

รายงานการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่
สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย
WiMAX ในประเทศไทย

จัดทำโดย

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

และ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สิงหาคม 2549

**รายงานการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่
สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ในประเทศไทย**

ISBN 974-229-919-6

พิมพ์ครั้งที่ 1 (สิงหาคม 2549)

จำนวน 2,000 เล่ม

เอกสารเผยแพร่

สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2549 ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ และ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

ไม่อนุญาตให้คัดลอก ทำซ้ำ และดัดแปลง ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือฉบับนี้

นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์เท่านั้น

Copyright©2006 by:

National Telecommunications Commission and

National Electronics and Computer Technology Center

National Science and Technology Development Agency

Ministry of Science and Technology

112 Thailand Science Park, Phahon Yothin Road, Klong 1, Klong Luang,
Pathumthani 12120, THAILAND.

Tel. +66(0)2-564-6900 Fax. +66(0)2-564-6901..2

จัดพิมพ์และเผยแพร่โดย



สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

87 ถนนพหลโยธิน ซอย 8 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 02-271-0151..60 โทรสาร 02-290-5240

URL: <http://www.ntc.or.th/>

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

112 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง

อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 02-564-6900 โทรสาร 02-564-6901..2

URL: <http://www.nectec.or.th/>

คำนำ

ในโลกยุคปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารไร้สายมีบทบาทและมีประโยชน์ต่อชีวิต เศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีด้านการสื่อสารไร้สายมีวิวัฒนาการก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วมาก ประเทศไทยจำเป็นต้องศึกษาองค์ความรู้ ผลกระทบและการให้บริการต่างๆ รวมทั้งการจัดสรรความถี่วิทยุและการกำหนดระเบียบข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีด้านการสื่อสารไร้สายให้สอดคล้องกับวิวัฒนาการของเทคโนโลยีเพื่อจะได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวมาพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยี WiMAX เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจในเวทีโลกและน่าจะเข้ามามีบทบาทมากในประเทศไทยในอนาคตอันใกล้นี้ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการให้บริการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงในพื้นที่ให้บริการบริเวณกว้าง สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงได้ริเริ่มโครงการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายสื่อสารไร้สาย WiMAX ในประเทศไทย ขึ้น ซึ่งโครงการดังกล่าวเป็นหนึ่งในโครงการภายใต้โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างหน่วยงานทั้งสอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับเสนอต่อคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการจัดสรรคลื่นความถี่และการกำหนดระเบียบข้อบังคับต่างๆ สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี WiMAX เพื่อให้บริการบรอดแบนด์ไร้สายในประเทศไทย

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายงานผลการศึกษาดังกล่าว ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ เห็นว่ามีเนื้อหาสาระที่เป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไป จึงได้ร่วมกันจัดพิมพ์เผยแพร่เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี WiMAX และแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี WiMAX ในประเทศไทยให้เกิดขึ้นอย่างลึกซึ้งและกว้างขวางยิ่งขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

และ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สิงหาคม 2549

สารบัญ

คำนำ.....	3
บทสรุปผู้บริหาร.....	5
Executive Summary.....	10
บทที่ 1 บทนำ.....	15
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเทคโนโลยี IEEE 802.162021	20
2.1 Timeline ของการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16	21
2.2 System Architecture	22
2.3 Channel Access และ Media Access Control (MAC)	27
2.4 แถบคลื่นวิทยุใช้งานที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEEE 802.16	27
2.5 Physical Layer (PHY).....	28
2.6 IEEE 802.16 System Profiles.....	31
2.7 WiMAX Forum Certification Profile	32
บทที่ 3 การจัดสรรความถี่สำหรับ BMA.....	34
3.1 การใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ License และ Unlicensed	34
3.2 แถบคลื่นวิทยุสำหรับการใช้งานแบบ Line of Sight และ Non Line of Sight.....	37
3.3 แถบคลื่นวิทยุสำหรับการใช้งานแบบ Fixed, Nomadic และ Mobile Broadband Wireless Access	38
3.4 การจัดสรรความถี่สำหรับ BMA ในแถบคลื่นวิทยุ 2 – 6 Ghz ของประเทศต่างๆ.....	39
3.4.1 แถบคลื่นวิทยุ 5 Ghz.....	48
3.4.2 แถบคลื่นวิทยุ 3.5 Ghz.....	53
3.4.3 แถบคลื่นวิทยุ 2.5 Ghz.....	54
บทที่ 4 ข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่สำหรับ BMA ในประเทศไทย.....	58
4.1 แนวทางการพิจารณาความถี่สำหรับ BMA ในประเทศไทย	58
4.2 ข้อเสนอแนะแถบคลื่นวิทยุที่เหมาะสมสำหรับ BMA.....	59
4.3 ข้อเสนอแนะด้านรูปแบบการให้ License ความถี่.....	63
4.4 การให้อนุญาต BMA ชั่วคราวเพื่อการทดลองและประเมินผลทางด้านเทคนิค	63
4.5 การเผยแพร่ความรู้ BMA.....	64
บทที่ 5 บทสรุป	65
ภาคผนวก	68
1. ตัวอย่างการจัดสรรความถี่สำหรับ WIMAX ของประเทศต่างๆ.....	68
2. กรณีศึกษาการปรับปรุงการจัดสรรความถี่สำหรับ BMA ในแถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 Ghz ของประเทศสหรัฐอเมริกา	80
3. กรณีศึกษาการปรับปรุงการจัดสรรความถี่สำหรับ BMA ในแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 Ghz ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกง.....	84
4. ตัวอย่างอุปกรณ์เครือข่าย WiMAX.....	89
เอกสารอ้างอิง.....	91

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

รายงานนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยคณะทำงานโครงการศึกษาแนวทางการจัดสรรคลื่นความถี่ สำหรับการให้บริการบรอดแบนด์ไร้สาย (WiMAX) โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ เพื่อรวมข้อมูลศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX การพัฒนาและสถานะปัจจุบันของเทคโนโลยี WiMAX การประยุกต์ใช้งาน การจัดสรรความถี่สำหรับเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศต่างๆ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะในการจัดสรรความถี่ สำหรับเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศไทยเพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติสำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการจัดสรรความถี่ในการให้บริการบรอดแบนด์ไร้สายในประเทศไทยซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX เป็นเทคโนโลยี Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) ซึ่งให้บริการ Broadband Wireless Access (BWA) ครอบคลุมพื้นที่ในระดับเมืองหรือจังหวัด (รัศมีทำการจาก 3-10 กม.) WiMAX ประกอบไปด้วย 2 มาตรฐานหลักคือ IEEE 802.16-2004 สำหรับการใช้งานแบบ Fixed Broadband Wireless Access และ IEEE 802.16e-2005 สำหรับการใช้งานแบบ Mobile Broadband Wireless Access ความเร็วในการสื่อสารสูงสุดได้ถึง 70 Mbps ความกว้างของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth) ปรับเปลี่ยนได้ระหว่าง 1.75-20 MHz การติดต่อสื่อสารข้อมูลของ WiMAX รองรับทั้งเทคโนโลยี TDD (Time Division Duplex) และ FDD (Frequency Division Duplex) ตารางข้างล่างแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยี WiMAX 3G และ Wi-Fi

	WiMAX	3G		WLAN
	802.16e-2005	HSPA	1xEV-DO Rev A	802.11
Peak data rate				
- Downlink (Mbps)	14	3.6	1.3	54 (Shared)
- Uplink (Mbps)	5.3	1.5	0.5	
Bandwidth (MHz)	10	10	2.5	20
Multiple access	OFDMA	TDMA,CDMA	CDMA	CSMA/CA
Duplex	TDD	FDD	FDD	TDD
Mobility	Middle	High	High	Low
Coverage	Medium	Large	Large	Small
Standardization	IEEE 802.16	3GPP	3GPP2	IEEE 802.11

**source: WiMAX Forum*

การจัดสรรความถี่ของประเทศต่าง ๆ

การจัดสรรความถี่สำหรับ WiMAX ของประเทศต่าง ๆ พิจารณาจัดสรรความถี่ที่ 3 แถบความถี่วิทยุคือ 2.5 GHz, 3.5 GHz และ 5 GHz ดังสรุปในตารางข้างล่าง (ข้อมูลโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวก 1)

Frequency	2.5 GHz	3.5 GHz	5 GHz
Allocation	Licensed	Licensed	Unlicensed/Lite License
Countries	US, Mexico, Brazil, Singapore, Korea (2.3 GHz)	Most countries	Most countries
Target	Operators	Operators	"Grass roots" ISP

*source: WiMAX Forum

สถานะปัจจุบันของการจัดสรรความถี่ของประเทศไทย

สถานะปัจจุบันของการจัดสรรความถี่ของประเทศไทย สรุปอยู่ในตารางข้างล่าง

Frequency Band	Frequency Range	สถานะปัจจุบันและอุปสรรคของการจัดสรรความถี่ประเทศไทย
2.5 GHz	2.3-2.4 GHz	สถานะ ○ กิจการ Fixed และ Mobile Services เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (หมายเหตุ BWA สามารถพิจารณาเป็นกิจการ Fixed หรือ Mobile Services) ○ มีการใช้งานของกิจการ Fixed Links จำนวนมาก (39 คู่ช่องสัญญาณ) อุปสรรค ○ อาจมีความยุ่งยากในประสานงานการรบกวนระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Links
	2.500-2.690 GHz	สถานะ ○ กิจการ Fixed และ Mobile Services เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ ○ มีการใช้งานของกิจการ Fixed Links จำนวนน้อย (2 คู่ช่องสัญญาณ) ○ มีการใช้งานของกิจการ MMDS ซึ่งมีการใช้งานน้อยในพื้นที่กรุงเทพฯ และปราศจากการใช้งานในพื้นที่ต่างจังหวัด อุปสรรค ○ การปรับปรุงแผนความถี่กิจการ MMDS เพื่อนำใช้ในกิจการ BWA เป็นอำนาจของคณะกรรมการร่วม กทช.- กสช. (*)

3.5 GHz	3.4-3.7 GHz	สถานะ ○ กิจการ Fixed และ Mobile Services เป็น Secondary และกิจการ Fixed Satellite Service เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ ○ มีการใช้งานของดาวเทียม ThaiCOM ตลอดแถบคลื่นวิทยุ อุปสรรค ○ อาจประสบปัญหาการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการดาวเทียม ○ การเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งานของ Fixed และ Mobile Services จาก Secondary เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ เป็นอำนาจหน้าที่ของคณะกรรมการร่วม กทช.-กสช. (*)
5 GHz	5.470-5.725 GHz	สถานะ ○ กิจการ Fixed และ Mobile Services เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ ○ มีการใช้งานของกิจการของกองทัพอากาศ อุปสรรค ○ เนื่องจากแถบคลื่นวิทยุนี้ถูกกำหนดการจัดสรรความถี่ในรูปแบบ Unlicensed และเทคโนโลยี WiMAX ยังไม่สามารถรองรับการใช้งานแบบ Unlicensed อย่างมีประสิทธิภาพและยังอยู่ในสถานะกำลังพัฒนา
	5.725-5.825 GHz	สถานะ ○ กิจการ Fixed และ Mobile Services เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ ○ มีการใช้งานของกิจการของกองทัพอากาศ อุปสรรค ○ เนื่องจากแถบคลื่นวิทยุนี้ถูกกำหนดการจัดสรรความถี่ในรูปแบบ Unlicensed และเทคโนโลยี WiMAX ยังไม่สามารถรองรับการใช้งานแบบ Unlicensed อย่างมีประสิทธิภาพและยังอยู่ในสถานะกำลังพัฒนา

(*) คณะกรรมการกสช.กำลังอยู่ในช่วงพิจารณาสรรหา

ข้อเสนอแนะสำหรับการจัดสรรความถี่ BWA ของประเทศไทย

1. เสนอให้มีการจัดสรรความถี่สำหรับการให้บริการบรอดแบนด์ในรูปแบบของ Licensed เป็นอันดับแรก ส่วนการจัดสรรความถี่ในรูปแบบของ Unlicensed (License-exempt) นั้น ในปัจจุบันเทคโนโลยี WiMAX ยังไม่สามารถที่จะรองรับการใช้งานแบบ Unlicensed ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังอยู่ในสถานะกำลังพัฒนา ซึ่งต้องใช้เวลาพัฒนาอย่างน้อยอีก 1-2 ปี ดังนั้นจึงเสนอให้มีการพิจารณาการจัดสรรความถี่แบบ Licensed เป็นอันดับแรก

2. เสนอแนวทางการพิจารณาจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access (BWA) โดยพิจารณาจากหลักการ
 - 2.1 ความพร้อมใช้ของเทคโนโลยีที่มาใช้งาน BWA
 - 2.2 แนวทางการจัดสรรความถี่ BWA ของประเทศอื่นๆ
 - 2.3 แนวทางของ ITU-R F.1401-1 ซึ่งว่าด้วยแนวทางการพิจารณาการจัดสรรความถี่สำหรับ Fixed BWA
 - 2.4 ข้อกำหนดของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง
 ดังนั้นจึงเสนอให้พิจารณาจัดสรรความถี่สำหรับ BWA แบบ Licensed ในแถบคลื่นวิทยุดังต่อไปนี้คือ
 - แถบคลื่นวิทยุย่าน 2.5 GHz คือ 2.3-2.4 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 100 MHz) และ 2.5-2.690 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 190 MHz)
 - แถบคลื่นวิทยุย่าน 3.5 GHz คือ 3.4-3.7 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 300 MHz)
3. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.4 GHz จะเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
 - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Links
 - กำหนด Channel Block 5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
4. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 2.5-2.690 GHz จะเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
 - เนื่องจากแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของ MMDS น้อยในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลและไม่มีการใช้งานในพื้นที่ต่างจังหวัด ดังนั้นในแผนระยะยาวจึงเสนอให้มีการปรับปรุงแผนความถี่กิจการ MMDS มาใช้ในกิจการ BWA โดยอาจจะใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุนี้ของ US FCC มาประกอบการพิจารณา (ภาคผนวก 2) ส่วนในแผนระยะสั้นเสนอให้จัดสรรความถี่สำหรับกิจการ BWA ที่ไม่มีผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนต่อ MMDS ซึ่งสามารถจัดสรรได้โดยปราศจากความยุ่งยากด้านเทคนิคเกี่ยวกับการรบกวนกัน
 - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Links
 - กำหนด Channel Block 5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
5. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.7 GHz จะเสนอให้มีการดำเนินการศึกษาผลกระทบด้านการรบกวนในการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการดาวเทียม ThaiCOM เป็นอันดับแรก ถ้าผลการศึกษาพิจารณาให้มีการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ได้ จะเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
 - เปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งานของกิจการ Fixed และ Mobile services จาก Secondary เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ ซึ่งมีผลทำให้กิจการ Fixed และ Mobile services เป็น co-primary กับกิจการ Fixed Satellite Services
 - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการดาวเทียม
 - สามารถใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกงประกอบการพิจารณา
 - กำหนด Channel Block 3.5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX

6. ในระยะยาวเสนอให้มีการพิจารณาการจัดสรรความถี่แบบ Unlicensed โดยเสนอให้พิจารณาจัดสรรความถี่บริเวณ 5 GHz ที่แถบความถี่วิทยุ 5.470-5.725 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 255 MHz) และ 5.725-5.825 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 100 MHz) โดยมีการดำเนินการดังต่อไปนี้
- กำหนดรูปแบบการจัดสรรความถี่แบบ Lite Licensed (โมเดลเสนอโดย UK OFCOM) คือ ผู้ให้บริการ BWA ต้องทำการลงทะเบียนกับ กทช. เพื่อเก็บเป็นข้อมูลและเพื่อประสานงานด้านสัญญาณรบกวนกับผู้ให้บริการรายอื่น
 - กำหนดกำลังส่งสูงสุดที่มีผลกระทบต่อกิจการของกองทัพอากาศน้อยที่สุด
 - จัดทำข้อกำหนดอุปกรณ์สื่อสารในแถบคลื่นวิทยุนี้ที่รองรับเทคโนโลยี DFS (Dynamic Frequency Selection) และ TPC (Transmitter Power Control) เพื่อลดผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการอื่น
 - กำหนด Channel Block 10 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
7. เสนอให้มีการศึกษาโมเดลเพิ่มเติมในรูปแบบการจัดสรรความถี่ ตัวอย่างเช่น โมเดลในการออกใบอนุญาตและการกำหนดค่าตอบแทนคลื่นวิทยุ โมเดลในการกำหนดพื้นที่การให้บริการที่เหมาะสม รูปแบบของการให้สิทธิในการใช้คลื่นความถี่ และประเด็นความคุ้มทุนเป็นต้น เพื่อกระตุ้นและส่งเสริมให้มีการลงทุนและใช้งาน BWA กันอย่างแพร่หลายและทั่วถึง
8. เสนอให้มีการทดลองและวิจัยเทคโนโลยี WiMAX เพื่อศึกษาด้านคลื่นวิทยุ การรบกวนที่อาจเกิดกับกิจการอื่น และการใช้งาน Application ต่างๆ เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการจัดสรรความถี่ ในแผนระยะสั้นนี้เสนอให้มีการทดลองที่แถบคลื่นความถี่วิทยุ 2.5-2.690 GHz เนื่องจากมีผลกระทบด้านการรบกวนกับกิจการอื่นน้อย และมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดลองอยู่บนแผนคลื่นวิทยุที่มีอยู่แล้ว (แผนคลื่นวิทยุ 2.6 GHz ITU-R F.283-5) ซึ่งอยู่ในขอบเขตอำนาจหน้าที่ของกทช.
9. เสนอให้มีการจัดสัมมนาการจัดสรรความถี่สำหรับบรอดแบนด์ไร้สาย เพื่อรับฟังความคิดเห็นจากหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และบุคคลทั่วไป
- รายละเอียดของรายงานฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บทดังต่อไปนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ BWA บทที่ 2 อธิบายความรู้พื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.16 ส่วนการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ถูกอธิบายในบทที่ 3 บทที่ 4 ข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ประเทศไทย และบทที่ 5 บทสรุป

Executive Summary

This study is developed by the Working Group of Spectrum Allocation for Broadband Wireless Access under the research collaboration between National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC) and National Telecommunications Commission (NTC). The study provides the background in WiMAX technology, the state of the industries and spectrum regulatory issues. The study thoroughly reviews the current spectrum and regulation activities worldwide, the current status of Thailand and also provides the guideline of spectrum allocation for WiMAX in Thailand. Spectrum regulation case studies of some countries are also presented.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is growing the interest as the candidates for the next generation of broadband wireless access. WiMAX allows the data speed of up-to 40 Mbps over 10 kilometer distance. WiMAX creates the significant opportunities for provision of broadband wireless services with extensive geographical coverage. Currently, WiMAX consists of two main standards 1) IEEE 802.16-2004 for fixed broadband wireless access and 2) IEEE 802.16e-2005 for mobile broadband wireless access. WiMAX has the flexible channel bandwidth allocation (1.75-20 MHz) and modulation schemes (TDD or FDD). The table below presents the technology comparison between WiMAX, 3G and Wi-Fi.

	WiMAX	3G		WLAN
	802.16e-2005	HSPA	1xEV-DO Rev A	802.11
Peak data rate				
- Downlink (Mbps)	14	3.6	1.3	54 (Shared)
- Uplink (Mbps)	5.3	1.5	0.5	
Bandwidth (MHz)	10	10	2.5	20
Multiple access	OFDMA	TDMA,CDMA	CDMA	CSMA/CA
Duplex	TDD	FDD	FDD	TDD
Mobility	Middle	High	High	Low
Coverage	Medium	Large	Large	Small
Standardization	IEEE 802.16	3GPP	3GPP2	IEEE 802.11

**source: WiMAX Forum*

Currently WiMAX forum has worked with the regulators worldwide to ensure the harmonization of the spectrum allocation for WiMAX. The harmonization of the spectrum allocation has the benefits to provide the economies of scales of WiMAX equipments thus lower prices for consumers. The table below summarizes the spectrum allocation for broadband wireless access (BWA) around the world.

Frequency	2.5 GHz	3.5 GHz	5 GHz
Allocation	Licensed	Licensed	Unlicensed/Lite License
Countries	US, Mexico, Brazil, Singapore, Korea (2.3 GHz)	Most countries	Most countries
Target	Operators	Operators	"Grass roots" ISP

**source: WiMAX Forum*

The current status of spectrum allocation for WiMAX in Thailand is summarized in the table below.

Frequency Band	Frequency Range	Status and Challenges of Spectrum Allocation in Thailand
2.5 GHz	2.3-2.4 GHz	Status - Fixed and Mobile Services are the Primary in National Table of Frequency Allocations - Spectrum is allocated to a number of Fixed Link services (39 pairs of channels) Challenges - Spectrum coordination between Broadband Wireless Access Services and Fixed Link Services
	2.500-2.690 GHz	Status - Fixed and Mobile Services are the Primary in National Table of Frequency Allocations - Spectrum is allocated to only a few Fixed Links services (2 pairs of channels) - Spectrum is allocated to MMDS but reportedly used only in Bangkok

Frequency Band	Frequency Range	Status and Challenges of Spectrum Allocation in Thailand
		Challenges ○ Rule amendment for MMDS to provide BWA is the authorization of Joint committee of NTC and NBC (*)
3.5 GHz	3.4-3.7 GHz	Status ○ Fixed and Mobile Services are the Secondary and Fixed Satellite is the Primary in National Table of Frequency Allocations ○ Spectrum is allocated to ThaiCOM Challenges ○ Spectrum coordination between Broadband Wireless Access and ThaiCOM ○ Amendment Fixed and Mobile Services from the Secondary to the Primary is the authorization of Joint committee of NTC and NBC (*)
5 GHz	5.470-5.725 GHz	Status ○ Fixed and Mobile Services are the Primary in National Table of Frequency Allocations ○ Spectrum is allocated to Military Services Challenges ○ This frequency band is aimed for unlicensed spectrum usage. The technology of WiMAX for unlicensed usage is underdeveloping.
	5.725-5.825 GHz	Status ○ Fixed and Mobile Services are the Primary in National Table of Frequency Allocations ○ Spectrum is allocated to Military Services Challenges ○ This frequency band is aimed for unlicensed spectrum usage. The technology of WiMAX for unlicensed usage is underdeveloping.

(*) NTC = National Telecommunications Commission

NBC = National Broadcasting Commission, NBC has not been selected yet

The recommendations for spectrum allocation for WiMAX in Thailand are the follows.

1. Recommendation to have the spectrum allocation for both licensed and unlicensed frequency usage. The consideration of the licensed frequency band is the first priority.
2. The criteria for BWA frequency consideration is based on
 - a. The availability of BWA Technologies
 - b. Frequency allocation of other countries as a guidance
 - c. Recommendation ITU-R F.1401-1 for Fixed BWA frequency allocation
 - d. Laws and Regulations of Thailand

The recommendation of BWA licensed frequency allocation for Thailand is

- 2.3-2.4 GHz frequency band (range of 100 MHz) and 2.5-2.690 GHz frequency band (range of 190 MHz)
 - 3.4-3.7 GHz (range of 300 MHz)
3. Recommendation works if considering 2.3-2.4 GHz frequency band as BWA licensed frequency
 - Develop the recommendation for frequency sharing between BWA and Fixed Link Services
 - Allocate the channel block of 5 MHz
 4. Recommendation works if considering 2.5-2.690 GHz frequency band as BWA licensed frequency
 - Amend rules and regulations of MMDS for BWA usage
 - Develop the recommendation for frequency sharing between BWA and Fixed Link Services
 - Allocate the channel block of 5 MHz
 5. Recommendation works if considering 3.4-3.7 GHz frequency band as BWA licensed frequency
 - Conduct the interference study of frequency sharing between BWA and ThaiCOM
 - Amend Fixed and Mobile Services in National Table of Frequency Allocations from Secondary to Primary
 - Develop the recommendation for frequency sharing between BWA and Satellite Services
 - Use the case study of frequency allocation of Hong Kong as a guidance
 - Allocate the channel block of 3.5 MHz

6. In the long term BWA unlicensed frequency allocation for Thailand are 5.470-5.725 GHz frequency band (range of 255 MHz) and 5.725-5.825 GHz frequency band (range of 100 MHz). The recommendation works are
 - Adopt the Lite-Licensed model for BWA unlicensed frequency allocation
 - Develop the recommendation for frequency sharing between BWA and Military Services
 - Recommend the BWA equipments to adopt the technologies of Dynamic Frequency Selection (DFS) and Transmitter Power Control (TPC) to mitigate the interference of frequency sharing
 - Allocate the channel block of 10 MHz
7. Recommendation to conduct the further studies of Licensing Model
8. Recommendation to conduct the WiMAX field trial
9. Recommendation to conduct the WiMAX seminar and public hearing.

