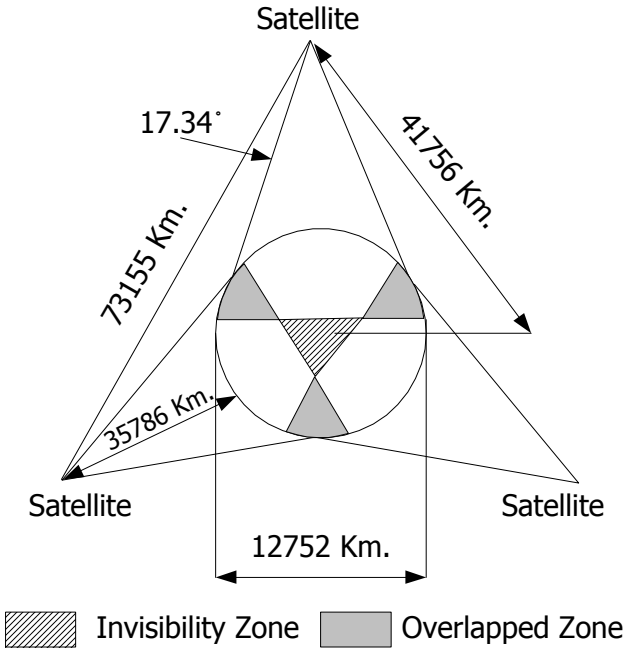
ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Communication System)

ดาวเทียมสื่อสารมีต้นกำเนิดมาจากความคิดของนักเขียนนิยายวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ อาร์เธอร์ ซี. คลาร์ก (Arthur C. Clarke) ซึ่งเขียนบทความเรื่อง “Extra Terrestrial Relays ” ลงในนิตยสาร Wireless World เมื่อพฤษภาคม ค.ศ.๑๙๔๕ โดย อาร์เธอร์ ซี.คลาร์ก ได้เสนอแนวความคิดในการติดต่อสื่อสารรอบโลก โดยใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณในอวกาศที่ความสูงระยะประมาณ ๔๒,๐๐๐ กิโลเมตร จากจุดศูนย์กลางโลก โดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเอง ๑ รอบ และใช้เพียง ๓ สถานีก็จะครอบคลุมพื้นที่รอบโลกทั้งหมด ซึ่งตรงกับหลักการของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Stationary Orbit)ในเวลาต่อมา



รูปที่ ๑๙ แสดงดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าจากแนวความคิดของอาร์เธอร์ ซี.คลาร์ก (Arthur C. Clarke)

ดาวเทียมแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ ๕ ประเภท ดังนี้

๑. *ดาวเทียมระหว่างประเทศ* (International Communication Satellite)เป็นดาวเทียมที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เช่น ดาวเทียม INTELSAT

๒. *ดาวเทียมภายในประเทศหรือภูมิภาค* (Domestic and regional Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ภายในแต่ละประเทศหรือภายในกลุ่มประเทศใกล้เคียงในภูมิภาคเดียวกัน เช่น ดาวเทียม PALAPA ของอินโดนีเซีย, ASIASAT ของฮ่องกง, THAICOM ของไทย เป็นต้น

๓. *ดาวเทียมทางทหาร* (Military Communication Satellite) เป็นดาวเทียมเพื่อใช้ในทางทหารโดยเฉพาะ ปกติใช้ย่านความถี่ X- band (๘/๗ GHz) เช่น ดาวเทียม DSCS(Defense Satellite Communication System) ของสหรัฐอเมริกาที่ใช้ในการสื่อสารทางทหารทั่วโลก เป็นต้น

๔. *ดาวเทียมสำหรับการส่งโทรทัศน์และความมุ่งหมายพิเศษ* (Broadcast and Special purpose satellite) เป็นดาวเทียมที่ออกแบบมาใช้ทั้งภายในประเทศและภูมิภาค เพื่อส่งสัญญาณโทรทัศน์กำลังสูงมายังจานสายอากาศรับสัญญาณขนาดเล็กของผู้ชมจำนวนมาก นิยมใช้ย่านความถี่KU- band ส่วนดาวเทียมที่ใช้ในความมุ่งหมายพิเศษ เช่น MARISAT หรือ INMARSAT ในปัจจุบันใช้ในการนำทาง (Navigation) ติดต่อกับยานพาหนะเคลื่อนที่ทางบก ทางเรือ,และทางเครื่องบิน ดาวเทียม NAVSTAR GPS เพื่อกำหนดตำแหน่ง

๕. *ดาวเทียมเพื่อการทดลอง* (Experimental Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองต่างๆ

วงโคจรดาวเทียม (Satellite Orbit) สามารถแบ่งได้ดังนี้

๑. ดาวเทียมแบ่งตามเส้นทางวงโคจรได้ ๓ แบบ คือ วงโคจรตามแนวเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Orbit), วงโคจรเฉียง (Inclined Orbit) ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรและวงโคจรขั้วโลก (Polar Orbit) ตามแนวขั้วโลกเหนือใต้

๒. การแบ่งประเภทตามรูปร่างตามลักษณะวงโคจร ยังแบ่งได้เป็น ๒ ลักษณะ คือ วงโคจรวงกลม (Circular Orbit) ซึ่งระยะความสูงจากพื้นโลกใกล้เคียงกันโดยตลอด และวงโคจรรี (Elliptical Orbit) ซึ่งความสูงจกพื้นโลกต่างกันมากโดยระยะห่างจากโลกมากที่สุด เรียก Apogee และระยะห่างจากโลกใกล้สุดเรียก Perigee

๓. แบ่งประเภทตามความสูงของวงโคจร ได้ ๓ แบบ คือ ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Synchronous หรือ GEO Stationary Orbit: GEO) อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ ๒๒,๓๐๐ ไมล์ หรือ ๓๖,๐๐๐ กม.,ดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low – Earth Satellite: LEO) ความสูงต่ำกว่า ๑,๒๕๐ไมล์,ส่วนดาวเทียมวงโคจรปานกลาง (Medium – Earth Satellite: MEO)จะอยู่ระหว่างความสูงของวงโคจร LEO กับวงโคจร GEO สำหรับวงโคจรที่นิยมใช้ในการสื่อสารมี ๓ วงโคจร

ซึ่งปัญหาที่พบเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมนั้นเกิดจาก ในปัจจุบันมีดาวเทียมเป็นจำนวนมากในอวกาศ ทำให้ ตำแหน่งอาจทับซ้อนกันโดยเฉพาะดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ดังนั้น ITU จึงกำหนดให้ดาวเทียมประเภทนี้มีตำแหน่งในวงโคจรให้ห่างกันอย่างน้อย ๒ องศา เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนกัน สำหรับประเทศไทยได้ถูกกำหนดให้อยู่ใกล้กับจีน

