ปัญหาการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้า และแนวทางการร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน

โดย

นาย ไพบูลย์ ภานุวัฒนวงศ์
หัวหน้าผู้บริหารด้านเทคนิค
บริษัทไทยคม จำกัด (มหาชน)

นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร
หลักสูตรการป้องกันราชอาณาจักร รุ่นที่ 57
ประจำปีการศึกษา พุทธศักราช 2557 - 2558

บทคัดย่อ

เรื่อง ปัญหาการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและแนวทางการร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน

ลักษณะวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้วิจัย นายไพบูลย์ ภานุวัฒนวงศ์ **หลักสูตร** วปอ **รุ่นที่** 57

วัตุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนและขบวนการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้ารวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงแนวโน้มของปัญหาและอุปสรรคต่อการบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรดาวเทียมเพื่อนำมาใช้งานได้จริงโดยเน้นการวิจัยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมโดยไม่จำกัดว่าเพื่อการพาณิชย์หรือความมั่นคงของชาติ การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยศึกษาขบวนการขั้นตอนการจองวงโคจร การประสานงานความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนด และจากการประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (World Radio communication Conference: WRC) ประสบการณ์การประสานงานความถี่โดยคณะวิศกรสื่อสารดาวเทียมของไทยร่วมกับภาครัฐที่ได้ประสานงานความถี่กับนานาประเทศ รวมถึงการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากผู้ประกอบการสร้างดาวเทียม และอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมชั้นนำในประเทศต่างๆ ผลของการวิจัยได้พบว่าการจองวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุนั้นมีความยากลำบากมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะความต้องการการใช้งานของประเทศต่างๆมีมากขึ้นตามลำดับ ขณะเดียวกันก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่นเดียวกันที่สามารถนำมาพิจารณาในการประยุกต์ใช้ในการประสานงานความถี่และออกแบบดาวเทียมและโครงข่ายภาคพื้นดินให้มีความยืดหยุ่นและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเสนอให้ภาครัฐและเอกชนร่วมมือกันในการดำเนินการเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุเพื่อให้ประเทศไทยได้รับและรักษาสิทธิ์ของวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่ทยุเพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

คำนำ

วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีจำนวนจำกัดและต้องแบ่งปันกันใช้กับนานาประเทศโดยหน่วยงานอำนวนการภายในประเทศคือกระทรวง ICT ต้องดำเนินการจองวงโคจรกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศและการประสานงานความถี่กับนานาประเทศที่เกี่ยวข้องโดยที่ กสทช จะเป็นผู้ให้การสนับสนุน ภายในเวลาที่กำหนดก่อนที่จะสามารถส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรและใช้งานได้ และถ้าหากไม่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องก็จะเสียสิทธิ์ให้กับประเทศอื่นได้ แนวโน้มการจองวงโคจรและประสานงานความถี่มีความยากลำบากมากขึ้นตามลำดับเนื่องจากความต้องการการใช้งานวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุของนานาประเทศมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยที่ประเทศที่มีศักยภาพและมีความพร้อมทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยียังคงมีความได้เปรียบอยู่

เอกสารวิจัยเล่มนี้เป็นการศึกษาวิจัยที่มีความมุ่งหมายที่จะเผยแพร่ขั้นตอนขบวนการจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมและการประสานงานความถี่คลื่นวิทยุ รวมถึงการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดินก็ก่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆที่สามารถช่วยให้การใช้งานดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพมากขึ้น สมควรที่ประเทศไทยจำเป็นต้องศึกษาและติดตามอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการต่อยอดการพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ในการออกแบบดาวเทียมและการกำหนดมาตรฐานอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดินให้มีความทันสมัยและสามารถใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะแวดล้อมของการแข่งขันการจองสิทธิ์วงโคจรที่เข้มข้นขึ้นตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าภาครัฐและเอกชนจะให้ความร่วมมือกันแบบบูรณาการเนื่องจากวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุที่มีจำนวนจำกัด และเมื่อประเทศไทยได้รับสิทธิ์ในการใช้งานแล้วหากไม่ได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างต่อเนื่องก็จะสูญเสียสิทธิ์ในวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นให้กับประเทศอื่นได้จองสิทธิ์ต่อ

