การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอสสำหรับระบบแอลทีอี

นางสาวพิมจันทร์ ชัยชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

GPS-AIDED OPPORTUNISTIC SPACE-DIVISION MULTIPLE ACCESS FOR LTE SYSTEM

Phimchan Chaichana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอสสำหรับระบบแอลทีอี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(ผศ. ดร.ชุติมา พรหมมาก)
ประธานกรรมการ

____

(รศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)
กรรมการ

______________________________	______________________________
(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)	(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม	คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิมจันทร์ ชัยชนะ : การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอสสำหรับระบบแอลทีอี (GPS-AIDED OPPORTUNISTIC SPACE-DIVISION MULTIPLE ACCESS FOR LTE SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 130 หน้า.

วิวัฒนาการของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงยุคที่ 4 ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้ระบบแอลทีอี แต่เนื่องจากการเติบโตของแอพพลิเคชันใหม่ที่ใช้งานบนแอลทีอีพัฒนาไปอย่างรวดเร็วซึ่งหมายความว่าความต้องการเข้าใช้อินเตอร์เน็ตจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราทราฟฟิกข้อมูลเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องเร่งพัฒนาระบบแอลทีอีให้ทันต่อการเติบโตเหล่านี้ ซึ่งในบางบทความทางวิชาการที่มีการสำรวจและศึกษาไปแล้วนั้นใช้คำว่าโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 5 โดยมีแนวความคิดว่าจะมีอัตราเร็วข้อมูลสูงกว่าแอลทีอีมาก แต่เนื่องจากทรัพยากรความถี่มีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องมีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการหลายด้าน เพื่อจัดสรรให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจพัฒนาเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง ซึ่งผู้ใช้บริการอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันแต่สามารถร่วมใช้ช่องสัญญาณเดียวกันพร้อมกันได้

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิคใหม่เรียกว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส ซึ่งสามารถก่อรูปลำคลื่นโดยไม่อาศัยข้อมูลช่องสัญญาณป้อนกลับโดยตรง แต่อาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการจากจีพีเอสเข้ามาช่วยในการก่อรูปลำคลื่นแทนเพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ออกซึ่งอาศัยข้อมูลช่องสัญญาณป้อนกลับโดยตรงในการก่อรูปลำคลื่นแล้วเทคนิคที่นำเสนอได้รับค่าความจุช่องสัญญาณที่มากกว่า

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม　　　　ลายมือชื่อนักศึกษา____________________

ปีการศึกษา 2557　　　　ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_______________

PHIMCHAN CHAICHANA : GPS-AIDED OPPORTUNISTIC SPACE-DIVISION MULTIPLE ACCESS FOR LTE SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 130 PP.

SDMA/LTE/GPS TECHNOLOGY

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 called GPS-aided opportunistic space-division multiple access. 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.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature______________

Academic Year 2014 Advisor's Signature______________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ และ อาจารย์เศรษฐวิทย์ ภูฉายา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณปณิฏฐาท์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษา และจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

พิมจันทร์ ชัยชนะ

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

1G	=	First Generation
2G	=	Second Generation
3G	=	Third Generation
4G	=	Fourth Generation
5G	=	Fifth Generation
GPRS	=	General Packet Radio Services
EDGE	=	Enhanced Data rates for Global Evolution
IMT-2000	=	International Mobile Telecommunications – 2000
ITU	=	สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)
UMTS	=	Universal Mobile Telecommunications System
WCDMA	=	Wideband Code Division Multiple Access
CDMA2000	=	Code Division Multiple Access
UTRA	=	UMTS air interface
TDD	=	time-division duplex
TD-SCDMA	=	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
UWC-136	=	Universal Wireless Communications-136
DECT	=	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Digital European Cordless Telecommunications)
HSPA	=	High-Speed Packet Access
ITU-D	=	ITU Telecommunication Development Sector
LTE	=	Long Term Evolution
LTE-Advanced	=	Long Term Evolution Advanced
IMT-Advanced	=	International Mobile Telecommunications Advanced
SDMA	=	Space Division Multiple Access
MIMO	=	Multiple-Input and Multiple-Output

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

OSDMA	=	Opportunistic Space-Division Multiple access
LCS	=	Location Service
E-CID	=	Enhanced Cell Identity
OTDOA	=	Observed Time Difference of Arrival
GPS	=	Global Positioning System
A-GPS	=	Assisted GPS
E-UTRAN	=	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
BTS	=	Base Transceiver Station
NodeB	=	Node BTS
eNodeB	=	E-UTRAN Node B
AOA	=	Angle of Arrival
PRSs	=	positioning reference signals
RTD	=	Relative Time Difference
E-SMLC	=	evolved serving mobile location center
TDOA	=	Time Difference of Arrival
GPS-OSDMA	=	Global Positioning System-OSDMA
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
NE	=	Network equipment
UE	=	User equipment
EPC	=	Evolved Packet Core
DL/UL	=	Down link/ Up link
Δf	=	Subcarrier spacing

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

DC	=	Subcarrier: Direct Current subcarrier at center of frequency band
$NB_{RB}^{DL} / NB_{RB}^{UL}$	=	Number of DL or UL Resource Blocks (groups of subcarriers)
NB_{SC}^{RB}	=	Number of subcarriers within a Resource Block
3GPP	=	The 3rd Generation Partnership Project
AF	=	ตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor)
β	=	ความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้น
k	=	หมายเลขคลื่น (wave number) มีค่าเท่ากับ $2\pi / \lambda$
f	=	ความถี่
λ	=	ความยาวคลื่น
SNR	=	Signal to Noise Ratio
SINR	=	Signal to Interference plus Noise Ratio
AOD	=	Angle of departure
AOD-OSDMA	=	Angle of departure aided opportunistic space division multiple access
OSDMA-S	=	Opportunistic space division multiple access with beam selection
MPCs	=	multipath components
PC	=	Personal Computer
SVD	=	singular value decomposition
CSI	=	Channel state information
EPS	=	Evolved Packet System
HSS	=	Home Subscriber Server
PCRF	=	Policy and Charging Rule Function
SAE	=	System Architecture Evolution
PDN	=	Packet Data Network
OFDM	=	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	=	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SC-FDMA	=	Single Carrier Frequency Division Multiple Access

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

FDM	=	frequency-division multiplexing
IFFT	=	Inverse fast Fourier transform
FFT	=	Fast Fourier transform
PAPR	=	Peak to Average Power Ratio

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1 วิวัฒนาการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เริ่มต้นวิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรก หรือ 1G นั้นเป็นระบบสื่อสารแบบแอนะลอก (Analog) และแบ่งความถี่ออกเป็นช่องเล็กๆ ซึ่งสามารถใช้งานทางด้านเสียง (Voice) ได้เพียงอย่างเดียว ต่อมาในยุค 2G ได้เปลี่ยนจากการสื่อสารแบบแอนะลอกมาเป็นแบบดิจิตอล ทำให้มีการใช้งานทางด้านข้อมูล (Data) เกิดขึ้น พอยุค 2.5G ได้มีการใช้เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Services : GPRS) ซึ่งสามารถรับส่ง ข้อมูลในความเร็วที่สูงขึ้น และในยุค 2.75G มีการพัฒนาต่อยอดมาจากจีพีเอสลายมาเป็นเอจ (Enhanced Data rates for Global Evolution : EDGE) ซึ่งมีความเร็วในการรับส่ง ข้อมูลเพิ่มขึ้นจากจีพีอาร์เอส ประมาณ 3 เท่า เมื่อก้าวเข้าสู่ยุค 3G อุปกรณ์สื่อสารไร้สายในระบบ 3G นั้นสามารถรับส่ง ข้อมูลในความเร็วสูง ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีบริการมัลติมีเดียได้อย่างสมบูรณ์แบบ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น 3G เป็นมาตรฐานโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ซึ่งได้รับการพัฒนาบนพื้นฐานของมาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications IMT-2000) ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศกำหนดและประกาศใช้มาตั้งแต่ ค.ศ. 1985 โดยมีกรอบนโยบายเกี่ยวกับ IMT-2000 คือเป็นโครงข่ายโทรคมนาคมที่สามารถหลอมรวมการให้บริการได้หลากหลาย ทั้งการติดต่อสื่อสารทางเสียง ข้อมูล อินเทอร์เน็ต และมัลติมีเดีย โดยมีผู้ใช้งานทั้งในลักษณะประจำที่หรือเคลื่อนที่ โดยสามารถสรุปสาระสำคัญของ มาตรฐาน IMT-2000 ได้ดังนี้

1) พื้นฐาน ที่สามารถรองรับบริการต่างๆ เช่น บริการประจำที่ บริการเคลื่อนที่ สื่อสารด้วยเสียง รับส่งข้อมูล เข้าถึงอินเทอร์เน็ต มัลติมีเดีย จะต้องเป็นไปในทางเดียวกัน คือสามารถโอนถ่าย ส่งต่อ ซึ่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์โทรคมนาคมอื่นที่สามารถรับส่งข้อมูลได้

2) โครงข่ายข้ามแดน (Global Roaming) สามารถใช้อุปกรณ์เดียวในทุกพื้นที่ทั่วโลก

3) ความต่อเนื่องการสื่อสาร (Seamless Delivery Service) สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องแม้จะมีการเคลื่อนที่ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานีรับส่งสัญญาณ

4) อัตราความเร็วการรับส่งข้อมูล (Transmission Rate) ขณะประจำที่หรือความเร็วเท่าการเดินสามารถรับส่ง ข้อมูลได้อย่างน้อย 2 Mbps ขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับยานพาหนะ สามารถรับส่งข้อมูลอย่างน้อย 384 kbps และในทุกสภาพการใช้งาน มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 14.4 Mbps

ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IMT-2000 จึงเป็นมาตรฐานขั้นต่ำสำหรับโครงข่าย 3G หากแต่ผู้ประกอบการแต่ละรายก็สามารถพัฒนา หรือออกแบบมาตรฐานทางเทคนิคในส่วนของการเชื่อมต่อวิทยุ (Radio Interface) ซึ่งตามคำแนะนำของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้ระบุถึงมาตรฐานการเชื่อมต่อวิทยุที่ถือเป็นส่วนหนึ่งของ IMT-2000 โดยมีชื่อสามัญที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น UMTS (WCDMA) CDMA2000 UTRA TDD and TD-SCDMA, EDGE (UWC-136) DECT (คณะกรรมการมาตรฐาน กทช., 2548: 6) HSPA ฯลฯ ซึ่งก็ใช้แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ (ITU-D Study Group 2, 2009) ทำให้มีความเร็วที่แตกต่างกัน โดยหากมีความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐานขั้นต่ำที่ ITU กำหนดนี้ก็จะเรียกว่า 3.5G 3.75G 3.9G เป็นต้น

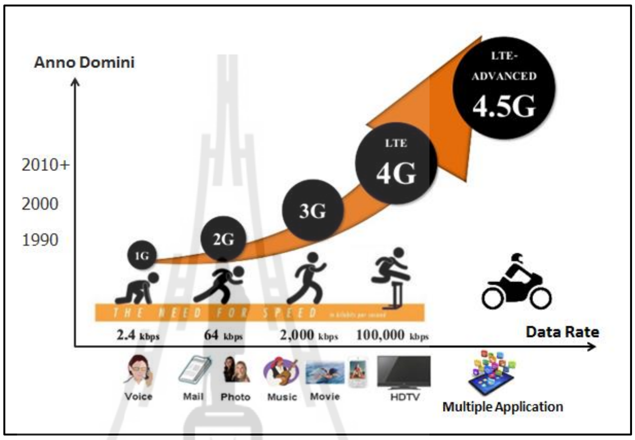
มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 หรือ 4G นั้น เป็นมาตรฐานที่พัฒนาต่อจาก 3G โดยจะให้ความเร็วสูงยิ่งในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับการใช้งานแอพพลิเคชันต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว เช่น การท่องเว็บ ไอพีโฟน เกมส์ โมบายทีวีความคมชัดสูง วีดิโอคอนเฟอเรนซ์ ทีวีสามมิติ และ รวมไปถึงการชมภาพยนตร์ความละเอียดสูงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเหมาะสำหรับการทำธุรกิจด้านมัลติมีเดียและวีดิโอออนไลน์ในอนาคต โดยความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเร็วกว่า 3G ประมาณ 5 ถึง 7 เท่า ซึ่งระบบ 4G ที่ใช้งานในเชิงพาณิชย์อยู่ 2 ระบบ คือ (1) มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile) ต่อมาได้มีการพัฒนา IEEE 802.16m (WiMax rel2) และ (2) มาตรฐานแอลทีอี (Long Term Evolution : LTE) ซึ่งเป็นที่ถกเถียงกันว่า มาตรฐานแอลทีอีรุ่น (Version) แรกนั้น จะถือเป็น 4G หรือไม่ (บางส่วนเห็นว่าควรจะเป็น 3.9G) เนื่องจากยังไม่สอดคล้องกับมาตรฐาน "IMT-Advanced" ของ ITU ต่อมาจึงได้พัฒนาเป็นมาตรฐาน LTE-Advanced สำหรับมาตรฐาน IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced) อันเป็นมาตรฐาน 4G ซึ่งกำหนดโดย ITU นั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1) อยู่บนมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลบนมาตรฐานไอพี (all-IP packet switched network)

2) มีความเร็วขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับยานพาหนะ อย่างน้อย 100 Mbps และความเร็วขณะประจำที่หรือความเร็วเท่าการเดินอย่างน้อย 1Gbps

3) ความต่อเนื่องการสื่อสารแม้จะมีการเคลื่อนที่แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานีรับส่งสัญญาณต่างเครือข่าย (Heterogeneous networks)

4) สามารถให้บริการคุณภาพสูงรองรับสื่อ มัลติมีเดียในยุคต่อไปได้



รูปที่ 1.1 วิวัฒนาการของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

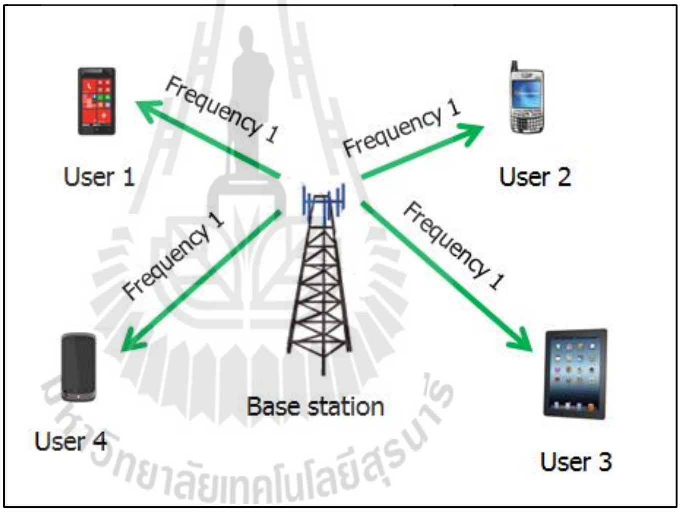
สำหรับโครงข่าย 4G ก็ได้มีการใช้งานแล้วในหลายประเทศ เช่น เกาหลีใต้ สวีเดน นอร์เวย์ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น สวิสเซอร์แลนด์ โปแลนด์ สิงคโปร์ สปป. ลาว เป็นต้น เนื่องจากการเติบโตของแอพพลิเคชันใหม่ที่ใช้งานบนเครือข่ายพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ยิ่งอุปกรณ์สื่อสารมากขึ้นก็หมายความว่าความต้องการเข้าอินเทอร์เน็ตก็สูงขึ้นตาม ทำให้อัตราทราฟฟิกข้อมูล (Data Traffic) เติบโตขึ้น จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องเร่งพัฒนาเทคโนโลยี 5G ที่ก้าวหน้ายิ่งขึ้น เพื่อจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในปัจจุบัน คำว่า “5G” นั้น ยังไม่ได้รับการประกาศใช้อย่างเป็นทางการทั้งในส่วนของข้อกำหนดของมาตรฐาน และเอกสารทางการใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานทางด้านโทรคมนาคม แต่เป็นชื่อเรียกในบทความทางวิชาการบางบทความ ที่มีการสำรวจและศึกษาไปแล้วเกี่ยวกับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคถัดจากยุค 4G ซึ่งในหลายงานวิจัย มีแนวความคิดของ 5G นั้น คาดว่าจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 10 Gbps หรือเฉลี่ยความเร็วในขณะเคลื่อนที่ต่อคนอยู่ที่ 200 Mbps

จากรูปที่ 1.1 วิวัฒนาการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละยุค สังเกตเห็นว่ามีการมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาทางด้านอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้สูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรองรับการเติบโต

ของแอพพลิเคชันใหม่ที่ใช้ทำงานบนเครือข่ายที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีกาพัฒนาเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นก็มีหลายด้านด้วยกัน แต่สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง (Space Division Multiple Access : SDMA)

1.1.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง หรือ เอสดีเอ็มเอ (Space-Division Multiple Access or Spatial Division Multiple Access) เป็นไมโม ((Multiple-Input and Multiple-Output : MIMO) ซึ่งยึดเอาสถาปัตยกรรมการสื่อสารเครือข่ายไร้สายเป็นหลัก จะช่วยให้เข้าถึงช่องทางการสื่อสารโดยการระบุตำแหน่งของผู้ใช้และการสร้างการส่งแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one-to-one mapping) ระหว่างการร่วมใช้แบนด์วิดท์ (Bandwidth)ของเครือข่ายกับตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ที่ระบุ



รูปที่ 1.2 ระบบเอสดีเอ็มเอ

เอสดีเอ็มเอเป็นการแบ่งพื้นที่การให้บริการซึ่งสามารถทำได้หลายหลากรูปแบบ เช่น การใช้เครื่องอ่านและสายอากาศหลายๆชุดเรียงกันในลักษณะของแถวลำดับ (Array) ซึ่งเหมาะสำหรับงานประยุกต์ที่ต้องการพื้นที่บริการที่กว้างหรืออีกแบบหนึ่งคือการใช้เครื่องอ่านที่มีสายอากาศแบบปรับทิศทางได้ ซึ่งจะทำให้พื้นที่การอ่านเปลี่ยนแปลงไปในตำแหน่งต่างๆตามที่กำหนด เทคนิคนี้จะใช้รูปแบบที่แตกต่างกันของช่องแบ่งพื้นที่และเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ผู้ใช้หลายคนสามารถรับส่ง สื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลพร้อมกัน ๆ โดยผ่านช่องความถี่เดียวกันได้ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้สามารถช่วยให้รองรับปริมาณผู้ใช้งานที่มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น ในดาวเทียมโดยใช้

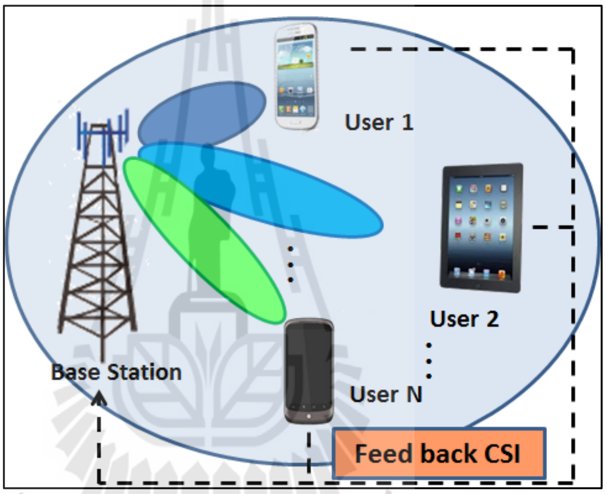
สายอากาศหลายต้นส่งสัญญาณสู่สถานีภาคพื้นดินในภูมิภาคต่างๆของผิวโลก ในเวลาเดียวกันแม้ว่าจะทำงานโดยใช้ความถี่เดียวกันโดยไม่รบกวนกัน เอสดีเอ็มเอยังเป็นวิธีการเพิ่มช่องทางความสามารถได้ความถี่กลับมาใช้เต็มของทรัพยากรความถี่

วัตถุประสงค์หลักของสถาปัตยกรรมเอสดีเอ็มเอ คือ สามารถกำหนดให้เพิ่มหรือลดความสามารถของเริ่มต้นทำงานด้วยตัวเองได้ (self-starting) การดูแลรักษาได้ด้วยตัวเอง (self-maintaining) และการกำกับด้วยตัวเอง (self-regulating) ได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สาร โดยทั่วไปแล้วสถาปัตยกรรมเอสดีเอ็มเอยังมีความสามารถในการไม่มีการชนกันของข้อมูล (collision-free) ในการเข้าถึงช่องสัญญาณการสื่อสารแบบไร้สายและยังมีคุณลักษณะของการสื่อสารอย่างมีขอบเขตการประวิง (delay-bounded) ที่มีคุณภาพแบบเวลาจริง (real time) สำหรับแอพพลิเคชันที่มีความอ่อนไหว (sensitive) กับเรื่องการประวิงของสัญญาณ

ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เอสดีเอ็มเอจะมีคุณสมบัติในการระบุตำแหน่งที่ตั้งในพื้นที่ของโทรศัพท์ปลายทาง เครื่องมือและอุปกรณ์สื่อสารที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น โดยจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานแบนด์วิดท์เครือข่าย ซึ่งจะแตกต่างจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเดิมที่จะมีสถานีศูนย์กลางเป็นตัวเชื่อมโยง แผ่กระจายสัญญาณไปในทุกทิศทางในพื้นที่ โดยที่ไม่รู้ว่าในสถานที่นั้นจะมีอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่หรือไม่ซึ่งสถาปัตยกรรมเอสดีเอ็มเอ จะเป็นการใช้ช่องทาง (channel) ของคลื่นสัญญาณวิทยุบนพื้นฐานของตำแหน่งอุปกรณ์มือถือ ด้วยวิธีนี้สถาปัตยกรรมเอสดีเอ็มเอไม่เพียงแต่จะป้องกันเรื่องคุณภาพของสัญญาณแล้วยังป้องกันคลื่นเสียงที่ก่อให้เกิดการรบกวนและการเสื่อมสภาพของสัญญาณที่มาจากบริเวณพื้นที่ ที่อยู่ติดกัน แต่อย่างไรก็ตามเอสดีเอ็มเอยังช่วยป้องกันการซ้ำซ้อนของสัญญาณในพื้นที่ที่ไม่มีอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้งานอยู่หรือไม่มีอยู่ในบริเวณนั้น

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมพบว่าในหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจในด้านการพัฒนาเทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเอสดีเอ็มเอในงานวิจัยเหล่านั้นได้นำเสนอวิธีการก่อรูปลำคลื่นเพื่อส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ในตำแหน่งที่ต่างกัน ในระบบเอสดีเอ็มเอซึ่งที่สถานีฐานต้องอาศัยการรับรู้ข้อมูลการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณจากผู้ใช้อย่างสมบูรณ์ เพื่อก่อรูปลำคลื่นนั้นจากวิธีการนี้สามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณในระบบได้มากกว่าเอสดีเอ็มเอเดิมที่ไม่มีการก่อรูปลำคลื่น แต่พบว่าเกิดปัญหาเกี่ยวกับการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณที่สมบูรณ์นั้นมีความยากและซับซ้อนสูง อีกทั้งช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา และบิต (bit) ข้อมูลที่ป้อนกลับนั้นต้องใช้จำนวนมาก ทำให้เมื่อบิตข้อมูลมาถึงสถานีฐานเปลี่ยนไป เกิดการถอดรหัสผิดพลาด ทำให้การก่อรูปลำคลื่นไปไม่ตรงกับทิศทางของผู้ใช้ ซึ่งไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จากนั้นได้มีงานวิจัยนำเสนอเทคนิคในการก่อรูปลำคลื่นที่อาศัยข้อมูลป้อนกลับเพียงบางส่วน

เรียกว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส หรือ โอเอสดีเอ็มเอ (Opportunistic Space-Division Multiple access : OSDMA) เป็นการสร้างโอกาสให้เกิดเอสดีเอ็มเอ หลักการคือ ที่สถานีฐานทำการสุ่มส่งบิตก่อรูปลำคลื่นออกไปยังผู้ใช้หลายลำคลื่น หากผู้ใช้ได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับลำคลื่นใดแล้วป้อนกลับข้อมูลมายังสถานีฐานๆจะทำการส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ตามลำคลื่นนั้น ซึ่งทำให้ลดบิตผิดพลาดและเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากขึ้น แต่ยังพบปัญหาว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นทิศทางมีโอกาสที่จะไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดเป็นแนวความคิดในการศึกษาวิจัยว่าหากไม่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณจะสามารถก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางของผู้ใช้อยู่ได้หรือไม่และอย่างไร



รูปที่ 1.3 แบบจำการก่อรูปลำคลื่นจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้ที่อาศัยข้อมูลป้อนกลับ

1.1.3 แนวคิดเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งในระบบแอลทีอี

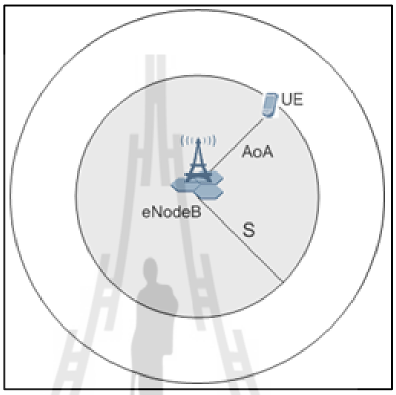
ระบบแอลทีอีสามารถรองรับวิธีระบุตำแหน่งได้ 3 วิธี คือ 1. วิธี Cell ID ที่ปรับปรุงขึ้น (Enhanced Cell ID :E-CID) 2. วิธีสังเกตเวลาที่มาถึงต่างกัน (Observed Time Difference of Arrival : OTDOA) และ 3. วิธีนำจีพีเอสเข้ามาช่วย (Assisted GPS : A-GPS) ทั้ง 3 วิธีนี้มีระดับความถูกต้องแม่นยำที่ต่างกันและนำไปใช้กับสถานที่ที่ต่างกันด้วย

1.1.3.1 วิธี Cell ID ที่ปรับปรุงขึ้น (Enhanced Cell ID :E-CID)

เมื่อผู้ใช้ได้มีการลงทะเบียน อัพเดทสถานที่ตั้ง หรือกดโทรออก (call setup) จะมีการรายงานการเชื่อมต่อกับเครือข่ายกับเซลล์ที่ให้บริการอยู่ ในระบบแอลทีอีสามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งในทางภูมิศาสตร์ของผู้ใช้ได้จากการรายงานของผู้ใช้นั้น การรับรู้ตำแหน่งวิธีนี้เรียกว่า วิธีเซลล์ศูนย์กลาง ซึ่งเครือข่ายหรือผู้ใช้ไม่ต้องการการปรับเปลี่ยนที่สำคัญมากจึงสามารถ

ดำเนินการได้โดยง่าย ตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดครอบคลุมของเซลล์ ซึ่งจะให้ความถูกต้องสูงในพื้นที่ที่มีการใช้งานเซลล์หนาแน่น

ในวิธีรับรู้ตำแหน่งแบบ E-CID สถานีฐาน หรือ eNodeB (E-UTRAN Node B) จะคำนวณระยะทางระหว่าง eNodeB กับผู้ใช้จาก ไทม์มิ่งแอดวานซ์ (timing advance : T_{ADV}) และคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากมุมที่มาถึง (Angle of Arrival :AOA) ของสัญญาณที่ผู้ใช้รายงานมายัง eNodeB ซึ่งจะทำให้กำหนดได้ว่าผู้ใช้อยู่ตำแหน่งไหนในภูมิศาสตร์



รูปที่ 1.4 หลักการของ E-CID

หลักการของ E-CID

1) กับข้อมูล T_{ADV} จากรูปที่ 2 E-CID สามารถกำหนดระยะทาง S ของผู้ใช้ถึง eNodeB ได้จาก $S = T_{ADV}/2C$ เมื่อ C คือความเร็วแสง

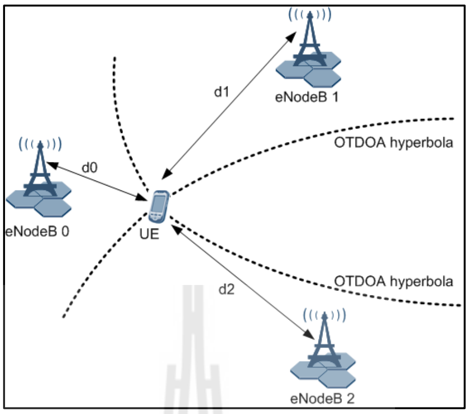
2) กับข้อมูล AoA E-CID สามารถกำหนดมุมระหว่าง eNodeB กับผู้ใช้ได้ จึงทำให้ทราบจุดตำแหน่งของผู้ใช้

1.1.3.2 วิธีสังเกตเวลาที่มาถึงต่างกัน (Observed Time Difference of Arrival: OTDOA)

ในวิธีการ OTDOA จะคอยสังเกตการณ์ จากหลาย eNodeB และวัดความต่างเวลาของสัญญาณอ้างอิงที่มาถึงที่ได้ส่งไปยังทุกๆ 2 eNodeB สถานีฐานจะทำการวัดผลและตำแหน่งของทั้งสอง eNodeB จะเกิดบริเวณที่เป็นเส้นโค้งไฮเปอร์โบลาขึ้น แล้วสถานีฐานคำนวณจุดตัดของเส้นโค้งทั้งสองนั้นแล้วกำหนดได้ว่าตำแหน่งของผู้ใช้อยู่บนจุดตัดนั้น