ITU (International Telecommunication Union) ได้กำหนดรูปแบบการให้บริการดาวเทียม เป็น ๒ แบบ ได้แก่

๑. *ดาวเทียมสำหรับผู้ใช้บริการประจำที่* (Fixed Satellite Service: FSS) ได้แก่ สถานีภาคพื้นดินที่จานดาวเทียมติดตั้งประจำที่ สามารถพบเห็นได้ในกิจการทั่วไป ดาวเทียมหลักที่ให้บริการแบบนี้ เช่น INTELSAT, EUTELSAT, THAICOM เป็นต้น

๒. *ดาวเทียมสำหรับผู้ใช้บริการเคลื่อนที่* (Mobile Satellite Service: MSS) ได้แก่ดาวเทียมที่ใช้สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินติดตั้งอยู่บนยานพาหนะบนบก เรียกดาวเทียม LMS (Land Mobile Satellite), ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินเรียกดาวเทียม AMS(Airborne Mobile Satellite) หรือติดตั้งบนเรือดาวเทียมที่ให้บริการแบบนี้เช่น INMARSAT เป็นต้น

นอกจากนี้ ITU ได้จัดสรรและควบคุมการใช้ความถี่ในกิจการต่างๆทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ เพื่อไม่ให้เกิดการซับซ้อนและรบกวนกัน ความถี่ที่ใช้กับดาวเทียมจะใช้หลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ใช้ในเรดาร์และไมโครเวฟ แต่ความถี่ใช้งานอาจแตกต่างกันบ้างตามภารกิจและวิธีการใช้ความถี่ เช่น L-band, C-band, Ku-band, X-band, Ka –band เป็นต้น ความถี่ที่นิยมใช้กันมากคือย่าน C-band สัญญาณย่านขาขึ้น (Uplink) ใช้ย่านความถี่ ๖ GHz และสัญญาณขาลง (Downlink) ใช้ย่านความถี่ ๔ GHz จึงนิยมเรียกว่า ๖/๔ GHz ความถี่ C-band นี้อาจรบกวนกับการสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟบนภาคพื้นดินได้ง่าย อีกความถี่ที่ใช้งานมากคือ Ku-bandใช้ความถี่ขาขึ้น ๑๒- ๑๔ GHz และความถี่ขาลง ๑๑ –๑๒ GHzโดยประมาณซึ่งนิยมใช้ในกิจการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยตรง (Direct Broadcast System: DBS) แต่มีข้อเสียหลักคือ สัญญาณจะถูกลดทอนกำลังจากเม็ดฝนค่อนข้างมาก ความถี่ย่าน X –band (๘/๗ GHz) ใช้ในกิจการทหารส่วนความถี่ย่าน Ka-band (๔๐/๒๐ GHz) มีแนวโน้มจะนำมาใช้มากในอนาคตเพื่อแก้ปัญหาความแออัดของความถี่ใช้งาน เช่น โครงการ IP-Star ของบริษัท ไทยคม

สำหรับความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth) การใช้งานปกติ C-band กว้าง ๕๐๐MHz โดยทั่วไปแบ่งได้ ๑๒ ช่อง ดาวเทียม (Transponder) กว้างช่องละ ๔๐ MHz ซึ่งเพียงพอในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้ ๑ ช่อง หรือส่งสัญญาณเสียงอนาล็อกได้ ๑๕๐๐ ช่องการสื่อสาร หรือสัญญาณโทรทัศน์ข้อมูลขนาด ๕๐ – ๑๐ เมกกะบิท (Megabit)ได้ ความกว้างของแบนด์อาจกว้างขึ้นได้ถึง ๑ GHz หรือ ๒ GHz เช่นในย่านความถี่ EHF (Ka-band) ที่จะนำมาใช้ในอนาคต

โดยทั่วไปดาวเทียมแต่ละดวงจะถูกจำกัดด้วยความกว้างของความถี่ใช้งาน (Bandwidth) เช่น ย่านความถี่ C-band ซึ่งกว้าง ๕๐๐ MHz แบ่งได้ ๑๒ ทรานสพอนเดอร์(Transponder) ขนาดกว้าง ๔๐๐ MHz การทำ

ให้ดาวเทียมสามารถใช้งานได้มากขึ้นเรามีเทคนิคที่เรียกว่า ความถี่ซ้ำ (Frequency Re-use) ซึ่งมีเทคนิคหลักๆอยู่ ๒ วิธี (Batchelor: ๑๙๙๒,๙-๑๐) ต่อไปนี้

๑. ใช้เทคนิค Spatial Isolation คือ การใช้จานสายอากาศเป็นตัวแยกลำคลื่น (beam) ให้ครอบคลุมพื้นที่ต่างกัน เช่น ถ้าปกคลุมครึ่งโลก เรียก Hemispheric beam, ครอบคลุมเฉพาะย่านหรือภูมิภาคเรียก Zone beam หรือครอบคลุมเป็นจุดเฉพาะแห่งเรียก Spotbeam เป็นต้น สถานีภาคพื้นดินที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณคนละลำคลื่นไม่มีการเหลื่อมกัน จะสามารถตีดต่อได้พร้อมกันโดยไม่มีการรบกวนกัน

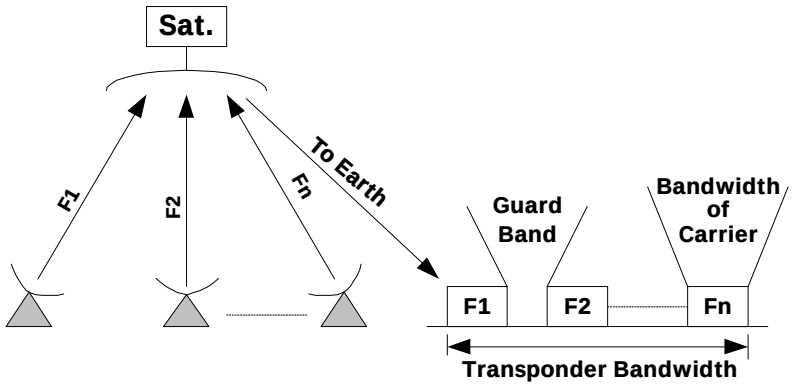
๒. ใช้เทคนิคแยกขั้วสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น (Polarization) ซึ่งปกติจะแยกเป็นการแพร่กระจายคลื่นในแนวนอน (Horizontal Polarization) การแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้ง (Vertical Polarization) หรือ การแพร่กระจายคลื่นเป็นวงกลม (Circular Polarization)ซึงอาจแยกเป็นวงกลมเวียนขวา (Righthand Circular Polarization: RHCP) หรือ เวียนซ้าย (Lefthanded Circular Polarization: LHCP) สถานีที่ใช้ขั้วการแพร่กระจายคลื่นต่างกัน แม้จะใช้ความถี่เดียวกันก็จะไม่รบกวนกัน เช่นในดาวเทียม INTELSAT ๖ จะมีการใช้ความซ้ำถึง ๖ ค่า (ไพศาล วิมูลชาติ ๒๕๓๙: ๑๙ – ๓๓)

เทคนิคการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Technique)

เนื่องจากทรัพยากรด้านดาวเทียมเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น จำนวนดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าที่มีอยู่ ๓๖๐ องศา ห่างกัน ๒ องศาเป็นอย่างน้อย จึงดาวเทียมเพียงประมาณ ๑๘๐ ดวงเท่านั้น นอกจากนี้ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ที่ใช้งานในดาวเทียมแต่ละดวงก็มีจำกัด แม้จะใช้หลักการความถี่ซ้ำเข้าช่วยแล้ว จึงต้องพัฒนาเทคนิคการเข้าถึงหลายทางเพื่อให้สามารถเข้าไปใช้งานช่องดาวเทียมได้อย่างเต็มที่ และให้ผู้ใช้เข้าใช้ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ดาวเทียมเดียวกันพร้อมกันได้มากมายโดยไม่รบกวนกันปัจจุบันมีเทคนิคที่นิยมใช้กันอยู่ ๓ แบบ คือ

๑. *การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่* (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรช่องความถี่มาให้แม้ช่องความถี่ว่างไม่มีผู้ใช้งาน ผู้อื่นก็ไม่สามารถเข้ามาใช้งานได้ซึ่งเป็นข้อจำกัดประการหนึ่ง แต่ก็มีใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากหลักการง่ายคือ สถานีภาคพื้นดินที่อยู่ในข่ายสื่อสารดาวเทียมจะทำการส่งคลื่นพาห์หนึ่งคลื่น หรือ หลายคลื่นความถี่ในทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ใดทรานสปอนเดอร์ (Transponder) หนึ่ง คลื่นพาห์แต่ละคลื่นจะประกอบด้วยแถบความถี่ทีมีความกว้างตามที่กำหนดในกิจการนั้นๆ เช่น ใช้ความกว้างของแบนด์ ๓๖ KHz สำหรับการส่งแบบ SCPC (Single Carrier Per Channal) หรือกว้าง ๓๐ MHz สำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) บนดาวเทียมจะรับสัญญาณ แล้วขยายและแปลงความถี่สัญญาณนั้นส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นโลกสถานีภาคพื้นดินที่อยู่ภายใต้พื้นที่ที่สัญญาณครอบคลุม จะเลือกรับเฉพาะคลื่นพาห์ที่นำข่าวสารมาถึงตนเท่านั้น ปัญหาสำคัญสำหรับการ

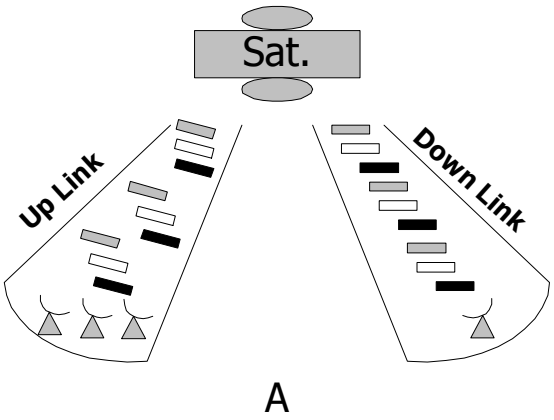
เข้าถึงแบบ FDMA คือ การเกิด Intermodulation ภายใน เนื่องจากต้องใช้กำลังขยายสูงสุดเกิดเป็นคลื่นที่ไม่ต้องการไปรบกวนสถานีภาคพื้นดินปกติ FDMA ที่ใช้หลักๆมีระบบ SCPC (Single Carrier Per Channel) และ MCPC (Multiple Carrier Per Chanel)

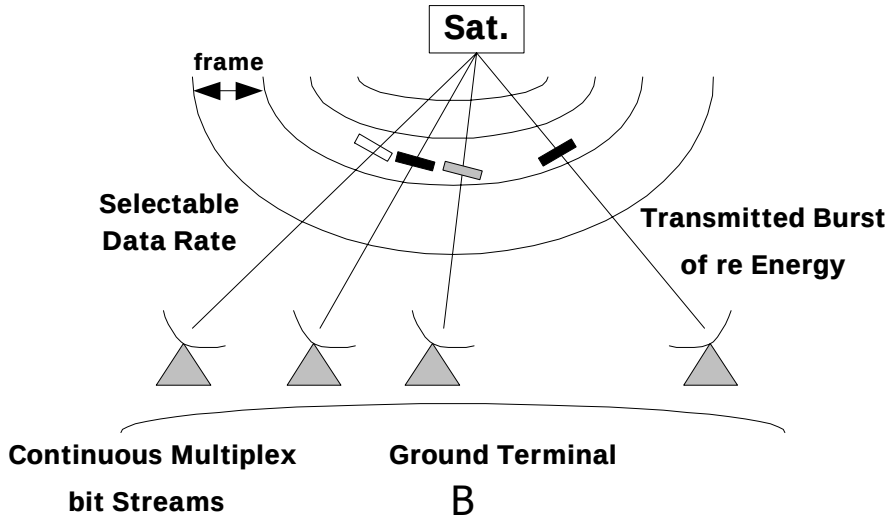


รูปที่ ๒๐ ภาพแสดงการใช้ช่องการสื่อสารร่วมกันโดยใช้เทคนิค FDMA

๒. *<u>การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา</u>* (Time Division Multiple Access : TDMA) ผู้ใช้จำนวนมากสามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ร่วมกันได้ แต่จะส่งข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาที่ได้รับการจัดสรรมาให้เท่านั้น วิธีการ คือ ทุกสถานีในข่ายการสื่อสารดาวเทียมจะใช้ความถี่คลื่นพาห์เดียวกัน ในการส่งสัญญาณแบต่างๆผ่านทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ใด ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) หนึ่ง ทุกสถานีที่ใช้ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ร่วมกันจะสื่อสารกันได้เฉพาะช่วงเวลาที่กำหนดให้เท่านั้นหรือ อาจเรียกได้ว่าเป็นการแบ่ง TIME SLOT มาให้ ดังนั้นแต่ละสถานีจึงต้องมีการเข้าจังหวะ (Synchronization) กันเป็นอย่างดีเพื่อให้ข้อมูลไปถึงทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ไม้ซ้ำเวลากันโดยจะมีการเว้นช่องว่างเวลาตามที่กำหนด ทำให้ทุกสถานีภาคพื้นดินสามารถใช้แถบคลื่นความถี่และกำลังขยายในทรานสปอนเดอร์ (Transponder) นั้นได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ขยายสัญญาณครั้งละสถานีจึงไม่เกิดการ Intermodulation