นาย ไพบูลย์ ภานุวัฒนวงศ์
นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร
หลักสูตร วปอ. รุ่นที่ 57
ผู้วิจัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		**ก**
คำนำ		**ข**
กิตติกรรมประกาศ		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญตาราง		**ฉ**
สารบัญแผนภาพ		**ช**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	วิธีดำเนินการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
	คำจำกัดความ	3
บทที่ 2	**การจองวงโคจรและการประสานงานความถี่**	**9**
	เหตุผลและความจำเป็น	9
	สหภาพโทรคมระหว่างประเทศ (ITU)	10
	ระเบียบการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียม	12
	ขั้นตอนการจองสิทธิ์ในการใช้ความถี่โครงข่ายดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า	13
	หลักการอื่นๆตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง	19
	ค่าใช้จ่ายเพื่อการประสานงานความถี่	19
	เอกสารการจองสิทธิ์และจำนวนดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าและ สถานภาพของเอกสารจองสิทธิ์ของประเทศไทย	24
	หลักการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประสานงานความถี่และ วิธีการแก้ไขปัญหาการรบกวนของสัญญาณ	33
	วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ Planned Bands ที่สหภาพ โทรคมนาคมระหว่างประเทศได้จัดสรรให้นานาประเทศ	36
	สรุป	40
บทที่ 3	**นวัตกรรมใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมสื่อสาร**	**42**
	นวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับภาคอวกาศ (Space Segment) เพื่อยืดอายุ การใช้งานของดาวเทียม (Satellite Life-Extension Technology)	43
	นวัตกรรมเทคโนโลยีดาวเทียมที่เพิ่มขีดความสามารถในการใช้	

คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 53
สรุป 74
บทที่ 4 นวัตกรรมเทคโนโลยีอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดิน 75
การพัฒนามาตรฐานการส่งข้อมูล 75
การพัฒนาฟังก์ชัน Adaptive Coding and Modulation (ACM) 79
เทคโนโลยี Carrier in Carrier (CnC) 82
เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Compression) 85
สรุป 87
บทที่ 5 แนวทางการประยุกต์นวัตกรรมใหม่ๆเพื่อการประสานงานความถี่และการออกแบบระบบดาวเทียมสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น 88
ยุทธวิธีในการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและประสานงานความถี่เพื่อเพิ่มโอกาสในการจองตำแหน่งวงโคจรให้สำเร็จ 88
แนวทางในการออกแบบระบบดาวเทียมสื่อสารเพื่อใช้วงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น 91
แนวทางความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนเพื่อพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารและใช้วงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น 95
สรุป 99
บทที่ 6 สรุป และข้อเสนอแนะ 100
สรุป 100
ข้อเสนอแนะ 101
บรรณานุกรม 104
ประวัติย่อผู้วิจัย 108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ความถี่ที่ใช้หลักการ First Come First Served และการประสานงานความถี่	14
2-2	ค่าดำเนินการจากการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียม	20
2-3	ประมาณการค่าใช้จ่ายจากการประสานงานความถี่	22
2-4	จำนวนเอกสารการจองสิทธิ์ในวงโคจรค้างฟ้า	28
2-5	เอกสารโครงข่ายดาวเทียมของประเทศไทย (ณ วันที่ 25/12/2557)	30
2-6	คลื่นความถี่ Planned Bands	37
2-7	วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียน ตาม Appendices 30 30A และ 30B	39
3-1	ตัวอย่างข้อมูลเฉพาะสำหรับดาวเทียมติดตั้งเชื้อเพลิงสำรอง	47
3-2	ตัวอย่างน้ำหนักโดยประมาณของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า โดยประมาณที่จรวดส่งดาวเทียมสามารถนำส่งได้	49
3-3	แสดงค่าประสิทธิภาพของ TWTA ในย่านความถี่ต่างๆ	65
3-4	แสดงการพัฒนาคุณสมบัติตัวประมวลผลสัญญาณดิจตอลที่ใช้ในอวกาศ	72

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่		หน้า
2-1	การแบ่งภูมิภาคในการจัดสรรความถี่	13
2-2	ขั้นตอนการส่งเอกสาร API	15
2-3	ขั้นตอนการส่งเอกสาร CR/C	16
2-4	ขั้นตอนการส่งเอกสาร Notification	17
2-5	ขั้นตอนการส่งเอกสารและการประสานงานความถี่	18
2-6	จำนวนดาวเทียมค้างฟ้าที่ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรในช่วงปี พ.ศ.2542 - พ.ศ.2557	24
2-7	จำนวนเอกสาร API ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557	25
2-8	จำนวนเอกสาร CR/C ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557	26
2-9	จำนวนเอกสาร Notification ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557	27
2-10(ก)	จำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมในช่วงตำแหน่งวงโคจรที่ 50 ถึง 100 องศาตะวันออก	32
2-10(ข)	จำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมในช่วงตำแหน่งวงโคจรที่ 100 ถึง 155 องศาตะวันออก	32
2-11(ก)	ช่วงความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ในย่าน C-band และความถี่ Planned Bands Appendix 30B และ (ข) ช่วงความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ในย่าน Ku-band และความถี่ Planned Bands Appendices 30 30A และ 30B	37
2-12	วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียนตาม Appendices 30 และ 30A	38
2-13	วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียนตาม Appendices 30B	39
3-1	โครงการ Space Infrastructure Service	44
3-2	โครงการ Robotic Refueling Mission โดย องค์การนาซ่า	45
3-3	ดาวเทียม ConeXpress ขณะออกจากจรวดนำส่ง	46
3-4	ภาพด้านหน้าของดาวเทียม ConeXpress หลังจากกางแผงพลังงานแสงอาทิตย์	47
3-5	ภาพดาวเทียม MEV เข้ายึดเกาะ ดาวเทียมเป้าหมาย	48