บทที่ 1 บทนำ

ในอดีตการให้บริการเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงหรือ Broadband Wireless Access (BWA) นั้นจะพึ่งพาการใช้งานจากเทคโนโลยีที่เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของบริษัทผู้ผลิต (Proprietary Technology) ซึ่งโดยรวมแล้วการใช้งานเครือข่ายความเร็วสูงนั้นไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควรเนื่องจาก ปราสจากเทคโนโลยีซึ่งเป็นมาตรฐานกลาง อุปกรณ์ที่ผลิตมาจากต่างบริษัทไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ ขนาดของการผลิตอุปกรณ์หรือ Economies of scale อยู่ในระดับที่ต่ำ จึงทำให้อุปกรณ์มีราคาที่สูงมาก การใช้งานในอดีตจึงอยู่ในวงจำกัด ในเวลาต่อมาทางประเทศสหรัฐอเมริกา โดยองค์กร The Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association (IEEE-SA) ได้พัฒนามาตรฐานเทคโนโลยีสำหรับ Broadband Wireless Access (BWA) ที่เรียกว่ามาตรฐาน IEEE 802.16 ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันทางยุโรปโดยองค์กร European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ได้พัฒนามาตรฐาน BWA ที่มีชื่อว่า HiperMAN การพัฒนามาตรฐานทั้ง IEEE 802.16 และ HiperMAN มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันและพัฒนาคู่ขนานกันมา ในปี 2001 ภาควิทยุทธศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วย บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ บริษัทพัฒนา Chipset บริษัทพัฒนาส่วนประกอบ ได้รวมตัวกันก่อตั้ง WiMAX forum ซึ่งเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร มีเป้าหมายเพื่อทำการสนับสนุนและพัฒนาข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์เครือข่ายมาตรฐาน IEEE 802.16 เพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน มีราคาที่ต่ำและเพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตสามารถใช้งานร่วมกันได้ IEEE 802.16 จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access)

IEEE 802.16 หรือ WiMAX ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) standard ซึ่งเป็นมาตรฐานเครือข่ายไร้สายที่มีรัศมีทำการโดยประมาณจาก 3 กม. ถึง 10 กม. ในบางกรณีอาจถึง 50 กม. ให้บริการ Broadband Wireless Access ในระดับเมือง (Urban area) ชานเมือง (Suburban area) และ ชนบท (Rural area) สามารถรองรับความเร็วการสื่อสารข้อมูลสูงสุดถึง 100 Mbps ความเร็วการสื่อสารข้อมูลที่แท้จริงสามารถแปรเปลี่ยนขึ้นกับปัจจัยหลายๆ อย่างเช่น วิธีการมอดูเลชัน (Modulation Scheme) ความกว้างของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth) ระดับความแรงของสัญญาณ และ ระดับของสัญญาณรบกวน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม WiMAX forum ได้ตั้งเป้าหมายความเร็วการสื่อสารข้อมูลดังต่อไปนี้

- 40 Mbps สำหรับการใช้งานเชื่อมต่อแบบไม่เคลื่อนที่ (Fixed Access) และการเชื่อมต่อแบบพกพา (Portable Access)
- 15 Mbps สำหรับการเชื่อมต่อแบบเคลื่อนที่ (Mobile Access) ที่มีรัศมีทำการของสถานีฐาน (cell site) ครอบคลุมประมาณ 3 กม

หมายเหตุ

- การเชื่อมต่อแบบไม่เคลื่อนที่ (Fixed Access) หมายถึงการเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์ลูกข่าย (กล่องควบคุมและเสาอากาศรับส่งมักแยกชิ้นกัน) ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ยึดติดกับอาคารสถานที่อย่างมั่นคง เสาอากาศรับส่งมักจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร
- การเชื่อมต่อแบบพกพา (Nomadic หรือ Portable Access) หมายถึงการเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์ลูกข่าย (กล่องควบคุมและเสาอากาศรวมกันเป็น unit เดียวกัน) ที่สามารถพกพาไปที่ต่างๆ ได้ แต่ขณะใช้งานเชื่อมต่อเครือข่าย อุปกรณ์ลูกข่ายต้องติดตั้งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำเช่น การใช้งานขณะเดิน
- การเชื่อมต่อแบบเคลื่อนที่ (Mobile Access) หมายถึงการเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์ลูกข่ายที่สามารถพกพาได้ และสามารถใช้งานขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้เช่นการใช้งานบนรถยนต์ รถไฟ เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งานของ WiMAX เช่น

1. การเชื่อมอินเทอร์เน็ตไร้สายความเร็วสูงสำหรับที่พักอาศัยและธุรกิจขนาดเล็ก – การกระจายการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไร้สายไปสู่ ที่พักอาศัยและธุรกิจขนาดเล็กที่เรียกว่า Last mile connection ซึ่งการเชื่อมต่อแบบนี้จะเป็นบริการเสริมหรือแทนที่ การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบมีสาย เช่น DSL, Cable modem ซึ่งเทคโนโลยีเช่น DSL มีขีดจำกัดของการให้บริการอยู่ภายในบริเวณรัศมีประมาณ 2 กิโลเมตรจาก ชุมสาย (Central Office) ในระยะห่างที่เกินกว่า 2 กิโลเมตร DSL จะมีประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลที่ลดลงจนไม่สามารถให้บริการได้ ดังนั้นในพื้นที่ชานเมืองหรือพื้นที่ห่างไกลความเจริญจึงขาดโอกาสในการเข้าถึง Broadband Wireless Access อีกทั้งการลงทุนเพิ่มขยาย Central Office หรือติดตั้งเครือข่ายแบบมีสายต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมาก WiMAX จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถให้บริการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายได้อย่างรวดเร็วและด้วยเงินลงทุนที่ต่ำกว่า
2. WiMAX สำหรับธุรกิจขนาดกลางและใหญ่ – ในธุรกิจขนาดกลางและใหญ่ การเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างสำนักงานใหญ่กับสาขาย่อยมักเชื่อมต่อกันผ่านทางเครือข่ายแบบมีสายเช่น การเช่าสายสื่อสารข้อมูล (Lease line) หรือ T1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและใช้งาน WiMAX สามารถให้บริการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถใช้ทดแทนการเชื่อมต่อแบบมีสายข้างต้น
3. การเชื่อมต่อแบบส่งต่อให้กับเครือข่าย Wi-Fi สาธารณะหรือ Wi-Fi Hotspot Backhaul ปัจจุบัน Wi-Fi Hotspot ให้บริการ BWA กันอย่างแพร่หลายในที่สาธารณะต่างๆ ตัวอย่างเช่น สนามบิน ศูนย์การค้า ร้านกาแฟ เป็นต้น ซึ่งเครือข่าย Wi-Fi จะต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ผู้ใช้ Wi-Fi Hotspot สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ ดังนั้น WiMAX จึงสามารถถูกนำไปใช้เป็น Backhaul ให้กับเครือข่าย Wi-Fi Hotspot
4. การเชื่อมต่อแบบส่งต่อให้กับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ หรือ Cellular Backhaul - ในเครือข่าย Cellular นั้นจะประกอบไปด้วยสถานีฐานหรือ base station ที่กระจายอยู่ทั่วไป การเชื่อมต่อระหว่าง cellular base station นั้นมักจะพึ่งพาบริการ lease line จาก wired operator (บางครั้ง

wired operator ถือว่าเป็นคู่แข่งทางธุรกิจดังนั้นจึงมีความเสี่ยงทางธุรกิจได้) WiMAX สามารถให้บริการที่เป็น point-to-point connection คือสามารถเชื่อมต่อโดยตรงระหว่าง base station ด้วยเทคโนโลยี WiMAX ในบางกรณี cellular base station สามารถเชื่อมต่อกันผ่านทาง microwave link ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้น WiMAX สามารถใช้เป็นการเชื่อมต่อเสริม (Overlay connection) เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรับส่งข้อมูลโดยมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

5. เครือข่ายสำหรับกิจการสาธารณะ (Public safety service) - WiMAX มีความยืดหยุ่นสูงในการใช้งานแบบพกพา (Portable Access) ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้ในกิจการสาธารณะ เช่น
 - การสื่อสารของตำรวจ อุปกรณ์ WiMAX ถูกติดตั้งประจำที่รถตำรวจ ตำรวจสามารถเรียกข้อมูลจากศูนย์บัญชาการได้อย่างรวดเร็วผ่านเครือข่าย WiMAX
 - หน่วยบรรเทาสาธารณภัย เมื่อมีภัยพิบัติเกิดขึ้น โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารอื่นๆ เช่น โทรศัพท์ มือถือ ถูกทำลายไป WiMAX สามารถถูกนำไปติดตั้งและสร้างเครือข่ายในที่เกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วเพื่อช่วยในการสื่อสารข้อมูลจากที่เกิดเหตุไปสู่ส่วนกลางเพื่อช่วยในการประสานงานบรรเทาสาธารณภัย
 - หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ WiMAX สามารถถูกติดตั้งไปกับรถพยาบาล หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ หรือหน่วยพยาบาลเคลื่อนที่สามารถส่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวของคนไข้ในที่เกิดเหตุกลับไปสู่โรงพยาบาลเพื่อทำการวินิจฉัยได้ทันที
6. การใช้งานอินเทอร์เน็ตนอกสถานที่ – ในอนาคตอันใกล้ อุปกรณ์ WiMAX จะรวมเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คซึ่งผู้ใช้สามารถติดต่ออินเทอร์เน็ตได้ทุกเวลาและสถานที่

นอกจากเทคโนโลยี WiMAX ที่สามารถให้บริการ BWA แล้วนั้นยังมีเทคโนโลยีอื่นที่สามารถให้บริการ BWA ได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น Wi-Fi, 3G cellular network เป็นต้น

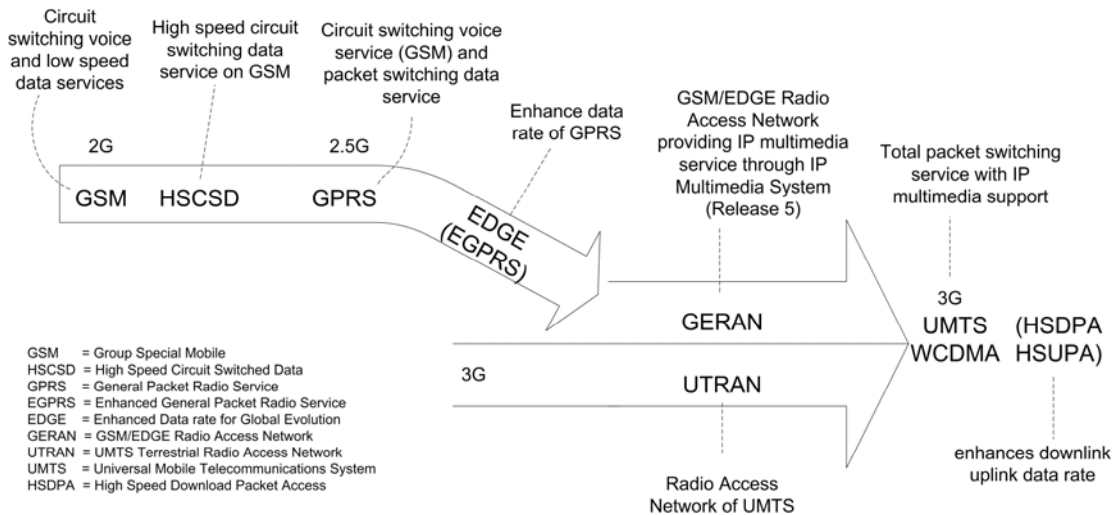
WiMAX vs Wi-Fi

WiMAX อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี IEEE 802.16 ขณะที่ Wi-Fi อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี IEEE 802.11 ปัจจุบัน Wi-Fi มีการใช้งานที่แพร่หลาย อุปกรณ์หาได้ง่ายและราคาถูก มีการนำไปใช้งานในหลายๆ สถานที่ตัวอย่างเช่น สนามบิน ศูนย์การค้า ร้านกาแฟ บ้านพักอาศัย ออฟฟิศ เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้ได้รับความสะดวกในเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไร้สาย ถึงแม้ว่า WiMAX และ Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีที่ให้บริการ BWA เหมือนกันแต่มีเป้าหมายการให้บริการที่แตกต่างกันกล่าวคือ Wi-Fi มีเป้าหมายให้บริการในพื้นที่ขนาดเล็ก หรือเป็น Wireless Local Area Network ซึ่งให้บริการในพื้นที่จำกัด (รัศมีน้อยกว่า 150 เมตร) ความเร็วในส่งข้อมูลสูง ขณะที่ WiMAX มีความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำกว่าแต่มีพื้นที่การให้บริการที่กว้างกว่า คือ ระดับเมืองมหานคร หรือเป็น Wireless Metropolitan Area Network ดังนั้นการใช้งาน WiMAX และ Wi-Fi จึงเสริมซึ่งกันและกันกล่าวคือ เมื่อผู้ใช้อยู่ภายในออฟฟิศ หรือภายในอาคารที่มีให้บริการ Wi-Fi ผู้ใช้จะเข้าถึงอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่าย Wi-Fi แต่เมื่อผู้ใช้ออกสู่นอกอาคารไปตามสถานที่ต่างๆ ผู้ใช้ก็จะเปลี่ยนไปใช้ WiMAX นอกจากนี้ WiMAX ยังสามารถนำไปใช้เป็น Wi-Fi Hotspot Backhaul ดังที่กล่าวมาแล้ว

WiMAX vs 3G

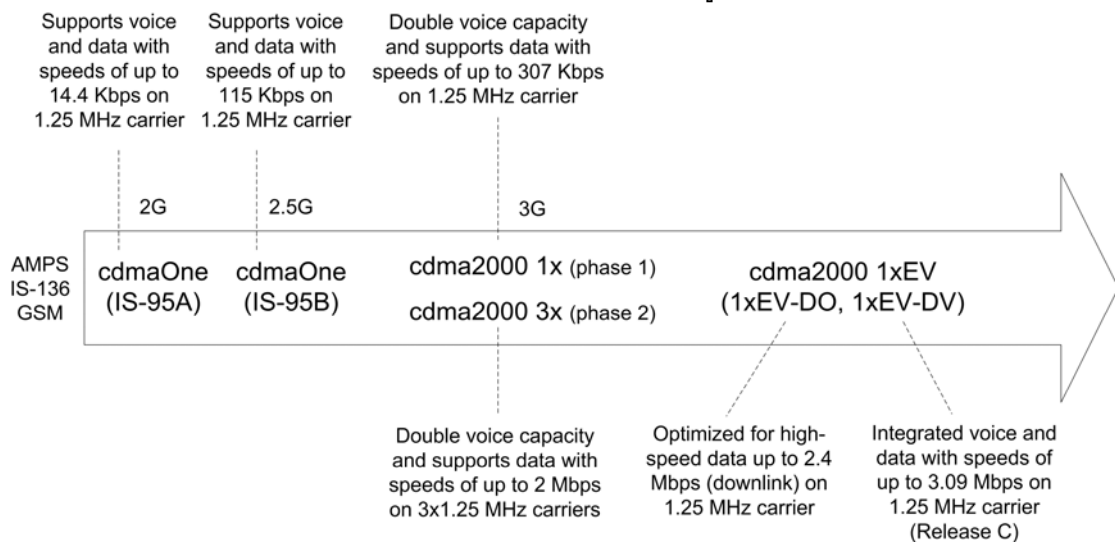
เทคโนโลยี 3G เป็นเทคโนโลยีของ Cellular network ซึ่งมีการพัฒนาต่อเนื่องและสามารถให้บริการทั้งเสียงและสื่อผสมและสามารถรองรับการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงได้ เทคโนโลยี 3G จะมีอยู่สองค่ายคือ

1. WCDMA ซึ่งมีการพัฒนาต่อเนื่องมาจาก GSM ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิวัฒนาการของ WCDMA

2. cdma2000 ซึ่งมีการพัฒนาต่อเนื่องมาจาก cdmaOne ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิวัฒนาการของ cdma2000

WiMAX มีพื้นฐานมาจากเครือข่ายข้อมูล หรือ data network สามารถให้บริการ BWA ทั้งในแบบ Fixed และ Mobile ปัจจุบันเนื่องจากความนิยมและประสิทธิภาพในการใช้งาน VoIP ที่สูงขึ้น ดังนั้นผู้ใช้จึงสามารถใช้งาน VoIP ผ่านเครือข่าย WiMAX ซึ่งการใช้งานนี้จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการใช้งาน โทรศัพท์มือถือ ขณะเดียวกัน 3G cellular network ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการให้บริการเสียงและมีการพัฒนาขีดความสามารถให้รับส่งข้อมูลความเร็วสูงได้ ผู้ใช้ 3G สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่าย Cellular ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทั้ง WiMAX กับ 3G มีฐานลูกค้าที่เหลื่อมกัน หลายๆ ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือจึงมอง WiMAX เป็นคู่แข่งในการให้บริการ แต่บาง ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือก็มีความเห็นว่าทั้งสองเทคโนโลยีจะเสริมกันและกันถึงแม้จะมีฐานลูกค้าเหลื่อมกันแต่ก็ไม่สามารถทดแทนกันได้อย่างสมบูรณ์ ดังตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง WiMAX, Wi-Fi และ 3G

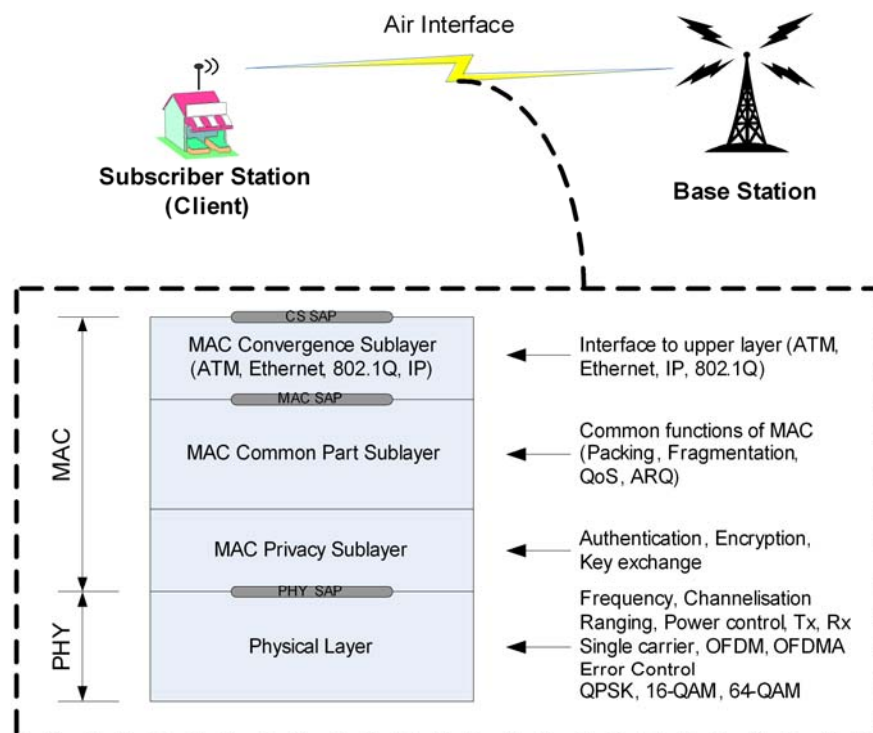
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่าง WiMAX, 3G, WLAN

	WiMAX	3G		WLAN
	802.16e-2005	HSPA	1xEV-DO Rev A	802.11
Peak data rate				
- Downlink (Mbps)	14	3.6	1.3	54 (Shared)
- Uplink (Mbps)	5.3	1.5	0.5	
Bandwidth (MHz)	10	10	2.5	20
Multiple access	OFDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CSMA/CA
Duplex	TDD	FDD	FDD	TDD
Mobility	Medium	High	High	Low
Coverage	Medium	Large	Large	Small
Standardization	IEEE 802.16	3GPP	3GPP2	IEEE 802.11

*source: WiMAX Forum

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเทคโนโลยี IEEE 802.16

IEEE 802.16 Working Group ได้พัฒนาและกำหนดมาตรฐานในส่วนของการเชื่อมต่อไร้สาย หรือ Air Interface ของ IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Standard โดยได้กำหนดในสองส่วนของชั้นโปรโตคอล คือ Physical Layer (PHY) และ Media Access Control Layer (MAC) ดังรูปที่ 3 ในแต่ละชั้นโปรโตคอลก็มีการกำหนด คุณลักษณะการจัดการข้อมูล การสื่อสารแลกเปลี่ยน ตัวอย่างของการกำหนดในชั้น Physical layer เช่น ความถี่ในการใช้งาน ขนาดของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth) Modulation เป็นต้น ส่วนชั้น Media Access Control layer เช่น Media Access Control, Quality of Service (QoS), การรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งในหัวข้อนี้จะเลือกเฉพาะบางส่วนมาอธิบายเท่านั้น



รูปที่ 3 IEEE 802.16 Protocol Stack

2.1 ประวัติลำดับของการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16

- กรกฎาคม 1999, IEEE 802.16 Working Group ได้กำเนิดขึ้นเพื่อพัฒนามาตรฐานสำหรับ Broadband Wireless Access Working Group อยู่ภายใต้องค์กร IEEE Standard Association (IEEE-SA) ประกอบไปด้วยนักวิจัยและพัฒนา จากหน่วยงานรัฐ บริษัทเอกชนจากทั่วโลก ร่วมกันพัฒนามาตรฐาน
- ธันวาคม 2001, มาตรฐานแรกของ IEEE 802.16 ได้ผ่านการรับรองซึ่งมีชื่อว่า IEEE 802.16-2001 ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐาน สำหรับ Fixed Broadband Wireless Access (อุปกรณ์เครือข่ายและลูกข่ายติดตั้งอยู่กับที่) และทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 10-66 GHz
- ในปี 2002, มาตรฐาน IEEE 802.16a ถูกพัฒนาขึ้นและได้รับการรับรองเพื่อเป็นมาตรฐานเสริมสำหรับ IEEE 802.16-2001 (ซึ่งเป็นตัวมาตรฐานหลัก) IEEE 802.16a กำหนดมาตรฐาน สำหรับ Fixed Broadband Wireless Access แต่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 2-11 GHz และในปีเดียวกันยังมีการพัฒนามาตรฐานย่อยหลายมาตรฐานตามมา ตัวอย่างเช่น
 - IEEE 802.16c กำหนด system profiles หรือคุณสมบัติตั้งต้นของระบบ เพื่อช่วยให้ผู้ผลิตอุปกรณ์สามารถนำไปกำหนดใช้ในผลิตภัณฑ์ของตัวเองหรืออีกนัยหนึ่งเป็นการกำหนด Interoperability Specification เพื่อให้อุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตสามารถทำงานร่วมกันได้บน system profile อันเดียวกัน
 - IEEE 802.16.2 ซึ่งมีชื่อว่า Recommended Practice on "Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems" in 10-66 GHz หมายถึง มาตรฐานนี้จะเป็นการกำหนดแนวทางและคำแนะนำในการออกแบบและติดตั้งระบบ Fixed Broadband Wireless Access เพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ใช้กับระบบที่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 10-66 GHz
 - IEEE 802.16.2a ซึ่งเป็น Recommended Practice on "Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems" in 2-11 GHz จะคล้ายคลึงกับ IEEE 802.16.2 แต่ต่างที่เป็นมาตรฐานสำหรับระบบที่ทำงานที่แถบคลื่นวิทยุ 2-11 GHz
- ในปี 2004, IEEE 802.16-2004 ได้รับการรับรอง IEEE 802.16-2004 ได้รวบรวมมาตรฐาน IEEE 802.16 ทั้งหมดก่อนหน้านี้รวมเป็นมาตรฐานเดียว
- ในปี 2005 มาตรฐาน IEEE 802.16e ซึ่งเป็นมาตรฐานเสริมให้กับมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 เพื่อรองรับ Mobile Broadband Wireless Access ได้รับการรับรองเมื่อเดือนธันวาคม 2548 จึงมีชื่อเรียกมาตรฐานเป็นทางการว่า IEEE 802.16e-2005
- ส่วนประเด็นเรื่องมาตรฐานความปลอดภัยบนเครือข่าย IEEE 802.16 นั้น ได้มีการกำหนดไว้ในมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 แต่จากผลการศึกษาของจากหลายๆ สถาบัน ยังพบช่องโหว่ในมาตรฐาน ซึ่งทาง IEEE 802.16 Working Group ได้แก้ไขปรับปรุงและบรรจุอยู่ใน IEEE 802.16-2004 ฉบับแก้ไขหรือที่เรียกว่า IEEE 802.16-2004/Corrigendum1 และบางส่วนถูกเพิ่มเติมอยู่ใน IEEE 802.16e-2005

สรุป ในปัจจุบัน (2006) มาตรฐานหลักของ IEEE 802.16 มี

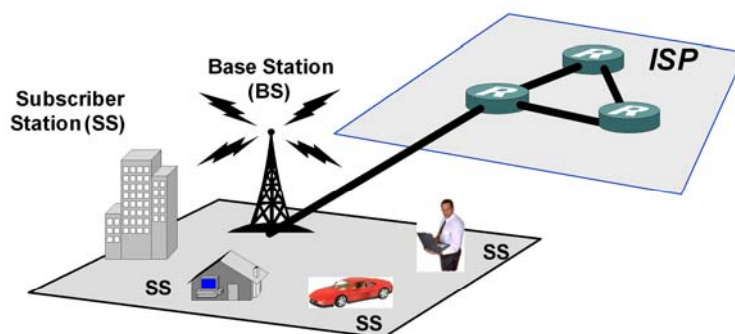
1. **IEEE 802.16-2004** มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย สำหรับ Fixed Broadband Wireless Access
2. **IEEE 802.16e-2005** มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย สำหรับ Mobile Broadband Wireless Access

ขณะนี้ยังมีอีกหลายมาตรฐานย่อยที่อยู่ในช่วงกำลังพัฒนา แต่จะไม่กล่าวถึงในที่นี้

2.2 System Architecture

ระบบ WiMAX ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญสองส่วน (ดังรูปที่ 4) คือ

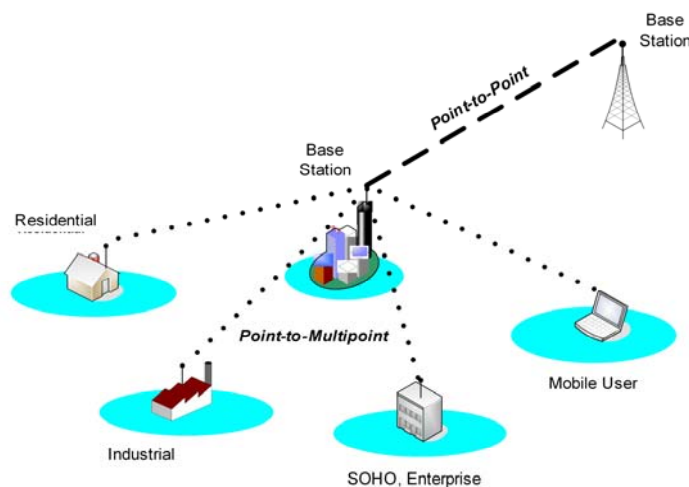
1. สถานีฐาน หรือ Base Station (BS) - ควบคุมการรับส่งข้อมูลของ สถานีลูกข่าย หรือ Subscriber Station (SS) ทั้งหมดในพื้นที่บริการของสถานีฐาน หรือ cell นอกจากนี้ สถานีฐานยังทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับ wired Internet backbone
2. สถานีลูกข่าย หรือ Subscriber Station (SS): ติดต่อกับสถานีส่งผ่านอุปกรณ์ลูกข่าย หรือ Customer Premises Equipment (CPE) อุปกรณ์ CPE มี 3 รูปแบบคือ
 - a. Fixed CPE มีการติดตั้งอุปกรณ์และเสาอากาศที่มีตำแหน่งที่คงที่ เช่น outdoor CPE เป็นต้น
 - b. Nomadic หรือ Portable CPE อุปกรณ์สามารถพกพาเคลื่อนย้ายได้ แต่อุปกรณ์จะต้องติดตั้งอยู่กับที่ในขณะที่ใช้งาน ตัวอย่างอุปกรณ์ เช่น Indoor CPE หรือ Self-install CPE เป็นต้น
 - c. Mobile CPE อุปกรณ์สามารถใช้งานในขณะที่เคลื่อนที่ได้ (Mobility) อุปกรณ์ CPE นี้ อาจจะอยู่ในรูปแบบของ PCMCIA USB หรือ flash Network card ที่ใช้กับอุปกรณ์ notebook, PDA หรือ smart phone ซึ่งในอนาคต mobile CPE นี้จะถูกรวมเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอยู่บน notebook, PDA หรือ smart phone ไปในตัว



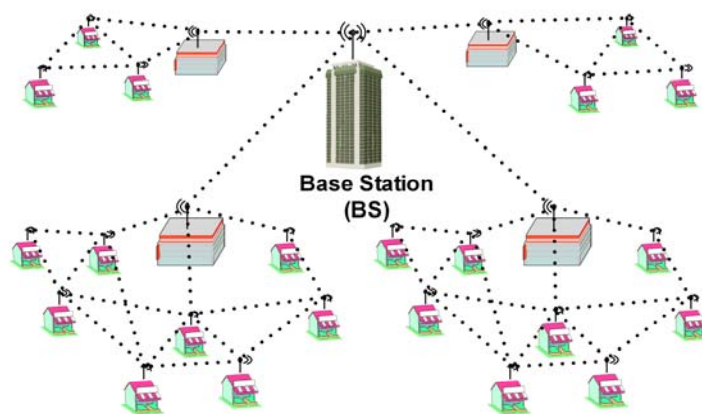
รูปที่ 4 WiMAX Architecture

การเชื่อมต่อของ WiMAX มีได้ 3 รูปแบบ คือ

1. Point to Point (PTP) เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีฐาน หรือ ระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีลูกข่าย รูปแบบนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Backhaul connection) (ดูรูปที่ 5)
2. Point to Multipoint (PMP) เป็นการเชื่อมต่อระหว่าง สถานีฐาน กับ หลายๆ สถานีลูกข่ายพร้อมกัน การเชื่อมต่อนี้เป็นรูปแบบหลักและใช้มากที่สุดของ WiMAX (ดูรูปที่ 5)
3. Mesh Topology เป็นการเชื่อมต่อในรูปแบบโยงใยหรือ mesh คือ นอกจากสถานีลูกข่ายจะสามารถเชื่อมต่อกับสถานีฐานแล้ว สถานีลูกข่ายยังสามารถติดต่อกันเองได้อีกด้วย เป็นการสร้างเครือข่ายโยงใย หรือ mesh network เป็นการขยายพื้นที่การให้บริการรูปแบบหนึ่ง การเชื่อมต่อนี้เป็นรูปแบบเสริม (optional) ในมาตรฐาน WiMAX (ดูรูปที่ 6) ในปัจจุบัน การเชื่อมต่อรูปแบบนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักและยังไม่มีอุปกรณ์ WiMAX ใดที่รองรับการเชื่อมต่อรูปแบบนี้