TDMA เป็นการเข้าถึงที่เหมาะกับการใช้งานในระบบดิจิตอลที่มีสถานีใช้งานร่วมกันจำนวนมาก และสามารถใช้กำลังสูงสุดได้แต่ข้อเสียประการสำคัญคือ การเข้าจังหวะ (Synchronization) ต้องมีการระเวลา (Timing) อย่างแม่นยำและเที่ยงตรง ประสิทธิภาพจึงถูกลดทอนไปจากการส่งสัญญาณเข้าจังหวะนี้ จึงเหมาะสำหรับการสื่อสารขนาดใหญ่





รูปที่ ๒๑ ภาพแสดงการใช้ช่องการสื่อสารร่วมกันโดยใช้เทคนิค TDMA

<u>๓. *การเข้าถึงหลายทางแบบสุ่ม*</u> (Random Multiple Access : RMA) หรือ แบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) สถานีภาคพื้นดินใช้ความถี่ร่วมกันและจะส่งเวลาใดก็ได้โดยใช้ช่องสัญญาณร่วมกันหลายสถานีโดยผู้รับสามารถแยกแยะข้อมูลที่ส่งมาถึงตนได้ เนื่องจากมีรหัส (Code) เป็นของตนเอง วิธีการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Spread Spectrum Multiple Access : SSMA วิธีนี้ผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดให้ใช้ Code sequence ไม่ซ้ำกัน ซึ่งเมื่อปรุงคลื่นกับคลื่นพาห์ไปพร้อมกับข้อมูลดิจิตอลแล้วส่งไปในช่องสัญญาณที่ผู้ใช้ทุกรายใช้ร่วมกัน การที่ Multiple Access : TDMA) มีความยาวมาก และ Code symbols / data symbols มีค่าสูงมีผลทำให้ความกว้างของแถบคลื่นสัญญาณที่ใช้ขยายกว้างขึ้นจึงเรียกว่า การแผ่ขยายแถบคลื่นความถี่ (spread spectrum)

อัตราส่วนระหว่างความกว้างของแบนด์ของสัญญาณที่ส่งออกไป (transmitted signal bandwidth) ต่อความหกว้างของแบนด์ของข่าวสาร (message signal bandwidth) เราเรียก GP ซึ่ง GP จะเป็นตัวบ่งบอกอัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain) ของระบบ SSMA - CDMA ด้วยเหตุที่ผู้ใช้แต่ละรายจะถูกระบุ Code sequence โดยวิธีสุ่มจึงเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบสุ่ม (RMA) (ทักษิณ ทัศนา ๒๕๓๕, ๙ – ๑๓)

นอกจากเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access) ยังมีแบบแผนการแบ่งมอบ (Assignment Schemes) ที่นำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง อีก ๒ แบบ ที่นิยมกันแพร่หลายคือ แบบแบ่งมอบล่วงหน้า (Pre Assignment) และ การแบ่งมอบตามความต้องการ (Demand Assignment)

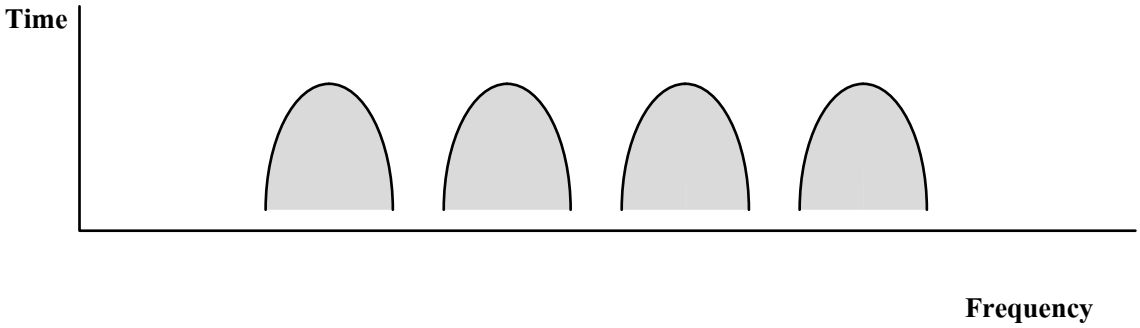
๑. *การแบ่งมอบล่วงหน้า* (Pre Assignment) นำมาใช้กันมากในการส่งสัญญาณเสียง โดยมีหลักการเบื้องต้นว่า จะจัดสรรความถี่หรือช่วงเวลาให้กับสถานีคู่ใดคู่หนึ่ง เพื่อใช้ในการติดต่อกันไม่ว่าจะมีการส่งข่าวสารหรือไม่ ช่วงเวลาหรือความถี่นั้นจะสงวนไว้สถานีอื่นไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จะมีประโยชน์ในข่ายการเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่มีการเรียกเก็บข้อมูลสม่ำเสมอระหว่างสถานีต่างๆเป็นระบบการแบ่งมอบที่ง่าย แต่ข้อเสียคือ ระบบการสื่อสารจะขาดการอ่อนตัว เกิดการสูญเปล่าของช่องสัญญาณ จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้ในข่ายการสื่อสารที่มีข้อมูลเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างมาก แต่จะมีประโยชน์ที่สามารถตอบสนองการใช้งานได้ทันที ถ้าแบ่งมอบกการใช้งานล่วงหน้าถาวร ผู้ใช้ต้องมีปริมาณการส่งข้อมูลจึงจะมีประสิทธิภาพ

๒. *การแบ่งมอบตามความต้องการ* (Demand Assignment: DA) ระบบนี้ไม่มีการจัดสรรความถี่หรือช่วงเวลาถาวร จะแบ่งมอบเมื่อต้องการใช้งานเท่านั้น ซึ่งจะกระทำเมื่อมีคำขอจองสัญญาณล่วงหน้าผ่านช่องสัญญาณร่วม จึงต้องมีสถานีกลางไม่น้อยกว่า ๑ สถานีคอยควบคุมการแบ่งมอบสัญญาณตามคำขอ