สารบัญแผนภาพ (ต่อ)

แผนภาพที่		หน้า
3-6	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ConeXpress เข้าสู่ด้านหลังของดาวเทียมเป้าหมายเพื่อยึดเกาะ	48
3-7	จรวดขับดันระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี	50
3-8	จรวดขับดันระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า รุ่น SPT100	51
3-9	การปรับวงโคจรสู่ระดับค้างฟ้าด้วยระบบเชื้อเพลิงแบบเคมีและระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า	52
3-10	แสดงพื้นที่ให้บริการบีมซีแบนด์เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สีฟ้า) และซีแบนด์แอฟริกา (Africom-1) (สีเขียว)	54
3-11	แสดงการแบ่งแถบความถี่ย่อย	55
3-12	แสดงกลุ่มของบีมหรือคลัสเตอร์ (Cluster)	55
3-13	แสดงลักษณะการกวนกันของสัญญาณจากหลายพื้นที่บริการ	56
3-14	แสดงพื้นที่ให้บริการแบบสายอากาศตามรูปร่างพื้นที่ให้บริการ	57
3-15	แสดงตัวอย่างการย้ายบีมไปให้บริการตามกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย	58
3-16	แสดงขนาดของบีมที่สร้างจากจานบนดาวเทียมขนาดต่างๆกันเรียงจากซ้ายไปขวา ขนาด 60 เซนติเมตร, 1.2, 1.8 และ 2.7 เมตร	59
3-17	แสดงขนาดของบีมที่สร้างจากจานสายอากาศบนดาวเทียมขนาด 1.8 เมตร ที่ความถี่ 4 GHz, 12.5 GHz, 20 GHz และ 30GHz ตามลำดับ	60
3-18	แสดงรูปจำลองดาวเทียมไทยคม 6 และพื้นที่ให้บริการ	60
3-19	แสดงดาวเทียมที่สร้างโดยบริษัทโบอิ้ง (Boeing) ประเทศสหรัฐอเมริกาที่สามารถติดตั้งจานสายอากาศได้มากถึง 10 ใบ	61
3-20	แสดงรูปจำลองดาวเทียมที่สร้างโดยบริษัท Thales Alenia Space ประเทศฝรั่งเศส ที่สามารถสร้างจานสายอากาศที่ติดตั้งบนแผงด้านหน้า (Earth Deck) ได้มากถึง 7 ใบ	62
3-21	แสดงรูปจำลองดาวเทียม NBN Co 1A ที่มีจานสายอากาศด้านข้างที่กางได้ทั้งหมด 4ใบ	63
3-22	แสดงองค์ประกอบของตัวขยายสัญญาณแบบ TWTA	64
3-23	แสดงประสิทธิภาพของ Ku-TWTA หาได้จากอัตราส่วนระหว่าง RF power กับ DC power	64
3-24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของ TWTA	66

สารบัญแผนภาพ (ต่อ)