ความถูกต้องแม่นยำของวิธี OTDOA จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

OTDOA จะให้ความถูกต้องแม่นยำสูงในพื้นที่ชานเมืองและชนบท ส่วนในพื้นที่ในเมืองจะได้ความถูกต้องที่ลดลง เพราะในสภาพแวดล้อมในเมืองจะมีการสะท้อนของคลื่นสูง



รูปที่ 1.5 หลักการของ OTDOA

หลักการของ OTDOA

1) OTDOA คือวิธีกำหนดตำแหน่งด้วยการวัดความต่างของเวลาที่มาถึงของสัญญาณที่ส่งมาจากมาหลาย eNodeB เพราะว่า OTDOA ไม่ได้ใช้เวลาที่แน่นอน ที่สามารถให้ความถูกต้องแม่นยำสูง

2) ผู้ใช้จะคอยฟังจากหลาย eNodeB และวัดเวลาที่ทำสำหรับตำแหน่งสัญญาณอ้างอิง (positioning reference signals : PRSs) ที่เดินทางมาจาก eNodeB ไปยังผู้ใช้และคำนวณ OTDOA ระหว่างเซลล์ผู้สมัครกับเซลล์อ้างอิงที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลของความต่างเวลาที่เกี่ยวข้อง (Relative Time Difference :RTD) ส่งมาจากศูนย์บริการตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อที่ที่พัฒนาขึ้น (evolved serving mobile location center : E-SMLC) คือ เฟรมไทม์มิ่งสำหรับสัญญาณที่ส่งมาจากหลายเซลล์ OTDOA ที่ได้รับจริงระหว่างเซลล์ผู้สมัครและเซลล์อ้างอิง คำนวณได้ดังนี้ TDOA = OTDOA – RTD

3) ผู้ใช้จะรายงาน TDOA ไปยัง E-SMLC ด้วย TDOA และสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของ eNodeB นี้ E-SMLC จะคำนวณสถาน

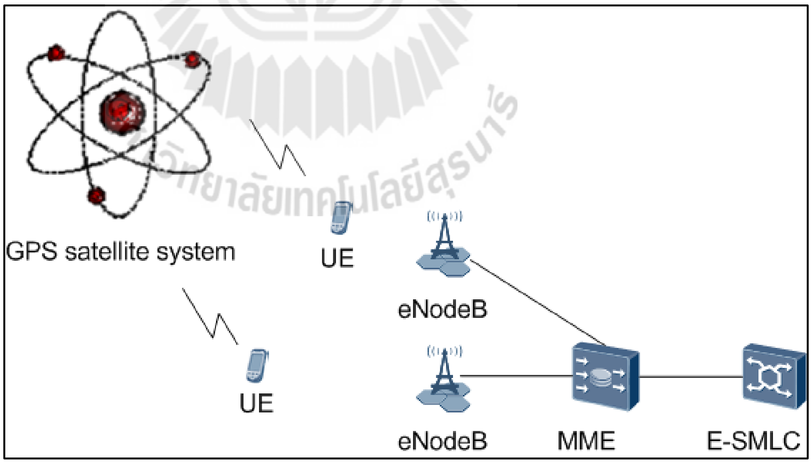
ที่ตั้งของผู้ใช้ออกมา ยิ่งจำนวน eNodeB ขนาดใหญ่ก็ยิ่งทำให้มีความแน่นอนและแม่นยำสูง

4) จากรูปที่ 1.5 เส้นไฮเปอร์โบลาที่เกิดขึ้น เมื่อความต่างของระยะทางจากผู้ใช้ถึง eNodeB0 และ eNodeB1 (d1-d0) และความต่างจากผู้ใช้ถึง eNodeB1 และ eNodeB2 (d2-d1) จุดตัดที่เกิดขึ้นของเส้นไฮเปอร์โบลานั้นคือตำแหน่งของผู้ใช้

1.1.3.3 วิธีนำจีพีเอสเข้ามาช่วย (Assisted GPS : A-GPS)

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

ในรูปที่ 1.6 จะมีดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวงโคจรรอบโลก โดยแบ่งเป็น 6 ระนาบๆละ 4 ดวง ทำมุม 25 องศา ผู้ใช้จะค้นหาสัญญาณ GPS และวัดขอบเขต GPS และนำมาคำนวณตำแหน่งของผู้ใช้



รูปที่ 1.6 หลักการของ A-GPS

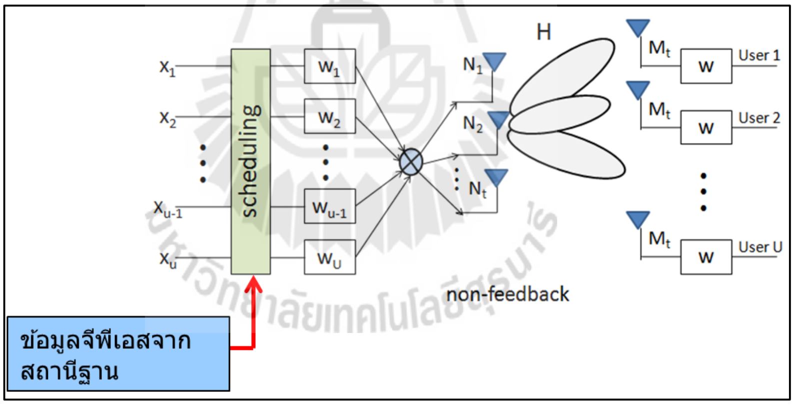
ความแตกต่างระหว่าง A-GPS และ GPS คือ A-GPS นั้น ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมและเวลาจริงของการโคจรจะถูกเก็บไว้ใน E-SMLC และมีการส่งข้อมูลนั้นไปยังผู้ใช้เป้าหมาย ข้อมูลนั้นสามารถใช้อ้างอิงตำแหน่ง เวลา และ รูปแบบชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งวิธี A-GPS นี้

จะช่วยให้ผู้ใช้รับสัญญาณดาวเทียมได้มีประสิทธิภาพมากกว่า เช่น ใช้เวลาในการวัดที่สั้นกว่า ประหยัดกำลังงาน และ การรับรวดเร็วขึ้น

นอกจากนั้นแล้ว ถ้าผู้ใช้ได้รับสัญญาณน้อยกว่าสี่ดวงจะทำให้ไม่เพียงพอในการกำหนดตำแหน่งของผู้ใช้ ในกรณีนี้จะต้องอาศัยวิธีการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการอื่นใน E-SMLC ช่วยในการคำนวณตำแหน่งของผู้ใช้ เงื่อนไขที่จะสามารถใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ได้นั้น คือ

1) ผู้ใช้จะต้องมีเครื่องรับ GPS
2) จะไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้ในที่ที่รับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้ เช่น ในอาคาร

ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ละวิธีการระบุตำแหน่งต่างกันระดับความถูกต้องแม่นยำก็จะต่างกันด้วย โดยปกติแล้ว A-GPS จะให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุด ตามมาด้วย OTDOA และ E-CID จึงทำให้เลือกวิธีการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS เข้ามาเพื่อพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับเพิ่มความจุช่องสัญญาณในงานวิจัยนี้



รูปที่ 1.7 แบบจำลองระบบ GPS-Aided OSDMA

1.1.4 แนวคิดงานวิจัยที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคใหม่ในระบบสื่อสารแบบเอสดีเอ็มเอ เรียกว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส (GPS Aided Oportunistic Space-Division Multiple Access : GPS-Aided OSDMA) เป็นอีกหนึ่งชนิดของโอเอสดีเอ็มเอ ที่สร้างโอกาสในการเกิดการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง โดยไม่อาศัยการป้อนกลับข้อมูล

ช่องสัญญาณโดยตรงจากผู้ใช้ แต่อาศัยข้อมูลการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ของผู้ใช้ โดยอ้อมที่สถานีฐาน เพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังผู้ใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

1.2.2 เพื่อหาข้อจำกัดของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบสมรรถนะกับเทคนิคที่ได้สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ถ้ารู้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการแล้วสามารถสร้างโอเอสดีเอ็มเอได้โดยอาศัยโอกาสจากจีพีเอส

1.3.2 อุปกรณ์สื่อสารในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในอนาคตมีเครื่องรับจีพีเอสอยู่แล้ว และมีโปรโตคอลที่จะรู้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการได้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ใช้สายอากาศไม่เกิน 4 ต้น ในการจำลองผล

1.4.2 ผลความผิดพลาดจากการประมาณตำแหน่งอ้างอิงจากเอกสาร LCS Feature Parameter Description: Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014.

1.4.3 ใช้โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) ในการสร้างแบบจำลอง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นกับปริทัศน์วรรณกรรมจากค่าความจุช่องสัญญาณ

1.5.2 วิธีการระบุตำแหน่งต้องอยู่ในระบบแอลทีอี

1.5.3 ใช้ความถี่ในย่าน 2.1 GHz ในระบบแอลทีอีสำหรับจำลองผล

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง

3) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการก่อรูปลำคลื่น

4) ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการระบุตำแหน่งในมาตรฐานการสื่อสารแอลทีอี

5) พัฒนาเทคนิคการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

6) จำลองผลเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมแมทแลบ

7) วิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับงานที่ได้สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผลการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางของตำแหน่งผู้ใช้บริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณ

3) วิเคราะห์และสรุปผลการจำลอง

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2) โปรแกรมแมทแลบ

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมแมทแลบ

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณที่ได้พัฒนาขึ้นกับเทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม เพื่อดูผลว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความจุของช่องสัญญาณได้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้เทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

1.7.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณได้จากเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น

1.7.3 ลดกระบวนการในการก่อรูปลำคลื่นได้ เพราะไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณ

1.7.4 ลดกำลังงานที่ใช้ในการสุ่มส่งบิตก่อรูปลำคลื่นไปยังผู้ใช้เพื่อต้องการรับรู้ข้อมูลช่องสัญญาณได้

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

บทที่ 4 กล่าวถึงการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์จากโปรแกรมแมทแลบ เพื่อวิเคราะห์ความสามารถการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

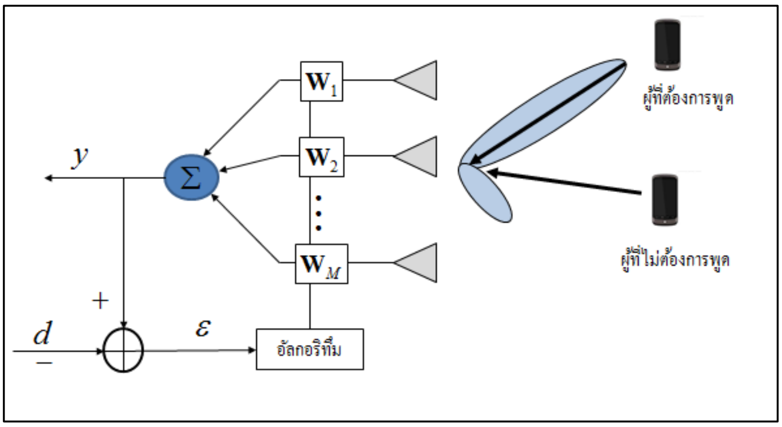
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 6 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะเป็นเรื่องสายอากาศเก่ง โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีในการก่อรูปลำคลื่นในสายอากาศแถวลำดับแบบต่างๆ ต่อมาในส่วนที่สามจะกล่าวถึงช่องสัญญาณในระบบไมโมและช่องสัญญาณที่ใช้ในโครงการวิจัย ในส่วนที่สี่จะกล่าวถึงทฤษฎีความจุช่องสัญญาณ ในส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ในส่วนที่หกจะกล่าวถึงการสรุปท้ายบท

2.2 สายอากาศเก่ง

คำว่า สายอากาศเก่ง โดยทั่วไปนั้นหมายถึงสายอากาศแถวลำดับ (array antennas) มีการประมวลผลสัญญาณที่ซับซ้อน ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับตัวให้ลำคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการและลดสัญญาณแทรกสอด สายอากาศเก่งจะครอบคลุมทั้งระบบสวิตช์ลำคลื่น(switched beam) และระบบการก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว (adaptive beamforming) ระบบสวิตช์ลำคลื่นจะมีลำคลื่นคงที่หลายรูปแบบ การตัดสินใจสวิตช์ลำคลื่นในการเข้าถึงไปยังจุด ณ เวลาใดๆนั้นจะขึ้นอยู่กับการร้องขอ (requirement) ของระบบ ส่วนระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัวมีการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่สนใจในขณะเดียวกันจะหันจุดศูนย์ (null) ไปในทิศทางสัญญาณแทรกสอด สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศเก่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว

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



รูปที่ 2.1 สายอากาศเก่ง

2.2.1 สายอากาศแถวลำดับ

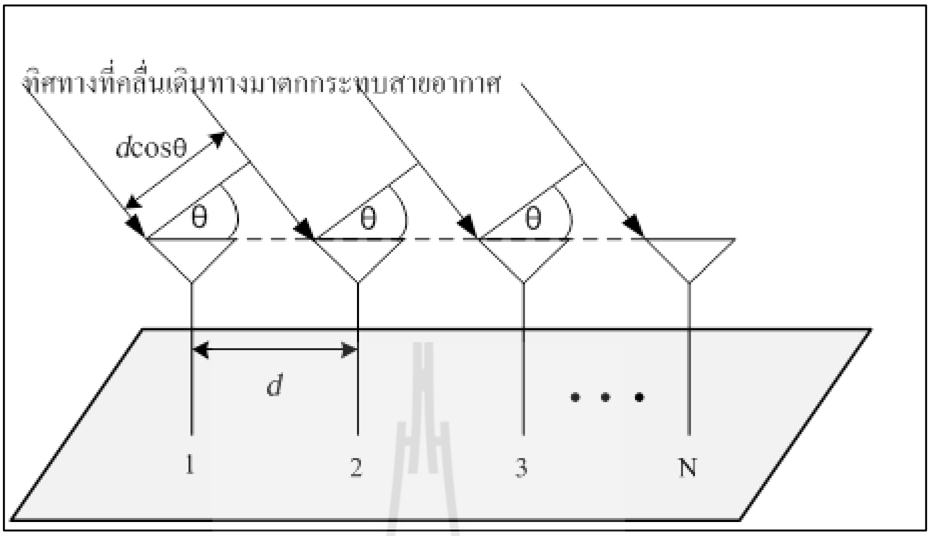
สายอากาศแถวลำดับ (antenna array) เป็นระบบที่นำเอาสายอากาศมาวางเรียงกันในรูปแบบต่าง ๆ โดยอาจมีการป้อนสัญญาณเข้าที่ตัวสายอากาศต้นเดียวหรือหลายต้นเพื่อแผ่กระจายคลื่นออกไป การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองหรือระบบสายอากาศเก่ง (smart antennas) แบบดั้งเดิมจำเป็นที่จะต้องใช้สายอากาศในรูปแบบแถวลำดับเท่านั้นจึงจะสามารถหันพูคลื่นหลักไปยังทิศทางที่ต้องการได้ด้วยกระบวนการถ่วงน้ำหนักหรือปรับเฟสที่สายอากาศแต่ละต้นซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนที่ 2.2.2 สายอากาศแถวลำดับจะมีการวางตัวหลายรูปแบบเช่น แบบเส้น ระนาบและวงกลม

2.2.1.1 สายอากาศแถวลำดับแบบเส้น

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

$$d = \frac{\lambda}{2} \tag{2.1}$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น



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

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

$$U_{array} = U_{ant} \times AF \tag{2.2}$$

โดยทั่วไปแล้วในตำราต่าง ๆ จะนิยมใช้สายอากาศต้นเดียวเป็นจุดกำเนิดสัญญาณ หรือสายอากาศไอโซทรอปิก (isotropic antenna) ที่มีคุณสมบัติแผ่พลังงานในทุกทิศทางรอบตัวเท่ากัน ดังนั้นแบบรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับจึงมีค่าเท่ากับตัวประกอบแถวลำดับนั่นเอง ตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

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

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

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

แทนสมการ (2.5) ลงใน (2.6) จะสามารถลดรูปของสมการลงเหลือ

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

ย้ายข้างและจัดรูปสมการจะได้

$$AF = \left[\frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1}\right]$$

$$= e^{j[(N-1)/2]\psi}\left[\frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}}\right]$$

$$= e^{j[(N-1)/2]\psi}\left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)}\right] \tag{2.8}$$

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

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

ค่าของ ψ จะถือว่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นเราสามารถประมาณค่าสมการได้เท่ากับ

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

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

สมการมาตรฐานของตัวประกอบแถวลำดับคือ

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

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

2.2.1.2 สายอากาศแถวลำดับระนาบ

สายอากาศแถวลำดับระนาบ (planar array antennas) เป็นรูปแบบที่ประยุกต์มาจากรูปแบบสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นที่ได้อธิบายในหัวข้อย่อยที่ 2.2.1.1 สายอากาศแต่ละตัวถูกจัดวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมหรือที่เรียกว่าสายอากาศแถวลำดับระนาบ สายอากาศแถวลำดับระนาบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ยืดหยุ่นกว่าแบบแบบเส้น คือสามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงแบบรูปการแผ่พลังงานได้ ดังนั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบมีความเอนกประสงค์มากและสามารถให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีความสมดุลและมีพูรองที่ต่ำ ยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบสามารถที่จะหันพูหลักในมุมเงยและทุก ๆ ทิศรอบตัว 360° ดังนั้นสายอากาศแถวลำดับระนาบจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงานเรดาห์ การชี้ทางระยะไกล (remote sensing) การสื่อสารไร้สายและรวมถึงระบบสายอากาศเก่งด้วย ตามที่ได้อธิบายไว้ในหนังสือของ Allen, B., and Ghavami, M. (2005).

เราสามารถคำนวณหาพลังงานของสายอากาศแถวลำดับระนาบโดยใช้สมการ (2.12) ได้เช่นเดียวกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้น แต่จะมีค่าตัวประกอบแถวลำดับแตกต่างกันซึ่งสามารถหาได้ โดยเริ่มจากพิจารณามุม γ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 จะได้

$$\cos\gamma = \hat{a}_x \cdot \hat{a}_r = \hat{a}_x \cdot (\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta)$$

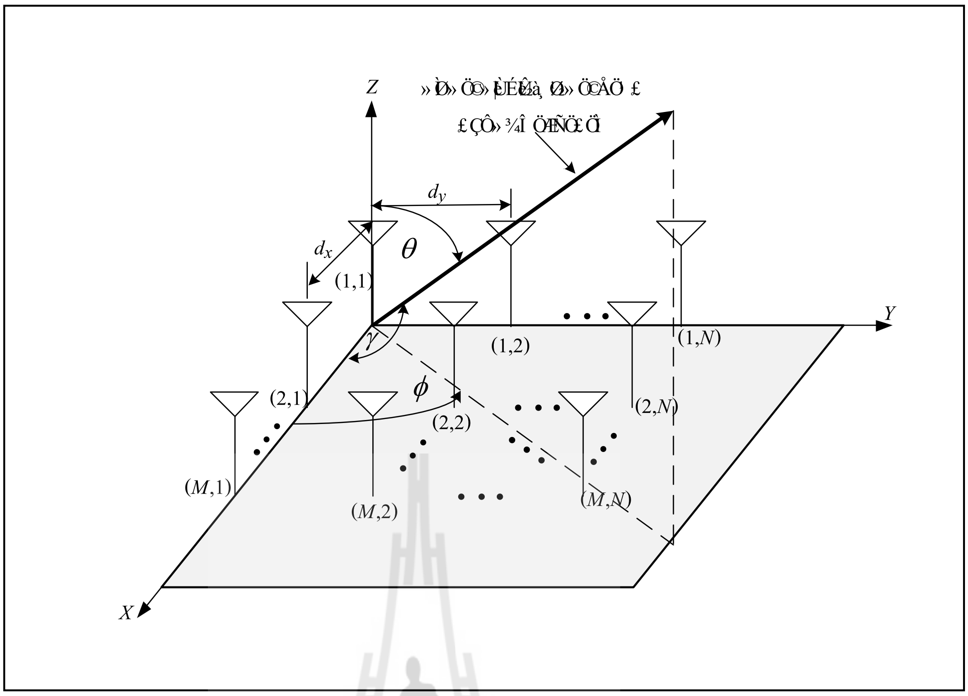
$$= \sin\theta\cos\phi \tag{2.13}$$

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

$$AF_x = \sum_{m=1}^{M} I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x\cos\gamma + \beta_x)}$$

$$= \sum_{m=1}^{M} I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x\sin\theta\cos\phi + \beta_x)} \tag{2.14}$$

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



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

พิจารณาเฉพาะแนวแกน y เช่นเดียวกันกับที่พิจารณาแกน x เราจะได้ค่าตัวประกอบแถวลำดับเท่ากับ

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

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

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

สมมติให้แอมพลิจูดของสายอากาศแต่ละต้นทั้งในแกน x และ y มีค่าเท่ากันจะได้

$$I_{mn} = I_{m1}I_{1n} \tag{2.17}$$

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

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

เช่นเดียวกันกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นเราสามารถทำสมการค่าตัวประกอบให้อยู่ในรูปมาตรฐานได้โดยใช้ฟังก์ชันไซน์ตามที่แสดงในสมการ (2.12) และ (2.13) ซึ่งจะได้เท่ากับ

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

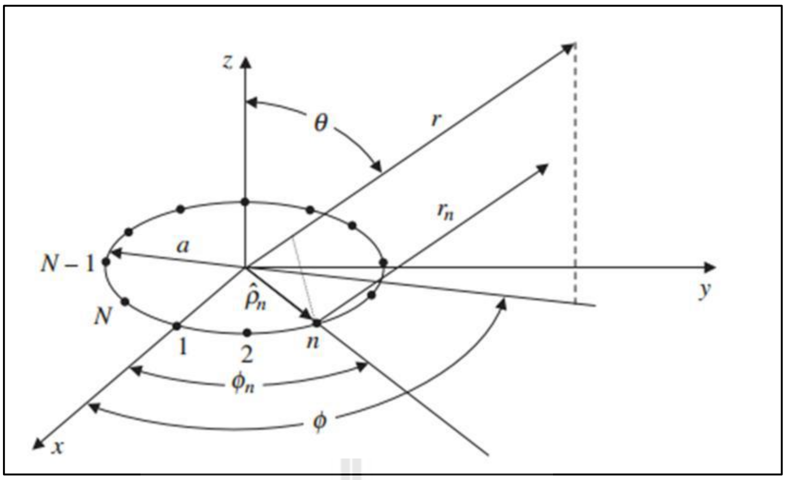
$$\psi_x = kd_x \sin\theta\cos\phi + \beta_x \tag{2.20}$$

$$\psi_y = kd_y \sin\theta\cos\phi + \beta_y \tag{2.21}$$

2.2.1.3 สายอากาศแถวลำดับวงกลม

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

$$\hat{\rho}_n = \cos\phi_n \hat{x} + \sin\phi_n \hat{y} \tag{2.22}$$



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

และเราสามารถกำหนดให้เวกเตอร์ทิศทางที่พิจารณาในสนามระยะไกลคือ

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

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

$$\gamma_n = \gamma - a\hat{\rho}_n \cdot \hat{\gamma} \tag{2.24}$$

เมื่อ a คือตำแหน่งเชิงรัศมีของสายอากาศแต่ละต้นและ

$$\hat{\rho}_n \cdot \hat{\gamma} = \sin\theta\cos\phi\cos\phi_n + \sin\theta\sin\phi\sin\phi_n$$

$$= \sin\theta\cos(\phi - \phi_n) \tag{2.25}$$

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

เช่นเดียวกับสายอากาศแถวลำดับระนาบ เมื่อได้เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางที่สนใจแล้วจะสามารถหาสมการค่าตัวประกอบแถวลำดับดังนี้

$$AF = \sum_{n=1}^{N} e^{-j\left(ka\hat{\rho}_n \cdot \hat{\gamma} + \delta_n\right)}$$

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

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

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

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

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

2.2.2 การก่อรูปลำคลื่น

การก่อรูปลำคลื่น คือ วิธีการประมวลผลสัญญาณสำหรับระบบที่มีสายอากาศมากกว่าหนึ่งต้น เพื่อที่สามารถสร้างแบบรูปลำคลื่นที่มีพูหลักหันไปยังทิศทางต้องการและสามารถหันจุดศูนย์ (null) ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งยกตัวอย่างการนำเอาการก่อรูปลำคลื่นไปใช้งานที่สถานีฐานในเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย จะเห็นว่าการก่อรูปลำคลื่นสามารถหันพูหลักไปยังทิศทางที่ต้องการนั่นคือโทรศัพท์ไร้สาย และสามารถหันจุดศูนย์ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่อาจมาจากสถานีฐานอื่นในเครือข่ายข้างเคียง ด้วยความสามารถดังกล่าวส่งผลให้การก่อรูปลำคลื่นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับระบบการสื่อสารไร้สายได้ดังนี้

1) เพิ่มอัตราขยายของสายอากาศดังนั้นจึงขยายพื้นที่ครอบคลุมให้กว้างขึ้นและทำให้ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงขึ้น

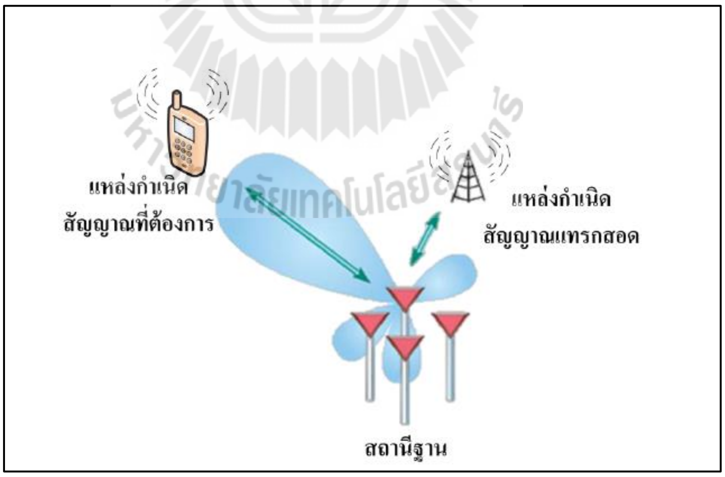
2) เนื่องจากการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองสามารถหันพูหลักไปเฉพาะในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น จึงไม่สูญเสียพลังงานไปในทิศทางอื่นทำให้ประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่

3) ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้น

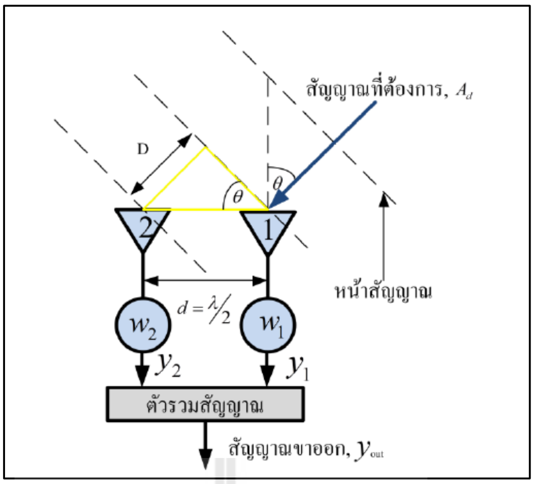
4) ลดสัญญาณแทรกสอด

ด้วยข้อดีดังกล่าวการก่อรูปลำคลื่นจึงได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ งาน เช่น เรดาร์ โซนาร์ และการสื่อสารไร้สาย เป็นต้น

การก่อรูปลำคลื่นสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง หรือการก่อรูปลำคลื่นโดยใช้สายอากาศแถวลำดับและการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย หรือการก่อรูปลำคลื่นด้วยการอาศัยความร่วมมือ โดยการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองจะอาศัยอากาศแถวลำดับที่มีตำแหน่งของสายอากาศที่แน่นอนในการก่อรูปลำคลื่นดังนั้นลูกข่ายหรือโนด (node) ขณะที่การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจะอาศัยความร่วมมือจากโนดอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงที่มีการกระจายตัวแบบสุ่มมาช่วยก่อรูปลำคลื่น ดังนั้นแต่ละโนดจึงไม่จำ เป็นต้องใช้สายอากาศแถวลำดับเหมือนการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง โดยการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.2.2.1 และการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.2.2.2



รูปที่ 2.5 การก่อรูปลำคลื่นที่มีพูหลักหันไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และมีจุดศูนย์หันไปยังสัญญาณแทรกสอด [อัจฉรียา คงบรรทัด. (2556).]