วิธีกำหนดหน้าในข่าย SCPC ของสถานี VSAT สถานีจะใช้คลื่นพาห์ที่ได้รับการแบ่งมอบล่วงหน้าส่งข่าวไปยังสถานีกลาง (Substation) แล้วส่งต่อไปยังปลายทางอีกความถี่หนึ่ง ทำให้สถานี VSAT ไม่ต้องมีอุปกรณ์แปลงความถี่ต้นทุนถูกลง แต่ถ้าเป็นการแบ่งความถี่ตามต้องการ (DA) สถานี VSAT จะถูกแบ่งมอบความถี่ใดความถี่หนึ่งในข่ายมาให้ก็ได้ สถานี VSAT จะต้องมีอุปกรณ์แปลงความถี่ให้ตรงกับที่แบ่งมอบจึงทำให้ราคาสูงขึ้น แต่ข้อดีคือใช้ประโยชน์ทรานสปอนเดอร์ (Transponder)ได้สูงสุด คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

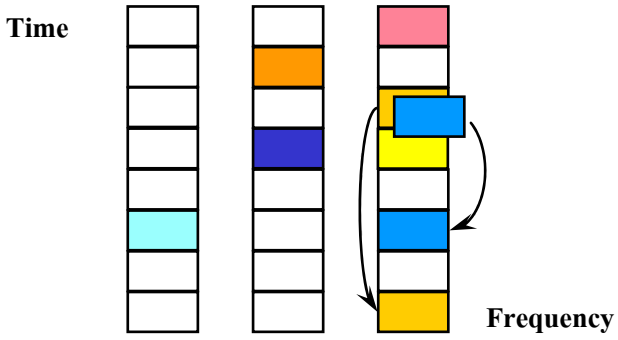
นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีใหม่ในการเข้าถึง คือ Frequency and Time Division Multiple Access (FTDMA) เป็นเทคโนโลยีแบบหนึ่งในการเชื่อมต่อ (Access Scheme) สัญญาณดาวเทียมระหว่าง ดาวเทียมสื่อสาร (Communication Satellite) และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน (VSAT - Very Small Aperture Antenna) เทคโนโลยีนี้ได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสื่อสัญญาณผ่านดาวเทียมทั่วโลกว่า เป็นระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมสูงกว่าเทคโนโลยีเดิม คือ TDMA และ SCPC (FDMA)

ในอดีต การเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมมีการใช้เทคโนโลยีดั้งเดิมที่เรียกว่า SCPC (Single Channel Per Carrier) ซึ่งเป็นการจัดสรรความถี่ (Frequency Division) ดังรูป เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมแบบง่ายๆ โดยจัดสรรความถี่ที่คงที่ให้สถานีภาคพื้นดินติดต่อกัน แต่ประสิทธิภาพการใช้วงจรดาวเทียม (Transponder) ต่ำมาก ส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองการใช้วงจรดาวเทียม (Transponder)



รูปที่ ๒๒ เทคโนโลยี SCPC

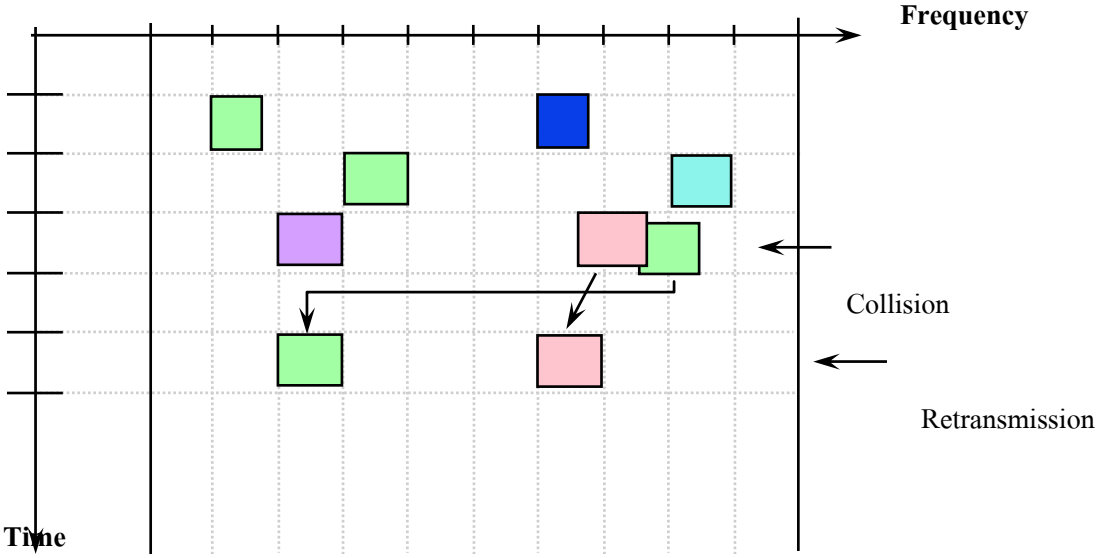
ต่อมา เทคโนโลยี TDMA (Time Division Multiple Access) ได้ถูกนำมาใช้โดยมีการจัดสรรเวลา (Time Division) ดังแสดงในรูปที่ ๒ ให้เป็นหลักในการเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมโดยสถานีภาคพื้นดินติดต่อถึงกันภายในความถี่ที่คงที่แต่มีการสลับช่วงเวลาในการติดต่อ ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพในการใช้งานดีขึ้นบ้าง ส่งผลให้การสิ้นเปลืองการใช้วงจรดาวเทียมลดลง แต่ไม่สามารถลดปัญหาที่เกิดจากการรบกวนอย่างรุนแรงของคลื่นความถี่ (Harmful Interference) จากดาวเทียมดวงอื่น



รูปที่ ๒๓ เทคโนโลยี TDMA

FTDMA (Frequency & Time Division Multiple Access) (ข้อมูลจาก บริษัท Gilat ประเทศไทย จำกัด, ๒๕๔๗) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้รับการพัฒนาโดยการนำ เทคโนโลยี TDMA ซึ่งใช้การจัดสรรเวลา

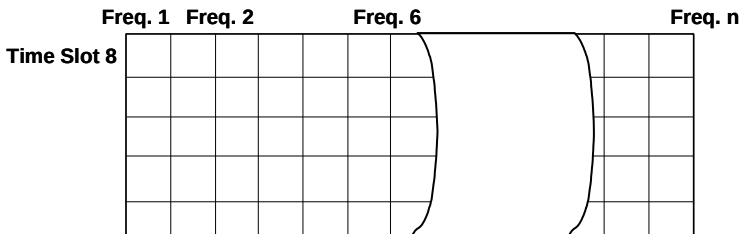
(Time) และเทคโนโลยี FDMA ซึ่งใช้การจัดสรรความถี่ (Frequency) มาทำการผสมผสานกัน (Multiplexing) ดังแสดงในรูปที่ ..... ทำให้สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินสามารถจัดสรรแบบสุ่มเวลาและความถี่ช่วงใดช่วงหนึ่งเพื่อเชื่อมต่อสถานีภาคพื้นดินเข้าหากันได้เองโดยอัตโนมัติ เทคโนโลยี FTDMA จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานช่องสัญญาณดาวเทียมให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการประหยัดการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมได้มากกว่าเดิม นอกจากนี้ เทคโนโลยี FTDMA ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการรบกวนอย่างรุนแรงของคลื่นความถี่ (Harmful Interference) จากดาวเทียมดวงอื่น โดยการสุ่มเวลาและความถี่ที่ปราศจากการรบกวน แล้วจัดสรรให้แก่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินไปใช้งานโดยอัตโนมัติ