แผนภาพที่		หน้า
3-25	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของ intermodulation product ที่เกิดจาก TWTA ที่มีและไม่มี Linearity	67
3-26	แสดงไดอะแกรมของตัวขยายสัญญาณแบบ Multi-Port Amplifier (MPA)	67
3-27	แสดงการทำงานของตัวขยายสัญญาณแบบ a multi-port amplifier (MPA)	68
3-28	แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบอนาล็อก	70
3-29	แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบดิจิตอล	70
3-30	แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fully Regenerative Processor	71
3-31	แสดงสถาปัตยกรรมของ Software Defined Payload (SDP) ซึ่งรองรับการปรับเปลี่ยน Configuration และ Parameters ของ Payload ได้อย่างไม่จำกัด	73
4-1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลในกรณีที่มีการใช้มอดูเลชั่น และการเข้ารหัสต่างๆ ของการส่งข้อมูลด้วยมาตรฐาน DVB-S DVB-S2 และ Shannon Bound	77
4-2	เปรียบเทียบการจัดสรรรหัส และมอดูเลชั่นระหว่างระบบที่มีฟังก์ชั่น ACM และ ระบบ CCM (ไม่มี ACM)	80
4-3	อัตราการส่งข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสภาวะอากาศ ของระบบที่มี ACM เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มี ACM	81
4-4	ไดอะแกรมการส่ง-รับของทำงานของฟังก์ชั้น ACM	82
4-5	ไดอะแกรมเปรียบเทียบการใช้งานแบนวิทด์ในกรณีไม่ใช้ และใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier	83
4-6	เปรียบเทียบรูปสัญญาณจากสเปคตรัมในแกนความถี่ของสัญญาณ กรณีทั่วไป และกรณีการใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier	84
4-7	หลักการของเทคนิค Carrier in Carrier	84
4-8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดไฟล์ของ MPEG-2 MPEG-4 และ HEVC	85
5-1	แนวทางความร่วมมือการใช้งานความถี่ Planned Bands	99
6-1	แนวทางความร่วมมือการใช้งานความถี่ Planned Bands	102

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันดาวเทียมสื่อสารนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบสื่อสารทั้งในด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงของชาติ รัฐบาลไทยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของบทบาทของดาวเทียมสื่อสารและได้อนุมัติให้เอกชนได้ลงทุนภายใต้สัมปทานแบบ ลงทุนสร้าง-โอนกรรมสิทธิ์-และรับสิทธิ์ในการให้บริการ (Built-Transfer-Operate) เมื่อปีพ.ศ.2534 ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีดาวเทียมสื่อสารภายใต้สัมปทานนี้ทั้งหมด 6 ดวง โดยหมดอายุการใช้งานหรือปลดระวางไปแล้ว 3 ดวงได้แก่ ดาวเทียมไทยคม-1 ดาวเทียมไทยคม-2 และดาวเทียมไทยคม-3 และยังใช้งานและให้บริการอยู่ 3 ดวง ได้แก่ ดาวเทียมไทยคม-4 ที่ตำแหน่งวงโคจร 119.5 องศาตะวันออก ดาวเทียมไทยคม-5 และดาวเทียมไทยคม-6 ที่ตำแหน่งวงโคจร 78.5 องศาตะวันออก นอกจากนั้นยังมีดาวเทียมที่ได้รับการอนุมัติให้เอกชนลงทุนและดำเนินการภายใต้ใบอนุญาตอีกสองดวง คือดาวเทียมไทยคม-7 ซึ่งเป็นการลงทุนร่วมกันระหว่างบริษัทไทยคมจำกัด (มหาชน) กับบริษัทเอเซียแซทของประเทศจีน(ฮ่องกง)เพื่อเป็นการรักษาวงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยที่ตำแหน่ง 120 องศาตะวันออก และดาวเทียมไทยคม-8 ที่อยู่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้างโดยมีกำหนดส่งเข้าสู่วงโคจรที่ตำแหน่ง 78.5 องศาตะวันออกประมาณกลางปี พ.ศ.2559

ประเทศไทยได้มีการจองวงโคจรไปเป็นจำนวนมากกว่า 5 ตำแหน่งแต่ในปัจจุบันมีเพียง 3 ตำแหน่งข้างต้นเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้งานและให้บริการได้โดยมีข้อจำกัด และยังมีอีกหลายตำแหน่งที่ยังอยู่ระหว่างการการประสานงานความถี่กับประเทศต่างๆซึ่งมีแนวโน้มการประสานงานความถี่ที่ยากขึ้นเนื่องจากนานาประเทศได้มีการจองวงโคจรมากขึ้นตามลำดับประกอบด้วยข้อกำหนดของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - ITU) ได้ออกข้อกำหนดโดยจำกัดระยะเวลาในการจองและรักษาสิทธิ์วงโคจรที่สั้นลงหากประเทศผู้จองวงโคจรไม่สามารถส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรและใช้งานได้ตามกำหนด ดังนั้นจึงมีความสุ่มเสี่ยงที่ประเทศไทยอาจจะมีวงโคจรดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้จริงได้จำกัดเท่าที่ใช้งานในปัจจุบันและไม่สามารถรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในอนาคตได้

