแผนการ (Policy) ต่าง ๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.6 ที่มี 3GPP Anchor และ SAE Anchor ที่รวมเข้าเป็น SAE Gateway โดยมีเป้าหมายในการออกแบบให้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากขึ้นและเร็วขึ้นบนพื้นฐานเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทางอากาศ (air interface) โดยมีความสามารถดาวน์โหลดได้สูงถึง 100 Mbps ความเร็วอัปโหลด 50 Mbps และ ping ต่ำกว่า 10 มิลลิวินาที ซึ่งรายละเอียดการจัดสรรคลื่นความถี่และความสามารถอื่นที่มีในระบบ LTE จะได้อธิบายในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.6 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของแอลทีอี [http://telecom10.blogspot.com]

3.2.2.3 แนวคิดเกี่ยวกับการระบุตำแหน่ง (Location service related concepts)

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 นั้น ระบบแอลทีอีสามารถรองรับวิธีระบุตำแหน่งได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1. วิธี Cell ID ที่ปรับปรุงขึ้น (Enhanced Cell ID :E-CID)
2. วิธีสังเกตเวลาที่มาถึงต่างกัน (Observed Time Difference of Arrival : OTDOA) และ
3. วิธีนำจีพีเอสเข้ามาช่วย (Assisted GPS : A-GPS) ทั้ง 3 วิธีนี้มีระดับความถูกต้องแม่นยำที่ต่างกันและนำไปใช้กับสถานที่ที่ต่างกันด้วย ซึ่งในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ละวิธีการระบุตำแหน่งต่างกันระดับความถูกต้องแม่นยำก็จะต่างกันด้วย โดยปกติแล้ว A-GPS จะให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุด ตามมาด้วย OTDOA และ E-CID จึงทำให้เลือกวิธีการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS เข้ามาเพื่อพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับเพิ่มความถูกต้องสัญญาณในงานวิจัยนี้ ซึ่งดูได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหนึ่ง เมตร

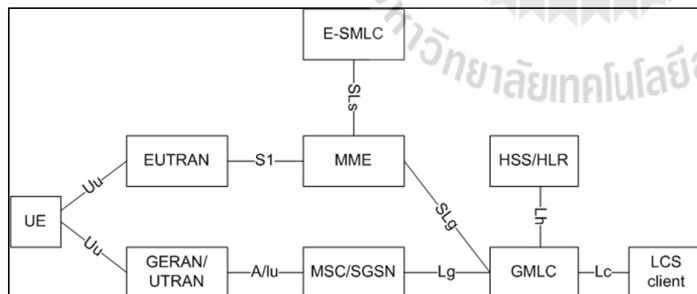
[Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

Positioning Method	67%	95%
E-CID	90 – 300	180 – 1000
OTDOA	50 – 100	140 – 280
A-GPS	15 – 60	40 – 200

ในคอลัมน์ “67%” คือมาตรฐานขอบเขตความแม่นยำในแนวราบที่ 67 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละวิธี เช่นเดียวกันในคอลัมน์ “95%” คือมาตรฐานขอบเขตความแม่นยำในแนวราบที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละวิธี ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี A-GPS มีความแม่นยำสูงสุดสำหรับทั้ง 67 เปอร์เซ็นต์และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วย OTDOA และ E-CID

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาในการตอบสนองของแต่ละวิธี [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

Positioning Method	Response Time (Unit: s)
E-CID	0.1 – 0.5
OTDOA	0.5 – 2
A-GPS	5 – 16



รูปที่ 3.7 สถาปัตยกรรมโครงข่ายสำหรับ LCS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

UTRAN: universal terrestrial radio access network

GMLC: gateway mobile location center

HLR: home location register

MSC: mobile switching center

GERAN: GSM/EDGE radio access network

HSS: home subscriber server

MME: mobility management entity

SGSN: serving GPRS support node

3.2.2.4 สถาปัตยกรรมโครงข่ายสำหรับบริการระบุตำแหน่ง (Location service)

จากรูปที่ 3.7 เมื่อ MME ได้รับการร้องขอบริการโลเกชันจากผู้ใช้ GMLC หรือ MME เอง MME จะส่งร้องขอบริการโลเกชันไปยัง E-SMLC ผ่านการเชื่อมต่อ SLs หลังจากนั้น E-SMLC จะส่งข้อมูลการอนุเคราะห์ไปยังผู้ใช้นั้น ผ่าน SLs S1 และ Uu แล้วทำการวัดที่ได้รับรายงานจากผู้ใช้และ eNodeB ที่เกี่ยวข้อง คำนวณโลเกชันของผู้ใช้ เสร็จแล้วก็ทำการส่งข้อมูลไปยัง MME ผ่าน SLs แต่ถ้า MME หรือ GMLC เป็นผู้ส่งการร้องขอ ก็จะส่งข้อมูลไปที่ MME หรือ GMLC

หลักการและขั้นตอนในการระบุตำแหน่ง จากรูปที่ 3.8 อธิบายได้ว่า

- 1) เริ่มต้นที่ NE

ในขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนไปตามชนิดของ NE ซึ่งอาจจะเป็นผู้ใช้ MME หรือ

อื่นๆใน EPC

1a ผู้ใช้ส่งร้องขอบริการโลเกชันไปที่ MME

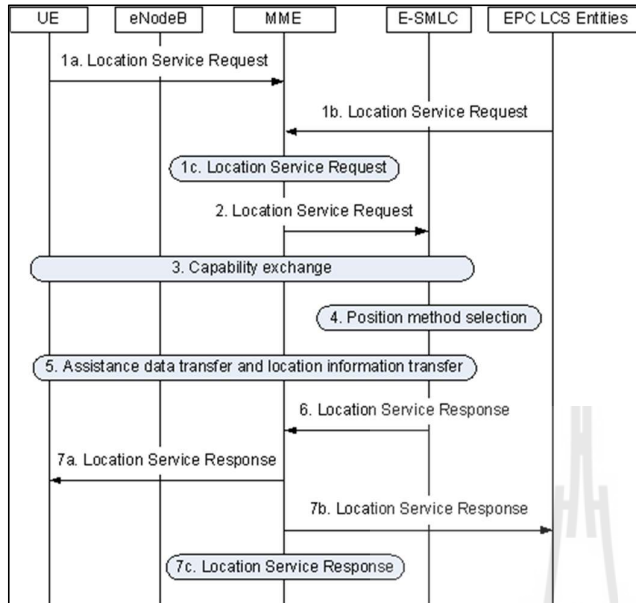
1b GMLC ส่งร้องขอบริการโลเกชันไปที่ MME

1c ที่ PLMN ได้รับการร้องขอบริการโลเกชัน

- 2) MME ส่งคำร้องขอไปที่ E-SMLC
- 3) ผู้ใช้รายงานการคำนวณตำแหน่งไปที่ E-SMLC
- 4) E-SMLC เลือกวิธีระบุตำแหน่งตามปัจจัยต่อไปนี้

ต้องการระบุตำแหน่ง ความแม่นยำและ latency สำหรับในแนวราบ

วิธีระบุตำแหน่งที่กำหนดใน E-SMLC ผู้ประกอบการซื้อใบอนุญาตบริการระบุตำแหน่ง(Location service : LCS)



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งทั่วไป [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

อุปกรณ์ของผู้ใช้สามารถคำนวณตำแหน่ง

5) ถ้า E-SMLC ตัดสินใจว่า eNodeB มีส่วนร่วมในการระบุตำแหน่งจะต้องมีการแลกเปลี่ยนขั้นตอน โลกทัศน์กับ eNodeB ที่ให้บริการวัดตำแหน่งหรือได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลอยู่ขณะนั้น แต่ถ้า E-SMLC ตัดสินใจว่าผู้ใช้มีส่วนร่วม จะต้องมีการแลกเปลี่ยนการประมาณ โลกทัศน์กับผู้ใช้

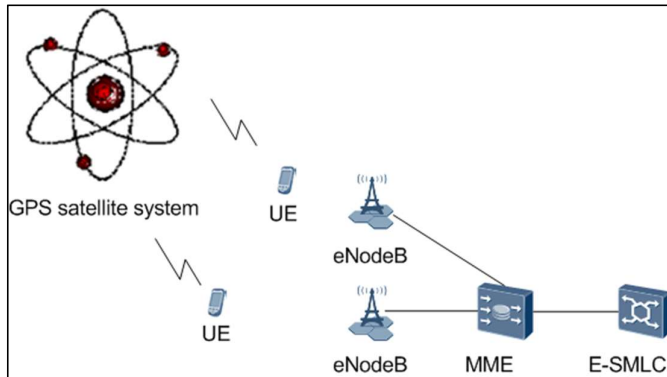
6) E-SMLC ได้จัดเตรียมตอบสนองบริการ โลกทัศน์ส่งไปที่ MME รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับว่าทำการสำเร็จหรือล้มเหลวและข้อมูลผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง

7) ส่งการตอบสนองบริการ โลกทัศน์

7a ถ้าดำเนินการที่ขั้นตอน 1a ผลที่ได้ในขั้นตอนที่ 6 MME จะส่งไปยังผู้ใช้

7b ถ้าดำเนินการที่ขั้นตอน 1b ผลที่ได้ในขั้นตอนที่ 6 MME จะส่งกลับไปยัง EPC อื่นๆ

7c ถ้าดำเนินการที่ขั้นตอน 1c ผลที่ได้ในขั้นตอนที่ 6 MME จะส่งกลับไปยังอุปกรณ์ในขั้นตอนที่ 1c



รูปที่ 3.9 หลักการของ A-GPS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

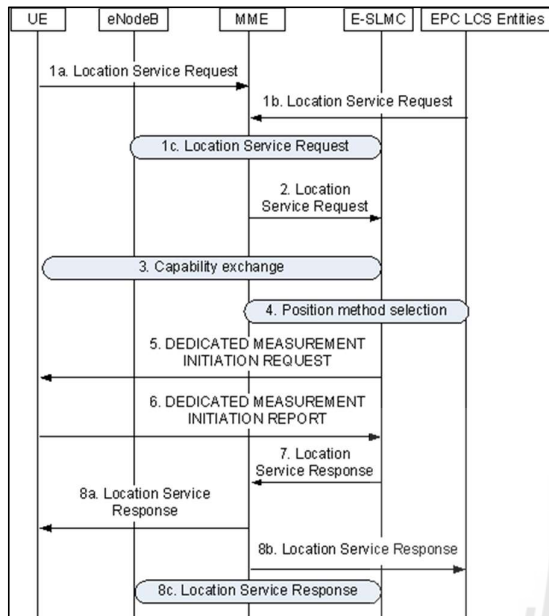
3.2.2.5 หลักการของ A-GPS

จีพีเอส (Global Positioning System : GPS) คือระบบนำทางบนโลกด้วยระบบดาวเทียมที่ดำเนินการโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งของวัตถุได้อย่างแม่นยำรอบโลกหากได้รับสัญญาณจากดาวเทียมในจำนวนที่เพียงพอสำหรับกำหนดตำแหน่งในแนวระดับสายตาระหว่างดาวเทียมกับวัตถุ ใน E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) หลักการพื้นฐานของ A-GPS ก็เหมือนกันกับระบบระบุตำแหน่งจีพีเอส

ในรูปที่ 3.9 จะมีดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวงโคจรรอบโลก โดยแบ่งเป็น 6 กระจุกละ 4 ดวง ทำมุม 25 องศา ผู้ใช้จะค้นหาสัญญาณจีพีเอส และวัดขอบเขตจีพีเอส และนำมาคำนวณตำแหน่งของผู้ใช้

ความแตกต่างระหว่าง A-GPS และ GPS คือ A-GPS นั้น ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมและเวลาจริงของการโคจรจะถูกเก็บไว้ใน E-SMLC และมีการส่งข้อมูลนั้นไปยังผู้ใช้เป้าหมาย ข้อมูลนั้นสามารถใช้อ้างอิงตำแหน่ง เวลา และ รูปแบบชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งวิธี A-GPS นี้จะช่วยให้ผู้ใช้รับสัญญาณดาวเทียมได้มีประสิทธิภาพมากกว่า เช่น ใช้เวลาในการวัดที่สั้นกว่าประหยัดกำลังงาน และการรับรวดเร็วขึ้นนอกจากนั้นแล้ว ถ้าผู้ใช้ได้รับสัญญาณน้อยกว่าสี่ดวงจะทำให้ไม่เพียงพอในการกำหนดตำแหน่งของผู้ใช้ ในกรณีนี้จะต้องอาศัยวิธีการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการอื่นใน E-SMLC ช่วยในการคำนวณตำแหน่งของผู้ใช้ เงื่อนไขที่จะสามารถใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ได้นั้น คือ

- 1) ผู้ใช้จะต้องมีเครื่องรับ GPS
- 2) จะไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้ในที่ที่รับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้ เช่น ในอาคาร