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

2.2.2.1 การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง

การก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ สายอากาศแถวลำดับและชุดประมวลผลสัญญาณ ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหันพูหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยหลักการเบื้องต้นในการที่จะหันพูหลักสามารถอธิบายได้โดยยกตัวอย่างการใช้ระบบสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 2 ต้นตามที่แสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อ D คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้นซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin\theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ

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

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

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

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

$$= w_1\left(A_d\right) + w_2\left(A_d e^{-j(kd\sin\theta)}\right)$$

$$= A_d\left(w_1 + w_2 e^{-j(kd\sin\theta)}\right) \tag{2.32}$$

หลักการสำคัญของการก่อรูปลำคลื่นที่จะสามารถหันพูหลักไปในทิศทางที่ต้องการได้ 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

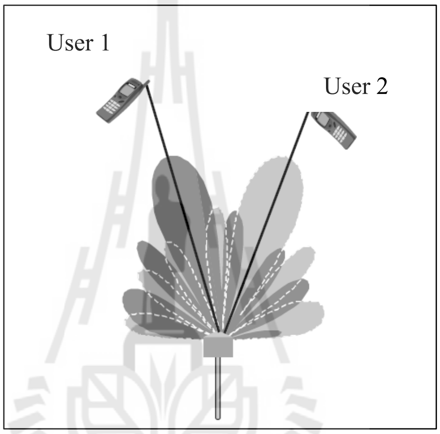
$$y_{out} = A_d\left(e^{j(0)} + e^{-j(kd\sin\theta)}e^{j(kd\sin\theta)}\right) = 2A_d \tag{2.35}$$

2.2.2.2 การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย

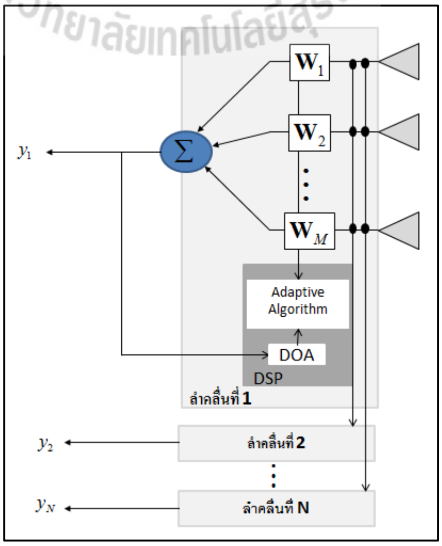
การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจาย (distributed beamforming) เป็นวิธีการสื่อสารที่อาศัยการร่วมมือจากอุปกรณ์สื่อสารหรือโนดอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกันในการก่อรูปลำคลื่นซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับที่มีการสุ่มตำแหน่งของสายอากาศ (random array antenna) โดยทุกโนดที่ร่วมมือจะส่งสัญญาณที่มีข้อมูลเหมือนกันและส่งพร้อม ๆ กันไปที่สถานีฐาน โดยสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากแต่ละโนดจำเป็นต้องถูกทำการซิงโครไนซ์เฟสเพื่อที่ไม่ให้เกิดการหักล้างกันเองตอนรวมสัญญาณที่สถานีฐาน เมื่อแต่ละโนดมีเฟสของสัญญาณที่สถานีฐานเท่ากัน ดังนั้นการก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจึงสามารถก่อรูปลำคลื่นที่มีพูหลักหันไปยังสถานีฐานได้ ด้วยเหตุนี้การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายจึงสามารถเพิ่มระยะทางการสื่อสารและเพิ่มอัตราขยายซึ่งได้จากการก่อรูปลำคลื่นโดยมีอัตราขยายเฉลี่ยเท่ากับ

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

เมื่อ K คือจำนวนโนดและ ϕ_k คือเฟสของสัญญาณแต่ละโนด จากสมการจะเห็นว่าในกรณีที่เฟสซิงโครไนซ์ได้สมบูรณ์คือไม่มีความต่างเฟสเลยหรือเฟสของทุกโนดเท่ากัน ผลรวมสัญญาณ $E[P_R]$ จะเท่ากับจำนวนโนดซึ่งเป็นค่าสูงสุด นอกจากนี้การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายยังสามารถหันทิศทางของพูหลักไปยังทิศที่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอดได้เช่นเดียวกับการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเอง แต่การก่อรูปลำคลื่นแบบกระจายไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศแถวลำดับในการก่อรูปลาคลื่น ดังนั้นจะเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบที่มีโนดขนาดเล็กและมีพลังงานจำกัด



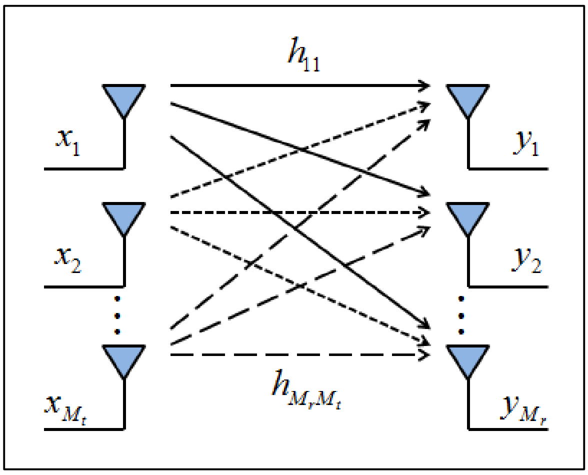
รูปที่ 2.7 ระบบเอสดีเอ็มเอแบบหลายลำคลื่น [Constantine A. Balanis. (2005).]



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบเอสดีเอ็มเอ

2.2.3 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง

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



รูปที่ 2.9 การรับส่งข้องมูลในระบบไมโม

2.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ระบบไมโมจะมีการใช้สายอากาศหลายต้นในการรับส่งสัญญาณทั้งในภาคส่งและภาครับ โดยที่ระบบไมโมนี้สามารถดึงความสามารถทั้งการมัลติเพลกซ์ (Multiplexing) หรือพัฒนาคุณลักษณะด้วยไดเวอร์ซิตี (Diversity) ในระบบนี้สายอากาศส่งและรับช่วยในการเพิ่มอัตราขยายไดเวอร์ซิตี การมัลติเพลกซ์จะส่งเสริมในด้านโครงสร้างของอัตราขยายของช่องสัญญาณ ซึ่งจะมีความเป็นอิสระในแต่ละทิศทางการเดินทางของคลื่น จากรูปภาพที่ 2.9 จะพิจาณาช่องสัญญาณระบบไมโมที่เป็นแถบแคบ ใช้กับการสื่อสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมี M_t คือ จำนวนสายอากาศส่ง และ M_r คือ จำนวนสายอากาศรับ สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{M_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1M_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_r1} & \cdots & h_{M_rM_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{M_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{M_r} \end{bmatrix} \tag{2.36}$$

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

$$\sum_{i=1}^{M_t} E\left[x_i x_i^{\,*}\right] = \rho \tag{2.37}$$

* แสดงถึงการสังยุคเชิงซ้อน

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

2.3.1 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน

สำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณการเฟดแบบเลย์ลี (Rayleigh fading channel) ที่มีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันเกิดจากการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใดเนื่องจากการสะท้อน และการแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงในสภาพแวดล้อม และระยะห่างระหว่างสายอากาศแถวลำดับที่ภาคส่งและภาครับในระบบสื่อสารซึ่งจะส่งผลให้ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากคลื่นหลายวิถีจำนวนมาก รูปแบบสัญญาณที่รับได้เป็นไปตามการแจกแจงแบบเลย์ลี (Rayleigh Distribution) ถือเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่ง่ายและใช้กันมากสำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยที่แบบจำลองช่องสัญญาณระบบไมโมที่เป็นช่องสัญญาณการเฟดแบบเลย์ลีที่มีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันจะสามารถเขียนได้ดังนี้

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

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

$$E\left\{[H_w]_{i,j}\right\} = 0 \tag{2.39a}$$

$$E\left\{\left|[H_w]_{i,j}\right|^2\right\} = 1 \tag{2.39b}$$

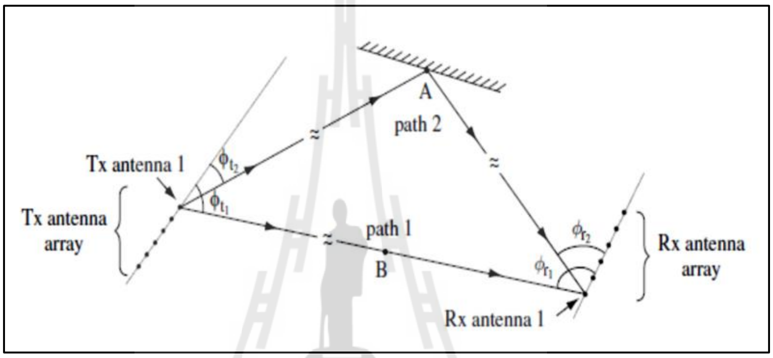
$$E\left\{[H_w]_{i,j}[H_w]^t{}_{m,n}\right\} = 0, \text{ ถ้า } i \neq m \text{ และ } j \neq n \tag{2.39c}$$

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

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

2.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring”

แบบช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” ได้รับการอธิบายไว้ในงานของ Bakhshi, G., Saadat, R., and Shatalebi, K. (2008) โดยสำหรับแบบจำลองนี้จะใช้อธิบายการกระจัดกระจายของสัญญาณโดยเกิดจากการ สะท้อนโดยวัตถุที่ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของสัญญาณทั้งด้านภาครับและด้านภาคส่ง โดยจะแสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบไมโมโดยที พิจารณามุมที่กระทำกันระหว่างภาคส่งและภาครับโดยที่มุมที่ภาคส่งและมุมที่ภาครับเกิดจากการใช้สัญญาณแบบสุ่ม (random channel) ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที 2.10 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” [อภิญญา อินทร์นอก. (2553).]

จากรูปที 2.10 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทาง เมื่อมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ โดยมีอัตราการลดทอนที่เกิดขึ้นในแต่ละทิศทาง แทนด้วย a_i มุมส่ง แทนด้วย $\phi_{ti}(\Omega_{ti}=\cos\phi_{ti})$และมุมรับ แทนด้วย $\phi_{ri}(\Omega_{ri}=\cos\phi_{ri})$ ดังนั้นช่องสัญญาณหาได้จาก

$$\mathbf{H}=\sum_{\mathbf{i}}\mathbf{a}_{\mathbf{i}}^{\mathbf{b}}\mathbf{e}_{\mathbf{r}}(\mathbf{\Omega}_{\mathbf{ri}})\mathbf{e}_{\mathbf{t}}(\mathbf{\Omega}_{\mathbf{ti}})^{\mathbf{H}} \tag{2.10}$$

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

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

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

โดยที่ d_i คือ ระยะทางระหว่างภาคส่ง ๆ ไปยังภาครับในแต่ละทิศการเดินทางของคลื่น

$e_t(\Omega_{ti})$ คือ เวกเตอร์ใช้แทนการกระจายตัวในทิศทาง Ω_{ti}

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

λ_c คือ ความยาวคลื่นของความถี่กลาง

Δ_t คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศมีการนอล์แมลไลซ์ที่ภาคส่ง

Δ_r คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศมีการนอล์แมลไลซ์ที่ภาครับ

จากการส่งและรับข้อมูลในรูปที 2.10 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมุมที่ส่งออกไปหรือมุมที่รับเข้ามาเกิดจาก องค์ประกอบของมุมทั้งสิ้น โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจากมุม Ω_{rt} ที่ภาครับ และแทนเวกเตอร์หนึ่งหน่วยได้เป็น $e_r(\Omega_{ri})$ จากสมการ 2.13 ดังนั้นจะได้เวกเตอร์มูลฐานที่ภาครับ

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

ในทำนองเดียวกันการประมวลผลจะมีสัญญาณที่ส่งออกไปที่ภาคส่ง และมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยเป็น $e_t(\Omega_{ti})$ หาได้จากสมการ 2.12 ดังนั้นจะได้เวกเตอร์มูลฐานที่ภาคส่ง

$$\xi_t = \left\{ e_t(0), e_t\left(\frac{1}{L_t}\right), \ldots, e_t\left(\frac{M_r - 1}{L_t}\right) \right\} \tag{2.15}$$

โดยที่ $L_t = M_t\Delta_t$ และ $L_r = M_r\Delta_r$ คือการนอร์แมลไลซ์ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับ ส่วน Δ_t และ Δ_r คือระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับกำหนดให้ U_t และ U_r เป็นเมทริกซ์ยูนิแทรี จะมีจำนวนคอลัมน์เป็นไปตามเวกเตอร์มูลฐานตามสมการ 2.14 และ 2.15 จะได้สมการ 2.16 และ สมการ 2.17 ตามลำดับ

$$U_t = \frac{1}{\sqrt{M_t}} \exp\left(\frac{-j2\pi kl}{M_t}\right) \qquad k,l = 0,1,\ldots,M_t - 1 \tag{2.16}$$

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

โดยช่องสัญญาณจะมีค่าดังสมการ 2.18

$$\mathbf{H^a} = \mathbf{U_r^H H U_t} \tag{2.18}$$

2.4 ความจุช่องสัญญาณในระบบไมโม (MIMO Channel Capacity)

หัวข้อนี้เสนอความจุช่องสัญญาณ โดยทฤษฎีของ Shannon ซึ่งจะให้อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด ภายใต้ช่องสัญญาณที มีความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดน้อย ความจุช่องสัญญาณเทียบกับปริมาณที่สูญเสียอธิบาย โดยอัตราเร็วการส่งข้อมูลได้จากการส่งผ่านช่องสัญญาซึ่งมีความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดไม่เป็นศูนย์ ความจุช่องสัญญาณอยู่ภายใต้การรับรู้สถานะช่องสัญญาณ รวมถึงอัตราขยายช่องสัญญาณทั้งภาคส่งและภาครับ ในส่วนแรกจะอธิบายถึงความจุช่องสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้ความแตกต่างในการสมมติช่องสัญญาณที่รับรู้ได้

2.4.1 ช่องสัญญาณไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Static channel)

ความจุช่องสัญญาณในระบบไมโมสามารถกระจายได้จากสูตรของช่องสัญญาณในระบบที่มีสายอากาศส่งและรับภาคละ 1 ต้น โดยกำหนดให้มีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาครับ ช่องสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถรับได้ที่ระยะใกล้ๆภายใต้การสมมติความจุช่องสัญญาณในเทอมของข้อมูลร่วมกันระหว่างช่องสัญญาณที่ส่งจากภาคส่งไปยังภาครับขณะที่

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

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

กำหนดความสัมพันธ์ของเมตริกต์ R_x อยู่บนอินพุทเวกเตอร์ x และ R_y อยู่บนเอาท์พุทเวกเตอร์ y จะได้

$$R_y = E\left[yy^H\right] = \mathbf{H}R_x\mathbf{H}^H + \mathbf{I}_{M_r} \tag{2.20}$$

เมื่อ

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

ดังนั้นความจุช่องสัญญาณหาได้จาก การแทน สมการ 2.21 ลงใน สมการ 2.19 จะได้

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

โดย $T_r(R_x)$ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

1. การรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่งโดยวิธีวอเทอร์ฟิวลิงค์ (Channel known at transmitter : Water filling)

เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณ มีการรับรู้สถานะของช่องสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่ง โดยเฉพาะความจุช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับการรวมกันในแต่ละช่องสัญญาณจะได้ว่า

$$C = \max_{\rho_i \sum_i \rho_i \le \rho} \sum_{i=1}^{R_{\mathbf{H}}} B\log_2\left(1+\sigma_i^2\rho_i\right) \tag{2.23}$$

โดย $R_{\mathbf{H}}$ คือจำนวนค่าเฉพาะตัวที่ไม่ใช่ศูนย์ และในสมการ 2.23 แสดงให้เห็นในเทอมของการจัดสรร P_i ในแต่ละช่องสัญญาณ จะได้

$$C = \max_{P_i:\sum_i P \le P_i} \sum_{i}^{R_{\mathbf{H}}} B\log_2\left(1+\frac{\sigma_i^2 P_i}{\sigma^2}\right) = \max_{P_i \sum_i P_i \le P} \sum_{i=1}^{R_{\mathbf{H}}} B\log_2\left(1+\frac{\sigma_i^2\gamma_i}{P}\right) \tag{2.24}$$

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

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

และความจุช่องสัญญาณ

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

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

เมื่อรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาครับแต่ไม่รู้ที่ภาคส่งข้อมูลที่ภาคส่งไม่สามารถจัดสรรข้อมูลได้ โดยให้ความสัมพันธ์เป็นเมตริกซ์ $R_x(\rho / M_t) I_{M_t}$ ภายใต้การสมมติให้สัญญาณอินพุตที ป้อนเข้าไปมีค่ามากที สุด จะได้ข้อมูลร่วมกัน คือ

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

เมื่อใช้ SVD เทคนิคในโปรแกรมแมทแลบหาช่องสัญญาณ $\mathbf{H}$ แล้วจะได้ข้อมูลเป็น

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

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

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

เราสามารถหาการกระจายค่ารากของสมการที่มีลักษณะเฉพาะของ $\mathbf{HH}^H$ การกระจายค่านี้จะใช้วิธีการของ SVD จากเหตุผลที่ว่าจำนวนสายอากาศที่เพิ่มขึ้นทั้งภาครับและภาคส่งมีผลทำให้ความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นแบบจำนวนเชิงเส้น

2.4.2 ช่องสัญญาณที่มีการเฟด (Fading channel)

หัวข้อนี้สมมติให้อัตราขยายของช่องสัญญาณได้จากช่องสัญญาณราบเรียบแทนด้วย $\mathbf{H}_{ij}$ ในกรณีที่ช่องสัญญาณเป็นแบบคงที่ ความจุช่องสัญญาณจะขึ้นอยู่กับการรับรู้สถานะช่องสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่ง ซึ่งมีความสมบูรณ์แบบมากจึงได้ความจุช่องสัญญาณเท่ากับค่าเฉลี่ยช่องสัญญาณภายใต้การจัดสรรกำลังสูงสุด

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

การรับรู้สถานะช่องสัญญาณที่ภาคส่งจะมีการส่งผ่านในแต่ละช่องสัญญาณโดยค่ากำลังสูงสุดและค่าเฉลี่ยความจุช่องสัญญาณนี้'เรียกว่า ความจุช่องสัญญาณ แบบเออร์กอร์ดิกมีค่าเฉลี่ยกำลังคงที่ในแต่ละพอร์ตแทนด้วย $\overline{P}$ ดังนั้นจะได้ความจุช่องสัญญาณ

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

$$= E_{\mathbf{H}}\left[\max_{P_i:\sum_i P\le P_i} \sum_i B\log_2\left(1+\frac{P_i\gamma_i}{P}\right)\right] \tag{2.30}$$

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

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

พิจารณาเวลาแปรผันตามช่องสัญญาณ โดยมีการสุ่มใช้ช่องสัญญาณที่เกิดขึ้น มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาครับแต่ไม่รู้ที่ภาคส่ง หาความจุช่องสัญญาณ ได้จาก

$$C = \max_{R_x:T_r(R_x)=\rho} E_{\mathbf{H}}\left[B\log_2 \det\left[I_{M_r} + \mathbf{H}R_x\mathbf{H}^H\right]\right] \tag{2.31}$$

โดยความจุช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนสายอากาศที่มีค่าน้อยสุดของภาคส่งหรือภาครับ $M = \min\left(M_t, M_r\right)$

3. เมื่อไม่รู้ช่องสัญญาณที่ภาคส่งหรือภาครับ (No CSI at transmitter or receiver)

ความจุช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเชิงเส้นเช่นเดียวกับเมื่อรับรู้สถานะช่องสัญญาณ แต่จะให้ความจุช่องสัญญาณที่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามความจุช่องสัญญาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่เปลี่ยนไป ซึ่งการหาช่องสัญญาณในแต่ละวิธีจะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป

2.4.3 ช่องสัญญาณที ใช้พิจารณาในโครงการวิจัย

เมื่อไม่มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาคส่ง ความจุช่องสัญญาณในระบบไมโมที่ใช้แสดงได้ดังนี้

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

เมื่อ B คือ แบนด์วิดธ์

$\det(.)$ คือ การแทนการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ (determinant) ของเมทริกทซ์

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

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

$\mathbf{H}^H$ คือ การทรานสโพสคอนจุเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ

P_t / P_n คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

2.5 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Sharif, M.; Hassibi, B., (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คือ อาศัยการป้อนกลับข้อมูลสถานะช่องสัญญาณเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่นเนื่องจาก การป้อนกลับข้อมูลอย่างสมบูรณ์นั้นมีความยากและซับซ้อนสูง หลักการของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คือ ภาคส่งสุ่มก่อลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับลำคลื่นไหนก็จะป้อนข้อมูลกลับมายังภาครับจากนั้นภาครับก็จะส่งข้อมูลออกไปตามลำคลื่นนั้น ซึ่ง

ประสบความสำเร็จสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้ แต่พบว่าไม่รองรับหากมีผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้น Wan Choi; Forenza, (2007) จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสการเลือกลำคลื่น คือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการรอบรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่าข้อมูลป้อนกลับนั้นมีบิตผิดพลาดจำนวนมากทำให้ Dahman, G.S.; (2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย แต่ยังพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นอาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิวในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้แล้วจะคำนวณทิศทางของผู้ใช้นั้นและก่อรูปลำคลื่นออกไปยังผู้ใช้เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะได้กล่าอย่างละเอียดในบทถัดไป

2.6 สรุปท้ายบท

สายอากาศเก่งประกอบสองส่วนคือ สวนที่เป็นสายอากาศแถวลำดับและส่วนประมวลผลสัญญาณซึ่งสามารถหันพูหลักไปในทิศทางที่ต้องการและหันจุดศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ การที่จะหันพูหลักไปในทิศทางที่ต้องการได้นั้นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศแต่ละต้น และระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งก็เป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาพัฒนาในเครือข่ายไร้สายเพราะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้แต่ไม่เพิ่มการใช้ทรัพยากรความถี่จึงมีหลายงานวิจัยคิดค้นเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งรวมทั้งงานวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน

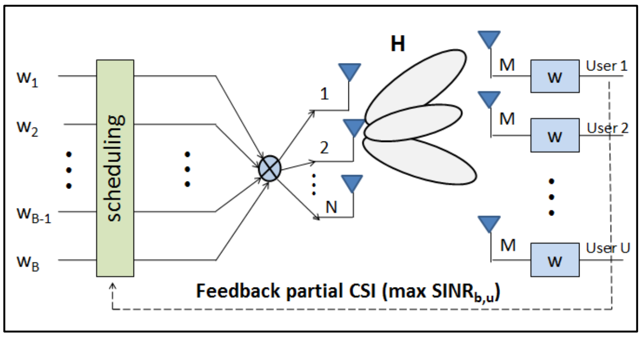
บทที่ 3
การออกแบบระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย 8 ส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรกเป็นกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ในส่วนที่กล่าวถึงการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส ส่วนที่สามกล่าวถึงการประมาณตำแหน่ง ส่วนที่สี่กล่าวถึงระบบแอลทีอี ส่วนที่ห้ากล่าวถึงหลักการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย ส่วนที่หกกล่าวถึงความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย ส่วนที่เจ็ดกล่าวถึงแบบจำของระบบการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส และส่วนสุท้ายคือสรุปท้ายบท

3.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส

อย่างที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีไมโม หรือ เอสดีเอ็มเอนั้นสามารถในการเพิ่มความจุช่องสัญญาณให้กับระบบสื่อสารไร้สารเซลลูลาร์โดยปราศจากการใช้ทรัพยากรความถี่เพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามการที่จะประสบความสำเร็จที่สูงในระบบเอสดีเอ็มเอนั้น จะต้องมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ (CSI) ที่ภาคส่ง ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นสำหรับการรับรู้สถานะช่องสัญญาณอย่างสมบูรณ์นั้น (full CSI) มีความยากและซับซ้อนสูง อีกทั้งช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา และบิต (bit) ข้อมูลที่ป้อนกลับนั้นต้องใช้จำนวนมาก ทำให้เมื่อบิตข้อมูลมาถึงภาคส่งปลี่ยนไป เกิดการถอดรหัสผิดพลาดจึงได้มีการวิจัยเกิดขึ้นเพื่อทำให้เกิดโอกาสเอสดีเอ็มเอโดยการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณเพียงบางส่วน แต่สามรถเพิ่มประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณได้ ซึ่งเรียกว่าการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส (Opportunistic Space-Division Multiple Access : OSDMA) เทคนิค จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงหลักการทำงานของระบบโอเอสดีเอ็มเอ ซึ่งที่ภาคส่งมีการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปจำนวน B ลำคลื่น และมีใช้บริการที่ต้องการเข้าใช้งานช่องสัญญาณจำนวน U คน หากผู้ใช้ได้รับสัญญาณสูงสุดตรงกลับลำคลื่นใดก็จะส่งข้อมูลนั้นป้อนกลับไปยังภาคส่งเพื่อที่ภาคส่งจะได้ใช้ข้อมูลนั้นในการส่งข้อมูลไปตามทิศทางของลำคลื่นนั้นๆและสัญญาณที่ภาครับรับได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบโอเอสดีเอ็มเอ

$$\mathbf{Y} = \sqrt{\rho}\mathbf{HW} + \mathbf{n} \tag{3.1}$$

เมื่อ ρ คือสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ทางภาครับ $\mathbf{H}$ คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณมีขนาด MxN และ $\mathbf{n}$ คือเมทริกซ์สัญญาณรบกวนที่ภาครับมีขนาด Mx1

เนื่องจากปราศจากการรับสถานะช่องสัญญาณอย่างสมบูรณ์ที่ภาคส่งจึงมีการส่งก่อรูปลำคลื่นออกไปเท่ากับ B ลำคลื่น เป็นเวกเตอร์ตั้งฉากของ ϕ_b เมื่อ $b = 1,\ldots,B$ และ ϕ คือทิศทางการส่งออกไปที่สอดคล้องกับทุกทิศทาง และมีเวกเตอร์สัญลักษณ์ s_b ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งออกไปจะได้

$$w_b = \sum_{b=1}^{B} \phi_b s_b \tag{3.2}$$

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

$$\mathbf{Y} = \sum_{b=1}^{B} \mathbf{H}[\phi_1 s_1,\ldots,\phi_B s_B] + \mathbf{n} \tag{3.3}$$

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

$$SINR_{b,u} = \frac{\left|\mathbf{H}\phi_b\right|^2}{1/\rho + \sum_{b \neq u}\left|\mathbf{H}\phi_b\right|^2} \tag{3.4}$$

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

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

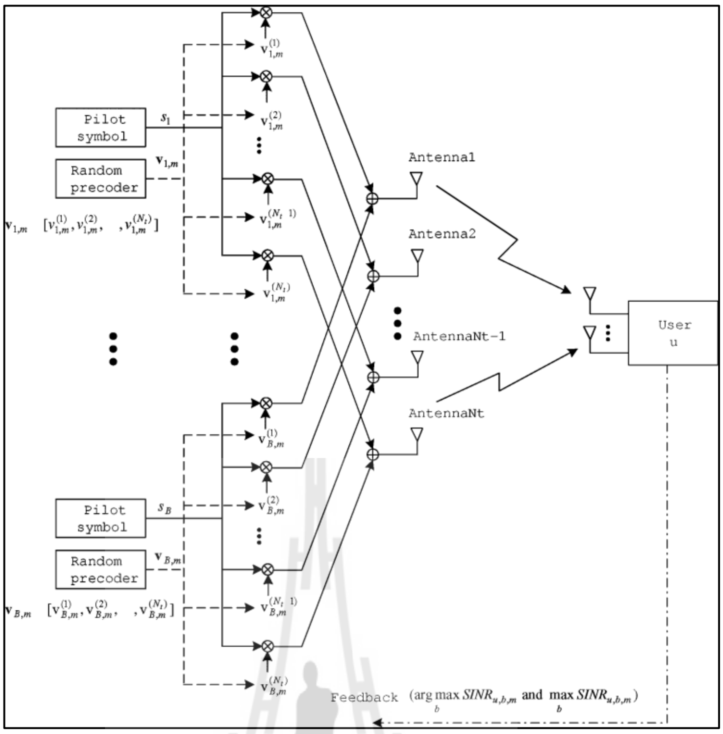
เมื่อกำหนดให้สายอากาศทางภาครับเป็น M=1

3.2.1 ประเภทของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส

เทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสนั้นสามารถที่จะลดบิตข้อมูลในการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปได้และยังเพิ่มค่าความจุช่องสัญญาณได้ด้วยเช่นกัน แต่ การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสยังไม่สามารถรองรับได้เมื่อจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น จึงมีหลายงานวิจัยพัฒนาเทคนิคเพื่อรองรับกับจำนวนของผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นแต่ยังคงแนวความคิดของการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส คืออาศัยการรับสถานะช่องสัญญาณเพียงบางส่วนที่ภาคส่ง ซึ่งรายละเอียดวิธีการของแต่ละเทคนิคนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.2.1.1 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น

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



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

และ $L-\tau M$ ใช้สำหรับส่งข้อมูลในทุกๆไทม์สล็อต ในทุกๆมินิสล็อตจะมีเวอกเตอร์ $B=\{v_{b,m}\in C^{N_t\times 1}, m=1,\ldots,M\}$ สุ่มส่งออกไปเมื่อ b และ m หมายถึงอินเด็กซ์ของลำคลื่นและมินิสล็อตตามลำดับ สัญลักษณ์ไพลอต (pilot symbol) B คือ $\{s_b\}$ เป็นตัวคูณกับเวกเตอร์ลำดับคลื่น $v_{b,m}$ และส่งออกไปบนเครือข่ายไร้สายที่ทุกๆมินิสล็อต $(m=1,\ldots,M)$ และสัญญาณที่รับได้ที่ u ผู้ใช้ ใน m-th มินิสล็อต คือ

$$y_{u,m}=\sum_{b=1}^{B}\mathbf{h}_u^T v_{b,m}s_b+n_u \qquad u=1,\ldots,U \tag{3.6}$$