ถึงแม้ว่าสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้มีการจัดสรรวงโคจรและความถี่ให้แต่ละประเทศสมาชิกสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องประสานงานความถี่ แต่วงโคจรและความถี่ที่จัดสรรให้นั้นก็มีข้อจำกัดอย่างมากเช่น พื้นที่บริการต้องจำกัดให้ครอบคลุมเฉพาะประเทศที่ได้รับการจัดสรรเท่านั้น ปริมาณความถี่มีจำกัด และกำหนดให้ความแรงของสัญญาณมีระดับที่ต่ำจำเป็นต้องใช้จานสายอากาศที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จึงไม่ค่อยได้มีการนำวงโคจรที่ถูกจัดสรรให้นำมาใช้งาน

ข้อกำหนดที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศกำหนดออกมาใหม่นั้นยังคงเอื้อ

ประโยชน์ให้กับประเทศมหาอำนาจเช่นสหรัฐอเมริกา ประเทศในยุโรป และประเทศสาธารณประชาชนจีนที่มีศักยภาพในการสร้างและส่งดาวเทียมได้เองอีกทั้งยังมีสถานภาพทางเศรษฐกิจที่เอื้ออำนวยในการจองและประสานงานความถี่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายจำนวนมากตามจำนวนวงโคจรที่จองและจำนวนประเทศที่ต้องประสานงานความถี่ด้วย ดังนั้นประเทศมหาอำนาจจึงมีจำนวนวงโคจรที่สามารถนำไปใช้งานได้อยู่ในครอบครองจำนวนมากทำให้มีบทบาทต่อการพัฒนาด้านการสื่อสารโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมทั้งในด้านของความมั่นคงภายในประเทศและในการพาณิชย์ และยังสามารถรุกคืบเข้ามาในตลาดทางเอเชียแฟซิฟิกเนื่องจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศไม่มีข้อกำหนดให้และจำกัดให้แต่ละประเทศสามารถจองวงโคจรเฉพาะที่ประเทศตนเองสามารถรับส่งสัญญานได้โดยตรงเท่านั้น สิ่งเดียวที่แต่ละประเทศยังคงสามารถป้องกันการรุกคืบและการครอบงำธุรกิจดาวเทียมทั้งในด้านความมั่นคงและในเชิงพาณิชย์คือนโยบายการคุ้มครองและการรักษาสิทธิ์ไม่ให้ดาวเทียมต่างชาติเข้ามาบริการในประเทศได้อย่างเสรี ตัวอย่างเช่นประเทศสาธารณประชาชนจีนมีนโยบายในการรักษาสิทธิ์คุ้มครองไม่ให้ดาวเทียมต่างชาติเข้าไปให้บริการในประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจแพร่ภาพโทรทัศน์ อย่างไรก็ตามนโยบายการคุ้มครองและรักษาสิทธิ์นี้ก็ถูกองค์การค้าโลก (World Trade Organization - WTO) บีบให้แต่ละประเทศผ่อนปรนนโยบายนี้โดยมีจุดมุ่งหมายให้แต่ละประเทศเปิดการค้าขายอย่างเสรีในทุกภาคส่วน ซึ่งประเทศที่มีความพร้อมและศักยภาพในการแข่งขันในด้านนั้นๆก็จะได้รับผลประโยชน์ ประเทศไทยถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพในการแข่งขัน ในการประยุกต์การใช้งานช่องสัญญานดาวเทียมเพื่อให้เกิดการให้บริการโทรคมนาคมทั้งในด้านความมั่นคงของชาติและในด้านพาณิชย์แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนวงโคจรและความถี่ที่จะนำไปใช้งานเพื่อรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศและภูมิภาค

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องหาแนวทางและยุทธศาสตร์ในการจองวงโคจรเพิ่มเติมและรักษาสิทธิ์วงโคจรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันรวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำวงโคจรและความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้จัดสรรมาปรับแต่งโดยอาจจะอาศัยความร่วมมือของประเทศเพื่อนบ้านและพันธมิตรในการเจรจาและต่อรองเพื่อให้ได้วงโคจรและความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงโดยลดข้อจำกัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนและขบวนการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้ารวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่มีอยู่ในปัจจุบันและแนวโน้มของปัญหาและอุปสรรคต่อการบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรดาวเทียมเพื่อนำมาใช้งานได้จริง
2. เสนอแนะแนวทางและยุทธศาสตร์ในการจองวงโคจรดาวเทียม การประสานงานความถี่ระหว่างประเทศและความร่วมมือระหว่างภาครัฐ และเอกชนทั้งภายในและระหว่างประเทศเพื่อให้ได้มาซึ่งวงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในอนาคต
3. เสนอแนะเทคโนโลยีที่ได้ถูกพัฒนาและกำลังพัฒนาที่อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการประสานงานความถี่และวงโคจรทีมีจำนวนจำกัดนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