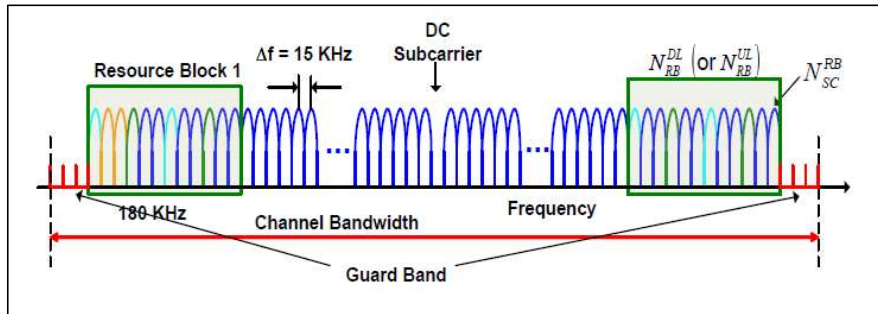
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวิธี A-GPS [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวิธี A-GPS นั้นเหมือนกันกับในขั้นตอนทั่วไปแต่จะแตกต่างในขั้นตอนที่ 5 และ 6 ดังแสดงในรูปที่ 3.10

ในขั้นตอนที่ 5 E-SLMC จะส่งร้องขอการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ของผู้ใช้และความอนุเคราะห์ข้อมูล ในขั้นตอนที่ 6 ถ้าอยู่ในโหมดผู้ใช้ ผู้ใช้จะรายงานข้อมูล ลองจิจูดและแลตติจูดไปที่ E-SLMC แต่ถ้าอยู่ในโหมด E-SLMC ผู้ใช้จะทำการวัดวิถี GPS และ Doppler และรายงานผลการวัดไปที่ E-SLMC ที่ E-SLMC จะทำการคำนวณลองจิจูดและแลตติจูดของผู้ใช้ออกมาจะข้อมูลที่รับจากผู้ใช้

3.2.2.6 การจัดสรรทรัพยากรคลื่นความถี่ในระบบแอลทีอี

สำหรับการตั้งค่าพื้นฐานในระบบแอลทีอีควที่รองรับอัตราข้อมูลในการดาวน์โหลดได้สูงสุด 100 Mbps (5 bps/Hz) ภายในการจัดสรรสเปกตรัม 20 MHz และในขณะเดียวกันก็สามารถรองรับอัตราข้อมูลในการอัปโหลดได้สูงสุด 50 Mbps (2.5 bps/Hz) ภายในการจัดสรรสเปกตรัม 20 MHz นั้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงรูปที่ 3.11 เป็นการจัดสรรทรัพยากรคลื่นความถี่



รูปที่ 3.11 LTE DL/UL การจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับ คลื่นพาหะย่อย (subcarriers) ใช้สำหรับ
 ทรานสเฟอร์ข้อมูล สัญญาณอ้างอิงหรือไพลอต (pilot) และข้อมูลควบคุม [Ericsson.
 (2010).]

Δf = Subcarrier spacing

DC = Subcarrier: Direct Current subcarrier at center of frequency band

$N_{RB}^{DL} / N_{RB}^{UL}$ = Number of DL or UL Resource Blocks (groups of subcarriers)

N_{SC}^{RB} = Number of subcarriers within a Resource Block

จะเห็นได้ว่าการจัดสรรแต่ละคลื่นพาหะย่อยมีขนาดเท่ากับ 180 kHz และมีความห่างระหว่างคลื่นพาหะ 15 kHz และแบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในระบบแอลทีอี แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงแบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในระบบแอลทีอี [Ericsson. (2010).]

Channel Bandwidth [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
N. of Occupied Subcarriers including DC (NSC)	73	181	301	601	901	1201
FFT Size (N)	128	256	512	1024	1536	2048
Sampling Rate [MHz]	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
N. of Resource Blocks (NRB)	6	15	25	50	75	100

ตารางที่ 3.4 แบนด์ความถี่ที่เป็นแบนด์คู่ในข้อกำหนดของ 3GPP [Ericsson. (2010).]

Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
Band 1	2100	2x60 MHz	1920 -1980	2110-2170
Band 2	1900	2x60 MHz	1850-1910	1930-1990
Band 3	1800	2x75 MHz	1710-1785	1805-1880
Band 4	1700/2100	2x45 MHz	710-1755	2110-2155
Band 5	850	2x25 MHz	824-849	869-894
Band 6	800	2x10 MHz	830-840	875-885
Band 7	2600	2x70 MHz	2500-2570	2620-2690
Band 8	900	2x35 MHz	880-915	925-960
Band 9	1700	2x35 MHz	1750-1785	1845-1880
Band 10	1700/2100	2x60 MHz	1710-1770	2110-2170
Band 11	1500	2x25 MHz	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9
Band 12	US700	2x18 MHz	698-716	728-746
Band 13	US700	2x10 MHz	777-787	746-756
Band 14	US700	2x10 MHz	788-798	758-768
Band 17	US700	2x10 MHz	704-716	734-746
Band 18	Japan800	2x30 MHz	815-830	860-875
Band 19	Japan800	2x30 MHz	830-845	875-890

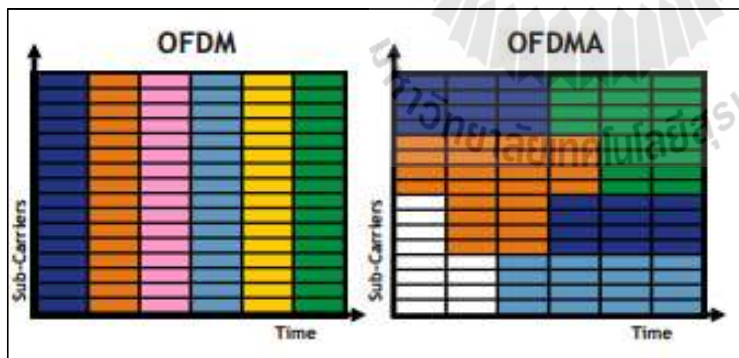
ตารางที่ 3.5 แบนด์ความถี่ที่ไม่เป็นแบนด์คู่ในข้อกำหนดของ 3GPP [Ericsson. (2010).]

Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink and downlink [MHz]
Band 33	UMTS TDD1	1x20 MHz	1900-1920
Band 34	UMTS TDD2	1x15 MHz	2010-2025
Band 35	US1900 UL	1x60 MHz	1850-1910
Band 36	US1900 DL	1x60 MHz	1930-1990
Band 37	US1900	1x20 MHz	1910-1930
Band 38	2600	1x50 MHz	2570-2620

Band 39	UMTS TDD	1x40 MHz	1880-1920
Band 40	2300	1x50 MHz	2300-2400

แบนด์ความถี่ภายใต้ข้อกำหนดของ 3GPP ตามที่แสดงในตาราง 3.4 นั้นมี 17 แบนด์ที่เป็นแบนด์คู่ และในตารางที่ 3.5 มี 8 แบนด์ที่ไม่เป็นแบนด์คู่

สำหรับเทคโนโลยีที่ช่วยให้สามารถใช้ความถี่ที่ได้รับดีขึ้นมีอยู่หลายส่วน ซึ่งในส่วนแรกที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพความถี่ดีขึ้นและมีความยืดหยุ่นในการใช้สเปกตรัมก็คือเทคโนโลยี OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) และ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีความถี่ยุคใหม่ในรุ่นใหม่ๆ เช่น ไวแมกซ์ก็นำมาใช้งาน โดยทางแอลทีอีได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานด้านดาวน์โหลดและนำ SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) มาใช้งานทางด้านอัปลิงก์ ซึ่งนอกจากจะได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น สามารถที่จะให้บริการได้ที่มีความเร็ว 100 Mbps ในด้านดาวน์โหลด และ 50 Mbps ทางด้านอัปลิงก์แล้ว ยังมีความยืดหยุ่นตามแบบของ OFDMA ซึ่งช่วยให้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนใช้งานความถี่ได้ที่แบนด์วิดธ์ต่างๆ กันตั้งแต่ 1.25 ถึง 20 MHz จึงไม่เป็นข้อจำกัดที่จะให้บริการเทคโนโลยีแอลทีอีนี้ทางด้านความถี่ นอกจากเทคโนโลยี OFDMA ที่ใช้แล้ว เพื่อที่จะเพิ่มแบนด์วิดธ์ที่ได้ก็ได้มีการนำเทคโนโลยีของไมโมเข้ามาใช้งานด้วย ทำให้สามารถที่จะเพิ่มอัตราเร็วข้อมูลยิ่งขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 3.12 เทคโนโลยี OFDM และ OFDMA [<http://telecom10.blogspot.com>]

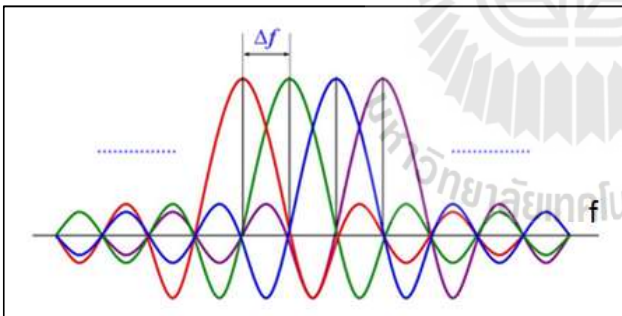
3.2.2.7 การมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกันและการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกัน

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกัน หรือ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) มาจากเทคโนโลยี OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) ที่มีพื้นฐานของ FDM (frequency-division multiplexing) ซึ่งแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกันโดยที่ไม่ใช้แถบความถี่ค่อม (Guard Band) เพื่อแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน เพราะเป็นการสิ้นเปลืองความถี่ แต่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้เป็นอิสระต่อกัน หรือ การทำให้ตั้งฉากต่อกัน (Orthogonal) สัญญาณที่ตั้งฉากต่อกันนั้นเมื่อผ่านการโมดูเลชันทำให้เกิดสัญญาณแถบความถี่ข้าง (Sideband) รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณ

ข้าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้นจะไม่มีสัญญาณรบกวนใด เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แถบความถี่ค่อมมาช่วยป้องกัน และทำให้สูญเสียสเปกตรัมความถี่ไปบางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.2.2.8 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะเดี่ยว

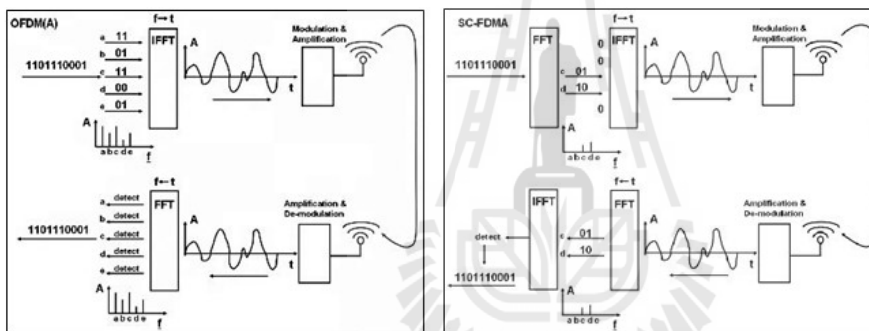
เทคโนโลยีการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะเดี่ยว หรือ SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) ได้ปรับขึ้นมาจากเทคโนโลยี OFDMA เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากรูปที่ 3.14 (ก) นั้น



รูปที่ 3.13 การผสมสัญญาณที่ตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน [http://www.wirelessdesignmag.com]

จะเห็นว่าหลักการของ OFDMA จะแยกบิตสตรีมออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อป้อนเข้าไปยังผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วผกผัน (Inverse fast Fourier transform : IFFT) เพื่อที่จะกระจายบิตเหล่านี้ไปยังความถี่ต่าง ๆ ที่จะจัดให้ตั้งฉากต่อกันด้วย IFFT ซึ่งเมื่อส่งมาถึงด้านรับก็จะเข้าผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier transform : FFT) และนำเอาบิตสตรีมเหล่านั้นมาใช้งานอีก เมื่อจำเป็นต้องลดข้อเสียเรื่องสัญญาณที่จะส่งมีค่าอัตราส่วนกำลังค่ายอดต่อกำลังเฉลี่ย (Peak to Average Power Ratio : PAPR) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ข) มีการปรับวิธี