เมื่อ h_u คือเวกเตอร์ช่องสัญญาณสำหรับ u ผู้ใช้ใดๆ $v_{b,m}$ คือเวกเตอร์สุ่มก่อรูปลำคลื่นที่ m-th มินิสล็อตใดๆ s_b คือ b-th สัญลักษณ์ไพลอต n_u คือเวกเตอร์สัญญาณรบกวนเกาส์เซี่ยนที่ u-th ผู้ใช้ และ T คือทราสโพสของเวกเตอร์ นอกจากนั้นแล้วสมมติให้ $E\left[\left|s_m\right|^2\right]=P/B$ ดังนั้นกำลังส่งรวมคือ P ทางภาครับแต่ละ u-th ผู้ใช้สามารถคำนวณสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดและรบกวนได้ดังนี้

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

เมื่อ $\rho = P / N_0$ คือ สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio : SNR) อินพุต สำหรับทุกๆ มินิสล็อตที่ผู้ใช้รับได้จะมีการป้อนกลับข้อมูลที่รับสัญญาณ SINR ได้สูงสุดตรงกับอินเด็กซ b ใด มายังภาคส่งและค่าความจุช่องสัญญาณสามารถคำนวณได้

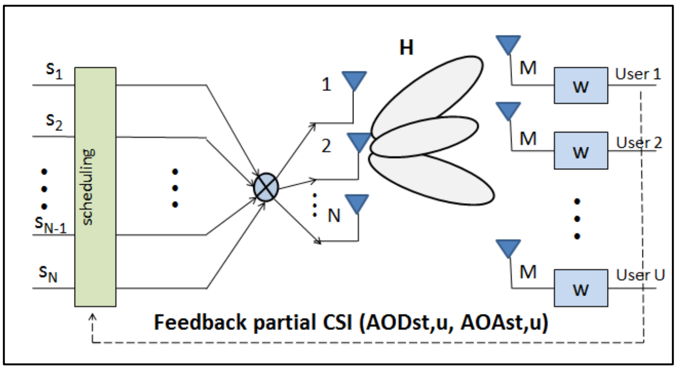
$$R_m \triangleq \sum_{b=1}^{B} \log_2\left(1 + \max_{1 \le u \le U} SINR_{u,b,m}\right) \qquad m = 1, \ldots, M \tag{3.8}$$

และสำหรับค่าความจุช่องสัญญาณของทุกๆ ไทม์สล็อตสามารถหาได้จาก

$$R \triangleq \left(L - \tau M\right) \max_{1 \le m \le M} R_m \tag{3.9}$$

3.2.1.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออก

ถึงแม้ว่าระบบ OSDMA-S จะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณขึ้นได้แต่ยังพบว่ามีข้อด้อยอยู่ คือ ยังใช้บิตในการสุ่มส่งออกไปเพื่อรับรู้สถานะช่องสัญญาณป้อนกลับจากภาครับในจำนวนที่มากอยู่และมีโอกาสเกิดบิตผิดพลาด 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 ต้นและทางภาครับแต่ละผู้ใช้มี M ต้น ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ $\lambda/2$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่น และ $\mathbf{H}$ คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณมีขนาด $M \times N$ ระหว่างภาคส่งและภาครับและโครงสร้างของเฟรมสมมติให้ทุกๆ ไทม์สล็อตมีขนาด T ประกอบด้วย K มินิสล็อตแต่ละมินิสล็อตสำหรับส่งเทรนนิ่งมีขนาด τ และจะเหลือ $T - \tau K$ สำหรับใช้ส่งข้อมูล



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ AOD-OSDMA

ในสภาพแวดล้อมการแผ่กระจ่ายของคลื่นมีหลายทิศทาง (multipath) ที่ภาคส่งส่งไปยังภาครับ สัญญาณที่รับได้ก็ประกอบด้วยหลายทิศทาง (multipath components :MPCs) ซึ่งแต่ละ CPMs จะประกอบด้วย กำลัง เฟส AOD AOA และการประวิง (delay) ซึ่งในเทคนิคนี้จะอาศัยทิศทางของการเดินทางออกจากภาคส่งและมาทิศทางที่มาถึงภาครับ แล้วทิศไหนสามารรับสัญญาณได้สูงสุดก็จะก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกตามทิศทางนั้น

1) การประมาณมุมที่ต้นทาง (angle of departure estimation)

ถ้าทางภาคส่งมีการสุ่มส่ง สัญลักษณ์ไพลอต (pilot symbol) s_n ออกไปและสัญญาณที่แต่ละ u-th ผู้ใช้รับได้คือ

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

เมื่อ $[\cdots]^T$ คือทราสโพส $\mathbf{n}_u^{M\times 1}$ คือเวกเตอร์เกาส์เชี่ยนสัญญาณรบกวน s_n คือ สัญญาณไพลอตที่ภาคส่งส่งออกไป $\mathbf{H}_u^{M\times N}$ คือช่องสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับแต่ละ u-th ซึ่งสามารถเขียนได้

$$\mathbf{H}_u^{M\times N} = \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{l,u} e^{j\phi_{l,u}} SV_{AOA_{l,u}}^T SV_{AOD_{l,u}} \tag{3.11}$$

$$SV_{AOD_{l,u}} = \frac{1}{\sqrt{N}}\begin{bmatrix} e^{jka_{BS}\cos\left(AOD_{l,u}-\varphi_{1,BS}\right)} \\ e^{jka_{BS}\cos\left(AOD_{l,u}-\varphi_{2,BS}\right)} \\ \dots \\ e^{jka_{BS}\cos\left(AOD_{l,u}-\varphi_{N,BS}\right)} \end{bmatrix}^T \tag{3.12}$$

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

เมื่อ $SV_{AOD_{l,u}}$ คือ เวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบสายอากาศในทิศทาง $AOD_{l,u}$ $SV_{AOA_{l,u}}$ คือ เวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบสายอากาศทางภาครับในทิศทาง $AOA_{l,u}$ $\varphi_{n,BS}$ คือตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบสายอากาศแถวลำดับทางภาคส่งและมีค่า $\varphi_{n,BS} = \frac{2\pi n}{N}, n = 1,2,\ldots,N$ $\varphi_{m,u}$ คือตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบสายอากาศแถวลำดับทางภาครับและมีค่า $\varphi_{m,u} = \frac{2\pi m}{M}, n = 1,2,\ldots,M$ 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 $AOA_{l,u}$ คือแอมพลิจูด เฟส AOD และ AOA ของแต่ละ l-th MPCs

สมมติมี N สัญญาณไพลอตโดยผู้ใช้ทั้งหมดรับรู้ และสมารถประมาณช่องสัญญาณ $\mathbf{H}_u^{M\times N}$ จากสัญญาณ $y_u^{M\times 1}$ ที่รับได้ ให้จำกัดจำนวนสายอากาศทางภาคส่งและภาครับ จำนวนลำคลื่นที่สามารตรวจจับได้จากการประมาณช่องสัญญาณเท่านั้น เมื่อแต่ละลำคลื่นประกอบด้วยหลาย MPCs กับ AOD_s และ AOA_s ค่า AOD ของลำคลื่นที่แข็งแรงที่สุด (strongest beam) สามารถหาได้จาก

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

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

2) การก่อรูปลำคลื่นร่วมระหว่างภาคส่งและภาครับ (joint Tx-Rx Beamforming)

ถ้า $M > 1$ ผู้ใช้แต่ละคนสามารถประมาณ AOA ของลำคลื่นที่แข็งแรงสุดและเพิ่ม AOD ด้วยเมื่อสำเร็จจะมีการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่แข็งแรงสุดระหว่างภาครับและภาคส่งและสามารถหาค่า AOA จากลำคลื่นที่แข็งแรงสุดได้

$$AOA_{st,u} = \arg \max_{0 \le AOA \le 2\pi} \left| SV^{*}_{AOA} \mathbf{H}_{u}^{M \times N} SV^{H}_{AOD_{st,u}} \right| \tag{3.15}$$

เมื่อ $(\cdots)^{*}$ คือคอนจุเตเชิงซ้อนและ $SV_{AOD_{st,u}}$ คือเวกเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบและมีทิศทางลำคลื่นที่แข็งเราที่สุดระหว่างภาคส่งและภาครับ ค่า SNR ของลำคลื่นที่แข็งแรงสุดซึ่งเป็นผลจากการร่วมก่อรูปลำคลื่นระว่างภาคส่งและภาครับสามารถคำนวณได้

$$SNR\left(AOD_{st,u} AOA_{st,u}\right) = \frac{\left| SV^{*}_{AOA_{st,u}} \mathbf{H}_{u}^{M \times N} SV^{H}_{AOD_{st,u}} \right|^{2}}{1/\rho} \tag{3.16}$$

เมื่อ ρ คือ SNR อินพุตที่แต่ละผู้ใช้และค่าความจุช่องสัญญาณของ AOD-OSDMA สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R = \left(T - \tau\right) \sum_{u=1}^{U} \log_{2}\left(1 + SINR_{u}\right) \tag{3.17}$$

เมื่อ $SINR_{u}$ คือสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ที่ u-th ผู้ใช้รับได้และสามารถคำนวณได้จาก

$$SINR_{u} = \frac{\left| SV^{*}_{AOA_{st,u}} \mathbf{H}_{u}^{M \times N} SV^{H}_{AOD_{st,u}} \right|^{2}}{1/\rho + \sum_{n=1, n \neq u}^{U} \left| SV^{*}_{AOA_{st,BS}} \mathbf{H}_{u}^{M \times N} SV^{H}_{AOD_{st,BS}} \right|^{2}} \tag{3.18}$$

3.2.1.3 เทคนิคที่นำเสนอในโครงการวิจัย

เทคนิคใหม่ที่นำเสนอนี้เป็นอีกหนึ่งประเภทของระบบ OSDMA เรียกว่าการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส (GPS Aided Opportunistic Space Division Multiple Access : GPS-Aided OSDMA) เป็นการสร้างโอกาสให้เกิดการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งโดยไม่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณโดยตรงจากผู้ใช้ แต่อาศัยข้อมูลการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ของผู้ใช้โดยอ้อมที่สถานีฐาน เพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังผู้ใช้สำหรับการออกแบบระบบและรายละเอียดต่างๆจะบรรยายในหัวข้อถัดไป

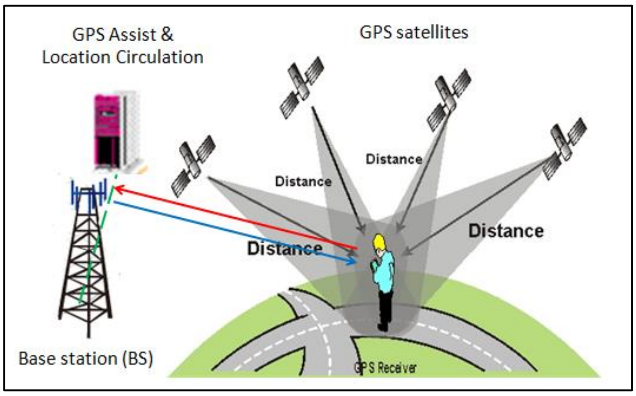
3.3 การประมาณตำแหน่ง (Location estimation)

ระบบกำหนดตำแหน่งของโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System :GPS) คือระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรอยู่บนโลกซึ่งทราบตำแหน่ง 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 จีพีเอสในโทรศัพท์มือถือ ซึ่งแทบจะทุกรุ่นทุกยี่ห้อได้มีการออกแบบให้เชื่อมโยงกับแผนที่ออนไลน์ เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นในการค้นหาตำแหน่งจากโทรศัพท์มือถือ

แต่เนื่องจากการที่จะได้รับตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำนั้น ต้องใช้การยืนยันตำแหน่งโดยอาศัยพิกัดจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง นอกจากนั้นแล้วจีพีเอส จะระบุตำแหน่งที่แน่นอนได้ภายนอกอาคาร แต่ภายในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างจะเกิดการลดทอนหรือจางหายของสัญญาณดาวเทียมและอีกประการหนึ่งคือการใช้ข้อมูลการโคจรของดาวเทียมในการคำนวณตำแหน่งนั้นใช้เวลาประมาณ 30 ถึง 40 วินาที ซึ่งการดาวน์โหลดข้อมูลโคจรโดยตรงหลายๆครั้งจะใช้เวลานานมากกว่านั้น ดังนั้นระบบจีพีเอส จึงถูกนำมาใช้โดยผ่านทางเซิร์ฟเวอร์ โทรศัพท์มือถือสามรถดาวน์โหลดได้ผ่านเซิร์ฟเวอร์สถานีฐานที่ให้บริการนั้น เป็นการรวมโครงข่ายไร้สาย และระบบดาวเทียมเข้าด้วยกันเพื่อรองรับปัญหาทั้งสองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงยุค 3G และยังคงพัฒนาต่อไปในอนาคตดังปรากฏในแนวความคิดของของโทรศัพท์ในยุค 5G จะต้องสามารถบอกตำแหน่งได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้

การหาตำแหน่งภายใต้จุดศูนย์กลางของโลกหรือขอบเขตการอ้างอิงอื่นๆ $U_u(x_u, y_u)$ กำหนดระยะพิกัดใน 2 มิติของผู้ใช้ และ $U_i(x_i, y_i)$ $i = 1,\ldots,n,\ \ n \ge 4$ เป็นระยะห่างจากดาวเทียม (หรือสถานีฐาน) กับผู้ใช้โดยคำนวณได้จาก

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



รูปที่ 3.4 การรวมระบบจีพีเอสเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

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

$$T_u = \left(x_u, y_u, ct_u\right)^T \tag{3.20}$$

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

$$\hat{T}_u = \left(\hat{x}_u, \hat{y}_u, c\hat{t}_u\right)^T \tag{3.21}$$

นอร์มอลไลซ์ได้

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

เมื่อ $\hat{\gamma}_i = \sqrt{\left(\hat{x}_u - x_i\right)^2 + \left(\hat{y}_u - y_i\right)^2} \quad i = 1,2,\ldots,n,\ \ n \geq 4$

ใช้ทฤษฎีอนุกรม เทย์เรอร์กับสมการที่ (3.19) จะได้

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

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

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

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

การประมาณลำดับที่ 1 ที่รับได้

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

และเขียนขั้นตอนการประมาณได้

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

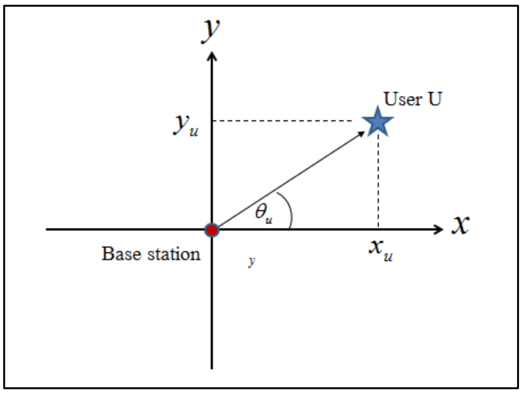
หาค่าที่ได้รับน้อยกว่าได้

$$T = (\delta x_u, \delta y_u, \delta ct_u)^T \tag{3.27}$$

สุดท้ายการประมาณตำแหน่งที่แม่นยำได้

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

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 ก็จะมีเทคนิคในการการประมาณตำแหน่งจากสายอากาศเก่งในการรับมุม แล้วหาจาก adopted ซึ่งเป็นความต่างของเวลาที่มาถึง (TDOA) ที่วัดจะการส่ง link pilot signal แล้ววันมุมที่มาถึง

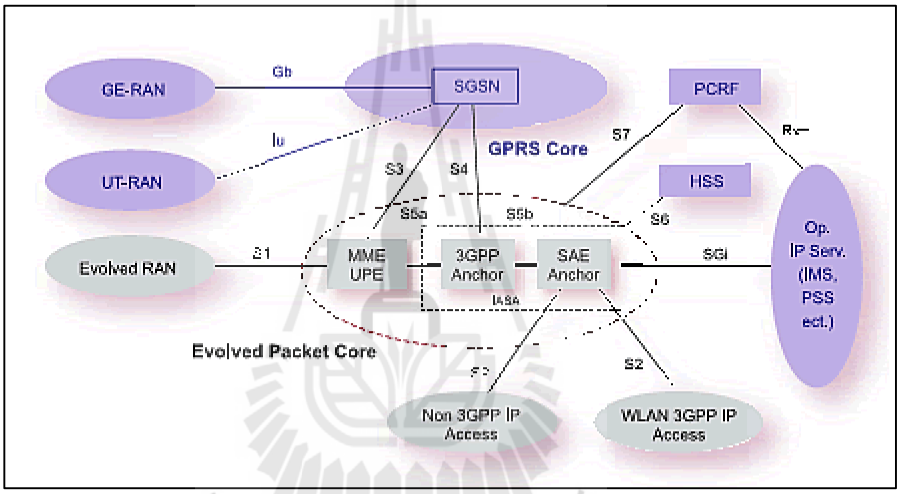
จากรูปที่ 3.5 เมื่อข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ถูกเก็บอยู่ในเซิร์ฟเวอร์แล้วหากมีการร้องขอใช้บริการจากผู้ใช้เข้ามายังระบบสถานีฐานก็สมารถคำนวณทิศทางในการก่อรูปลำคลื่นไปยังตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่ได้ดังนี้

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

3.4 ระบบแอลทีอี (LTE system)

แอลทีอี (Long Term Evolution: LTE) เป็นชื่อโครงการของระบบสื่อสารโทรศัพท์มือถือ 4G จุดประสงค์ของการสร้างแอลทีอีส่วนหนึ่งก็คือการทำให้เวลาแฝง (Latency) ลดลง ซึ่งวิธีที่ได้ผลที่สุดก็คือการทำให้สถาปัตยกรรม (Architecture) นั้นแบนราบที่สุด ซึ่งทำให้เทคโนโลยีแอลทีอีเป็นแบบง่าย ๆ มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือระบบย่อยสถานีฐาน eNodeB (evolved Node B) และ EPS (Evolved Packet System) และยังมีส่วนประกอบภายในเพื่อให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนแรกที่ขาดไม่ได้คือ 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 และ

รวมถึงการทำงานร่วมกันของเครือข่าย 2G/3G กับแอลทีอีด้วย ส่วน SAE Gateway จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ให้กับข้อมูลในด้านการรับส่งออกจากเครือข่าย ซึ่ง SAE Gateway เองก็อาจจะทำหน้าที่เป็น PDN (Packet Data Network) Gateway ที่จะรับส่งข้อมูลต่าง ๆ จากภายนอกเครือข่ายอีกด้วย ซึ่ง ณ จุดนี้จะมีการกำหนดแผนการ (Policy) ต่าง ๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.6 ที่มี 3GPP Anchor และ SAE Anchor ที่รวมเข้าเป็น SAE Gateway โดยมีเป้าหมายในการออกแบบให้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากขึ้นและเร็วขึ้นบนพื้นฐานเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทางอากาศ (air interface) โดยมีความสามารถดาวโหลดได้สูงถึง 100 Mbps ความเร็วอับโหลด 50 Mbps และปิงต่ำกว่า 10 มิลลิวินาที ซึ่งรายละเอียดการจัดสรรคลื่นความถี่และความสามารถอื่นที่มีในระบบ LTE จะได้กล่าวในลำดับถัดไป



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

3.4.1 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 เข้ามาเพื่อพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับเพิ่มความจุช่องสัญญาณในงานวิจัยนี้ ซึ่งดูได้จากตารางที่ 3.1

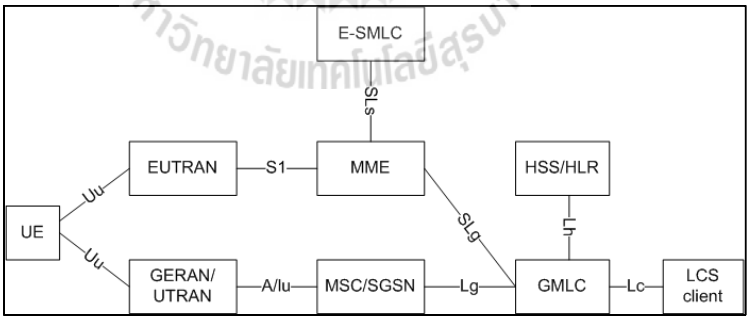
ตารางที่ 3.1 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหน่วยเมตร [Huawei Technologies Co., Ltd. (2014).]

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 เปอร์เซ็นต์และ95 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

3.4.1.1 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 eNoodB ที่เกี่ยวข้อง คำนวณโลเกชันของผู้ใช้ เสร็จแล้วก็ทำการส่งข้อมูลไปยัง MME ผ่าน SLs แต่ถ้า MME หรือ GMLC เป็นผู้ส่งการร้องขอ ก็จะส่งข้อมูลไปที่ MME หรือ GMLC

3.4.1.2 หลักการและขั้นตอนในการระบุตำแหน่ง

3.4.1.2.1 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งทั่วไป

จากรูปที่ 3.8 อธิบายได้ว่า

1) เริ่มต้นที่ NE

ในขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนไปตามชนิดของ NE ซึ่งอาจจะเป็นผู้ใช้ MME หรืออื่นๆใน EPC

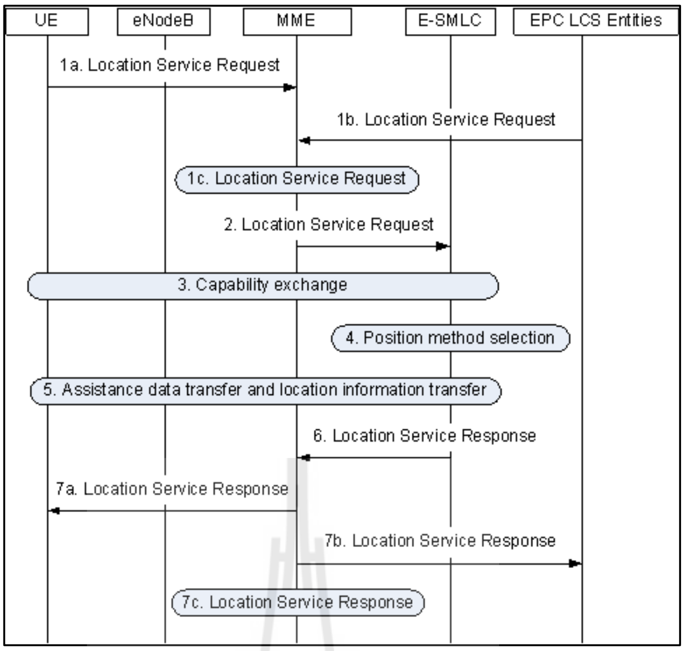
- 1a ผู้ใช้ส่งร้องขอบริการโลเกชันไปที่ MME
- 1b GMLC ส่งร้องขอบริการโลเกชันไปที่ MME
- 1c ที่ PLMN ได้รับการร้องขอบริการโลเกชัน

2) MME ส่งคำร้องขอไปที่ E-SMLC

3) ผู้ใช้รางานการคำนวณตำแหน่งไปที่ 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

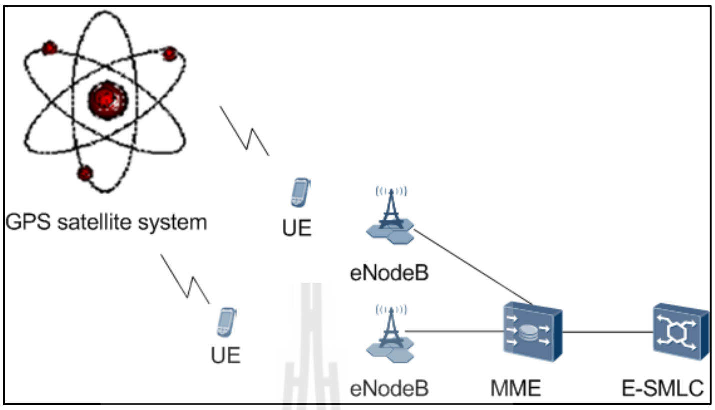
5) ถ้า E-SMLC ตัดสินว่า eNodeB มีส่วนร่วมในการระบุตำแหน่งจะต้องมีการแลกเปลี่ยนขั้นตอนโลเกชันกับ eNodeB ที่ให้บริการวัดตำแหน่งหรือได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลอยู่ขณะนั้น แต่ถ้า E-SMLC ตัดสินว่าผู้ใช้มีส่วนร่วม จะต้องมีการแลกเปลี่ยนการประมาณโลเกชันกับผู้ใช้

6) E-SMLC ได้จัดเตรียมตอบสนองบริการโลเกชันส่งไปที่ MME รวมถึงรายละเอียดเกียวกับว่าทำการสำเร็จหรือล้มเหลวและข้อมูลผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง

7) ส่งการตอบสนองบริการโลเกชัน

- 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).]

3.4.1.2.2 หลักการของ A-GPS

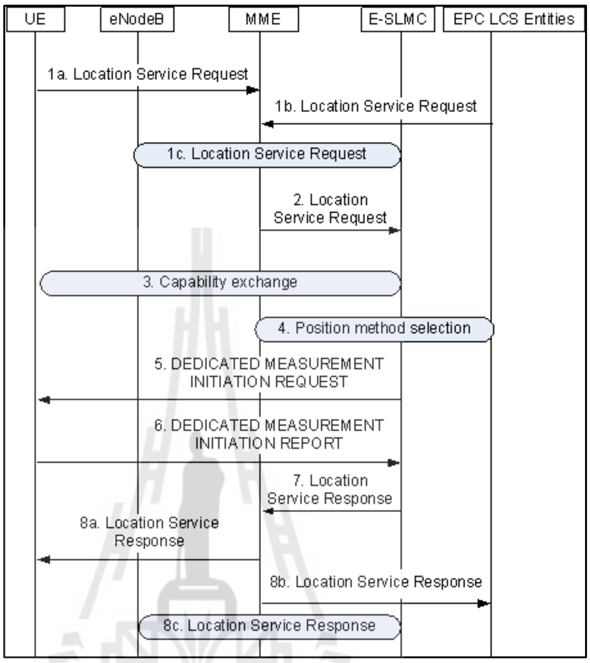
จีพีเอส (Global Positioning System : GPS) คือระบบนำทางบนโลกด้วยระบบดาวเทียมที่ดำเนินการโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งของวัตถุได้อย่างแม่นยำรอบโลกหากได้รับสัญญาณจากดาวเทียมในจำนวนที่เพียงพอสำหรับกำหนดตำแหน่งในแนวระดับสายตาระหว่างดาวเทียมกับวัตถุ ใน E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio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

ในรูปที่ 3.9 จะมีดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวงโคจรรอบโลก โดยแบ่งเป็น 6 ระนาบๆละ 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 และ การรับรวดเร็วขึ้นนอกจากนั้นแล้ว 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).]

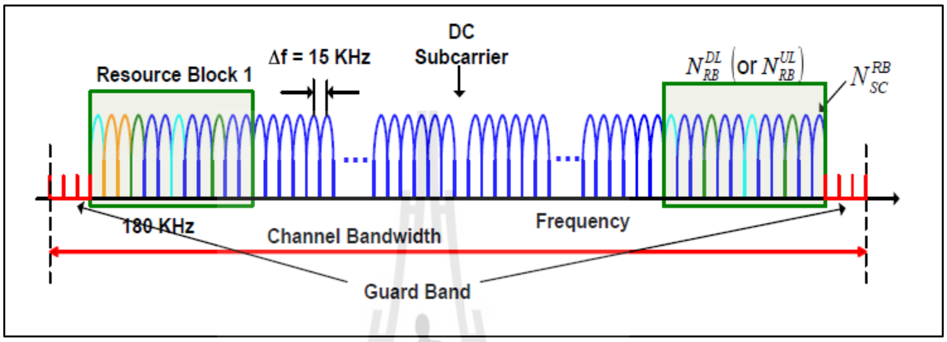
3.4.1.2.3 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวิธี A-GPS

ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวิธี A-GPS นั้นเหมือนกันกับในขั้นตอนทั่วไปแต่จะแตกต่างในขั้นตอนที่ 5 และ 6 ดังแสดงในรูปที่ 3.10

- ในขั้นตอนที่ 5 E-SMLC จะส่งร้องขอการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ของผู้ใช้และความอนุเคราะห์ข้อมูล
- ในขั้นตอนที่ 6 ถ้าอยู่ในโหมดผู้ใช้ ผู้ใช้จะรายงานข้อมูลลองจิจูดและแลตติจูดไปที่ E-SMLC แต่ถ้าอยู่ในโหมด E-SMLC ผู้ใช้จะทำการวัดวิถี GPS และ Doppler และรายงานผลการวัดไปที่ E-SMLC ที่ E-SMLC จะทำการคำนวณลองจิจูดและแลตติจูดของผู้ใช้ออกมาจะข้อมูลที่ได้รับจากผู้ใช้

3.4.2 การจัดสรรทรัพยากรคลื่นความถี่ในระบบแอลทีอี

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



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

Δf = Subcarrier spacing

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

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

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

จะเห็นได้ว่ามีการจัดสรรแต่ละคลื่นพาหะย่อยมีขนาดเท่ากับ 180 kHz และมีความห่างระหว่างคลื่นพาหะ 15 kHz และแบนด์วิดต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในระบบแอลทีอี แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงแบนด์วิดต่างๆที่ได้รับการพิจารณาใช้งานในระบบแอลทีอี [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).]