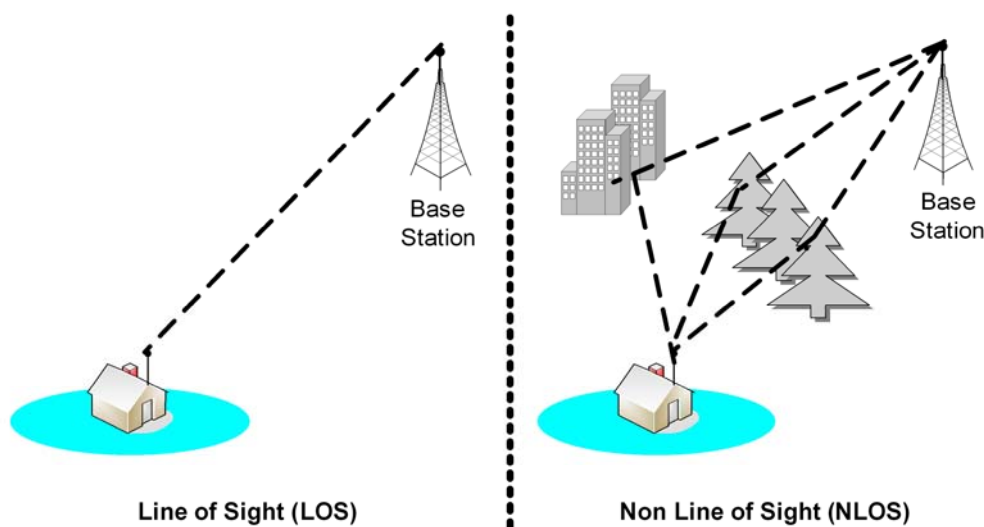
รูปที่ 5 Point-to-Point และ Point-to-Multipoint



รูปที่ 6 Mesh topology

ในการเชื่อมต่อในรูปแบบข้างต้น การติดต่อระหว่าง สถานีฐาน และ สถานีลูกข่าย (ดูรูปที่ 7) สามารถสื่อสารในรูปแบบของการสื่อสารแบบ Line of Sight (LOS) คือ สัญญาณติดต่อสื่อสารระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีลูกข่ายจะมาจากทิศทางตรง (Direct Path) เท่านั้นโดยปราศจากสิ่งกีดขวางใดๆ สิ่งกีดขวางจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ และการสื่อสารอีกรูปแบบหนึ่งคือการสื่อสาร

แบบ Non Line of Sight (NLOS) สถานีฐาน กับ สถานีลูกข่าย สามารถสื่อสารกันได้แม้ว่าจะมีสิ่งกีดขวางมาขวาง สัญญาณที่รับได้มาจากหลายทิศทางคือ สัญญาณที่รอดผ่านสิ่งกีดขวาง (Absorption) สัญญาณอ้อมผ่านสิ่งกีดขวาง (Diffraction) และ สัญญาณสะท้อน (Reflection) สัญญาณจากคนละทิศทางจะมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่าง ทั้ง ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) เฟสของสัญญาณ Polarization และ Delay ของสัญญาณ ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนที่ด้านอุปกรณ์ภาครับหรือ Receiver จึงจะสามารถรับและแยกแยะสัญญาณที่มีมาจากคนละทิศทางนี้ได้ คุณสมบัติ Line of Sight และ Non Line of Sight มีความเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งาน ในกรณีที่ความถี่สูงมากกว่า 11 GHz การสื่อสารระหว่างสถานีฐาน และ สถานีลูกข่าย ต้องการ Line of Sight เท่านั้น ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่า 11 GHz โดยเฉพาะย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 6 GHz สถานีฐาน และ สถานีลูกข่าย สามารถติดต่อแบบ Non Line of Sight ได้ คุณสมบัติ Non Line of Sight ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการติดตั้งและใช้งาน อุปกรณ์ลูกข่าย (CPE)



รูปที่ 7 Line of Sight และ Non Line of Sight

2.3 Channel Access และ Media Access Control (MAC)

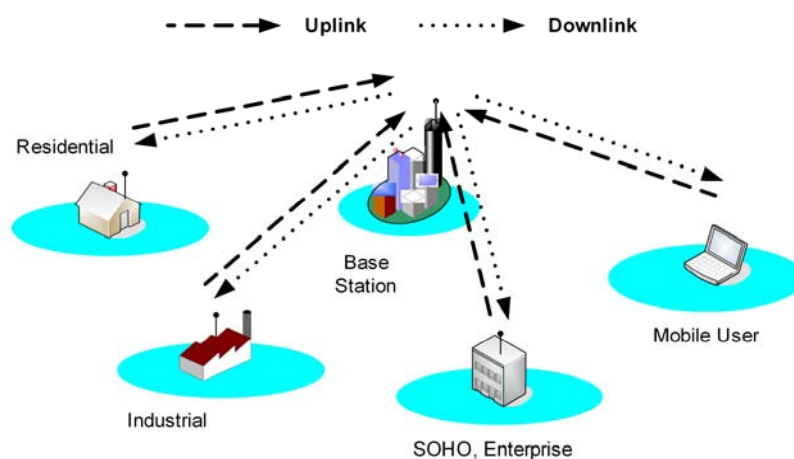
การส่งข้อมูลระหว่าง สถานีฐาน กับ สถานีลูกข่าย มีสองทิศทางคือ ขาขึ้น หรือ Uplink คือการส่งข้อมูลจากสถานีลูกข่ายไปสถานีฐาน และ ขาลงหรือ Downlink คือส่งข้อมูลจากสถานีฐานไป สถานีลูกข่าย (ดูรูปที่ 8) ดังนั้น Duplex scheme สำหรับ uplink กับ downlink มีได้สองรูปแบบหลักๆ คือ

1. TDD (Time Division Duplex) การส่งข้อมูลทางด้าน uplink กับ downlink ที่ความถี่เดียวกันแต่แบ่งการส่งคนละช่วงเวลา การส่งนั้นจะถูกแบ่งช่วงเวลาออกเป็น frame และในแต่ละ frame มีการแบ่งช่วงเวลาย่อยเป็น 2 subframes (คือ uplink subframe และ downlink subframe) การส่งข้อมูลทิศทาง uplink จะถูกส่งในช่วงเวลา uplink subframe ขณะที่ การส่งข้อมูลทิศทาง downlink ส่งในช่วงเวลา downlink subframe ดังรูปที่ 9 TDD สามารถรองรับการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาของ frame ได้ คือ สัดส่วนช่วงเวลาของ uplink subframe กับ downlink subframe มีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปริมาณ traffic ของ uplink และ downlink ดังนั้น TDD จึงมีความยืดหยุ่นในการจัดการ bandwidth

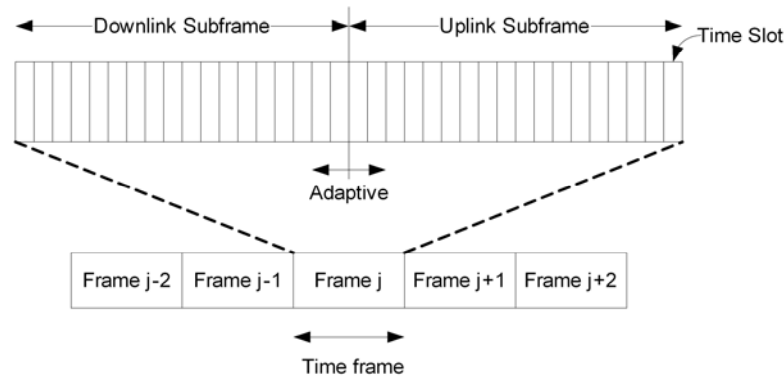
2. FDD (Frequency Division Duplex) การส่งข้อมูล uplink กับ downlink ส่งที่คนละความถี่ การส่งข้อมูล uplink กับ downlink จึงสามารถส่งได้ในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 10 นอกจากนี้ FDD ยังรองรับ CPE ที่เป็นแบบ Half-FDD คือ อุปกรณ์ลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลและรับข้อมูลคนละเวลา กัน คือขณะที่อุปกรณ์ลูกข่ายกำลังส่งข้อมูลจะไม่สามารถรับข้อมูลได้ แต่การส่งและรับข้อมูลยังใช้คนละความถี่ การใช้รูปแบบ Half-FDD อุปกรณ์จะมีราคาที่ถูกกว่า full FDD เพราะส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับภาคส่งสัญญาณของอุปกรณ์สามารถใช้ชุดเดียวกันร่วมกันได้

หมายเหตุ

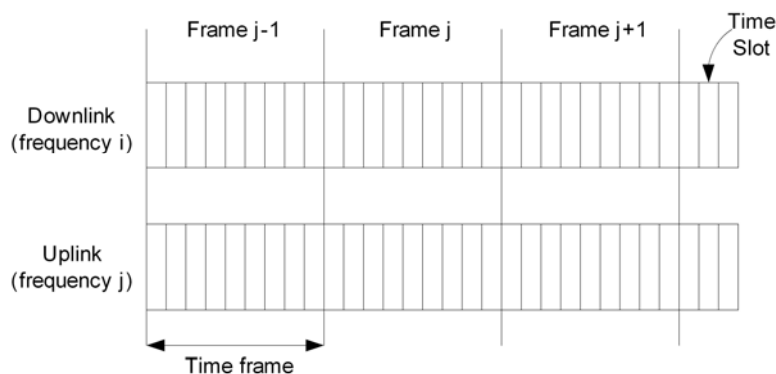
การจัดสรรความถี่สำหรับ TDD จะใช้ความถี่เพียงหนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น ส่วนการจัดสรรความถี่สำหรับ FDD จะใช้ สองช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับ uplink อีกช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับ downlink โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ TDD จะมีราคาที่ถูกกว่าอุปกรณ์ FDD เพราะอุปกรณ์ TDD นั้นส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับส่วนประกอบภาคส่งสัญญาณสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่อุปกรณ์ FDD นั้นส่วนประกอบภาครับกับภาคส่งแยกคนละชุดกันเพราะต้องทำงานพร้อมกัน FDD ใช้ 2 ช่องสัญญาณ (สำหรับ uplink กับ downlink) จึงสามารถรองรับจำนวนสถานีลูกข่ายได้มากกว่า แต่ในแง่ของการบริหารจัดการ bandwidth แล้ว TDD จะมีประสิทธิภาพกว่า เพราะโดยธรรมชาติของการใช้งานเครือข่ายนั้น ปริมาณข้อมูลในทิศทาง downlink จะมีมากกว่า uplink หรือที่เรียกว่า Asymmetry Traffic ดังที่กล่าวมาข้างต้น TDD สามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ frame เพื่อรองรับปริมาณข้อมูลที่ไม่สมมาตรกันได้ดีกว่า ดังนั้นสำหรับผู้ให้บริการที่สามารถที่จะเลือกใช้เทคโนโลยี TDD หรือ FDD ขึ้นกับคุณสมบัติของผู้ใช้ บริการ การออกแบบระบบ และงบประมาณการลงทุน



รูปที่ 8 Uplink และ Downlink



รูปที่ 9 Time Division Duplex (TDD)



รูปที่ 10 Frequency Division Duplex (FDD)

จากรูปที่ 9 และ 10 จะเห็นได้ว่า ภายใน Frame ของทั้ง TDD และ FDD จะมีการแบ่งย่อยออกเป็น Time Slot ซึ่งการส่งข้อมูลของทั้งสถานีฐานและสถานีลูกข่าย จะต้องส่งตรงตาม Time slot ที่ว่านี้ ดังนั้นทั้งสถานีฐานและสถานีลูกข่ายจะต้องมีการตั้งเวลาให้ตรงกัน หรือ Synchronize เวลากันเพื่อให้ส่งข้อมูลลงใน Time Slot ทำได้ถูกต้องแม่นยำ

การเข้าถึง channel หรือ Multiple Channel Access สำหรับในทิศทาง downlink จะไม่ซับซ้อน เพราะ ทิศทาง downlink นั้นมีเพียง สถานีฐาน ผู้เดียวเท่านั้นที่เป็นผู้ส่งข้อมูลในช่วงเวลา downlink subframe และ ส่งกระจายข้อมูลไปทุกๆ สถานีลูกข่าย ส่วนการเข้าถึง channel ในทิศทาง uplink นั้นมีหลายๆ สถานีลูกข่ายที่มีโอกาสที่จะส่งได้ในช่วงเวลา uplink subframe ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลจากหลายสถานีลูกข่าย ในเวลาพร้อมกันซึ่งจะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นในส่วน uplink จึงต้องใช้ Time Division Multiple Access (TDMA) ช่วยจัดตารางเวลาของการส่งของสถานีลูกข่าย ตารางเวลาของการส่งนี้ถูกกำหนดและควบคุมโดยสถานีฐาน ทุกๆ ช่วงเวลา หรือ frame สถานีฐานจะทำการส่งกระจายแมชเสงไปที่สถานีลูกข่าย ภายในแมชเสงจะประกอบไปด้วย ตารางเวลาการส่งของสถานีลูกข่าย ดังนั้นสถานีลูกข่ายจะรู้ว่าควรจะส่งข้อมูลลงใน Time Slot ใดและจำนวน Time Slot เท่าไร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานีฐานสามารถกำหนดช่วงเวลาและจำนวน Time Slot ให้แต่ละสถานีลูกข่ายให้เหมาะสมกับความต้องการ bandwidth ของแต่ละสถานีลูกข่าย

นอกจาก WiMAX มีความยืดหยุ่นในการจัดการ bandwidth แล้วยังมีความยืดหยุ่นในรูปแบบการจัดการรับส่งข้อมูล คือในทุกๆ Time frame สถานีฐานสามารถทำการปรับเปลี่ยนและกำหนด คุณสมบัติ

ทางกายภาพของการรับส่งสำหรับแต่ละสถานีลูกข่าย เช่น ปรับเปลี่ยน Forward Error Correcting Code Rate (ตัวอย่างเช่น 1/2, 2/3, 3/4) ปรับเปลี่ยน Modulation scheme (ตัวอย่างเช่น BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM) ให้เหมาะสมในแต่ละสภาพของ channel ตัวอย่างเช่น ถ้าในขณะนั้นๆ channel มีสัญญาณรบกวนมาก (ซึ่งวัดได้โดยดูที่ระดับ Signal to Noise Ratio หรือ SNR) สถานีฐานจะทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของการส่ง (เช่น ปรับเปลี่ยน Forward Error Correcting Code Rate, ปรับเปลี่ยน Modulation Scheme เป็นต้น) ให้มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนเพื่อให้สามารถสื่อสารกันต่อไปได้ เทคนิคนี้เรียกว่า adaptive burst profile ซึ่งจะกล่าวในละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.4 แถบคลื่นวิทยุใช้งานที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEEE 802.16

IEEE 802.16 ได้กำหนดการใช้งานอยู่ 3 แถบคลื่นวิทยุ และแต่ละแถบคลื่นวิทยุนั้น IEEE 802.16 ได้กำหนด คุณสมบัติของ physical layer ที่ใช้มีดังนี้คือ

1. **แถบคลื่นวิทยุ 10-66 GHz Licensed Band** เป็นแถบคลื่นวิทยุที่ต้องการใบอนุญาตใช้ความถี่หรือ license และต้องการการคุ้มครองการรบกวนด้านคลื่นวิทยุ แถบคลื่นวิทยุนี้อยู่ในช่วงความถี่สูง ดังนั้นการติดต่อระหว่างสถานีฐานและสถานีลูกข่าย จึงต้องการการสื่อสารแบบ Line of Sight ความกว้างของช่องสัญญาณหรือ Channel bandwidth ที่ใช้จะอยู่ที่ 25 – 28 MHz ต่อช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถให้ความเร็วได้ถึง 125 Mbps ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพหรือ physical layer ของอุปกรณ์ WiMAX ที่ทำงานบนแถบคลื่นวิทยุนี้ถูกกำหนดโดย system profile ที่ชื่อว่า
 - WirelessMAN-SC: การรับส่งข้อมูลจะใช้ single carrier (SC)
2. **แถบคลื่นวิทยุ ต่ำกว่า 11 GHz Licensed Band** เป็นแถบคลื่นวิทยุที่ต้องการใบอนุญาตใช้ความถี่หรือ license และต้องการการคุ้มครองการรบกวนด้านคลื่นวิทยุ ในหลายๆ ประเทศแถบคลื่นวิทยุที่ใช้จริงจะอยู่ในแถบคลื่นวิทยุที่ต่ำกว่า 6 GHz การติดต่อระหว่างสถานีฐาน และสถานีลูกข่ายสามารถสื่อสารแบบ Non Line of Sight ได้ ความกว้างของช่องสัญญาณอยู่ระหว่าง 1.75-20 MHz ส่วนคุณสมบัติทาง Physical Layer ของอุปกรณ์ WiMAX ที่ทำงานบนแถบคลื่นวิทยุนี้มีการกำหนดไว้หลาย system profiles ดังนี้
 - WirelessMAN-SCa: การรับส่งข้อมูลใช้ single carrier (SC)
 - WirelessMAN-OFDM: การรับส่งข้อมูลใช้หลาย sub-carrier ที่มีการ modulation แบบ orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)
 - WirelessMAN-OFDMA: การรับส่งข้อมูลใช้หลาย sub-carrier ที่มีการ modulation แบบ orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA)
3. **แถบคลื่นวิทยุ ต่ำกว่า 11 GHz Unlicensed Band** เป็นแถบคลื่นวิทยุที่ไม่ต้องการใบอนุญาตการใช้ความถี่หรือ license และไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวนด้านคลื่นวิทยุ การติดต่อระหว่างสถานีฐานและสถานีลูกข่ายสามารถติดต่อสื่อสารทิศทางแบบ Non Line of Sight เนื่องจากการใช้งานอยู่ในแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานร่วมกับเครือข่ายสื่อสารอื่นๆ ที่อาจจะมีกรรบกวนกันได้ ดังนั้น Operator ที่จะใช้แถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed นี้จึงต้องติดตั้งกลไกที่เรียกว่า Dynamic Frequency Selection (DFS) เป็นกลไกเพื่อหลบหลีกการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณที่มีผู้ใช้อยู่แล้ว

เพื่อลดโอกาสของสัญญาณรบกวนกัน ส่วนคุณสมบัติทาง Physical Layer ของอุปกรณ์ WiMAX ที่ทำงานบนแถบคลื่นวิทยุนี้ถูกกำหนดโดย system profiles ที่ชื่อว่า

- WirelessHUMAN: High speed unlicensed metropolitan area network (HUMAN) การส่งข้อมูลได้สามรูปแบบคือ single carrier, OFDM, OFDMA แบบเดียวกับข้อที่

2

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทาง Physical Layer ของอุปกรณ์ WiMAX ในแต่ละ system profile

System Mode	Frequency (GHz)	Licensed/unlicensed	Duplexing
WirelessMAN-SC	10-66	Licensed	TDD, FDD
WirelessMAN-SCa	< 6	Licensed	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDM	< 6	Licensed	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDMA	< 6	Licensed	TDD, FDD
WirelessHUMAN	~ 5-6	Unlicensed	TDD

หมายเหตุ

IEEE 802.16 ได้กำหนดอย่างกว้างๆ สำหรับแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานและความกว้างของช่องสัญญาณ โดยไม่ได้เจาะจงแน่นอนลงไปว่าใช้ความถี่ที่เท่าไร และความกว้างของช่องสัญญาณเท่าใด ด้วยเหตุผลเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการนำ IEEE 802.16 ไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ต่างบริษัทได้มีการใช้ค่าตัวเลือกต่างๆ ที่ไม่ตรงกันซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาการใช้งานร่วมกัน (Interoperability) ได้ ดังนั้น IEEE 802.16 ได้กำหนดค่าตั้งต้นสำหรับความกว้างของช่องสัญญาณไว้ใน system profile (ซึ่งจะกล่าวอีกครั้งในหัวข้อที่ 2.6) ส่วนแถบคลื่นวิทยุใช้งานไม่มีการกำหนดตายตัวในมาตรฐานแต่จะเปิดกว้างขึ้นกับนโยบายการจัดสรรความถี่ของแต่ละประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม WiMAX Forum ได้ประสานงานกับ International Telecommunication Union (ITU) และ Regulator ของแต่ละประเทศ เพื่อให้มีการจัดสรรความถี่สำหรับการใช้งาน WiMAX ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

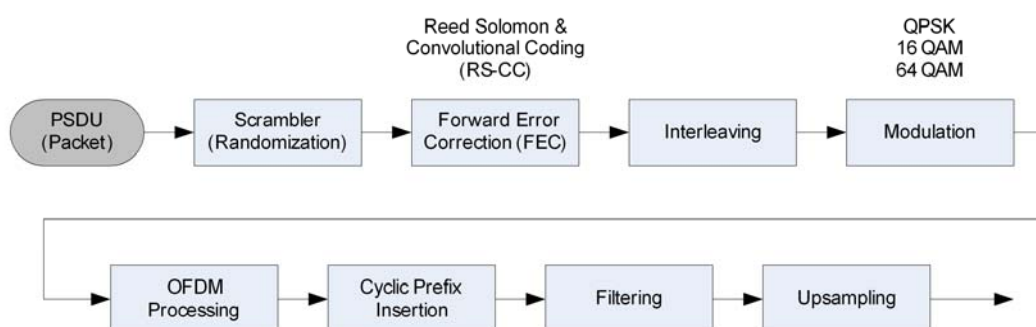
2.5 Physical Layer (PHY)

ในปัจจุบันเนื่องจากการการสื่อสารแบบ ทิศทางอ้อม (Non Line of Sight) จะเป็นการสื่อสารหลักที่ใช้ใน WiMAX เทคโนโลยีที่รองรับ คุณสมบัติ Non Line of Sight นี้คือ OFDM และ OFDMA เพราะ Modulation ทั้งสองนี้มีประสิทธิภาพดีในการแก้ปัญหาเรื่อง ความแตกต่างของเวลาในแต่ละทิศทางของสัญญาณ (Delay spread) และ ความแตกต่างของสัญญาณในแต่ละทิศทาง (Multipath fading) ในการส่งแบบ Non Line of Sight ได้

ในทางปฏิบัติ บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ WiMAX ส่วนใหญ่จะเลือกใช้เทคโนโลยี OFDM สำหรับอุปกรณ์ Fixed หรือ Portable Broadband Wireless Access หรือ IEEE 802.16-2004 ส่วนเทคโนโลยี OFDMA จะถูกใช้ในอุปกรณ์ Mobile Broadband Wireless Access หรือ IEEE 802.16e-2005 เพราะ OFDMA มี

สามารถรองรับการ Roaming ได้ดีกว่า OFDM อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เทคโนโลยีทั้งสองว่าเทคโนโลยีไหนเหมาะกับ Fixed หรือ Mobile Broadband Wireless Access นั้นยังไม่มีคำตอบที่แน่นอน บางบริษัทผู้ผลิตก็ผลักดันให้ใช้เทคโนโลยี OFDM ใช้งานได้ทั้ง Fixed และ Mobile Broadband Wireless Access แต่บางบริษัทผู้ผลิตใช้ OFDMA สำหรับ Mobile Broadband Wireless Access เท่านั้น และยังมีบางบริษัทผู้ผลิตใช้สองเทคโนโลยีรวมกันคือ ในทิศทาง downlink ใช้ OFDM ในทิศทาง uplink ใช้ OFDMA จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์จากต่างบริษัทจึงมีความแตกต่างหลากหลายกัน อุปกรณ์ต่างเทคโนโลยีกัน จะไม่สามารถติดต่อกันได้ กล่าวคือ อุปกรณ์ OFDM จะไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้กับอุปกรณ์ OFDMA อย่างไรก็ตามความต้องการของตลาดรวมถึงความยืดหยุ่นในการใช้งานจะเป็นตัวผลักดันว่าอุปกรณ์ประเภทไหนจะเหมาะกับการใช้งานชนิดใด

ในส่วนถัดไปที่จะกล่าวจะเน้นอธิบายในส่วนของ Physical layer ที่เกี่ยวข้องกับ OFDM เป็นหลัก ส่วนประกอบของ Physical layer ประกอบด้วยหลายส่วน ดังรูปที่ 11 เป็นการแสดง process ที่เกิดขึ้นใน Physical layer



รูปที่ 11 Physical Layer Process สำหรับ OFDM

เทคนิคการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด (Forward Error Correction - FEC)

Forward Error Correction จะช่วยตรวจจับและแก้ไขบิตที่ผิดพลาดในขณะที่ส่งข้อมูลเป็นการช่วยลดระดับ signal-to-noise ratio ที่ต้องการลง Forward Error Correction (FEC) จะเป็นการพ่วงข้อมูลส่วนที่ใช้สำหรับการตรวจจับและแก้ไขบิตที่ผิดพลาด (FEC bits) ไปกับข้อมูลจริง ดังรูปที่ 12 ที่ด้านผู้รับหรือ receiver ก็จะคำนวณข้อมูลที่ได้รับและเปรียบเทียบกับ FEC bits เหล่านี้ ซึ่งผู้รับสามารถตรวจได้ว่ามีบิตไหนที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วทำการแก้ไข แต่การใช้ Forward Error Correction นี้ ส่วนของ FEC bits ที่เพิ่มเข้ามาถือว่าเป็นส่วนเกินที่ไม่ได้บรรจุข้อมูลใช้งาน หรือเรียกว่า overhead ดังนั้นความเร็วในส่งข้อมูลรวมส่วนหนึ่งจะถูกลดทอนถูกใช้ไปสำหรับ overhead จึงทำให้ความเร็วของการส่งข้อมูลจริงลดลงมีการวัดปริมาณ overhead ของ Forward Error Correction ในรูปแบบของ coding rate (เช่น 1/2 , 2/3, 3/4 เป็นต้น) ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ Forward Error Correction ด้วย coding rate 1/2 ถ้าความเร็วในการส่งข้อมูลรวมอยู่ที่ 2 Mbps ดังนั้นความเร็วสุทธิของการส่งข้อมูลจริงจึงอยู่ที่ $2 \times 1/2 = 1$ Mbps เทคนิคที่ใช้เป็น Forward Error Correction (FEC) ใน WiMAX จะใช้ Reed Solomon & Convolutional Coding (RS-CC) ซึ่งจะให้ coding rate ที่แตกต่างกัน (เช่น 1/2 , 2/3, 3/4 เป็นต้น) ยิ่ง Code rate ยิ่งต่ำยิ่งสามารถรองรับสัญญาณรบกวนที่ระดับสูงขึ้นได้ (คือมีความสามารถในการตรวจจับและแก้ไขบิตที่ผิดพลาดได้ดีในสภาวะ

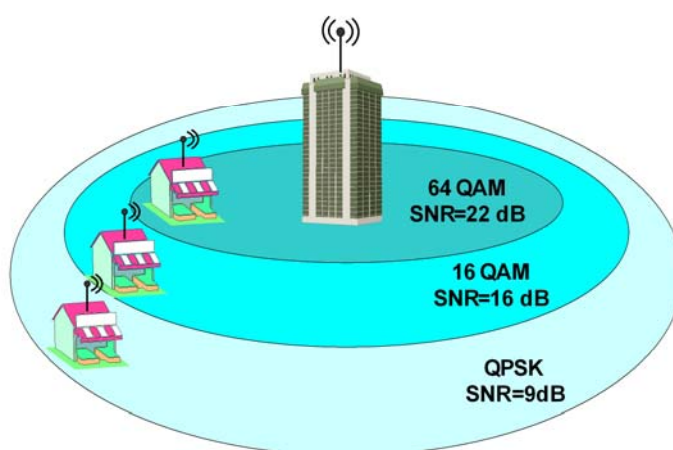
Code rate ให้เหมาะสมกับสถานะของ channel ในขณะนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ในสถานะที่สัญญาณรบกวนอยู่ในระดับต่ำซึ่งมีผลให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นจึงมีการปรับใช้ coding rate ที่สูงขึ้นเพื่อลด overhead แต่ยังคงการตรวจจับบิตที่ผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ บางสถานะที่สัญญาณรบกวนอยู่ในระดับสูงจนเกิดบิตที่ผิดพลาดมาก จน Forward Error Correction ไม่สามารถทำการแก้ไขได้ จึงต้องมีเทคนิคเพิ่มเติมที่ชื่อ Automatic Repeat Request (ARQ) ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลเดิมซ้ำเพื่อแทนที่ข้อมูลที่ผิดพลาด