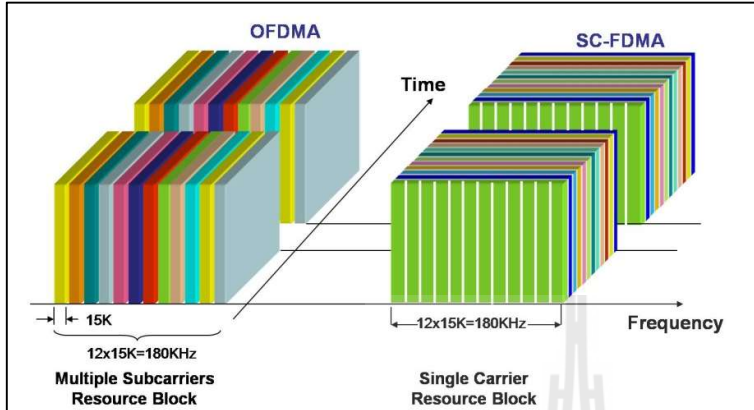
โดยเพิ่มเติมกระบวนการ FFT ขึ้นมาก่อนที่จะส่งบิตสตรีมเหล่านั้นเข้าไปยัง IFFT นั่นคือ แทนที่จะกระจายข้อมูลเหล่านี้เป็นบิต ๆ ไปยังแต่ละความถี่หรือคลื่นพาหะย่อย (Sub carrier) ตรง ๆ ก็มาใช้วิธีการกระจายข้อมูลเข้าไปยังแต่ละคลื่นพาหะย่อยด้วย FFT ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะส่งเข้าไปยัง IFFT และไม่จำเป็นที่จะต้องใช้งานทุกคลื่นพาหะย่อยตามแต่ผลลัพธ์ที่ได้จาก FFT จากนั้นก็เข้ากระบวนการเช่นเดียวกับ OFDMA ที่ผ่าน IFFT ออกไป สำหรับด้านรับนั้นก็จะส่งเข้าไปยัง FFT เช่นเดียวกับ OFDMA จนกระทั่งก่อนที่จะแยกบิตสตรีมเช่นเดิมก็มาผ่านเข้าไปยัง IFFT เพื่อดึงข้อมูลกลับมาโดยที่ไม่ต้องทำการแยกข้อมูลออกจากกันและใช้อุปกรณ์ด้านรับที่น้อยกว่าอีกด้วย ซึ่ง SC-FDMA จะให้ค่า PAPR ที่ต่ำและให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น แต่ก็จะมีกระบวนการมากขึ้น ทำให้อุปกรณ์หรือการออกแบบนั้นซับซ้อนมากขึ้น ใช้ความสามารถที่อุปกรณ์มากขึ้น ด้วยแต่ด้วยข้อดีของ SC-FDMA ที่ใช้พลังงานลดลง จึงทำให้ ระบบแอลทีอีได้เลือกที่จะใช้เทคโนโลยีนี้ทางด้านอพลิงก์ที่อุปกรณ์ของผู้ให้บริการเพื่อให้ใช้งานพลังงานลดลง ใช้งานได้นานขึ้นนั่นเอง



(ก) OFDMA

(ข) SC-FDMA

รูปที่ 3.14 หลักการของ OFDMA และ SC-FDMA [<http://telecom10.blogspot.com>]



รูปที่ 3.15 เทคโนโลยี OFDMA และ SC-FDMA [<https://www.exploregate.com>]

3.3 หลักการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

แนวความคิดของการทำของระบบที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้คือ เริ่มต้นด้วยเมื่อผู้ลงทะเบียนเข้ามาในเครือข่ายแล้วจะมีการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐาน เพื่อให้ทราบถึงสถานะของผู้ใช้ เช่น Idle Mode Active Mode Detached Roaming Handover Registration (Location Update) และ Paging เป็นต้น ซึ่งในระบบแอลทีอีนั้นสามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งในทางภูมิศาสตร์ของผู้ใช้จากการรายงานแลกเปลี่ยนข้อมูลของผู้ใช้ได้ ดังนั้นหากผู้ใช้อยู่ในโหมดใช้งาน หรือต้องการที่จะอยู่ใน Active Mode มาที่สถานีฐานๆก็จะมีการคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากข้อมูลตำแหน่งที่มีในระบบว่าอยู่ในทิศทางไหนของสถานีฐาน จากนั้นเมื่อทราบทิศทางของผู้ใช้แล้วก็จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางนั้น เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้รับสัญญาณอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด และแผนการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 3.16

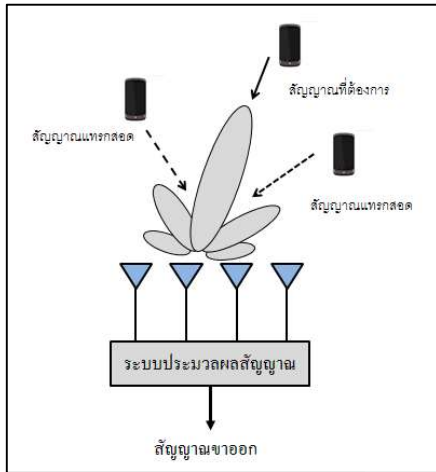


รูปที่ 3.16 แผนการทำงานของการทำงานร่วมใช้ห้องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.4 การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (WEIGHT)

การถ่วงน้ำหนักหรือการก่อรูปลำคลื่นเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานของระบบสายอากาศแ่งดังแสดงในรูปที่ 3.17 ที่ประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ สายอากาศแ่งลำดับและระบบประมวลผลสัญญาณ (signal processing systems) ซึ่งในระบบประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการหาทิศทางของสัญญาณที่เข้ามา (Direction-of-Arrival: DOA) และการคำนวณเพื่อก่อรูปลำคลื่น สำหรับโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศแ่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหันพู่หลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยใช้สายอากาศแ่งลำดับเชิงเส้นเนื่องจากการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าสายอากาศแ่งลำดับแบบระนาบและวงกลม มืองค์ประกอบของสายอากาศเท่ากับ 4 ต้น และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ d และกำหนดให้มีความห่างเท่ากับ $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 สมมติเป็นสายอากาศภาครับที่มีคลื่นเดินทางเข้ามาตกกระทบสายอากาศ และ θ คือมุมตกกระทบของสัญญาณที่เข้ามาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น D

คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ



รูปที่ 3.17 ระบบสายอากาศแก่ง

$$y_1 = w_1 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_1 A_d \quad (3.30)$$

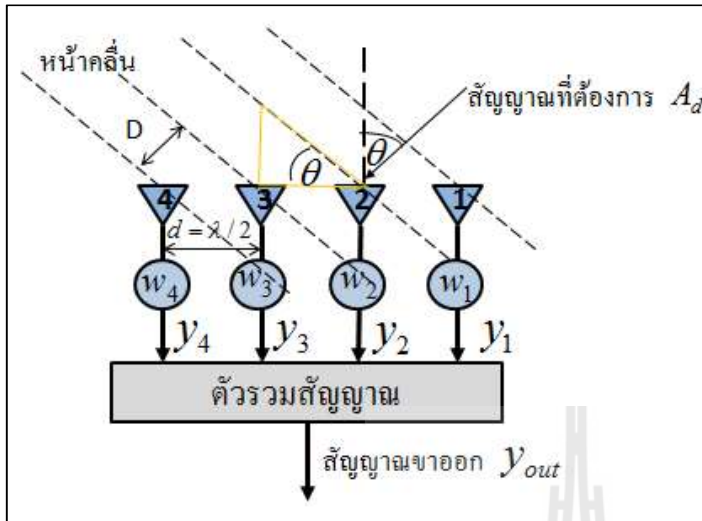
$$y_2 = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)} \quad (3.31)$$

$$y_3 = w_3 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_3 A_d e^{-j2(kd \sin \theta)} \quad (3.32)$$

$$y_4 = w_4 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_4 A_d e^{-j3(kd \sin \theta)} \quad (3.33)$$

w_n คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสัญญาณและ A_d คือสัญญาณที่ต้องการที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศในมุม θ ดังนั้นสัญญาณขาออกหรือ y_{out} คือ

$$\begin{aligned} y_{out} &= y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \\ &= w_1(A_d) + w_2(A_d e^{-j(kd \sin \theta)}) + w_3(A_d e^{-j2(kd \sin \theta)}) + w_4(A_d e^{-j3(kd \sin \theta)}) \end{aligned}$$



รูปที่ 3.18 ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น

$$= A_d (w_1 + w_2 e^{-jkd \sin \theta} + w_3 e^{-j2(kd \sin \theta)} + w_4 e^{-j3(kd \sin \theta)}) \quad (3.34)$$

หลักการสำคัญของการก่อรูปลำคลื่นที่จะสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการได้ คือการปรับเฟสของสัญญาณที่รับเข้ามาด้วย w_n ที่เหมาะสม หรือในกรณีนี้เราต้องการปรับเฟสเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่ต้องการสูงสุด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก w_n คือ

$$w_1 = e^{j(0)} \quad (3.35)$$

$$w_2 = e^{j(kd \sin \theta)} \quad (3.36)$$

$$w_3 = e^{j2(kd \sin \theta)} \quad (3.37)$$

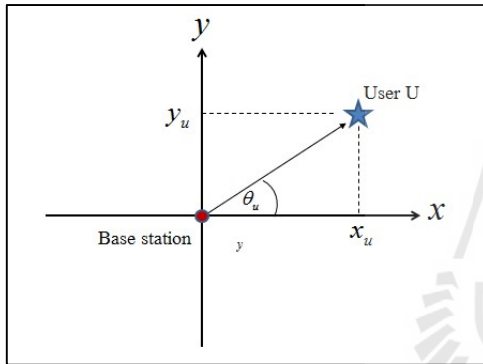
$$w_4 = e^{j3(kd \sin \theta)} \quad (3.38)$$

เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากสมการ (3.35) (3.36) (3.37) และ (3.38) ลงใน (3.34) เราจะได้สัญญาณขาออกที่ได้สัญญาณที่ต้องการสูงสุดดังนี้

$$y_{out} = A_d (e^{j(0)} + e^{-j(kd \sin \theta)} e^{j(kd \sin \theta)} + e^{-j2(kd \sin \theta)} e^{j2(kd \sin \theta)} + e^{-j3(kd \sin \theta)} e^{j3(kd \sin \theta)}) = 4A_d \quad (3.39)$$

สำหรับในโครงการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ในการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่อยู่ใซ้อยู่ ซึ่งข้อมูลตำแหน่งได้จากวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ในระบบแอลทีซึ่งมีความแม่นยำมากที่สุดจากวิธีอื่น จากรูปที่ 3.19 สามารถคำนวณทิศทางของผู้ใช้ได้ดังนี้

$$\theta_u = \tan^{-1} \left(\frac{y_u}{x_u} \right) \quad (3.40)$$



รูปที่ 3.19 ทิศทางของผู้ใช้ในระนาบ 2 มิติ

เมื่อแทนสมการ 3.40 ลงในสมการค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก w_n จะได้

$$w_{n,u} = \sum_{n=1}^N e^{-j(n-1)(kd \sin \theta_u)} \quad u = 1, \dots, U \quad (3.41)$$

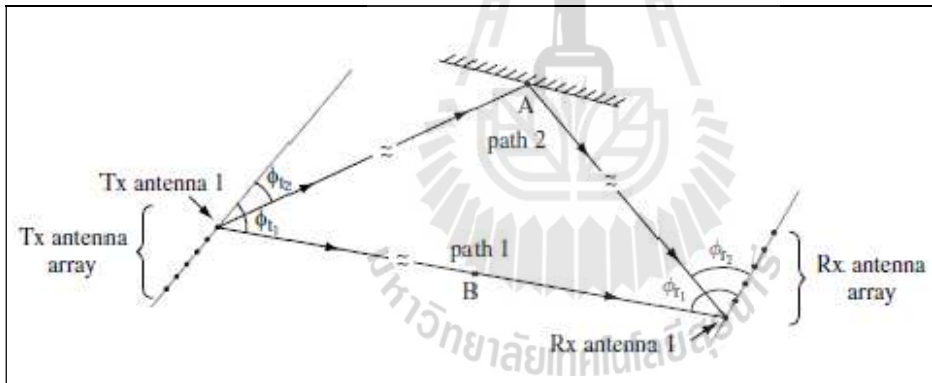
เมื่อ U คือจำนวนของผู้ใช้ที่ร้องขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ขนาด $N \times U$ ดังแสดงในสมการ 3.42 ซึ่ง N คือจำนวนสายอากาศแถวลำดับแบบเส้น ส่วน U คือจำนวนแบบรูปการแผ่พลังงานหรือจำนวนลำคลื่นที่ต้องการซึ่งเท่ากับจำนวนผู้ใช้ที่ร้องขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ

$$W = \begin{bmatrix} w(1,1) & \dots & \dots & w(1,U) \\ w(2,1) & \dots & \dots & w(2,U) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w(N,1) & \dots & \dots & w(N,U) \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

3.5 ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย

3.5.1 ช่องสัญญาณที่พิจารณา

จากรูปที่ 3.20 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทาง เมื่อมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ โดยมี อัตราการลดทอนที่เกิดขึ้นในแต่ละทิศทาง แทนด้วย α_i มุมส่ง แทนด้วย Ω_{Tx} ($\Omega_{\text{Tx}} = \cos \theta_{\text{Tx}}$) และมุมรับ แทนด้วย Ω_{Rx} ($\Omega_{\text{Rx}} = \cos \theta_{\text{Rx}}$) ดังนั้นช่องสัญญาณ หาได้จาก



รูปที่ 3.19 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบโมโม [อภิญา อินทร์นอก, 2553.]

$$h = \sum_{\text{path}} \alpha_{\text{path}} \Omega_{\text{Tx}}(\Omega_{\text{Tx}}) \Omega_{\text{Rx}}(\Omega_{\text{Rx}}) \quad (3.43)$$

โดย $\alpha_{\text{path}} = \alpha_{\text{path}} \sqrt{\alpha_{\text{path}}} \exp\left(\frac{-\alpha_{\text{path}}}{\alpha_{\text{path}}}\right)$ (3.44)