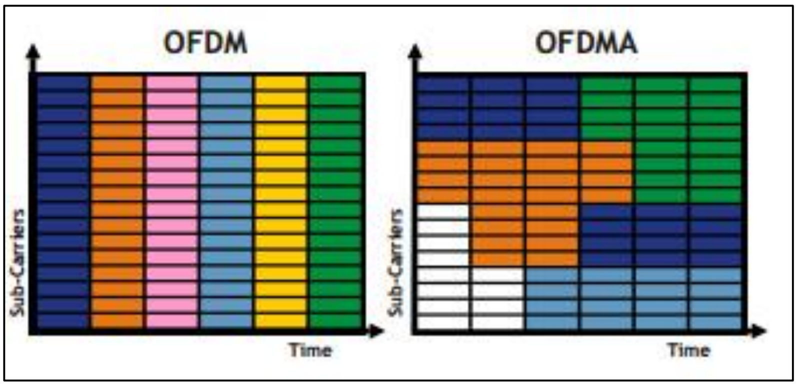
Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
Band 1	2100	2x60 MHz	1920 -1980	2110-2170
Band 2	1900	2x60 MHz	1850-1910	1930-1990
Band 3	1800	2x75 MHz	1710-1785	1805-1880
Band 4	1700/2100	2x45 MHz	710-1755	2110-2155
Band 5	850	2x25 MHz	824-849	869-894
Band 6	800	2x10 MHz	830-840	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) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีความถี่ยุคใหม่ในรุ่นใหม่ต่าง ๆ เช่น ไวแมกซ์ก็นำมาใช้งาน โดยทางแอลทีอีได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานด้านดาวน์ลิงก์และนำ SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) มาใช้งานทางด้านอัพลิงก์ ซึ่งนอกจากจะได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น สามารถที่จะให้บริการได้ที่ความเร็ว 100 Mbps ในด้านดาวน์ลิงก์ และ 50 Mbps ทางด้านอัพลิงก์แล้ว ยังมีความยืดหยุ่นตามแบบของ OFDMA ซึ่งช่วยให้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนใช้งานความถี่ได้ที่แบนด์วิดธ์ต่าง ๆ กันตั้งแต่ 1.25 ถึง 20 MHz จึงไม่เป็นข้อจำกัดที่จะให้บริการเทคโนโลยีแอลทีอีนี้ทางด้านความถี่ นอกจากเทคโนโลยี OFDMA ที่ใช้แล้ว เพื่อที่จะเพิ่มแบนด์วิดธ์ที่ได้ก็ได้มีการนำเทคโนโลยีของไมโมเข้ามาใช้งานด้วย ทำให้สามารถที่จะเพิ่มอัตราเร็วข้อมูลยิ่งขึ้นอีกด้วย



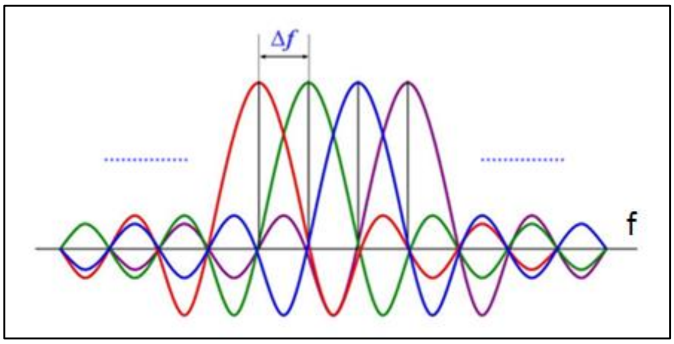
รูปที่ 3.12 เทคโนโลยี OFDM และ OFDMA [http://telecom10.blogspot.com]

3.4.2.1 การมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกันและการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกัน

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะตั้งฉากซึ่งกันและกัน หรือ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) มาจากเทคโนโลยี OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) ที่มีพื้นฐานของ FDM (frequency-division multiplexing) ซึ่งแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกันโดยที่ไม่ใช้แถบความถี่คุม (Guard Band) เพื่อแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน เพราะเป็นการสิ้นเปลืองความถี่ แต่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้เป็นอิสระต่อกัน หรือ การทำให้ตั้งฉากต่อกัน (Orthogonal) สัญญาณที่ตั้งฉากต่อกันนั้นเมื่อผ่านการโมดูเลชั่นที่ทำให้เกิดสัญญาณแถบความถี่ข้าง (Sideband) รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้นจะไม่มีสัญญาณรบกวนใด เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แถบความถี่คุมมาช่วยป้องและทำให้สูญเสียสเปกตรัมความถี่ไปบางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

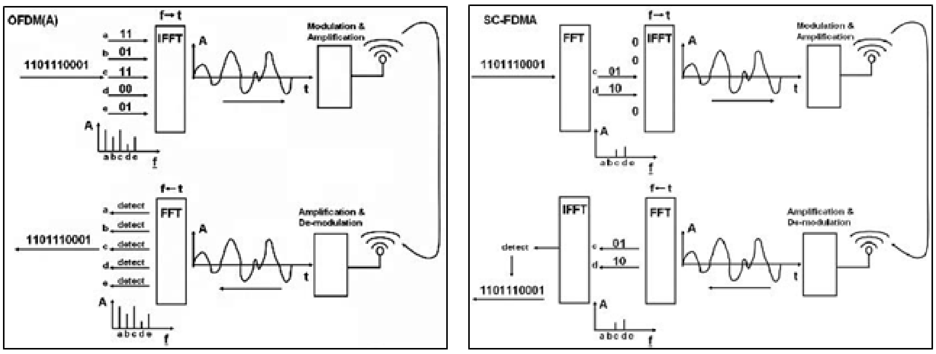
3.4.2.2 การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ที่สัญญาณพาหะเดี่ยว

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



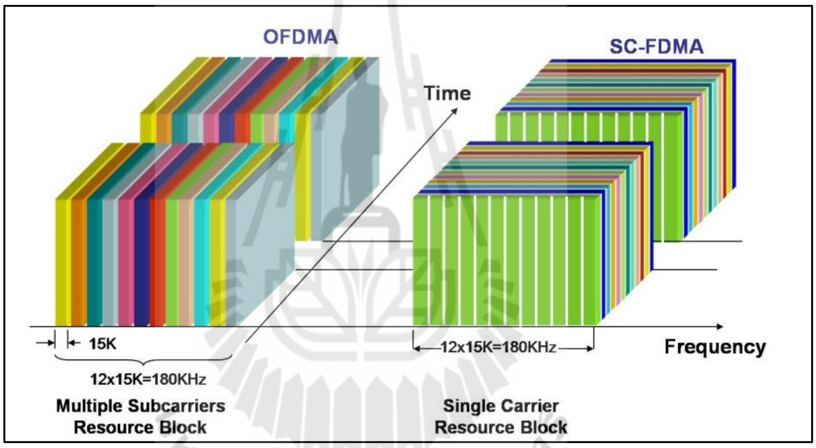
รูปที่ 3.13 การผสมสัญญาณที่ตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน [http://www.wirelessdesignmag.com]

จะเห็นว่าหลักการของ OFDMA จะแยกบิตสตรีมออกเป็นส่วน 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) มีการปรับวิธีโดยเพิ่มเติมกระบวนการ 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 ทำให้อุปกรณ์หรือการออกแบบนั้นซับซ้อนมากขึ้นใช้ความสามารถที่อุปกรณ์มากขึ้นด้วยแต่ด้วยข้อดีของ SC-FDMA ที่ใช้พลังงานลดลง จึงทำให้ ระบบแอลทีอีได้เลือกที่จะใช้เทคโนโลยีนี้ทางด้านอัพลิงก์ที่อุปกรณ์ของผู้ใช้บริการเพื่อให้ใช้งานพลังงานลดลงใช้งานได้นานขึ้นนั่นเอง



(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]

3.4.2.3 เทคโนโลยีที่นำเสนอในงานวิจัยสำหรับระบบแอลทีอี

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 นั้น งานวิจัยชิ้นนี้ให้ความสนใจที่จะพัฒนาอัลกอริทึมในระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง (Space Division Multiple Access : SDMA) เนื่องจากผู้ใช้บริการอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันแต่สามารถร่วมใช้ช่องสัญญาณเดียวกันพร้อมกันได้ภายในเซลล์ (cell) เดียวกันโดยไม่รบกวนกัน และเมื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยี OFDMA และ SC-FDMA ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยการแบ่งความถี่เป็นแต่ละคลื่นพาหะย่อยที่ใช้ในระบบแอลทีอีปัจจุบันแล้ว สำหรับระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งแต่ละคลื่นพาหะย่อยผู้ใช้บริการสามารเข้าร่วมใช้ช่องสัญญาณ ได้มากกว่าหนึ่ง ซึ่งก็หมายความว่าสามารที่เพิ่มการรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้นหลายเท่าตัวโดยที่ไม่เพิ่มความถี่

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำการระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วยให้เกิดโอกาสการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งเพื่อที่จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางของผู้ใช้บริการได้จากการคำนวณทิศทางจากการรับรู้ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่มีการอัพเดทอยู่ในเซิร์ฟเวอร์อยู่แล้วเมื่อมีผู้ใช้ร้องขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ โดยที่ไม่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณโดยตรงจากผู้ใช้บริการเหมือนกับในหลายงานวิจัยที่ได้ทำการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมมาแล้วนั้น พบว่าเกิดการถอดรหัสผิดพลาดจากการป้อนกลับข้อมูลช่องสัญญาณ ทำให้การก่อรูปลำคลื่นไปไม่ตรงกับทิศทางของผู้ใช้ และการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปเพื่อให้ผู้ใช้ป้อนกลับข้อมูลกลับมายังสถานีฐานนั้นทิศทางมีโอกาสที่จะไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่อีกด้วย ดังนั้นเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยจะช่วยในการลดกระบวนการในการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปยังผู้ใช้เพื่อรับรู้ข้อมูลช่องสัญญาณและยังสามารถก่อรูปลำคลื่นไปได้ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่อีกด้วย

3.5 หลักการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

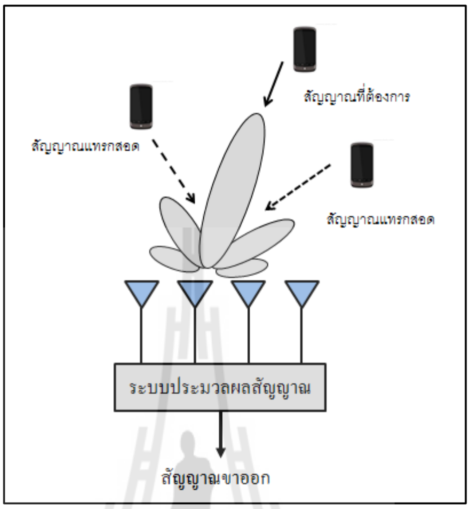
แนวความคิดของการทำของระบบที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้คือ เริ่มต้นด้วยเมื่อผู้ใช้ลงทะเบียนเข้ามาในเครือข่ายแล้วจะมีการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐาน เพื่อให้ทราบถึงสถานะของผู้ใช้ เช่น Idle Mode Active Mode Detached Roaming Handover Registration (Location Update) และ Paging เป็นต้น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

รูปที่ 3.16 แผนการทำงานของระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.6 การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight)

การถ่วงน้ำหนักหรือการก่อรูปลำคลื่นเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานของระบบสายอากาศเก่งดังแสดงในรูปที่ 3.17 ที่ประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ สายอากาศแถวลำดับและระบบประมวลผลสัญญาณ (signal processing systems) ซึ่งในระบบประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการหาทิศทางของสัญญาณที่เข้ามา (Direction-of-Arrival: DOA) และการคำนวณเพื่อก่อรูปลำคลื่น สำหรับโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศเก่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหันพูหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นเนื่องจากมีการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าสายอากาศแถวลำดับแบบระนาบและวงกลม มีองค์ประกอบของสายอากาศเท่ากับ 4 ต้น และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ d และกำหนดให้มีความห่างเท่ากับ $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 สมมติเป็นสายอากาศภาครับที่มีคลื่นเดินทางเข้ามาตกกระทบ

สายอากาศ และ θ คือมุมตกกระทบของสัญญาณที่เข้ามาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น D คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d\sin\theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ



รูปที่ 3.17 ระบบสายอากาศเก่ง

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

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

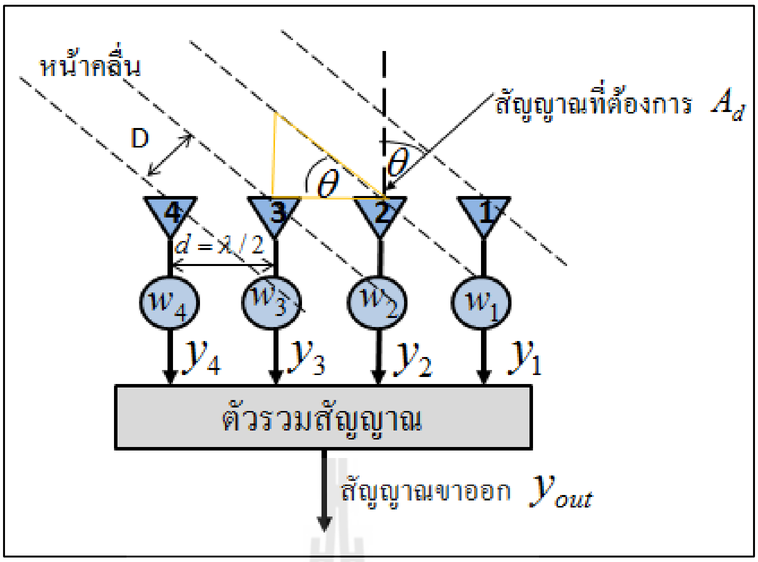
$$y_3 = w_3 A_d e^{-j(kd\sin\theta)(n-1)} = w_3 A_d e^{-j2(kd\sin\theta)} \tag{3.32}$$

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

w_n คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสัญญาณและ A_d คือสัญญาณที่ต้องการที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศในมุม θ ดังนั้นสัญญาณขาออกหรือ y_{out} คือ

$$y_{out} = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

$$= w_1(A_d) + w_2\left(A_d e^{-j(kd\sin\theta)}\right) + w_3\left(A_d e^{-j2(kd\sin\theta)}\right) + w_4\left(A_d e^{-j3(kd\sin\theta)}\right)$$



รูปที่ 3.18 ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น

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

หลักการสำคัญของการก่อรูปลำคลื่นที่จะสามารถหันพูหลักไปในทิศทางที่ต้องการได้ คือการปรับเฟสของสัญญาณที่รับเข้ามาด้วย w_n ที่เหมาะสม หรือในกรณีนี้เราต้องการปรับเฟสเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่ต้องการสูงสุด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก w_n คือ

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

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

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

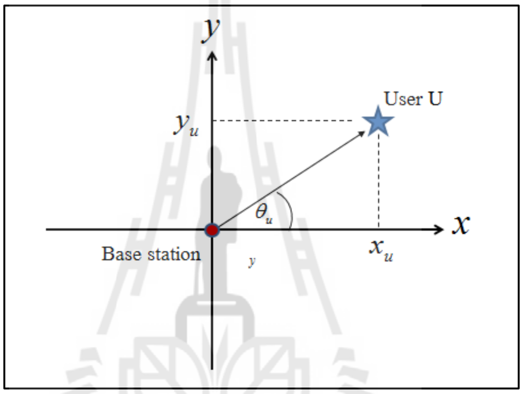
$$w_4 = e^{j3(kd\sin\theta)} \tag{3.38}$$

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

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

สำหรับในโครงการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ในการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่อยู่ใช้อยู่ ซึ่งข้อมูลตำแหน่งได้จากวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS ในระบบแอลทีซึ่งมีความแม่ยำมากที่สุดจากวิธีอื่น 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

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

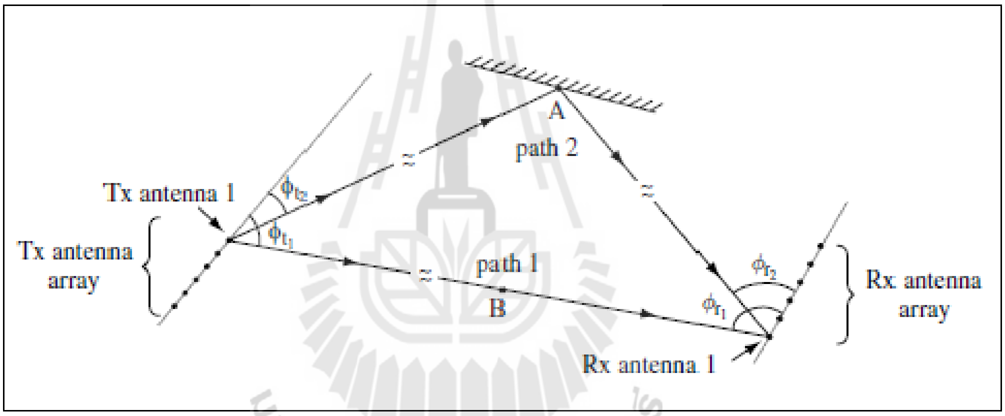
เมื่อ U คือจำนวนของผู้ใช้ที่ร้องขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ขนาด $N \times U$ ดังแสดงในสมการ 3.42 ซึ่ง N คือจำนวนสายอากาศแถวลำดับแบบเส้น ส่วน U คือจำนวนแบบรูปการแผ่พลังงานหรือจำนวนลำคลื่นที่ต้องการซึ่งเท่ากับจำนวนผู้ใช้ที่ร้องขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ

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

3.7 ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย

3.7.1 ช่องสัญญาณที่พิจารณา

จากรูปที่ 3.20 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทาง เมื่อมีการรับรู้สถานะช่องสัญญาณ โดยมีอัตราการลดทอนที่เกิดขึ้นในแต่ละทิศทาง แทนด้วย a_i มุมส่ง แทนด้วย $\phi_{ti}(\Omega_{ti} = \cos\phi_{ti})$ และมุมรับ แทนด้วย $\phi_{ri}(\Omega_{ri} = \cos\phi_{ri})$ ดังนั้นช่องสัญญาณ หาได้จาก



รูปที่ 3.20 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบไมโม [อภิญญา อินทร์นอก. 2553.]

$$\mathbf{H} = \sum_i a_i^b \mathbf{e}_r(\Omega_{ri})\,\mathbf{e}_t(\Omega_{ti})^H \qquad (3.43)$$

โดย
$$a_i^b = a_i\sqrt{M_t M_r}\exp\left(\frac{-j2\pi d_i}{\lambda_c}\right) \qquad (3.44)$$

$$\mathbf{e}_t(\Omega_{ti}) = \frac{1}{\sqrt{M_t}}\begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_t\Omega_{ti})] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_t-1)(2\pi\Delta_t\Omega_{ti})] \end{bmatrix} \qquad (3.45)$$

$$\mathbf{e}_r(\Omega_{ri}) = \frac{1}{\sqrt{M_r}}\begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_r\Omega_{ri})] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_r-1)(2\pi\Delta_r\Omega_{ri})] \end{bmatrix} \tag{3.46}$$

โดยที่

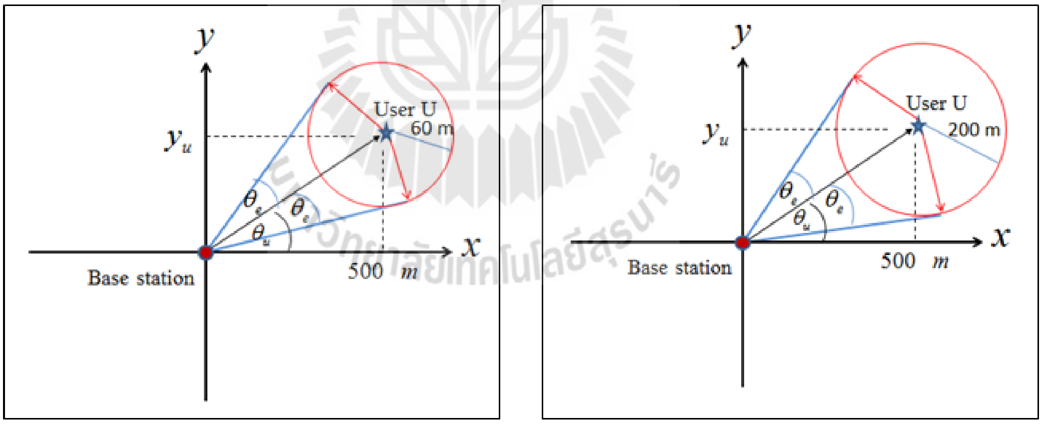
d_i คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งๆไปยังภาครับในแต่ละทิศการเดินทางของคลื่น ส่วน

$\mathbf{e}_t(\Omega_{ti})$ และ $\mathbf{e}_r(\Omega_{ri})$ คือ เวกเตอร์ใช้แทนการกระจายตัวในแต่ละทิศทาง Ω

λ_c คือ ความยาวคลื่นของความถี่กลาง

Δ_t และ Δ_r คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่นอล์แมลไลซ์

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 3.21 ทิศทางที่ผิดพลาดจากการประมาณตำแหน่งในวิธีระบุตำแหน่งแบบ A-GPS

$$\mathbf{H} = \sum_i a_i^b \mathbf{e}_r(\Omega_{ri} + \theta_{ei})\, \mathbf{e}_t(\Omega_{ti} + \theta_{ei})^H \tag{3.47}$$

$$\mathbf{e}_t(\Omega_{ti}) = \frac{1}{\sqrt{M_t}}\begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_t(\Omega_{ti}+\theta_{ei}))] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_t-1)(2\pi\Delta_t(\Omega_{ti}+\theta_{ei}))] \end{bmatrix} \tag{3.48}$$

$$\mathbf{e}_r(\Omega_{ri}) = \frac{1}{\sqrt{M_r}}\begin{bmatrix} 1 \\ \exp[-j(2\pi\Delta_r(\Omega_{ri}+\theta_{ei}))] \\ \vdots \\ \exp[-j(M_r-1)(2\pi\Delta_r(\Omega_{ri}+\theta_{ei}))] \end{bmatrix} \tag{3.49}$$

3.7.2 ความจุช่องสัญญาณที่พิจารณา

เมื่อไม่มีการรับรู้สถานะข้อมูลที่ภาคส่ง ความจุช่องสัญญาณในระบบไมโมที่ใช้แสดงได้ดังนี้

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

เมื่อ B คือ แบนด์วิดธ์

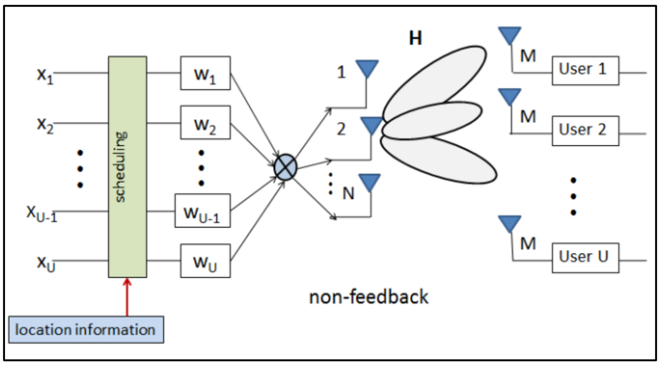
$\det(.)$ คือ การแทนการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ (determinant) ของเมทริกซ์

$\mathbf{I}_{M_r}$ คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด $M_r \times M_r$

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

$\mathbf{H}^H$ คือ การทรานสโพสคอนจุเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ

P_t / P_n คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.22 แบบจำของระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

3.8 แบบจำของระบบการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส

แบบจำลองบรรยายระบบการร่วมใช่ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส (GPS-Aided OSDMA) ในรูปที่ 3.22 ประกอบด้วย 1สถานีฐาน มีสายอากาศจำนวน N ต้น ส่งข้อมูลไปถึงแต่ละ u=1,..,U ผู้ใช้ แต่ละผู้ใช้มีสาอากาศ M ต้นสัญญาณที่รับได้หาได้จาก

$$\mathbf{y} = \mathbf{HWX} + \mathbf{n}_u \tag{3.51}$$

สำหรับ u=1,…,U เมื่อ $\mathbf{H}$ คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณ มีขนาด $M \times N$ $\mathbf{W}$คือเมทริกซ์ชุดถ่วงน้ำหนักที่ส่งข้อมูลไปยังแต่ละผู้ใช้ X=[x1,x2,…,xU] คือชุดข้อมูลที่ส่งไปยังแต่ละผู้ใช้ ค่าความจุช่องสัญญาณสามารถหาได้ดังนี้

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

เมื่อ B คือแบนด์วิดท์ $\mathbf{I}$ คือเมทริกว์เอกลักษณ์มีขนาดเท่ากับ $M \times M$ คือ ρ (SNR) กำลังงานที่สถานีฐาน ส่งออกไป $[\cdot]^H$ หมายถึงการทรานสโพส คอนจุเกตจำนวนเชิงซ้อน

3.9 สรุปท้ายบท

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส หรือ OSDMA เป็นการอาศัยข้อมูลป้อนกลับเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งก็มีหลายประเภทด้วยกน เช่น การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น หรือ OSDMA-S หลักการ คือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการรอบรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่าข้อมูลป้อนกลับนั้นมีบิตผิดพลาดจำนวนมากจึงมีวิจัย ชื่อว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น หรือ AOD-OSDMA คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย จากแต่ละประเภทของ OSDMA ที่ได้กล่าวมาพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นทิศทาง

อาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิวในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส ซึ่งได้นำวิธีระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วยเนื่องจากมีความแม่นยำกว่าวิธีอื่น หลักการคือ หากผู้ใช้ร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณ หรือต้องการที่จะอยู่ใน Active Mode มาที่สถานีฐานๆก็จะมีการคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากข้อมูลตำแหน่งที่มีในระบบว่าอยู่ในทิศทางไหนของสถานีฐาน จากนั้นเมื่อทราบทิศทางของผู้ใช้แล้วก็จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางนั้น เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้รับสัญญาณอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

บทที่ 4
การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

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

4.2 ข้อตกลงในการจำลองผล

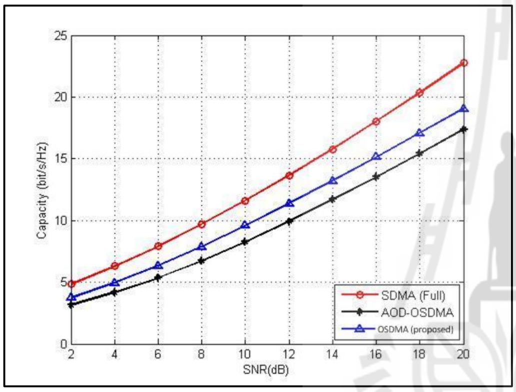
ในการจำลองจะใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลอง ใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นทั้งภาคส่งและภาครับจำนวน 4 ต้น ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $d = \lambda/2$ ความถี่ในย่าน 2.1 GHz และทิศการเดินทางของคลื่นในแนวระดับสายตา (line of sight)

4.3 ผลการจำลองแบบเมื่อยังไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

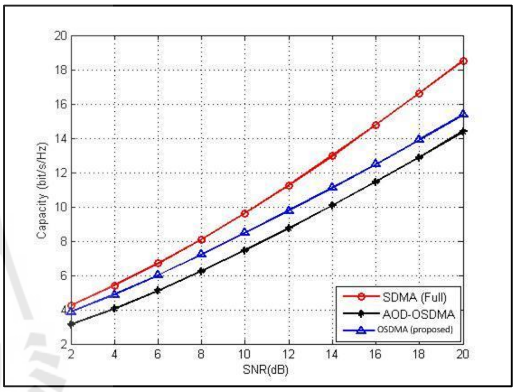
ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น OSDMA ได้มีการพัฒนาต่อยอดกันมาหลายเทคนิค และ AOD-OSDMA คือเทคนิคล่าสุดที่พัฒนาเป็นการอาศัยการรับรู้มุมของสัญญาณที่ส่งออกในการก่อรูปลำคลื่น คือทางภาคส่งมีการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมุมส่งออก (AOD)ของลำคลื่นนั้นกลับมายังภาคส่งๆก็จะก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกไปตามทิศทางนั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปก่อนนั้น อาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดว่าหากรู้ทิศทางของผู้ใช้ก่อนแล้วค่อยก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลออกไป โดยได้นำวิธีระตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วยโดยสันนิษฐานว่าจะได้ค่าความจุช่องสัญญาณที่มากกว่า เทคนิค 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 ตามลำดับ



(ข) ผู้ใช้อยู่ในตำแหน่ง 10 70 108 และ 140 องศา ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของเทคนิค SDMA(full) AOD-OSDMA และ OSDMA (proposed) โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 และอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน

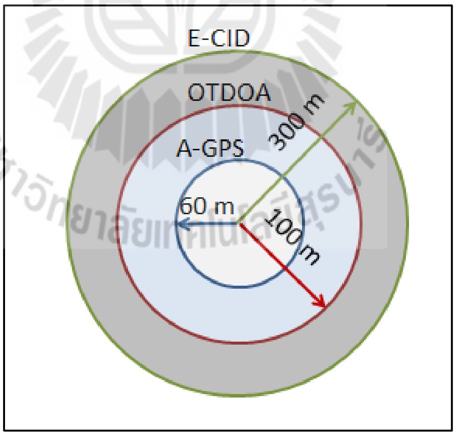
จากรูปที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของเทคนิค SDMA(full), AOD-OSDMA และ OSDMA (proposed) โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 และอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันดังระบุในรูป 4.1(ก) และ (ข) พบว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิค AOD-OSDMA ส่วนเทคนิค SDMA (full) นั้นเป็นแบบในอุดมคติ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