เน้นการวิจัยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมโดยไม่จำกัดว่าเพื่อการพาณิชย์หรือความมั่นคงของชาติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยศึกษาขบวนการขั้นตอนการจองวงโคจร การประสานงานความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนด และจากการประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (World Radio communication Conference: WRC) ประสบการณ์การประสานงานความถี่โดยคณะวิศกรสื่อสารดาวเทียมของไทยร่วมกับภาครัฐที่ได้ประสานงานความถี่กับนานาประเทศ

การศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากผู้ประกอบการสร้างดาวเทียมชั้นนำในประเทศสหรัฐเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น และผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมชั้นนำในต่างประเทศรวมถึงแนวคิดของผู้เขียนจากประสบการณ์การทำงานดาวเทียมสื่อสารมามากกว่า 22 ปี

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์นวัตกรรมใหม่ๆที่จะเป็นประโยชน์ในการประสานงานความถี่ การใช้งานวงโคจรดาวเทียมและการใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
2. เป็นแนวทางในการวางยุทธศาสตร์ในการจองวงโคจรดาวเทียม เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในอนาคต
3. เพื่อเป็นแนวทางในการร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารในสภาวะที่มีการแข่งขันอย่างสูงจากนานาประเทศ

คำจำกัดความ

วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้า	หมายถึง	เส้นวงกลมสมมุติที่อยู่ในระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์สูตรโลกโดยมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้จะหมุนรอบโลกในระยะเวลาเท่ากับที่โลกหมุนรอบตัวเองดังนั้นเมื่อมองจากพื้นโลกจึงดูเสมือนว่าดาวเทียมอยู่นิ่งกับที่เสมือนค้างฟ้า
การประสานงานความถี่	หมายถึง	การประสานงานทางเทคนิคเพื่อให้ดาวเทียมที่จะส่งขึ้นไปให้บริการสามารถใช้งานร่วมกันกับดาวเทียมที่มีอยู่ก่อนหน้าแล้วหรือที่กำลังจะส่งขึ้นไปสามารถให้บริการพร้อมกันได้โดยไม่เกิดการรบกวนของกันของสัญญานโดยพิจารณาจากความถี่ที่ใช้ ความแรงของสัญญาน พื้นที่ให้

บริการ และอุปกรณ์ภาคพื้นดินเช่นขนาดของจานสายอากาศเป็นต้น

Adaptive Coding and Modulation (ACM)

หมายถึง ฟังก์ชันในการปรับรหัสและมอดูเลชั่นแบบไดนามิก ตามสภาวะแวดล้อม และเงื่อนไขที่ตั้งขึ้น

Analog Channelizer หมายถึง การจัดสรรช่องสัญญาณโดยกำหนดความกว้างแถบความถี่ของแต่ละพื้นที่บริการไว้ตายตัว

Analog-to-Digital Converter (ADC)

หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอลาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

Application-Specific Integrated Circuit (ASIC)

หมายถึง วงจร Integrated Circuit (IC) ที่ออกแบบและทำมาเพื่อการใช้งานอย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ เช่นออกแบบมาเพื่อเป็น Modulator หรือ Encoder ข้อดีคือทำให้ทำงานได้รวดเร็ว หรือใช้พลังงานน้อย เมื่อเทียบกับวงจรที่ออกแบบมาโดยใช้กับงานใดก็ได้

Bent Pipe หมายถึง สัญญาณที่ดาวเทียมรับมาจากสถานีภาคพื้นดินแล้วขยายส่งกลับไปยังปลายทางโดยไม่มีการถอด-เข้ารหัสหรือแปลงสัญญาณใดๆทั้งสิ้น

Carrier in Carrier (CnC) หมายถึง การส่งคลื่นสัญญาณซ้อนทับกันในช่วงแถบความถี่เดียวกันและเวลาเดียวกันโดยที่สามารถแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกได้ที่ปลายทาง

Carrier to Co-channel Interference (C/I)

หมายถึง อัตราส่วนการกวนกันของสัญญาณที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน เป็นอัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนที่ใช้ความถี่เดียวกันในบีมที่อยู่ห่างออกไปที่รับได้ ค่า C/I ที่มีค่าสูงจะทำให้การรับสัญญาณมีคุณภาพและความถูกต้องความสูงกว่าในกรณีที่มีค่า C/I ต่ำกว่า

Carrier-to-Noise Ratio (CNR หรือ C/N)

หมายถึง อัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนที่รับได้ ค่า C/N ที่มีค่าสูงจะทำให้การรับสัญญาณมีคุณภาพและความถูกต้องความสูงกว่าในกรณีที่มีค่า C/N ต่ำกว่า