รูปที่ 12 Forward Error Correction

Adaptive Modulation

Modulation ที่กำหนดในมาตรฐานมีได้ 4 รูปแบบคือ BPSK, QPSK, 16-QAM และ 64-QAM ใน Modulation ทั้ง 4 รูปแบบนี้ 64-QAM ให้ความเร็วการส่งข้อมูลสูงสุดแต่ประสิทธิภาพในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้ต่ำสุด ในทางกลับกัน BPSK ให้ประสิทธิภาพในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้สูงสุดแต่ให้ความเร็วในการส่งข้อมูลได้ต่ำสุด ทั้ง coding rate และ modulation ต่างก็มีความสัมพันธ์กับความทนทานต่อสัญญาณรบกวนและความเร็วที่ส่งได้ ดังนั้นต้องมีการปรับเปลี่ยนของ coding rate และ modulation ให้เหมาะสมกับสถานะของ channel ในขณะนั้นๆ ซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่า Adaptive Burst Profile รูปที่ 13 แสดง Adaptive Burst Profile ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง coding rate และ modulation ให้เหมาะสมกับความแรงของสัญญาณและระดับสัญญาณรบกวน หรือ Signal-to-Noise Ratio (SNR) ในแต่ละ modulation และ coding rate จะให้ความเร็วในการสื่อสารที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3



รูปที่ 13 Adaptive Burst Profile

ตารางที่ 3 ความเร็วในแต่ละ Channel Bandwidth

Channel Bandwidth	Speed at Modulation&FEC Code Rate (Mbps)					
	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
1.75 MHz	1.04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5 MHz	2.08	4.37	5.82	8.73	11.88	13.09
7.0 MHz	4.15	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10.0 MHz	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.40
20.0 MHz	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	74.81

2.6 IEEE 802.16 System Profiles

IEEE 802.16 ได้กำหนด System Profile หรือคุณสมบัติของอุปกรณ์ เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ WiMAX ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่าง System Profile ของ WirelessMAN-OFDM ซึ่งประกอบไปด้วย profile หรือ คุณสมบัติ สำหรับ Media Access Control และ profile สำหรับ Physical Layer ในแต่ละ profile มาตรฐานได้กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับคุณสมบัติของอุปกรณ์ จากตารางจะสังเกตได้ว่า system profile เหล่านี้ไม่ได้เจาะจงว่าให้ใช้งานที่แถบคลื่นวิทยุที่เท่าใด มีแต่เพียงกำหนดคุณสมบัติแบ่งตามความกว้างของช่องสัญญาณเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ProfP3_1.75 เป็น Profile ในส่วนของ Physical Layer ของอุปกรณ์ WiMAX ที่ใช้เทคโนโลยี OFDM ที่มีการใช้งานด้วยความกว้างของช่องสัญญาณที่ 1.75 MHz เป็นต้น

ตารางที่ 4 IEEE 802.16 System Profiles สำหรับ WirelessMAN-OFDM

Profile Name	Type of Profile	Descriptions
ProfM3_PMP	MAC	WirelessMAN-OFDM Point to Multipoint MAC Profile
ProfM3_Mesh	MAC	WirelessMAN-OFDM Mesh MAC Profile
ProfP3_1.75	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 1.75 MHz
ProfP3_3	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 3 MHz
ProfP3_3.5	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 3.5 MHz
ProfP3_5.5	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 5.5 MHz
ProfP3_7	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 7 MHz
ProfP3_10	PHY	WirelessMAN-OFDM PHY Profile ที่ Channel Bandwidth 10 MHz

2.7 WiMAX Forum Certification Profile

เป้าหมายหลักอันหนึ่งของ WiMAX Forum คือ กำหนด specification หรือ certification profile สำหรับอุปกรณ์ WiMAX เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตเลือกใช้เป็นแนวทางในการผลิตเพื่อให้มั่นใจว่า อุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตสามารถใช้งานร่วมกันได้ สิ่งที่ WiMAX Forum จัดทำคือทำการเลือก system profile ที่กำหนดไว้ใน IEEE 802.16 (ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6) มาจัดทำเป็น certification profile ซึ่ง WiMAX Forum นำ profile นี้มาใช้เป็นหลักในการตรวจสอบและรับรองอุปกรณ์ WiMAX จากบริษัทผู้ผลิตต่างๆ ข้อแตกต่างที่ชัดเจนระหว่าง WiMAX Forum Certification Profile ในหัวข้อนี้ กับ IEEE 802.16 System Profile ในหัวข้อที่แล้ว คือ WiMAX Forum Certification Profile จะมีการกำหนดเพิ่มเติมถึงแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานของอุปกรณ์ WiMAX รวมถึง Duplexing Technology (TDD หรือ FDD) ที่ใช้

เนื่องจากส่วนประกอบที่มีราคาแพงในอุปกรณ์ WiMAX คือ ส่วนของภาครับส่งคลื่นวิทยุ ดังนั้นเพื่อให้อุปกรณ์ WiMAX มีราคาที่ต่ำลง WiMAX Forum จึงเลือกกำหนดเจาะจงแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานสำหรับอุปกรณ์ WiMAX ซึ่งเป็นการลดตัวเลือกสำหรับแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานลง มีผลช่วยให้บริษัทผู้ผลิตสามารถกำหนดการผลิตอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยให้เกิดการผลิตแบบ mass production ซึ่งมีผลทำให้อุปกรณ์ WiMAX มีราคาที่ต่ำลงเพื่อให้เกิดการกระตุ้นการใช้งาน WiMAX ได้กว้างขวางขึ้น แต่แถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานนั้นต้องสอดคล้องกับกฎระเบียบและการจัดสรรความถี่ของแต่ละประเทศ ดังนั้น WiMAX Forum จึงต้องมีการประสานงานกับ International Telecommunication Union (ITU) และ Regulator ของแต่ละประเทศ เพื่อให้มีการจัดสรรความถี่สำหรับการใช้งาน WiMAX ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ขณะนี้ WiMAX Forum ได้กำหนด certification profile สำหรับการรับรองอุปกรณ์ในรอบแรก โดยกำหนดแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งาน 2 แถบคือแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 3.5 GHz และแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5.8 GHz ดังตารางที่ 5 กระบวนการทดสอบอุปกรณ์ WiMAX ของ WiMAX Forum ได้เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2005 และการทดสอบและรับรองอุปกรณ์ในรอบแรกได้เสร็จสิ้นแล้วในเดือนมกราคม 2006 หลังจาก que กระบวนการทดสอบและรับรองอุปกรณ์แล้วเสร็จ ก็จะเริ่มมีอุปกรณ์ WiMAX ที่ผ่านการรับรองแล้วเข้าสู่ตลาด

ตารางที่ 5 WiMAX Forum Certification Profile สำหรับการรับรองอุปกรณ์ WiMAX
ในรอบแรก

Frequency Band (GHz)	Duplexing	Channel Bandwidth (MHz)
3.400 – 3.600	TDD	3.5
		7.0
	FDD	3.5
		7.0
5.725 – 5.850	TDD	10

นอกจากสองแถบคลื่นวิทยุข้างต้น ขณะนี้ WiMAX Forum กำลังพิจารณา certification profile ในการทดสอบ รอบหน้า คือ certification profile ในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 WiMAX Forum Certification Profile ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

Frequency Band (GHz)	Duplexing	Channel Bandwidth (MHz)
2.500 – 2.690	TDD	5.0/5.5
	FDD	5.0/5.5

บทที่ 3 การจัดสรรความถี่สำหรับ BWA

การจัดสรรความถี่นั้นในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันซึ่งจะถูกควบคุมโดยหน่วยงานของรัฐ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาโดย US Federal Communications Commission (FCC) ทวีปยุโรปโดย The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) ส่วนประเทศไทย โดย สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.)

การจัดสรรความถี่ที่ใช้สำหรับ Broadband Wireless Access หรือเจาะจงลงไปคือสำหรับ เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX นั้นมีแอมป์ที่จะพิจารณาอยู่ 3 แอมป์คือ

1. การใช้งาน WiMAX บนย่านความถี่แบบ Licensed และ Unlicensed
2. ความถี่สำหรับการใช้งานแบบ Line of sight และ Non Line of sight
3. ความถี่สำหรับการใช้งานแบบ Fixed, Nomadic และ Mobile Broadband wireless access

ซึ่งในแต่ละแอมป์ที่กล่าวมามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของคลื่น ปัจจัยทางธุรกิจที่ Operator ต้องคำนึงถึง (เช่น ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการติดตั้งอุปกรณ์ ค่า License ความถี่ ค่าติดตั้งสถานีฐาน ค่าบริหารจัดการ เป็นต้น) รูปแบบของบริการ กลุ่มผู้ใช้งาน และนโยบายการจัดสรรความถี่

3.1 การใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed และ Unlicensed

แถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed นั้น Operator ต้องทำการขอใบอนุญาตการใช้ความถี่จากหน่วยงานจัดสรรความถี่ หรือ Regulator ซึ่งใบอนุญาตนี้อาจจะได้มาโดยการประมูลแข่งกับ Operator รายอื่นๆ เมื่อ Operator ได้รับใบอนุญาตการใช้ความถี่แล้วจะได้รับสิทธิในการใช้งานและได้รับการคุ้มครองการรบกวนในการใช้แถบคลื่นวิทยุ นั้นๆ อย่างไรก็ตาม Operator ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบและข้อกำหนดที่ระบุไว้ในใบอนุญาต

ส่วนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed นั้นจะเปิดกว้างให้สามารถใช้งานความถี่ร่วมกับผู้ใช้คนอื่นๆ โดยการใช้งานนั้นมักจะไม่ต้องเสียค่าใบอนุญาตการใช้ความถี่ แต่ผู้ใช้จะไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวนเนื่องจากการเป็นความถี่ร่วมกัน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ได้รับสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้คนอื่นๆ ที่ใช้งานบนความถี่เดียวกันได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องขอใบอนุญาตการใช้ความถี่ แต่อุปกรณ์ที่ใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed ต้องผ่านการรับรองและผ่านการตรวจสอบทางเทคนิคจาก Regulator ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์จะต้องถูกจำกัดกำลังส่งสูงสุด และ กำลังขยายของเสาอากาศ ตามข้อกำหนดที่วางไว้ เป็นต้น

หมายเหตุ

Licensed หรือ Unlicensed ที่กล่าวถึงในเอกสารนี้จะหมายถึง License ในการใช้ความถี่ ซึ่งไม่ได้รวมถึง License การนำเข้า มี และใช้ของอุปกรณ์ หรือ License ในการประกอบกิจการ

การจะเลือกใช้ WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed หรือ Unlicensed นั้นมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันเช่น ค่าใช้จ่ายด้าน License ระบบสัญญาณรบกวน ประสิทธิภาพที่รองรับ และอื่นๆ ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ Operator จะต้องพิจารณาและเลือกใช้รูปแบบของความถี่ให้เหมาะสมกับเงินทุน และเป้าหมายทางธุรกิจ

ข้อเด่นข้อด้อยและการใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed คือ Operator ต้องจ่ายค่า License สำหรับการใช้ความถี่ และขั้นตอนในการขอใช้หรือประมูลความถี่ มีความซับซ้อนและใช้เวลาในการดำเนินการ ถึงแม้สิ่งเหล่านี้จะเป็นอุปสรรคในการเริ่มต้นการดำเนินการ Broadband Wireless Access แต่สิ่งที่ได้รับคือ จะได้รับการคุ้มครองสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนจึงอยู่ในระดับที่ต่ำ คุณภาพของการให้บริการจะสามารถกำหนดและคาดหวังได้ สามารถรองรับการบริการส่ง ข้อมูล ภาพ และ เสียง หรือ มัลติมีเดียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับ Operator ที่ต้องการให้บริการ BWA ขนาดใหญ่และรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมาก นอกจากนี้ ในการให้บริการที่เป็น Mobile Broadband Wireless Access นั้นการติดต่อสื่อสาร (เช่น การ Roaming ข้ามพื้นที่การให้บริการของสถานีฐาน) ของอุปกรณ์ WiMAX ต้องการการควบคุมที่รัดกุมและอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed สำหรับ Mobile Broadband Wireless Access จึงมีความจำเป็น

ส่วนข้อเด่นข้อด้อยและการใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed คือ การใช้งานไม่ต้องเสียค่า License สำหรับการใช้ความถี่ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นจึงต่ำและมีจุดคุ้มทุนที่เร็ว สามารถดึงดูดและกระตุ้นให้มีการติดตั้งดำเนินงาน Broadband Wireless Access เป็นไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง จึงเหมาะสำหรับ Operator ขนาดเล็ก ที่ต้องการให้บริการ BWA ในพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กห่างไกลความเจริญ ซึ่งมีผู้ใช้มีจำนวนไม่มากพอที่จะคุ้มทุนในทางธุรกิจที่ต้องจ่ายค่า License ความถี่ หรือธุรกิจขนาดเล็กหรือ SME ที่ต้องการใช้ WiMAX สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายกันระหว่างตึกระหว่างสาขา กัน หรือบุคคลทั่วไป นอกจากนี้ การใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed นั้นยังเหมาะสำหรับอินเทอร์เน็ตชุมชน สำหรับตำบล หมู่บ้านที่ปราศจากโครงสร้างพื้นฐานแบบมีสาย เป็นการเพิ่มโอกาสของการติดต่อสื่อสารโดยมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเริ่มต้นที่ต่ำ ข้อด้อยคือ การใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed จะไม่ได้รับการคุ้มครองจากการถูกสัญญาณรบกวน เพราะมีการใช้ช่องสัญญาณร่วมกับผู้ใช้อื่นจึงก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันได้ ทำให้ Operator กำหนดหรือประเมินประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล ภาพและเสียงทำได้ยากลำบาก ดังนั้น Regulator จึงต้องมีการกำหนดกำลังส่งสูงสุด หรือ E.I.R.P ของอุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้งานใน Unlicensed Band เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน

แถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed ที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปก็คือ Industrial, Scientific and Medical (ISM) Band (2.400-2.480 GHz) ซึ่งใช้กันมากในอุปกรณ์ Wi-Fi โทรศัพท์บ้านไร้สาย (Cordless Phone) และ อีกย่านความถี่หนึ่งคือ Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) band ในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5 GHz ซึ่งประกอบไปด้วย 3 แถบคลื่นวิทยุคือ Lower U-NII (5.150-5.250 GHz) Middle

U-NII (5.250-5.350 GHz) และ Upper U-NII (5.725-5.825 GHz) โดย Lower และ Middle U-NII band ถูกใช้สำหรับ เทคโนโลยี 802.11a Wi-Fi ภายในอาคารที่มีกำลังส่งไม่เกิน 1 วัตต์ ส่วน Upper U-NII band ถูกใช้สำหรับเทคโนโลยี 802.11a Wi-Fi ภายนอกอาคารที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 วัตต์

ข้อแตกต่างทางเทคนิคของการใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed และ Unlicensed คือ ความแตกต่างในการใช้ Duplex scheme (TDD หรือ FDD) จากที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3 FDD ต้องการการจัดสรรความถี่สองช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับการสื่อสารในทิศทางขาลงหรือ Downlink อีกช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารในทิศทางขาขึ้น หรือ Uplink ส่วนการจัดสรรความถี่สำหรับ TDD จะใช้ติดต่อสื่อสารทั้ง Downlink และ Uplink บนหนึ่งช่องสัญญาณ สำหรับการใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed จะสามารถเลือกใช้ Duplex scheme ได้ทั้งแบบ FDD และ TDD ส่วนการใช้งาน WiMAX บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed จะจำกัดการใช้ Duplex scheme อยู่เพียงแบบ TDD

หมายเหตุ

ในการใช้งาน WiMAX บนย่านความถี่แบบ Unlicensed นั้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ WiMAX ต่อผู้อื่นๆ ที่ได้รับ License ทางมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ได้กำหนดเทคนิคที่ชื่อว่า Dynamic Frequency Selection (DFS) ซึ่งเป็นเทคนิคการหลีกเลี่ยงการใช้ช่องสัญญาณของอุปกรณ์ WiMAX เมื่ออุปกรณ์ได้ตรวจจับได้ว่ามีผู้ใช้ผู้อื่นใช้งานอยู่แล้วบนช่องสัญญาณนั้นๆ อุปกรณ์ WiMAX จะเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณอื่นที่ยังไม่มีผู้ใช้งานอยู่ เป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อผู้ใช้ที่มีใบอนุญาตรายอื่น

เนื่องจากเทคโนโลยี WiMAX ได้ใช้การสื่อสารแบบ Time Division Multiple Access ซึ่งอุปกรณ์ WiMAX จะประสานงานกันและสถานีฐานจะกำหนดการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ WiMAX ทั้งหมดตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ (อธิบายในหัวข้อ 2.3) ดังนั้นการใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed ซึ่งมีโอกาสได้รับสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้คนอื่นบนช่องสัญญาณเดียวกันได้ ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารของ WiMAX ลดลงอย่างมาก ปัจจุบัน (2006) ทาง IEEE 802.16 Working Group กำลังปรับปรุงเทคโนโลยีและพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16h เพื่อรองรับการใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed ให้มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ในร่างมาตรฐาน IEEE 802.16h ได้เขียนข้อเสนอแนะในรูปแบบการจัดสรรความถี่แบบ Unlicensed ของเทคโนโลยี WiMAX อีกด้วย รูปแบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้โดย Ofcom (หน่วยงานจัดสรรความถี่ของประเทศไทย) คือ การให้ License หนึ่งในรูปแบบที่ชื่อว่า Lite-License คือ ผู้ให้บริการ Broadband Wireless Access จะไม่ได้รับการคุ้มครองจากการถูกสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกับการใช้งานแบบ Unlicensed ทั่วไป แต่ผู้ให้บริการจะต้องทำการลงทะเบียนการใช้ความถี่กับ Ofcom เพื่อให้ Ofcom ทำการเก็บฐานข้อมูลของผู้ให้บริการว่า ในบริเวณหนึ่งๆ ในมีผู้บริการคนไหนลงทะเบียนการใช้ความถี่บ้าง ซึ่งฐานข้อมูลนี้จะ เป็นประโยชน์ในการเจรจาต่อรองการใช้ความถี่ในระหว่างผู้ให้บริการในพื้นที่เดียวกันเพื่อให้เกิดสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันน้อยที่สุด

การเลือกใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed หรือ Unlicensed นั้นควรพิจารณาแยกกัน ไม่ควรที่จะใช้ทดแทนกัน เพราะการเลือกใช้งานทั้งสองรูปแบบมีเป้าหมายและตลาดรองรับที่แตกต่างกัน ดังนั้นในมุมมองของ Regulator ที่มีเป้าหมายการกระตุ้นให้เกิด Broadband Wireless Access ที่มีราคาถูกและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้น Regulator จึงควรที่จะกำหนดกฎเกณฑ์และจัดสรรความถี่ของทั้งสองรูปแบบคือมีทั้ง การให้บริการ Broadband Wireless Access บนแถบคลื่นวิทยุแบบ Licensed และ แถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed เพื่อให้ Operator มีตัวเลือกและมีความยืดหยุ่นในการเลือกลงทุนได้อย่างเหมาะสม

แต่เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยี WiMAX ที่รองรับการใช้งานแบบ Unlicensed ความถี่นั้น ยังอยู่ในช่วงของการพัฒนาคือ IEEE 802.16h ซึ่งต้องใช้เวลาอีกอย่างน้อยสองปีในการพัฒนาเทคโนโลยี และ แนวทางของ Lite License ของ Ofcom ก็เพียงเป็นข้อเสนอแนะหนึ่งซึ่งยังไม่มีมีการปฏิบัติใช้จริง ดังนั้นในมุมมองของ Regulator ที่จะมีการจัดลำดับความสำคัญในการจัดสรรความถี่นั้น ในระยะสั้น (1-3 ปี) ควรจะมุ่งเน้นการจัดสรรความถี่แบบ Licensed เป็นอันดับแรกก่อน

3.2 แถบคลื่นวิทยุสำหรับการใช้งานแบบ Line of Sight และ Non Line of Sight

ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 ได้แบ่งแถบคลื่นวิทยุที่ใช้งานออกเป็นสองแถบกว้างๆ คือ แถบคลื่นวิทยุ 10-66 GHz กับ แถบคลื่นวิทยุน้อยกว่า 10 GHz

แถบคลื่นวิทยุ 10-66 GHz ซึ่งบางครั้งถูกเรียกว่า millimeter band เป็นแถบคลื่นวิทยุที่ต้องการการส่งแบบ Line of Sight และมีช่องสัญญาณที่ว่างเป็นจำนวนมากสามารถกำหนดให้มีความกว้างของช่องสัญญาณหรือchannel bandwidth ที่กว้าง (25 – 28 MHz ต่อ channel) ซึ่งมีผลทำให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงมาก (ระดับ 100 Mbps) เนื่องจากข้อจำกัดทาง Line of Sight ช่วงความถี่นี้จึงเหมาะกับ service ประเภท high speed backhaul ซึ่งมีกลุ่มผู้ใช้จำนวนไม่มากนัก

แถบคลื่นวิทยุที่ต่ำกว่า 10 GHz ซึ่งบางครั้งถูกเรียกว่า centimeter band เป็นแถบคลื่นวิทยุที่รองรับการส่งแบบ Non Line of Sight ได้ แต่แถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานและถูกจัดสรรความถี่แล้วเป็นจำนวนมาก เช่น 3G cellular Wi-Fi Satellite Broadband Wireless Access หรือ Fixed Connection ดังนั้นการกำหนดความกว้างของช่องสัญญาณจะทำได้ไม่กว้างนัก คือประมาณระหว่าง 1.75 – 20 MHz ต่อ channel (ตัวอย่างเช่น 1.75 MHz สำหรับ channel bandwidth ของ 3G cellular, 20 MHz สำหรับ Wi-Fi เป็นต้น) การส่งข้อมูลแบบ Non Line of Sight ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ผู้ใช้สามารถใช้อุปกรณ์ติดตั้งภายนอกอาคารหรือภายในอาคารได้ สามารถใช้งานแบบ Fixed, Nomadic หรือ Mobile ก็ได้ ความถี่ในแถบคลื่นวิทยุนี้จึงเหมาะกับ service ประเภท บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย, Wireless Internet Service Provider (WISP) แถบคลื่นวิทยุนี้จึงมีกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้จำนวนมากและมีความดึงดูดสูงในแง่ธุรกิจ เพราะฉะนั้นจึงมีการเคลื่อนไหวให้มีการจัดสรรความถี่ในช่วงความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access ในหลายๆ ประเทศ ในรายงานนี้ที่กล่าวกันต่อไป ก็จะมุ่งเน้นไปถึงการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุนี้เป็นหลัก

3.3 แยกคลื่นวิทยุสำหรับการใช้งานแบบ Fixed, Nomadic และ Mobile Broadband

Wireless Access

ในแถบคลื่นวิทยุที่ต่ำกว่า 10 GHz (ทางปฏิบัติจะอยู่ในช่วงต่ำกว่า 6 GHz) หลายประเทศได้มีการจัดสรรความถี่ไว้สำหรับ Broadband Wireless Access ที่เป็นแบบ Fixed Service เท่านั้น ส่วน Mobile Service จะจัดสรรให้แก่ Mobile cellular operator ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้ Broadband Wireless Access สามารถที่รองรับการใช้งานทั้ง Nomadic และ Mobile service ได้ ดังนั้นเส้นแบ่งระหว่าง Broadband Wireless Access กับ Mobile cellular เริ่มจะไม่ชัดเจน

ในมุมมองของการจัดสรรความถี่นั้น ในตารางการจัดสรรความถี่ได้มีการกำหนดกิจการ หรือ Service ไว้สองรูปแบบคือ Fixed Service (FS) หรือ กิจการประจำที่ และ Mobile Service (MS) หรือ กิจการเคลื่อนที่ ซึ่งการจะพิจารณาว่า การใช้งานทั้งสามรูปแบบ Fixed, Nomadic และ Mobile Broadband Wireless Access จะเข้าข่ายการพิจารณาในรูปแบบกิจการใดในสองกิจการข้างต้น (FS หรือ MS) นั้นได้ระบุอยู่ในเอกสาร Recommendation ITU-R F.1401-1 สรุปคือ

- Fixed Broadband Wireless Access พิจารณาเป็น Fixed Service (FS)
- Mobile Broadband Wireless Access พิจารณาเป็น Mobile Service (MS)
- Nomadic Broadband Wireless Access ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้งานจะเคลื่อนย้ายได้ (Portable) แต่เมื่อใช้งานจะติดตั้งอยู่กับที่ ซึ่งในรูปแบบนี้สามารถพิจารณาเป็น Fixed Service (FS)

ในหลายประเทศการจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access ได้กำหนดจัดสรรให้ใช้ในกิจการ Fixed Service เท่านั้น แต่เนื่องจากเทคโนโลยีปัจจุบันที่ BWA สามารถรองรับการบริการที่เป็น Nomadic และ Mobile Service ได้ ดังนั้นหน่วยงานจัดสรรความถี่จึงต้องมีการแก้ไขกฎระเบียบเพื่ออนุญาตให้ Broadband Wireless Access สามารถขยายการให้บริการในรูปแบบของ Nomadic และ Mobile service ได้ อุปสรรคในหลายประเทศที่ประสบคือ หน่วยงานจัดสรรความถี่มีข้อตกลงคุ้มครองธุรกิจกับ Mobile Operator ซึ่งจำกัด Mobile service ไว้สำหรับกิจการ โทรศัพท์มือถือเท่านั้น ซึ่งในหลายๆ ประเทศข้อตกลงนี้จะสิ้นสุดประมาณปี 2007 ดังนั้น Operator จะสามารถให้บริการ Mobile Broadband Wireless Access Service ได้ประมาณหลังจากข้อตกลงนี้สิ้นสุดแล้ว ในช่วงระหว่างนี้ในหลายประเทศได้ทำการปรับปรุงแก้ไขนโยบายโดยนำคำจำกัดความที่กำหนดอยู่ใน ITU Recommendation ซึ่งสามารถตีความได้ว่า Nomadic BWA สามารถเข้าข่ายเป็น Fixed Service (FS) จึงสามารถอนุญาตให้บริการได้โดยสรุปในขั้นแรกอนุญาตให้ Broadband Wireless Access สามารถให้บริการ Fixed และ Nomadic service ได้ซึ่งเพียงพอแก่ Operator ในการเริ่มต้นธุรกิจ ในบางประเทศมีการอนุญาตให้มีบริการ Mobile Broadband Wireless Access ได้ทันที เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา (ที่แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz) ประเทศแคนาดา (ที่แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 และ 3.5 GHz) และประเทศเกาหลี (ที่แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.3 GHz)

ในส่วนของมุมมองทางด้านกายภาพของความถี่ ความถี่ทุกช่วงสามารถรองรับ Fixed service ได้ แต่สำหรับ Nomadic และ Mobile service นั้นความถี่ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 3 GHz เพราะอุปกรณ์ mobile หรือ portable โดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็น Notebook หรือ PDA จะมีการใช้งานในอาคาร หรือ Indoor เป็นส่วนใหญ่และมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งอยู่เสมอ ที่ความถี่ต่ำสัญญาณรับส่งไปได้ไกลและทะลุ

ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี ส่วนความถี่ที่เหมาะสมจริงๆ สำหรับ full mobility นั้น ขณะนี้หลายๆ Operator ในหลายประเทศได้มุ่งไปที่แถบคลื่นวิทยุที่ต่ำกว่า 1 GHz (เช่น UHF) เพราะสามารถส่งสัญญาณได้ไกลและครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าซึ่งมีผลให้ใช้จำนวนสถานีฐานที่น้อยลง เพราะ Cell site จะมีขนาดใหญ่ขึ้น และเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไปในตัว

3.4 การจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในแถบคลื่นวิทยุ 2 – 6 GHz ของประเทศต่าง ๆ

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาถึงการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในแถบคลื่นวิทยุ 2 - 6 GHz ของหลายๆ ประเทศในโลก และพิจารณาถึงสภาพภาพของการจัดสรรความถี่ของประเทศไทย ตาราง 7 แสดงสรุปการจัดสรรความถี่สำหรับเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศต่างๆ ส่วนรายละเอียดสามารถดูเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก 1