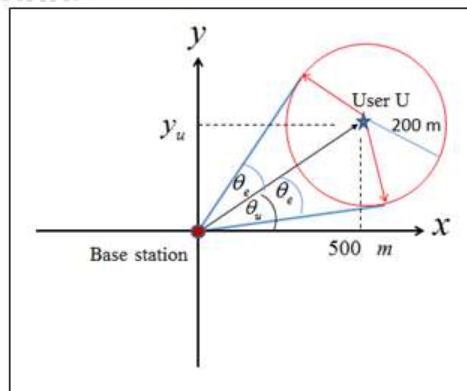
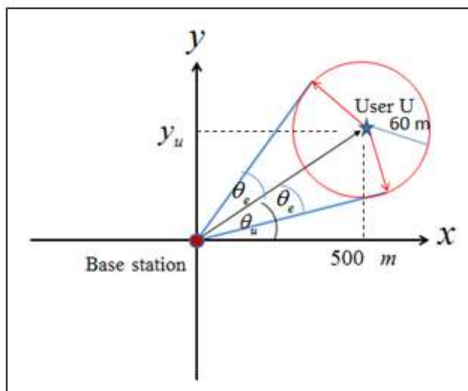
$$\sigma_{\square}(\Omega_{\square\square}) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{\square}}} \begin{bmatrix} \exp[-\square(2\square\square\square\square\Omega_{\square\square})] \\ \vdots \\ \exp[-\square(\square_{\square} - 1)(2\square\square\square\square\Omega_{\square\square})] \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$$\sigma_{\square}(\Omega_{\square\square}) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{\square}}} \begin{bmatrix} \exp[-\square(2\square\square\square\square\Omega_{\square\square})] \\ \vdots \\ \exp[-\square(\square_{\square} - 1)(2\square\square\square\square\Omega_{\square\square})] \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

โดยที่

- σ_{\square} คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งๆไปยังภาครับในแต่ละทิศการเดินทางของคลื่น ส่วน
- $\sigma_{\square}(\Omega_{\square\square})$ และ $\sigma_{\square}(\Omega_{\square\square})$ คือ เวกเตอร์ใช้แทนการกระจายตัวในแต่ละทิศทาง Ω
- σ_{\square} คือ ความยาวคลื่นของความถี่กลาง
- σ_{\square} และ σ_{\square} คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่นอลล์แมลไลซ์

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาวิธีการระบุตำแหน่ง A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาพัฒนาเทคนิคที่ได้นำเสนอ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณจะเป็นไปตามตารางที่ 3.1 และทิศทางที่ผิดพลาดจากการประมาณตำแหน่งแสดงในรูปที่ 3.21 เมื่อ θ_e คือทิศทางผิดพลาดที่เกิดขึ้น และเมื่อแทนค่าลงในสมการ 3.43 3.45 และ 3.46 จะได้



(ก) ระยะผิดพลาดสูงสุด 60 เมตร

(ข) ระยะผิดพลาดสูงสุด 200 เมตร

รูปที่ 3.20 ทิศทางที่ผิดพลาดจากการประมาณตำแหน่งในวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS

$$\sigma = \sum_{\square} \sigma_{\square}^2 (\Omega_{\square} + \sigma_{\square}) \sigma_{\square} (\Omega_{\square} + \sigma_{\square})^2 \quad (3.47)$$

$$\sigma_{\square}(\Omega_{\square}) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{\square}}} \begin{bmatrix} \exp[-\sigma(2\sigma_{\square}(\Omega_{\square} + \sigma_{\square}))] \\ \vdots \\ \exp[-\sigma(\sigma_{\square} - 1)(2\sigma_{\square}(\Omega_{\square} + \sigma_{\square}))] \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

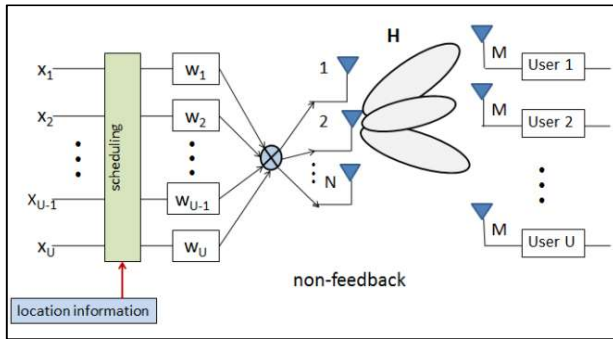
$$\sigma_{\square}(\Omega_{\square}) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{\square}}} \begin{bmatrix} \exp[-\sigma(2\sigma_{\square}(\Omega_{\square} + \sigma_{\square}))] \\ \vdots \\ \exp[-\sigma(\sigma_{\square} - 1)(2\sigma_{\square}(\Omega_{\square} + \sigma_{\square}))] \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

3.7.2 ความจุช่องสัญญาณที่พิจารณา

เมื่อไม่มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาคส่ง ความจุช่องสัญญาณในระบบโมเด็มที่ใช้แสดงได้ดังนี้

$$C = B \log_2 \det \left[\mathbf{I}_{M_r} + \frac{P_t}{P_n M_t} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right] \quad (3.50)$$

เมื่อ B คือ แบนด์วิธ $\det(\cdot)$ คือ การแทนการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ (determinant) ของเมทริกซ์ \mathbf{I}_{M_r} คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด $M_r \times M_r$ \mathbf{H} คือ ช่องสัญญาณ ขนาด $M_r \times M_t$ \mathbf{H}^H คือ การทรานสโพอสคอนจูเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ P_t / P_n คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.21 แบบจำลองของระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.6 แบบจำลองของระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

แบบจำลองบรรยายระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส (GPS-Aided OSDMA) ในรูปที่ 3.22 ประกอบด้วย 1 สถานีฐาน มีสายอากาศจำนวน N ต้น ส่งข้อมูลไปถึงแต่ละ $u=1, \dots, U$ ผู้ใช้ แต่ละผู้ใช้นี้มีสายอากาศ M ต้นสัญญาณที่รับได้หาได้จาก

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{X} + \mathbf{n}_u \quad (3.51)$$

สำหรับ $u=1, \dots, U$ เมื่อ \mathbf{H} คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณ มีขนาด $M \times N$ \mathbf{W} คือเมทริกซ์ชุดถ่วงน้ำหนักที่ส่งข้อมูลไปยังแต่ละผู้ใช้ $\mathbf{X}=[x_1, x_2, \dots, x_U]$ คือชุดข้อมูลที่ส่งไปยังแต่ละผู้ใช้ ค่าความจุช่องสัญญาณสามารถหาได้ดังนี้

$$C = B \log_2 \left(\det \left(\mathbf{I} + \frac{\rho}{N} (\mathbf{W}\mathbf{H} * (\mathbf{W}\mathbf{H})^H) \right) \right) \quad (3.52)$$

เมื่อ B คือแบนด์วิดท์ \mathbf{I} คือเมทริกซ์เอกลักษณ์มีขนาดเท่ากับ $M \times M$ คือ ρ (SNR) กำลังงานที่สถานีฐานส่งออกไป $[\cdot]^H$ หมายถึงการทรานสโพส คอนจูเกตจำนวนเชิงซ้อน

3.7 กล่าวท้ายบท

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งตั้งฉากวงเปิดที่อาศัยการวิเคราะห์เชิงมุมนั้นคือการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส หรือ OSDMA เป็นการอาศัยข้อมูลป้อนกลับเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่น โดยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงมุมเป็นสำคัญในการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งก็มีหลายประเภทด้วยกัน เช่น การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น หรือ OSDMA-S หลักการคือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการรองรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่าข้อมูลป้อนกลับนั้นมีบิดผิดพลาดจำนวนมากจึงมีวิจัย เชื่อว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น หรือ AOD-OSDMA คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิดการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย จากแต่ละประเภทของ OSDMA ที่ได้กล่าวมาพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นทิศทางอาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิดในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส ซึ่งได้นำวิธีระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วยเนื่องจากมีความแม่นยำกว่าวิธีอื่น หลักการคือ หากผู้ใช้ร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณ หรือต้องการที่จะอยู่ใน Active Mode มาที่สถานีฐานๆก็จะมีการคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากข้อมูลตำแหน่งที่มีในระบบว่าอยู่ในทิศทางไหนของสถานีฐาน จากนั้นเมื่อทราบทิศทางของผู้ใช้แล้วก็จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางนั้น เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้รับสัญญาณอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

บทที่ 4 ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์

4.1 กล่าวนำ

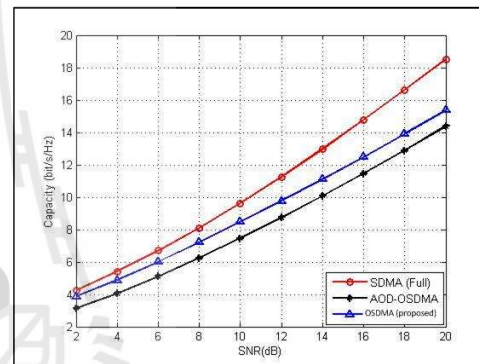
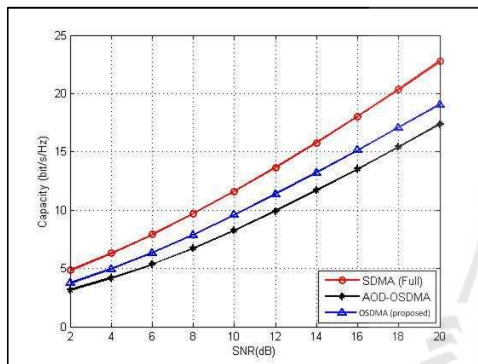
เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น ที่อาศัยการระบุตำแหน่งจาก A-GPS เพื่อหาทิศทางในการก่อรูปลำคลื่นเปรียบเทียบกับระบบ AOD-OSDMA ที่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณ โดยที่มีการจำลองในหลายแบบ อาทิเช่น ผลการจำลองแบบจากการสุ่มตัวอย่าง ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนใช้ ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ และผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR ซึ่งผลที่ได้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 ผลการจำลองแบบเมื่อยังไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น OSDMA ได้มีการพัฒนาต่อยอดกันมาหลายเทคนิค และ AOD-OSDMA คือเทคนิคล่าสุดที่พัฒนาเป็นการอาศัยการรับรู้มุมของสัญญาณที่ส่งออกในการก่อรูปลำคลื่น คือทางภาคส่งมีการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมุมส่งออก (AOD) ของลำคลื่นนั้นกลับมายังภาคส่งๆก็จะก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกไปตามทิศทางนั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปก่อนนั้น อาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดว่าหากรู้ทิศทางของผู้ใช้ก่อนแล้วค่อยก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกไป โดยได้นำวิธีระตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วย โดยสันนิษฐานว่าจะได้ค่าความจุช่องสัญญาณที่มากกว่าเทคนิค AOD-OSDMA จึงมีการจำลองผลโดยยังไม่ได้คิดค่าคลาดเคลื่อนใดๆและผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.1

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
ทิศการเดินทางของคลื่น	line of sight



(ก) ผู้ใช้อยู่ในตำแหน่ง 12 90 120 และ 170 องศา (ข) ผู้ใช้อยู่ในตำแหน่ง 10 70 108 และ 140 องศา
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของเทคนิค SDMA(full) AOD-OSDMA และ OSDMA (proposed) โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 และอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน

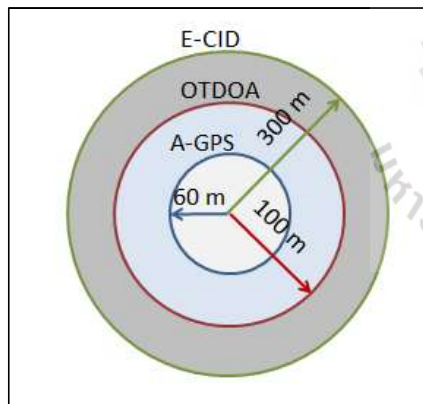
จากรูปที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของเทคนิค SDMA(full), AOD-OSDMA และ OSDMA (proposed) โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 และอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัันดังระบุในรูป 4.1 (ก) และ (ข) พบว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิค AOD-OSDMA ส่วนเทคนิค SDMA (full) นั้นเป็นแบบในอุดมคติอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณอย่างสมบูรณ์และใช้เทคนิค SVD จำลองเพื่อเป็นจุดอ้างอิง

4.3 ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน

ในเบื้องต้นจะเป็นการสุ่มตัวอย่างประสิทธิภาพในการสามารถทางด้านความจุช่องสัญญาณในเทคนิคต่างๆเพื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ โดยมี เทคนิค SDMA (full) ที่เป็นแบบในอุดมคติ AOD-OSDMA ที่อาศัยการป้องกันกลับเชิงมุมในการก่อรูปลำคลื่นเป็นเทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และการระบุตำแหน่งทั้ง 3 วิธีในระบบแอลทีอี คือ วิธี E-CID OTDOA และ A-GPS โดยใช้ค่าความแม่นยำคลอัมน์ 67% ในตารางที่ 4.2 ของแต่ละวิธีเข้ามาใช้ในการทดลอง พื้นที่ครอบคลุมในระยะทาง 500 เมตร และ $SNR = 10 \text{ dB}$

