บทที่ 2

กรอบแนวคิดทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดทางทฤษฎี

2.1.1 พัฒนาการของโครงข่ายการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงในประเทศไทย

การติดต่อสื่อสารของมนุษย์ถูกเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันข้อมูลข่าวสารเป็นสิ่งที่มนุษย์ไม่สามารถปฏิเสธได้และในสังคมปัจจุบันนี้ ความต้องการสื่อสารของมนุษย์เริ่มมีความสำคัญมากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะการพึ่งพาเทคโนโลยีเป็นตัวถ่ายทอดข้อมูลข่าวสารไปยังผู้รับด้วยความรวดเร็ว ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้เองที่เป็นตัวชี้วัดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงจากเมืองสู่ชุมชนอย่างรวดเร็ว และเป็นที่แน่นอนว่ามูลค่าของตลาดการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงจะเพิ่มขึ้นเพราะความตื่นตัวในเรื่องของการให้บริการพร้อมกับความสอดคล้องของการรับส่งข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานการสื่อสารทั่วไปให้สามารถเชื่อมต่อการให้บริการข้อมูลด้วยเทคโนโลยีความเร็วสูงที่เรียกว่า บรอดแบนด์ (Broadband)

บรอดแบนด์ (Broadband) เป็นเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงที่ใช้งานกับอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการนำเอาเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้งานพร้อมกับผสมผสานให้เข้ากับการสื่อสารที่มีอยู่แล้วให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การให้บริการและข้อจำกัดของการรับส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งการลดข้อจำกัดดังกล่าวนี้เทคโนโลยีบรอดแบนด์จะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้เกิดการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้เต็มประสิทธิภาพ โดยมีค่า "Bandwidth" เป็นค่าที่อธิบาย ถึงความเร็วสัมพัทธ์ในการติดต่อกับโครงข่าย เช่น การติดต่อผ่านโมเด็มโดยการ dial-up ใช้งานทั่วไปในปัจจุบันทำงานมีค่า bandwidth 56 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ไม่มีการกำหนดค่าที่แน่นอนไว้ว่า การติดต่อแบบบรอดแบนด์จะต้องมีค่า bandwidth เท่าใด แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าประมาณ 1 เมกกะบิตต่อวินาที (Mbps) ขึ้นไป ด้วยประสิทธิภาพในการรับข้อมูลขนาดใหญ่ จึงทำให้ฝันของนักท่องอินเทอร์เน็ตเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่ หรือไฟล์รูปภาพที่มีความละเอียดสูงเท่านั้น

หรือแม้กระทั่งการรับสัญญาณการแพร่ภาพของสถานีโทรทัศน์ เล่นเกมออนไลน์ การดูหนังฟังเพลงผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงมีด้วยกันหลายประเภท เช่น เทคโนโลยี DSL เป็นเทคโนโลยีการใช้สายโทรศัพท์ธรรมดาตามบ้าน โดยการเพิ่ม DSL Modem เข้าไปก็สามารถที่จะใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้แล้ว หรือ Coaxial Modem เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สาย Coaxial กับการให้บริการ Cable TV โดยการเพิ่ม Coaxial Modem เข้าไปก็สามารถใช้อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้ และ Broadband Satellite เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ดาวเทียมและโมเด็มระบบดาวเทียมในการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เป็นต้น

เทคโนโลยีบรอดแบนด์ (Broadband Technology) นั้นไม่ใช่การพัฒนาเทคโนโลยีจาก Technology Fiber Optic ลงมาสู่สายทองแดงเท่านั้น แต่เทคโนโลยีบรอดแบนด์สามารถนำมาใช้ได้หลายรูปแบบ เพียงแต่เราจะทราบจากเทคโนโลยีที่มีอยู่ถูกนำมาใช่กับโครงสร้างพื้นฐานอันได้แก่ โทรศัพท์ ไฟฟ้า เท่านั้น และสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ที่นิยมใช้บริการกันในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีบรอดแบนด์แบบใช้สาย (Wire Broadband)

- DSL Digital Subscriber Line (copper) คือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง บนข่ายสายทองแดง หรือคู่สายโทรศัพท์ เช่น ADSL

- Broadband over Power Line (BPL) คือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนโครงข่ายไฟฟ้า

- Cable (Coax) คือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนข่ายสาย Cable หรือ Fiber มีอัตราความเร็วสูง แต่ค่าใช่จ่ายในการติดตั้งและวางสายค้อนข้างสูง ได้แก่ Cable TV

2. เทคโนโลยีบรอดแบนด์แบบไร้สาย (Wireless Broadband)

- Satellite Broadband คือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง บนข่ายดาวเทียม ได้แก่ IP Star

- LMDS (Local Multipoint Distribution Services) (microwave) คือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง บนโครงข่ายคลื่นความถี่ไร้สาย ได้แก่ Wi-Fi WiMAX

2.1.1.1 xDSL Technology คือ ระบบที่ใช้บีบอัดแบนด์วิดธ์ข้อมูลความเร็วสูงผ่านสายโทรศัพท์บ้านที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ ในการส่งข้อมูลผ่านคู่สายทองแดงที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน ให้มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้มากขึ้น เป็นการใช้ประโยชน์จาก

โครงข่ายเดิมที่มีอยู่แล้ว ให้เกิดประโยชน์สูงสุด DSL ใช้วิธีที่เรียกว่า DMT(Digital Multi-Tone) หรือการแยกสัญญาณ ออกเป็น 2 สตรีมคือ สตรีมเสียงที่จะอยู่ในความถี่ต่ำที่มนุษย์ได้ยินได้ซึ่งปกติจะต่ำเพียง 4 กิโลเฮิร์ตก็พอเพียงแล้ว อีกสตรีมหนึ่งเป็นสตรีมของสัญญาณ ข้อมูลที่ถูกอัดโดยใช้ตัวสร้างสัญญาณแบบพิเศษ สัญญาณที่ส่งออกไปนี้จะส่งออกไปด้วยสัญญาณความถี่สูงกว่าสัญญาณเสียง สตรีมทั้ง 2 อย่างนี้ สามารถที่จะส่งไปได้พร้อม ๆ กัน ซึ่งเป็นข้อที่ดีมากของอินเทอร์เน็ตระบบนี้ คือคุณสามารถใช้ได้ทุกเมื่อเมื่อต้องการ เพราะระบบ DSL จะเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตตลอดเวลา คุณจึงไม่จำเป็นต้องต่อโทรศัพท์ให้ยุ่งยากอีกต่อไป สำหรับเทคโนโลยีในตระกูล DSL อยู่หลายประเภท เช่น

- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line
- HDSL: High bit rate Digital Subscriber Line
- IDSL: ISDN Digital Subscriber Line
- RADSL: Rate Adaptive Digital Subscriber Line
- SDSL: Symmetric Digital Subscriber Line
- VDSL: Very high bit rate Digital Subscriber Line

ตารางที่ 2.1

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ DSL

	Down	Up	Mode	Distance	Wire(n)	Voice
HDSL	1.5 Mbps	1.5 Mbps	Symmetric	3.6 Km	4	No
SDSL	1.5 Mbps	1.5 Mbps	Symmetric	3 Km	2	No
IDSL	128 Kbps	128 Kbps	Symmetric	4.5 Km	2	No
ADSL	8 Mbps	1 Mbps	Asymmetric	5 Km	2	Yes
VDSL	52 Mbps	2.3 Mbps	Asymmetric	1 Km	2	Yes

ซึ่งแต่ละเทคโนโลยี DSL จะมีความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลแตกต่างกันออกไป โดยมีความแตกต่างกันในลักษณะดังนี้

1. ความเร็วในการรับ (down) ส่ง (up) ข้อมูล

2. Mode การรับ-ส่งข้อมูล เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานจริง การเลือกเทคโนโลยีในการรับ-ส่งข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็น ตัวอย่างเช่น การรับ-ส่งข้อมูลของบริษัทระหว่างสาขา จะมีการรับและส่งข้อมูลในการอัตราที่ต้องการความเร็วพอๆ กัน แต่สำหรับผู้ใช้ตามบ้านมักจะต้องการการรับข้อมูลในการอัตราความเร็วมากกว่าการส่งข้อมูล

3. ระยะทางในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับความเร็วในการส่งข้อมูล เช่น เทคโนโลยี VDSL สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วถึง 52 เมกกะบิตต่อวินาที แต่จำกัดในเรื่องระยะทางเพียง 1 กิโลเมตร เท่านั้น แต่สำหรับ ADSL สามารถส่งข้อมูลได้เพียง 8 เมกกะบิตต่อวินาที แต่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 5 กิโลเมตร เป็นต้น

4. จำนวนสายที่ใช้ ตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี HDSL จะใช้สายในการรับ-ส่งข้อมูลถึง 4 สาย หรือ 2 คู่ แต่เทคโนโลยีอื่นๆ ได้พัฒนาให้ใช้สายเพียง 1 คู่หรือ 2 สายเท่านั้น

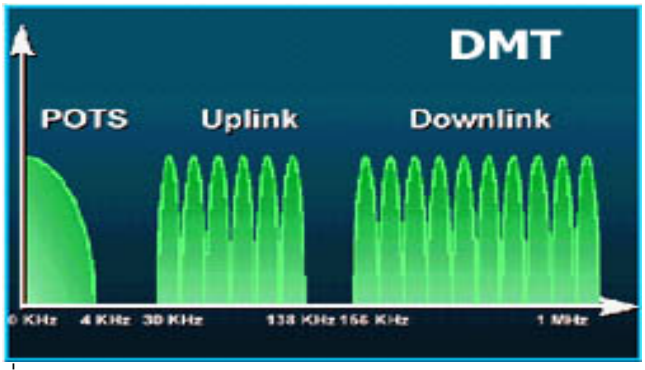
5. ความสามารถในการใช้สายโทรศัพท์ระหว่างการรับส่งข้อมูล เทคโนโลยีที่สามารถใช้งานโทรศัพท์ได้ระหว่างการใช้งานอินเทอร์เน็ตคือ เทคโนโลยี ADSL และ VDSL

2.1.1.2 ADSL Technology ADSL มาจากคำว่า Asymmetric Digital Subscriber Line คือเทคโนโลยีที่สามารถรับส่งข้อมูลความเร็วสูงที่พัฒนาขึ้นต่อจาก HDSL ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องมาจากคุณภาพและราคาที่ค่อนข้างเหมาะสมกับความต้องการ เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง บนข่ายสายทองแดงหรือคู่สายโทรศัพท์ ADSL มีโครงสร้างของระบบสื่อสารข้อมูลเป็นแบบไม่สมมาตร (Asymmetric) โดยมีลักษณะสำคัญคืออัตราการเร็วในการรับข้อมูล (Downstream) และอัตราการเร็วในการส่งข้อมูล (Upstream) ไม่เท่ากัน โดยมีอัตรารับข้อมูลสูงสุดที่ 8 เมกกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 1เมกกะบิตต่อวินาที ทั้งนี้ด้วยเหตุผลว่า การใช้งานอินเทอร์เน็ตแบบผู้ใช้งานตามบ้านส่วนใหญ่มักจะเป็นการ Download ข้อมูลเสียมากกว่าการ Upload ข้อมูล โดยระดับความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับ ระยะทางและคุณภาพของคู่สายนั้นๆ การทำงานของ Modem ADSL จะใช้การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง คือ ระบบโทรศัพท์เดิม, ช่องสัญญาณ ADSL upstream และช่องสัญญาณ Downstream เทคโนโลยีนี้มีชื่อว่า FDM (Frequency Division Multiplexing) โดยการจัดสรรแถบความถี่สำหรับย่านความถี่ขนาดไม่เกิน 4 กิโลเฮิร์ตซ์ ปกติจะถูกนำมาใช้เป็น Voice กับ Fax ส่วนย่านความถี่ที่สูงกว่านี้ จะถูกสำรองจองไว้ให้การรับส่งข้อมูลโดยเฉพาะ ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น หลายย่านความถี่ดังเช่นช่องสัญญาณทั้งสาม ดังภาพที่ 2.1 โดย Downstream จะมี Bandwidth มากที่สุด และนี่เป็นเหตุผลว่าทำไมเราจึงสามารถส่งข้อมูลสื่อสารระหว่าง Modem ในระบบ ADSL ไปมาอยู่บน

คู่สายทองแดงตีเกลียวคู่เดิม และสามารถจะคุยโทรศัพท์ได้พร้อม ๆ กันไปด้วย และ Bandwidth ที่ใช้งานได้ในระบบ ADSL ที่ขยายได้ไปจนถึงเกือบ 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ นั้น เป็นเพราะในระบบ Modem ADSL นั้นไม่ได้ใช้ตัวกรองแบบที่ใช้ในระบบชุมสายแบบเก่า และการลดระดับสัญญาณรบกวนจากการควอนไตซ์เซชั่น ของตัวแปลง A/D นอกจากนี้ ในแต่ละช่องสัญญาณยังสามารถแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ ที่ความเร็วต่ำ เรียกว่า Sub-Multiplex ได้อีกหลายช่อง อย่างไรก็ดี งานที่ต้องใช้บริการ ADSL ส่วนใหญ่จะเป็นพวก Compressed Digital Video เนื่องจากเป็นสัญญาณประเภททำงานแบบ Real-Time ด้วยเหตุนี้ สัญญาณ Digital Video เหล่านี้ จึงไม่สามารถใช้ระบบควบคุมความผิดพลาด แบบที่มีอยู่ในระดับของเครือข่ายทั่วไป ดังนั้น ADSL Modem จึงมีระบบ ที่เรียกว่า Forward Error Correction ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยลดความผิดพลาด ที่อาจเกิดขึ้นโดยสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นมาก การกำหนดให้มีการตรวจสอบสัญลักษณ์ทีละตัว การทำเช่นนี้ก็ยังช่วยลดปัญหาการควบของสัญญาณรบกวนในสาย

ภาพที่ 2.1

การแบ่งความถี่ Upstream และ Downstream



ที่มา : http://www.ADSLThailand.com

การทำงานของ ADSL Modem จะเกิดขึ้นระหว่างชุมสายโทรศัพท์ โดยผู้ให้บริการจะต้องติดตั้งอุปกรณ์รวมสัญญาณเรียกว่า DSLAM (DSL Access Multiplexer) ในทุก ๆ ชุมสายที่ให้บริการ ซึ่งจะทำหน้าที่รวมสัญญาณจากผู้ใช้งาน ในชุมสายโทรศัพท์นั้น ๆ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่าน เครือข่ายดิจิตอลความเร็วสูง ไปยังศูนย์กลางของผู้ให้บริการ และจากนั้นผู้ให้บริการ ADSL ก็จะเชื่อมต่อไปยังผู้ให้บริการข้อมูล เช่น ISP หรือเครือข่ายขององค์กร อุปกรณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ช่วยให้ ADSL สามารถส่งข้อมูลไปได้พร้อม ๆ กับการใช้งานโทรศัพท์ก็คือ Pots Splitter โดยมันจะมีหน้าที่ในการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงออกจากสัญญาณย่านที่มีความถี่ต่ำ

โดยถูกติดตั้งอยู่ทั้งที่ผู้ใช้งาน และที่ชุมสายโทรศัพท์ นั่นคือหากมีการใช้งานโทรศัพท์ สัญญาณโทรศัพท์จะถูกส่งผ่านสายทองแดง ไปยังชุมสายโทรศัพท์ และสัญญาณโทรศัพท์ จะถูกส่งผ่านไปยังเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ(PSTN :Public switch telephone network) เพื่อเชื่อมต่อไปยังเลขหมายปลายทางต่อไป ส่วนสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ DSLAM