รูปที่ ๒๔ เทคโนโลยี FTDMA

เทคโนโลยี FTDMA ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้ทั่วโลก เช่น US Postal Service ในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน ๒๖,๐๐๐ แห่ง Global Village Telecom (GVT) ในประเทศโคลัมเบีย จำนวน ๔,๕๐๐ แห่ง Telkom SA ในประเทศแอฟริกาใต้ จำนวน ๓,๐๐๐ แห่ง Xinjiang PTA ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จำนวน ๑,๐๕๐ แห่ง เป็นต้น

ดังนั้น เทคโนโลยี FTDMA จึงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและได้พิสูจน์แล้วว่า FTDMA ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณวงจรดาวเทียม (Transponder) ให้ประหยัดมากขึ้น อันเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเช่าช่องวงจรดาวเทียมให้แก่องค์กร การเชื่อมต่อสถานีภาคพื้นดินได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น รวมถึงการช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการรบกวนอย่างรุนแรงของคลื่นความถี่จากดาวเทียมดวงอื่น



รูปที่ ๒๕ ภาพแสดงเครือข่าย VSAT ที่ใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ FTDMA

องค์ประกอบระบบสื่อสารดาวเทียม (Satellite System)

ในระบบการสื่อสารดาวเทียมจะมีองค์ประกอบหลัก ๓ ส่วน คือ ดาวเทียมอยู่ในอวกาศ, ระบบควบคุมและสั่งการ และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน โดยมีการทำงานง่ายๆ ดังนี้ สถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณขาขึ้น (Uplink) กำลังส่งสูงผ่านจานสายอากาศไปยังจานสายอากาศไปยังจานสายอากาศและเครื่องบนดาวเทียม ทำการขยายสัญญาณ, แปลงความถี่ แล้วขยายให้กำลังสูงส่งผ่าน จานสายอากาศเป็นสัญญาณขาลง (Downlink) มายังจานสายอากาศรับสถานีภาคพื้นดิน สถานีรับจะทำการขยายสัญญาณแล้วดำเนินกรรมวิธีนำข้อมูลต่างๆ ไปใช้งาน

ก. ***สถานีภาคพื้นดิน*** (Earth Station) ประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือระบบจานสายอากาศ, ระบบการส่ง, ระบบการรับ และอุปกรณ์ช่องสัญญาณ โดยมีภาคย่อยที่สำคัญ คือ (ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ , ๑๐๐ – ๑๓๘)

๑) *จานสายอากาศ* (Antenna) ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นสัญญาณขาขึ้นไปยังดาวเทียม และทำหน้าที่รับคลื่นสัญญาณขาลงมาเข้าเครื่องรับจานสายอากาศที่ดีต้องมีคุณสมบัติ อัตราขยายกำลังสูง, ลำคลื่น (Beamwidth) แคบ , ลำคลื่นข้าง (Sidelobe) ต่ำ, ค่า Noise Temperature ต่ำ และมีความเที่ยงตรงสูง สามารปรับทิศทางไปยังตำแหน่งดาวเทียมได้ตามต้องการ ปกตินิยมใช้สายอากาศแบบพาราโลลอยด์เป็นตัวสะท้อนสัญญาณ (Reflector) เพื่อให้รวมลำคลื่นได้แคบ ขนาดของจานสายอากาศโดยทั่วไปขึ้นกับความถี่ใช้งาน ความถี่ยิ่งสูงขนาดจานสายอากาศยิ่งเล็ก เช่น จานสายอากาศย่านความถี่ Ku-band จะเล็กกว่าย่านความถี่ C-band นอกจากนี้ยังขึ้นกับอัตราขยายกำลัง (Gain) ของสายอากาศ ถ้าต้องการอัตราขยายกำลังขยายสูง จานสายอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถติดตามตำแหน่งดาวเทียมได้แม่นยำ จะต้อง

มีระบบควบคุมการหันของจานสายอากาศทั้งทางมุมทิศ (Azimuth) และทางมุมสูง (Elevation) อย่างดี ค่า G/T หรือ Gain ต่อ Thermal noise จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของจานสายอากาศ

๒) *ภาคขยายกำลังสูง* (High Power Amplifier:HPA) ทำหน้าที่ขยายกำลังให้สูงก่อนส่งกำลังออกอากาศ อาจใช้หลอด Klystron, TWT (Travelling Wave Tube) หรือ Solid State เป็นภาคขยายกำลังก็ได้โดยหลอด Klystron จะให้กำลังขยายค่อนข้างสูงแต่ค่อนข้างยุ่งยากในการใช้งานแบบ Solid State ที่เรียกว่า SSPA (Solid State Power Amplifier) ให้กำลังขยายไม่สูงหนักแต่สะดวกในการใช้งาน ส่วนภาคขยายปานกลางและมีใช้งานมาพอสมควร

๓) *ภาคขยายสัญญาณรบกวนต่ำ* (Low Noise Amplifier: LNA) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณกำลังต่ำมากๆ ที่เครื่องรับรับได้เพื่อให้มีกำลังพอที่จะนำมาใช้งาน โดยให้มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุดซึ่งจะดูคุณสมบัติได้จากค่า Noise Temperature

๔) *ภาคแปลงความถี่ขาขึ้น* (Up Converter) และภาคแปลงความถี่ขาลง (Down Converter) ภาคแปลงความถี่ขาขึ้น ทำหน้าที่แปลงความถี่ IF ให้เป็นความถี่ RF ก่อนส่งอากาศ และภาคแปลงความถี่ IF เพื่อให้สะดวกในการขยายสัญญาณ

ข. ดาวเทียม (Satellite) ดาวเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจร, ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม (TT&C), ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า, ระบบสื่อสารของดาวเทียมและระบบสายอากาศดาวเทียม