4.4 ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน

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

ตารางที่ 4.2 แสดงขอบเขตความแม่นยำทางตำแหน่งในแนวราบของแต่ละวิธีระบุตำแหน่งในหน่วยเมตร

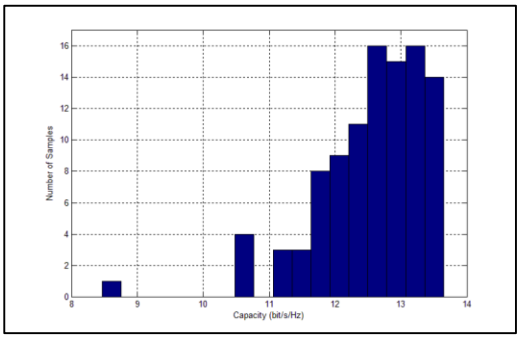
Positioning Method	67%	95%
E-CID	90 – 300	180 – 1000
OTDOA	50 – 100	140 – 280
A-GPS	15 – 60	40 – 200



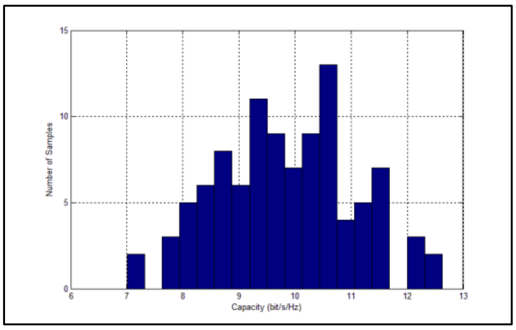
รูปที่ 4.2 ระยะทางคลาดเคลื่อนในคอลัมน์ 67%

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.3

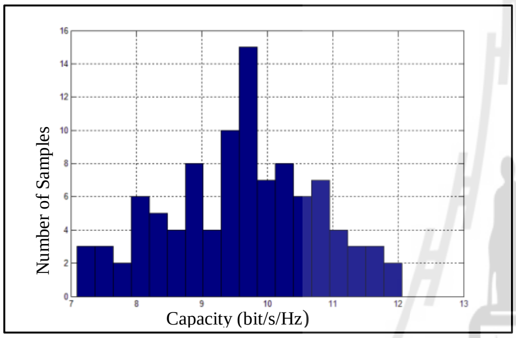
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่าสายอากาศ (d)	$\lambda/2$
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	67%
ระยะครอบคลุม	500 m
การสุ่มตัวอย่าง	100 samples



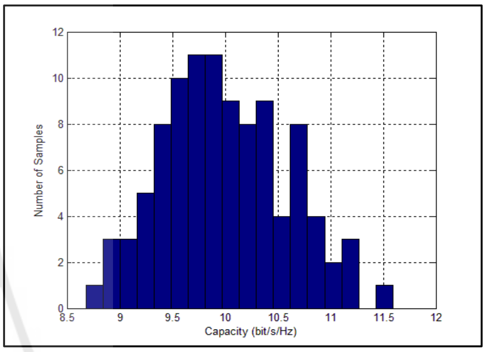
(ก) SDMA (full)



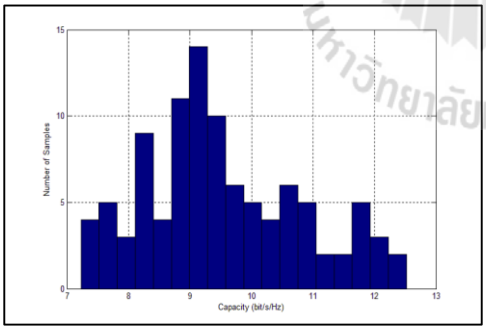
(จ) A-GPS (OSDMA (proposed))



(ค) E-CID



(ข) AOD-OSDMA



(ง) OTDOA

รูปที่ 4.3 ผลการจำลองแบบเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน

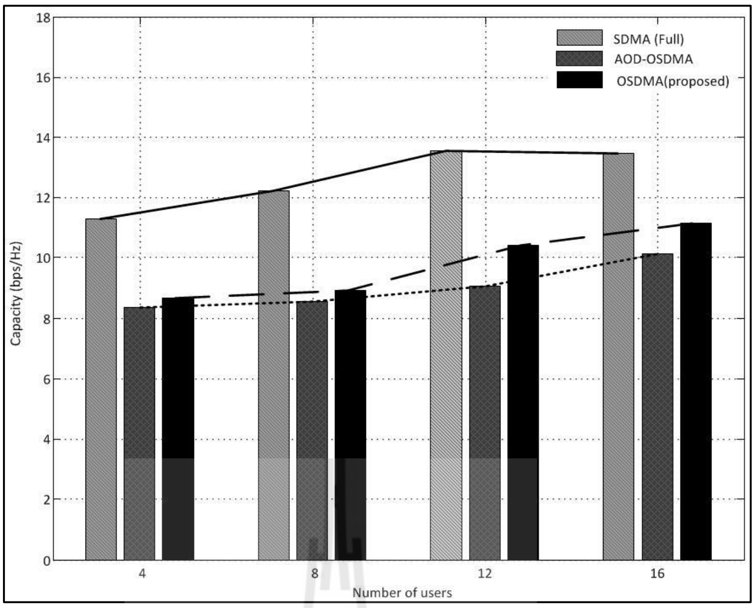
ในรูปภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองจากการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละวิธี 100 ตัวอย่าง จากจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 4 คน ที่อยู่รอบสถานีฐาน 360 องศา พบว่าในเทคนิค SDMA (full) นั้นจะมีค่ามากว่าวิธีอื่น เมื่อเปรียบเทียบวิธี E-CID OTDOA และ A-GPS (OSDMA (proposed)) นั้นจะเห็นได้ว่าวิธี A-GPS จะมีค่าอยู่ในช่วง 9-11.5 bit/s/Hz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

4.5 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้

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

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 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนใช้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นผลรวมของความจุช่องสัญญาณก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคแล้ว SDMA (full) จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดถัดมาเป็นเทคนิคที่นำเสนอและ AOD-OSDMA ตามลำดับ

4.6 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ

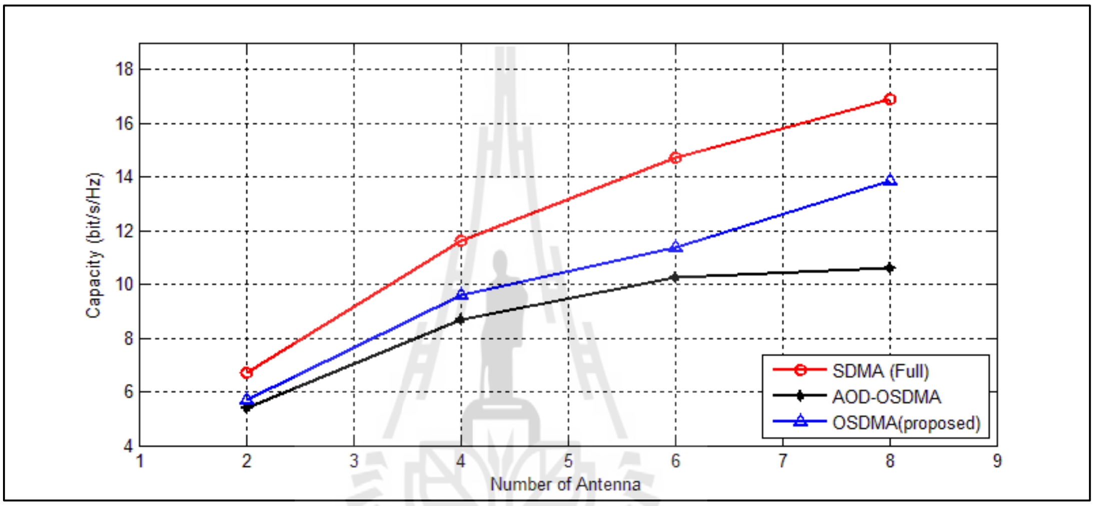
ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศตั้งแต่ 2 4 6 และ 8 ต้น ตามลำดับ โดยมี เทคนิค SDMA (full) AOD-OSDMA และเทคนิคที่นำเสนอ OSDMA (proposed) มีผู้ใช้เท่ากับ 4 อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันและ $SNR = 10 \quad dB$

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	2, 4 , 6, 8ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่าสายอากาศ (d)	$\lambda/2$

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่า
หมายเลขคลื่น (k)	$2\pi/\lambda$
แนวทางเดินคลื่น	line of sight
SNR	10 dB
ค่าความคลาดเคลื่อน	ไม่ได้คิด



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศ

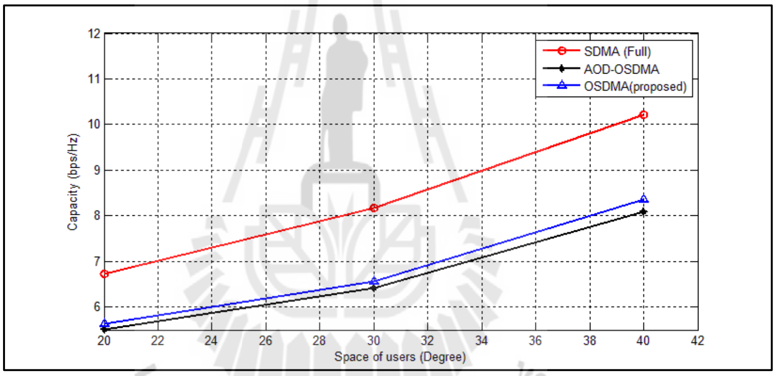
จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนสายอากาศจะพบว่าการเพิ่มจำนวนของสายอากาศนั้นทำให้อัตราขยายช่องสัญญาณเพิ่มด้วย และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคแล้ว SDMA (full) จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดถัดมาเป็นเทคนิคที่นำเสนอและ AOD-OSDMA ตามลำดับ

4.7 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น

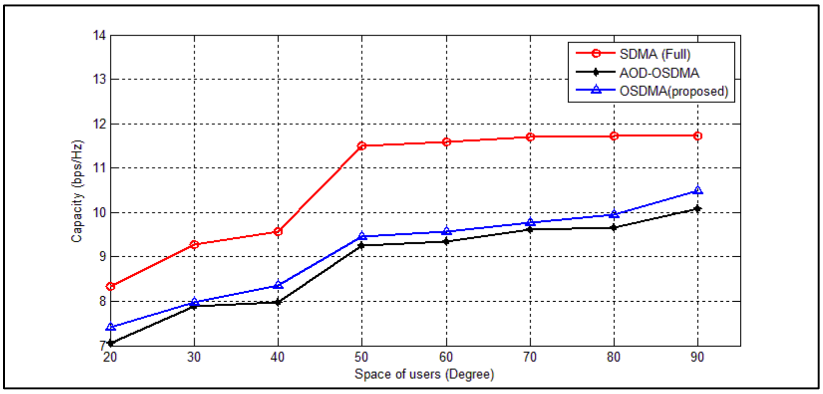
ในการทดลองนี้จะทดลองเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น ซึ่งหมายความว่าเพิ่มระยะห่างของตำแหน่งผู้ใช้โดยกำหนดให้มีผู้ใช้เท่ากับ 4 ในรูป 4.5 (ก) ผู้ใช้อยู่รอบสถานีฐาน 0 -180 องศา และอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากันคือ 20 30 และ 40 องศา ส่วนในรูป 4.5 (ข) ผู้ใช้อยู่รอบสถานีฐาน 360 องศา และอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากันคือ 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



(ก) ผู้ใช้จำนวนเท่ากับ 4 อยู่รอบสถานีฐาน 0 - 180 องศา



(ข) ผู้ใช้จำนวนเท่ากับ 4 อยู่รอบสถานีฐาน 360 องศา

รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่น

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่นพบว่าเพิ่มระยะห่างระหว่างลำคลื่นเพิ่มขึ้น ค่าความจุช่องสัญญาณก็เพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าหากระยะห่างระหว่างลำคลื่นมีค่าน้อยหรือตำแหน่งผู้ใช้อยู่ใกล้กันจะทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างลำคลื่นขึ้นทำให้ค่าความจุช่องสัญญาณลดลงดังจึงต้องมีการกำหนดระยะห่างระหว่างลำคลื่นที่เหมาะสม

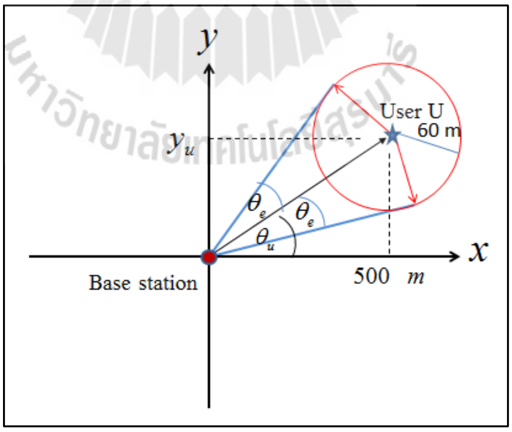
4.8 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR

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

4.8.1 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 67%

จากรูปที่ 4.7 แสดงการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดสูงสุด 60 เมตรและเกิดค่าทิศทางการก่อรูปลำคลื่นขึ้นตามมุม θ_e และสามารถคำนวณมุมที่ผิดพลาดได้ดังนี้

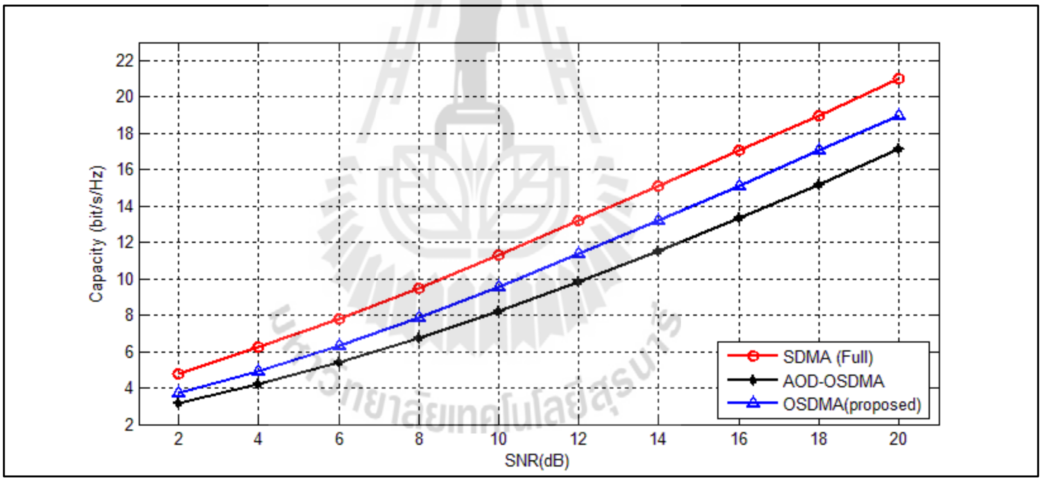
$$\theta_e = \tan^{-1}\left(\frac{y_u}{500}\right) \tag{4.1}$$



รูปที่ 4.7 การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 60 เมตร

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.8

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

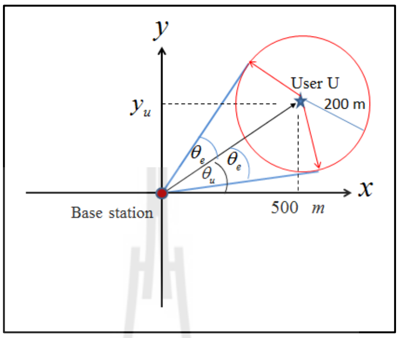


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 60 \quad m$

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

4.8.2 ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR คิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งในคอลัมน์ 95%

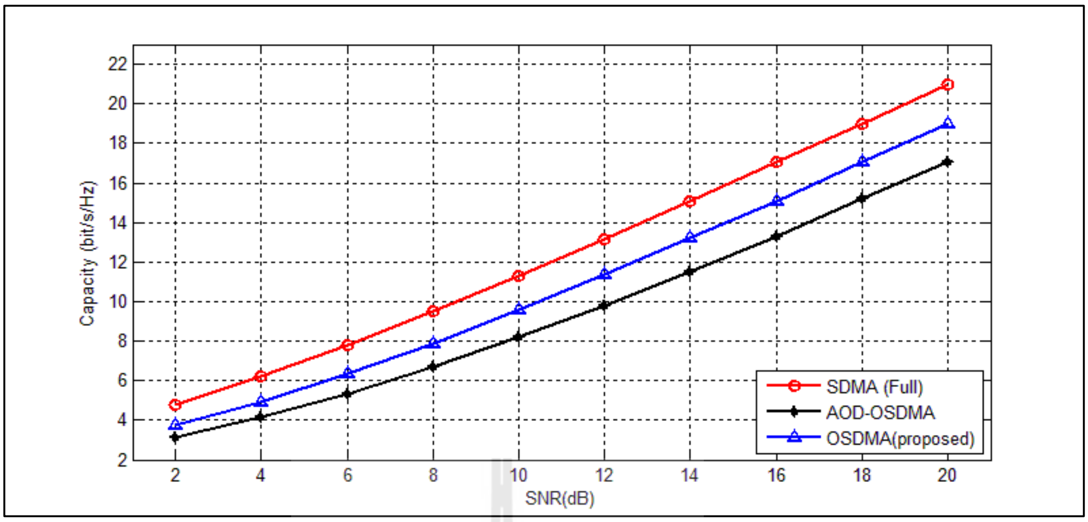
จากรูปที่ 4.9 แสดงการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดสูงสุด 200 เมตรและเกิดค่าทิศทางการก่อรูปลำคลื่นขึ้นตามมุม θ_e และสามารถคำนวณมุมที่ผิดพลาดได้ตามสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.9 การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดในรัศมี 200 เมตร

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.10

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศ	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	4 คน
ความถี่	2.1 GHz
ระยะห่างระหว่าสายอากาศ (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 $y_u = 200 \quad m$

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการจำลองแบบจากการเพิ่มค่า SNR และคิดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง $y_u = 200 \quad m$ พบว่าเมื่อคิดค่าความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในรัศมีสูงสุด 200 เมตร แล้วค่าความจุช่องสัญญาณในระบบที่นำเสนอก็มีค่ามากว่าเทคนิค AOD-OSDMA

4.9 สรุปท้ายบท

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดสายอากาศในระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ ทั้งภาคส่งและภาครับใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นเนื่องจากมีความง่ายไม่ซับซ้อน องค์ประกอบสายอากาศมี 4 องค์ประกอบเท่ากัน มีความห่างระหว่างองค์ประกอบ $d = \lambda/2$ ใช้ความถี่ในย่าน 2.1 GHz โดยการจำลองผลจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค SDMA (full) ซึ่งเป็นแบบอุดมคติเพื่อเป็นจุดอ้างอิง เทคนิค AOD-OSDMA เทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม ที่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลมุมของสัญญาณที่ออกในการก่อรูปลำคลื่น และ OSDMA (proposed) ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ โดยอาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้ จากวิธี A-GPS ในการก่อรูปลำคลื่น และจากการจำลองผลพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพมากว่า เทคนิค AOD-OSDMA

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

สายอากาศเก่งประกอบสองส่วนคือ สวนที่เป็นสายอากาศแถวลำดับและส่วนประมวลผลสัญญาณซึ่งสามารถหันพูหลักไปในทิศทางที่ต้องการและหันจุดศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ การที่จะหันพุหลักไปในทิศทางที่ต้องการได้นั้นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศแต่ละต้น และระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่ง ก็เป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาพัฒนาในเครือข่ายไร้สายเพราะสามารถเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้แต่ไม่เพิ่มการใช้ทรัพยากรความถี่จึงมีหลายงานวิจัยคิดค้นเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในระบบการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งรวมทั้งงานวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน

การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาส หรือ OSDMA เป็นการอาศัยข้อมูลป้อนกลับเพียงบางส่วนในการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งก็มีหลายประเภทด้วยกน เช่น การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากการเลือกลำคลื่น หรือ OSDMA-S หลักการ คือ ภาคส่งมีการสุ่มสร้างชุดลำคลื่นออกไปยังภาครับหากภาครับได้รับสัญญาณดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นใดก็จะป้อนกลับข้อมูลมายังภาคส่งและภาคส่งก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้นซึ่งประสบความสำเร็จในการรอบรับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น แต่พบว่าข้อมูลป้อนกลับนั้นมีบิตผิดพลาดจำนวนมากจึงมีวิจัย ชื่อว่า การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากมุมที่ส่งออกขึ้น หรือ AOD-OSDMA คือ เป็นการอาศัยการรับรู้สถานะช่องสัญญาณด้วยการรู้ทิศทางของคลื่นที่ออกจากภาคส่งและทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึงภาครับในการก่อรูปลำคลื่นส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ซึ่งสามารถลดจำนวนบิตการป้อนกลับข้อมูลไปได้และเพิ่มความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าอีกด้วย จากแต่ละประเภทของ OSDMA ที่ได้กล่าวมาพบว่าการสุ่มก่อรูปลำคลื่นออกไปนั้นทิศทางอาจจะยังไม่ตรงกับทิศทางที่ผู้ใช้อยู่ จึงเกิดเป็นแนวความคิวในการพัฒนาเทคนิคการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งตำแหน่งที่อาศัยโอกาสจากจีพีเอส ซึ่งได้นำวิธีระบุตำแหน่งวิธี A-GPS ในระบบแอลทีอีเข้ามาช่วยเนื่องจากมีความแม่นยำกว่าวิธีอื่น หลักการคือ หากผู้ใช้ร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณ หรือต้องการที่จะอยู่ใน Active Mode มาที่สถานีฐานๆก็จะมีการคำนวณทิศทางของผู้ใช้จากข้อมูลตำแหน่งที่มีในระบบว่าอยู่ในทิศทางไหนของสถานีฐาน จากนั้นเมื่อทราบทิศทาง

ของผู้ใช้แล้วก็จะก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางนั้น เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้รับสัญญาณอย่างเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดสาอาศที่ในในระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ ทั้งภาคส่งและภาครับใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นเนื่องจากมีความง่ายไม่ซับซ้อน องค์ประกอบสายอากาศมี 4 องค์ประกอบเท่ากัน มีความห่างระหว่างองค์ประกอบ $d = \lambda/2$ ใช้ความถี่ในย่าน 2.1 GHz โดยการจำลองผลจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค SDMA (full) ซึ่งเป็นแบบอุดมคติเพื่อเป็นจุดอ้างอิง เทคนิค AOD-OSDMA เทคนิคจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม ที่อาศัยการป้อนกลับข้อมูลมุมของสัญญาณที่ออกในการก่อรูปลำคลื่น และ OSDMA (proposed) ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ โดยอาศัยการรับรู้ตำแหน่งของผู้ใช้ จากวิธี A-GPS ในการก่อรูปลำคลื่น และจากการจำลองผลพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพมากว่า เทคนิค AOD-OSDMA

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบมาสำหรับระบบแอลทีอีซึ่งใช้พารามิเตอร์ในระบบแอลทีอีหากนำไปใช้กับระบบอื่นควรต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์เช่น ย่านความถี่ แบนด์วิดท์ และการระบุตำแหน่งที่มีในระบบนั้นๆ

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ระบบที่ได้ออกแบบนี้เป็นการจำลองจากสถานีฐานเพียง 1 สถานีเท่านั้น แนวทางในการพัฒนาต่อในอนาคตควรจำลองหลายๆสถานีเพื่อให้มีความสมจริงกับระบบเครือข่ายไร้สาย

รายการอ้างอิง

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

นางสาวอัจฉรียา คงบรรทัด. 2556. **รูปแบบการก่อรูปลำคลื่นสำหรับระบบวายกิก.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 122 น.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล. 2554. **การออกแบบที่เหมาะสมของการจัดวางสายอากาศไมโมบนเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่.** ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 107 น.

นางสาวอภิญญา อินทร์นอก. 2553. **การเพิ่มความจุช่องสัญญาณระบบไมโมด้วยการประมวลผลโดเมนเชิงมุม.** มหาบัณฑิต 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**. Coppyrighted Materials @2005 A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 1072 pp.

Ericsson. 2009. **LTE 10A Air Interface**. Coppyrighted Materials @ ERICSSON. 271 pp.

Ericsson. 2010. LTE: **Overview and Deployment Considerations80-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

เอกสารเกี่ยวกับบริการระบุตำแหน่งในระบบแอลทีอีลิขสิทธิ์ของบริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี จำกัด

รายชื่อเอกสารที่ใช้สำหรับอ้างอิง

LCS Feature Parameter Description: Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2014.

eRAN

LCS Feature Parameter Description

Issue 01

Date 2014-04-26

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

HUAWEI

Trademarks and Permissions

HUAWEI and other Huawei trademarks are trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.
All other trademarks and trade names mentioned in this document are the property of their respective holders.

Notice

The purchased products, services and features are stipulated by the contract made between Huawei and the customer. All or part of the products, services and features described in this document may not be within the purchase scope or the usage scope. Unless otherwise specified in the contract, all statements, information, and recommendations in this document are provided "AS IS" without warranties, guarantees or representations of any kind, either express or implied.

The information in this document is subject to change without notice. Every effort has been made in the preparation of this document to ensure accuracy of the contents, but all statements, information, and recommendations in this document do not constitute a warranty of any kind, express or implied.

Huawei Technologies Co., Ltd.

Address: Huawei Industrial Base
Bantian, Longgang
Shenzhen 518129
People's Republic of China

Website: http://www.huawei.com

Email: support@huawei.com

1 About This Document

1.1 Scope

This document describes LOFD-001047 LoCation Services (LCS), including its technical principles, related features, network impact, and engineering guidelines.

Any managed objects (MOs), parameters, alarms, or counters described herein correspond to the software release delivered with this document. Any future updates will be described in the product documentation delivered with future software releases.

This document applies only to LTE FDD. Any "LTE" in this document refers to LTE FDD, and "eNodeB" refers to LTE FDD eNodeB.

This document applies to the following types of eNodeBs.

eNodeB Type	Model
Macro	3900 series eNodeB
Micro	BTS3202E and BTS3203E
LampSite	DBS3900

1.2 Intended Audience

This document is intended for personnel who:

- Need to understand the features described herein
- Work with Huawei products

1.3 Change History

This section provides information about the changes in different document versions. There are two types of changes:

- Feature change

  Changes in features and parameters of a specified version as well as the affected entities
- Editorial change

  Changes in wording or addition of information and any related parameters affected by editorial changes. Editorial change does not specify the affected entities

eRAN7.0 01 (2014-04-26)

This issue does not include any changes.

eRAN7.0 Draft C (2014-03-31)

This issue includes the following changes.

Change Type	Change Description	Parameter Change	Affected Entity
Feature change	None	None	N/A
Editorial change	Modified the description about the network planning and data praparation. For details, see **8.3 Planning** and **8.4.2 Data Preparation**.	None	N/A

eRAN7.0 Draft B(2014-03-07)

This issue includes the following changes.

Change Type	Change Description	Parameter Change	Affected Entity
Feature change	None	None	N/A
Editorial change	Added **1.4 Differences Between eNodeB Types**, which describes differences in feature support between eNodeB types.	None	N/A

eRAN7.0 Draft A(2014-01-20)

Compared with Issue 03 (2013-08-30) of eRAN6.0, Draft A (2014-01-20) of eRAN7.0 includes the following changes.

Change Type	Change Description	Parameter Change
Feature change	Changed the name of Huawei mobile element management system from M2000 to U2000.	None
Editorial change	Modified the description about the network planning. For details, see **8.3 Planning**.	None

1.4 Differences Between eNodeB Types

The features described in this document are implemented in the same way on macro, micro, and LampSite eNodeBs.

2 Overview

2.1 Introduction

LCS is a technology that determines the geographic location and velocity of user equipment (UE) by measuring radio signals. With this location information, the Evolved Packet Core (EPC) can provide value-added services, and the UE can provide upper-layer applications such as navigation software. LCS can meet the mandatory service requirements of third parties (such as the E911 regulations stipulated by the United States).

An LTE system supports both CP-LCS and UP-LCS. CP and UP are short for control plane and user plane, respectively. UP-LCS operations are transparent to the Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), which serves as only a channel for information exchange in the operations. In this document, the positioning methods are all CP-LCS.

Huawei LCS conforms to the E911 regulations stipulated by the United States and supports three positioning methods: Enhanced Cell ID (E-CID), Observed Time Difference of Arrival (OTDOA), and Assisted GPS (A-GPS). To implement LCS, the E-UTRAN needs to support one of these methods.

If LCS is not implemented in an operator's E-UTRAN, the geographic locations of UEs are obtained by means of CSFB to a UTRAN, GSM/EDGE radio access network (GERAN), or CDMA2000 1xRTT network supporting LCS in the case of emergency calls. For details about the CSFB procedure for emergency calls, see 3GPP TS 23.272 and *CS Fallback Feature Parameter Description*.

2.2 Benefits

LCS can be used to:

- Provide emergency services

  In an emergency situation, subscribers may not be able to locate themselves. Under such circumstances, LCS can be used to obtain specific locations and facilitate rescuing.
- Provide mobile yellow page services

  LCS can be used to provide mobile yellow pages and city navigation services, which help subscribers obtain information such as traffic conditions and optimal routes.