การที่ ADSL สามารถส่งข้อมูลพร้อมกับการใช้งานโทรศัพท์ได้นั้น เนื่องจาก ADSL ใช้ เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ (Modulation) บนย่านความถี่ที่สูงกว่าการใช้งานโทรศัพท์โดยทั่วไป ซึ่งปกติการใช้งานโทรศัพท์จะใช้ย่านความถี่ที่ 0 - 4 กิโลเฮิร์ตซ์ และการใช้งาน 56K Analog Modem ก็ทำการเข้ารหัสสัญญาณบนย่านความถี่นี้เช่นกัน ซึ่งเป็นย่านเดียวกับการใช้งานโทรศัพท์ ทำให้เมื่อใช้งานโมเด็มจะไม่สามารถใช้โทรศัพท์ได้ ในขณะที่ ADSL จะเข้ารหัสสัญญาณที่ย่านความถี่สูงกว่า 4 กิโลเฮิร์ตซ์ ขึ้นไป คือตั้งแต่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึง 1.1 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดย ADSL มีเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ 2 วิธีคือ CAP และ DMT ซึ่งด้วยเทคนิคนี้เองทำให้ การรับ-ส่งข้อมูลด้วย ADSL จึงสามารถใช้โทรศัพท์ได้เป็นปกติ โดยไม่รบกวนกันแต่อย่างใด โดยมีอุปกรณ์ Pots Splitter ที่ช่วยในการแยกย่านความถี่ของข้อมูลและความถี่ในการใช้โทรศัพท์ออกจากกัน

ADSL ได้มีการกำหนดมาตรฐานการทำงานของ ADSL ใน ระดับปฏิบัติการเชิง Physical Layer โดย ANSI(American Nation Standard Institute) ได้กำหนดมาตรฐานของ ADSL ขึ้นมาเรียกว่า T.413-1995 ซึ่งระบุว่า อุปกรณ์ ADSL สามารถสื่อสารกันบนเครือข่ายแบบ Analog Loop ได้ ผลิตภัณฑ์ ADSL ได้ถูกผลิตขึ้นให้ใช้วิธีการของ Line Coding (การเข้ารหัสเพื่อการส่งสัญญาณในสาย) ซึ่ง วิธีการนี้มีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ CAP (Carrier Amplitude/Phase Modulation) QAM (Quadrature Amplitude Modulation) และเทคโนโลยี DMT (Discrete Multitone) ไม่ว่าระบบ Line Coding จะเป็นเช่นใด ไม่ว่าสายสัญญาณทั้งสองเส้นจะถูกนำมาใช้เพื่อการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ก็ตาม หรือพิสัยของคลื่นความถี่จะถูกแบ่ง Upstream หรือ Downstream Bandwidth (ระบบFDM) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือจะต้องใช้ Echo Cancellation (เป็นการขจัดความเป็นไปได้ของสัญญาณในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่เป็นสัญญาณของผู้พูด จะเกิดการสะท้อนกลับมาที่ผู้พูดเอง เหมือนท่านที่พูดโทรศัพท์มือถือ จะได้ยินเสียงพูดของตนเอง) ก็ตาม ภายใต้เครือข่าย ADSL นี้ระบบ FDM กับ Echo Cancellation สามารถทำงานร่วมกันแบบผสมผสานกันได้ ในหลายกรณี มาตรฐาน ANSI ภายใต้เอกสาร T.413 ได้กำหนดให้ ADSL ใช้ Line Coding แบบเทคโนโลยี DMT และมีการเลือกใช้ FDM หรือ Echo Cancellation อย่างใดอย่างหนึ่งแทนที่จะทำงานร่วมกัน เพื่อที่ให้ได้การทำงานแบบ Full Duplex

2.1.1.3 หลักการทำงานและความแตกต่างของ CAP และ DMT

CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงแรก ซึ่งจะแบ่งย่านความถี่ออกเป็น 3 ช่วงกว้าง ๆ คือ ส่วนของการส่งข้อมูลแบบ Upstream การส่งข้อมูลแบบ Downstream และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียง (Pots) ทำให้สายโทรศัพท์เพียงเส้นเดียวสามารถรับส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน Modem ที่มีการผสมสัญญาณแบบ CAP สามารถยอมรับ การสื่อสารข้อมูลในระบบ ATM หรือแบบ Packet รวมทั้งการรับส่งข้อมูลแบบ Synchronous Bit ได้อีกด้วย

CAP ได้นิยามมาตรฐานการทำงานของการสื่อสารข้อมูล 2 แบบ แบบแรกได้แก่ Class A ซึ่งสามารถขนถ่ายข้อมูลแบบ Packet หรือแบบ Cell ได้ ซึ่งช่องสัญญาณนี้ไม่ค่อยอ่อนไหวในเรื่องของ Delay มากนัก ส่วนแบบที่สองเรียกว่า Class B Service ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่ใช้ขนถ่ายข้อมูลที่ค่อนข้างเปราะบางต่อปัญหา Delay โดยช่องสัญญาณนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อขนถ่ายข้อมูลแบบ Bit Synchronous ตัวอย่าง เช่น สัญญาณ ISDN ที่ความเร็ว 16 กิโลบิตต่อวินาที เป็นต้น ซึ่ง Class B นี้จะกำหนดให้ระบบ FEC(Forward Error Correction) เป็นเพียง Option เท่านั้น และช่องสัญญาณข้อมูลทั้งสองเมื่อรวมเข้ากับ EOC (Embedded Operations Channel) แล้วจากนั้นก็ป้อนเข้าสู่ ADSL Modem

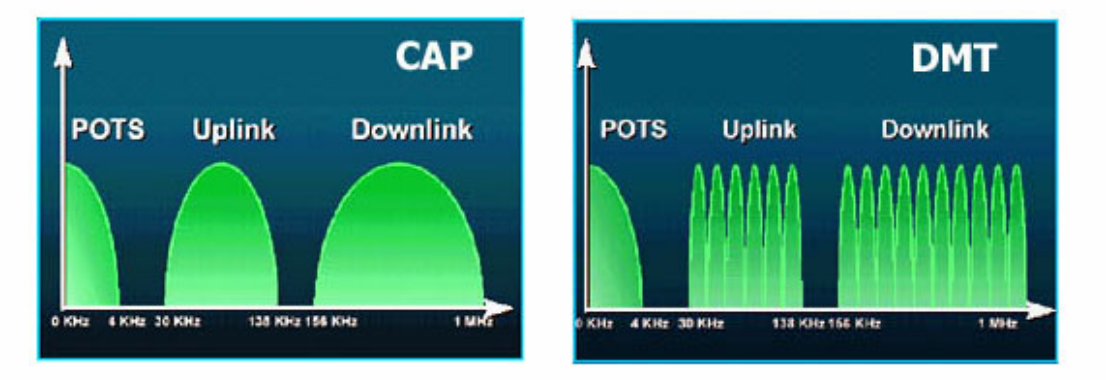
DMT (Discrete Multitone) สำหรับ ระบบ DMT นั้น สายทองแดงคู่จะสามารถรองรับ Bandwidth ขนาด 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ ที่อาจถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 สำหรับช่องสัญญาณเสียง และอีกส่วนหนึ่งสำหรับช่องสัญญาณข้อมูล ซึ่งจะมีการแบ่งแต่ละช่วงความถี่ออกเป็นช่วงเล็ก ๆ อีกโดยเรียกว่า Bin ซึ่งแต่ละ Bin จะถูกแบ่งออกเป็น Bin ละ 4 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเทคนิคนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษคือ มันจะสามารถเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสม กับสภาพแวดล้อมและคุณภาพสายในขณะนั้นได้โดยอัตโนมัติ เช่นเมื่อใดที่เราใช้โทรศัพท์ เสียงจะถูกส่งผ่านไปทางช่องสัญญาณเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะที่ ADSL จะใช้ช่วงสัญญาณที่สูงกว่า ทำให้ข้อมูลคอมพิวเตอร์สามารถอยู่แยกออกต่างหากจากข้อมูลเสียง ข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังอินเทอร์เน็ต จะใช้ช่องสัญญาณหลาย ๆ ช่องสัญญาณรวมกัน เพื่อให้ได้อัตราการรับส่งข้อมูลดีที่สุด ขณะที่สัญญาณที่ส่งมาจากอินเทอร์เน็ตไปยังคอมพิวเตอร์ จะใช้ช่องสัญญาณอีกกลุ่ม ทำให้สามารถคุยโทรศัพท์ขณะที่ Download ข้อมูลได้โดยไม่ทำให้อัตราความเร็วของการ Download นั้นลดลงแต่อย่างไร แนวความคิดพื้นฐานของการแยก Bandwidth ที่มีอยู่ให้เป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ เป็นจำนวนมาก และสามารถทำงานได้โดยไม่กวนกัน ดังนั้น ในแต่ละช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด และถ้าหากว่าช่องสัญญาณย่อยใด ไม่มีการส่งข้อมูลใด ๆ ก็

สามารถปิดทิ้งเมื่อใดก็ได้ ซึ่งปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีนี้ถือเป็นเทคโนโลยีมาตรฐานในการเข้ารหัสสัญญาณของ ADSL

ADSL Modem ที่ทำงานบนพื้นฐานของ DMT เราสามารถมองว่า ภายในประกอบด้วย Modem ขนาดจิ๋วจำนวน 256 ตัว แต่ละตัวมีความถี่ช่องสัญญาณที่ 4 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งทำงานพร้อมกันในเวลาเดียว โดยระบบ DMT จะใช้คลื่นพาหลายตัวที่สร้าง ช่องสัญญาณย่อยเหล่านี้ขึ้นมา ซึ่งช่องสัญญาณเหล่านี้ จะมีการผสมสัญญาณเองโดยอิสระ ด้วยความถี่ที่ใช้ผสมสัญญาณ ซึ่งสอดคล้องกับความถี่กลางของช่องสัญญาณย่อย ๆ โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เป็นแบบขนานกัน ช่องสัญญาณย่อยแต่ละช่องนี้ จะทำการผสมสัญญาณโดยใช้วิธีการแบบ QAM และสามารถนำพาข้อมูล 0 – 15 บิตต่อ 1 สัญลักษณ์ ต่อ 1 Hz โดยจำนวนของบิตที่สามารถขนส่งได้อย่างแท้จริง ขึ้นอยู่กับลักษณะพิเศษของสายสัญญาณ และบางช่องสัญญาณย่อยอาจสามารถถูกละทิ้ง หากมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากภายนอก

ภาพที่ 2.2

ความแตกต่างของ CAP และ DMT



ที่มา : http://www.ADSLThailand.com

2.1.1.4 <u>ประโยชน์จากการใช้บริการ ADSL</u>

- สามารถคุยโทรศัพท์พร้อมกับการใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ ด้วยสายโทรศัพท์เส้นเดียวกัน โดยไม่หยุดชะงัก

- ท่านสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตด้วยความเร็วเป็น 140 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้ Modem แบบ Analog ธรรมดา

- การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจะถูกเปิดอยู่เสมอ (Always on Access) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการส่งถ่ายข้อมูลถูกแยกออกจากการ เรียกเข้ามาของ Voice หรือ Fax ดังนั้นการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจะไม่ถูกกระทบกระเทือนแต่อย่างใด

- ไม่มีปัญหาเนื่องจากสายไม่ว่าง ไม่ต้อง Connect ให้ยุ่งยาก

- ADSL ต่างจาก Cable Modem ตรงที่ ADSL จะมีสายสัญญาณพิเศษเฉพาะเพื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ขณะที่ Cable Modem เป็นการ Share ใช้สายสัญญาณกับคนอื่น

- Bandwidth จะมีขนาดคงที่ ขณะที่ Cable Modem จะถูกบั่นทอนลงตามปริมาณการใช้งาน

- สายสัญญาณที่ผู้ให้บริการ ADSL เป็นสายสัญญาณอิสระไม่ต้องไป Share ใช้งานกับใครด้วยเหตุนี้ จึงมีความน่าเชื่อถือ และมีความปลอดภัยสูง

2.1.2 <u>ทฤษฎีเทคโนโลยี WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access)</u>

เทคโนโลยี WiMAX หรือ Worldwide interoperability for Microwave Access มีวิวัฒนาการมาจากเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูล โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่านไมโครเวฟ ซึ่งเดิมมีรูปแบบการสื่อสารแบบเป็นเส้นตรง (Line of Sight หรือ LOS) และเป็นการเชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง (Point-to-point) โดยมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงให้ WiMAX มีรูปแบบการสื่อสารแบบแพร่กระจายคลื่นวิทยุรอบทิศทาง (Omni-direction) หรือเฉพาะทิศทาง (Directional) โดยขึ้นกับการเลือกใช้ระบบสายอากาศ ถือเป็นการสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non Line of Sight หรือ NLOS) เช่นเดียวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ทั่วไป WiMAX เป็นเทคโนโลยี ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งต่อมาก็ได้พัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16a ขึ้น ได้การอนุมัติโดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) โดยมาตรฐาน IEEE 802.16a หรือ WiMAX มีความสามารถในการส่งกระจายสัญญาณในลักษณะจากจุดเดียวไปยังหลายจุด (Point-to-multipoint) ได้พร้อมๆ กัน โดยมีความสามารถรองรับการทำงานในแบบ Non-Line-of-Sight สามารถทำงานได้แม้กระทั่งมีสิ่งกีดขวาง และยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานชนิดอื่นๆ ที่ออกมาก่อนหน้านี้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้น WiMAX หรือบรอดแบนด์ไร้สาย มาตรฐาน IEEE 802.16a ยังได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพของคุณภาพในการให้บริการ (QoS) ซึ่งสามารถรองรับการใช้ การใช้งานภาพ

(video) หรือการใช้งานเสียง (voice) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากอย่างเก่า (low-latency network) อีกทั้งในเรื่องของความปลอดภัยยังได้เพิ่มคุณสมบัติของความเป็นส่วนตัว (privacy) ซึ่งต้องได้รับอนุญาต (authentication) ก่อนที่จะเข้าออกโครงข่าย และข้อมูลต่างๆ ที่รับส่งก็จะได้รับการเข้ารหัส (encryption) อีกด้วย ทำให้การรับส่งข้อมูลบน มาตรฐานตัวนี้มีความปลอดภัยมากขึ้น

ตารางที่ 2.2

เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายในแบบต่างๆ

เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายในแบบต่างๆ					
เทคโนโลยี	**มาตรฐาน**	**เครือข่าย**	**อัตราความเร็ว**	**ระยะทาง**	**ความถี่**
WiMAX	IEEE 802.16a	**WMAN**	สูงสุด 75Mbps (20MHz BW)	ปกติ 30 - 50 กิโลเมตร	Sub 11GHz
WiMAX	IEEE 802.16e	**Mobile WMAN**	สูงสุด 30Mbps (10MHz BW)	ปกติ 30 - 50 กิโลเมตร	2 - 6 GHz
Wi-Fi	IEEE 802.11a	**WLAN**	สูงสุด 54Mbps	100 เมตร	5GHz
Wi-Fi	IEEE 802.11b	**WLAN**	สูงสุด 11Mbps	100 เมตร	2.4GHz
Wi-Fi	IEEE 802.11g	**WLAN**	สูงสุด 54Mbps	100 เมตร	2.4GHz
HSDPA	3G	**WWAN**	สูงสุด 2 - 10 Mbps	ปกติ 1.6 - 8 กิโลเมตร	1800, 1900, 2100MHz
CDMA2000 1x EV-DO	3G	**WWAN**	สูงสุด 2.4Mbps	ปกติ 1.6 - 8 กิโลเมตร	400, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100MHz
EDGE	2.5G	**WWAN**	สูงสุด 348Kbps	ปกติ 1.6 - 8 กิโลเมตร	900, 1800MHz

สำหรับมาตรฐานของเทคโนโลยี WiMAX ที่มีการพัฒนาขึ้นมาในขณะนี้นั้น มีดังต่อไปนี้

- IEEE 802.16-2001 เป็นมาตรฐานที่ให้ระยะทางการเชื่อมโยง 1.6 – 4.8 กิโลเมตร เป็นมาตรฐานเดียวที่สนับสนุน LoS (Line of Sight) โดยมีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10-66 กิกะเฮิรตซ์

- IEEE 802.16a เป็นมาตรฐานที่แก้ไขปรับปรุงจาก IEEE 802.16 เดิม โดยใช้งานที่ความถี่ 2-11 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งคุณสมบัติเด่นที่ได้รับการแก้ไขจากมาตรฐาน 802.16 เดิม คือ คุณสมบัติการรองรับการทำงานแบบไม่เป็นเส้นตรง (NLoS - Non-Line-of-Sight) ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงานได้เมื่อมีสิ่งกีดขวาง อาทิเช่น ต้นไม้, อาคาร ฯลฯ นอกจากนี้ก็ยังช่วยให้สามารถขยายระบบโครงข่ายเชื่อมต่อไร้สายความเร็วสูงได้อย่างกว้างขวางด้วยรัศมีทำการที่ไกลถึง 30 ไมล์ หรือ