Carrier-to-Noise Ratio Margin

หมายถึง ค่าผลต่างระหว่าง ค่า C/N ที่ได้ กับค่า C/N ที่ต้องการ (Threshold C/N) บอกถึงความน่าเชื่อถือของการเชื่อมต่อ

ถ้า C/N ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ค่าต่ำสุดของค่า C/N ที่ต้องการ แสดงว่าการเชื่อมต่อมีปัญหา

Constant Coding and Modulation (CCM)

หมายถึง การใช้รหัสและมอดูเลชั่นคงที่ค่าเดียวตลอดเวลาไม่เปลี่ยนแปลงแม้สภาวะแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลง

Digital Channelizer หมายถึง ระบบการจัดสรรช่องสัญญาณ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ คือสามารถเพิ่มหรือลดความกว้างแถบความถี่ และระดับสัญญาณของแต่ละพื้นที่บริการได้

Digital Channelizer Beamformer

หมายถึง ระบบ Digital Channelizer ที่มี Phase Array Antenna ที่สามารถปรับขนาดและทิศทางของบีมได้

Digital Compression หมายถึง การเข้ารหัสข้อมูลของเสียง ภาพหรือวิดีโอแบบดิจิตอล ที่ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนข้อมูลที่ส่งไปในระบบสื่อสารได้มากขึ้น หรือ เป็นการลดการใช้พื้นที่สำหรับระบบสื่อสาร หรือ ระบบจัดเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบสื่อสาร

Digital-to-Analog Converter (DAC)

หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite)

หมายถึง มาตรฐานการแพร่คลื่น/ส่งภาพโทรทัศน์ดิจิตอลผ่านดาวเทียม ซึ่งพัฒนาโดยกลุ่มที่ชื่อ DVB Group ซึ่งมีสมาชิกมากกว่า 220 องค์กร ใน 29 ประเทศทั่วโลก

DVB-S2 (2nd Generation Satellite Digital Video Broadcasting)

หมายถึง มาตรฐานการแพร่คลื่น/ส่งภาพโทรทัศน์ดิจิตอลผ่านดาวเทียม รุ่นที่ 2 ที่มีการพัฒนามาจาก DVB-S และมีประสิทธิภาพมากกว่า

Energy per Symbol-to-Noise Power Spectral Density (Es/No)

หมายถึง อัตราส่วนพลังงานที่ต้องการในหนึ่งสัญลักษณ์ต่อความเข้มของสัญญาณรบกวน

Feed Horn หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณ ทั้งภาครับ (รวมสัญญาณจาก receiving antenna) และภาคส่ง (รวมสัญญาณจากท่อนำคลื่น แล้วส่งไปที่ transmitting antenna) ของจานสายอากาศ

Field Programmable Gate Array (FPGA)

หมายถึง วงจร Integrated Circuit ที่สามารถโปรแกรมวงจรได้ แม้จะผลิตเสร็จแล้ว เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน การโปรแกรมวงจรมักจะใช้ภาษา Hardware Description Language (HDL)

Forward Error Correction (FEC)

หมายถึง วิธีการแก้ไขความผิดพลาดโดยการเพิ่มเติมบิทเกินเข้ามาในคำรหัส เพื่อให้ด้านรับสามารถตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งได้

Fully Regenerative Processor

หมายถึง ระบบ Digital Channelizer Beamformer บนดาวเทียมที่ สามาถรับข้อมูลเป็นในรูปแบบ Packet ซึ่งทำให้ทำการสับเปลี่ยนไปยังบีมที่ต้องการได้เลย นั่นคือมีการทำ On-Board Processing ที่ระดับ IP Packets ซึ่งช่วยลดปริมาณ Bandwidth ที่ใช้ส่งข้อมูล

High-Order Modulation หมายถึง มอดูเลชั่นระดับสูง เป็นการมอดูเลชั้นที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงเฟสมากระดับ ของคลื่นพาหะ เช่น สามารถเปลี่ยนได้ 512 ตำแหน่ง ณ ช่วงคาบเวลาที่ต่างกัน นั่นคือสามารถสื่อข้อมูลได้ log2 512 = 9 บิตต่อคาบเวลา

Intermodulation Product

หมายถึง สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อนำสัญญาณมากกว่า 1 สัญญาณไปขยายใน TWTA (ขยายแบบ Non-Linearity) โดยเราสามารถลดสัญญาณรบกวนหรือ Intermod นี้ได้โดยการใช้ Linearizer ทำให้สัญญาณที่ขยายออกมาเป็นเส้นตรง

Link Availability หมายถึง ความสามารถด้านการคงอยู่อย่างต่อเนื่องของการติดต่อสื่อสาร ถ้าค่านี้มีค่าน้อยจะทำให้การเชื่อมต่อมีปัญหาง่ายเมื่อเกิดการลดทอนเพียงเล็กน้อย