- Manage assets

  LCS can help schedule and monitor the assets of a company.

- Provide security service

  LCS can be used to quickly trace the location of a lost child or elderly citizen.

- Optimize mobile network design

  LCS enables the Evolved Packet System (EPS) to obtain geographic locations of UEs. Based on this information, network resources can be dynamically and intelligently monitored and allocated. This enhances the network performance.

When providing the preceding functions, LCS requires the geographic locations of UEs. Therefore, you are obligated to take considerable measures, in compliance with the laws of the countries concerned and the user privacy policies of your company, to ensure that the personal data of users is fully protected.

3 LCS-related Concepts

3.1 Positioning Methods

LCS supports three positioning methods: E-CID, OTDOA, and A-GPS. The three methods provide different levels of positioning accuracy and apply to different scenarios. Each method can be used independently or used with one or both of the other methods. When used together, these methods can provide a higher level of positioning accuracy. The evolved serving mobile location center (E-SMLC) chooses a positioning method based on the UE positioning capability and quality requirements for LCS.

E-CID

When a UE performs registration, location update, or call setup, it reports an RRC Connection Request message with the serving cell ID included. The LTE system can determine the geographic location of the UE based on the cell ID reported by the UE. This positioning method is called the cell-center method. It does not require major adjustments to the network or UEs and therefore can be easily implemented. The positioning accuracy of this method depends on cell coverage. The positioning accuracy is high in areas where cells are densely deployed. This is because the cell coverage is small in such areas. The cell-center method cannot satisfy the QoS requirements of most location services.

To obtain higher positioning accuracy, you can use the E-CID method, which is an enhancement of the cell-center method. In E-CID positioning, an eNodeB calculates the timing advance (T_{ADV}) between its radio frequency (RF) antennas and a UE to be located to estimate the distance between the UE and the RF antenna. The eNodeB also measures the Angle of Arrival (AoA). Based on the estimated distance and measured AoA, the E-SMLC determines the geographic location of the UE.

The principles of the LTE E-CID method are similar to those of the UMTS CELLID+RTT method. The difference is that the E-CID method provides AoA information to obtain more accurate geographic information of UEs.

For details about the E-CID method, see section "**E-CID-based Positioning**."

OTDOA

In OTDOA-based positioning, a UE listens to multiple eNodeBs and measures the difference in arrival time of the positioning reference signals (PRSs) transmitted to every two eNodeBs. Based on the measurement result and the positions of two eNodeBs, a hyperbola positioning area is formed. If three eNodeBs are involved, two hyperbola positioning areas are formed. The E-SMLC calculates the cross point of the two hyperbola branches and then determines the precise location of the UE based on additional information such as the geographic locations of the eNodeBs.

The OTDOA positioning accuracy depends on the environment. OTDOA provides high positioning accuracy in suburban and rural areas. In urban areas, the positioning accuracy decreases if there are many high-rises, which refract and reflect radio waves.

The principles of the LTE OTDOA method are the same as those of the UMTS OTDOA method.

For details about the OTDOA method, see section "**OTDOA-based Positioning**."

A-GPS

A-GPS is a network-assisted positioning method. In A-GPS positioning, the network provides positioning assistance information for a UE. This information helps the UE search for satellite signals and therefore shortens the GPS positioning time.

Compared with E-CID and OTDOA, A-GPS provides the highest positioning accuracy under the same conditions. However, A-GPS may not be used for positioning UEs indoors because of difficulty in receiving satellite signals.

The principles of the LTE A-GPS method are the same as those of the UMTS A-GPS method.

For details about the A-GPS method, see section "**A-GPS-based Positioning**."

3.2 Positioning Modes

There are two LCS positioning modes: UE-based and UE-assisted. These two modes use 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. UE-assisted mode is also called network-based mode.

E-CID and OTDOA positioning methods can work only in UE-assisted mode. A-GPS can work in both modes, with UE-assisted mode used by default.

Table 3-1 shows the mapping between positioning methods and positioning modes.

Table 3-1 Mapping between positioning methods and positioning modes

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

3.3 Evaluation Standards

3.3.1 Horizontal Positioning Accuracy

The horizontal positioning accuracy of LCS depends on the following factors:

- Positioning method
- Positioning measurement accuracy
- Geometric Dilution of Precision (GDOP)

Impact of Positioning Methods

In the same environment, different positioning methods provide 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. For example, A-GPS 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.

E-CID, OTDOA, or A-GPS alone cannot always provide high positioning accuracy in all radio environments. In some scenarios, hybrid methods can be used to achieve high accuracy.

Table 3-2 lists the horizontal positioning accuracy ranges of each positioning method.

Table 3-2 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
Hybrid methods	15 to 50	40 to 150

- The "**67%**" column lists the statistical horizontal positioning accuracy range that can be achieved by more than 67% of all the positioning results of each method.
- The "**95%**" column lists the statistical horizontal positioning accuracy range that can be achieved by more than 95% of all the positioning results of each method.

The preceding table shows that hybrid positioning methods provide the highest positioning accuracy and can meet the requirements of the Federal Communications Commission (FCC). The FCC requires that the positioning accuracy be 50 meters for 67% and 150 meters for 95% of all positioning results, respectively.

Impact of Positioning Measurement Accuracy

Positioning measurement accuracy is the major factor that affects positioning accuracy. The positioning measurement accuracy is determined by the radio environment and the measurement capabilities of related NEs such as UEs and eNodeBs. For example, a UE can provide more accurate measurements in an open environment than in an indoor environment or an environment full of obstacles, where the non-line-of-sight and multi-path transmission has a great impact on the measurement accuracy.

Impact of GDOP

GDOP is determined by the relative position between a UE and GPS satellites or eNodeBs. The relative position between a UE and GPS satellites is used in the A-GPS-based positioning method, and that between a UE and eNodeBs is used in OTDOA- and E-CID-based positioning methods. Generally, the positioning accuracy is high if the eNodeBs involved in the positioning are evenly spaced or distributed in such a way that they form an equilateral triangle.

3.3.2 Positioning Response Time

Table 3-3 lists the positioning response time of each positioning method on the E-UTRAN side.

Table 3-3 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
Hybrid methods	5 to 16

As shown in **Table 3-3**, the response time in A-GPS-based and hybrid positioning methods is longer than that in OTDOA- and E-CID-based positioning methods. This is because positioning assistance information needs to be obtained in A-GPS-based and hybrid positioning methods.

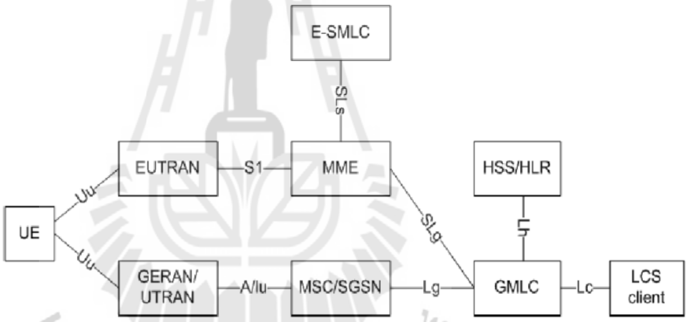
3.3.3 Relationship Between Horizontal Positioning Accuracy and Response Time

As described in the preceding sections, a longer positioning response time results in higher horizontal positioning accuracy. You are advised to make a tradeoff between horizontal positioning accuracy and response time when choosing a positioning method.

4 Network Architecture for LCS

Figure 4-1 shows the network architecture for LCS in the EPS.

Figure 4-1 Network architecture for LCS



UTRAN: universal terrestrial radio access network	GERAN: GSM/EDGE radio access network
GMLC: gateway mobile location center	HSS: home subscriber server
HLR: home location register	MME: mobility management entity
MSC: mobile switching center	SGSN: serving GPRS support node

When the MME receives a UE location request from another entity such as a UE or GMLC, or the MME itself decides to initiate such a location request, the MME sends the location service request to an E-SMLC over the SLs interface. Then, the E-SMLC sends assistance data to the target UE over the SLs, S1, and Uu interfaces, requests measurement reports from the target UE and associated eNodeBs, calculates the UE location, and sends the location information to the MME over the SLs interface. If the UE location request is initiated by an entity other than the MME, the MME returns the location information to this entity (the UE or GMLC).

The following sections describe the functions of each NE in the network architecture for LCS.

4.1 eNodeB Functions

An A-GPS-capable GPS satellite card is configured on eNodeBs of eRAN3.0. When requested by a Huawei-deployed E-SMLC, an eNodeB performs LCS-related measurements and reports the measurement results to the E-SMLC. The eNodeB also reports raw data collected from the GPS satellites to the E-SMLC.

The eNodeB performs the following major functions:

- Receives or sends LPPa-related positioning messages over the S1 interface using the LTE Positioning Protocol Annex (LPPa) protocol.
- Transmits the PRSs required by the OTDOA method to the UE.
- Reports assistance data required by the OTDOA method to the E-SMLC, including the PCIs, GCIs, frame timing information, and geographic information of cells under this eNodeB and other related eNodeBs.
- Reports GPS-assisted measurements required by the A-GPS method to the E-SMLC, including the $T_{E\text{-}UTRAN\text{-}GNSS}$ and reference positions.
- Reports measurements required by the E-CID method, including the T_{ADV} and AoA.
- Supports UE fallback to a UTRAN, GERAN, or CDMA2000 1xRTT network if the LTE network does not support required location services.

4.2 UE Functions

UEs perform positioning measurements specific to positioning methods upon receiving an LCS request from the E-SMLC. If UE-based mode is used, UEs also perform positioning calculation.

UEs perform the following major functions:

- Exchange positioning-related messages with the E-SMLC using the LTE Positioning Protocol (LPP).
- Report their positioning capability to the E-SMLC.
- Measure E-UTRAN PRSs in the downlink if OTDOA is used.
- Measure the GPS pseudo-range and Doppler shift.
- Receive GPS raw data from the network.
- Report positioning measurement results to the E-SMLC in UE-assisted mode; report positioning calculation results to the E-SMLC in UE-based mode.

4.3 MME Functions

The MME supports the LPPa protocol, allowing positioning-related interaction between the MME and the eNodeB. The MME also transparently transmits positioning-related messages between the E-SMLC and other NEs such as eNodeBs and UEs.

The MME performs the following major functions:

- Receives and manages location service requests from UEs or the GMLC, or initiates location service requests.
- Selects an E-SMLC.
- Authenticates UEs for LCS.

4.4 E-SMLC Functions

The E-SMLC is the center that controls UE positioning. It coordinates eNodeB and UE resources to implement measurements. In addition, the E-SMLC determines a positioning method based on the positioning requirements, UE category, and capabilities of NEs involved (including the E-SMLC, UE, and eNodeB). It also calculates the UE location and returns the location information to the MME.

The E-SMLC performs the following major functions:

- Receives and processes location service requests or positioning-related data requests from the MME.
- Selects a single positioning method or a hybrid positioning method.
- Controls positioning-related measurements based on the selected positioning method.
- Calculates positioning assistance data and sends the data to the UE.

  To enable the UE to effectively search for signals from neighboring cells in OTDOA-based positioning or receive satellite signals in A-GPS-based positioning, the E-SMLC calculates and sends the UE assistance data required by the positioning method:
  - In E-CID-based positioning, no assistance data is required.
  - In OTDOA-based positioning, the assistance data required includes the round-trip delay (RTD) of multiple neighboring cells and search windows.
  - In A-GPS-based positioning, the assistance data required includes pseudo-range search windows of multiple GPS satellites and Doppler windows.
- Calculates location data and estimates positioning accuracy.
- Sends positioning results or related positioning data to the MME.

4.5 GMLC Functions

The GMLC processes UE location requests from LCS clients by obtaining UE latitude and longitude information and sending this information to LCS clients. As the operation platform of the LCS system, the GMLC also manages user data, service data, service subscription information, and service provider (SP) data, performs accounting, and verifies value-added services.

4.6 HSS Functions

The HSS stores LCS subscription information and route information.

4.7 LCS Client Functions

The LCS client requests location information about one or multiple UEs by initiating a location service request that contains QoS parameters. An LCS client may be a functional entity in a

PLMN, for example, an operation and maintenance (O&M) tool. It can also be an entity outside the PLMN, for example, a third-party location server that is not deployed by an operator.

NOTE

An E-SMLC and a UE exchange non-access stratum (NAS) messages in compliance with the LPP protocol. The eNodeB transparently transmits the NAS messages between the E-SMLC and the UE.

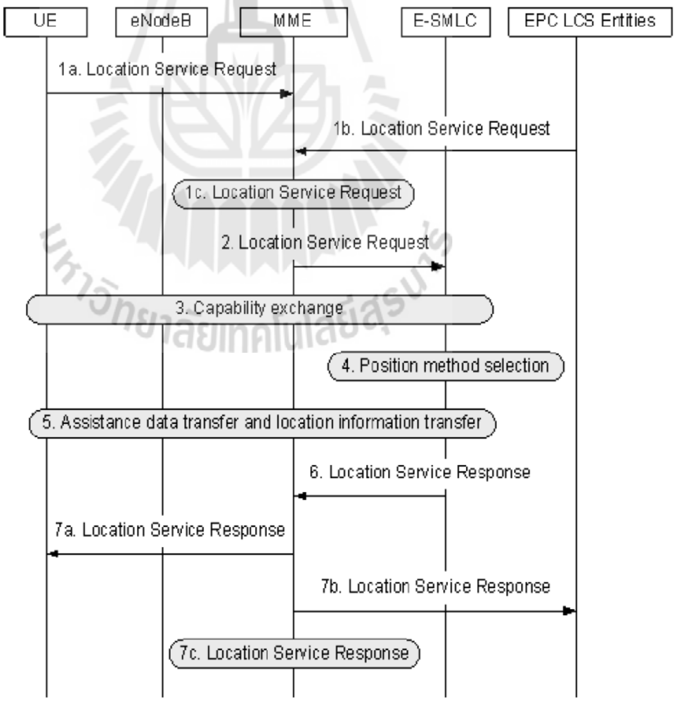
An E-SMLC and an eNodeB exchange location information in compliance with the LPPa protocol.

5 Positioning Principles and Procedures

5.1 Typical Positioning Procedure

Figure 5-1 shows a typical positioning procedure.

Figure 5-1 Typical positioning procedure



The positioning procedure is described as follows:

1. An NE initiates an LCS request.

   This step varies according to the NE type, which may be a UE, an MME, or another entity in the EPC:

   - (1a) MO-LR (Mobile Originated Location Request): A UE sends a Location Service Request message to the serving MME at the NAS to request location services, such as UE positioning or assistance data delivery.
   - (1b) MT-LR (Mobile Terminated Location Request): An entity similar to the GMLC in the EPC sends a Location Service Request message to the serving MME to request location services, such as UE positioning.
   - (1c) NI-LR (Network Induced Location Request): The PLMN serving a UE sends a location request to this UE. For example, the MME initiates an emergency call for a UE served by this MME.
2. The MME sends the request to an E-SMLC.
3. The UE reports its positioning capability to the E-SMLC.
4. The E-SMLC selects a positioning method based on the following factors:
   - Positioning requirements, including requirements for the horizontal positioning accuracy and latency
   - Positioning methods configured on the E-SMLC
   - LCS license purchased by the operator
   - Whether the positioning function is activated in the serving cell of the UE. For example, a cell supports OTDOA-based positioning if the **OtdoaSwitch(OTDOA switch)** check box under the **ENodeBAlgoSwitch.*LcsSwitch*** parameter is selected.
   - UE positioning capability
5. If the E-SMLC decides that the eNodeB must be involved in this positioning procedure, it exchanges location procedures with the serving eNodeB to obtain positioning measurements or assistance data. If the E-SMLC decides that the UE must be involved, it exchanges location procedures with the UE to obtain a location estimate, to obtain positioning measurements, or to transfer assistance data to the UE.
6. The E-SMLC provides a location service response to the MME, including detailed information such as a success or failure indication and error-related information.
7. Transmitting the location service response

- (7a) If step 1a is performed, the MME transparently transmits the location service response received in step 6 to the UE with the required information included.
- (7b) If step 1b is performed, the MME returns the location service response received in step 6 to the EPC entity with the required information included.
- (7c) If step 1c is performed, the MME returns the location service response received in step 6 to assist the service that triggers the positioning procedure in step 1c.

The following sections describe the positioning principles and procedures of each positioning method.

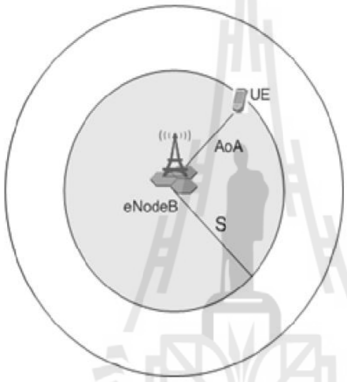
5.2 E-CID-based Positioning

5.2.1 Principles

can only determine whether a UE is located within this area. With T_{ADV} and AoA information, however, E-CID can determine the spot that the UE is in:

- With T_{ADV} information, E-CID can determine the distance (S) of the UE from the eNodeB, as shown in **Figure 5-2**. $S = T_{ADV}/2 \times C$, where C represents the speed of light.
- With AoA information, E-CID can determine the angle between the eNodeB and the UE, and further locate the spot that the UE is in.

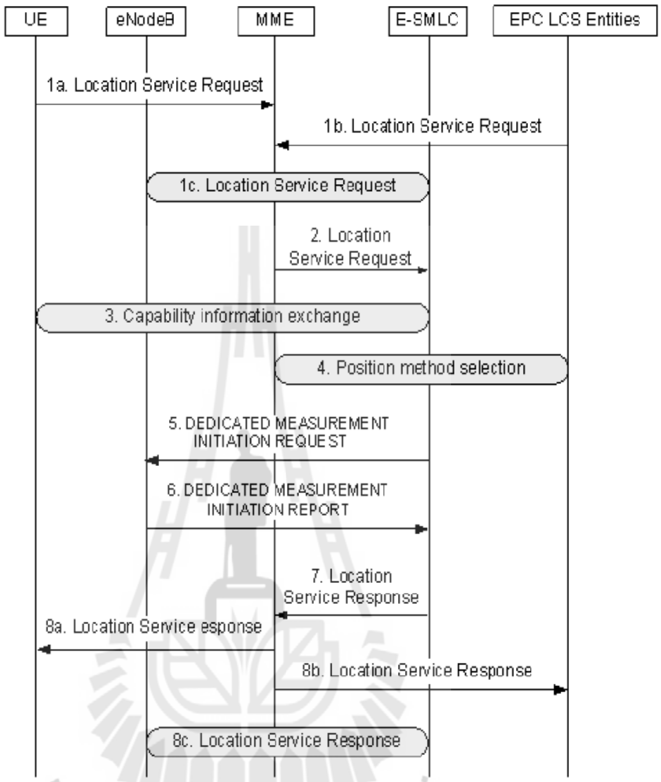
Figure 5-2 Principles of E-CID-based positioning



5.2.2 Positioning Procedure

Figure 5-3 shows the E-CID-based positioning procedure.

Figure 5-3 E-CID-based positioning procedure



The E-CID-based positioning procedure is similar to the typical positioning procedure. Steps 5 and 6 shown in **Figure 5-3** are specific to E-CID-based positioning:

- In step 5, the E-SMLC sends an E-CID-based positioning request to the eNodeB, requesting the eNodeB to measure the T_{ADV}, RSRP, RSRQ, and AoA.
- In step 6, the eNodeB performs measurements as required, and reports the measurement results to the E-SMLC.

5.2.3 Obtaining TADV

There are two types of T_{ADV}: type 1 and type 2. The UE capability determines the type of T_{ADV} to be used. The following describes how to obtain the two types of T_{ADV}.

- Type 1 T_{ADV}

  Obtaining this type of T_{ADV} does not require UEs to initiate random access. A UE complying with 3GPP Release 9 can report the difference between the UE RX time and TX time using RRC signaling messages. The eNodeB measures the difference between the eNodeB receive (RX) time and transmit (TX) time. Then, the eNodeB adds the two difference values to obtain a high-precision T_{ADV}.

T_{ADV} = (eNodeB RX time – eNodeB TX time) + (UE RX time – UE TX time)

- Type 2 T_{ADV}

  Obtaining this type of T_{ADV} requires UEs to initiate random access. The eNodeB allocates dedicated preambles to a UE, and the UE sends uplink dedicated preambles based on the TX time for downlink frames. The eNodeB then measures the difference between the eNodeB RX time and TX time.

  T_{ADV} = eNodeB RX time–eNodeB TX time

5.3 OTDOA-based Positioning

5.3.1 Principles

OTDOA is a positioning method based on the measured difference in the arrival time between signals transmitted from multiple eNodeBs. Because OTDOA does not use absolute time, it can ensure high location precision and accuracy.

The UE listens to multiple eNodeBs, measures the time it takes for PRSs to travel from the eNodeBs to the UE, and calculates the OTDOA between the candidate cells and reference cells. Based on the Relative Time Difference (RTD) information sent form the E-SMLC about frame timing for signal transmission from multiple cells, the UE obtains the actual TDOA between the candidate cells and reference cells.

The following formula expresses the relationship between OTDOA and TDOA:

TDOA = OTDOA – RTD

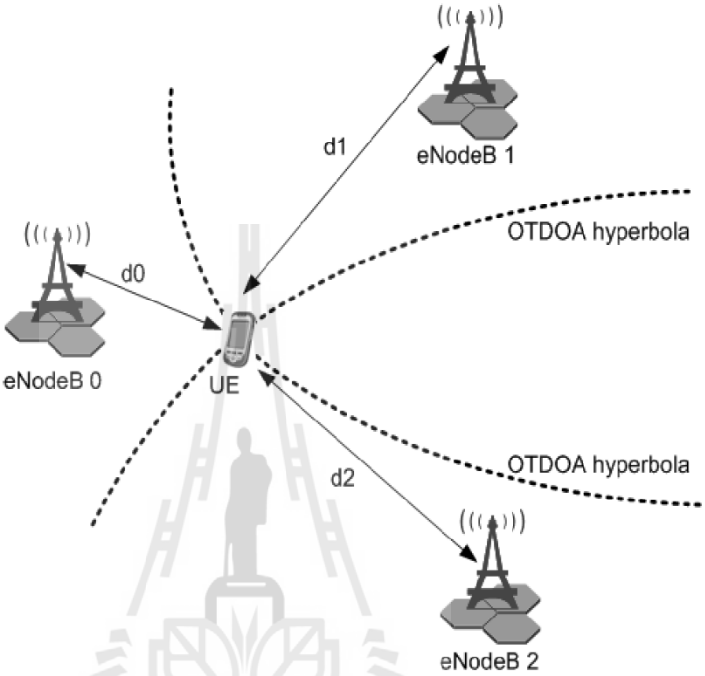
The UE then reports the TDOA to the E-SMLC. Based on this TDOA and the geographic location of the eNodeB, the E-SMLC calculates the geographic location of the UE. A larger number of eNodeBs involved in positioning ensures higher location precision and accuracy.

The following are the mathematical principles of OTDOA:

If the difference in distances between a movable point and two fixed points (two cells) is constant, the trajectory of the movable point forms a hyperbola branch. Let the movable point be a UE, and two fixed points be two cells on two different eNodeBs. If the difference in distances between the UE and two cells is obtained, the location of the UE must correspond to one point on the resulted branch. If the E-SMLC obtains two or more hyperbola branches, it can determine the location of the UE as the cross point of these branches. For OTDOA to work, at least two hyperbola branches must be obtained. Equivalently, at least three eNodeBs must be involved in the positioning process.

As shown in **Figure 5-4**, two hyperbola branches are derived when the difference in distances from the UE to eNodeB 0 and eNodeB 1 is a constant (d1 – d0) and that 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.

Figure 5-4 Principles of OTDOA-based positioning

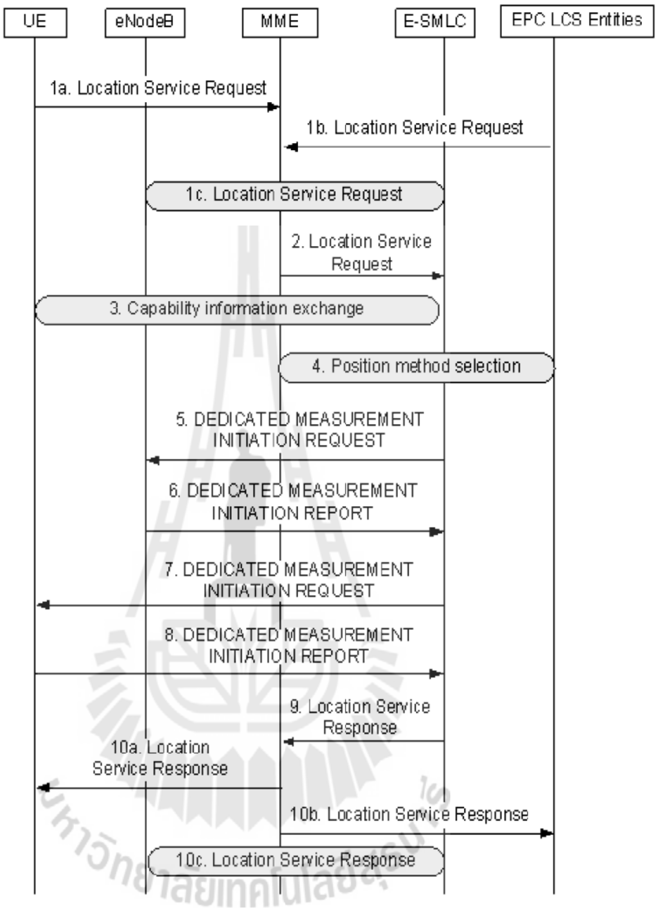


OtdoaSwitch(OTDOA switch) under the **ENodeBAlgoSwitch.*LcsSwitch*** parameter specifies whether to enable OTDOA-based positioning. If OTDOA-based positioning is enabled, set the **CellChPwrCfg.*PrsPwr*** parameter to specify the offset of the PRS TX power relative to the cell-specific reference signal.

5.3.2 Positioning Procedure

Figure 5-5 shows the OTDOA-based positioning procedure.

Figure 5-5 OTDOA-based positioning procedure



The procedure for OTDOA-based positioning is similar to the typical positioning procedure. Steps 5, 6, 7, and 8 in **Figure 5-5** are specific to OTDOA-based positioning:

- In step 5, the E-SMLC sends a request for OTDOA assistance data to the eNodeB.
- In step 6, the eNodeB reports PRS configuration information and positioning measurement information to the E-SMLC.
- In step 7, the E-SMLC sends a location request, PRS configuration information, and assistance data such as frame timing information to the UE.

In step 8, the UE receives PRSs from reference cells and candidate cells to obtain propagation time between the reference cells and candidate cells and then reports the time values to the E-SMLC.

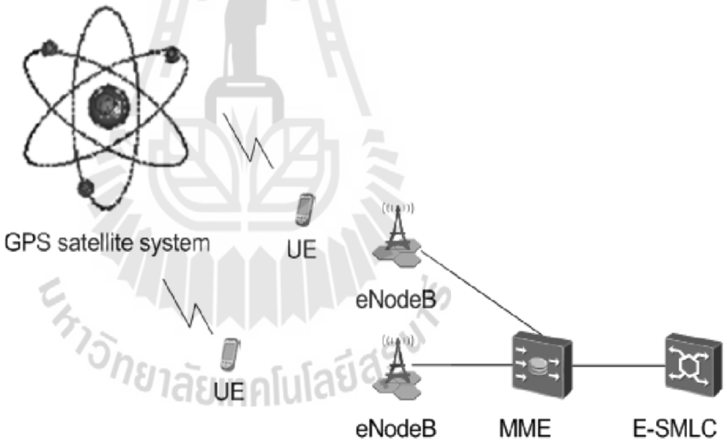
5.4 A-GPS-based Positioning

5.4.1 Principles

GPS is a global navigation satellite system implemented by the U.S. Department of Defense. It is capable of precisely locating any object on Earth by always providing a sufficient number of satellites within the line of sight of the object. In an E-UTRAN, the basic principles of A-GPS-based positioning are the same as the principles of common pseudo-range-based GPS positioning.

As shown in **Figure 5-6**, a total of 24 GPS satellites are deployed around the earth, with 4 satellites uniformly distributed on each of the 6 orbital planes. Each pair of adjacent orbital planes has an inclination difference of 55°. A UE searches for GPS signals and measures the GPS pseudo-ranges. Based on the measurements, the pseudo-range equations are solved and the UE location is determined.

Figure 5-6 Principles of the A-GPS-based positioning



The primary difference between A-GPS-based positioning and common GPS positioning is that in A-GPS-based positioning the E-SMLC collects the information about GPS satellites and then delivers the assistance data to the target UE. The assistance data can be the reference location, reference time, and ionosphere model. The assistance data helps the UE to receive GPS satellite signals more efficiently. For the UE, the time taken to measure the pseudo-ranges is shortened, the power consumption is reduced, and the receiving sensitivity is increased.

In addition, if the UE has less than four satellites within the line of sight, the information obtained by A-GPS is insufficient to determine the location of the UE. In this case, other measurements in the E-SMLC can also be used to help calculate the location of the UE.