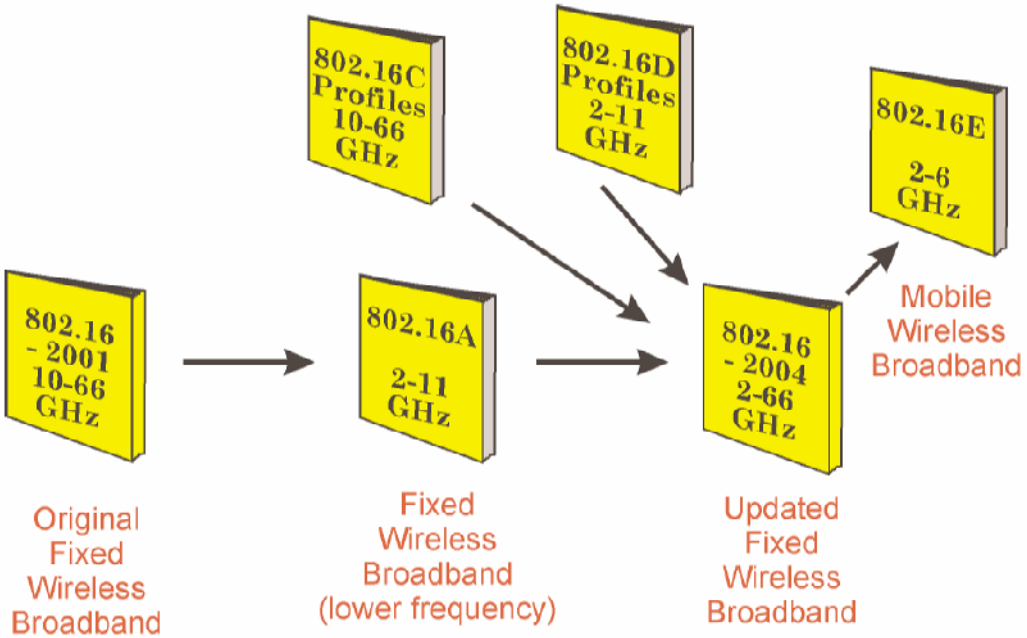
ประมาณ 50 กิโลเมตร และมีอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ทำให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายที่ใช้สายประเภท ที1 (T1-type) กว่า 60 ช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อแบบ DSL ตามบ้านเรือนที่พักอาศัยอีกหลายร้อยครัวเรือนได้พร้อมกันโดยไม่เกิดปัญหาการใช้งาน

- IEEE 802.16-2004 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยการรวมกันของมาตราฐานต่างๆ คือ IEEE 802.16a, 802.16c, 802.16d โดยสามารถใช้งานที่ความถี่ 2-66 กิกะเฮิรตซ์ รัศมีทำการที่ไกลถึง 30 ไมล์ หรือประมาณ 50 กิโลเมตร

- IEEE 802.16e เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาให้สนับสนุนการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์พกพาประเภทต่างๆ เช่น อุปกรณ์พีดีเอ โน้ตบุ๊ก เป็นต้น โดยใช้งานที่ความถี่ 2-6 กิกะเฮิรตซ์ ให้รัศมีทำงานที่ 1.6 – 4.8 กิโลเมตร มีระบบที่ช่วยช่วยให้ผู้ใช้งานยังสามารถสื่อสารได้โดยให้คุณภาพในการสื่อสารที่ดีและมีเสถียรภาพขณะใช้งาน แม้ว่ามีการเคลื่อนที่ช้าๆ อยู่ตลอดเวลาก็ตาม

ภาพที่ 2.3

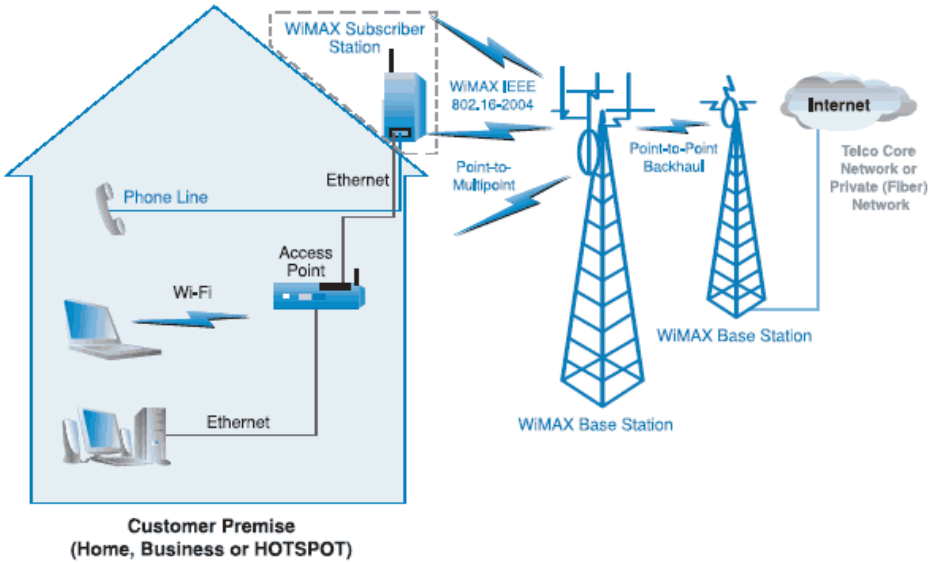
พัฒนาการของมาตราฐานของเทคโนโลยี WiMAX (IEEE 802.16)



ที่มา : Lawrence Harte. Introduction to 802.16 WiMAX, ALTHOS Publishing, Inc., 2006.

ภาพที่ 2.4

รูปแบบการให้บริการสื่อสารไร้สายอัตราเร็วสูงโดยเทคโนโลยี WiMAX



ที่มา :http://www.wimaxday.net/site.com

ภาพที่ 2.4 เป็นการสรุปรูปแบบการให้บริการสื่อสารไร้สายแบบสาธารณะ โดยใช้เทคโนโลยี WiMAX มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ซึ่งจะเห็นว่านอกเหนือจากการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย WiMAX ในลักษณะต่าง ๆ แล้ว ผู้ให้บริการโครงข่ายยังสามารถกำหนดให้สถานีฐาน WiMAX บางแห่งมีรูปแบบการส่งสัญญาณแบบ Line of Sight เพื่อใช้เป็นวงจรสื่อสัญญาณสำหรับส่งผ่านและลำเลียงข้อมูลระหว่างสถานีฐาน WiMAX ด้วยกันเองได้ ถือเป็นการอำนวยประโยชน์ต่อผู้ให้บริการโครงข่าย โดยไม่จำเป็นต้องจัดเตรียมหรือจัดหาอุปกรณ์หรือวงจรสื่อสัญญาณใด ๆ เพิ่มเติม นอกจากนั้นเมื่อเทคโนโลยี IEEE 802.16e ได้รับการพัฒนาจนพร้อมให้บริการในเชิงพาณิชย์แล้ว ผู้ให้บริการโครงข่ายก็สามารถพัฒนาซอฟท์แวร์ภายในสถานีฐานเหล่านี้ให้รองรับมาตรฐานดังกล่าว เพื่อให้บริการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ช้า ๆ ได้ อีกทั้งยอมให้ผู้ใช้บริการสามารถนำอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย WiMAX ไปใช้งานข้ามสถานีฐาน หรือข้ามพื้นที่ให้บริการได้อย่างเสรี ในแง่ของการจัดสรรย่านความถี่คลื่นวิทยุ ข้อกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ระบุให้สามารถใช้ความถี่คลื่นวิทยุในย่านตั้งแต่ 10 – 66 กิกะเฮิตรซ์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการออกใบอนุญาตจัดสรรความถี่ (Licensed Band) และย่านตั้งแต่ 2 – 11 กิกะเฮิตรซ์ ซึ่งเป็นย่านที่ไม่ต้องจัดสรรความถี่ (Unlicensed Band) สำหรับเปิดให้บริการสื่อสารข้อมูลไร้สายโดยใช้เทคโนโลยี WiMAX นอกจากนั้นมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ยังกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคโดยเฉพาะโพรโทคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลอย่าง MAC (Medium Access Control) เพื่อให้รองรับการส่งข้อมูลหลากหลายรูปแบบ ที่แต่ละแบบมีเงื่อนไขในการรับส่งต่างกันได้ เพื่อให้

WiMAX สามารถรองรับการสื่อสารทุกรูปแบบ เช่น VoIP (Voice over IP) รวมถึงการส่งสัญญาณเสียงพูดตามมาตรฐาน TDM (Time Division Multiplexing) ที่ใช้ในการสื่อสารโทรศัพท์แต่ดั้งเดิม นอกเหนือจากการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยทั่วไป

ภาพที่ 2.5

ตัวอย่างอุปกรณ์สถานีฐานและสายอากาศสำหรับการสื่อสารแบบ WiMAX

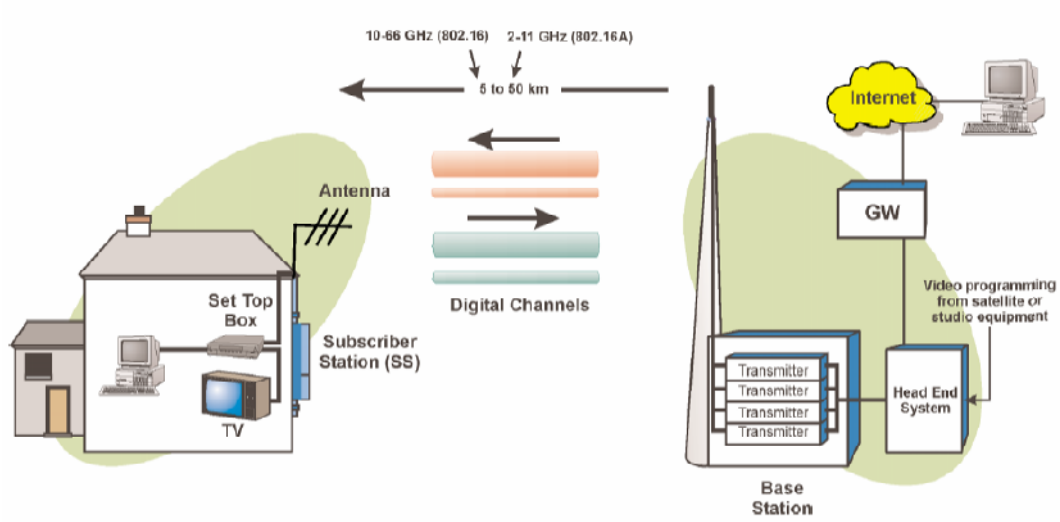
ที่มา :http://www.wimaxday.net/site.com

ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของอุปกรณ์สถานีฐาน WiMAX และสายอากาศที่ใช้สำหรับติดตั้งร่วมกันเพื่อแพร่กระจายความถี่คลื่นวิทยุสถานีฐาน WiMAX โดยทั่วไป (ซึ่งในที่นี้นับตั้งแต่มาตรฐาน IEEE 802.16d) ย่อมสามารถปรับรูปแบบการรับส่งสัญญาณได้ทั้งแบบ LOS และ NLOS การเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละสถานีฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น สถานีฐาน WiMAX ที่ใช้เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน ย่อมต้องมีรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณเป็นแบบ NLOS เช่นเดียวกับสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป ในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้สายอากาศที่มีความกว้างในการแพร่กระจายสัญญาณเป็นวงกว้าง ซึ่งอาจหมายถึงสายอากาศแบบแพร่กระจายรอบทิศทาง (Omni-directional Antenna) หรือสายอากาศแบบแพร่กระจายบางทิศทาง (Directional Antenna) ก็แล้วแต่การจัดวางตำแหน่งและพื้นที่ให้บริการของสถานีฐานนั้น ๆ แต่หากเป็นสถานีฐาน WiMAX ที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ

(Repeater) เพื่อรับส่งสัญญาณจากสถานีฐานแห่งหนึ่งไปยังอีกสถานีฐานหนึ่ง หรือส่งกลับไปยังโครงข่ายหลักของผู้ให้บริการโดยใช้การส่งสัญญาณแบบ LOS ในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบรวมสัญญาณ (Focused Directional Antenna) เท่านั้น ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ที่จะกำหนดให้สถานีฐาน WiMAX แห่งใดแห่งหนึ่ง ทำหน้าที่ทั้งรองรับการใช้งานจากผู้ใช้บริการ โดยกำหนดความถี่วิทยุกลุ่มหนึ่งให้มีการแพร่กระจายแบบ NLOS และใช้ความถี่หนึ่งเพื่อส่งสัญญาณจากสถานีฐานนี้กลับไปยังโครงข่ายหลักโดยให้ความถี่นี้มีการรับส่งแบบ LOS จะเห็นว่าเป็นการประหยัดต้นทุนในการวางโครงข่ายสื่อสัญญาณ เช่น สายใยแก้ว หรือจัดหาวงจรเช่าจากผู้ประกอบการรายอื่น เพื่อเชื่อมต่อสถานีฐาน WiMAX ไปยังโครงข่ายหลัก ทั้งนี้สถานีฐาน WiMAX ตามมาตรฐานสากลจะได้รับการออกแบบให้ใช้มาตรฐาน Data Link Layer แบบ MAC (Medium Access Control) ซึ่งเป็นมาตรฐานแบบเดียวกับที่ใช้ในโครงข่าย LAN โดยทั่วไป ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายสื่อสารอื่น ๆ ได้โดยแทบไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนสัญญาณการเชื่อมต่อ โดยทั่วไปสถานีฐาน WiMAX จะรองรับการสื่อสารกับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบการทำงาน NLOS ได้ในระยะทาง 2-5 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพการสื่อสารและเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่เลือกใช้กับสถานีฐานนั้น ๆ สำหรับการสื่อสารแบบ LOS นั้นสามารถรับส่งได้เป็นระยะทางไกล 30-50 กิโลเมตร

ภาพที่ 2.6

ส่วนประกอบหลักของระบบสื่อสาร WiMAX



ที่มา : Lawrence Harte. Introduction to 802.16 WiMAX, ALTHOS Publishing, Inc., 2006.