ตารางที่ 4.2 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหน่วยเมตร

Positioning Method	67%	95%
E-CID	90 – 300	180 – 1000
OTDOA	50 – 100	140 – 280
A-GPS	15 – 60	40 – 200

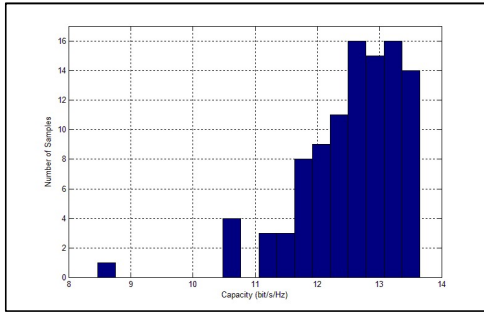


รูปที่ 4.2 ระยะทางคลาดเคลื่อนในคลอัมน์ 67%

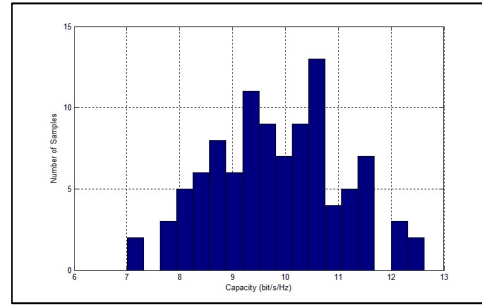
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.3

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	67%
ระยะครอบคลุม	500 m
การสุ่มตัวอย่าง	100 samples

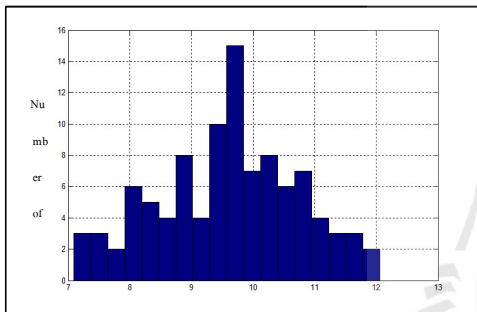




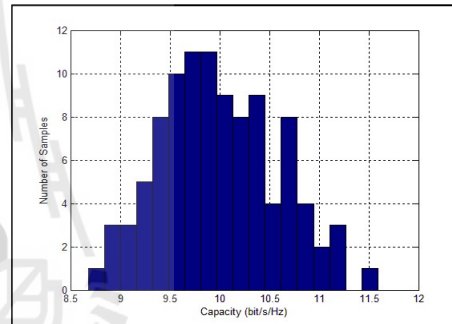
(ก) SDMA (full)



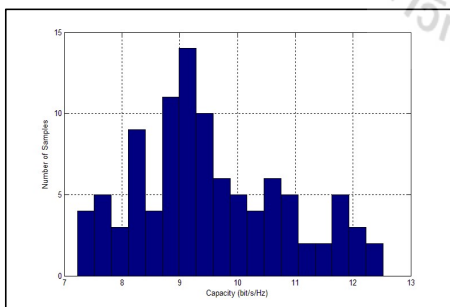
(จ) A-GPS (OSDMA (proposed))



(ค) E-CID



(ข) AOD-OSDMA



(ง) OTDOA

รูปที่ 4.3 ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน

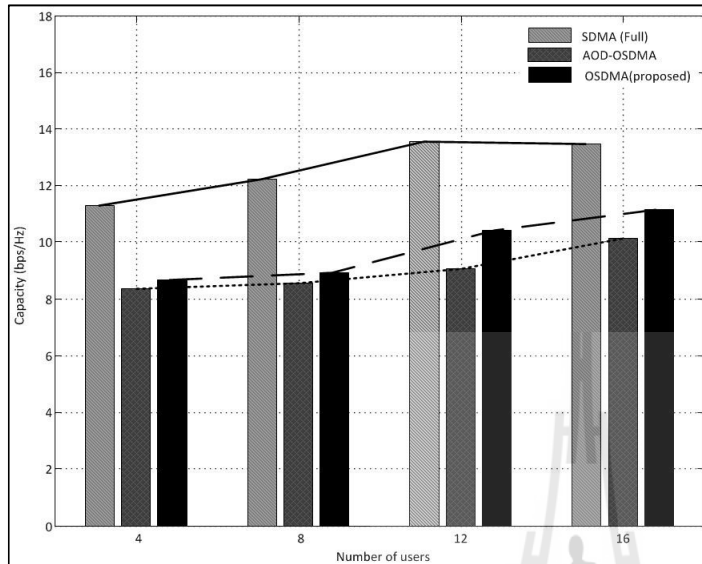
ในรูปภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองจากการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละวิธี 100 ตัวอย่าง จากจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 คน ที่อยู่รอบสถานีฐาน 360 องศา พบว่าในเทคนิค SDMA (full) นั้นจะมีค่ามากกว่าวิธีอื่น เมื่อเปรียบเทียบวิธี E-CID OTDOA และ A-GPS (OSDMA (proposed)) นั้นจะเห็นได้ว่าวิธี A-GPS จะมีค่าอยู่ในช่วง 9-11.5 bit/s/Hz ซึ่งค่าที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่มากกว่าวิธี OTDOA และ E-CID ตามลำดับ จึงเป็นเหตุผลในการเลือกวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS เข้ามาเพื่อพัฒนาเทคนิคการสร้างโอกาส SDMA ในโครงการวิจัยนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค AOD-OSDMA ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยข้อมูลป้อนกลับช่องสัญญาณแล้วจะเห็นได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอได้นั้นได้ค่าความจุช่องสัญญาณที่มากกว่า

4.4 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้

ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มจำนวนผู้ใช้ที่ต้องการเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ ตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 8 12 และ 16 ตามลำดับ โดยมี เทคนิค SDMA (full) AOD-OSDMA และเทคนิคที่นำเสนอ OSDMA (proposed) และ $SNR = 10 \text{ dB}$

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.4

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4, 8, 12, 16 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	ไม่ได้คิด



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้

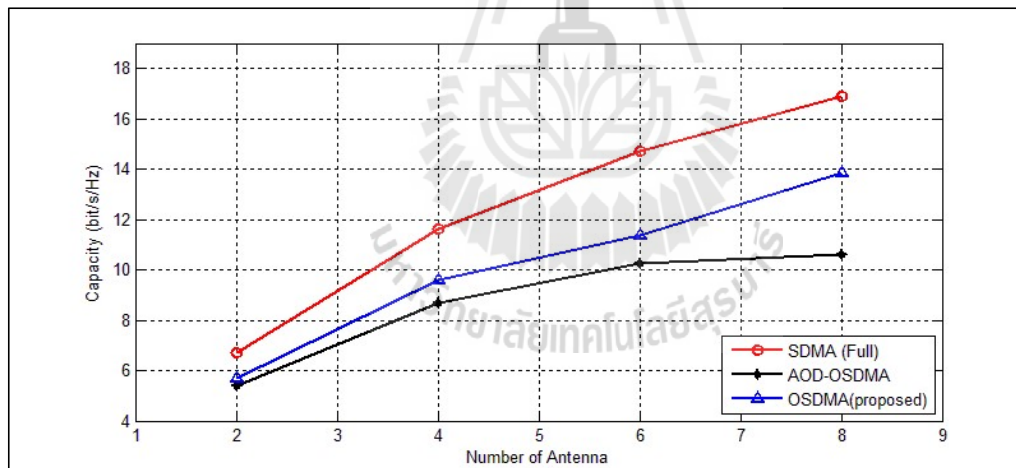
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นผลรวมของความจุช่องสัญญาณก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคแล้ว SDMA (full) จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดถัดมาเป็นเทคนิคที่นำเสนอและ AOD-OSDMA ตามลำดับ

4.5 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ

ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศตั้งแต่ 2 4 6 และ 8 ต้น ตามลำดับ โดยมี เทคนิค SDMA (full) AOD-OSDMA และเทคนิคที่นำเสนอ OSDMA (proposed) มีผู้ใช้เท่ากับ 4 อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันและ $SNR = 10 \text{ dB}$

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	2, 4, 6, 8 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
พารามิเตอร์	ค่า
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	ไม่ได้คิด



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศจะพบว่า การเพิ่มจำนวนของสายอากาศนั้นทำให้อัตราขยายช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคแล้ว SDMA (full) จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดถัดมาเป็นเทคนิคที่น่าเสนอและ AOD-OSDMA ตามลำดับ

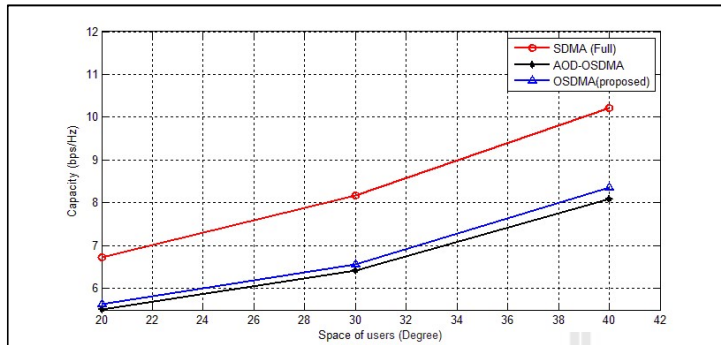
4.6 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น

ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น ซึ่งหมายความว่าเพิ่มระยะห่างของตำแหน่งผู้ใช้โดยกำหนดให้มีผู้ใช้เท่ากับ 4 ในรูป 4.5 (ก) ผู้ใช้รอบสถานีฐาน 0-180 องศา และอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากันคือ 20 30 และ 40 องศา ส่วนในรูป 4.5 (ข) ผู้ใช้รอบสถานีฐาน 360 องศา และอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากันคือ 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศา และกำหนดให้ SNR เท่ากับ 10 dB

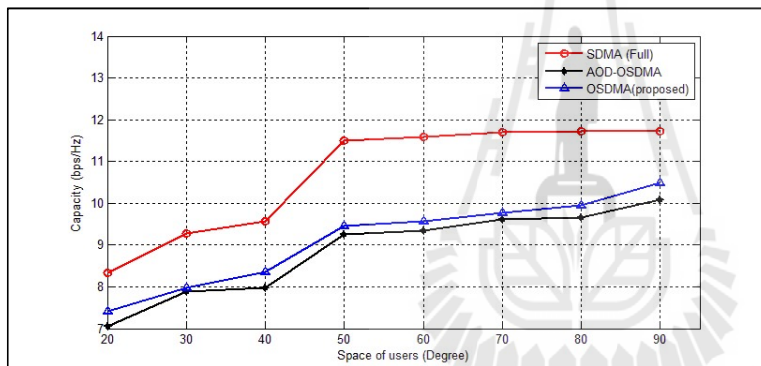
ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.6

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	ไม่ได้คิด

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่นพบว่าเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่นเพิ่มขึ้น ค่าความจุช่องสัญญาณก็เพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าหากระยะห่างระหว่างลำคลื่นมีค่าน้อยหรือตำแหน่งผู้ใช้ใกล้เคียงกันจะทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างลำคลื่นขึ้นทำให้ค่าความจุช่องสัญญาณลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระยะห่างระหว่างลำคลื่นที่เหมาะสม



(ก) ผู้ใช้จำนวนเท่ากับ 4 อยู่รอบสถานีฐาน 0 - 180 องศา



(ข) ผู้ใช้จำนวนเท่ากับ 4 อยู่รอบสถานีฐาน 360 องศา

รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น

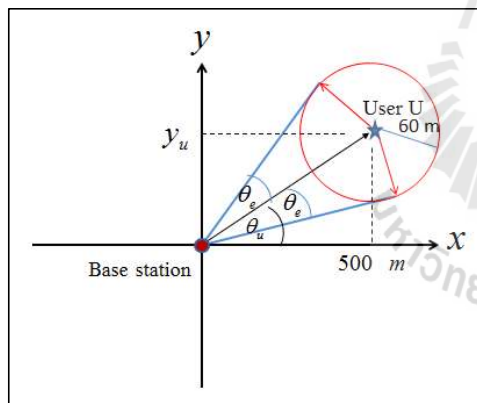
4.7 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR

ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มค่า SNR ที่ภาคส่งโดยเพิ่มทีละ 2 dB เริ่มตั้งแต่ 2 จนถึง 20 dB มีจำนวนผู้ใช้เท่า 4 อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน จำนวนสายอากาศเท่ากับ 4 ต้น พื้นที่ครอบคลุม 500 เมตร และคิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่ง ในวิธี A-GPS จากตารางที่ 4.2

4.7.1 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 67%

จากรูปที่ 4.7 แสดงการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดสูงสุด 60 เมตรและเกิดค่าทิศทางการก่อรูปลำคลื่นขึ้นตามมุม θ_e และสามารถคำนวณมุมที่ผิดพลาดได้ดังนี้