The following conditions must be met to ensure the normal implementation of A-GPS:

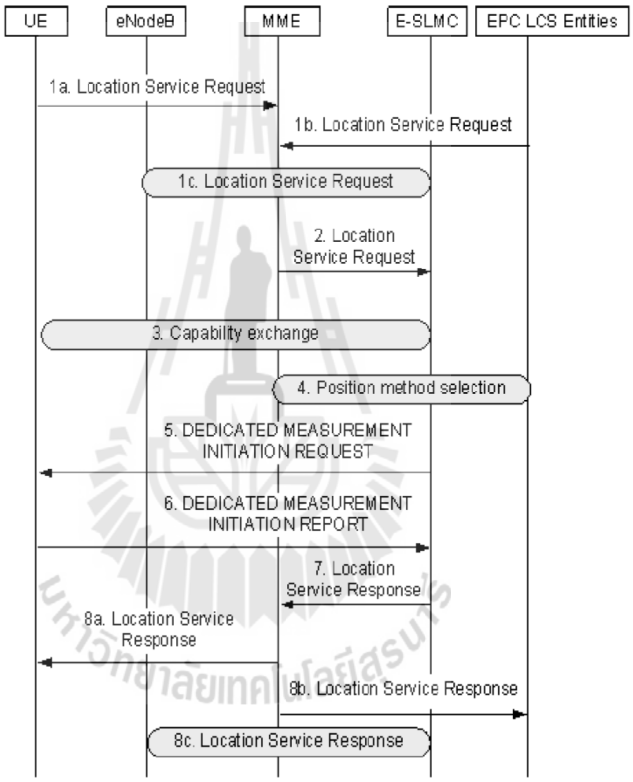
- The UE has a GPS receiver.

- The UE is not located where it cannot receive any satellite signals. For example, the UE signals cannot be blocked by a large building.

5.4.2 Positioning Procedure

Figure 5-7 shows the procedure for A-GPS-based positioning.

Figure 5-7 Procedure for A-GPS-based positioning



The procedure for A-GPS-based positioning is similar to the typical positioning procedure. Steps 5 and 6 in **Figure 5-7** are specific to A-GPS-based positioning:

- In step 5, the E-SMLC sends the UE an A-GPS-based positioning request and assistance data.
- In step 6, if UE-based mode is used, the UE reports its longitude and latitude information to the E-SMLC. If UE-assisted mode is used, the UE performs GPS pseudo-range measurements and Doppler shift measurements, and reports the measurement results to the E-SMLC. The E-SMLC then calculates the longitude and latitude of the UE based on the assistance data reported by the UE.

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Phimchan Chaichana, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul. “**GPS-Aided Opportunistic Space-Division Multiple Access for 5G Communications**” APCC 2014 Conference , 1-3 October 2014, Pattaya, Thailand

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

GPS-Aided Opportunistic Space-Division Multiple Access for 5G Communications

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

***Abstract*—Mobile network is moving in the era of 5G (fifth generation) communications as a research and development from 3G and 4G. Due to the growth of new applications available on network development, the demand for access to the internet increases enormously which makes the data rate grow beyond expectation. This is an important reason to accelerate the development of more progressive 5G technology to allocate radio frequencies which is limited for demand. Among candidate for 5G technology, Opportunistic Space-Division Multiple Access (OSDMA) is one of the most promising techniques that can be implemented in practice. This technique provides a high data rate for multiple users and requires less feedback information than conventional SDMA. However, the feedback requirement is still a big drawback for this technique. Although Angle-of-Departure-Aided OSDMA (AOD-OSDMA) technique is proposed to reduce the feedback information, unfortunately the high throughput relies on the feedback bit channel state information (CSI) for each user at the transmitter. System has limited a full CSI by large feedback overhead and affect by performance degradation due to channel estimation errors. This paper proposes a novel OSDMA technique called as Global-Positioning-System-Aided OSDMA (GPS-OSDMA). The knowledge of location estimation for each user is updated at base station (BS) via GPS technology. The simulation results show that the proposed technique overcomes the AOD-OSDMA for all scenarios.**

Keywords—5G technology; Space Division Multiple Access (SDMA); GPS technology

I. INTRODUCTION

5G is the name referred to some academic articles or research in the mobile network next generation of 4G/IMT-Advance (International Mobile Telecommunication-Advance) which 4G in some country available to services in last few years. However, 5G have no official announcement both in part of the standard specification and any documents are related to the telecommunications standard such as 3GPP (Third Generation Partnership Project), WiMax Forum or even ITU-R. Current 5G is not considered as new mobile generation but some notions may provide under the standard of 4G. There are several articles studying and surveying relation with 5G such as [1], [2] and [3]. Those articles mentioned the allocation of resources is frequency limited to support increasing of large number users. New applications are developed according to the network resources such as watching TV or videos with high image resolution and contrast [3]. The technique in the efficient allocation is BDMA (beam division multiple access) [1]. When BS communicates with MS, an orthogonal beam is allocated to each MS so that it is able to receive at full capacity for each user.

In the past ten years there has been enormous research and development of BDMA technique. The most common technique is called as multiple-input multiple-output (MIMO) technique or Space Division Multiple Access (SDMA) which it can increase high throughputs. However, to achieve the promising high throughput must require CSI known at BS [4-8]. In practice, for full CSI system it have limited if large feedback affect to performance degradation and channel estimation errors. Alternative solution is Opportunistic Space Division Multiple Access (OSDMA) technique [9] which helps to reduce feedback bit. The principle of this technique is at BS operative random beam sent with training sequence to each MS. Then each MS feedback evaluate the best signal-to-noise ratio (SNR) coincide with index beam. The BS will schedule beam according to the information from MS with the highest SNR for transmission. In addition, Angle-of-Departure-Aided OSDMA (AOD-OSDMA) technique [10] is proposed to use the knowledge of angle-of-departure (AODs) at BS for finding the strongest signal received at each MS to form beams. However, OSDMA techniques in literature 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 MS locations indirectly by using GPS technology. For 5G technology, every MS device has GPS technology along with other hardware platform [1]. Therefore, based on the knowledge of updated location information of MS at BS serving cell [11], the feedback information from MS is not necessary anymore. When MS requests the data transmission, then the serving BS is able calculate angle of MS to form beams and data transmission instantly set up without any known feedback CSI from MS.

The remainder of paper is organized as follows. Section II presents the overview of OSDMA technique. In Section III, the proposed technique named as Global Positioning System-Aided OSDMA (GPS-OSDMA) is described. The simulation results and discussions is given in Section IV.

II. Overview of Opportunistic Space-Division Multiple Access (OSDMA)

A. System Model

Consider for MIMO broadcast channel with N_t transmit antennas and K users with one receive antenna. We focus on OSDMA [9] scheme. Fig.1 shows the block diagram of a typical OSDMA system. The transmitter having B ($\geq N_t$) random orthonormal beams sends B pilot symbols forward to each user. Each user will feed back the best pilot symbol indexing to 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 $\left\lfloor \frac{L}{\tau} \right\rfloor$. That is, τM is used for training sequence and L-τM is used for data transmission in every time-slot. In this cease we define M = 1, in every mini-slot, B random orthonormal vector $\{w_{b,m} \in C^{Nt\ x1}, m=1, \ldots, M\}$. The signal receiver at each user in *m*th mini-slot is given by

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

where $h_k \in C^{Nt\ x1}$ is channel vector for *k*th user, $w_{b,m} \in C^{Ntx1}$ is *b*th random baemforming 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.

B. Algorithm Description

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

$$SINR_{k,b,m} = \frac{\left|h_k^T w_{b,m}\right|^2}{1/\rho + \sum_{l \neq b} \left|h_k^T w_{l,m}\right|^2} \qquad (2)$$

where ρ =P/N$_0$ is input SNR that is received by $SINR_{k,b,m}$ at each k=1,…,K , b=1,…,B and m=1,...,M. Each user feeds back maximum SINR according with index *b* and compute throughput R_m of *m*th given by

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

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

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

where τM is total overhead due to training sequence.

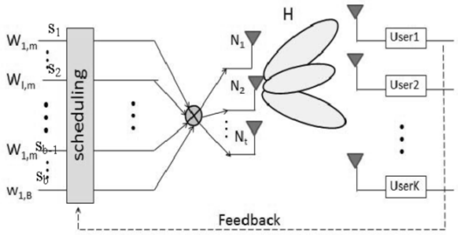


Fig.1. Block diagram of OSDMA system

III. Proposed GPS-Aided Opportunistic Space-Division Multiple Access (GPS-OSDMA)

A. Location astimation

Global Positioning System (GPS) is the method to estimate a position on the Earth by calculating the clock frequency sent from the satellite orbiting the Earth, which is knowledge for positions. At this point, the system is able to locate the satellite around the world. It does not help anything because the GPS navigation to pinpoint the location is just numbers. The empty space at the most can tell that you are heading in any direction such as north or south (etc others). Thus, the GPS will be able to navigate to the desired destination, need a map on the device itself. We can know that as of now is somewhere on the map and to go on the road, where it can reach the desired destination. The main application of the GPS is to find where we are or who we want. At present, the application of the GPS to use a variety such as navigator system, vehicle tracking system, space exploration, mapping, PC navigator And is prevalent in today is GPS in mobile, which almost all brands have been designed to link with the online map, an even more convenient to locate the mobile phone.

But since, to get an accurate position information required confirmed by satellite coordinates from at least 4 satellites [12]. In addition, GPS will pinpoint the exact location is outside the building or outdoor but within a building or indoor will be reduced or lost satellite signal. And another, the orbit of the satellite data was used to calculate the position it takes about 30-40 seconds, this resulted in the orbit direct download many times will take longer than that. Therefore, the GPS system has been used through the server, the mobile phone's download servers through the base station to serve it. Combining wireless networks [11] and satellite systems together to support both issues mentioned above as shown in Fig. 2. Which has developed continuously until the 3G [12] and continue to develop in the future as appear in [1], the concept of the mobile in the 5G position must be able to optimize the signal to the user.

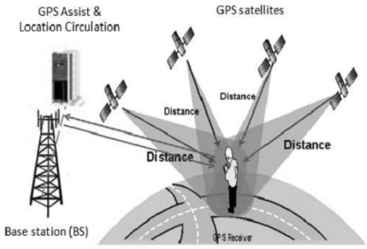


Fig.2. Hybrid location between GPS and wireless network.

To locate the center of the Earth or other reference range, $U_u(x_u, y_u)$ defined as a 2-dimensional coordinates of the user and $U_i(x_i, y_i)$ $(i = 1,2,...,n, n \geq 4)$ is the distance from the satellite (Or base station) to the user given by

$$d_i = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2} + ct_u + \varepsilon_i \tag{5}$$

where $(i = 1,2,...,n, n \geq 4)$, t_u is the satellite clock (or base station) sent to the user, C is the speed of light, ε_i is noise signal at received user, bill comes to finding the equation (5) can be written

$$T_u = (x_u, y_u, ct_u)^T \tag{6}$$

In equation (6), the third parameter is to make certain that the final position of a satellite is at least 4 of them. But if the signal satellite is less than 4 satellites, it can be calculated for a signal from the base station given by

$$\hat{T}_u = (\hat{x}_u, \hat{y}_u, c\hat{t}_u)^T \tag{7}$$

Considering the normalized value as,

$$\begin{cases} \hat{l}_i = (\hat{x}_u - x_i) / \hat{r} \\ \hat{m}_i = (\hat{y}_u - \hat{y}_i) / \hat{r}_i \end{cases} \tag{8}$$

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

by taking series of theories of Taylor scorers to equation (5), yields

$$\Delta d_i = \hat{l}_i \Delta x_u + \hat{m}_i \Delta y_u + c\Delta t_u \tag{9}$$

where $\Delta d_i = d_i - \hat{d}_i, \Delta x_u = \hat{x}_u - x_i, \Delta y_u = \hat{y}_u - y_i$

then, modify equation (8) in term of matrix given by

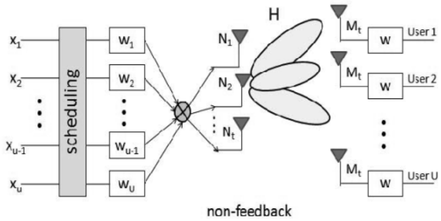


Fig.3. GPS-Aided OSDMA model.

$$\Delta d = G\Delta T_u \tag{10}$$
$$\Delta d = (\Delta d_1, \Delta d_2, ..., \Delta d_n)$$
$$\Delta T_u = (\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta ct_u), G = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & 1 \\ l_n & m_n & 1 \end{bmatrix}$$

the estimated number 1 receiver is given by

$$\Delta T_u = (G^T G)^{-1} G^T \Delta d \tag{11}$$

and the process of writing estimated is given by

$$\hat{T}_u = (\hat{x}_u - \Delta x_u, \hat{y}_u - \Delta y_u, c\hat{t}_u - \Delta ct_u)^T \tag{12}$$

To fine values by

$$T = (\delta x_u, \delta y_u, \delta ct_u)^T \tag{13}$$

The final estimated position is accurately given by

$$\bar{T}_u = (\bar{x}_u, \bar{y}_u, c\bar{t}_u) \tag{14}$$

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

In the case of mobile satellite, it is a technique to estimate the position of the smart antenna in received angle then for adaptation, which is the difference of arrival time (TDOA) measured from a link pilot signal then measure the angle of arrival [13].

B. GPS-Aided OSDMA model

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

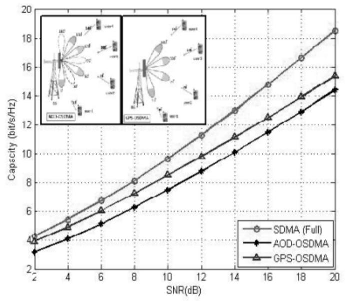


Fig.4. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=4, position= 10, 73, 108 and 140 degree.

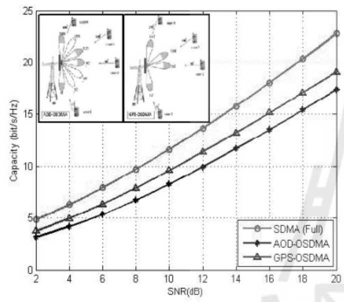


Fig.5. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=4, position= 12, 90, 120 and 170 degree.

$$\theta_u = \tan^{-1}\left(\frac{y_u}{x_u}\right) \rightarrow sattellite$$
$$\bar{\theta}_u = \tan^{-1}\left(\frac{\bar{y}_u}{\bar{x}_u}\right) \rightarrow base \quad station \qquad (15)$$

GPS-OSDMA system model is described in Fig. 3. It consists of 1 BS with the element N_t antennas to u=1,..,U users, each element M_t antennas. The received signal at user is given by

$$Y = HWX + n_u \quad \text{for} \quad u=1,\ldots,U \qquad (16)$$

where H is the channel matrix at BS forward to each user with dimension $M_t x N_t$, W=[w1,w2,..wU] is matrix set weight data transmission to each user, X=[x1,x2,…,xU] is set data forward to each user and how to find the set weight is given by

$$w_u = \ell^{-j(Nt-1)kd\sin\theta_u} \qquad (17)$$

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

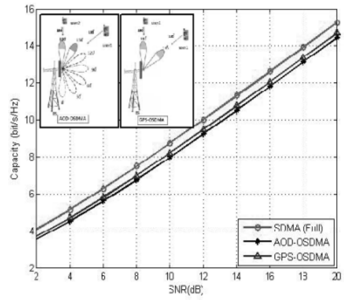


Fig.6. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=2, position= 135 and 180 degree.

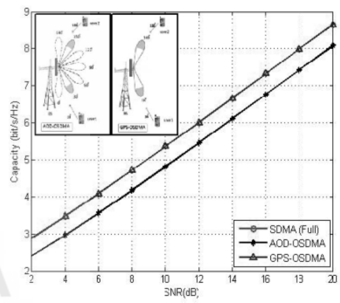


Fig.7. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=2 position= 18, and 160 degree.

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

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

IV. SIMMULATION RESULT

This section presents the comparison between the proposed transmission technique call as GPS-OSDMA and AOD-OSDMA technique. MATLAB programming is used for simulation, considering a case in 4x4 multiple-antennas, $d = 2/\lambda$, the noise is neglect and the direction of wave travelling is in Line of Sight (LOS) only.

Fig.4 and 5 show the performance comparison when using GPS-OSDMA, AOD-OSDMA and SDMA (full) techniques, where SDMA (full) is a technique with full knowledge of channel. We focus on the first 2 techniques and the third technique is given as reference. The small images on the top-left in both images show the clear scenarios, which location of users are taken into accounts. Each user requests access to the BS and is able to form beam to the direction of each available angle. In contrast, the AOD-OSDMA technique has to be selected by a random beam delivered to the user feedback on the maximum SNR

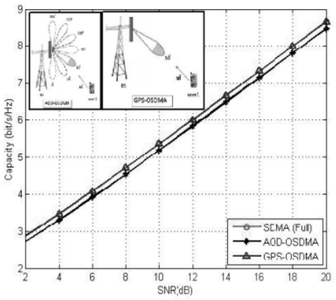


Fig.8. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=1, position= 50 degree.

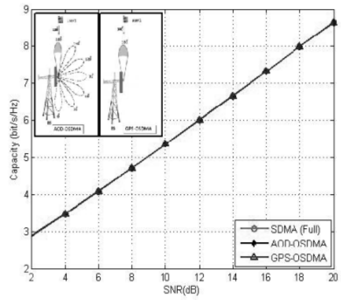


Fig.9. Peformance comparison of SDMA(full) , AOD-OSDMA and GPS-OSDMA schemes, the number of users=4, position= 180 degree.

beam. It will send data to that beam which the direction of the beam is not the same for all users. When considering sum capacity, GPS-OSDMA technique outperforms AOD-OSDMA technique as seen in Fig.4 and 5. But in the case of Fig.5, the random positions in the beam of AOD-OSDMA technique result on more sum capacity than the case of Fig.4. However, GPS-OSDMA technique still provides a better performance. Similarly, the results in Fig.6, 7 and 8, 9 for user u=2 and u=1 respectively confirm the benefit of using GPS-OSDMA. The results are similar to in Fig.4 and 5, but for u=2 the sum capacity of GPS-OSDMA technique is as efficient as SDMA (full). For u=1 in Fig.9, the position of user is matched with beam's direction which makes all three techniques coincide.

V. CONCLUSION

This paper proposes a new technique called as GPS-Aided OSDMA technique for mobile communication which aims for 5G. The advantage of this technique is to eliminate the feedback information. No random beam to each user for channel estimation is required. The proposed technique can form beams to the direction of the user's position based on the information from GPS technology which is updated on the server already. It means that the feedback bit is equal to zero. The simulation results show that the proposed technique overcomes the conventional AOD-OSDMA for all scenarios.

REFERENCES

[1] S. Patil, V. Patil, and P. Bhat, "A Review on 5G Technology," Volume 1, Issue 1, ISSN: 2277-3754, January 2012.

[2] 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

[3] 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

[4] I. Telatar, "Capacity of multi-antenna gaussian channels," European Trans. Telecommun., vol. 10, pp. 585–595, Nov. 1999.

[5] P. Meerasri, P. Uthansakul, and M. Uthansakul, "Self-Interference Cancellation Based Mutual Coupling Model for Full-Duplex Single-Channel MIMO Systems," International Journal of Antennas and Propagations, vol. 2013, pp. 1-10, 2013.

[6] A. Innok, P. Uthansakul, and M. Uthansakul, "Angular beamforming technique for MIMO beamforming system," International Journal of Antennas and Propagations, vol. 2012, pp. 1-13, 2012.

[7] C. Bunsanit, P. Uthansakul, and M. Uthansakul, "Refinement Method for Weighting Scheme of Fully Spatial Beamformer," International Journal of Antennas and Propagations, vol. 2012, pp. 1-13, 2012.

[8] M. Uthansakul and P. Uthansakul, "Experiments on Low-Profile Beamforming MIMO System for WLAN Applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 53, no. 6, pp. 56-69, December 2011.

[9] 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

[10] 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

[11] 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

[12] 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

[13] 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

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.

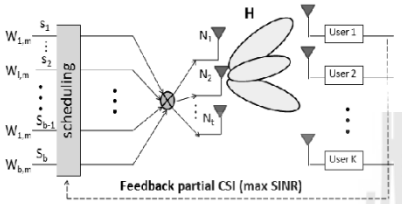


Fig.1. Block diagram of OSDMA systems.

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 Nt 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 (≥ Nt) randoms 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 [L/ τ] in which τM is used for training sequence and L-τM is used for data transmission in every time-slot. In this case, we define M = 1, in every mini-slot, B random orthonormal vector {wb,m € CNt x1, m=1, …, M}. The signal receiver at each user in mth mini-slot is given by

$$y_{k,m} = h_k^T w_{b,m} s_b + n_k \qquad \text{for k=1, ..., K} \tag{1}$$

where hk € CNt x1 is channel vector for kth user, wb,m € CNtx1 is bth random beamforming vector at mth mini-slot, sb is bth transmission pilot symbol and nk is Gaussian noise vector at kth user.

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

$$SINR_{k,b,m} = \frac{\left|h_k^T w_{b,m}\right|^2}{1/\rho + \sum_{l \neq b} \left|h_k^T w_{l,m}\right|^2} \tag{2}$$

where ρ =P/N0 is input SNR received by $SINR_{k,b,m}$ at each k = 1,…,K , b = 1,…,B and m = 1,...,M. Each user feeds back maximum SINR according with index b and compute throughput R_m of mth given by

$$R_m = \sum_{b=1}^{B} \log_2 \left(1 + \max_{1 \le k \le K} SNIR_{k,b,m}\right) \text{ for } \mathrm{m} = 1, \ldots, \mathrm{M} \tag{3}$$

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

$$R = \left(L - \tau M\right) \max_{1 \le k \le K} R_m \tag{4}$$

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 $\mathbf{H}_\mathbf{u}^{\mathbf{MxN}}$ 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

$$\mathbf{y}_\mathbf{u}^{\mathbf{MxN}} = \mathbf{H}_\mathbf{u}^{\mathbf{MxN}} \left[s_1 s_2 \cdots s_N\right]^T + n_u^{Mx1} \tag{5}$$

where $\left[\ldots\right]^T$ is the transpose, n_u^{MxN} is the AWGN and si is the pilot signal transmitted from the nth Tx antenna at the BS. The $\mathbf{H}_u^{MxN}$ is the matrix representing of the radio channel between the BS and the uth UE and it can be written as:

$$\mathbf{H}_\mathbf{u}^{\mathbf{MxN}} = \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{l,u} e^{j\phi_{l,u}} SV_{AOA_{l,u}}^T SV_{AOD_{l,u}} \tag{6}$$

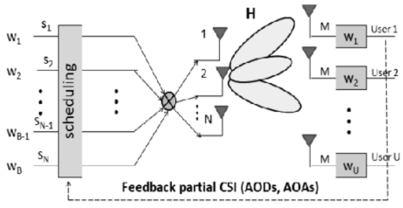


Fig.2. Block diagram of AOD-OSDMA systems [7].

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 u^{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 Lu is the total number of MPCs associated with the channel between the BS and u^{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 u^{th} user ($AODst$) can be found by a simple beam scan as:

$$AOD_{st,u} = \arg \max_{0 \le AOD \le 2\pi} \sum_{m=1}^{M} \left| \hat{h}_{m,u} SV_{AOD}^{H} \right| \tag{7}$$

where $|..|$ denotes the absolute value, $(..)^H$ is the Hermitian transpose, and $\hat{h}_{m,u}$ is the m^{th} row of $\hat{\mathbf{H}}_{\mathbf{u}}^{\mathrm{MxN}}$.

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 u^{th} user can be found as:

$$AOA_{st,u} = \arg \max_{0 \le AOA \le 2\pi} \left| SV_{AOA_{st,u}}^{*} \hat{H}_{u}^{MxN} SV_{AOD_{st,u}}^{H} \right| \tag{8}$$

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

$$SNR\left(AOD_{st,u}, AOA_{st,u}\right) = \frac{\left| SV_{AOA_{st,u}}^{*} \hat{H}_{u}^{MxN} SV_{AOD_{st,u}}^{H} \right|^2}{1/\rho} \tag{9}$$

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

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

where T is length of every time slot, τ is length of training minislots, n^{th} Tx at BS, 1 is Identity matrix has dimension equal MxM, and SINRn is the total signal-to-interference-plus-noise ratio of the nth selected UE.

3. PROPOSED OSDMA BASED LOCATION UPDATE INFPRMATION

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 call 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.

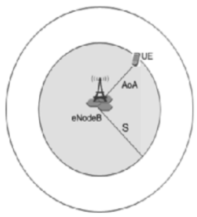


Fig.3. Principles of E-CID-based positioning.

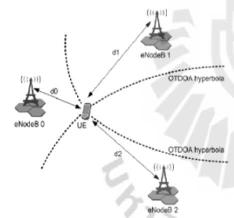


Fig.4. Network architecture for LCS. Principles of OTDOA-based.

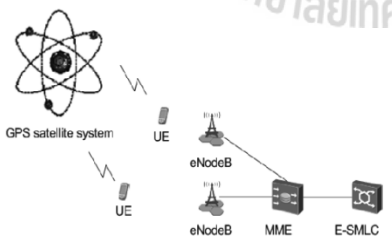


Fig.5. Principles of the A-GPS-based positioning.

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

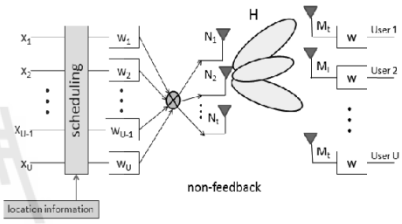


Fig.6. Block diagram of OSDMA(proposed) systems.

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

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

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

where H is the channel matrix at BS forward each user with dimension MtxNt , W=[w1,w2,..wU] is matrix set weight data transmission to each user, X=[x1,x2,…,xU] is set data forward each user and how to find the set weight is given by

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

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

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

where B is the bandwidth, I is the identity matrix, ρ is power at BS and ^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 4x4 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.

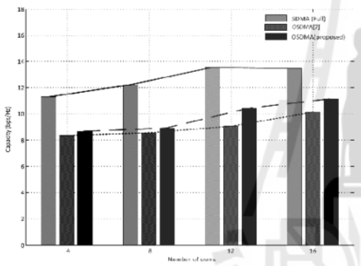


Fig.7. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users=4, 8, 12 and 16 with SNR=10dB.

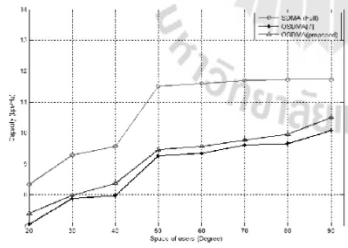


Fig.8. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the space of users = 20,30, 40 ,50, 60, 70, 80 and 90 degrees, around BS 360 degree.

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].

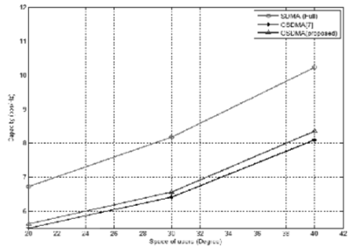


Fig.9. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the space of users = 20,30 and 40 degree, around BS 180 degrees.

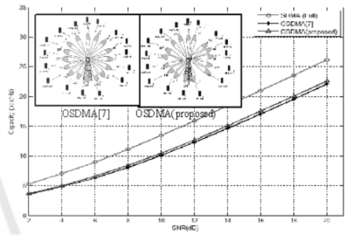


Fig.10. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 16, for case 1.

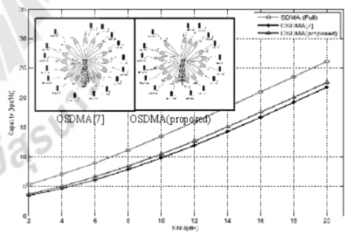


Fig.11. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 16, for case 2.

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.

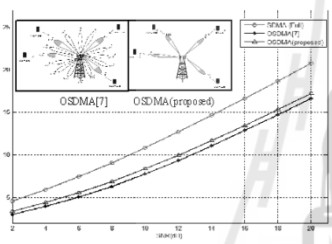


Fig.12. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 4 for case 1.

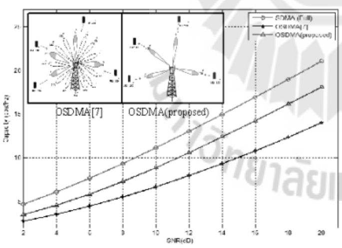


Fig.13. Peformance comparison of SDMA(full) , OSDMA[7] and OSDMA(proposed) schemes, the number of users = 4, for case 2.

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.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวพิมจันทร์ ชัยชนะ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดอุดรธานี เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1- 6 โรงเรียนบ้านหนองทุ่ม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนกุดจับประชาสรรค์ จังหวัดอุดรธานี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2553 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัท เออร์เนท จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร RF (Radio Frequency Engineer)

ปี พ.ศ. 2556 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนจากทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภาย(OROG) ในระหว่างศึกษาได้มีโอกาสทำงานร่วมกับบริษัท แอนเทค คอมมูนิเคชั่น จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร RF วิเคราะห์สัญญาณให้กับบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) และบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับและบทความทางวิชาการที่ได้รับการตอบรับในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ ดังนี้

1) 20th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2014) ในหัวข้อ. "**GPS-Aided Opportunistic Space-Division Multiple Access for 5G Communications**" Pattaya, Thailand, 1-3 October 2014.

2) 9th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC2015) ในหัวข้อ. **"Performance Analysis of GPS-Aided OSDMA Systems" Nakhon Ratchasima,** Thailand, 27-30 July 2015. (Accepted)