ส่วนประกอบหลักของระบบสื่อสาร WiMAX

1. เครื่องลูกข่าย WiMAX (Subscriber Station, SS)

เนื่องจากการให้บริการ WiMAX ในระยะแรกด้วยมาตรฐาน IEEE 802.16d จะอยู่ในรูปการใช้งานประจำที่ เครื่องลูกข่ายส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Customer Premise Equipment หรือ CPE) ที่สามารถรับส่งสัญญาณกับสถานีฐาน WiMAX และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสารภายในอาคาร ในขณะเดียวกับที่จะมีผลิตภัณฑ์ประเภท Air Card ที่สามารถติดตั้งเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ควางจำหน่าย

ภาพที่ 2.7

ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย WiMAX ในระยะเริ่มแรกและแนวทางในการใช้งาน

ที่มา :http://www.wimaxday.net/site.com

2. สถานีฐานหรือสถานีทวนสัญญาณ (Base Station, BS)

เป็นสถานีฐานหรือสถานีทวนสัญญาณ WiMAX รวมไปถึงทางเข้าทางออกที่เชื่อมต่อและรับข้อมูลจากระบบภายนอก (Interconnection Gateways) เพื่อเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายสาธารณะ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โครงข่ายอินเทอร์เน็ต หรือแม้กระทั่งโครงข่ายอินทราเน็ตของบริษัทหรือหน่วยงานที่เป็นลูกค้าประเภทองค์กรของผู้ให้บริการรายนั้น ๆ เพื่อทำการหาเส้นทางส่งต่อไปยังจุดหมายปลายทางของการสื่อสารข้อมูล ในกรณีที่ผู้ให้บริการโครงข่าย WiMAX มีการให้บริการโครงข่ายประเภทอื่น ๆ อยู่ด้วย เช่น โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GPRS/EDGE หรือ W-CDMA ซึ่งอาจมีนโยบายการรวมฐานข้อมูลผู้ใช้บริการ และกำหนดมาตรฐานการคิดค่าบริการร่วมกันสำหรับทุกโครงข่ายที่ตนเปิดให้บริการ ก็อาจมีการออกแบบให้มีการเชื่อมต่อระบบฐานข้อมูลหรือโอนข้อมูลใช้งานผ่านอุปกรณ์บางส่วนที่เป็นของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อการตรวจสอบใด ๆ ก่อนที่จะยอมให้ส่งต่อไปยังจุดหมายปลายทาง ซึ่ง

รายละเอียดของการเชื่อมต่อเหล่านี้ย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามผู้ให้บริการ และเงื่อนไขในการให้บริการเป็นกรณีไป การเชื่อมต่อจากโครงข่ายสถานีฐาน WiMAX กลับมายังโครงข่ายหลักของผู้ให้บริการ (โดยทั่วไปเรียกว่าวงจร Backhaul) จึงมีทั้งที่ใช้การส่งจากสถานีทวนสัญญาณ WiMAX หรือผ่านโครงข่ายสื่อสัญญาณอื่น ๆ ที่อาจเช่าจากผู้ประกอบการรายอื่น ๆ

การออกแบบมาตรฐานสื่อสารทางคลื่นวิทยุ เพื่อสนับสนุนให้มาตรฐานสื่อสาร WiMAX ทำงานได้ตามความคาดหวังของข้อกำหนด IEEE 802.16 นั้น จำเป็นจะต้องใช้เทคโนโลยีพิเศษหลาย ๆ ประการดังตัวอย่าง เทคโนโลยีต่อไปนี้

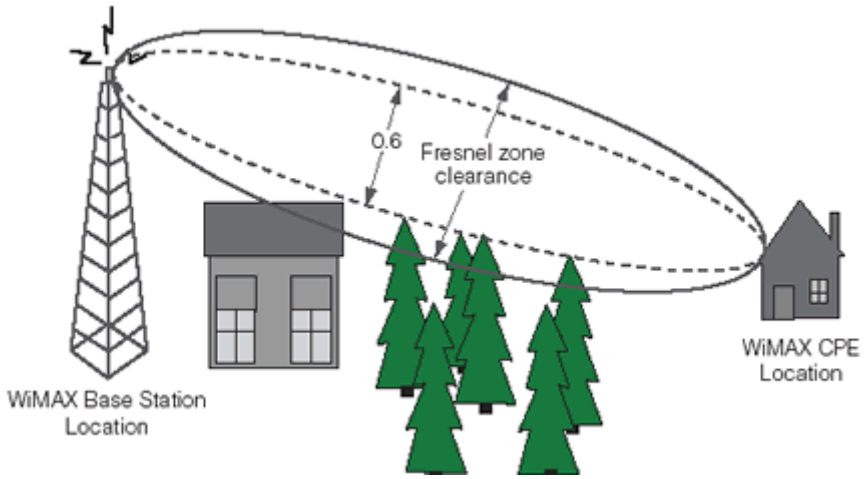
2.1.2.1 <u>การสื่อสารแบบ LOS และ NLOS</u>

โดยทั่วไปในการสื่อสารโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีชนิดใด จำเป็นต้องมีการกำหนดให้ชัดเจนว่ามีรูปแบบการสื่อสารแบบ LOS หรือ NLOS ในกรณีของการสื่อสารแบบ LOS อุปกรณ์เครื่องส่งและเครื่องรับจะติดต่อถึงกันได้ จำเป็นต้องมีการติดตั้งจานรับสัญญาณหรือสายอากาศให้อยู่ในแนวการสื่อสารที่ตรงกัน ไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งมักเรียกกันว่า “อุปสรรค” (Obstruction) มาบดบังการแพร่กระจายของคลื่นความถี่วิทยุ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสำรวจเส้นทางการแพร่กระจายและลดปัญหาที่เกิดจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ จึงมีการนิยามพื้นที่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Fresnel Zone ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายพลังงานส่วนใหญ่จากคลื่นความถี่วิทยุตลอดเส้นทางไปสู่เครื่องรับปลายทาง โดยขอบเขตของพื้นที่ Fresnel Zone จะกว้างใหญ่เพียงใดขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้รับส่ง และระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

ในทางทฤษฎี สำหรับการรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุแบบ LOS ใด ๆ ก็ตาม พื้นที่ Fresnel Zone จะมีอยู่หลายชั้น แต่หากต้องการเพียงตรวจสอบแนวพื้นที่เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางต่าง ๆ แล้ว ก็มักนิยมพิจารณาจากเฉพาะพื้นที่ Fresnel Zone แรก โดยกำหนดให้พื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์แรก หรือ 0.6 เท่าของ Fresnel Zone แรกเป็นเขตปลอดสิ่งกีดขวางดังแสดงในภาพที่ 2.8 วิธีการง่าย ๆ คือ ทดลองเล็งแนวยิงสัญญาณคลื่นวิทยุระหว่างจุดรับส่งต้นทางและปลายทาง หากมีสิ่งกีดขวางใด ๆ บดบังภายในพื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของ Fresnel Zone แรก ก็จะทำการเปลี่ยนมุมยิงจนกว่าจะไม่พบสิ่งกีดขวางอื่นใดอีก

ภาพที่ 2.8

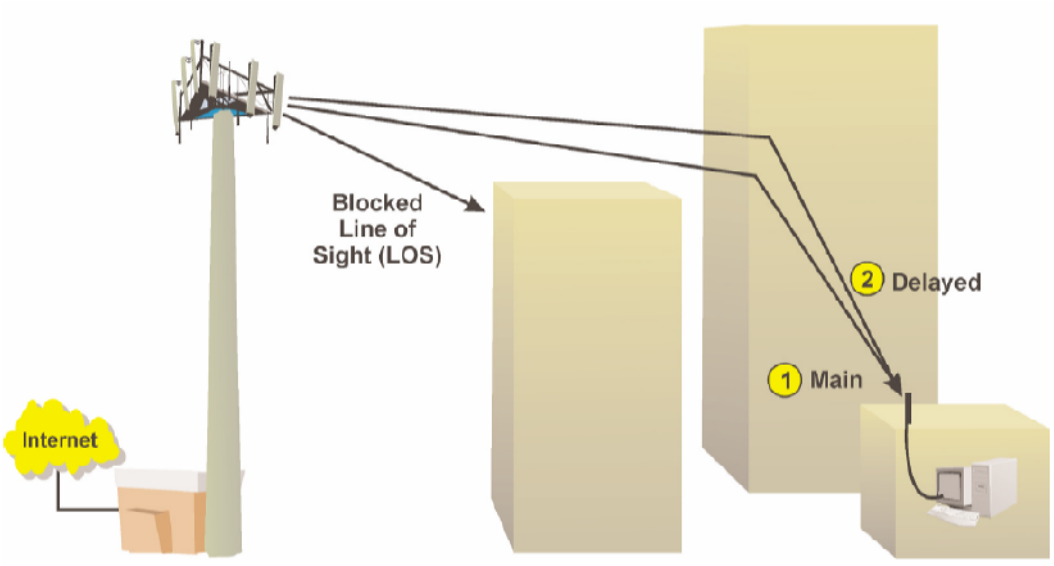
การสื่อสารแบบ LOS และความเกี่ยวข้องกับ Fresnel Zone



ที่มา : http://www.wimaxforum.org, 21 ม.ค. 2548)

ภาพที่ 2.9

การสื่อสารแบบ NLOS และผลกระทบจากปรากฏการณ์ Multi-path Fading



ที่มา : Lawrence Harte. Introduction to 802.16 WiMAX, ALTHOS Publishing, Inc., 2006.

สำหรับการสื่อสารแบบ NLOS ซึ่งใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบเดียวกับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้ออกแบบโครงข่ายกลับไม่ต้องพะวงกับปัญหาเรื่องสิ่งกีดขวางแต่อย่างใด คลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องส่งสามารถเดินทางมายังเครื่องรับได้ไม่ว่าจะเป็นการแพร่กระจายในแนว

ตรง หรือสะท้อนจากสิ่งกีดขวางใด ๆ ผลจากการสะท้อนของสัญญาณต่าง ๆ จากหลายเส้นทางย่อมมีผลทำให้ระดับความแรงของสัญญาณโดยรวมที่ปรากฏที่เครื่องรับมีค่าน้อยกว่าในกรณีของการรับส่งแบบ LOS อีกทั้งยังมีผลทำให้รูปทรงของสัญญาณผิดเพี้ยนไปเนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณที่มาจากหลาย ๆ ทิศทางและมีเวลาหน่วยแตกต่างกันไปดังแสดงในภาพที่ 2.9 ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Multi-path Fading แม้การสื่อสารแบบ NLOS จะก่อให้เกิดปัญหากับการสื่อสารข้อมูลไม่ว่าจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการปรับสภาพของสัญญาณ (Signal Conditioning) และยังมีผลทำให้พื้นที่ให้บริการแคบลงหรือมีระยะทางในการสื่อสารสั้นกว่าการสื่อสารแบบ LOS ก็ตาม แต่ในกรณีของ WiMAX กลับพบข้อดีมากมายของการสื่อสารแบบ NLOS ประการแรกก็คือ เนื่องจากความต้องการในการแยกย่อยพื้นที่ให้บริการออกเป็นเซล (Cell) เพื่อปรับสมดุลระหว่างขนาดของพื้นที่ให้บริการ ความถี่วิทยุที่กำหนดให้ใช้พื้นที่นั้น ๆ และปริมาณวงจรหรือความจุของช่องสัญญาณที่ใช้รองรับการใช้งานในเซลนั้น ๆ โดยทำให้สามารถนำความถี่ที่ใช้ในเซลนั้น ๆ ย้อนกลับไปใช้ใหม่ได้ในเซลอื่น ๆ ที่อยู่ไกลออกไป (Frequency Reuse) ถือเป็นกลวิธีที่ผู้ออกแบบระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องใช้เพื่อบริหารจัดการทรัพยากรความถี่ที่ได้รับสัมปทานมาให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประการที่สองก็คือการออกแบบเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ และจำเป็นต้องเอาใจผู้ใช้งานเป็นสำคัญ ธรรมชาติของผู้บริโภคย่อมต้องการความสะดวกและคล่องตัว สามารถหยิบฉวยอุปกรณ์สื่อสารไปใช้งานที่ใด ๆ ก็ได้ หากบังคับให้มีการสื่อสารได้เฉพาะแบบ LOS ผู้ใช้บริการก็จำเป็นต้องอยู่กับที่ อีกทั้งยังต้องคอยระมัดระวังให้อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายของตนอยู่ในแนวยิงสัญญาณกับสถานีฐาน ยิ่งกลายเป็นเรื่องวุ่นวายสำหรับผู้ใช้งาน หนักกว่าการถูกบังคับให้อยู่กับที่เพื่อใช้คู่สายโทรศัพท์ หากไม่มีความจำเป็นจริง ๆ คงไม่มีผู้ใช้บริการรายใดนิยมใช้การสื่อสารแบบ LOS อย่างแน่นอน จะมีก็แต่เพียงการใช้เทคนิคการรับส่งสัญญาณแบบ LOS สำหรับเป็นช่องทางส่งสัญญาณในลักษณะของสถานีทวนสัญญาณ

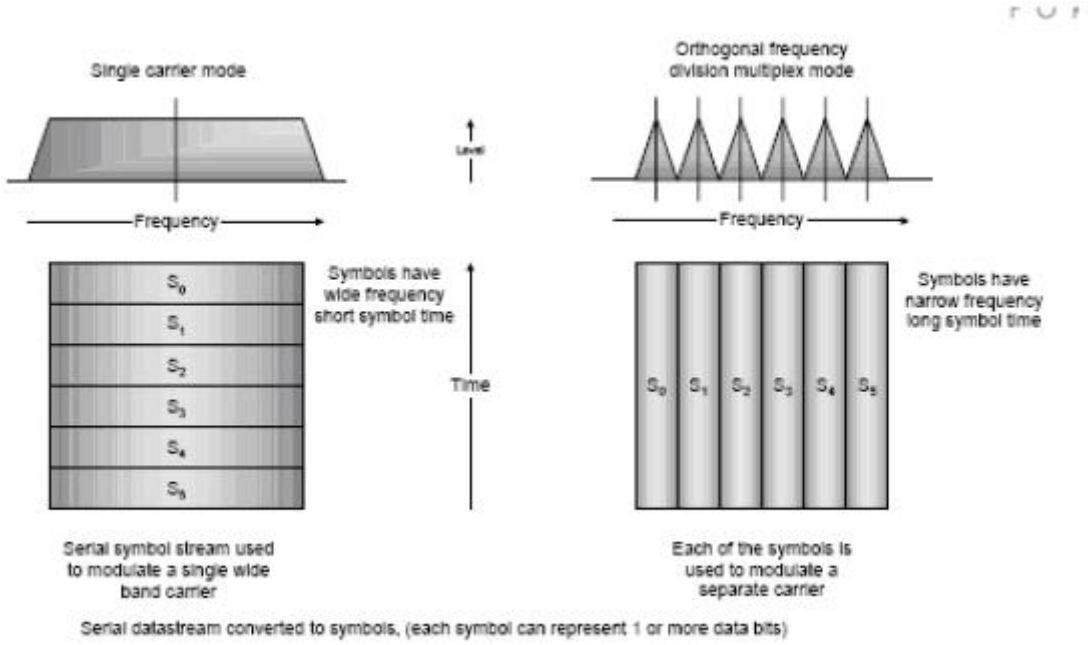
2.1.2.2. <u>เทคโนโลยี OFDM</u>

เทคโนโลยี OFDM แม้จะเป็นหนึ่งในมาตรฐานทางเทคนิคที่แตกแขนงออกมาจากเทคโนโลยี Spread Spectrum ก็ตาม แต่ก็ถือว่ามีการรับส่งข้อมูลแบบ Multiple Carrier Mode ซึ่งหมายถึงการแบ่งย่อยแถบความถี่ออกเป็นแถบย่อย ๆ สำหรับแยกส่งข้อมูลหลาย ๆ ช่อง แตกต่างจากมาตรฐาน Spread Spectrum ทั่วไปที่ใช้แถบความถี่เดียวสำหรับรับส่งข้อมูลช่องเดียว แนวคิดในการสื่อสารแบบ Spread Spectrum ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าให้นำข้อมูลที่ต้องการส่งทั้งหมด ไม่ว่าจะมาจากกี่แหล่งก็ตาม มาทำการมอดูเลตเข้ากับสัญญาณรบกวนเสมือน (Pseudo

Noise) แล้วทำการส่งแบบให้กระจายไปทั่วในแถบความถี่สำหรับรับส่ง ตัวอย่างเช่น ในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มาตรฐาน W-CDMA ซึ่งมีการกำหนดแถบความถี่กว้าง 5 เมกะเฮิตรซ์สำหรับวงจรความถี่หนึ่งช่อง ข้อมูลของผู้ใช้งานทั้งหมดจะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณรบกวนเสมือนแล้วกระจายส่งไปตลอดแถบความถี่ 5 เมกะเฮิตรซ์นั้น ๆ เครื่องรับปลายทางจะทราบเองว่าต้องแยกรับสัญญาณรบกวนเสมือนรหัสใด โดยจะพิจารณาจับข้อมูลที่ต้องการตลอดแถบความถี่ 5 เมกะเฮิตรซ์นั้น ดังแสดงในส่วนซ้ายมือของภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10

ความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบ Single Carrier Mode กับ OFDM