ตารางที่ 7 การจัดสรรความถี่สำหรับ WiMAX สำหรับประเทศต่าง ๆ

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Australia	2.3 GHz	Licensed	(2.302-2.400 GHz) ● 7 MHz / license / area	Wireless Access Service	Max Power 10 dBm.	Austar, Unwired	Unwired plans to launch WiMAX in Sydney
	3.4 GHz	Licensed	(3.425-3.4425, 3.475-3.4925 GHz) ● 2 x 17.5 MHz ● 40 MHz duplex spacing (3.4425-3.475, 3.5425-3.575 GHz) ● 2 x 32.5 MHz ● 100 MHz duplex spacing	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.875 GHz) ● N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 4 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Canada	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) • N/A	Mobile Service	N/A	N/A	Under consideration
	2.3 GHz	Licensed	(2.305-2.320, 2.345-2.360 GHz) • 2 x 15 MHz / license / area	Wireless Communications Service (WCS)	Base Station Max e.i.r.p. 2000 W. Mobile Station Max e.i.r.p. 20 W.	32 Companies, 841 licenses	
	3.5 GHz	Licensed	(3.475-3.550, 3.575-3.650 GHz) • 2 x 25 MHz • 100 MHz duplex spacing (3.550-3.575 GHz) • 25 MHz	Fixed Wireless Access	Max e.i.r.p. 32 dBW		
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.470-5.725 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 1 W.	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.875 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 4 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Hong Kong	3.5 GHz	Licensed	(3.410-3.500, 3.510-3.600 GHz) • 2 x 15 MHz • 100 MHz duplex spacing	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Allow fixed service first then allow mobile services after Jan 1, 2008
Japan	2.5 GHz	Licensed	(2.535-2.605 GHz) • N/A	Mobile Communication	N/A	N/A	Under consideration
	4.9 GHz	Licensed	(4.9-5.0 GHz) • N/A (5.030 – 5.091 GHz) • N/A	Wireless Access Systems	Max. e.i.r.p. 5 W.	Yozan	Yozan and Airspan offer WiMAX service in metroarea of Tokyo
Korea	2.3 GHz	Licensed	(2.300-2.390 GHz) • 3 x 9 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A	KT, SKT, Hanaro Telecom (recently dropped)	Provide WiBro (subset of mobile WiMAX) services

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Malaysia	2.3 GHz	Licensed	(2.3-2.4 GHz) 4 x 5 MHz /license/ area	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 40 dBm/channel	N/A	There are total 13 areas. Each area have upto 5 operators
	3.5 GHz	Licensed	(3.4-3.6 GHz) – Band 1 2 x 3.5 MHz 100 MHz duplex spacing (3.6-3.7 GHz) – Band 2 3.5 MHz	Fixed Wireless Access	Coordinate with Fixed Satellite Service	N/A	Band 2 is for the future expansion
Singapore	2.3 GHz	Licensed	(2.300-2.350 GHz) 5 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A	MobileOne, inter-touch holdings, Pacific Internet, Qala Singapore, SingTel, StarHub	
	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) 6 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A		
	3.5 GHz	Licensed	N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Under studying of coexisting between BWA and FSS

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Switzerland	3.5 GHz	Licensed	(3.410-3.494, 3.510-3.594GHz) • N/A	Wireless Local Loop	N/A	N/A	Licenses expire 2010
	3.5 GHz	Licensed	(3.41-3.6 GHz) • 2 x 21 MHz (2 licenses) • 2 x 17.5 MHz (1 license)	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 35 dBW	N/A	Licenses expire 2016
	3.5 GHz	Licensed	(3.6-3.8 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Under consideration
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.47-5.725 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 1 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
United Kingdom	3.5 GHz	Licensed	(3.48-3.5, 3.58-3.6 GHz) • 2 x 20 MHz • 100 MHz duplex spacing (3.605-3.689, 3.925-4.009 GHz) • 2 x 36 MHz • 320 MHz duplex spacing	Fixed Wireless Access	Max. e.i.r.p. 14 dBW/MHz or 21 dBW/MHz (special case)	Pipex, UK Broadband	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.850 GHz) • 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz	Fixed Wireless Access	Max. e.i.r.p. 2 W.	N/A	Equipments must support DFS (Dynamic Frequency selection) and TPC (Transmitter Power Control)

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
United State	2.3 GHz	Licensed	(2.305-2.320, 2.345-2.360 GHz) • N/A	Wireless Communications Services (WCS)	Max. power at service area border 47dBµV/m	N/A	
	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) • 16.5 MHz	Fixed, Mobile Services	Max. power at service area border 47dBµV/m	Sprint, Clearwire	Allow incumbent MMDS operators to provide BWA – see appendix 2
	3.6 GHz	Unlicensed	(3.650-3.700 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Equipment must use content- based access protocol
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.47-5.725 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 1 W.	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.825 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 4 W.	N/A	

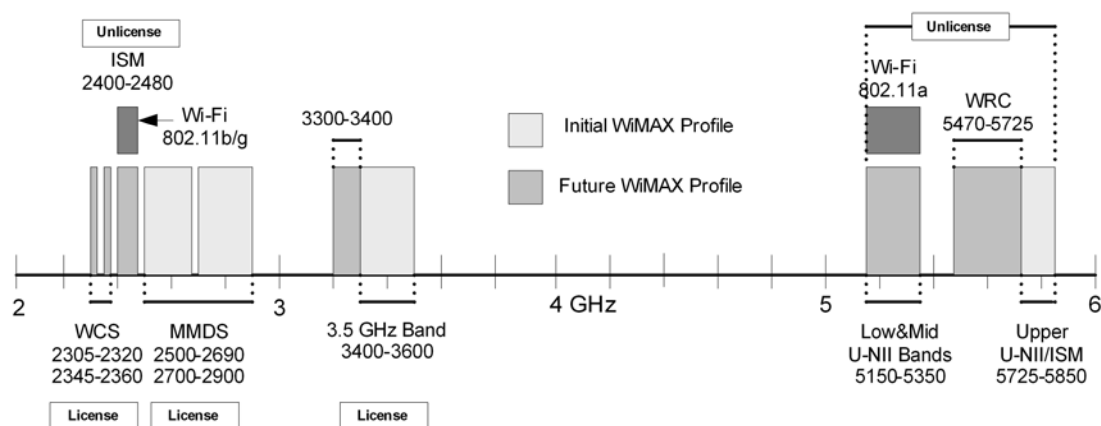
สถานการณ์การจัดสรรความถี่ของหลายๆ ประเทศในโลกสำหรับ Broadband Wireless Access ในอีกสามปีข้างหน้า (ค.ศ. 2005-2007) จะมุ่งไปที่ 3 แถบคลื่นวิทยุตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความถี่สำหรับ WiMAX

Frequency	2.5 GHz	3.5 GHz	5 GHz
Allocation	Licensed	Licensed	Unlicensed/Lite License
Countries	US, Mexico, Brazil, Singapore, Korea (2.3 GHz)	Most countries	Most countries
Target	Operators	Operators	"Grass roots" ISP

Source: WiMAX Forum

แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz และ 3.5 GHz จะถูกนำไปใช้งานแบบ Licensed โดยมีเป้าหมายสำหรับ Operator ขนาดใหญ่ ส่วนแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5 GHz จะถูกนำไปใช้งานแบบ Unlicensed หรือ Lite License โดยมีเป้าหมายสำหรับ Operator ขนาดเล็กที่ให้บริการในพื้นที่ชนบทที่ยังไม่มีบริการอินเทอร์เน็ตเข้าถึง ดังรูปที่ 14 แสดงภาพรวมของความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access สำหรับ WiMAX และได้แสดงถึง WiMAX Certification Profile ในปัจจุบันและที่จะมีขึ้นในอนาคต



รูปที่ 14 WiMAX Spectrum

3.4.1 แถบคลื่นวิทยุ 5 GHz

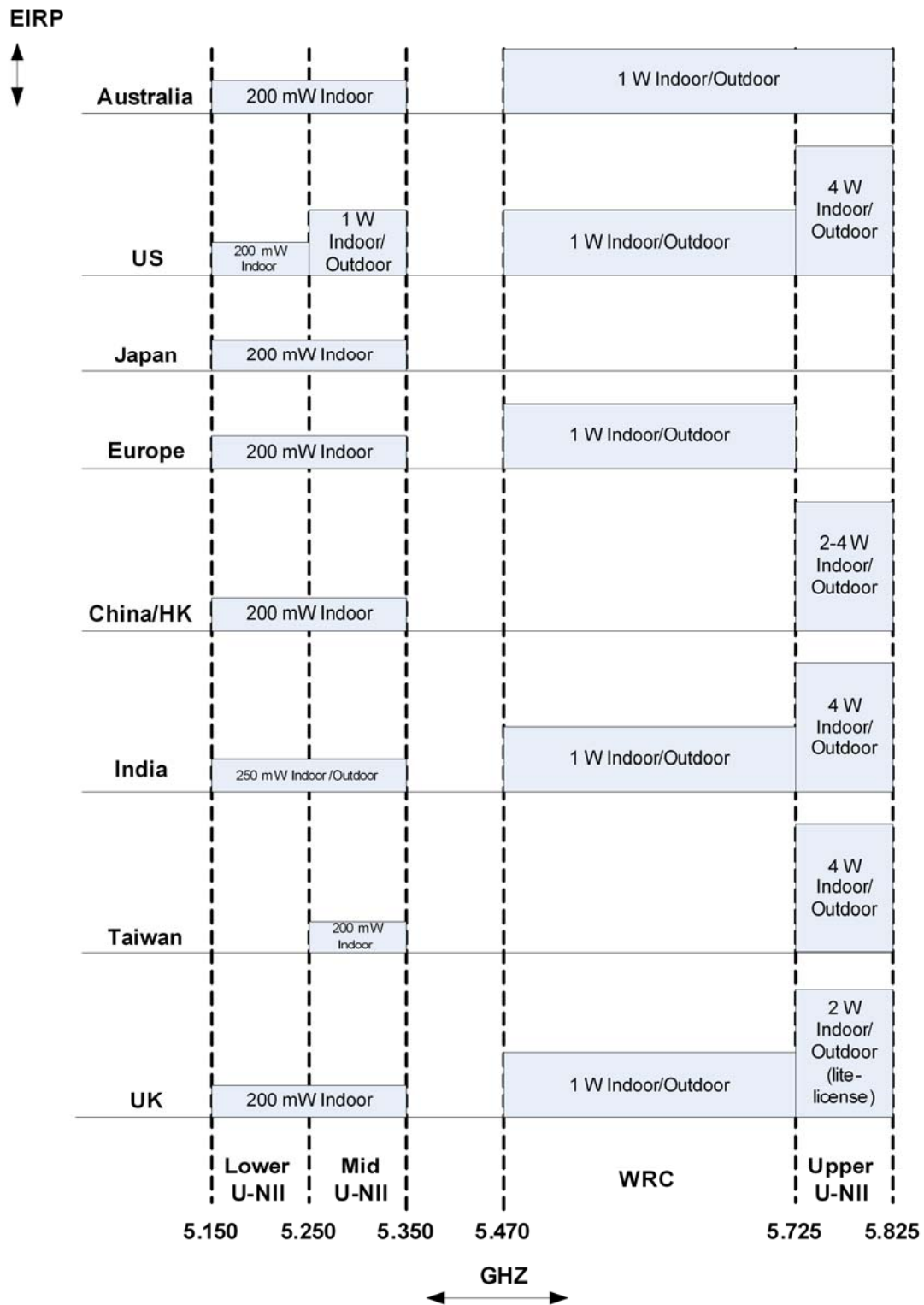
แถบคลื่นวิทยุย่าน 5 GHz นี้ในหลายๆ ประเทศได้จัดสรรความถี่และถูกนำไปใช้งานในรูปแบบของ Unlicensed ซึ่งกำหนดอยู่ใน Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) U-NII Band ประกอบด้วย 3 แถบคลื่นวิทยุ คือ

- Lower U-NII (5.150-5.250 GHz)
- Middle U-NII (5.250-5.350 GHz)
- Upper U-NII (5.725-5.825 GHz)

ในส่วนของ Lower และ Middle U-NII band ในหลายประเทศได้จัดสรรความถี่ย่านนี้สำหรับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ใช้งานภายในอาคารโดยจำกัดกำลังส่งไม่เกิน 200 mW ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ 802.11a Wi-Fi และ Cordless Phone ส่วนแถบความถี่ในย่าน Upper U-NII ได้มีการจัดสรรสำหรับอุปกรณ์ 802.11a Wi-Fi เพื่อให้บริการ Wireless Internet Access ภายนอกอาคารที่มีกำลังส่งไม่เกิน 4 วัตต์

นอกจากแถบคลื่นวิทยุทั้งสามของ U-NII แล้วยังมีการกำหนดแถบคลื่นวิทยุแบบ Unlicensed เพิ่มเติมคือ แถบคลื่นวิทยุ 5.470-5.725 GHz จากการประชุม WRC-03 (World Radio Conference), Resolution 229 ซึ่งได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับกิจการ Mobile Service โดยจำกัดกำลังส่งสูงสุดที่ 1 วัตต์ รูปที่ 15 ได้แสดงการจัดสรรความถี่ รูปแบบการใช้งานและข้อจำกัดด้านกำลังส่งสูงสุด (E.I.R.P.) ของประเทศต่างๆ

การใช้งานที่เหมาะสมสำหรับ Broadband Wireless Access ซึ่งสถานี่ฐานติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ดังนั้น ช่วงความถี่ที่มีการจัดสรรในหลายๆ ประเทศจะมุ่งไปที่แถบคลื่นวิทยุ WRC band (5.470-5.725 GHz) และ Upper U-NII (5.725-5.825 GHz) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะกล่าวโดยรวมเฉพาะเจาะจงว่าเป็น **แถบคลื่นวิทยุย่าน 5.8 GHz**



รูปที่ 15 5 GHz Unlicensed Spectrum Allocation ของประเทศต่างๆ

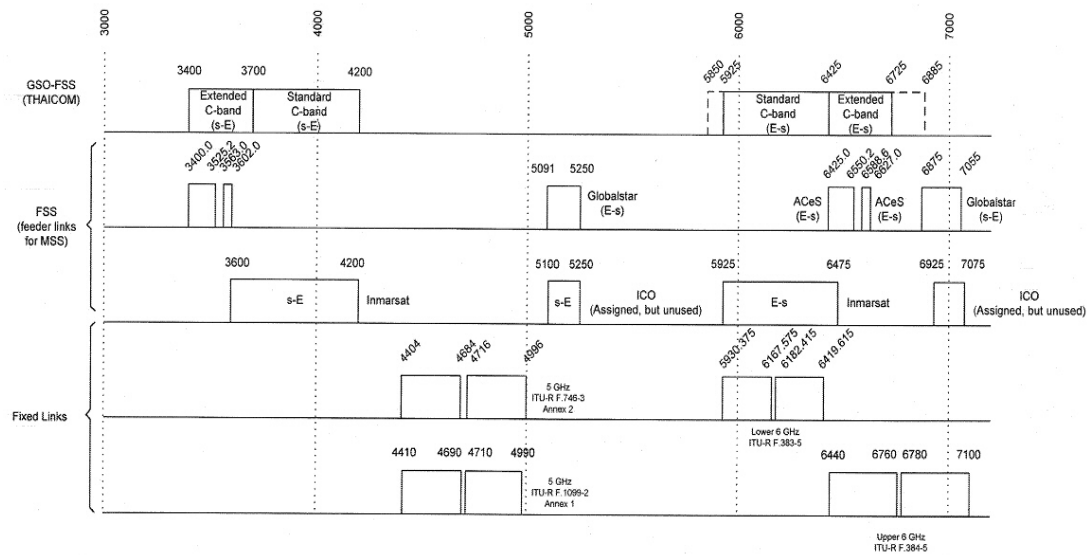
สถานะการจัดสรรความถี่สำหรับประเทศไทยในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5 GHz

สำหรับประเทศไทยสถานะการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5 GHz สรุปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 16 และตารางที่ 9 ประกอบ)

- **แถบคลื่นวิทยุ 5.150-5.250 GHz (Lower U-NII)** ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocations) ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับหลายกิจการ รวมทั้งกิจการ Mobile Service ที่มีกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 200 mW (E.I.R.P.) ตาม Resolution 229 (WRC-03) เนื่องจากกำลังส่งสูงสุดเพียง 200 mW ไม่เหมาะแก่การใช้งาน WiMAX ดังนั้นแถบคลื่นวิทยุนี้จึงไม่อยู่ในข่ายของการพิจารณาแถบคลื่นวิทยุสำหรับ **WiMAX**
- **แถบคลื่นวิทยุ 5.250-5.350 GHz (Middle U-NII)** ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocations) ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับหลายกิจการ รวมทั้งกิจการ Mobile Service ที่มีกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 200 mW (E.I.R.P.) ตาม Resolution 229 (WRC-03) เนื่องจากกำลังส่งสูงสุดเพียง 200 mW ไม่เหมาะแก่การใช้งาน WiMAX ดังนั้นแถบคลื่นวิทยุนี้จึงไม่อยู่ในข่ายของการพิจารณาแถบคลื่นวิทยุสำหรับ **WiMAX**
- **แถบคลื่นวิทยุ 5.470-5.725 GHz (WRC-03)** ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocations) ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับหลายกิจการรวมทั้งกิจการ Mobile Service ที่มีกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 1 W (E.I.R.P.) ตาม Resolution 229 (WRC-03) ปัจจุบันแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของกิจการของกองทัพอากาศ สำหรับประเทศไทยแถบคลื่นวิทยุนี้สามารถนำมาจัดสรรสำหรับเทคโนโลยี **WiMAX** แบบ **Unlicensed** ที่จำกัดกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 1 W (E.I.R.P.) ได้ เนื่องจากมีผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนน้อยต่อกิจการของกองทัพอากาศ และโดยสากลในหลายๆ ประเทศได้จัดสรรแถบคลื่นวิทยุนี้ในรูปแบบ Unlicensed
- **แถบคลื่นวิทยุ 5.725-5.825 GHz (Upper U-NII)** ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocations) ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับกิจการ Fixed และ Mobile Service โดยไม่ระบุกำลังส่งสูงสุดตาม Resolution 229 ของ WRC-03 ปัจจุบันแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของกิจการของกองทัพอากาศ โดยสากลในหลายๆ ประเทศได้จัดสรรแถบคลื่นวิทยุนี้ในรูปแบบ Unlicensed ดังนั้นแถบคลื่นวิทยุนี้สามารถนำมาจัดสรรสำหรับเทคโนโลยี **WiMAX** แบบ **Unlicensed** ได้โดยจำกัดกำลังส่งสูงสุดเพื่อให้มีผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการกองทัพอากาศน้อยที่สุด

สรุปแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 5 GHz ที่สามารถนำมาพิจารณาจัดสรรสำหรับเทคโนโลยี WiMAX ได้ คือ

- แถบคลื่นวิทยุ 5.470-5.725 GHz และ 5.725-5.825 GHz สำหรับการใช้งานแบบ Unlicensed และจำกัดกำลังส่งสูงสุด



รูปที่ 16 การจัดสรรความถี่บนแถบคลื่นวิทยุ 3-7 GHz สำหรับประเทศไทย

(อ้างอิงจากเอกสารของ กทช. http://www.ntc.or.th/uploadfiles/1118285280_im_76.pdf)

ตารางที่ 9 ตาราง National Table of Frequency Allocations สำหรับประเทศไทย
 บนแถบคลื่นวิทยุ 3-6 GHz

Frequency Band (GHz)	Allocation to services
3.100 – 3.400	<u>Primary:</u> RADIOLOCATION
3.400 – 4.200	<u>Primary:</u> FIXED-SATELLITE (space-to-earth) <u>Secondary:</u> Fixed, Mobile
5.150 – 5.250	<u>Primary:</u> AERONAUTICAL RADIONAVIGATION FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) MOBILE (*)
5.250 – 5.350	<u>Primary:</u> EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) SPACE RESEARCH FIXED (WRC-03, Recommendation ITU-R F.1613) MOBILE (*)
5.350 – 5.470	<u>Primary:</u> EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) AERONAUTICAL RADIONAVIGATION SPACE RESEARCH
5.470 – 5.650	<u>Primary:</u> MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION MOBILE (*)
5.650 – 5.725	<u>Primary:</u> RADIOLOCATION, MOBILE (*)
5.725 – 5.850	<u>Primary:</u> RADIOLOCATION, FIXED, MOBILE

(*) Resolution 229 (WRC-03) กำหนด max. e.i.r.p 200 mw สำหรับ band 5.150-5.350 และ max. e.i.r.p. 1 W สำหรับ band 5.470-5.725

3.4.2 แบนคลื่นวิทยุ 3.5 GHz

แบนคลื่นวิทยุย่าน 3.5 GHz ในหลายๆ ประเทศได้จัดสรรความถี่และถูกนำไปใช้งานในรูปแบบของ Licensed โดยมีช่วงความถี่ที่แตกต่างกันไปตามแต่ละประเทศในช่วงประมาณตั้งแต่ 3.4-4.2 GHz แบนคลื่นวิทยุนี้ถูกกำหนดโดยตรงเพื่อการใช้งาน Broadband Wireless Access ในหลายประเทศในยุโรปและเอเชีย ประเทศส่วนใหญ่จะมีการกำหนดเจาะจงให้สามารถให้บริการได้เฉพาะ Fixed Broadband Wireless Access เท่านั้น ดังนั้นในประเทศเหล่านี้กำลังมีการแก้ไขกฎระเบียบเพื่อขยายการใช้งานครอบคลุมถึง Nomadic Broadband Wireless Access แบนคลื่นวิทยุนี้จึงเป็นตลาดที่สำคัญสำหรับ WiMAX ตัวอย่างการจัดสรรความถี่ เช่น

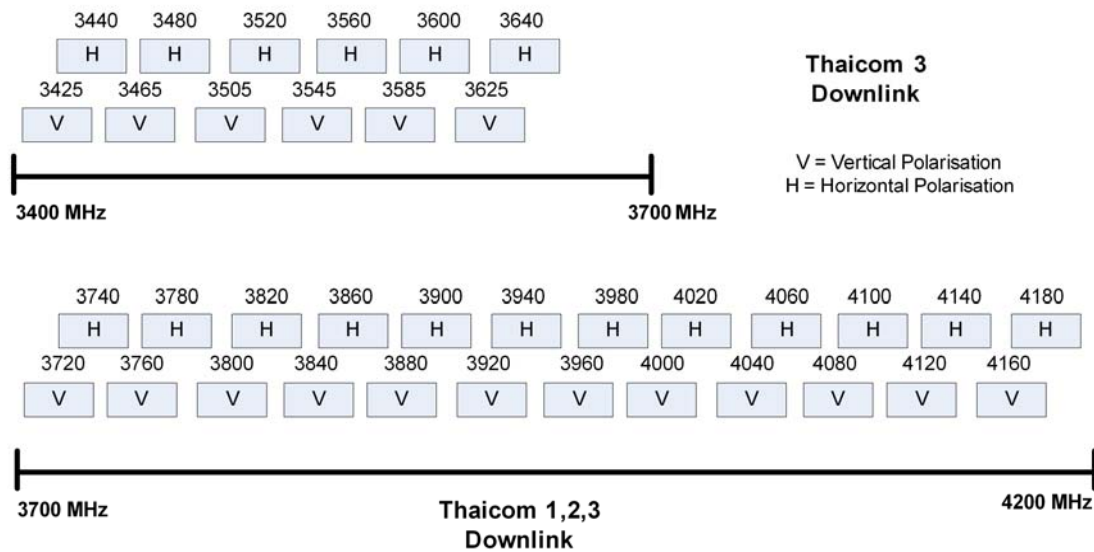
- ประเทศสหรัฐอเมริกา กำลังพิจารณาความถี่ 3.650-3.700 GHz
- ประเทศแคนาดา ได้จัดสรรความถี่ 3.4-3.6 GHz
- ประเทศอังกฤษ ได้จัดสรรความถี่ 3.48-3.5 GHz คู่กับ 3.58-3.6 GHz (2x20 MHz per license) และอีกช่วงความถี่คือ 3.605-3.689 GHz คู่กับ 3.925-4.009 GHz (2x36 MHz per license)
- ประเทศฝรั่งเศส ได้จัดสรรความถี่ 3.4-3.6 GHz
- หลายประเทศในทวีป ยุโรป กำลังพิจารณาความถี่ 3.4-3.8 GHz
- ประเทศออสเตรเลีย ได้จัดสรรความถี่ 3.4-3.6 GHz
- ประเทศมาเลเซีย กำลังพิจารณาความถี่ 3.4-3.7 GHz
- ประเทศอินเดีย กำลังพิจารณาความถี่ 3.3-3.4 GHz

นอกจากประเทศที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีอีกหลายประเทศทั่วโลกที่ได้จัดสรรความถี่หรือกำลังพิจารณาแบนคลื่นวิทยุบริเวณ 3.5 GHz สำหรับบริการ Broadband Wireless Access เช่น
ในทวีปอเมริกา ได้แก่ อาร์เจนตินา บราซิล ชิลี โคลัมเบีย คอสตาริกา แม็กซิโก เปรู
ในทวีปเอเชีย ได้แก่ จีน อินโดนีเซีย ใต้หวัน ศรีลังกา ฟิลิปปินส์
ในทวีปยุโรป เกือบทุกประเทศกำลังพิจารณาที่แบนคลื่นวิทยุบริเวณ 3.5 GHz

สถานะการจัดสรรความถี่สำหรับประเทศไทยในแบนคลื่นวิทยุบริเวณ 3.5 GHz

สำหรับประเทศไทยสถานะการจัดสรรความถี่ในแบนคลื่นวิทยุบริเวณ 3.5 GHz สรุปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 16 และตารางที่ 9 ประกอบ)

- แบนคลื่นวิทยุ 3.4-4.2 GHz ในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocations) ได้มีการกำหนดกิจการ Fixed และ Mobile เป็น Secondary โดยมีกิจการ FIXED-SATELLITE เป็น Primary และมีการใช้งานของแบนคลื่นวิทยุนี้ในกิจการดาวเทียม คือ แบนคลื่นวิทยุ 3.4-3.7 GHz สำหรับดาวเทียมไทยคม 3 ในทิศทางขาลง (Downlink or Space-to-Earth) และ แบนคลื่นวิทยุ 3.7-4.2 สำหรับดาวเทียมไทยคม 1,2,3 ในทิศทางขาขึ้น (Uplink or Earth-to-Space) ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 แสดงช่องสัญญาณของดาวเทียม ThaiCOM

จากรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าดาวเทียม ThaiCOM ได้มีการใช้งานครอบคลุมตลอดทั้งแถบ คลื่นวิทยุ 3.7-4.2 GHz ในทิศทาง Downlink ดังนั้นถ้ามีการจัดสรรความถี่สำหรับ WiMAX บนแถบ คลื่นวิทยุนี้ WiMAX จะไม่ได้รับผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมเพราะความแรงของ สัญญาณดาวเทียมไม่สูง แต่สถานีฐานของดาวเทียมจะได้รับการรบกวนจากกิจการ WiMAX

จากการศึกษาการจัดสรรความถี่ของเขตเศรษฐกิจฮ่องกง (ดูภาคผนวก 3) เนื่องจากฮ่องกงมี พื้นที่ที่เล็ก จึงเป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการใช้งาน WiMAX และ FSS บนพื้นที่บริเวณเดียวกัน ได้ และผลการศึกษาพบว่า WiMAX และ FSS (Fixed Satellite Services) ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ใน พื้นที่เดียวกันโดยที่ FSS ได้รับสัญญาณรบกวนจนใช้งานไม่ได้ในบางช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตาม OFTA ของฮ่องกงยังจัดสรรความถี่ที่แถบคลื่นวิทยุ 3.5 GHz สำหรับ WiMAX โดยยอมให้ FSS ได้รับ ผลกระทบ แต่เนื่องจากช่องสัญญาณของ FSS ที่ได้รับผลกระทบเป็นช่อง Free TV ของต่างประเทศ (ไม่ใช่ของฮ่องกง) ซึ่งมีผู้ชมในประเทศไม่มาก จึงไม่ได้รับผลกระทบมากในมุมมองของผู้ใช้