๑) *ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจรดาวเทียม* ปกติจะประกอบด้วยมอเตอร์จรวดที่คอยทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนวงโคจรดาวเทียม ให้อยู่ในวงโคจรถูกต้องเมื่อเกิดการคลาดเคลื่อน (Beam) มายังตำแหน่งบนพื้นโลกอย่างถูกต้อง ระบบการควบคุมตำแหน่งอาจใช้ตัวดาวเทียมหมุน ที่เรียกว่า spinners หรือ ใช้ Momentum wheels ช่วย วิธีหลังนี้นิยมใช้ในปัจจุบัน เพราะทำให้ลดขนาดแผงโซล่าเซลล์ลงได้ถึง ๑/๓ เท่า ส่วนระบบควบคุมวงโคจรนั้นเราใช้ Gas Jet ควบคุมวงโคจรให้อยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร

๒) *ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม* (Telemetry, Tracking and Command:TT&C) ระบบนี้มีทั้งส่วนที่อยู่บนดาวเทียมและบนพื้นดินทำงานสัมพันธ์กัน โดย Telemetry จะส่งข้อมูลได้จากการตรวจจับ (Sensor) สัญญาณควบคุมต่างๆ บนดาวเทียม แล้วส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ระบบ Tracking บนภาคพื้นดินจะติดตามดาวเทียมและรับสัญญาณจากระบบ Telemetry ส่งให้ระบบ Command นำเอาสัญญาณไปประมวลในระบบคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณสั่งการส่งไปยังดาวเทียม เพื่อปรับแก้ตำแหน่งวงโคจรและระบบควบคุมต่างๆ ในตัวดาวเทียมให้ถูกต้อง

๓) *ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า* ดาวเทียมทุกแบบได้รับพลังงานมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cells) เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารของดาวเทียมโดยเฉพาะภาคส่งพลังงานที่เหลือจะนำไปใช้ในส่วนอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า Housekeeping เพื่อสนับสนุนดาวเทียมให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

๔) *ระบบสื่อสารดาวเทียม* เป็นส่วนประกอบหลักของดาวเทียมสื่อสารระบบอื่นเป็นเพียงส่วนสนับสนุนระบบนี้จะประกอบด้วยจานสายอากาศที่คอบรับส่งสัญญาณแบนด์กว้าง , ภาครับ-ส่ง และขยายกำลังของสัญญาณ ที่เรียกว่า Transponder ซึ่งเป็นหน่วยรับ-ส่งสัญญาณแต่ละช่องในตัวดาวเทียม

๕) <u>ระบบสายอากาศ</u> ระบบนี้อาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารดาวเทียมโดยแยกออกมาจากทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ปัจจุบันดาวเทียมมีระบบจานสายอากาศที่ซับซ้อนเพื่อให้สามารถแยกลำคลื่น (beam) ส่งมาครอบคลุมพื้นโลกในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ

<u>บริการหลักที่จัดให้มีขึ้นโดยการใช้การสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ ได้แก่</u>

๑. การสื่อสารระบบโทรศัพท์ ซึ่งเป็นแบบจุดถึงจุดโดยใช้เป็นเครือข่ายเพิ่มเติมหรือ ทดแทนเครือข่ายการสื่อสารที่มีอยู่

๒. การสื่อสารแบบจุดถึงหลาย ๆ จุด (Point To Multipoint Transmission)

๓. การสื่อสารแบบเครือข่ายมีการสื่อสารไม่มากนัก (Thin Route) โดยใช้เป็นเครือข่ายเชื่อมโยงไปหาพื้นที่ที่อยู่โดดเดี่ยว เช่น ในหุบเขาหรือหมู่เกาะ เป็นต้น

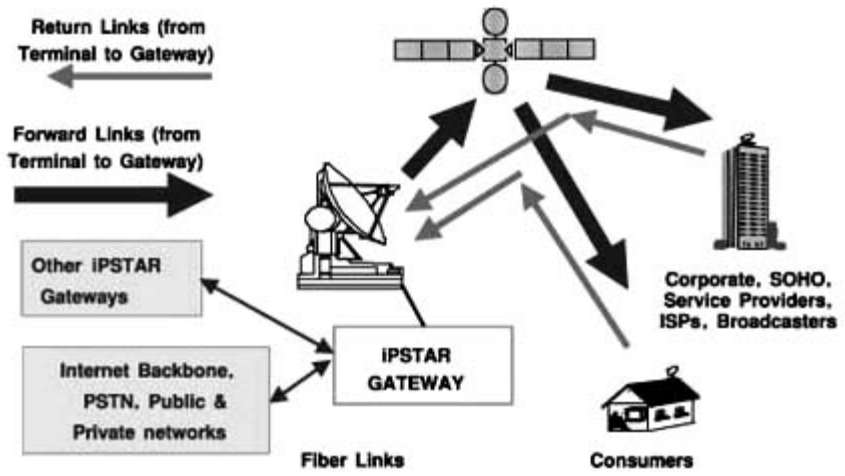
๔. การสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นจุดถึงจุดหรือจุดถึงหลายๆ จุด

๕. บริการพิเศษ ได้แก่ การประชุมเห็นกันได้ (Video Conference) โทรทัศน์เพื่อการศึกษา และการเชื่อมโยงเข้ากับวิทยุติดรถยนต์ วิทยุมือถือ หรือเรือ

๖. การแพร่ภาพโทรทัศน์ (TV Boardcast)

<u>ต่อไปจะขอยกตัวอย่างของการบริการการสื่อสารผ่านดาวเทียมในประเทศไทย คือ iPSTAR</u>

โดยโครงสร้างของระบบเครือข่าย iPSTAR จะเป็นแบบดาวกระจาย คือ ทุกๆอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้จะต้องติดต่อกับเกตเวย์ (Gateway) ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต (Internet) ชุมสายโทรศัพท์ หรือ เกตเวย์ (Gateway) ในระบบ iPSTAR ในประเทศอื่นๆ (ข้อมูลจาก http://www.thaicom.com)



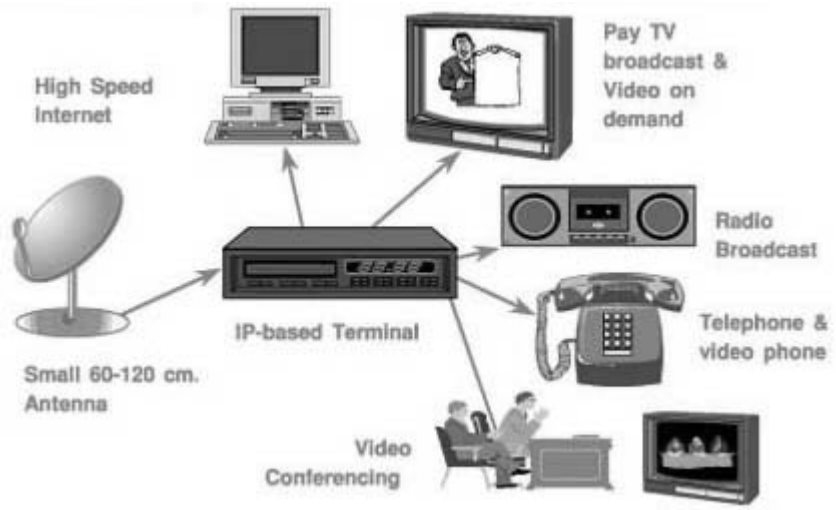
รูปที่ ๒๖ แสดงโครงสร้างของระบบเครือข่าย iPSTAR