ที่มา : http://www.wimaxforum.org

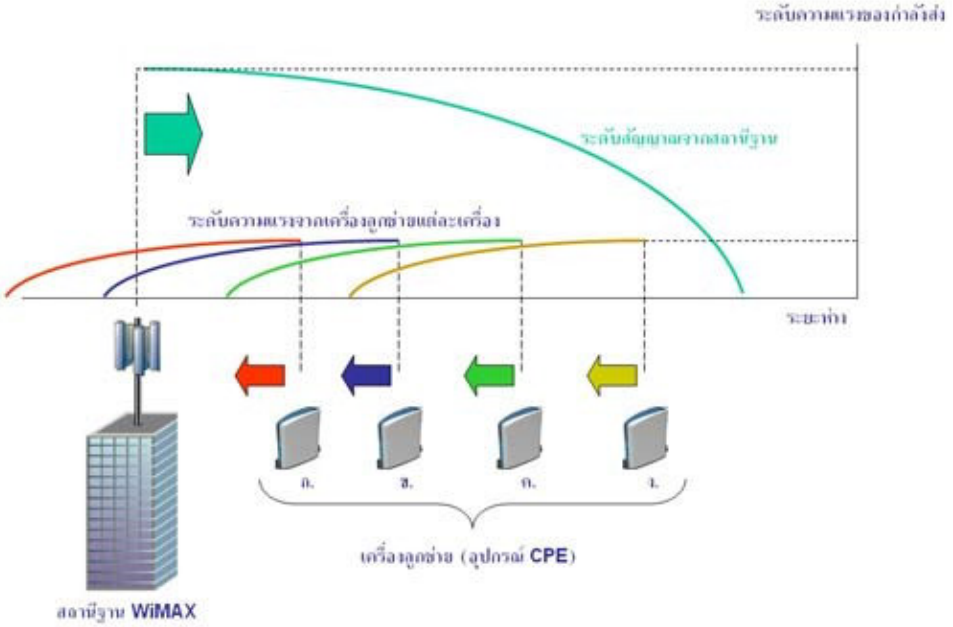
สำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี OFDM จะมีข้อแตกต่างออกไป โดยก่อนส่งจะทำการแบ่งแยกแถบความถี่ออกเป็นแถบความถี่ย่อย ๆ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ต้องการจะส่งมาทำการเรียงลำดับเป็นกลุ่มรหัสข้อมูล (Symbol) โดยเนื้อหาข้อมูลที่อยู่ภายในแต่ละกลุ่มรหัสข้อมูลนั้นไม่จำเป็นว่าจะต้องเป็นข้อมูลของผู้ใช้บริการรายเดียวกัน เปรียบเสมือนการดักน้ำที่ปลายท่อซึ่งต้นทางอาจมีการเก็บสะสมน้ำสีต่าง ๆ จากหลากหลายท่อย่อยที่เทรวมกันมา อธิบายให้ง่ายเข้าก็คือเป็นการเพิ่มเงื่อนไขในการทำงานขึ้นจากมาตรฐาน Spread Spectrum แทนที่จะส่งข้อมูลออกไปในแถบความถี่กว้าง ก็ให้นำข้อมูลมาจัดเป็นกลุ่มรหัสข้อมูลเสียก่อนนั่นเอง กลุ่มรหัสข้อมูลแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปส่งออกอากาศโดยมีการกำหนดแบ่งแยกแถบความถี่ออกเป็นแถบย่อย ๆ มี

จำนวนแถบเท่ากับกลุ่มรหัสข้อมูล ส่วนที่ว่าจะกำหนดให้มีกี่กลุ่มรหัสข้อมูลหรือแถบความถี่ย่อยนั้นก็แล้วแต่ข้อกำหนดของเทคโนโลยีนั้น ๆ จึงคล้ายกับว่ามีการตัดตอนข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ แล้วให้แต่ละกลุ่มส่งขนานกันไปในเวลาเดียวกัน เพียงแต่อยู่ในแถบความถี่ย่อย ๆ ผิดกับมาตรฐาน Spread Spectrum ที่หากคิดแบบเดียวกับ OFDM ว่ามีการจัดกลุ่มรหัสข้อมูลขึ้นเหมือนกัน ก็จะเห็นราวกับว่ามีการส่งกลุ่มรหัสข้อมูลเรียงต่อกันไปตามเวลา มาตรฐาน OFDM จึงคล้ายกับเป็นการคิดนอกกรอบออกจากมาตรฐาน Spread Spectrum โดยมีการส่งข้อมูลในแนวขนานแทนที่จะเป็นการส่งต่อเป็นทอด ๆ หรือที่เรียกกันว่าเป็นอนุกรม

2.1.2.3 <u>เทคโนโลยี Sub-channelization สำหรับความถี่ขาขึ้น</u>

ปัญหาประการสำคัญของการสื่อสารไร้สายก็คือ ความไม่สัมพันธ์กันระหว่างกำลังส่งคลื่นวิทยุของสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย ซึ่งโดยทั่วไป เครื่องลูกข่ายจะมีกำลังส่งที่ต่ำกว่ากำลังส่งของสถานีฐานมาก ดังนั้นในการวางแผนออกแบบโครงข่ายสถานีฐาน ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีชนิดใด โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากผู้ออกแบบไม่ได้คำนวณว่ากำลังส่งจากเครื่องลูกข่ายซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ให้บริการจะส่งมาไม่ถึงสถานีฐานย่อมเกิดขึ้นได้ ทางแก้ไขที่ตรงไปตรงมาก็คือลดพื้นที่ให้บริการของสถานีฐานลง ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มจำนวนสถานีฐานเพื่อให้บริการมากขึ้น วิธีการนี้มิใช่ทางออกที่ดีเนื่องจากเป็นการเพิ่มเงินลงทุนในการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขณะที่รายได้จากการใช้บริการของผู้บริโภคอาจไม่มากพอจะทำให้เกิดจุดคุ้มทุนได้ในระยะเวลาที่กำหนด ในขณะเดียวกันมาตรฐานสากลของ WiMAX Forum ก็มีการกำหนดระดับกำลังส่งสูงสุดของเครื่องลูกข่ายไว้ให้เป็นค่ามาตรฐาน อันอาจจะทำให้เกิดการรบกวนกับอุปกรณ์สื่อสารหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง การออกแบบให้เครื่องลูกข่ายเพิ่มกำลังส่งขึ้นจึงไม่สามารถทำได้ จึงทำให้ต้องมีการคิดค้นหาวิธีการปรับสมดุลระหว่างระยะแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุขาลง (Downlink) ที่ส่งออกมาจากสถานีฐานกับระยะแพร่กระจายในทิศทางขาขึ้น (Uplink) ที่ส่งกลับออกไปจากเครื่องลูกข่าย ซึ่งโดยทั่วไประยะทางในทิศทางขาลงมีค่ามากกว่าขาขึ้นถึง 4 เท่า เนื่องจากเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไปถูกจำกัดกำลังส่งสูงสุดไว้ให้ต่ำกว่ากำลังส่งสูงสุดของสถานีฐาน WiMAX ประมาณ 4 เท่า ในทางปฏิบัติสัดส่วนระยะทางแพร่กระจายอาจมีความแตกต่างมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับกำลังส่งออกอากาศที่แท้จริงของสถานีฐาน WiMAX เป็นสำคัญ

ภาพที่ 2.11 ผลกระทบที่เกิดจากการไม่สมมาตรระหว่างระยะทางแพร่กระจายของสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย WiMAX

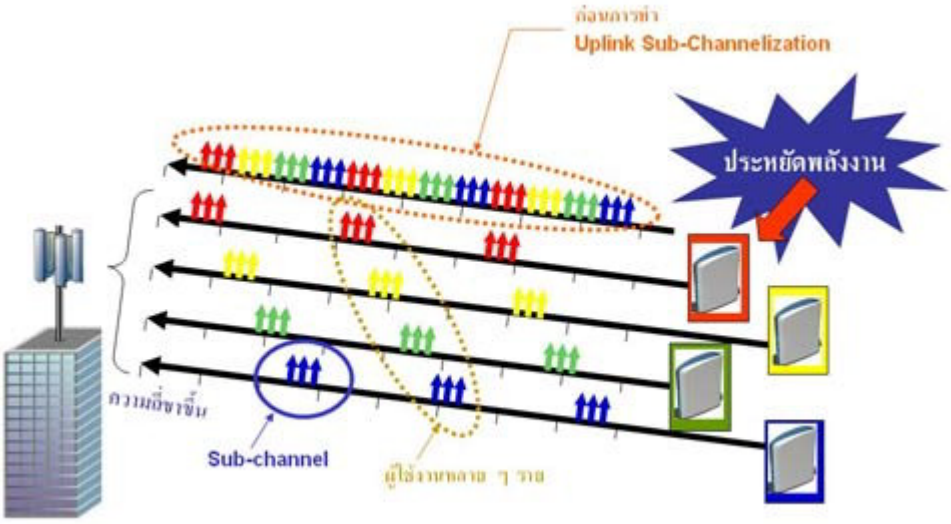


ที่มา : http://www.pairoj.com/?ref=siamphone.com

ภาพที่ 2.11 แสดงถึงปัญหาที่เกิดจากการไม่สมมาตร (Asymmetric) ของระยะทางในการส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย WiMAX และจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังสถานีฐาน จะเห็นว่าเครื่องลูกข่ายทั้ง 4 เครื่องได้รับสัญญาณจากสถานีฐาน WiMAX แม้จะอยู่ห่างจากสถานีฐานในระยะที่แตกต่างกัน แต่ก็ถือว่าอยู่ในระยะที่สามารถรับสัญญาณได้ แต่การที่เครื่องลูกข่ายมีกำลังส่งต่ำกว่าสถานีฐานมากถึง 4 เท่า กลับทำให้ระยะทางในการแพร่กระจายสัญญาณย้อนกลับไปยังสถานีฐานสั้นกว่ามาก แม้จะไม่ถึงกับสั้นกว่า 4 เท่าอันอาจจะมีปัจจัยเสริมจากสภาพภูมิประเทศและบรรยากาศของสภาะแวดล้อม แต่เครื่องลูกข่ายบางเครื่องก็จะประสบปัญหาไม่สามารถส่งสัญญาณไปถึงสถานีฐาน WiMAX ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติอาจแก้ปัญหาโดยการเพิ่มความไวในวงจรภาครับ (Receive Sensitivity) ของอุปกรณ์สถานีฐาน WiMAX แต่การกระทำดังกล่าวก็จะเพิ่มความแรงของสัญญาณรบกวนที่ปะปนมากับสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง บางครั้งอาจประสบกับปัญหาสัญญาณรบกวนสูงจนไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ถูกต้องจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ห่างไกลได้

ภาพที่ 2.12

ข้อดีของเทคโนโลยี Sub-channelization สำหรับความถี่ขาขึ้น



ที่มา : http://www.pairoj.com/?ref=siamphone.com

ทางแก้ไขทำได้โดยการเพิ่มกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายให้เทียบเท่ากับสถานีฐาน แต่การเพิ่มกำลังส่งดังกล่าวก็มิได้กระทำทุกย่านความถี่ที่เป็นความถี่ขาขึ้น หากแต่เป็นการออกแบบจัดสรรย่านความถี่ออกเป็น 4 กลุ่มหรืออาจจะมากน้อยกว่านั้น ตามแต่การออกแบบของผู้ให้บริการโครงข่าย เนื่องจากในการให้บริการ WiMAX นั้น ทั้งสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายจะมีการใช้งานความถี่เป็นแถบกว้าง โดยมีการแบ่งซอยความถี่ย่อยตามข้อกำหนด OFDM สำหรับการแก้ไขปัญหานั้นก็เพียงกำหนดให้แบ่งเครื่องลูกข่ายออกเป็นกลุ่ม โดยมีจำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนกลุ่มความถี่ที่ได้รับการกำหนดจัดไว้ ทั้งนี้เครื่องลูกข่ายทั้งหมดในแต่ละกลุ่มจะส่งสัญญาณออกมาด้วยกำลังส่งที่สูงมากเทียบเท่ากำลังส่งออกจากสถานีฐานเฉพาะในย่านความถี่ที่ตนได้รับการจัดสรรเท่านั้น ส่วนในย่านความถี่อื่น ๆ เครื่องลูกข่ายก็จะไม่ส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา ในภาพรวมจึงเป็นเสมือนกับว่าเครื่องลูกข่ายใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่าเดิม ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.12 อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้เทคนิค Sub-channelization ขีดความสามารถหรือแบนด์วิดท์ในการสื่อสารของเครื่องลูกข่ายก็จะลดลง เนื่องจากมีการจำกัดย่านความถี่ในการส่งสัญญาณจากที่เคยส่งได้ตลาดย่านความถี่ ผลก็คือจะทำให้อัตราเร็วในการสื่อสารในทิศทางขาขึ้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด เทคนิคการแก้ปัญหาแบบ Sub-channelization เหมาะสำหรับการให้บริการ WiMAX แบบประจำที่ โดยผู้ให้บริการสามารถเลือกกำหนดไม่ให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กันอยู่ในกลุ่มที่ต้องส่งสัญญาณความถี่วิทยุกลุ่มเดียวกัน เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณขาขึ้นจากเครื่องลูกข่ายแต่ละ

เครื่องรบกวนกันเอง นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้รองรับการใช้งานแบบพกพาและการใช้งานขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงตามลำดับ

2.1.2.4 ระบบสายอากาศในการใช้งาน WiMAX แบบประจำที่

เพื่อเพิ่มอัตราขยายสัญญาณให้กับสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย WiMAX ในกรณีของการแพร่กระจายแบบ NLOS กับกลุ่มผู้ใช้งานแบบประจำที่ ผู้ให้บริการโครงข่ายอาจทำการติดตั้งสายอากาศแบบกำหนดทิศทาง (Directional Antenna) ซึ่งในทางปฏิบัติก็เป็นสายอากาศที่มีพื้นที่ให้บริการตามมุมการยิงสัญญาณ (Beamwidth) แต่มีข้อดีในเรื่องของอัตราขยายที่ทำให้ส่งสัญญาณได้ไกลมากขึ้น และเพิ่มความไวในการรับสัญญาณที่ส่งย้อนกลับมาจากอุปกรณ์ปลายทาง นอกจากนั้นยังมีสายอากาศบางรุ่นที่ช่วยแก้ผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณสะท้อนหลายทิศทาง (Multi-path Signal) ซึ่งตกกระทบเข้ามาในมุมอับสัญญาณของสายอากาศ ทำให้สัญญาณเหล่านั้นถูกกรองทิ้งไปโดยปริยาย ช่วยลดความรุนแรงของปรากฏการณ์ Multi-path Fading

นอกจากในปัจจุบันนั้นยังมีการนำระบบสายอากาศอัจฉริยะที่มีชื่อเรียกทางเทคนิคว่า Adaptive Antenna System หรือ AAS เข้าเป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งสามารถโปรแกรมให้สายอากาศปรับตำแหน่งโฟกัสสำหรับให้สถานีฐาน WiMAX ส่งสัญญาณไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งหรือหลาย ๆ ทิศทาง เป็นการจำกัดหรือเลือกกลุ่มเครื่องลูกข่ายตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ และในทางกลับกันก็สามารถโปรแกรมให้สายอากาศเลือกรับสัญญาณเฉพาะในทิศทางที่ต้องการ ถือเป็นการลดระดับการรบกวนของสัญญาณที่เดินทางมาจากทิศทางอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ

2.1.2.5 เทคโนโลยี Diversity

เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณที่สะท้อนจากสิ่งกีดขวางหลายๆ ทิศทางหรือ Multi-path Fading แม้เทคโนโลยี Diversity จะเป็นสิ่งที่ใช้งานกันมากในรูปของการติดตั้งสายอากาศ 2 ชุดแยกจากกันเป็นระยะที่เหมาะสม (เช่นห่างกันเป็นระยะทาง10 เท่าของความยาวคลื่นที่ใช้ในการรับส่ง) ซึ่งพบในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ในกรณีของมาตรฐาน WiMAX นั้นได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมหรือสมการทางคณิตศาสตร์แล้วโปรแกรมไว้ภายในอุปกรณ์สถานีฐานและเครื่องลูกข่าย ทั้งในภาคส่งและภาครับสัญญาณ เพื่อให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณคลื่นวิทยุที่สามารถส่งออกไปยังอุปกรณ์ปลายทาง โดยมีความ