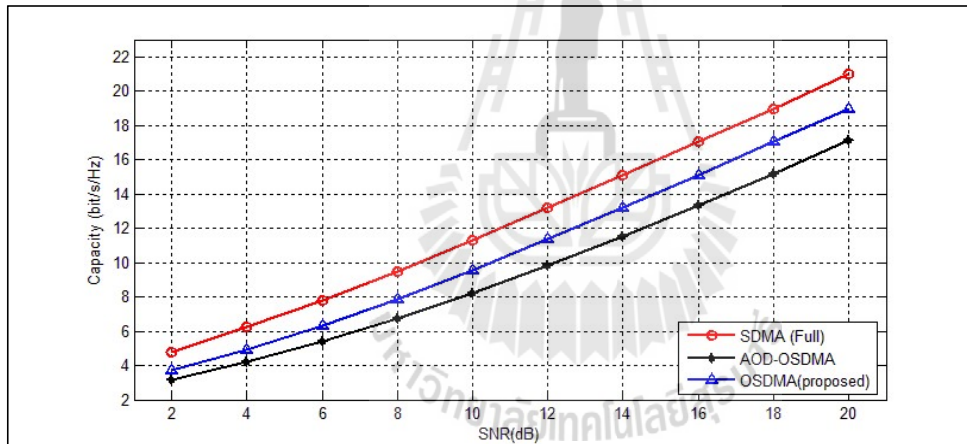
$$\theta_e = \tan^{-1}\left(\frac{y_u}{500}\right) \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.7 การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 60 เมตร

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.8

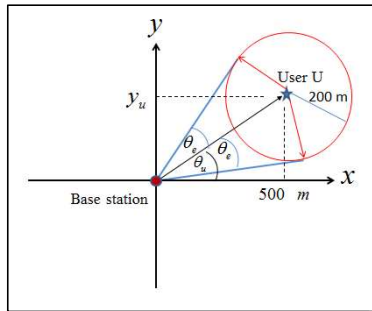
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	2-20 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	67%
ระยะครอบคลุม	500 m

รูปที่ 4.8 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 60$ m

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 60$ m พบว่าถ้าเพิ่ม SNR อัตราขยายช่องสัญญาณก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อคิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งวิธี A-GPS แล้วค่าความจุช่องสัญญาณในระบบที่นำเสนอก็มีค่ามากกว่าเทคนิค AOD-OSDMA

4.7.2 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คัดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 95%

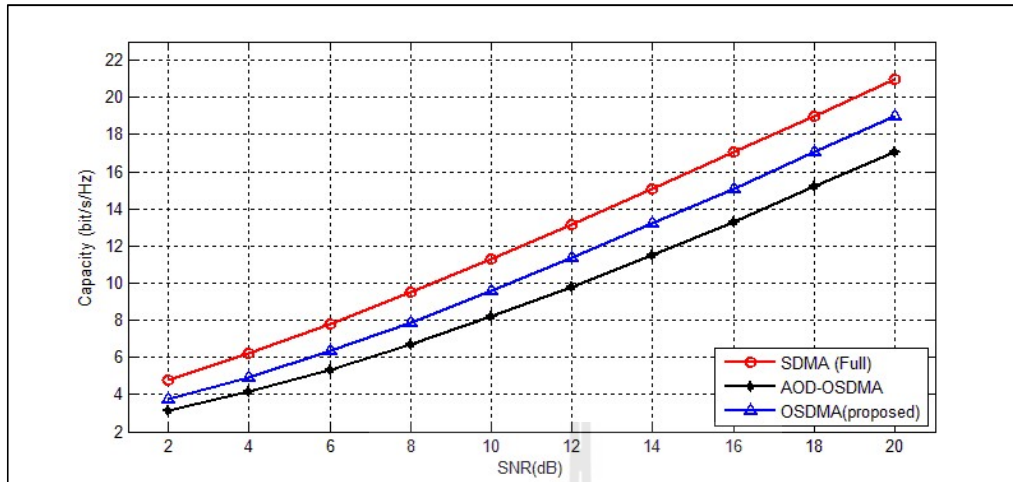
จากรูปที่ 4.9 แสดงการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดสูงสุด 200 เมตรและเกิดค่าทิศทางการก่อรูปลำคลื่นขึ้นตามมุม θ_e และสามารถคำนวณมุมที่ผิดพลาดได้ตามสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.9 การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 200 เมตร

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.10

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	2-20 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	95%
ระยะครอบคลุม	500 m



รูปที่ 4.10 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง

$$y_u = 200 \text{ m}$$

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 200 \text{ m}$ พบว่าเมื่อคิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในรัศมีสูงสุด 200 เมตร แล้วค่าความจุช่องสัญญาณในระบบที่นำเสนอก็มีค่ามากกว่าเทคนิค AOD-OSDMA

4.8 กล่าวท้ายบท

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมเมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดสายอากาศในระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ ทั้งภาคส่งและภาครับใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นเนื่องจากมีความง่ายไม่ซับซ้อน องค์กรประกอบสายอากาศมี 4 องค์กรประกอบเท่ากัน มีความห่างระหว่างองค์กรประกอบ ใช้ความถี่ในย่าน 2.1 GHz โดยการจำลองผลจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค SDMA (full) ซึ่งเป็นแบบอุดมคติเพื่อเป็นจุดอ้างอิง เทคนิค AOD-OSDMA เทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม ที่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลมุมของสัญญาณที่ออกในการก่อรูปลำคลื่น และ OSDMA (proposed) ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ โดยอาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้ จากวิธี A-GPS ในการก่อรูปลำคลื่น และจากการจำลองผลพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า เทคนิค AOD-OSDMA

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

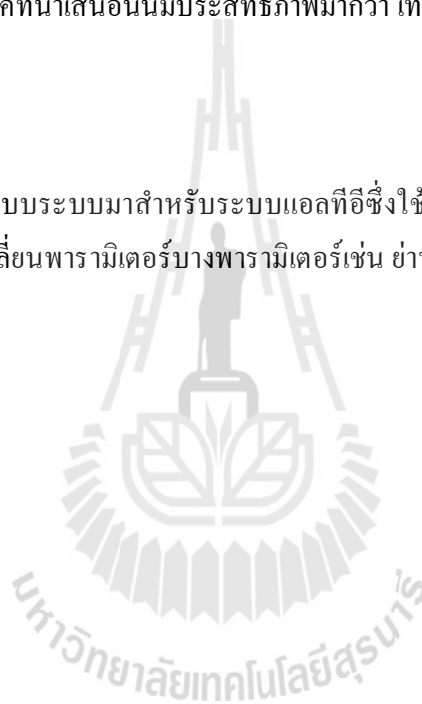
สายอากาศแบ่งประกอบสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นสายอากาศแถวลำดับและส่วนประมวลผลสัญญาณซึ่งสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการและหันจุดศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ การที่จะหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการได้นั้นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศแต่ละต้น และระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง ก็เป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาพัฒนาในเครือข่ายไร้สาย เพราะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้แต่ไม่เพิ่มการใช้ทรัพยากรความถี่จึงมีหลายงานวิจัยคิดค้นเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งรวมทั้งงานวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส หรือ OSDMA เป็นการอาศัยข้อมูลป้อนกลับเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งก็มีหลายประเภทด้วยกัน เช่น การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น หรือ OSDMA-S หลักการ คือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการรองรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่าข้อมูลป้อนกลับนั้นมีขีดจำกัดจำนวนมากจึงมีวิจัย ชื่อว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น หรือ AOD-OSDMA คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย จากแต่ละประเภทของ OSDMA ที่ได้กล่าวมาพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นทิศทางอาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิดในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส ซึ่งได้นำวิธีระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วย เนื่องจากมีความแม่นยำกว่าวิธีอื่น หลักการคือ หากผู้ใช้ร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณ หรือต้องการที่จะอยู่ใน Active Mode มาที่สถานีฐานๆก็จะมีการคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากข้อมูลตำแหน่งที่มีในระบบว่าอยู่ในทิศทางไหนของสถานีฐาน จากนั้นเมื่อทราบทิศทางของผู้ใช้แล้วก็จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางนั้น เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้รับสัญญาณอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดสายอากาศในระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ ทั้งภาคส่งและภาครับใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เนื่องจากมีความง่ายไม่ซับซ้อน องค์กรประกอบสายอากาศมี 4 องค์กรประกอบเท่ากัน มีความห่างระหว่างองค์กรประกอบ ใช้ความถี่ในย่าน 2.1 GHz โดยการจำลองผลจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค SDMA (full) ซึ่งเป็นแบบอุดมคติเพื่อเป็นจุดอ้างอิง เทคนิค AOD-OSDMA เทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม ที่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลมุมของสัญญาณที่ออกในการก่อรูปลำคลื่น และ OSDMA (proposed) ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ โดยอาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้ จากวิธี A-GPS ในการก่อรูปลำคลื่น และจากการจำลองผลพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า เทคนิค AOD-OSDMA

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบมาสำหรับระบบแอลทีอีซึ่งใช้พารามิเตอร์ในระบบแอลทีอีหากนำไปใช้กับระบบอื่นควรต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์เช่น ย่านความถี่ แบนด์วิดท์ และการระบุตำแหน่งที่มีในระบบนั้นๆ



บรรณานุกรม

- ทศพนธ์ นรทัศน์ hs4hnl@ictforall.org. 3G 4G 5G. ที่มาของแหล่งข้อมูลเข้าถึงได้จาก :
http://www.ictforall.org/Articles/3G_%204G_5G.pdf
- ปัญญาศักดิ์ เลิศอารีพงศ์. เทคโนโลยี 5G. 53010971 sec.2
- นางสาวอัจฉริยา กงบรรทัด. 2556. รูปแบบการก่อรูปลำดับคลื่นสำหรับระบบวายกิก. วิทยานิพนธ์
 มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 122 น.
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุซารสกุล. 2554. การออกแบบที่เหมาะสมของการจัดวางสายอากาศไมโม
 บนเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่. ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้า โครงการวิจัยแต่เพียง
 ผู้เดียว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 107 น.
- นางสาวอภิญา อินทร์นอก. 2553. การเพิ่มความจุช่องสัญญาณระบบไมโมด้วยการประมวลผลโดเมน
 เจิงมุม. มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 105 น.
- S. Patil, V. Patil, and P. Bhat, "A Review on 5G Technology," Volume 1, Issue 1, ISSN: 2277-3754,
 January 2012.
- Felita, C.; Suryanegara, M., "5G key technologies: Identifying innovation opportunity," QiR (Quality in
 Research), 2013 International Conference on , vol., no., pp.235,238, 25-28 June 2013
- Gohil, A; Modi, H.; Patel, S.K., "5G technology of mobile communication: A survey," Intelligent
 Systems and Signal Processing (ISSP), 2013 International Conference on , vol., no., pp.288,292,
 1-2 March 2013
- Space-Division Multiple Access or Spatial division multiple access. ที่มาของแหล่งข้อมูลเข้าถึงได้จาก :
http://th.wikipedia.org/wiki/Space_Division_Multiple_Access
- LCS Feature Parameter Description: Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014.
- M. Bengtsson, " A pragmatic approach to multi-user spatial multiplexing," in Proc. Sens. Array
 Multichannel Signal Process. Workshop, Aug. 2002, pp. 130–134.
- V. Tarokh, Y. -S. Choi, and S. Alamouti, " Complementary beamforming," in Proc. IEEE Veh.
 Technol. Conf. , Oct. 2003, vol. 5, pp. 3136–3140. Asilomar Conference on , vol. 1, no. ,
 pp.958,962 Vol.1, 9-12 Nov. 2003
- S. Serbetli and A. Yener, " Transceiver optimization for multiuser MIMO systems," IEEE Trans. Signal
 Process., vol. 52, no. 1, pp. 214–226, Jan. 2004.

- Sharif, M. ; Hassibi, B. , " On the capacity of MIMO broadcast channel with partial side information," Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on , vol.1, no., pp.958,962 Vol.1, 9-12 Nov. 2003
- Wan Choi; Forenza, A; Andrews, J.G.; Heath, R.W., " Opportunistic Space-Division Multiple Access With Beam Selection," Communications, IEEE Transactions on , vol.55,no.12, pp.2371,2380, Dec. 2007
- Dahman, G.S.; Hafez, R. H M; Bultitude, R. J C, "Angle-of departure-aided opportunistic space-division multiple access for MIMO applications," Wireless Communications, IEEE Transactions on , vol.9, no.4, pp.1303,1307, April 2010
- Constantine A. Balanis. 2005. ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION. Copyrighted Materials @2005 A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 1072 pp.
- Ericsson. 2009. LTE 10A Air Interface. Copyrighted Materials @ ERICSSON. 271 pp.
- Ericsson. 2010. LTE: Overview and Deployment Considerations 80-W2691-1 Rev A. Copyright © 2010 QUALCOMM Incorporated. 102 pp.
- Harri Holma and Antti Toskala. 2009. LTE For UMTS_OFDMA And SC-FDMA Based Radio Access. Copyright © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6. 450 pp.
- Tayal, M., "Location services in the GSM and UMTS networks," Personal Wireless Communications, 2005. ICPWC 2005. 2005 IEEE International Conference on , vol., no., pp. 373,378, 23-25 Jan. 2005
- Litao He; Zhongliang Deng; Jianming Huang, " Location based services combined with GPS and 3G wireless networks," Service Operations and Logistics, and Informatics, 2008. IEEE/SOLI 2008. IEEE International Conference on , vol.1, no., pp.542,545, 12-15 Oct. 2008
- Chin-Der Wann; Yi-Jing Yeh; Chih-Sheng Hsueh, " Hybrid TDOA/ AOA Indoor Positioning and Tracking Using Extended Kalman Filters," Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd , vol.3, no., pp.1058,1062, 7-10 May 2006
- Frank B. Gross, PhD. 2005. Smart Antennas for Wireless Communications. Copyright © 2005 by The McGraw-Hill Companies. 288 pp.
- Allen, B., and Ghavami, M. (2005). Adaptive Array System: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons Ltd, 2005.



ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ

Phimchan Chaichana, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul. “ PERFORMANCE ANALYSIS OF GPS-AIDED OSDMA SYSTEMS” SEATUC 2015 Conference , 27-30 July 2015, Nakhon Ratchasima, Thailand



ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



PERFORMANCE ANALYSIS OF GPS-AIDED OSDMA SYSTEMS

Phimchan Chaichana, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul
 School of Telecommunication Engineering
 Suranaree University of Technology,
 Nakhon Ratchasima, Thailand
 Email: M5640300@g.sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th, mtp@sut.ac.th

ABSTRACT

The recent communication technology has evolved dramatically due to its convenience and flexibility. This means that the demand for data access increases rapidly. However, since the frequency resources in LTE systems are limited, lots of researchers have developed techniques to maximize the benefits of existing frequency resources. Among those, Opportunistic Space-Division Multiple Access (OSDMA) is one of the most promising techniques that can be implemented in practice. This technique provides a higher data rate for multiple User Equipments (UEs) and requires a less feedback information than conventional SDMA. However, the feedback requirement is still a big drawback for this technique. Although some works in literatures try to reduce the feedback information, unfortunately the high throughput relies on the feedback bit of Channel State Information (CSI) for each UE at the transmitter. Such a system has limited a full CSI by large feedback overhead and it causes performance degradation due to channel estimation errors. In this paper, a novel OSDMA technique based on the use of location update information has been proposed. In fact, the knowledge of location for each UE is always updated at Base Station (BS). Hence, the proposed method does not require any extra procedures for achieving the location information. The simulation results confirm the success of using the proposed technique for LTE systems in which it is also simple to implement in practice.

Keywords—Location Update Information; Opportunistic Space Division Multiple Access (OSDMA); LTE systems.

1. INTRODUCTION

It is the fact that the wireless communication technology allows everyday life with ease and flexibility. Mobile devices such as laptop, personal radio, cell phone, tablet and digital camera become one part of daily complementary. Customers can check in a personal account to use various mobile services such as check on the service, abreast of news, entertainment news, travel information and others. In addition, the growth of new applications that run on the network is developing very fast [1]. Therefore, the mobile communication market drives the new technology to serve

its demand. This is the reason why the first generation (1G) is driven into the fifth generation (5G).

Currently, the LTE system is popularly employed for 4G operators and it is the ground base of 5G development. The advancement of LTE technology has been recently presented through lots of publications. However, no matter which techniques were proposed for LTE systems, they have to face the problem of limited frequency resources. Hence, the trend of future improvement is to further maximize the utilization of frequency as described in [2], [3], and [4]. Among techniques in the area of efficient allocation, Beam Division Multiple Access (BDMA) [2] becomes an interesting technique to increase the system capacity without any cost of frequency resources. The mechanism of BDMA is just like the other multiple accesses except that each UE is distinguished from each other by allocating the orthogonal beam. Hence, each UE will not get the inference effect from the other UEs which is able to receive data at full capacity for each user.

In the past decade, there has been enormous research and developments regarding BDMA technique. The most common technique is called as Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) technique or Space Division Multiple Access (SDMA) which provide a high system throughput. However, to achieve the hopeful high throughput, BS requires CSI [5]. In practice, for full CSI systems, it has a limitation if large feedback affects both performance degradation and channel estimation errors. An alternative method is Opportunistic Space Division Multiple Access (OSDMA) technique [6] which is able to reduce a feedback bit. The mechanism of this technique is that BS sends a random beam with training sequence to each UE. Then each UE feedback evaluates the best Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) according with index beam. The BS will schedule beam according to the information from UE with the highest SINR for transmission. In addition, Angle-of-Departure-Aided OSDMA (AOD-OSDMA) technique [7] has been proposed to use the knowledge of angle-of-departure (AODs) at BS for finding the strongest signal received at each UE to form beams. However, OSDMA techniques in literatures can partially reduce the feedback information but they still require the knowledge feedback CSI.

This paper proposes novel transmission technique that can realize the knowledge of UE locations indirectly by using UE's location update. For LTE systems and future mobile network generation, every UE has GPS technology along with other hardware platform [2]. Therefore, based on the knowledge of updated location information of UE at BS serving cell [8], the feedback information from UE is not

necessary anymore. When UE requests the data transmission, the serving BS is able to calculate angle of UE to form beams and data transmission instantly set up without any known feedback CSI from UE.

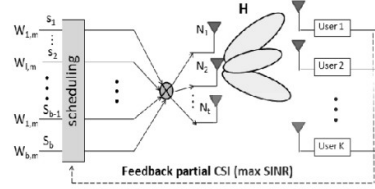


Fig.1. Block diagram of OSDMA systems.

The remainder of paper is organized as follows. Section II presents the overview of OSDMA technique. In Section III, the proposed technique is described. The simulation results and discussions are given in Section IV. Finally, the conclusion of this paper is presented in Section V.

2. OVERVIEW OF OPPORTUNISTIC SPACE-DIVISION MULTIPLE ACCESS (OSDMA)

2.1 OSDMA System Model

The OSDMA system is modeled by considering MIMO broadcast channel with N_t transmitting antennas and K users with one receiving antenna [6]. Fig.1 shows the block diagram of a typical OSDMA systems. The transmitter having B ($\geq N_t$) random orthonormal beams and sends B pilot symbols forward each user. Each user will feedback the best pilot symbol indexing to the transmitter. Then the transmitter provides subset users selected for data transmission according with scheduling criterion SNR feedback information. In practice, it is assumed that every time-slot has a length L with training period of M mini-slot having length of each τ . The maximum value of M is $\lfloor L/\tau \rfloor$ in which τM is used for training sequence and $L-\tau M$ is used for data transmission in every time-slot. In this case, we define $M = 1$, in every mini-slot, B random orthonormal vector $\{w_{b,m} \in \text{CNt} \times 1, m=1, \dots, M\}$. The signal receiver at each user in m th mini-slot is given by

$$y_{k,m} = h_k^T w_{b,m} s_b + n_k \quad \text{for } k=1, \dots, K \quad (1)$$

where $h_k \in \text{CNt} \times 1$ is channel vector for k th user, $w_{b,m} \in \text{CNt} \times 1$ is b th random beamforming vector at m th mini-slot, s_b is b th transmission pilot symbol and n_k is Gaussian noise vector at k th user.

In every time-slot, the k th user calculates value of signal interference plus noise (SINR) following B as given by

$$\text{SINR}_{k,b,m} = \frac{|h_k^T w_{b,m}|^2}{1/\rho + \sum_{i \neq b} |h_k^T w_{i,m}|^2} \quad (2)$$

where $\rho = P/N_0$ is input SNR received by $\text{SINR}_{k,b,m}$ at each $k = 1, \dots, K$, $b = 1, \dots, B$ and $m = 1, \dots, M$. Each user feeds back maximum SINR according with index b and compute throughput R_m of m th given by

$$R_m = \sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq k \leq K} \text{SINR}_{k,b,m} \right) \quad \text{for } m = 1, \dots, M \quad (3)$$

When transmitter received feedback information, it provides data transmission forward to B at each selected beam. Finally, value of current time-slot with B selected beam can be utilized to compute throughput as given by

$$R = (L - \tau M) \max_{1 \leq k \leq K} R_m \quad (4)$$

where τM is total overhead due to training sequence.

2.2 Typical OSDMA technique

As mentioned earlier, there are many techniques in literatures developed for OSDMA. There is one technique that requires the least feedback information and still provides the best performance, so called Angle-of-Departure-Aided OSDMA (AOD-OSDMA) [7]. In this paper, this technique is considered in order to be our benchmark for the proposed systems. The concept of AOD-OSDMA is that it is one of typical OSDMA systems utilizing the knowledge of angles-of-departure (AODs) and angles-of-arrival (AOAs) at the BS for the strongest signal received by each user to opportunistic beamforming. Fig.2 shows the block diagram of AOD-OSDMA systems comprising U user equipments and a BS equipped with an N -element. Each UE's terminal is equipped with M antennas. A MIMO block-fading channel H_u^{MN} between the BS and each UE (u) is considered. The AOD estimation and the joint Tx-Rx beamforming is done as follows:

AOD estimation is started if each Tx antenna at the BS sends a pilot symbol, then the signal received by the u -th UE is given by

$$y_u^{\text{MN}} = H_u^{\text{MN}} [s_1 s_2 \dots s_N]^T + n_u^{\text{MN}} \quad (5)$$

where $[\dots]^T$ is the transpose, n_u^{MN} is the AWGN and s_i is the pilot signal transmitted from the n th Tx antenna at the BS. The H_u^{MN} is the matrix representing of the radio channel between the BS and the u th UE and it can be written as:

$$H_u^{\text{MN}} = \sum_{l=1}^L \alpha_{l,u} e^{j\theta_{l,u}} S V_{AOD,l}^T S V_{AOD,l,u} \quad (6)$$

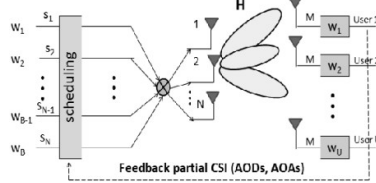


Fig.2. Block diagram of AOD-OSDMA systems [7].

where $SV_{AOD_{l,u}}$ is the BS element-space steering vector in the $AOD_{l,u}$ direction, $SV_{AOA_{l,u}}$ is the element space steering vector at the l^{th} UE station in the $AOA_{l,u}$ direction, φ_n , BS is the angular position of the n^{th} element in the BS array. The L_u is the total number of MPCs associated with the channel between the BS and l^{th} user; and $\alpha_{l,u}$, $\phi_{l,u}$, $AOD_{l,u}$ and $AOA_{l,u}$ are the amplitude, phase, AOD, and AOA of the l^{th} such MPC. The AOD of strongest beam to the l^{th} user (AOD_{st}) can be found by a simple beam scan as:

$$AOD_{st} = \arg \max_{0 \leq AOD \leq 2\pi} \sum_{m=1}^M \left| \hat{h}_{m,l}^H SV_{AOD}^H \right| \quad (7)$$

where $|\cdot|$ denotes the absolute value, $(\cdot)^H$ is the Hermitian transpose, and $\hat{h}_{m,l}$ is the m^{th} row of $\hat{\mathbf{H}}_u^{M \times N}$.

If $M > 1$, each user estimates the AOA of the strongest beam, in addition to its AOD, and performs a joint Tx-Rx beamforming towards the strongest cluster at both BS and user terminals simultaneously. The AOA of the strongest beam received by the l^{th} user can be found as:

$$AOA_{st} = \arg \max_{0 \leq AOA \leq \pi} \left| SV_{AOA_{st}}^* \hat{\mathbf{H}}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st}}^H \right| \quad (8)$$

where $(\cdot)^*$ is the complex conjugate, and $SV_{AOA_{st}}$ is the BS element-space steering vector of the strongest beam associated with the l^{th} UE. The SNR from the joint Tx-Rx beamforming can be written as:

$$SNR(AOD_{st}, AOA_{st}) = \frac{\left| SV_{AOA_{st}}^* \hat{\mathbf{H}}_u^{M \times N} SV_{AOD_{st}}^H \right|^2}{1/\rho} \quad (9)$$

where ρ is input SNR at each UE's terminal and the achieved sum capacity is calculated by:

$$C = (T - \tau) \sum_{n=1}^N \log_2(1 + SINR_n) \quad (10)$$

where T is length of every time slot, τ is length of training minislots, n^{th} Tx at BS, \mathbf{I} is Identity matrix has dimension equal $M \times M$, and $SINR_n$ is the total signal-to-interference-plus-noise ratio of the n^{th} selected UE.

3. PROPOSED OSDMA BASED LOCATION UPDATE INFORMATION

3.1. Location update in LTE system

Location services (LCS) [8] is a technology that determines the geographic location and velocity of UE by measuring radio signal.

Table 1. Mapping between positioning methods and positioning modes.

Positioning Method	UE-based	UE-assisted
E-CID	No	Yes
OTDOA	No	Yes
A-GPS	Yes	Yes

Table 2. Horizontal positioning accuracy ranges of each positioning method (unit: m).

Positioning Method	67%	95%
E-CID	90 to 300	180 to 1000
OTDOA	50 to 100	140 to 280
A-GPS	15 to 60	40 to 200

Table 3. Response time.