สำหรับประเทศไทย ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นได้ในการใช้งานร่วมกันระหว่าง WiMAX และ ดาวเทียม ThaiCOM และการหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนในแถบคลื่นวิทยุ 3.5 GHz

3.4.3 แถบคลื่นวิทยุ 2.5 GHz

แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz ในแถบคลื่นวิทยุประมาณ 2.3-2.690 GHz ซึ่งมีการจัดสรร ความถี่และถูกนำไปใช้งานในรูปแบบของ Licensed ซึ่งจะแยกพิจานาที่สองแถบคลื่นวิทยุ คือ 2.3-2.4 GHz และ 2.5-2.690 GHz ส่วนแถบคลื่นวิทยุ 2.400-2.480 เป็นแถบคลื่นวิทยุ Industrial Scientific and Medical (ISM) ซึ่งใช้มากในอุปกรณ์ Wi-Fi, Cordless Phone, Bluetooth เป็นต้น

แถบคลื่นวิทยุ 2.5-2.690 GHz

ในแถบคลื่นวิทยุนี้ หลายๆ ประเทศได้จัดสรรความถี่สำหรับกิจการ Multichannel Multipoint Distribution Service (MMDS) ซึ่งให้บริการถ่ายทอดโทรทัศน์และโทรทัศน์เพื่อการศึกษา แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว MMDS ถูกนำไปใช้จริงในจำนวนที่น้อยและไม่คุ้มค่า หลายประเทศจึงมีแนวทางที่จะปรับเปลี่ยนแถบคลื่นวิทยุนี้เพื่อนำไปใช้ในกิจการ Broadband Wireless Access ประเทศที่มีการกำหนดแถบคลื่นวิทยุนี้สำหรับ Broadband Wireless Access ตัวอย่างการจัดสรรความถี่เช่น

- ประเทศสหรัฐอเมริกา พิจารณาที่แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz
- ประเทศบราซิล
- ประเทศสิงคโปร์ ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz สำหรับกิจการ Broadband Wireless Access โดยมีเป้าหมายในการให้บริการ WiMAX ครอบคลุมทั้งประเทศสิงคโปร์

แถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.4 GHz

ในปัจจุบัน (2006) หลายๆ ประเทศเริ่มพิจารณาที่ช่วงความถี่นี้ในการให้บริการ Broadband Wireless Access

- ประเทศเกาหลี กำหนด แถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.4 GHz สำหรับกิจการ Mobile Broadband Wireless Access ประเทศเกาหลีได้พัฒนามาตรฐาน Mobile Broadband Wireless Access ขึ้นเองมีชื่อว่า WiBro มาตรฐาน WiBro สามารถเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEEE 802.16e ปัจจุบันกำลังมีการประสานงานระหว่าง WiMAX Forum กับ ประเทศเกาหลี ซึ่งบรรจุ WiBro เข้าเป็นส่วนหนึ่งใน system profile ของ WiMAX
- ประเทศสหรัฐและประเทศแคนาดา ได้พิจารณาแถบคลื่นวิทยุที่ชื่อว่า Wireless Communications Services (WCS) 2.305-2.320 GHz และ 2.345-2.360 GHz
- ประเทศสิงคโปร์ ได้กำหนดแถบคลื่นวิทยุ 2.300-2.350 GHz สำหรับกิจการ Broadband Wireless Access

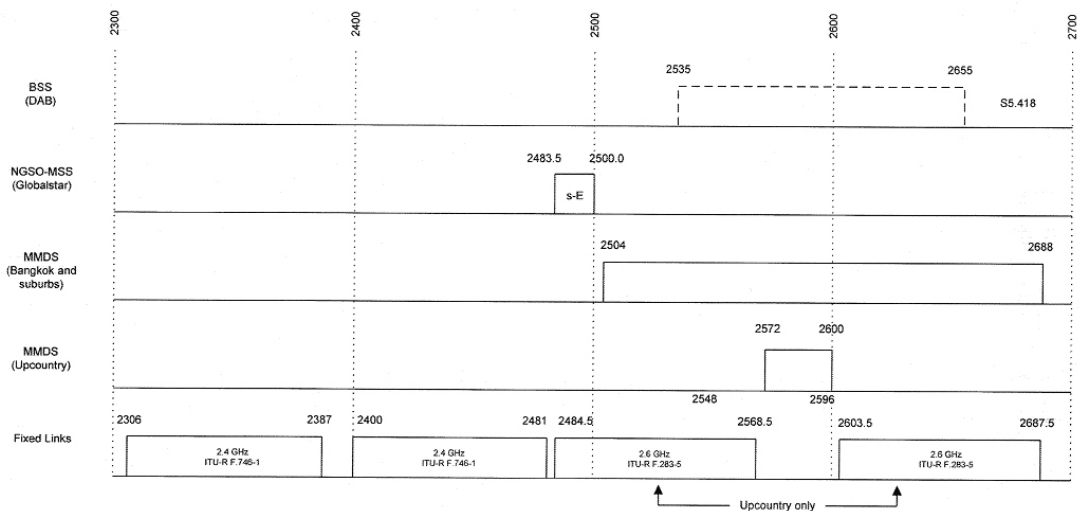
สถานะการจัดสรรความถี่สำหรับประเทศไทยในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz

สำหรับประเทศไทยสถานะการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุบริเวณ 2.5 GHz สรุปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 18 และตารางที่ 10 ประกอบ)

- แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz แถบคลื่นวิทยุนี้ได้มีกำหนดในการให้บริการ Fixed และ Mobile Service ใน ตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ (National Table of Frequency Allocation) ในประเทศไทยแถบคลื่นวิทยุนี้ถูกนำไปใช้ในบริการ MMDS ระหว่างแถบคลื่นวิทยุ 2.504-2.688 GHz สำหรับ MMDS ในกรุงเทพและปริมณฑล และ แถบคลื่นวิทยุ 2.572-2.600 GHz สำหรับ MMDS ในต่างจังหวัด MMDS ในกรุงเทพฯมีการใช้งานในปริมาณน้อยและไม่คุ้มค่า ส่วน MMDS ในต่างจังหวัดไม่มีการใช้งานอยู่เลย นอกจากนี้ในแถบคลื่นวิทยุนี้ยังมีการใช้งานของกิจการ Fixed Links ซึ่งได้รับการจัดสรรออกไปจำนวนไม่มาก (2 คู่ของ Channel โดย ความกว้าง Channel ละ 7 MHz) ดังนั้นจึงเสนอแนวทางในเรียกคืนความถี่ MMDS ที่ไม่มีการใช้งานกลับมา แถบคลื่นวิทยุนี้สามารถนำมาจัดสรรสำหรับ

เทคโนโลยี **WiMAX** แบบ **Licensed** โดยมีการประสานงานด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการ Fixed Links

- แถบคลื่นวิทยุ 2.300-2.400 GHz แถบคลื่นวิทยุนี้ได้มีกำหนดในการให้บริการ Fixed และ Mobile Service ใน ตารางกำหนดความถี่แห่งชาติ (National Table of Frequency Allocation) ปัจจุบันแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของกิจการของ Fixed Links แถบคลื่นวิทยุนี้สามารถนำมาจัดสรรสำหรับเทคโนโลยี **WiMAX** แบบ **Licensed** โดยมีการประสานงานด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการ Fixed Links



รูปที่ 18: การจัดสรรความถี่บนแถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.690 GHz สำหรับประเทศไทย
(เอกสารเผยแพร่ของ กทช. http://www.ntc.or.th/uploadfiles/1118284951_im_75.pdf)

ตารางที่ 10 แสดง National Table of Frequency Allocations สำหรับประเทศไทย
บนแถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.690 GHz

Frequency Band (GHz)	Allocation to services
2.300 – 2.500	<u>Primary:</u> FIXED, MOBILE, RADIOLOCATION
2.500 – 2.690	<u>Primary:</u> FIXED, MOBILE, FIXED SATELLITE

ในอนาคตจะมีการกำหนดย่านความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access เพิ่มเติมจาก ย่านความถี่ทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้น เช่น ในประเทศญี่ปุ่นมีการพิจารณาแถบคลื่นวิทยุ 4.9-5.0 GHz สำหรับการใช้งานแบบ Licenses (เป้าหมายหลังปี 2007) และย่านความถี่เพื่อรองรับ Mobile Broadband Wireless Access หรือ IEEE 802.16e โดยมีการเล็งเป้าหมายที่ แถบคลื่นวิทยุที่ต่ำกว่า 1 GHz เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกามีการพิจารณาที่แถบคลื่นวิทยุบริเวณ 700 MHz เป็นต้น

บทที่ 4 ข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในประเทศไทย

บทนี้จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่เพื่อให้ กทช. ใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาจัดสรรความถี่ต่อไป

4.1 แนวทางการพิจารณาการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA

แนวทางการพิจารณาการจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access จะพิจารณาจากหลักการดังนี้

1. พิจารณาถึงเทคโนโลยีที่ใช้งาน โดยจะมุ่งที่เทคโนโลยี IEEE 802.16 หรือ WiMAX เป็นหลัก โดยพิจารณาจาก system profile ซึ่งกำหนดไว้ใน WiMAX Specification ซึ่งทาง WiMAX forum ได้กำหนด profile เริ่มต้นที่ 3 แถบคลื่นวิทยุดังที่กล่าวในบทที่แล้ว (ดูหัวข้อที่ 2.7) คือ แถบคลื่นวิทยุ 2.5 GHz 3.5 GHz และ 5 GHz การพิจารณาแถบคลื่นวิทยุจาก WiMAX profile นั้นเป็นการบ่งบอกถึง
 - แถบคลื่นวิทยุที่เป็นที่ยอมรับกันโดยสากล เพราะแต่ละ profile ที่กำหนดมานั้นอยู่บนพื้นฐานของ การประสานงานระหว่าง Regulator ของนานาประเทศ, ITU, IEEE 802.16 ที่พัฒนามาตรฐาน WiMAX และ ผู้ผลิตและพัฒนาอุปกรณ์
 - อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่พร้อมใช้ในการให้บริการ BWA
 - อุปกรณ์มีราคาที่ถูกเนื่องจากการเป็นการผลิตแบบ Mass Production
2. พิจารณาโดยใช้แนวทางของ Recommendation ITU-R F.1401-1 ซึ่งอธิบายถึงแนวทางในการพิจารณาแถบคลื่นความถี่สำหรับการให้บริการ Broadband Wireless Access ซึ่งมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้
 1. แถบคลื่นวิทยุที่เข้าข่ายในการพิจารณาสำหรับการให้บริการ Broadband Wireless Access มีดังนี้คือ
 - แถบคลื่นวิทยุมีการให้บริการ Fixed BWA อยู่แล้ว
 - แถบคลื่นวิทยุมีการกำหนดรูปแบบการให้บริการที่เป็น Fixed Service (FS) หรือ Mobile Service (MS)
 - แถบคลื่นวิทยุมีแนวโน้มการใช้งานด้าน Fixed BWA สอดคล้องกับประเทศอื่นๆ ทั่วโลก
 - แถบคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานด้าน Fixed Service ปริมาณน้อยหรือใช้งานไม่คุ้มค่า

2. พิจารณาด้านความยุ่งยากซับซ้อนของขบวนการจัดการความถี่
 3. พิจารณาถึงราคาอุปกรณ์ที่ใช้งานในแถบคลื่นวิทยุที่กำลังพิจารณา
 4. พิจารณาถึงการใช้งานร่วมกันกับกิจการอื่นและข้อกำหนดของการจัดสรรความถี่โดยศึกษาจาก ITU-R Recommendations และ Radio Regulations
 5. พิจารณาถึงการศึกษาถึงผลกระทบกับกิจการหลักอื่นที่ใช้งานบนแถบคลื่นวิทยุที่กำลังพิจารณา
 6. จากข้อ 4 เมื่อพิจารณาให้อนุญาตใช้งาน BWA ร่วมกับกิจการอื่นได้นั้นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการอื่น
 7. เลือกแถบคลื่นวิทยุที่ผ่านการพิจารณาทั้ง 6 ข้อข้างต้น
3. พิจารณาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะกฎหมายขอบเขตของอำนาจในการพิจารณาจัดสรรความถี่ของ กทช. โดยกฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องคือ
- พระราชบัญญัติ องค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2543
 - ประกาศคณะกรรมการกิจการคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง มาตรการชั่วคราวเพื่อจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ (มกราคม 2548)
 - ประกาศคณะกรรมการกิจการคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การขอรับจัดสรรคลื่นความถี่ (เมษายน 2548)

4.2 ข้อเสนอแนะแถบคลื่นวิทยุที่เหมาะสมสำหรับ BWA ในประเทศไทย

จากหลักการในหัวข้อ 4.1 สามารถสรุปข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่สำหรับประเทศไทยตามตารางที่ แบบ License ตามตารางที่ 11 และแบบ Unlicensed ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่แบบ Licensed

แถบ คลื่นวิทยุ (GHz)	ขนาดช่วง คลื่นวิทยุ (MHz)	Services ใน ตาราง กำหนดความถี่วิทยุ แห่งชาติ	กิจการที่มี การ ใช้งานอยู่เดิม	จุดเด่น	อุปสรรคและปัญหา	ข้อเสนอแนะ
2.300-2.400	100	<u>Primary:</u> FIXED, MOBILE, RADIOLOCATION	Fixed Links (ITU-R F746-1) จำนวน 39 คู่ ช่องสัญญาณ	- Fixed และ Mobile service เป็น Primary - มีอุปกรณ์มาตรฐาน WiBro (Subset ของ Mobile WiMAX) รองรับ	มีการใช้งานของกิจการ Fixed Links อาจจำนวนมาก (39 คู่ ช่องสัญญาณ) อาจมีความยุ่งยากในการจัดการการรบกวน	- จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Link - กำหนด Channel Block 5 MHz (สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX)
2.500-2.690	190	<u>Primary:</u> FIXED, MOBILE, FIXED SATELLITE	- MMDS - Fixed Links (ITU-R F283-5) จำนวน 2 คู่ ช่องสัญญาณ	- Fixed และ Mobile service เป็น Primary - กิจการ MMDS มีการใช้งานน้อยสามารถนำมาปรับใช้สำหรับ BWA ได้ - มีอุปกรณ์มาตรฐาน WiMAX รองรับ	- มีการใช้งานของกิจการ Fixed Links จำนวนน้อย (2 คู่ ช่องสัญญาณ) และ MMDS อาจเกิดการรบกวนกันและกัน - การปรับปรุงแผนกิจการความถี่ของ MMDS เป็นอำนาจหน้าที่ของคณะกรรมการร่วมกทช.-กสท. (*)	- เนื่องจากแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของ MMDS น้อยในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล และไม่มีการใช้งานเลยในพื้นที่ต่างจังหวัด ดังนั้นในแผนระยะยาวจึงเสนอให้มีการปรับปรุงแผนความถี่กิจการ MMDS มาใช้ในกิจการ BWA โดยอาจจะใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุของ US FCC มาประกอบการพิจารณา (ภาคผนวก 2) ส่วนในแผนระยะสั้นเสนอให้จัดสรรความถี่สำหรับกิจการ BWA ที่ไม่มีผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนต่อ MMDS ซึ่งสามารถจัดสรรได้โดยง่ายปราศจากความยุ่งยากด้านเทคนิคเกี่ยวกับการรบกวนกัน - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับ กิจการ Fixed Link - กำหนด Channel Block 5 MHz (สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX)

แถบ คลื่นวิทยุ (GHz)	ขนาด ช่วง คลื่นวิทยุ (MHz)	Services ใน ตาราง กำหนดความถี่วิทยุ แห่งชาติ	กิจการที่มีการใช้ งานอยู่เดิม	จุดเด่น	อุปสรรคและปัญหา	ข้อเสนอแนะ
3.400- 3.700	300	<u>Primary:</u> FIXED-SATELLITE (space-to-earth) <u>Secondary:</u> Fixed, Mobile	ThaiCOM (Downlink)	มีอุปกรณ์มาตรฐาน WiMAX รองรับจำนวน มาก	- Fixed และ Mobile service เป็น secondary เป็นอำนาจ หน้าที่ของคณะกรรมการร่วม กทช.-กสช. (*) - มีการใช้งานของกิจการ ดาวเทียมอาจเกิดการรบกวน กันและกัน	- เปลี่ยนแปลง Fixed และ Mobile service เป็น primary ผลคือทำให้ กิจการ Fixed และ Mobile service กับ Fixed satellite เป็น co- primary กัน - ทำการศึกษาผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนในการใช้งานร่วมกัน ระหว่าง BWA กับ ดาวเทียม - สามารถใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกง เป็นกรณีศึกษา (ภาคผนวก 3) - กำหนด Channel Block 3.5 MHz (สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX)

*คณะกรรมการ กสช. กำลังอยู่ในช่วงพิจารณาสรรหา

ตารางที่ 11 ข้อเสนอแนะการจัดสรรความถี่แบบ Licensed

แถบ คลื่นวิทยุ (GHz)	ขนาดช่วง คลื่นวิทยุ (MHz)	Services ใน ตารางกำหนด ความถี่ วิทยุแห่งชาติ	กิจการที่มีการ ใช้งานอยู่เดิม	จุดเด่น	อุปสรรคและปัญหา	ข้อเสนอแนะ
5.470-5.725	255	<u>Primary:</u> RADIOLOCATION RADIONAVIGATION MOBILE (Resolution 229, WRC-03)	กองทัพอากาศ	- Mobile service เป็น Primary ที่กำหนดกำลังส่งสูงสุด 1 W e.i.r.p. - มีอุปกรณ์มาตรฐาน WiMAX รองรับ	มีการใช้งานของกิจการของกองทัพอากาศ	- กำหนดรูปแบบการจัดสรรความถี่แบบ Lite Licensed (โมเดลเสนอโดย UK OFCOM) จำกัดกำลังส่งสูงสุดอยู่ที่ 1 W. e.i.r.p. - กำหนดให้อุปกรณ์สื่อสารต้องรองรับเทคโนโลยี DFS (Dynamic Frequency Selection) และ TPC (Transmitter Power Control) เพื่อลดผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการอื่น - กำหนด Channel Block 10 MHz (สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX)

4.3 ข้อเสนอแนะด้านรูปแบบการให้ License ความถี่

เอกสารการศึกษานี้ได้พิจารณาในแง่ของเทคโนโลยี WiMAX และการจัดสรรความถี่ที่เหมาะสม แต่ยังมีประเด็นอื่นนอกเหนือจากประเด็นทางเทคนิคที่ควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

เป้าหมายหลักในการจัดสรรความถี่คือ เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรด้านความถี่ให้คุ้มค่าที่สุด เพื่อเกิดผลประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้ที่จะได้รับบริการ BWA ได้อย่างทั่วถึง และในราคาที่เหมาะสม ดังนั้น ยังมีประเด็นอื่นๆ ที่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการจัดสรรความถี่บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ จึงมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในรูปแบบของการจัดสรรความถี่ซึ่งมีประเด็นดังนี้

1. ศึกษาหาโมเดลในการออกใบอนุญาตและการกำหนดค่าตอบแทนคลื่นวิทยุที่เหมาะสมเพื่อเป็นการดึงดูดให้มีการลงทุนดำเนินงาน BWA และกระตุ้นให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและทั่วถึง ตัวอย่างของโมเดลประเทศออสเตรเลีย คือมีในพื้นที่เขตเมืองให้มีการประมูล License ความถี่ ส่วนในเขตชนบทให้มีการกำหนดค่า License เป็นแบบ Fixed cost ส่วนพื้นที่ห่างไกลกำหนดให้มีการลงทะเบียนของใช้ความถี่โดยไม่มีการเก็บค่าธรรมเนียม เป็นต้น
2. ศึกษาแบบแผนการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ตามอาณาเขต (การจัดสรรความถี่ตามอาณาเขตคือให้การสิทธิแก่ผู้ได้รับอนุญาตในการใช้ความถี่ในอาณาเขตที่กำหนดไว้) ศึกษาเพิ่มเติมถึงการแบ่งอาณาเขตที่เหมาะสมที่ให้ผลคุ้มค่าในการลงทุน ศึกษาถึงข้อกำหนดภายในอาณาเขตที่ได้รับอนุญาต

4.4 การให้อนุญาต BWA ชั่วคราวเพื่อการทดลองและประเมินผลทางด้านเทคนิค

จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวข้างต้น ยังมีอีกหลายประเด็นซึ่งต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมจากการทดลองในภาคสนาม การทดลองเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ในภาคสนาม มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาถึงเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ในหลายๆ แง่มุมตัวอย่างเช่น การศึกษาด้านคุณสมบัติของคลื่นวิทยุและการแพร่กระจายของคลื่น การศึกษาด้านคุณสมบัติในการรับส่งข้อมูล การศึกษาด้านความกว้างของช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสม การศึกษาด้านผลกระทบของสัญญาณรบกวน การศึกษาด้านระบบการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยและทดลองจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาการจัดสรรความถี่สำหรับการให้บริการ BWA

การให้อนุญาต BWA ชั่วคราวเพื่อการทดลองนั้นยึดตามประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติว่าด้วยเรื่องหลักเกณฑ์ในการจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อการทดลองหรือทดสอบเป็นการชั่วคราว ลงวันที่ 15 พฤศจิกายน 2548 โดยมีเงื่อนไขหลักๆ ของการอนุญาตดังนี้

1. ต้องมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการทดลองโดยมิได้มีวัตถุประสงค์ในการแสวงหาผลกำไร
2. ต้องได้รับใบอนุญาตการใช้คลื่นความถี่ชั่วคราวเพื่อการทดลองจากคณะกรรมการฯ โดยคณะกรรมการฯ ต้องจัดสรรคลื่นความถี่ที่สอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ และตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ
3. การทดลองหรือทดสอบต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนอันเกินสมควรต่อโครงข่ายหรือสถานีวิจัยคมนาคมอื่น
4. ระยะเวลาการอนุญาตไม่เกิน 3 เดือน

เมื่อพิจารณาจากแถบคลื่นความถี่ที่อยู่ในข่ายของการพิจารณาการจัดสรรความถี่เพื่อกิจการ BWA นั้น แนวทางระยะสั้นเพื่อใช้พิจารณาอนุญาต BWA เพื่อการทดลองคือ

ตามประกาศข้างต้นที่ระบุว่า คณะกรรมการฯต้องจัดสรรคลื่นความถี่ที่สอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่และตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาตินั้น ตามพระราชบัญญัติองค์การจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2543 ได้กำหนดในมาตรา 62 ว่า ให้กรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์แห่งชาติ (กสช.) และกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) เป็นคณะกรรมการร่วม ทำหน้าที่บริหารคลื่นความถี่ ซึ่งในปัจจุบัน กสช. ยังไม่ได้มีการแต่งตั้งขึ้น และมีความคาดหวังว่าจะต้องใช้เวลาพอสมควรในการคัดเลือกและแต่งตั้ง กสช. ดังนั้นแนวทางในการบริหารความถี่นั้น อาจจะต้องพิจารณายินยอมคลื่นความถี่ที่มีแผนอยู่แล้วและมีกำหนดอยู่ในตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (ตัวอย่างเช่น มีการกำหนด Fixed หรือ Mobile service ในตาราง) โดยไม่ต้องทำการกำหนดกิจการใหม่ เมื่อพิจารณาแถบคลื่นวิทยุในตารางที่ 10 มีแถบคลื่นวิทยุที่เข้าข่ายคือ 2.5-2.690 GHz โดยอยู่บนพื้นฐานหลักการดังนี้

- มีการกำหนด Fixed หรือ Mobile service ซึ่งเป็น primary อยู่แล้วในตารางกำหนดความถี่วิทยุแห่งชาติ :
- มีการกำหนดใช้กิจการอยู่แล้ว และกิจการนั้นต้องเกี่ยวข้องและสอดคล้องกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WiMAX ซึ่งในที่นี้ก็คือ แผนคลื่นวิทยุ 2.6 GHz ITU-R F.283-5
- มีผู้ใช้เดิมอยู่น้อย ลดปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวน

ดังนั้นในช่วงเวลาระยะสั้นนี้ ช่วงแถบความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคือ 2.5-2.690

GHz

นอกจากนี้ในระยะยาวแถบคลื่นความถี่ที่ควรจะได้รับทดสอบคือ 3.4-3.6 GHz ซึ่งการทดสอบเพื่อที่จะหาหลักเกณฑ์ในการใช้งานร่วมกันระหว่างบริการ WiMAX กับ ดาวเทียม

4.5 การเผยแพร่ความรู้ BWA

เสนอแนะให้มีการจัดสัมมนาเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ BWA ทั้งในส่วนของเทคโนโลยี นโยบายการจัดสรรความถี่ แก่ผู้ประกอบการ ผู้บริโภคและประชาชนทั่วไป เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจและรับฟังความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่ได้รับผลกระทบ

บทที่ 5 บทสรุป

รายงานนี้ได้แนะนำความรู้พื้นฐานของ IEEE 802.16 หรือ WiMAX Technology สถานการณ์การจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access ของหลายประเทศในโลก คำแนะนำแนวทางการจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access ในประเทศไทย รวมถึงกรณีศึกษาการจัดสรรความถี่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

เทคโนโลยี WiMAX จะมีบทบาทสำคัญในอนาคตข้างหน้า ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา ทุกสถานที่ และเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานการติดต่อสื่อสารบนเครือข่าย wireless จากการที่จะเข้าถึงอินเทอร์เน็ตไร้สายจากในบ้าน ในออฟฟิศ หรือบริเวณ Hotspot มาสู่การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตไร้สายในระดับเมือง จะมีการเปลี่ยนแปลงในหลายๆ ด้านที่จะเกิดขึ้นในอีกสองถึงสามปีข้างหน้า ทั้งในแง่ของเทคโนโลยีที่พัฒนาให้ WiMAX สามารถรองรับ Mobile Service การบริการ WiMAX สำหรับบุคคลทั่วไปที่จะเกิดขึ้น ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นเช่น เรื่องสัญญาณรบกวน เรื่องความปลอดภัย ความต้องการการจัดสรรความถี่ที่คล่องตัวชัดเจน

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในหลายๆ แง่มุมดังที่กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปข้อเสนอแนะและแนวทางการจัดสรรความถี่สำหรับการให้บริการบรอดแบนด์ไร้สายได้ดังนี้

1. เสนอให้มีการจัดสรรความถี่สำหรับการให้บริการบรอดแบนด์ในรูปแบบของ Licensed เป็นอันดับแรก ส่วนการจัดสรรความถี่ในรูปแบบของ Unlicensed (License-exempt) นั้น ในปัจจุบันเทคโนโลยี WiMAX ยังไม่สามารถที่จะรองรับการใช้งานแบบ Unlicensed ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังอยู่ในสถานะกำลังพัฒนา ซึ่งต้องใช้เวลาอย่างน้อยอีก 1-2 ปี ดังนั้นจึงเสนอให้มีการพิจารณาการจัดสรรความถี่แบบ License เป็นอันดับแรก
2. เสนอแนวทางการพิจารณาจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access (BWA) โดยพิจารณาจากหลักการ
 - 2.1 ความพร้อมใช้ของเทคโนโลยีที่มาใช้งาน BWA
 - 2.2 แนวทางการจัดสรรความถี่ BWA ของประเทศอื่นๆ
 - 2.3 แนวทางของ ITU-R F.1401-1 ซึ่งว่าด้วยแนวทางการพิจารณาจัดสรรความถี่สำหรับ Fixed BWA
 - 2.4 ข้อกำหนดของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้นจึงเสนอให้พิจารณาจัดสรรความถี่สำหรับ BWA แบบ Licensed ในแถบคลื่นวิทยุ ดังต่อไปนี้