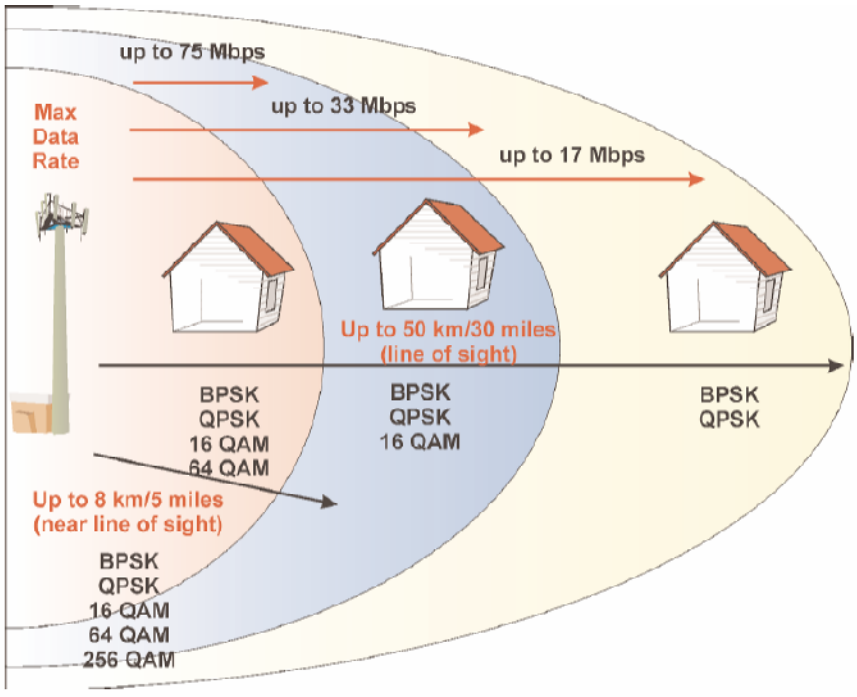
แตกต่างจากสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ และเครื่องรับสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างสัญญาณจริงที่เดินทางมาจากอุปกรณ์ต้นทางโดยตรง กับบรรดาสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.1.2.6 เทคโนโลยี Adaptive Modulation

มาตรฐานสื่อสารโดยทั่วไป เช่น โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือโครงข่าย Wi-Fi มักกำหนดให้ใช้เทคโนโลยีการมอดูเลตสัญญาณทางคลื่นวิทยุแบบใดแบบหนึ่งตายตัว แต่สำหรับเทคโนโลยี WiMAX ซึ่งได้รับการออกแบบมาให้รองรับกลุ่มผู้ใช้งานจำนวนบนพื้นที่ให้บริการกว้าง ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้งาน ระดับคุณภาพของสัญญาณที่ปรากฏขึ้นในภาครับของสถานีฐาน หรือภาครับของเครื่องลูกข่าย ระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐาน รวมถึงระดับความแรงของสัญญาณรบกวนในอากาศ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณภาพในการสื่อสารใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ WiMAX Forum จึงกำหนดให้โครงข่าย WiMAX เปิดกว้างที่จะใช้เทคโนโลยีการมอดูเลตสัญญาณได้หลาย ๆ ชนิด ไม่ว่าจะเป็น BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) และ 64QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation)

ภาพที่ 2.13

การมอดูเลตสัญญาณแบบต่าง ๆ และผลกระทบต่อพื้นที่ให้บริการ



การมอดูเลตก็คือการแปลงสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) ซึ่งได้แก่ข้อมูลข่าวสารที่ผู้ใช้บริการต้องการใช้งาน มาผ่านกระบวนการแปลงให้อยู่ในรูปองค์ประกอบส่วนใดส่วนหนึ่งของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่มีความถี่สูงขึ้น ซึ่งในทางเทคนิคเรียกว่า “สัญญาณพาหะ” หรือ Carrier Frequency โดยการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสัญญาณต้นทาง (เช่น บิต “0” และ “1”) จะเป็นความเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งของสัญญาณพาหะ เช่น เปลี่ยนขนาดความแรง เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ หรือเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณ การมอดูเลตสัญญาณแต่ละชนิดก็มีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนไม่เท่ากัน กล่าวโดยง่าย การมอดูเลตในเชิงแอปลิจูดหรือการเปลี่ยนแปลงขนาดความแรงของสัญญาณพาหะ เช่น เทคนิคแบบ QAM มีโอกาสถูกรบกวนได้ง่ายกว่า การมอดูเลตในเชิงเฟส เช่น เทคนิคแบบ PSK ต่างๆ เป็นต้น

ข้อกำหนด WiMAX ให้ใช้เทคโนโลยีการมอดูเลตแบบปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ (Adaptive Modulation) โดยอุปกรณ์เครื่องรับส่งทั้งของเครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน สามารถปรับเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณได้ โดยพิจารณาจากระดับคุณภาพของการรับสัญญาณ ซึ่งโดยทั่วไปวัดจากระดับความแรงของสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) มีชื่อเรียกเป็นทางการว่า S/N หรือ SNR เมื่อใดที่ระดับความแรงของสัญญาณรบกวนต่ำ (S/N มีค่าสูง) โครงข่ายก็จะปรับไปใช้การมอดูเลตที่ให้อัตราเร็วในการสื่อสารสูง เช่น ใช้การมอดูเลตแบบ 64 QAM แต่หากสัญญาณรบกวนมีความแรงเพิ่มขึ้น เช่น สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง หรือมีจำนวนผู้ใช้งาน WiMAX มากขึ้น เป็นผลให้เครื่องลูกข่ายเริ่มส่งสัญญาณรบกวนกันเอง โครงข่าย WiMAX ก็จะปรับเปลี่ยนรูปแบบการมอดูเลตให้เหมาะสม เช่น หากสัญญาณรบกวนสูงมาก ๆ (S/N มีค่าต่ำมาก ๆ) โครงข่ายก็อาจจะเปลี่ยนไปใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ BPSK ซึ่งเป็นการมอดูเลตสัญญาณที่ต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการมอดูเลต ย่อมส่งผลต่อพื้นที่ให้บริการของสถานีฐานด้วย เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณแบบที่ดีที่สุด ซึ่งรองรับการสื่อสารด้วยอัตราเร็วสูงสุด (เช่น 64 QAM) ย่อมได้รับผลกระทบจากระดับความแรงของสัญญาณไวกว่าการมอดูเลตแบบที่รับประกันอัตราเร็วในการสื่อสารต่ำที่สุด (เช่น BPSK) การเลือกว่าจะกำหนดให้โครงข่าย WiMAX มีการทำงานแบบ Adaptive Modulation หรือไม่นั้น ย่อมส่งผลต่อรูปแบบการให้บริการโดยตรง และผู้ให้บริการโครงข่ายต้องให้ความสำคัญกับการสำรวจ (Drive Test) คุณภาพการแพร่กระจายสัญญาณอย่างยิ่ง

2.1.2.7 เทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ

นอกเหนือจากเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่มีการผนวกเข้าไว้เป็นมาตรฐานทางเทคนิคของ WiMAX ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีการนำเทคนิคพิเศษทางวิศวกรรมมาเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐาน WiMAX ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล (Error Correction) ที่มีการรับส่งผ่านทางความถี่คลื่นวิทยุ ทั้งนี้เพื่อช่วยเพิ่มระดับความถูกต้องของสัญญาณข่าวสารให้สูงกว่าระดับสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจเกิดจากตัวอุปกรณ์สื่อสารเอง และจากสภาวะแวดล้อม ทั้งนี้มีการนำมาตรฐานการเข้ารหัสหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน Reed Solomon FEC, Convolution Coding รวมถึงเทคโนโลยีสลับรหัสข้อมูลดิจิตอลแบบอินเทอร์ลีฟวิ่ง (Interleaving) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในมาตรฐานรับส่งสัญญาณผ่านความถี่คลื่นวิทยุของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มาเพื่อใช้ตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่มีการส่งผ่านความถี่คลื่นวิทยุ ทำให้สามารถเพิ่มอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลให้สูงขึ้น

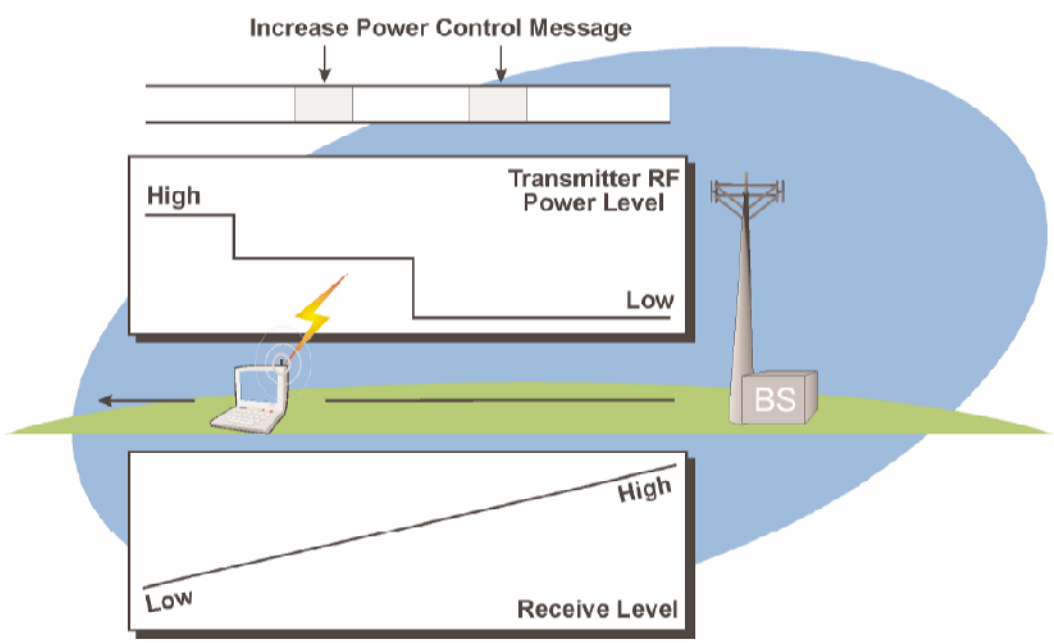
นอกจากนั้น ในการเปิดให้บริการโครงข่าย WiMAX โดยทั่วไป เนื่องจากเครื่องลูกข่ายไม่ว่าจะเป็นเครื่องลูกข่ายแบบ CPE ในระยะแรกของการให้บริการ (ตามมาตรฐาน IEEE 802.16d) หรือเป็นเครื่องลูกข่ายชนิดพกพาและคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (ตั้งแต่มาตรฐาน IEEE 802.16e เป็นต้นไป) จะพบว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการของสถานีฐาน WiMAX ล้วนมีตำแหน่งที่อยู่กระจัดกระจาย และอยู่ห่างจากสถานีฐานเป็นระยะทางแตกต่างกัน การที่เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องทำการส่งสัญญาณขาขึ้นกลับมายังสถานีฐานด้วยระดับความแรงของสัญญาณคงที่ ไม่ว่าจะมีการใช้เทคโนโลยี Sub-channelization หรือไม่ เมื่อพิจารณาในภาพรวมจะพบว่าสถานีฐานย่อมต้องได้รับสัญญาณขาขึ้นในระดับความแรงที่แตกต่างกัน และมีโอกาสที่จะได้รับสัญญาณที่มีความแรงสูงจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้ ๆ สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐานอาจแพร่กระจายผ่านสถานีฐานนั้นๆ ไปสร้างการรบกวนต่อพื้นที่ให้บริการของสถานีฐาน WiMAX ที่อยู่ใกล้เคียงได้ กลายเป็นปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ข้างเคียง (Adjacent Channel Interference) กับสถานีฐานอื่น ๆ

ดังนั้นมาตรฐาน WiMAX นับตั้งแต่ IEEE 802.16d จึงมีการเพิ่มกลไกการควบคุมกำลังส่ง (Power Control) โดยสถานีฐาน WiMAX จะแจ้งให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการได้ทราบว่า สถานีฐานแห่งนี้บังคับให้มีการควบคุมกำลังส่งหรือไม่ ทั้งนี้สถานีฐานจะส่งสัญญาณนำร่องพร้อมกับระบุระดับความแรงขั้นต่ำที่สถานีฐานยังสามารถประมวลผลข้อมูลที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายได้ เพื่อให้เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องคำนวณหาระยะห่างระหว่างตนเองกับสถานีฐาน เมื่อ

ทราบระยะห่างแล้วก็จะสามารถคำนวณหาระดับความแรงของการส่งสัญญาณ เพื่อให้ข้อมูลที่ไปถึงสถานีฐานมีระดับความแรงที่สามารถนำไปใช้งานได้ ภาพที่ 2.14 แสดงกระบวนการดังกล่าว

ภาพที่ 2.14

กลไกการควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Power Control)



ที่มา : Lawrence Harte. Introduction to 802.16 WiMAX, ALTHOS Publishing, Inc., 2006.

จากภาพจะเห็นว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐาน WiMAX ที่สุด จะลดกำลังส่งของตนลงให้เหลือกำลังส่งออกที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ไกลออกไป ระดับความแรงของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายทั้งหมดภายในพื้นที่ให้บริการ ที่ไปปรากฏอยู่ ณ ตำแหน่งสายอากาศของสถานีฐานจึงมีระดับใกล้เคียงกัน และลดโอกาสที่จะมีสัญญาณขาขึ้นจากเครื่องลูกข่ายเครื่องใดเครื่องหนึ่งแรงจนเลยไปรบกวนสถานีฐานอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง ทั้งนี้ในกรณีที่มีการใช้เทคนิค Sub-channelization ก็อาจมีผลทำให้เกิดการรบกวนเพิ่มขึ้นบ้างแต่ไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องลูกข่ายจะเร่งกำลังส่งขึ้นเพื่อชดเชยกับแถบความถี่ที่ถูกจำกัดไปดังได้กล่าวถึงแล้ว

จากการผสมผสานทางด้านเทคนิคต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้เทคโนโลยี WiMAX มีคุณสมบัติเด่นดังต่อไปนี้

- เรื่องของความเร็ว สำหรับ WiMAX นั้น ได้ให้อัตราความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลมากถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) โดยใช้กลไกการเปลี่ยนคลื่นสัญญาณที่ให้ประสิทธิภาพสูง สามารถส่งสัญญาณออกไปได้ในระยะทางไกลมากถึง 30 ไมล์ หรือประมาณ 50

กิโลเมตร ภายใต้คลื่นความถี่ระดับสูงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ทั้งก็ยังไม่มีปัญหาเรื่องของสัญญาณสะท้อนอีกด้วย นอกจากนั้นแล้ว สถานีฐาน(Base Station) ยังสามารถพิจารณาความเหมาะสมในระหว่างความเร็ว และระยะทางได้อีก ตัวอย่างเช่น ถ้าหากการใช้เทคนิคในแบบ 64 QAM (Quadarature Amplitude Modulation) ไม่สามารถรองรับการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพได้ การเปลี่ยนไปใช้ 16 QAM หรือ QPSK (Quadarature Phase Shift Key) ซึ่งจะช่วยเพิ่มระยะทางการในการสื่อสารให้มากขึ้นได้

- การบริการที่ครอบคลุม นอกจาก WiMAX จะใช้เทคนิคของการแปลงสัญญาณที่ให้ความคล่องตัวในการใช้งานสูง และเปี่ยมประสิทธิภาพแล้ว มาตรฐาน IEEE 802.16a ก็ยังสามารถรองรับการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีซึ่งขยายพื้นที่การให้บริการให้กว้างขวางมากขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ระบบโครงข่ายที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบผสมผสาน (Mesh Topology) และเทคนิคการใช้งานกับเสาอากาศแบบอัจฉริยะ (Smart Antenna) ที่ช่วยประหยัดต้นทุนและเพิ่มอัตราความเร็วของการรับส่งสัญญาณที่ให้สมรรถนะในการทำงานน่าเชื่อถือสูง

- ความสามารถในการขยายระบบ WiMAX นั้นมีความสามารถในเรื่องการรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ สำหรับการสื่อสารได้ด้วยความยืดหยุ่น โดยสามารถปรับให้สอดคล้องกับแผนการติดตั้งเซลล์ในย่านความถี่ที่ต้องจ่ายค่าลิขสิทธิ์ หรือ ย่านความถี่ที่ได้รับการยกเว้นค่าลิขสิทธิ์ทั่วโลก อาทิเช่น ถ้าโอเปอเรเตอร์ที่ให้บริการนั้นได้รับคลื่นความที่ 20 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ก็สามารถที่จะทำการแบ่งคลื่นความถี่นี้ออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนนั้นอยู่ที่ 10 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) หรือจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 5 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ก็ได้ ทำให้โอเปอเรเตอร์สามารถบริหารจัดการแต่ละส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังเพิ่มเติมผู้ใช้งานในแต่ละส่วนได้อีกด้วย