Positioning Method	Response Time (Unit: s)
E-CID	0.1 to 0.5
OTDOA	0.5 to 2
A-GPS	5 to 16

The LTE systems support three positioning methods including Enhanced Cell ID (E-CID), Observed Time Difference of Arrival (OTDOA), and Assisted GPS (A-GPS). All three methods have different levels of accuracy and been applied to a different place. The LCS have two positioning modes which are UE-based and UE-assisted as shown in Table I. Both modes utilize different network elements (NEs) to calculate the UE location. If the NE is a UE, the mode is UE-based. If the NE is an E-SMLC, the mode is UE-assisted. The UE-assisted mode is also called network-based mode. As seen in Table I, E-CID and OTDOA positioning methods work only for UE-assisted mode while A-GPS works in both modes.

In the same environment, each positioning method has different levels of positioning accuracy. Generally, A-GPS-based positioning has the highest positioning accuracy, followed by OTDOA-based and then E-CID-based positioning. However, there are exceptions such as A-GPS, which may fail or provide low positioning accuracy in an environment where many obstacles prevent the UE from searching for satellite signals. In such an environment, E-CID may provide relatively high positioning accuracy. Table II lists the horizontal positioning accuracy ranges of each positioning method. The 67% or 95% column lists the statistical horizontal positioning accuracy range that can achieve by higher

than 67% or 95% of all the positioning results of each method. The results in Table III are the response time for calculating location of each method. Although E-CID method uses minimal time following by OTDOA method and then A-GPS method, but A-GPS method provides the highest positioning accuracy.

Fig. 3 shows the principles of E-CID method which can determine UE location from timing advance (T_{ADV}) and angle of arrive (AoA) information. Fig.4 illustrates the principles of OTDOA method, which measures difference in the arrival time between signals transmitted from multiple eNodeBs. The UE tracks multiple eNodeBs by measuring the time that it takes for positioning reference signals (PRSs) to travel from the eNodeBs to the UE, and calculates the OTDOA between the competitor cells and reference cells.

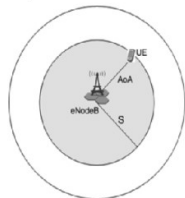


Fig.3. Principles of E-CID-based positioning.

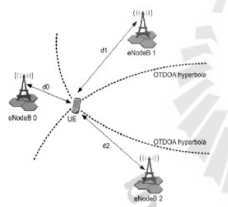


Fig.4. Network architecture for LCS. Principles of OTDOA-based.

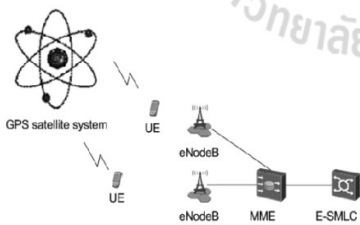


Fig.5. Principles of the A-GPS-based positioning.

The two hyperbola branches formed a difference of distances from the UE to eNodeB 0 and eNodeB 1 is a constant ($d1 - d0$) and from the UE to eNodeB 1 and eNodeB 2 is a constant ($d2 - d1$). The UE location is determined as the cross point of the two hyperbola branches.

Fig. 5 presents the principles of A-GPS based positioning which is a network-assisted positioning method. The A-GPS positioning have provided positioning assistance information from satellite navigation systems in the world conducted by the U.S. Department of Defense. Also, it can calculate the precise location of objects around the world. There will be a total of 24 satellites orbiting the earth which is divided into six planes, each of 4angles of 55 degrees. UEs will find GPS satellites and measure the extent to calculate the UE position.

3.2 Proposed OSDMA model

When the location information is organized in the UE's server if requested by a UE into the system, BS calculates all directions to form beams to each UE, without random beam to the received feedback CSI. The direction to form beams is given by

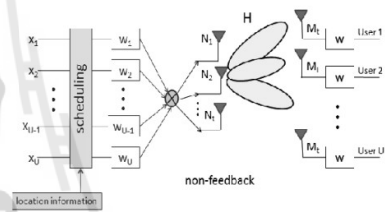


Fig.6. Block diagram of OSDMA(proposed) systems.

$$\theta_u = \tan^{-1} \left(\frac{y_u}{x_u} \right) \tag{11}$$

The proposed OSDMA system model is described in Fig. 6. It consists of 1 BS with the element N_t antennas to $u = 1, \dots, U$ users for each element M_t antennas. The received signal at user is given by

$$Y = HWX + n_u \quad \text{for } u = 1, \dots, U \tag{12}$$

where H is the channel matrix at BS forward each user with dimension $M_t \times N_t$, $W = [w_1, w_2, \dots, w_U]$ is matrix set weight data transmission to each user, $X = [x_1, x_2, \dots, x_U]$ is set data forward each user and how to find the set weight is given by

$$w_u = e^{-j(N-1)kd \sin \theta_u} \tag{13}$$

where k is the wave number and d is distance space between element antenna and n_u is Gaussian noise vector at u^{th} user, the sum of capacity is given by

$$C = B \log_2 \left(\det \left(I + \frac{\rho}{N_t} (WH^* (WH)^H) \right) \right) \tag{17}$$

where B is the bandwidth, I is the identity matrix, P is power at BS and A^H means Hermitian matrix.

4. SIMULATION RESULTS

This section presents the comparison between the proposed OSDMA system and typical OSDMA [7] technique. MATLAB programming is used for simulation, considering a case in 4×4 multiple-antennas, $d = \frac{2}{\lambda}$, the noise is neglected and the direction of wave travelling is in Line of Sight (LOS) only.

Fig.7 shows the performance comparison when using OSDMA (proposed), OSDMA [7] and SDMA (full) techniques, where SDMA (full) is an ideal technique that the transmitter has the full knowledge of channel.

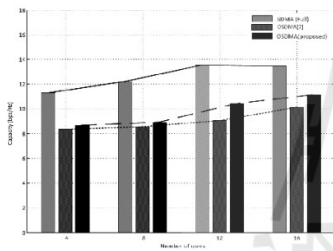


Fig.7. Performance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users=4, 8, 12 and 16 with SNR=10dB.

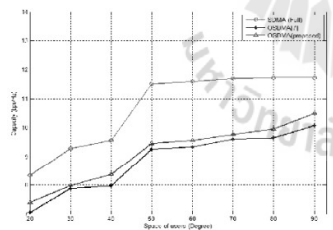


Fig.8. Performance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the space of users = 20,30, 40 ,50, 60, 70, 80 and 90 degrees, around BS 360 degree.

We focus on the first 2 techniques and the third technique SDMA (full) is given as reference. The number of users is increased by 4, 8, 12, and 16 respectively. It can be seen that when the number of users increases the sum capacity also increases. The SDMA (full) technique has maximum sum capacity because it is ideal. For OSDMA techniques, the OSDMA (proposed) has higher capacity than OSDMA[7].

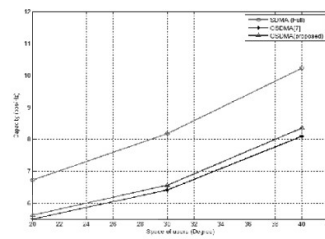


Fig.9. Performance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the space of users = 20,30 and 40 degree, around BS 180 degrees.

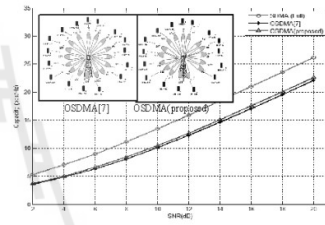


Fig.10. Performance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 16, for case 1.

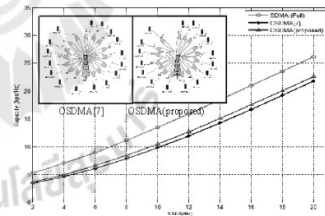


Fig.11. Performance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 16, for case 2.

Fig. 8 shows the performance comparison when using OSDMA (proposed), OSDMA[7] and SDMA (full) techniques, which compares the space of 4 users locating around BS, 360 degrees. Each user has a space from 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 90 degrees. It can be seen that when the number of users increases the sum capacity increases for all techniques. This simulation is repeated by reducing the range of user spread from 360 to 180 degrees as seen in Fig. 9. Similarly, the results shown in Fig. 9 reveal the same conclusion as Fig. 8.

Figs.10 and 11 show the performance comparison when using OSDMA (proposed), OSDMA[7] and SDMA (full) techniques when the number of users is 16. Two random cases are simulated, named as case 1 and case 2. The small images on the top-left illustrate the experimental scenarios, in which the locations of users are taken into account. Each UE requests access to BS and is able to form beam to the direction of each available angle. In contrast, the OSDMA [7] technique has to be selected by a random beam delivered to the user feedback on the maximum SNR beam. It will send data to that beam in which the direction of the beam is not the same for all users. When considering sum capacity, OSDMA (proposed) technique outperforms OSDMA [7] technique.

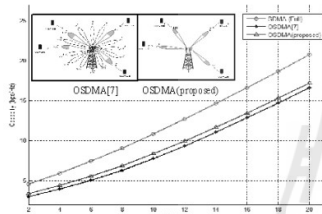


Fig.12. Performance comparison of SDMA(full), OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 4 for case 1.

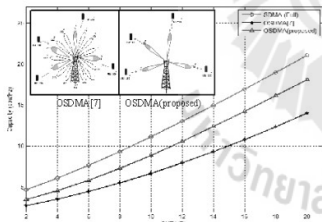


Fig.13. Performance comparison of SDMA(full), OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 4, for case 2.

Figs.12 and 13 show the performance comparison when using OSDMA (proposed), OSDMA [7] and SDMA (full) techniques with the number of users of 4. Two random cases are simulated, named as case 1 and case 2. In similar to the results shown in Figs. 10 and 11, they confirm the benefit of using the proposed OSDMA systems.

CONCLUSION

This paper has proposed a new technique transmission for mobile communication networks such as LTE systems.

The advantage of this technique is to perform OSDMA without the feedback knowledge from all UEs. The proposed concept uses the knowledge of location update information for forming beams to the direction of UE position. This technique can eliminate the feedback information and does not require a random beam to each user for channel estimation. The simulation results show that the proposed technique overcomes the typical OSDMA systems for all scenarios.

REFERENCES

- P. Lertareepong, "5G Technology," unpublished.
- S. Patil, V. Patil, and P. Bhat, "A review on 5G technology," vol. 1, no.e 1, ISSN: 2277-3754, January 2012.
- C. Felita and M. Suryanegara, "5G key technologies: identifying innovation opportunity," QiR (Quality in Research), 2013 International Conference on, pp.235-238, 25-28 June 2013.
- A. Gohil, H. Modi and S. K. Patel, "5G technology of mobile communication: A survey," 2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP), pp.288-292, 1-2 March 2013.
- I. Telatar, "Capacity of multi-antenna gaussian channels," European Trans. Telecommun., vol. 10, pp. 585-595, Nov. 1999.
- W. Choi, A. Forenza, J. G. Andrews and R. W. Heath, "Opportunistic space-division multiple access with beam selection," Communications, IEEE Transactions on, vol. 55, no. 12, pp.2371-2380, Dec. 2007.
- G. S. Dahman, R. Hafez, R. Bultitude, "Angle-of-departure-aided opportunistic space-division multiple access for MIMO applications," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 9, no. 4, pp.1303,1307, April 2010.
- "LCS feature parameter description," Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd, Issue 01, April 2014.

ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539 และ 2541 จากนั้นเข้าทำงานใน ตำแหน่งวิศวกรระบบโทรคมนาคมที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จนกระทั่ง พ.ศ. 2543 จึงได้ย้ายมา เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ณ University of Queensland, Australia เมื่อ พ.ศ. 2549 จึงได้กลับเข้ามาปฏิบัติหน้าที่อาจารย์ตามเดิม ผู้วิจัยมีเชี่ยวชาญในด้านระบบ MIMO, Information Theory, Signal Processing, Radio Wave Modelling, Mobile Communication, Advance Wireless Communication ปัจจุบันมีบทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 30 บทความ ในวารสารวิชาการระดับชาติ 6 บทความ ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 115 บทความ หนังสือวิชาการในประเทศ 1 เล่มและต่างประเทศ 1 เล่ม มีลิขสิทธิ์ 1 รายการและ สิทธิบัตร 1 รายการ

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล ได้รับรางวัล Young Scientist Travel Grant Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Symposium on Antenna Propagation ปี พ.ศ. 2547 ณ ประเทศญี่ปุ่น และได้รับรางวัล Best Student Presentation Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ Australian Symposium on Antenna ปี พ.ศ. 2548 ณ ประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2553 รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล ได้รับรางวัลพนักงานดีเด่น ด้านการวิจัย สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และในปี พ.ศ. 2556 บทความที่เป็นผู้ประพันธ์หลักเรื่อง Low-profile beamforming MIMO systems for wireless communications ได้รับรางวัลประกาศนียบัตร ผู้นำเสนอผลงานวิจัยดีมากแบบโปสเตอร์ ในงานการประชุมสุดยอดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (The Second Thailand National Research Universities Summit : NRU SUMMIT II) วันที่ 7-8 พฤษภาคม 2556 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