- แถบคลื่นวิทยุย่าน 2.5 GHz คือ 2.3-2.4 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 100 MHz) และ 2.5-2.690 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 190 MHz)
 - แถบคลื่นวิทยุย่าน 3.5 GHz คือ 3.4-3.7 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 300 MHz)
3. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.4 GHz จึงเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
- จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Links
 - กำหนด Channel Block 5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
4. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 2.5-2.690 GHz จึงเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
- เนื่องจากแถบคลื่นวิทยุนี้มีการใช้งานของ MMDS น้อยในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล และไม่มีการใช้งานในพื้นที่ต่างจังหวัด ดังนั้นในแผนระยะยาวจึงเสนอให้มีการปรับปรุงแผนความถี่กิจการ MMDS มาใช้ในกิจการ BWA โดยอาจจะใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุของ US FCC มาประกอบการพิจารณา (ภาคผนวก 2) ส่วนในแผนระยะสั้นเสนอให้จัดสรรความถี่สำหรับกิจการ BWA ที่ไม่มีผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนต่อ MMDS ซึ่งสามารถจัดสรรได้โดยง่ายปราศจากความยุ่งยากด้านเทคนิคเกี่ยวกับการรบกวนกัน
 - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการ Fixed Links
 - กำหนด Channel Block 5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
5. ถ้าพิจารณาจัดสรรความถี่แบบ Licensed บนแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.7 GHz จึงเสนอให้มีการดำเนินการศึกษาผลกระทบด้านการรบกวนในการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการดาวเทียม ThaiCOM เป็นอันดับแรก ถ้าผลการศึกษาพิจารณาให้มีการจัดสรรความถี่แบบ BWA ได้ จึงเสนอให้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้
- เปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งานของ Fixed และ Mobile services จาก Secondary เป็น Primary ในตารางกำหนดความถี่แห่งชาติ ซึ่งมีผลทำให้กิจการ Fixed และ Mobile services เป็น co-primary กับกิจการ Fixed Satellite Services
 - จัดทำข้อกำหนดการใช้งานร่วมกันระหว่างกิจการ BWA กับกิจการดาวเทียม
 - สามารถใช้แนวทางการจัดสรรความถี่ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกงประกอบการพิจารณา
 - กำหนด Channel Block 3.5 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX

6. ในระยะยาวเสนอให้มีการพิจารณาการจัดสรรความถี่แบบ Unlicensed โดยเสนอให้พิจารณาจัดสรรความถี่บริเวณ 5 GHz ที่แถบความถี่วิทยุ 5.470-5.725 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 255 MHz) และ 5.725-5.825 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 100 MHz) โดยมีการดำเนินการดังต่อไปนี้
 - กำหนดรูปแบบการจัดสรรความถี่แบบ Lite Licensed (โมเดลเสนอโดย UK OFCOM)
 - กำหนดกำลังส่งสูงสุดเพื่อให้มีผลกระทบต่อกิจการของกองทัพอากาศน้อยที่สุด
 - จัดทำข้อกำหนดอุปกรณ์สื่อสารในแถบคลื่นวิทยุนี้ที่รองรับเทคโนโลยี DFS (Dynamic Frequency Selection) และ TPC (Transmitter Power Control) เพื่อลดผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับกิจการอื่น
 - กำหนด Channel Block 10 MHz ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน WiMAX
7. เสนอให้มีการศึกษาโมเดลเพิ่มเติมในรูปแบบการจัดสรรความถี่ ตัวอย่างเช่น โมเดลในการออกใบอนุญาตและการกำหนดค่าตอบแทนคลื่นวิทยุ โมเดลในการกำหนดพื้นที่การให้บริการที่เหมาะสม รูปแบบของการให้สิทธิในการใช้คลื่นความถี่ และประเด็นความคุ้มทุนเป็นต้น เพื่อกระตุ้นและส่งเสริมให้มีการลงทุนและใช้งาน BWA กันอย่างกว้างขวางและทั่วถึง
8. เสนอให้มีการทดลองและวิจัยเทคโนโลยี WiMAX เพื่อศึกษาด้านคลื่นวิทยุ การรบกวนที่อาจจะเกิดกับกิจการอื่น และการใช้งาน Application ต่างๆ เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการจัดสรรความถี่ ในแผนระยะสั้นนี้เสนอให้มีการทดลองที่แถบคลื่นความถี่วิทยุ 2.5-2.690 GHz
9. เสนอให้มีการจัดสัมมนาการจัดสรรความถี่สำหรับบรอดแบนด์ไร้สาย เพื่อรับฟังความคิดเห็นจากหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และบุคคลทั่วไป

นอกจากนี้ในมุมมองของนักวิจัย มีหลายด้าน หลายประเด็นเกี่ยวกับ WiMAX ที่ต้องค้นคว้า ศึกษา วิจัย และพัฒนา เพิ่มเติมเช่น

- วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี WiMAX ให้มีความปลอดภัยมากขึ้น ทั้งในแง่ของมาตรฐาน และระบบควบคุมความปลอดภัย
- วิจัยผลกระทบทางด้านสัญญาณรบกวนและวิธีแก้ไขในการติดตั้งระบบ WiMAX
- วิจัยการออกแบบ ติดตั้งและทดสอบ เครือข่าย WiMAX
- วิจัยและพัฒนาเครื่องมือในการช่วยติดตั้งระบบ WiMAX อย่างมีประสิทธิภาพ
- วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่มีราคาประหยัด
- วิจัยและพัฒนาการวัดประสิทธิภาพ WiMAX ทั้งในแง่ของ เครื่องมือการวัดประสิทธิภาพ ความเร็วในการรับส่งข้อมูล ความสามารถในการรองรับผู้ใช้ ความสามารถในการรับส่งภาพและเสียง หรือ Quality of Service (QoS)
- วิจัยและพัฒนา application บนเครือข่าย WiMAX

ภาคผนวก

1. ตัวอย่างการจัดสรรความถี่สำหรับ WiMAX ของประเทศต่าง ๆ

ประเทศสหรัฐอเมริกา - Federal Communications Commission (FCC)

ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดสรรความถี่แบบ License ที่แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz สำหรับกิจการ Fixed และ Mobile Service ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยี WiMAX เดิมแถบคลื่นวิทยุนี้ได้มีการจัดสรรให้กับกิจการของ MMDS หรือ บริการโทรทัศน์เคเบิลไร้สาย ซึ่งต่อมา FCC ได้เปลี่ยนแปลงกฎเกณฑ์โดยอนุญาตให้ MMDS สามารถให้บริการ Two way communication หรือ BWA และมีแผนในการปรับเปลี่ยนในการจัดสรรความถี่ที่แถบคลื่นวิทยุนี้ (อธิบายในภาคผนวก 2) ปัจจุบันบริษัท Clearwire ได้ครอบครอง License ของแถบคลื่นวิทยุนี้ในหลายพื้นที่เช่นที่ Dayton Beach – Florida, Abilene – Texas, St. Cloud – Minnesota และเริ่มให้บริการ pre-WiMAX service ใน Jacksonville – Florida ครอบคลุมพื้นที่ 100 ตารางไมล์

แถบคลื่นวิทยุ 2.305-2.320 GHz และ 2.345-2.360 GHz ที่เรียกว่า Wireless Communications Services (WCS) ได้มีการพิจารณาจัดสรรสำหรับ BWA แบบ License

แถบคลื่นวิทยุ 3.400-3.650 GHz ซึ่งมีการใช้งานของกิจการ Radiolocation (Radar) และเป็น Primary service ดังนั้นจึงไม่มีแผนในการจัดสรรแถบคลื่นวิทยุ 3.400-3.650 GHz สำหรับ WiMAX

การจัดสรรความถี่แบบ License สำหรับ BWA เป็นการจัดสรรตามพื้นที่ หรือ Geographic based license โดยมีการกำหนดควบคุมระดับความแรงของสัญญาณที่บริเวณขอบของพื้นที่ที่ได้รับใบอนุญาตโดยกำหนดไม่เกิน 47 dBμV/m

แถบคลื่นวิทยุ 3.650-3.700 GHz มีการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในรูปแบบของ Unlicensed ซึ่งไม่ได้รับการคุ้มครองด้านสัญญาณรบกวนโดยเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในแถบคลื่นวิทยุนี้ต้องมีรูปแบบของ Contention-based Protocol (รูปแบบคล้ายคลึงกับ access protocol ของ Wi-Fi) เพื่อลดผลกระทบด้านสัญญาณรบกวน

ประเทศอังกฤษ – Office of Communications (OFCOM)

ประเทศอังกฤษได้จัดสรรความถี่ย่าน 3.5 GHz สำหรับ License ของ Fixed Wireless Access (ไม่อนุญาตให้ใช้งานแบบ Mobile) ซึ่ง OFCOM ไม่ได้มีการกำหนดเจาะจงเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้แต่จะเป็นแบบเปิดกว้างให้ Operator เป็นผู้เลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเอง แต่อย่างไรก็ตาม WiMAX ก็สามารถนำมาใช้ในแถบคลื่นวิทยุนี้ได้ OFCOM ได้จัดสรรแถบคลื่นวิทยุ 3.48-3.5 GHz คู่กับ 3.58-3.6 GHz (2x20 MHz per license) และ 3.605-3.689 GHz คู่กับ 3.925-4.009 GHz (2x36 MHz per license) License เหล่านี้ได้ถูกรับครองโดย 2 Operators คือ Pipex และ UK Broadband OFCOM ยังได้กำหนดถึงกำลังสูงสุดของที่อนุญาตให้ส่งได้คือ 14 dBW/MHz หรือ 21 dBW/MHz ในบางกรณี

OFCOM ยังได้จัดสรรแถบคลื่นวิทยุ 5.725-5.850 GHz สำหรับ FWA แบบ Unlicensed โดยมีการแบ่ง Channel ออกเป็นขนาด 5 MHz, 10 MHz และ 20 MHz Channel Block คุณสมบัติอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ OFCOM คือ อุปกรณ์ต้องใช้เทคโนโลยี DFS (Dynamic Frequency Selection) และ TPC (Transmitter Power Control) เพื่อเป็นการลดผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน OFCOM กำหนดกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน Max E.I.R.P. 2 W

ประเทศแคนาดา – Industry Canada

ประเทศแคนาดาได้จัดสรรความถี่แบบ License ที่ 3 แถบคลื่นวิทยุ คือ

- 2.3 GHz สำหรับ Wireless Communications Service (WCS) ซึ่ง WCS สามารถใช้ได้ Fixed และ Mobile Services มีการแบ่ง Channel block เป็น 2 x 15 MHz (40 MHz duplex spacing) ต่อ License คือ 2.305-2.320 GHz คู่กับ 2.345-2.360 GHz มีการกำหนดกำลังส่งสูงสุดสำหรับ Based station ที่ Max. E.I.R.P. 2000 W. และ Mobile station ที่ Max. E.I.R.P 20 W.
- 2.5 GHz (2.500-2.690 GHz) สำหรับ Mobile Services อยู่ในขั้นตอนการพิจารณา
- 3.5 GHz (3.475-3.650 GHz) สำหรับ Fixed Wireless Access (FWA) โดยมีการแบ่ง Channel block เป็น 2 x 25 MHz (100 MHz duplex spacing) ต่อ License คือ
 - 3.475-3.500 GHz คู่กับ 3.575-3.600 GHz
 - 3.500-3.525 GHz คู่กับ 3.600-3.625 GHz
 - 3.525-3.550 GHz คู่กับ 3.625-3.650 GHz
 - 3.550-3.575 GHz (Stand-alone 25 MHz block)

และยังมีการกำหนดกำลังส่งสูงสุดที่ Max. E.I.R.P 32 dBW

แถบคลื่นวิทยุทั้งสามนี้สามารถใช้ได้กับเทคโนโลยี WiMAX

ส่วนการจัดสรรความถี่แบบ Unlicensed นั้น Industry Canada ได้จัดสรรที่แถบคลื่นวิทยุ 2.4 และ 5.8 GHz ซึ่งแถบคลื่นวิทยุที่อยู่ในข่ายที่จะนำเทคโนโลยี WiMAX มาใช้คือ

- 5.470-5.725 GHz โดยกำหนดกำลังส่งสูงสุด Max. E.I.R.P 1 W.
- 5.725-5.825 GHz โดยกำหนดกำลังส่งสูงสุด Max. E.I.R.P 4 W.

ประเทศออสเตรเลีย – Australian Communications and Media Authority (ACMA)

ประเทศออสเตรเลียได้จัดสรรความถี่แบบ License ที่จะสามารถนำมาใช้กับเทคโนโลยี WiMAX ที่ 2 แถบคลื่นวิทยุคือ

- 2.3 GHz (2.302-2.400 GHz) ซึ่งแต่เดิมเป็นแถบคลื่นวิทยุสำหรับกิจการ MDS ให้บริการ เคเบิลทีวีไร้สาย ภายหลังการบริการเคเบิลทีวีได้เปลี่ยนรูปแบบจาก MDS มาใช้ผ่าน ดาวเทียมทำให้แถบคลื่นวิทยุนี้ว่างลง จึงได้มีการพิจารณาแถบคลื่นวิทยุนี้มาใช้กับกิจการ Wireless Access Service (WAS) โดยมีการแบ่ง Channel Block 7 MHz ต่อหนึ่ง License ต่อพื้นที่หนึ่งๆ โดย License จะถูกรอบครองโดย AUSTAR และ Unwired ซึ่งมีแผนจะให้บริการ WAS ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย WiMAX
- 3.4 GHz ถูกจัดสรรสำหรับกิจการ BWA โดยมีการแบ่ง Channel Block เป็น
 - 2 x 17.5 MHz (50 MHz duplex spacing) ต่อ 1 license ที่ 3.425-3.4425 GHz กับ 3.475-3.4925 GHz)
 - 2 x 32.5 MHz (100 MHz duplex spacing) ต่อ 1 license ที่ 3.4425-3.475 GHz กับ 3.5425-3.575 GHz)

ACMA ยังได้จัดสรรความถี่แบบ Unlicensed ที่แถบคลื่นวิทยุ 5.8 GHz (5.725-5.875 GHz) โดยมีการกำหนดกำลังส่ง Max. E.I.R.P ที่ 4 W.

ประเทศ Switzerland – Federal Communications Commission (ComCom)

ComCom ได้จัดสรรความถี่สำหรับที่อยู่ในข่ายของ WiMAX อยู่บริเวณ 3.4-3.8 GHz

- ในปี 2000 ComCom ได้เปิดประมูล License อายุ 10 ปี สำหรับ Wireless Local Loop ที่ 3.410-3.494 GHz และ 3.510-3.594 GHz
- ในปี 2005 ComCom ได้ประกาศจะเปิดประมูลคลื่นความถี่สำหรับ BWA ในควอเตอร์ที่สอง ของปี 2006 ที่แถบความถี่วิทยุ 3.41-3.6 GHz มีทั้งหมด 3 licenses (หมดอายุปี 2016) แบบ nationwide คือ Channel block 2 x 21 MHz จำนวน 2 licenses และ Channel block 2 x 17.5 MHz จำนวน 1 license โดยมีการกำหนดกำลังส่งสูงสุดที่ Max. E.I.R.P 35 dBW
- ComCom มีแผนที่จะจัดสรรแถบคลื่นวิทยุ 3.6-3.8 GHz สำหรับ Fixed Wireless Access นอกจากนี้ ComCom ยังจัดสรรความถี่แบบ Unlicensed ที่ 5.47-5.725 GHz โดยมีการจำกัดกำลังส่งสูงสุดที่ Max. E.I.R.P. 1 W.

ประเทศเกาหลี – Ministry of Information and Communication

ประเทศเกาหลีได้มีการจัดสรรความถี่สำหรับ WiBro ซึ่งเป็นเทคโนโลยี subset ของ Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) โดยกำหนดที่แถบคลื่นวิทยุ 2.300-2.390 GHz โดยมีการแบ่ง Channel Block ออกเป็น 3 x 9 MHz ต่อ 1 license จึงมี 3 operators ที่ได้ license คือ KT, SKT และ Hanaro Telecom

ประเทศสิงคโปร์ – Infocomm Development Authority (IDA)

IDA ได้มีการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ที่แถบคลื่นวิทยุ 2.300-2.350 GHz โดยมี Channel Block 5 MHz และ 2.500-2.690 GHz โดยมี Channel Block 6 MHz โดยผู้ที่ได้ license คือ MobileOne, inter-touch Holdings, Pacific Internet, Qala Singapore, SingTel และ StarHub

IDA ยังอยู่ในขั้นตอนการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานร่วมกันระหว่าง BWA และ fixed satellite service ในย่านความถี่ 3.5 GHz

เขตปกครองพิเศษฮ่องกง – Office of the Telecommunications Authority (OFTA)

OFTA ได้จัดสรรความถี่สำหรับ BWA ที่แถบคลื่นวิทยุ 3.5 GHz (3.410-3.500 GHz และ 3.510-3.600 GHz) โดยแบ่งออกเป็น 6 licenses อายุ 15 ปี แต่ละ license มี Channel Block 2 x 15 MHz (100 MHz duplex spacing) มีข้อกำหนดว่าในช่วงแรกสามารถให้บริการแต่ Fixed Service เท่านั้น และหลังจาก 1 มกราคม 2008 จึงจะสามารถให้บริการ Mobile Service ได้

ประเทศญี่ปุ่น – Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC)

MIC ได้จัดสรรความถี่สำหรับ Wireless Access Systems ที่แถบคลื่นวิทยุ 4.9-5.0 GHz และ 5.030-5.091 GHz ปัจจุบัน Yozan ร่วมกับ Airspan ได้เริ่มติดตั้ง WiMAX เพื่อให้บริการ BWA พื้นที่ใจกลางกรุงโตเกียวที่แถบคลื่นวิทยุ 4.9-5.0 GHz โดยที่ MIC ได้จำกัดกำลังส่งสูงสุดที่ Max. E.I.R.P 5 W.

แผนแม่บททางโทรคมนาคมซึ่งศึกษาโดย The Study Group for Wireless Broadband Promotion of Japan's Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) มีแผนจะจัดสรรความถี่สำหรับ mobile communication รวมถึง WiMAX ที่แถบคลื่นวิทยุ 2.535-2.605 GHz

ประเทศมาเลเซีย – Malaysian Communications and Multimedia Commission (MCMC)

MCMC ได้จัดสรรความถี่สำหรับ BWA ที่แถบคลื่นวิทยุ 2.3-2.4 GHz โดยมีการแบ่ง Channel Block ออกเป็น 5 MHz โดยมีการแบ่งพื้นที่ของ BWA ออกเป็นทั้งหมด 13 พื้นที่ในแต่ละพื้นที่จะสามารถมี Operator ได้สูงสุด 5 Operators แต่ละ Operator จะได้รับการจัดสรรความถี่อย่างน้อย 4 x 5 MHz Channel Block MCMC กำหนดข้อจำกัดด้านกำลังส่งที่ Max. E.I.R.P. 40dBm ต่อ Channel

MCMC จัดสรรความถี่สำหรับ FWA ที่แถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz (Band 1) โดยมีการแบ่ง Channel Block ออกเป็น 2 x 3.5 MHz (100 MHz duplex spacing) Operator หนึ่งสามารถประมูลได้อย่างต่ำ 4 lots ของ 2 x 3.5 MHz MCMC ยังได้จัดสรรแถบคลื่นวิทยุ 3.6-3.7 GHz (Band 2) สำหรับการขยายตัวในอนาคต Operator FWA ต้องทำการประสานงานด้านสัญญาณรบกวนกับ Fixed Satellite Service ในแถบคลื่นวิทยุนี้ด้วย

ตารางที่ 13 การจัดสรรความถี่สำหรับ WiMAX สำหรับประเทศต่าง ๆ

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Australia	2.3 GHz	Licensed	(2.302-2.400 GHz) • 7 MHz / license / area	Wireless Access Service	Max Power 10 dBm.	Austar, Unwired	Unwired plans to launch WiMAX in Sydney
	3.4 GHz	Licensed	(3.425-3.4425, 3.475-3.4925 GHz) • 2 x 17.5 MHz • 40 MHz duplex spacing (3.4425-3.475, 3.5425-3.575 GHz) • 2 x 32.5 MHz • 100 MHz duplex spacing	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.875 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 4 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Canada	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) • N/A	Mobile Service	N/A	N/A	Under consideration
	2.3 GHz	Licensed	(2.305-2.320, 2.345-2.360 GHz) • 2 x 15 MHz / license / area	Wireless Communications Service (WCS)	Base Station Max e.i.r.p. 2000 W. Mobile Station Max e.i.r.p. 20 W.	32 Companies, 841 licenses	
	3.5 GHz	Licensed	(3.475-3.550, 3.575-3.650 GHz) • 2 x 25 MHz • 100 MHz duplex spacing (3.550-3.575 GHz) • 25 MHz	Fixed Wireless Access	Max e.i.r.p. 32 dBW		
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.470-5.725 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 1 W.	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.875 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max.e.i.r.p. 4 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Hong Kong	3.5 GHz	Licensed	(3.410-3.500, 3.510-3.600 GHz) 2 x 15 MHz 100 MHz duplex spacing	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Allow fixed service first then allow mobile services after Jan 1, 2008
Japan	2.5 GHz	Licensed	(2.535-2.605 GHz) N/A	Mobile Communication	N/A	N/A	Under consideration
	4.9 GHz	Licensed	(4.9-5.0 GHz) - N/A (5.030 – 5.091 GHz) - N/A	Wireless Access Systems	Max. e.i.r.p. 5 W.	Yozan	Yozan and Airspan offer WiMAX service in metroarea of Tokyo
Korea	2.3 GHz	Licensed	(2.300-2.390 GHz) 3 x 9 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A	KT, SKT, Hanaro Telecom (recently dropped)	Provide WiBro (subset of mobile WiMAX) services

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Malaysia	2.3 GHz	Licensed	(2.3-2.4 GHz) 4 x 5 MHz /license/ area	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 40 dBm/channel	N/A	There are total 13 areas. Each area have upto 5 operators
	3.5 GHz	Licensed	(3.4-3.6 GHz) – Band 1 2 x 3.5 MHz 100 MHz duplex spacing (3.6-3.7 GHz) – Band 2 3.5 MHz	Fixed Wireless Access	Coordinate with Fixed Satellite Service	N/A	Band 2 is for the future expansion
Singapore	2.3 GHz	Licensed	(2.300-2.350 GHz) 5 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A	MobileOne, inter-touch holdings, Pacific Internet, Qala Singapore, SingTel, StarHub	
	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) 6 MHz /license/ nationwide	Broadband Wireless Access	N/A		
	3.5 GHz	Licensed	N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Under studying of coexisting between BWA and FSS

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
Switzerland	3.5 GHz	Licensed	(3.410-3.494, 3.510-3.594GHz) N/A	Wireless Local Loop	N/A	N/A	Licenses expire 2010
	3.5 GHz	Licensed	(3.41-3.6 GHz) 2 x 21 MHz (2 licenses) 2 x 17.5 MHz (1 license)	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 35 dBW	N/A	Licenses expire 2016
	3.5 GHz	Licensed	(3.6-3.8 GHz) N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Under consideration
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.47-5.725 GHz) N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 1 W.	N/A	

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
United Kingdom	3.5 GHz	Licensed	(3.48-3.5, 3.58-3.6 GHz) • 2 x 20 MHz • 100 MHz duplex spacing (3.605-3.689, 3.925-4.009 GHz) • 2 x 36 MHz • 320 MHz duplex spacing	Fixed Wireless Access	Max. e.i.r.p. 14 dBW/MHz or 21 dBW/MHz (special case)	Pipex, UK Broadband	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.850 GHz) • 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz	Fixed Wireless Access	Max. e.i.r.p. 2 W.	N/A	Equipment s must support DFS (Dynamic Frequency selection) and TPC (Transmitte r Power Control)

Country	Frequency Band	Licensed/ Unlicensed	(Frequency Range) Channel Block	Services	Power Restriction	Operator granted license	Note
United State	2.3 GHz	Licensed	(2.305-2.320, 2.345-2.360 GHz) • N/A	Wireless Communications Services (WCS)	Max. power at service area border 47dBμV/m	N/A	
	2.5 GHz	Licensed	(2.500-2.690 GHz) • 16.5 MHz	Fixed, Mobile Services	Max. power at service area border 47dBμV/m	Sprint, Clearwire	Allow incumbent MMDS operators to provide BWA – see appendix 2
	3.6 GHz	Unlicensed	(3.650-3.700 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	N/A	N/A	Equipment must use content- based access protocol
	5.7 GHz	Unlicensed	(5.47-5.725 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 1 W.	N/A	
	5.8 GHz	Unlicensed	(5.725-5.825 GHz) • N/A	Broadband Wireless Access	Max. e.i.r.p. 4 W.	N/A	

2. กรณีศึกษาการปรับปรุงการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในแถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ในหัวข้อนี้เป็นกรณีศึกษาถึงการจัดสรรความถี่แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยหน่วยงาน US Federal Communications Commission (FCC) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดสรรความถี่ในประเทศไทย

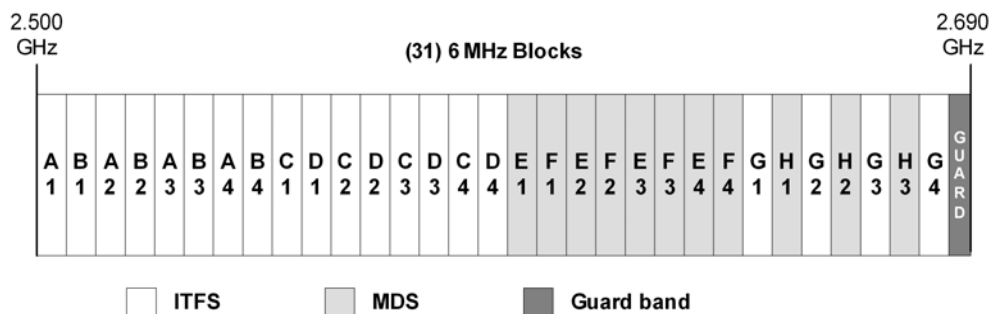
ประวัติความเป็นมา

ประวัติความเป็นมาในการจัดสรรความถี่แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz โดยสรุปมีดังนี้

- ในปี 1963 FCC ได้มีการจัดสรรความถี่ 2.500-2.690 GHz สำหรับกิจการ Instructional Television Fixed Service (ITFS) ซึ่งให้บริการส่งสัญญาณโทรทัศน์เพื่อการศึกษา เพื่อการฝึกอบรม โดยมีการแบ่งช่องสัญญาณเป็น 31 ช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณละ 6 MHz ดังรูป 19
- ในปี 1974 FCC ได้จัดสรรความถี่สำหรับบริการที่ชื่อว่า Multipoint Distribution Service (MDS) เพื่อให้บริการโทรทัศน์เคเบิลไร้สาย โดยจัดสรรให้ 2 ช่องสัญญาณ ช่องละ 6 MHz Bandwidth ที่ความถี่ 2.150-2.162 GHz ได้แก่ MDS Channel 1 (2.150-2.156 GHz) และ MDS Channel 2 (2.156-2.162 GHz)
- ในปี 1983 เนื่องจากมีความต้องการด้านโทรทัศน์เพื่อความบันเทิงมากขึ้น FCC ได้มีการโอนย้าย 8 ช่องสัญญาณของ ITFS (ช่องสัญญาณ E และ F ดังรูป 20) ไปใช้สำหรับ MDS นอกจากนี้ FCC ยังคลายกฎอนุญาตให้ ITFS สามารถนำช่องสัญญาณไปให้องค์กรอื่นเช่าเพื่อธุรกิจการค้าได้
- ในปี 1991 มีการจัดสรรเพิ่มเติมช่องสัญญาณให้แก่ MDS (ช่องสัญญาณ H ดังรูป 20) ในปี 1996 FCC อนุญาตให้ ITFS และ MDS สามารถใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้
- ในปี 1998 FCC อนุญาตให้ ITFS และ MDS สามารถให้บริการ การส่งข้อมูลดิจิทัลสองทางได้ เช่น บริการบอร์ดแบนด์ความเร็วสูง บริการอินเทอร์เน็ต เป็นต้น นอกเหนือจากบริการส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางเดียว
- ในปี 2001 FCC อนุญาตให้แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz สามารถนำไปใช้ให้บริการ Mobile Wireless Service ได้
- สรุปในปัจจุบัน (2006) การจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz ประกอบไปด้วย 20 ช่องสัญญาณ (ช่องละ 6 MHz) สำหรับ ITFS (ช่องสัญญาณ A, B, C, D, G) และ 11 ช่องสัญญาณ (ช่องละ 6 MHz) สำหรับ MDS (ช่องสัญญาณ E, F, G) ดังรูปที่ 20 สามารถให้บริการได้ 4 รูปแบบคือ