- การจัดลำดับความสำคัญของงานบริการ (QoS - Quality of Service) สำหรับระบบโครงข่ายไร้สายมาตรฐาน WiMAX นี้ มีคุณสมบัติด้าน QoS (Quality of Service) ที่รองรับการทำงานของบริการสัญญาณเสียงและสัญญาณวิดีโอ ซึ่งต้องการระบบโครงข่ายที่ไม่สามารถทำงานด้วยความล่าช้าได้ บริการเสียงของ WiMAX นี้ อาจจะอยู่ในรูปของบริการ Time Division Multiplexed (TDM) หรือบริการในรูปแบบ Voice over IP (VoIP) ก็ได้ โดยโอเปอเรเตอร์สามารถกำหนดระดับความสำคัญของการใช้งานให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานต่างๆ อาทิ สำหรับบริการให้องค์กรธุรกิจ ผู้ใช้งานตามบ้านเรือน เป็นต้น

- ระบบรักษาความปลอดภัย นับเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยคุณสมบัติของการรักษาความลับของข้อมูลและการเข้ารหัสข้อมูล ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน WiMAX ที่

จะช่วยให้การสื่อสารมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แถมยังมีระบบตรวจสอบสิทธิการใช้งานและมีระบบการเข้ารหัสข้อมูลในตัวด้วย

รูปแบบการใช้งาน WiMAX ในส่วนต่างๆ ของระบบสื่อสาร

- ระบบบรอดแบนด์ตามความต้องการ (Broadband on-demand) สำหรับระบบโครงข่ายไร้สายมาตรฐาน WiMAX นั้น จะช่วยให้เหล่าโอเปอเรเตอร์ต่างๆ สามารถจัดสรรงานบริการที่มีความเร็วสูงเทียบเท่าระบบโครงข่ายแบบใช้สายได้ โดยใช้เวลาการติดตั้งที่น้อยกว่า มีราคาที่ถูกกว่ามาก นอกจากนั้น WiMAX ก็ยังช่วยให้มีการจัดเตรียมการใช้งานระบบสื่อสารความเร็วสูงในรูปแบบตามความต้องการได้ในทันทีทันใด โดยรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการทำงานในแบบชั่วคราว อาทิเช่น การจัดนิทรรศการ การจัดงานงานประชุม การจัดงานแสดงสินค้า เป็นต้น

- ระบบการสื่อสารบรอดแบนด์สำหรับที่พักอาศัย ขณะที่เทคโนโลยีการใช้งานสายเคเบิลและเทคโนโลยี DSL ที่ถูกใช้งานในปัจจุบันนั้นมีช่องว่างในการใช้งานมาก ด้วยข้อจำกัดของการวางโครงข่ายที่มีอยู่และต้นทุนของการวางระบบ ทำให้ไม่สามารถให้บริการกับผู้ที่ต้องการใช้งานจำนวนมากซึ่งต้องการระบบการสื่อสารระดับบรอดแบนด์ได้ แต่ข้อจำกัดเหล่านี้จะถูกทลายลงเมื่อมีการเปิดตัวระบบที่อ้างอิงกับมาตรฐาน WiMAX ออกมา โดยแอพพลิเคชันสำหรับการสื่อสารบรอดแบนด์ไร้สาย WiMAX จะช่วยให้สามารถพัฒนางานต่างๆ ที่สนองตอบความต้องการการใช้งานบรอดแบนด์ในรูปแบบต่างๆ ได้

- พื้นที่ซึ่งบริการเข้าไม่ถึง นับว่าเทคโนโลยีระบบการสื่อสารอินเทอร์เน็ตไร้สายความเร็วสูงที่ได้อ้างอิงกับมาตรฐาน WiMAX นี้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกล ในเขตที่มีข้อจำกัดของการเดินสายนำสัญญาณในระบบ DSL

- บริการการสื่อสารแบบไร้สายคุณภาพสูง มาตรฐานIEEE 802.16e ซึ่งเป็นส่วนต่อเติมของ IEEE 802.16a นั้นเป็นคุณสมบัติแบบพิเศษที่พัฒนาขึ้นมาให้รองรับการใช้งานในแบบที่ต้องเคลื่อนที่ตลอดเวลา เหมาะสำหรับอุปกรณ์ในแบบพกพาสำหรับการเดินทาง ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานยังสามารถสื่อสารได้โดยให้คุณภาพในการสื่อสารที่ดีและมีเสถียรภาพขณะใช้งาน แม้ว่ามีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาก็ตาม

- การส่งสัญญาณแบบ Cellular Backhaul ด้วยแบนด์วิดท์การใช้งานของ WiMAX ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ จึงทำให้มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งกับการที่จะนำมาใช้งานให้รองรับการส่งสัญญาณในแบบย้อนกลับไปยังสถานีฐานระบบเซลลูลาร์ ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารกันในแบบจุดต่อจุดได้

2.1.3 <u>แนวความคิดความคาดหวังของผู้บริโภคที่มีต่อเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย</u>

Victor Vroom (อ้างถึงใน กิติมา สุรสนธิ, 2535, น.43) ได้เสนอทฤษฎีการคาดหวัง หรือที่มีชื่อย่อเรียกกันทั่วไปว่า V.I.E. Theory ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ

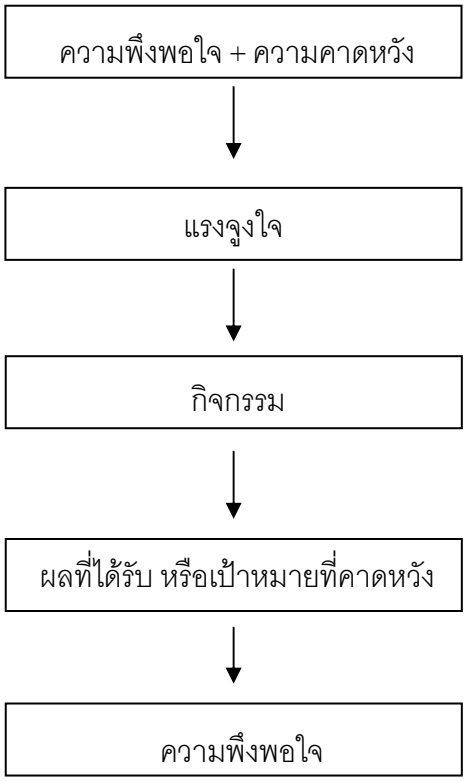
V มาจากคำว่า Valance หมายถึง ความพึงพอใจ

I มาจากคำว่า Instrumentality หมายถึง สื่อ เครื่องมืออุปกรณ์ที่จะนำไปสู่ความพึงพอใจ

E มาจากคำว่า Expectancy หมายถึง ความคาดหวังภายในตัวบุคคลนั้นๆ ซึ่งบุคคลจะมีความคาดหวังในหลายๆระดับ นับตั้งแต่ปัจจัย 4 จนไปถึงการประสบความสำเร็จในชีวิต ซึ่งความคาดหวังอาจจะเป็นไปในทางบวกหรือทางลบก็ได้

ภาพที่ 2.15

ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบจาก V.I.E. Theory

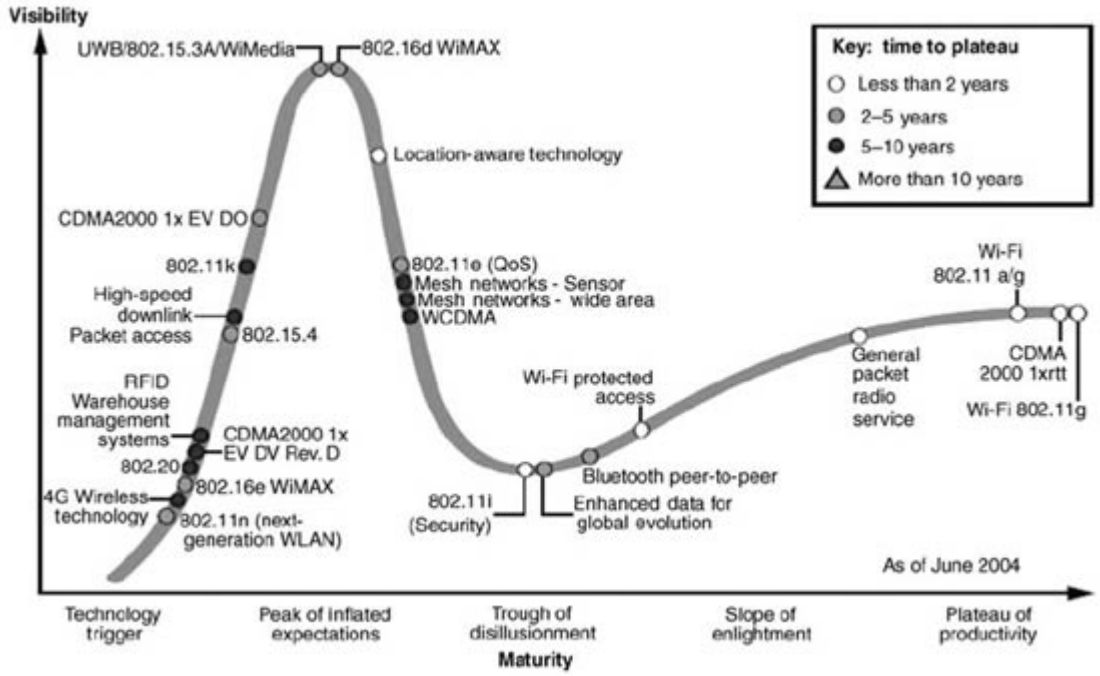


จากภาพแสดงให้เห็นว่า เมื่อบุคคลตั้งความคาดหวัง หรือต้องการมีความพึงพอใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งไว้ก็จะทำให้เกิดแรงจูงใจ และหาวิธีการที่จะตอบสนองแรงจูงใจนั้น โดยวิธีการใด

วิธีการหนึ่ง ซึ่งอาจออกมาในรูปของกิจกรรมต่างๆ ภายหลังจากที่ได้กระทำสิ่งนั้นไปแล้ว ก็จะได้รับผลตามเป้าหมายที่วางไว้ และเกิดความพึงพอใจในที่สุด แต่หากวิธีการที่บุคคลกระทำไม่สามารถบรรลุความคาดหวังได้ก็จะทำให้เกิดความไม่ถึงพอใจขึ้น อันก่อให้เกิดความไม่สบายใจ ไม่สบายกาย เกิดความไม่สมดุลย์ขึ้นได้

ภาพที่ 2.16

วัฏจักรความคาดหวังของผู้บริโภคในเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย



ที่มา : ข้อมูล Hype Circle for Wireless Network, 2004 จาก Gartner Inc.

โดยทั่วไปความคาดหวังของผู้บริโภคที่มีต่อเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ นั้นมักจะมีมากเกินกว่าที่ขีดความสามารถของโครงข่ายเอง เทคโนโลยีหลายชนิดที่ได้รับการสร้างขึ้นด้วยหลักการที่ดีทางวิศวกรรม แต่ไม่สามารถพัฒนาต่อไปเป็นสินค้าในเชิงพาณิชย์ได้ หรือแม้เป็นสินค้าในเชิงพาณิชย์แล้วแต่กลับไม่ประสบความสำเร็จในทางการตลาด ส่วนหนึ่งเป็นเพราะความคาดหวังที่มากเกินไปของผู้บริโภค ซึ่งภาพที่ 2.16 แสดงถึงวัฏจักรความคาดหวัง หรือ Hype Circle ซึ่งเริ่มจากการกระตุ้นหรือเปิดตัวเทคโนโลยีใหม่โดยผู้ผลิต (Technology trigger) อันจะส่งผลให้เกิดกระแสการกล่าวถึงและมีความคาดหวัง (Peak of Inflated Expectation) ในเทคโนโลยีนั้น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นการคาดหวังที่มากเกินกว่าที่เทคโนโลยีในขณะนั้นจะพึงให้ได้ อันจะทำให้ผู้บริโภครู้สึกผิดหวังและไม่ศรัทธาในเทคโนโลยีนั้น (Trough of Disillusionment)

หลายๆ เทคโนโลยีอาจได้รับการพัฒนามากขึ้น พร้อม ๆ กับมีการประชาสัมพันธ์ในทิศทางที่ถูกต้อง ประจวบกับความพร้อมของปัจจัยเกื้อหนุนหลาย ๆ ประการ จนทำให้ผู้บริโภคเริ่มคุ้นเคยและค่อย ๆ ยอมรับ (Slope Enlightment) และกลายเป็นเทคโนโลยีที่อยู่ตัว (Plateau of Productivity) ในที่สุด ดังเช่นเทคโนโลยี Wi-Fi มาตรฐาน IEEE802.11a/b/g ที่ปัจจุบันได้รับการติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คทั่วไป ทั้ง ๆ ที่ในอดีตเคยถูกมองว่าไม่มีประสิทธิภาพ

ประเด็นสำคัญก็คือวัฏจักรความคาดหวังในภาพที่ 2.16 ซึ่งสะท้อนภาพเหตุการณ์ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2547 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี WiMAX กำลังอยู่ในช่วงที่ได้รับการถึงและมีการคาดหวังมากที่สุด ซึ่งแน่นอนว่าในช่วงเวลานั้น WiMAX ยังไม่สามารถรองรับการสื่อสารในขณะกำลังเคลื่อนที่ได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังไม่มีการผลิตอุปกรณ์โครงข่ายหรือแม้กระทั่งเครื่องลูกข่ายในเชิงพาณิชย์ทั้งสิ้น ผลที่ตามมาก็คือการเสื่อมศรัทธาในเทคโนโลยีดังกล่าว ในช่วงเวลานั้นจึงจัดให้เทคโนโลยี WiMAX อยู่ในกลุ่มที่ต้องใช้เวลาประมาณ 2-5 ปี กว่าที่จะได้รับการยอมรับและประสบความสำเร็จในตลาดโทรคมนาคม ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นจริง ก็ย่อมหมายความว่าเทคโนโลยี WiMAX จะเริ่มได้รับการยอมรับตั้งแต่ พ.ศ. 2549 และน่าจะประสบความสำเร็จจนกลายเป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายอีกชนิดหนึ่งที่มีส่วนแบ่งการตลาดสูงสุดภายใน พ.ศ. 2552 และในความเป็นจริงนั้น อุปกรณ์โครงข่ายและเครื่องลูกข่าย WiMAX ก็เริ่มมีการจำหน่ายและได้รับการติดตั้งในโครงข่ายของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมาตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2549 จึงมีความเป็นไปได้ที่ WiMAX กำลังก้าวเข้าสู่การเป็นมาตรฐานสื่อสารไร้สายสากลภายในเวลาไม่นานนัก

2.1.4 <u>แนวคิดและทฤษฎีของวัฏจักรเทคโนโลยี</u>

การพัฒนาอุตสาหกรรมจากระยะเริ่มต้น สู่ระยะอิ่มตัวและระยะเสื่อมถอย มีความแตกต่างกัน คือ ในระยะเริ่มตน เป็นระยะเริ่มวางแผนการผลิต การจำหน่าย ลักษณะบรรจุภัณฑ์ การโฆษณาและการส่งเสริมการขาย เช่น การให้ส่วนลดและการบริการหลังการขาย ระยะอิ่มตัวเป็นระยะที่เกิดคู่แข่งทางธุรกิจมากขึ้น และผู้ที่ผลิตสินค้าคุณภาพดีในราคาถูกก็จะเป็นผู้ครองตลาดหรือมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงกว่า ระยะเสื่อมถอยเป็นระยะที่มีการทดแทนเกิดขึ้น ซึ่งสินค้าเดิมจะถูกทดแทนด้วยสินค้าใหม่ โดยเกิดจากปัจจัยสำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงของความต้องการ และรสนิยมของผู้บริโภค และการเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากรศาสตร์ ผลิตภัณฑ์มีวงจรชีวิต (Life cycle) คือ มีเกิดขึ้น เจริญเติบโตและสูญหายไปเหมือนกับชีวิตมนุษย์ที่มีเกิด เติบโตและตายไป ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเมื่อได้รับการพัฒนาขึ้นมาเป็นผลิตภัณฑ์

ใหม่และเมื่อนำไปวางตลาดแล้ว ผลิตภัณฑ์ก็จะค่อย ๆ เติบโต จนกระทั่งถึงระดับสูงสุดแล้วจึงค่อย ๆ เสื่อมความนิยมและสูญหายไปจากความสนใจตลาด