ด้วยเทคโนโลยีที่ล้ำหน้าของ iPSTAR ในการจัดรูปแบบคลื่นวิทยุ และภาคติดต่อ (Wave Forms and Air Interface) ที่ใช้ในทั้งภาคส่งและรับ ซึ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแก่ทั้งระบบนั้น ส่งผลให้อุปกรณ์พื้นดินของ iPSTAR นั้นมีต้นทุนราคา ที่ต่ำกว่า ระบบต่างๆที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

สำหรับอุปกรณ์ภาครับส่งสัญญาณปลายทางรูปแบบสัญญาณของภาครับใช้เทคโนโลยีแบบ CFDM/TDM เทคโนโลยีดังกล่าว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดให้การส่งข้อมูลมีความเร็วที่สูงขึ้น (มีขีดความสามารถในการรับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ ๑๑ Mbps ต่อหนึ่งช่องสัญญาณ) ใช้กำลังส่งอย่างเหมาะสม เพื่อสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้จำนวนมากขึ้นที่อัตราความเร็ว ใช้งานต่างๆกันได้

รูปแบบสัญญาณของภาคส่งจะใช้เทคโนโลยีใน ๒ รูปแบบ คือ แบบ Slotted Aloha สำหรับการใช้งานอินเตอร์เน็ต (Internet) ทั่วไป และแบบ TDMA สำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูงมากๆ (มีขีดความสามารถในการส่งสัญญาณสูงสุดเท่ากับ ๔ Mbps ต่อหนึ่งช่องสัญญาณ)

อุปกรณ์ปลายทางของ iPSTAR สามารถถูกนำไปใช้งานได้ในหลายวัตถุประสงค์ โดยขึ้นกับประเภทของอุปกรณ์ปลายทางที่มีหลายรุ่นให้เลือก และอุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ต่างๆ ที่นำมาเชื่อมต่อ เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, คอมพิวเตอร์เครือข่ายขององค์กร, เครือข่ายระบบโทรศัพท์, โทรทัศน์ เป็นต้น



รูปที่ ๒๗ แสดงการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ปลายทางของระบบ iPSTAR

<u>จุดเด่นของระบบ iPSTAR</u>

๑. ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับ การให้บริการอินเตอร์เน็ตแก่ผู้ใช้บริการปลายทางหรือที่เรียกว่า Last Mile User โดยเฉพาะทำให้ โครงการมีศักยภาพที่สูงกว่าดาวเทียมปัจจุบัน ในด้านการให้บริการที่ถึงตรงแก่ผู้บริโภครายย่อย และการให้บริการเสริมต่างๆ

๒. ใช้ดาวเทียมแบบวงจรค้างฟ้า ไม่ใช้เทคโนโลยีที่ยังมีความเสี่ยง หรือ ต้นทุนสูง เช่น ดาวเทียมวงโคจรระดับกลาง หรือ ระดับต่ำ ระบบประมวลผลบนอวกาศ (On-board Processing) หรือ ระบบติดต่อเชื่อมโยงระหว่างดาวเทียม เป็นต้น และใช้ความถี่ย่าน เคยู แบนด์ (Ku-Band) ในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้บริการ ทำให้ดาวเทียม iPSTAR มีความได้เปรียบในด้านต้นทุนและมีความเสี่ยงทางเทคโนโลยีต่ำ

๓. นอกจากนี้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการให้บริการสูงสุด iPSTAR ได้ถูกปรับปรุงและใช้เทคโนโลยีใหม่ๆที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

๓.๑. ***ตัวดาวเทียม*** (iPSTAR)

๓.๓.๑. ใช้เทคโนโลยีการกระจายคลื่นแบบรังผึ้ง เหมือนกับที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ผนวกกับ ระบบจานสายอากาศดาวเทียมแบบ ใหม่ทำให้ดาวเทียม iPSTAR สามารถนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพในการรับส่ง สัญญาณเพิ่มขึ้นมาก

๓.๓.๒. ใช้ระบบบริหารกำลังส่งตามสภาพความต้องการ เพื่อทำให้การส่งสัญญาณบนดาวเทียม มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยระบบจะจัดการบริหารกำลังส่งให้สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานของผู้ใช้ ให้เหมาะสมกับสภาพสภาวะอากาศต่างๆ

๓.๒.อุปกรณ์ปลายทาง และกระบวนการรับส่งสัญญาณ (Satellite Modem) ใช้เทคโนโลยีการเข้ารหัสและการปรับแต่งสัญญาณแบบใหม่ ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการรับส่งสัญญาณ โดยใช้กำลังส่งที่ต่ำลง ซึ่งมีผลให้สามารถลดขนาดจานสายอากาศ กำลังส่งและค่าใช้จ่ายในส่วนอุปกรณ์ปลายทาง

๔. เทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณแบบใหม่ที่ได้ถูกนำมาใช้ดังกล่าวนี้ ทำให้ iPSTAR มีระบบการสื่อสารแบบใหม่ ที่มีความสามารถพิเศษดังนี้

๔.๑. สามารถจัดสรรแถบความถี่ในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานร่วมกันได้ ซึ่งเหมาะสมกับรูปแบบการใช้บริการอินเตอร์เน็ต ที่เป็น Asymmetric และ Bursty Traffic

๔.๒. สามารถปรับเปลี่ยนการเข้ารหัส ให้เหมาะสมกับตามสภาพสภาวะอากาศต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดการขาดการติดต่ออันเนื่องจากสภาวะอากาศรบกวนการรับ-ส่งสัญญาณ จากเทคโนโลยีต่างๆของ iPSTAR ที่ได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นนี้ ทำให้ iPSTAR เป็นทางออกที่มีประสิทธิภาพ และประหยัด ทางด้านต้นทุน ให้แก่การบริการหรือธุรกิจต่างๆที่ต้องความเร็วสูงในการรับส่งข้อมูล อย่างเช่น การประชุมผ่านวิดีทัศน์ (Video Conference) หรือ การบริการวิดีทัศน์ตามความต้องการ (Video on Demand) ให้มีโอกาสความเป็นไปได้ทางธุรกิจสูงขึ้น