1. แอนะล็อกวีดิโอทางเดียว (downstream) โดยใช้กำลังส่งสูง
2. ดิจิทัลวีดิโอทางเดียว (downstream) โดยใช้กำลังส่งสูง
3. ข้อมูลดิจิทัลทางเดียว (downstream) โดยใช้กำลังส่งสูง
4. ข้อมูลดิจิทัลสองทาง (upstream และ downstream) โดยใช้กำลังส่งสูง หรือ กำลังส่งต่ำ

ITFS และ MDS operator ให้ความสนใจระบบที่ใช้การส่งข้อมูลสองทางที่มีกำลังส่งต่ำในรูปแบบของ cellular คือมีหลายสถานีฐานกระจายสัญญาณ มากกว่าแบบกำลังสูง เพราะ ระบบกำลังส่งต่ำแต่หลาย ๆ สถานีฐานสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากกว่า และสามารถรองรับการส่งแบบ Non Line of Sight ได้



รูปที่ 19: การจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz ของประเทศสหรัฐอเมริกา

แนวทางการเปลี่ยนแปลงการจัดสรรความถี่สำหรับ Broadband Wireless Access

FCC ได้เสนอแนวทางการเปลี่ยนแปลงการจัดสรรความถี่แถบคลื่นวิทยุ 2.500-2.690 GHz (ดูรูปที่ 20 ประกอบ) โดยสรุปดังต่อไปนี้

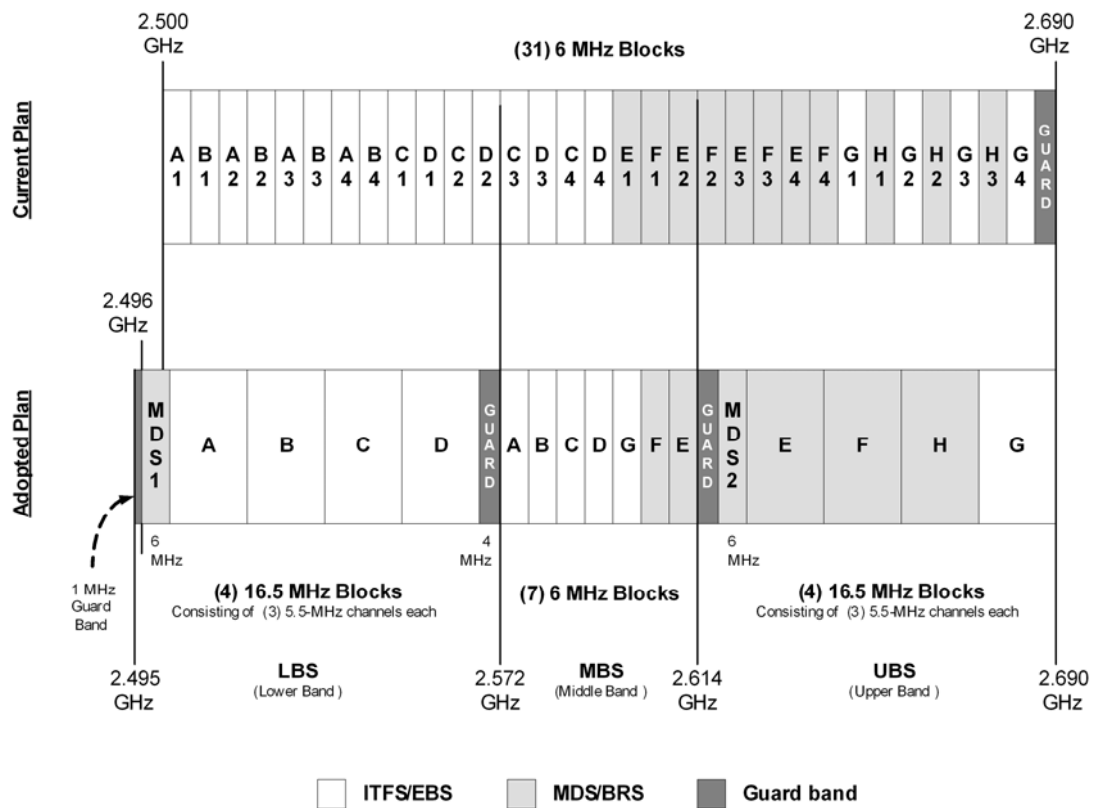
- เพิ่มขยายแถบคลื่นวิทยุ 5 MHz (2.495-2.500 GHz) จนรวมกลายเป็น 2.495-2.690 GHz
- แบ่งแถบคลื่นวิทยุออกเป็น 3 ส่วนคือ LBS (Lower Band) MBS (Mid-Band) และ UBS (Upper Band) โดยที่ MBS ไว้ใช้สำหรับกิจการที่ใช้กำลังส่งสูง ส่วน LBS และ UBS สำหรับกิจการที่ใช้กำลังส่งต่ำ และในแต่ละย่านของ LBS MBS UBS มีการจัดสรรดังนี้

- LBS ประกอบด้วย 12 ช่องสัญญาณ ช่องละ 5.5 MHz และ 1 ช่องสัญญาณที่มีขนาด 6 MHz และ 1 Guard band ขนาด 4 MHz
- MBS ประกอบด้วย 7 ช่องสัญญาณ ช่องละ 6 MHz
- UBS ประกอบด้วย 12 ช่องสัญญาณ ช่องละ 5.5 MHz และ 1 ช่องสัญญาณที่มีขนาด 6 MHz และ 1 Guard band ขนาด 4 MHz

หมายเหตุ

ช่องสัญญาณใน LBS และ UBS ช่องละ 5.5 MHz สอดคล้องกับ system profile หนึ่งของ WiMAX (ดูตารางที่ 3) ที่ต้องการ channel bandwidth 5.5 MHz

- LBS และ UBS มีเป้าหมายเพื่อให้บริการ Broadband Wireless Access ส่วน MBS มีเป้าหมายให้บริการส่งสัญญาณวิดีโอ
- เนื่องจาก บริการ Multipoint Distribution Service (MDS) และ Instructional Television Fixed Service (ITFS) สามารถขยายการบริการ Broadband Wireless Access ได้ จึงได้มีการเปลี่ยนชื่อ จาก MDS เป็น BRS (Broadband Radio Service) และ ITFS เป็น EBS (Educational Broadband Service) เพื่อให้สอดคล้องกับ service ที่แท้จริง
- โอนย้ายช่องสัญญาณ MDS Channel 1 (จากเดิม 2.150-2.156 GHz มาที่ 2.496-2.502 GHz) และ MDS Channel 2 (จากเดิม 2.156-2.162 GHz มาที่ 2.618-2.624 GHz)
- โอนย้ายแผนจัดสรรความถี่เดิมมาสู่แผนจัดสรรความถี่ใหม่ (ดูรูปที่ 20) ตัวอย่างเช่น จากเดิม License A ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ช่องสัญญาณ 6 MHz (A1, A2, A3, A4) มาสู่แผนใหม่เป็น 3 ช่องสัญญาณ 5.5 MHz และ 1 ช่องสัญญาณ 6 MHz (A) ในกรณีที่แผนเดิมได้รับ การจัดสรร 1 ช่องสัญญาณ 6 MHz จะมาสู่แผนใหม่เป็น 1 ช่องสัญญาณ 5.5 MHz (บน LBS หรือ UBS) สำหรับการให้บริการ Broadband Wireless Access หรือ 1 ช่องสัญญาณ 6 MHz บน MBS สำหรับการให้บริการการกระจายภาพวิดีโอ
- การขอใบอนุญาตใหม่เพื่อให้บริการ Broadband Wireless Access นั้น ในกรณีที่ Operator ต้องการใช้เทคโนโลยี TDD ซึ่งต้องการช่องสัญญาณเดียว FCC สามารถจัดสรรความถี่ให้ที่ Lower band หรือ Upper band ในกรณีที่ Operator ต้องการใช้เทคโนโลยี FDD ซึ่งต้องการสองช่องสัญญาณ (หนึ่งช่องสัญญาณสำหรับ Uplink อีกหนึ่งช่องสัญญาณสำหรับ Downlink) FCC จะจัดสรรความถี่ให้หนึ่งช่องสัญญาณจาก Lower band และอีกหนึ่งช่องสัญญาณจาก Upper band
- เปลี่ยนแปลงรูปแบบการให้ license จาก site-based license มาเป็น geographic area license
- ให้ความอิสระแก่ผู้ถือ license ในการเลือกใช้เทคโนโลยีตามความเหมาะสม
- กำหนดความแรงของสัญญาณที่บริเวณขอบของพื้นที่ที่ให้อนุญาต ไม่เกิน 47 dbμV/m
- กำหนดความแรงส่งของเครื่องลูกข่ายอยู่ที่ 2 วัตต์



รูปที่ 20 การจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุ 2.495-2.690 GHz ของประเทศสหรัฐอเมริกา
ทั้งแผนปัจจุบันและแผนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงใหม่

3. กรณีศึกษาการปรับปรุงการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ในแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกง

ในหัวข้อนี้เป็นกรณีศึกษาถึงการจัดสรรความถี่ในแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz สำหรับกิจการ BWA ในเขตปกครองพิเศษฮ่องกงโดย Office of the Telecommunication Authority (OFTA) <http://www.ofta.gov.hk> ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแลถึงการจัดสรรความถี่ของเขตปกครองพิเศษฮ่องกง ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วรูปแบบการจัดสรรความถี่ ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นมีความคล้ายคลึงกับสถานการณ์ในประเทศไทยมาก ดังนั้นกรณีศึกษานี้จึงแหล่งอ้างอิงที่ดีอันหนึ่งสำหรับประกอบการพิจารณาการจัดสรรความถี่ในประเทศไทย

ประวัติความเป็นมา

ประวัติความเป็นมาในการจัดสรรความถี่แถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz โดยสรุปมีดังนี้

- เดิมแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz ได้มีการจัดสรรให้กับกิจการดาวเทียม หรือ FSS (Fixed Satellite Services) และในตาราง National Table of Frequency Allocations (ดูตารางที่ 14) ได้กำหนดให้ กิจการ FSS เป็น Primary คือได้รับการคุ้มครองด้านสัญญาณรบกวน ตามตารางที่ 9 กิจการดาวเทียมที่ให้บริการในแถบคลื่นวิทยุนี้ คือ APSTAR และ ThaiCOM โดยมีการใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลในทิศทาง downlink หรือ space-to-earth

**ตารางที่ 14 ตาราง National Table of Frequency Allocations สำหรับเขตปกครองพิเศษฮ่องกง
บนแถบคลื่นวิทยุ 3.4-4.2 GHz**

Frequency Band (GHz)	Region 3	Hong Kong
3.400 – 3.500	<u>Primary:</u> FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-earth) <u>Secondary:</u> Amateur Mobile Radiolocation	<u>Primary:</u> FIXED-SATELLITE (space-to-earth)
3.500 – 3.700	<u>Primary:</u> FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-earth) MOBILE except aeronautical mobile <u>Secondary:</u> Radiolocation	
3.700 – 4.200	<u>Primary:</u> FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-earth) MOBILE except aeronautical mobile	<u>Primary:</u> FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-earth)

- OFTA ได้เล็งเห็นถึงบทบาทสำคัญของการให้บริการ Broadband Wireless Access (BWA) ที่จะ มีขึ้นในอนาคตอันใกล้และมีศักยภาพสูงทางธุรกิจ จึงได้ทำการเปิด First Consultation ในหัวข้อ Licensing Framework for Deployment of Broadband Wireless Access ในช่วงวันที่ 20 ธันวาคม 2004 ถึง 14 มีนาคม 2005 เพื่อรับฟังความคิดเห็นจากภาคอุตสาหกรรม ผู้ที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA

- ใน First Consultation ได้มีการหารือในหลายประเด็นที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น 1) ประเด็นด้านการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA 2) ประเด็นด้านการแชร์ความถี่กันระหว่างเทคโนโลยี TDD กับ FDD 3) ประเด็นด้านจำนวน Block คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดสรร
- ประเด็นด้านการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA ใน First Consultation
 - OFTA ได้มีการกำหนดให้แถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz เป็นแถบคลื่นความถี่สำหรับ BWA ในเขตปกครองพิเศษฮ่องกง โดยอยู่บนพื้นฐานของเหตุผล เทคโนโลยีและอุปกรณ์ BWA ทำใช้งานในแถบคลื่นวิทยุนี้มีความพร้อมใช้และแพร่หลาย และเพื่อเป็นการจัดสรรความถี่ที่สอดคล้องกับแผนการจัดสรรความถี่ของประเทศจีนแผ่นดินใหญ่ซึ่งมีการกำหนดแถบคลื่นวิทยุสำหรับ BWA เช่นกัน
 - ปัญหาและอุปสรรคคือ มีการใช้งานของ Fixed Satellite Service (FSS) ซึ่งเป็น primary อยู่ก่อนแล้ว จึงมีแนวคิดในการจัดสรรความถี่ออกเป็นสองแนวทางคือ
 1. กำหนดให้ กิจการ **BWA เป็น primary** และ ใช้งานร่วมกันกับ **FSS (ซึ่งเป็น primary ด้วย)** หรือที่เรียกว่า **co-primary basis** ซึ่งหมายความว่า BWA กับ FSS จะแชร์ใช้แถบคลื่นวิทยุเดียวกัน แต่มีข้อกำหนดว่าก่อนที่สถานีรับส่งใหม่จะมีการติดตั้ง (ไม่ว่าจากกิจการใด) ต้องมีการทดสอบและยืนยันว่า สถานีใหม่ที่ตั้งจะไม่ใช่ไปรบกวนกับสถานีที่มีอยู่เดิม ซึ่งแนวทางนี้มีการถกเถียงกันพอสมควร ได้ข้อสรุปว่า **แนวทางนี้ไม่สามารถทำได้** เนื่องจากเกาะฮ่องกงมีพื้นที่ที่เล็ก ดังนั้นกิจการ BWA และ FSS ทั้งสองจึงมีการใช้งานในพื้นที่เดียวกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การใช้งานบนแถบความถี่เดียวกัน โดยไม่มีการรบกวนกันตามหลักของ co-primary ("equal basis") จึงเป็นไปได้
 2. กำหนดให้ กิจการ **BWA เป็น primary** และกิจการ **FSS เป็น secondary** ดังนั้น กิจการ BWA จะได้รับการคุ้มครองด้านสัญญาณรบกวนขณะที่กิจการ FSS จะไม่ได้รับการคุ้มครอง การกำหนดรูปแบบนี้ผู้ที่ได้รับผลกระทบและสูญเสียผลประโยชน์คือ กิจการ FSS อย่างไรก็ตาม OFTA ได้ตระหนักว่าถึงแม้ผู้ใช้บริการ FSS จะสูญเสียผลประโยชน์แต่กิจการ FSS ก็ยังมีแถบคลื่นวิทยุที่เหลืออยู่มาก คือ แถบคลื่นวิทยุ 3.6-4.2 GHz ซึ่งมีความกว้างถึง 600 MHz และยังเป็น primary สำหรับ FSS อีกด้วยซึ่งยังจำนวนแถบคลื่นวิทยุที่มากพอในการใช้งาน ดังนั้น **OFTA จึงตัดสินใจเลือกแนวทางนี้**

O เมื่อ OFTA ได้เลือกแนวทางที่สองที่กล่าวมาข้างต้น ก็ได้มีการทดสอบและศึกษาถึงผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนกับผู้ใช้งานดาวเทียมที่มีอยู่เดิมว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใด ผู้ใช้งานดาวเทียมในแถบคลื่นวิทยุนี้ในเขตปกครองพิเศษฮ่องกงที่อาจจะได้รับผลกระทบมีอยู่ 4 กลุ่มคือ

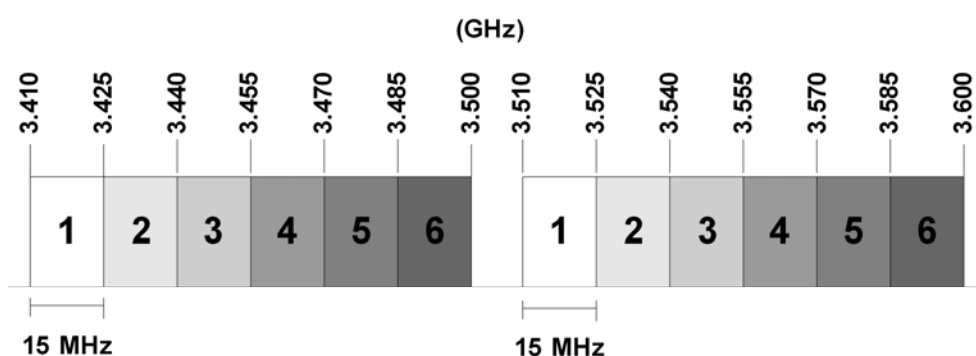
1. **สถานี TTC&M จำนวน 2 สถานีในพื้นที่ Tai Po** จากการสำรวจในพื้นที่พบว่าการใช้งาน BWA จะไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานของ TTC&M แต่เพื่อเป็นการประนีประนอมและคุ้มครอง TTC&M ที่ใช้อยู่เดิม OFTA จึงได้มีข้อเสนอให้ในอนาคตถ้ามี BWA Operator จะมาติดตั้งใหม่ให้บริการในพื้นที่ ต้องให้แน่ใจว่าไม่ไปรบกวนกับ TTC&M
2. **สถานีภาคพื้นดินสำหรับ Fixed Service ในเขต Kwai Chung และ Tai Po** สถานีภาคพื้นดินนี้ได้ย้ายการใช้งานคลื่นวิทยุไปในแถบคลื่นวิทยุ 3.6-4.2 GHz จึงไม่ประสบปัญหาด้านสัญญาณรบกวน
3. **ระบบ SMATV จำนวน 20 ระบบกระจายทั่วพื้นที่ในฮ่องกง** ระบบ SMATV ใช้งานสำหรับ Satellite TV ซึ่งผลกระทบของ BWA คือ จำนวน 1 ช่องโทรทัศน์จากจำนวนทั้งหมด 10 ช่องโทรทัศน์จะได้รับผลกระทบคือไม่สามารถรับชมได้ ส่วนช่องโทรทัศน์อื่นๆ สามารถรับชมได้ตามปกติโดยไม่กระทบต่อคุณภาพของภาพ OFTA พิจารณาว่าหนึ่งช่องที่เสียไปคือช่องฟรีโทรทัศน์ที่ถ่ายทอดรายการของเขตอื่นที่ไม่ใช่เขตฮ่องกงและไม่ได้จดทะเบียนช่องรายการกับฮ่องกง จึงมีผลกระทบของผู้ใช้บริการไม่มาก
4. **ระบบ TVRO** ซึ่งเป็นระบบถ่ายทอดผ่านดาวเทียมคล้ายกับของ SMATV TVRO เป็นทีวีที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาตประกอบกิจการของ OFTA ดังนั้น OFTA จึงไม่มีข้อมูลสถิติที่แน่นอนถึงจำนวนผู้ใช้ TVRO ในฮ่องกง และรายการของ TVRO เป็นรายการต่างประเทศทั้งหมดและไม่เป็นที่แพร่หลายในฮ่องกง ผลกระทบด้านสัญญาณรบกวนจะเป็นในลักษณะแบบเดียวกับ SMATV ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ามีผลกระทบต่อผู้ใช้บริการไม่มาก

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด OFTA จึงได้ข้อสรุปคือ จัดสรรความถี่สำหรับกิจการ BWA ที่แถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz โดยกำหนดให้ BWA เป็น primary service และ FSS เป็น Secondary Service

● **ประเด็นด้านการแชร์ความถี่กันระหว่างเทคโนโลยี TDD กับ FDD ใน First Consultation**

O OFTA ต้องการทราบความเห็นว่าจะกำหนดเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับ BWA เป็น TDD หรือ FDD

- จากการเปิดรับฟังความคิดเห็นได้ข้อสรุปว่า OFTA ไม่ควรกำหนดเจาะจงเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับ BWA ควรจะทำการเปิดกว้างให้ Operator เลือกใช้เทคโนโลยีตามความเหมาะสมในแต่ละราย
- ดังนั้น Block ของความถี่ที่จัดสรรให้กับ Operator จะไม่กำหนดเจาะจงว่าเป็นเทคโนโลยีใด (TDD หรือ FDD)
- ประเด็นด้านจำนวน **Block** คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดสรรความถี่ใน **First Consultation**
 - OFTA ได้พิจารณากำหนดขนาดหรือ Block คลื่นความถี่ที่เหมาะสมในแถบคลื่นวิทยุ 3.4-3.6 GHz (ความกว้างแถบคลื่นวิทยุ 200 MHz) OFTA ได้ใช้แนวทางจากข้อมูลด้าน WiMAX Certification Profile สำหรับอุปกรณ์ WiMAX ซึ่งมีการกำหนดอุปกรณ์ WiMAX ที่ใช้งานในแถบคลื่นวิทยุ 3.5 GHz จะกำหนด Channel Bandwidth ไว้เป็น 3.5 MHz หรือ 5 MHz
 - ในช่วงเริ่มแรก OFTA ได้พิจารณา Frequency Block ที่ 35 MHz x 2 สำหรับ 1 license (ไม่ได้เจาะจงว่าเป็น TDD หรือ FDD) โดย Frequency block 35 MHz ลงตัวกับ Channel Bandwidth 3.5 MHz และ 5 MHz ได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อพิจารณาถึงความกว้างแถบคลื่นวิทยุที่มีอยู่แล้วเพียง 200 MHz (3.4-3.6 GHz) ดังนั้นจึงสามารถมี Operator ที่ให้บริการได้สูงสุดเพียง 3 บริษัทเท่านั้น ไม่จูงใจให้เกิดการแข่งขัน
 - ดังนั้นเพื่อเป็นการให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้น OFTA จึงเสนอให้มี Frequency block เป็น 15 MHz x 2 ต่อหนึ่ง Operator ซึ่งแต่ละ Operator ที่ได้ license ไปจะสามารถแบ่งใช้งานได้เป็น 3 คู่ช่องสัญญาณสำหรับ 5 MHz Channel Bandwidth หรือ 4 คู่ช่องสัญญาณสำหรับ 3.5 MHz Channel Bandwidth ดังนั้นพื้นที่หนึ่งสามารถเกิด Operator ได้สูงสุด 6 Operator ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันได้
 - การจัดสรรความถี่จะเป็นไปตามรูปที่ 18 ซึ่งสามารถมีได้ถึง 6 license



รูปที่ 21 Channel Block ของการจัดสรรความถี่สำหรับ BWA

4. ตัวอย่างอุปกรณ์เครือข่าย WiMAX

Vendor	Model	BS/CPE	TDD/FDD	PHY	Frequency Range (GHz)	Channel Bandwidth (MHz)	RF Tx Power (dBm)	Ant.Gain (dB)	Note
SRTelecom	ABS4000	BS	TDD/FDD	OFDM	3.3-3.8	1.75; 3.5	31	17.5	
AirSpan	HiperMAX	BS	TDD/FDD	OFDM	3.4-3.6	1.75; 3.5; 5; 7; 10	32	18/13 (Down/Up)	SDR Upgradable to OFDMA
	MacroMAX	BS	TDD/FDD	OFDM	3.4-3.6	1.75; 3.5; 5	37	5/5 (Down/Up)	SDR Upgradable to OFDMA
	MicroMAX	BS	TDD/FDD	OFDM	3.4-3.6; 5.8	1.75; 3.5; 7; 10	27	5/5 (Down/Up)	SDR Upgradable to OFDMA
	PrimeMAX	CPE	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6; 5.8	7; 10; 14; 20	23		
	EasyST	CPE	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6; 5.8	1.75; 3.5; 7; 10	24		SDR Upgradable to OFDMA
	ProST	CPE	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6; 5.8	1.75; 3.5; 7; 10	23		SDR Upgradable to OFDMA
Aperto	PacketMAX BS	BS	TDD	OFDM	2.300-2.360; 2.500-2.700	2-10 in 1 MHz step; 5.5	20, 28		
					3.3-3.6; 3.6-3.8	2-7 in 1 MHz step; 1.75; 3.5; 7; 14	20, 28		
					5.425-5.725; 5.725-5.925	2-10 in 1 MHz step; 20	20, 28		
	PacketMAX SS	CPE	TDD	OFDM	2.300-2.360; 2.500-2.700	2-10 in 1 MHz step; 5.5	20	18	
					3.3-3.6; 3.6-3.8	2-7 in 1 MHz step; 1.75; 3.5; 7; 14	20	18	
					5.425-5.725;	2-10 in 1 MHz step;	20	18	

Vendor	Model	BS/CPE	TDD/FDD	PHY	Frequency Range (GHz)	Channel Bandwidth (MHz)	RF Tx Power (dBm)	Ant.Gain (dB)	Note
					5.725-5.925	20			
Alvarion	BreezeMAX	BS	TDD/FDD	OFDM, Uplink OFDMA	1.5; 2.3 WCS; 2.5 BRS	1.75; 3.5; 5; 7; 10	34		Upgradable to 802.16e
					3.3-3.8; 5				
	BreezeMAX	CPE	TDD/FDD	OFDM, Uplink OFDMA	1.5; 2.3 WCS; 2.5 BRS	1.75; 3.5; 5; 7; 10	20, 24	9, 12, 18	
					3.3-3.8; 5				
Redline	RedMAX BS	BS	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6	3.5, 5, 7, 10	23		
	RedMAX SU-I	CPE	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6	3.5, 7	20		
	RedMAX SU-O	CPE	TDD/HFDD	OFDM	3.4-3.6	3.5, 7	20		

เอกสารอ้างอิง

1. A. Ganz, Z. Ganz, and K. Wongthavarawat, "Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, September 2003.
2. D. Sweeney, "WiMAX Operator's Manual", Apress, 2004
3. K. Wongthavarawat, and A. Ganz, "Packet Scheduling for QoS Support in IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems", International Journal of Communication Systems, Vol. 16, p81-96, 2003
4. IEEE 802.16 Working Group, "IEEE Std 802.16-2004 - Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems"
5. IEEE 802.16 Task Group e, "P802.16e/Draft 10 – Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems"
6. US FCC, "GN Docket No. 04-163: Wireless Broadband Access Task Force Report"
7. US FCC, "Code of Federal Regulation Title 47", <http://wireless.fcc.gov/rules.html>
8. US FCC, "FCC-04-135A1: 2500-2690 MHz Restructuring", http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-04-135A1.doc
9. A. Fella, "WiMAX Spectrum Picture"
10. Fujitsu, "White Paper – RF Spectrum Utilization in WiMAX"
11. Alvarion, "Regulations and Advanced Wireless Broadband"
12. Intel, "White Paper – Deploying License-Exempt WiMAX Solutions"
13. WiMAX Forum, "Business White Paper – Broadband Wireless Access"
14. WiMAX Forum, "White Paper – WiMAX's Technology for LOS and NLOS Environments"
15. WiMAX Forum, "White Paper - WiMAX Deployment Considerations for Fixed Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz Licensed Bands"
16. WiMAX Forum, "White Paper – Initial Certification Profiles and European regulatory framework"
17. WiMAX Forum, "White Paper - Regulatory Position and Goals of The WiMAX Forum", 2004
18. WiMAX Forum, "WiMAX Regulatory Take Force: Objectives, Status and Key Issues"
19. WiMAX Forum, "WiMAX Forum Regulatory Working Group Initial Profiles and Goals"
20. สำนักงาน กทช. "National Table of Frequency Allocation"
21. สำนักงาน กทช. "Spectrum Utilization Chart"
22. ITU-R, Recommendation ITU-R F.1613 "Operational and deployment requirements for fixed wireless access systems in the fixed service in Region 3 to ensure the protection of

systems in the Earth exploration-satellite service (active) and the space research service (active) in the band 5.250-5.350 MHz”

23. ITU-R, Recommendation ITU-R F.1488 “Frequency block arrangements for fixed wireless access system in the range 3.400-3.800 MHz”
24. ITU-R, Recommendation ITU-R M.1401-1 “ Considerations for the identification of possible frequency bands for fixed wireless access and related sharing studies”