2.1.5 ทฤษฎีเทคโนโลยีและกลยุทธ์ทางนวัตกรรม เทคโนโลยี S-curve

ทฤษฎีเทคโนโลยีและกลยุทธ์ทางนวัตกรรมเทคโนโลยี S-curve จะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี และวงจรชีวิตของเทคโนโลยี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลต่อการแข่งขันในตลาด โดยปกติบริษัทต่างๆจะไม่สามารถทำนายผลของนวัตกรรมของตัวเองหรือคู่แข่งขันได้ ดังนั้นบริษัทเหล่านี้จะต้องเผชิญกับความเสี่ยง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีหลัก

2.1.6 แนวคิดและทฤษฎีของคุณภาพ

Dale H. Besterfield (Total Quality Management, 1995, น.6) ได้เสนอทฤษฎีและความหมายของคุณภาพตามมาตรฐานของ ANSI/ASQC ว่า “คุณภาพ คือลักษณะทั่วไปและลักษณะพิเศษของสินค้าและบริการ ซึ่งสามารถที่จะทำให้เกิดความพอใจต่อความต้องการที่แท้จริง หรือความต้องการโดยนัย ความต้องการที่แท้จริงถูกกำหนดโดยพันธะสัญญาที่เรียกว่าข้อจำกัด ความต้องการโดยนัย ต้องได้รับการระบุและกำหนดขอบเขตออกมา ความต้องการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับ ความปลอดภัย (Safety) ความหามาได้ (Availability) สามารถรักษาไว้ได้ (Maintainability) ความไว้วางใจได้ (Reliability) ความสามารถในการใช้ (Usability) ราคา (Price) และสภาพแวดล้อม (Environment) ราคาถูกกำหนดได้ง่ายในรูปของหน่วยเงินตรา ความต้องการอื่นถูกกำหนดโดยการแปลลักษณะ และลักษณะพิเศษ สำหรับการผลิตสินค้าหรือการส่งมอบบริการไปยังสิ่งที่กำหนด การทำให้สินค้าหรือบริการเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด (Conformance) เป็นสิ่งที่วัดได้ และให้ความหมายของการปฏิบัติงานทางคุณภาพ ถ้าสิ่งที่กำหนดขึ้นไม่ได้ทำให้เกิดความพึงพอใจตามความต้องการของลูกค้า (ความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน) ควรจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความต้องการมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น เราจึงจำเป็นจะต้องมีการประเมินถึงสิ่งที่กำหนดไว้เป็นระยะๆ โดยวิธีการสำรวจจากลูกค้า
มิติของคุณภาพมีลักษณะต่างกัน แบ่งได้เป็น 9 ลักษณะ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 2.3

ลักษณะมิติของคุณภาพ

	ความหมายและตัวอย่าง
Performance	ลักษณะพื้นฐานของสินค้า ตัวอย่างเช่น ความสว่างของภาพ
Features	ลักษณะที่รองลงมา ลักษณะที่เพิ่มขึ้นมา เช่น รีโมทคอนโทรล
Conformance	การทำให้ตรงตามข้อกำหนดมาตรฐานของอุตสาหกรรม เช่น ทักษะในการทำงาน
Reliability	ความสม่ำเสมอของลักษณะพื้นฐานของสินค้าตลอดช่วงเวลาหนึ่ง
Durability	อายุการใช้งาน รวมทั้งการซ่อม
Service	การช่วยแก้ปัญหาและการร้องเรียน ความง่ายในการซ่อม
Response	การตอบสนองของมนุษย์ เช่น การไปเยี่ยมตัวแทนจำหน่าย
Aesthetics	ลักษณะซึ่งเกี่ยวกับความรู้สึก เช่น การตบแต่งภายนอก
Reputation	ผลงานในอดีต และสิ่งไม่มีตัวตนอื่นๆ เช่น การจัดเป็นอันดับหนึ่ง

ปรับปรุงจาก David A. Garvin Managing Quality ; The Strategic and Competitive Edge (New York : Free Press, 1988)

ลักษณะเหล่านี้ค่อนข้างเป็นอิสระจากกัน คือ สินค้าอาจจะดีเยี่ยม ด้วยคุณลักษณะหนึ่ง และปานกลางหรือด้อยในอีกลักษณะหนึ่ง มีน้อยมากที่สินค้าจะดีเยี่ยมทั้ง 9 ลักษณะ ตัวอย่างเช่น ชาวญี่ปุ่นได้รับการวิจารณ์กันว่า มีรถยนต์คุณภาพเยี่ยมในทศวรรษที่ 1970 โดยลักษณะพื้นฐานของความน่าเชื่อถือ ความได้มาตรฐาน และความสุนทรียภาพ ดังนั้น คุณภาพของสินค้าสามารถกำหนดโดยการใช้คุณลักษณ์เพียง 2-3 อย่างได้

การตลาดต้องรับผิดชอบในการระบุลักษณะที่สำคัญของคุณภาพ ลักษณะเหล่านี้จะได้รับการแปลให้ตรงความต้องการ เพื่อพัฒนาสินค้าใหม่ๆ หรือปรับปรุงสินค้าที่มีอยู่เดิม

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการขยายโครงข่ายการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงในประเทศไทย โดยใช้เทคโนโลยี WiMAX มีดังต่อไปนี้

การแพร่กระจายของเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศไทยโดยใช้ Bass Model

สาคร คำสว่าง (วิทยาลัยนวัตกรรมอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2548) ศึกษาเรื่อง การแพร่กระจายของเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศไทยโดยใช้ Bass Model พบว่า แนวโน้มของการแพร่กระจายของเทคโนโลยี WiMAX ในประเทศไทย ภายใต้ Framework ของ Bass Model โดยการใช้ข้อมูลพยากรณ์จำนวนผู้ใช้เทคโนโลยี ADSL อิทธิพลที่เกิดจาก Mass Media จะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดการแพร่กระจายของเทคโนโลยี ส่งผลให้ Adopters ในปีแรกสูงถึงเกือบสองแสนราย สำหรับ Market Potential ที่ 5,000,000 ราย และ 276,235 รายสำหรับ Market Potential ที่ 7,000,000 ราย การพร่กระจายของเทคโนโลยีเป็นผลของ Word of Mouth ซึ่งมีการสื่อสารภายในกลุ่มของลูกค้า หากมองในมุมของ Network Externalities เมื่อมีจำนวน Adopters ในช่วงแรกสูงและมีการใช้งานในโครงข่ายอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้ผลการ Forecast ของจำนวน Adopters ที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการ Adoption สูงสุดเท่ากับ 4.01 ปี (ปี 2009 -2010) นั่นหมายความว่าหลังจากที่เทคโนโลยี WiMAX เข้าสู่ตลาดจะได้รับการยอมรับจากผู้ใช้บริการอย่างรวดเร็ว และคาดว่า Adoption Rate สูงสุดจะอยู่ระหว่างปีที่ 4 – 5 โดยประมาณการว่าจะมีจำนวน Adopters ในช่วงเวลานั้นประมาณ 1,122,395 ราย สำหรับ Market Potential 5,000,000 ราย และ 1,571,353 ราย สำหรับ Market Potential 7,000,000 ราย และประเด็นสุดท้ายในการศึกษาเป็นการนำไปใช้งานของเทคโนโลยี WiMAX ซึ่งน่าจะการเติมเต็มกับความต้องการของลูกค้า ในการเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (High Speed Internet) ด้วยความเร็วในช่วง 128 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 5 เมกกะบิตต่อวินาที ซึ่งคาดว่าจะเป็นความเร็วที่ใช้งานจริง น่าจะเป็นสิ่งที่จะได้รับความสนใจจากลูกค้าในกลุ่มลูกค้าบ้านพักอาศัยและลูกค้ากลุ่มธุรกิจที่เป็นขนาดเล็กและขนาดกลางที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ

งานวิจัยเรื่องบริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย : แนวโน้มในปี 2550-2551 ของบริษัท ศูนย์วิจัยกสิกรไทย จำกัด (2549)

พบว่าปริมาณการใช้อินเทอร์เน็ตนั้นมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความกว้างของช่องสัญญาณรับส่งข้อมูล (Bandwidth) มีการขยายตัวเพื่อรองรับกับความต้องการในขณะที่เทคโนโลยีการเชื่อมต่อได้รับการพัฒนาให้มีความเร็วมากขึ้น โดยการขยายบริการจาก

อินเทอร์เน็ตความเร็วปกติไป (Dial up modem) สู่อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Broadband Internet) ซึ่งเริ่มมีผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ราคาค่าบริการอินเทอร์เน็ตก็มีแนวโน้มลดต่ำลงกว่าเดิม ประกอบกับการพัฒนาคอนเทนท์หรือเนื้อหาที่มีความหลากหลายด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม สำหรับธุรกิจให้บริการอินเทอร์เน็ตนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการประกอบธุรกิจภาย หลังจากที่ คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม หรือ กทช. ได้เริ่มให้ใบอนุญาตใหม่แก่ผู้ประกอบการยิ่งเป็นการกระตุ้นให้ภาพรวมของบริการอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ภาพรวมบริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

- จำนวนผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ต มีจำนวนผู้ใช้อินเทอร์เน็ตขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

- จำนวนผู้ให้บริการเดิมมีจำนวนผู้ให้บริการเพียง 5-6 รายเท่านั้นที่สามารถดำเนินธุรกิจอย่างต่อเนื่อง และมีการควบรวมกิจการของผู้ให้บริการ อย่างไรก็ตามภายหลังจากที่สัญญาสัมปทานบางรายได้หมดอายุลง ในขณะเดียวกันที่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม ได้ออกใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมประเภทที่ 1 (กิจการโทรคมนาคมที่มีไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเองและให้บริการให้กับบุคคลทั่วไป) แก่ผู้ให้บริการรายเดิมที่หมดสัญญาและผู้ให้บริการรายใหม่ที่ยื่นขออนุญาตประกอบกิจการจำนวน 10 ราย

- รูปแบบการใช้บริการ ผู้ใช้บริการการสามารถแบ่งออกเป็นประเภทบุคคลและผู้ใช้บริการประเภทองค์กร โดยระบบการเชื่อมต่อส่วนใหญ่มักจะใช้บริการจากการหมุนโทรศัพท์ผ่านโมเด็ม (dial up) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการมากที่สุดถึงร้อยละ 39.9 รองลงมาเป็นการเชื่อมต่อแบบสายตรงแบบสายเช่า (leased line) ร้อยละ 31.5 และที่ระบบการเชื่อมต่อที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นมากคือ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ซึ่งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.6 ในปี 2546 เป็นร้อยละ 19.3 ในปี 2548 นอกจากนี้เป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นๆ เช่น ISDN, Cable Modem, IP Star, Satelliteและ Mobile Internet

โดยเมื่อพิจารณาจากพื้นที่และปริมาณข้อมูลในการให้บริการพบว่า

- มีการกระจุกตัวอยู่ในเขตเมืองมาก พบว่าการใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศก็ยังมีการกระจุกตัวในเขตกรุงเทพฯ มาก จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติจะพบว่า ในปี 2548 ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลนั้นมีการกระจุกตัวของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตสูงถึงร้อยละ 26.6 รองลงมาเป็นภาคเหนือ ร้อยละ 11.4 ภาคกลางร้อยละ 11.2 ภาคใต้ร้อยละ 9.9 และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ร้อยละ 7.7 ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของการให้บริการมีการกระจุกตัวภายในเขตกรุงเทพฯ และการยอมรับของเทคโนโลยีของคนเมืองมีค่อนข้างสูง

- ปริมาณการไหลเวียนของข้อมูลสูงขึ้นและความเร็ว (bandwidth) ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เพิ่มขึ้น โดยในปี 2543 ความเร็วของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตระหว่างประเทศเพิ่มขึ้นถึง 209% หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าจากช่วงเดียวกันในปี 2542 อย่างไรก็ตามความเร็วในการเชื่อมต่อในระยะต่อมามีอัตราการขยายตัวที่ลดต่ำลงเนื่องมาจากการเทียบจากฐานที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นแล้ว สำหรับอัตราการไหลเวียนของข้อมูลในประเทศ ก็มีอัตราการเพิ่มสูงถึงประมาณ 3 เท่าในปี 2542-2543 และชะลอตัวลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามตัวเลขรวมของทั้งความเร็วของการเชื่อมต่อและการไหลเวียนข้อมูลจำนวนมากในปี 2549 ได้สะท้อนภาพการขยายตัวของการใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศว่ามีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมา

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย ได้คาดการณ์แนวโน้มของบริการอินเทอร์เน็ตในระยะปานกลางนับจากนี้ (2550-2551) ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- จำนวนผู้ใช้บริการใน 2 ปีข้างหน้า แนวโน้มการใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดย ศูนย์วิจัยกสิกรไทย ประมาณการตัวเลขผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยจะสูงถึงประมาณ 10.1 ล้านคนในปี 2551 มีอัตราการเติบโตประมาณร้อยละ 10 ต่อปี (2550-2551) และมีแนวโน้มเคลื่อนตัวไปในภูมิภาคมากยิ่งขึ้น ปัจจัยที่ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการขยายตัวนั้นส่วนใหญ่มาจากการขยายตัวของพื้นที่ให้บริการและราคาค่าบริการที่มีแนวโน้มต่ำลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นจะมากหรือน้อยยังมีนัยสำคัญกับการเติบโตของเศรษฐกิจของประเทศด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับนโยบายการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมของคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม (กทช.) ด้วยโดยเฉพาะเรื่องการกำหนดค่าเชื่อมโยงเครือข่ายในการใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตร่วมกัน ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปยังการกำหนดราคา

- จำนวนผู้ให้บริการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีผู้สนใจที่จะลงทุนในธุรกิจให้บริการอินเทอรเน็ตเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ การเปิดเสรีกิจการโทรคมนาคมตามเงื่อนไขขององค์การการค้าโลกในปี 2549 และการเปิดการเจรจาเขตการค้าเสรีกับประเทศสหรัฐ (FTA) กิจการประเภทนี้ก็กำลังอยู่ในความสนใจของผู้ประกอบการต่างชาติด้วย อย่างไรก็ตามจำนวนผู้ประกอบกิจการจะมีมากหรือน้อยเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของ กทช. ที่จะกำหนดจำนวนใบอนุญาตในอนาคต

- การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี มีความเป็นไปได้มากว่า เทคโนโลยีการเชื่อมต่อโครงข่ายอินเทอร์เน็ตจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะ 3-5 ปีข้างหน้า โดยเฉพาะในส่วนของ

ความเร็วในการเชื่อมต่อ อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงจะกลายเป็นการเชื่อมต่อที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น การเปลี่ยน mode ของการเชื่อมต่อจากเดิมแบบหมุนโทรศัพท์และความเร็วปกติมาสู่เทคโนโลยี ADSL หรืออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านคู่สายโทรศัพท์ในช่วงระยะ 2 ปีที่ผ่านมา ได้สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการของตลาดเติบโตอย่างมากเมื่อราคาค่าบริการมีแนวโน้มต่ำลง ในช่วงระยะ 3 ปี เทคโนโลยี ADSL จะยังคงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ในขณะที่เทคโนโลยีอื่นๆ ก็จะเป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้น เช่น การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม ที่จะเริ่มแผนการตลาดอย่างจริงจังในปี 2549 การเชื่อมผ่านเครือข่ายใยแก้วนำแสง (Fiber to the Home) หรือ การเชื่อมผ่านเครือข่ายสายไฟฟ้า (Power line Broadband) หรือการเชื่อมต่อความเร็วสูงแบบวิทยุ (WiMax) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ล่าสุด สำหรับการส่งผ่านสัญญาณข้อมูล และภาพในระยะทางไม่น้อยกว่า 10 กิโลเมตร ให้สามารถสื่อสารถึงกันได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สาย และกำลังเป็นที่นิยมในประเทศที่พัฒนาแล้วเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ที่สำคัญถือเป็นสิ่งใหม่ที่จะช่วยกระจายบริการการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงให้เข้าถึงทุกครัวเรือนได้มากขึ้นอีกทาง อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีใหม่ๆ เหล่านี้แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีแต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการลงทุนที่ค่อนข้างสูงและอุปกรณ์ยังมีราคาแพง อาจจะต้องใช้เวลาอีก 3-5 ปีในการเข้าถึงประชาชนในราคาที่ถูกลง