Modem หมายถึง อุปกรณ์เข้าและถอดรหัสสัญญาณ วงจรผสมสัญญาณ/วงจรแยกสัญญาณ ซึ่งจะทำการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ดิจิตอลหนึ่งให้เป็นสัญญาณซึ่งเหมาะต่อการส่งไปยังสื่อต่างๆ เช่น สายโทรศัพท์ หรือคลื่นพาหะ เป็นต้น และจะทำการถอดรหัสจากสัญญาณที่มากับสื่อนั้นๆ กลับคืนไปยังคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ดิจิตอล

Noise Power Ratio (NPR) หมายถึง อัตราส่วนของระดับสัญญาณที่ต้องการต่อระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวขยายกำลังสูง

		ใช้ในกรณีที่จำนวนสัญญาณขาเข้ามากกว่าสองสัญญาณขึ้นไป
Packet	หมายถึง	หน่วยย่อยของข้อมูล ซึ่งจะแบ่งข้อมูลก้อนใหญ่ที่เปรียบเสมือนโบกี้รถไฟที่มีผู้โดยสารนั่งไม่เต็มทุกที่นั่งและขึ้น-ลงในแต่ละสถานีไม่พร้อมกัน เป็นก้อนย่อยๆเอาแค่ที่นั่งที่มีคนนั่งในขณะนั้นๆ ส่งไป
Payload	หมายถึง	ชุดอุปกรณ์บนดาวเทียมที่ทำหน้าที่รับ-ขยาย-ส่งสัญญาณ
Phase Array Antenna	หมายถึง	จานสายอากาศที่ประกอบด้วยจานสายอากาศเล็กๆมารวมกัน ซึ่งเราสามารถปรับแต่งสัญญาณให้มีรูปร่างและทิศทางตามพื้นที่บริการที่เราต้องการได้โดยปรับเฟสของจานใบเล็กๆเหล่านี้
Reconfigurable Computer (RCC)	หมายถึง	ระบบคอมพิวเตอร์ที่รวมเอาความยืดหยุ่นของ Software และ ความรวดเร็วของฮาร์ดแวร์แบบ FPGA ระบบนี้มีข้อดีกว่าไมโครโ ปรเซสเซอร์ปรกติคือสามารถเปลี่ยนแปลงทางของข้อมูล (Datapath)ไ ด้ และข้อดีของ Reconfigurable Computer เมื่อเทียบกับ Hardware ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะกับการใช้งาน (Application-Specific Intergrated Circuits, ASIC) คือสามารถทำการเปลี่ยนแปลงในภายหลังได้ โดยทำการเปลี่ยนที่ Software
Regenerative	หมายถึง	สัญญาณที่ดาวเทียมรับมาจากสถานีภาคพื้นดินแล้ว ต้องทำการถอด-เข้ารหัสหรือแปลงสัญญาณ ก่อนส่งกลับไปยังปลายทาง
Satellite News Gathering (SNG)	หมายถึง	ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ ใ ช้สำหรับการรายงานข่าว ปกติจะใช้เป็นรถตู้ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารส่ง-รับ ภาพ และเสียง ไปยังดาวเทียม
Shannon theory	หมายถึง	ทฤษฎีของนักคณิตศาสตร์ที่ชื่อ Claude Shannon ที่บ่งบอกถึงความเร็วสูงสุดที่เป็นไปได้ในการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลโดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) ขึ้นอยู่กับ ความกว้างของแถบความถี่ (BW) ที่ใช้งาน และ C/N ทฤษฎีบอกว่าความเร็วสูงสุดคือ C = BW log2 (1+C/N) bits per second
Side Lobe	หมายถึง	สัญญาณที่ส่งออกมาจากจานสายอากาศจะประกอบด้วย Main Beam และ Side Lobe ซึ่ง Main Beam คือสัญญาณที่เราต้องการ ส่งตรงไปยังพื้นที่ที่เรากำหนดไว้ แต่

Side Lobe คือสัญญาณที่เราไม่ต้องการ เป็นสัญญาณที่จะไปรบกวนพื้นที่ให้บริการหรือบีมข้างๆที่มีความถี่ตรงกัน

Software Defined Payload (SDP)

หมายถึง ช่องสัญญาณดาวเทียมที่สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานด้วย Software เพื่อเพิ่มความยืนหยุ่นในการใช้งานของช่องสัญญาณ สามารถปรับเปลี่ยนการแปลงสัญญาณ การเข้ารหัสข้อมูล การเชื่อมต่อระหว่างจุด การเปลี่ยนความแรง และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ให้บริการ SDP ก็จัดว่าเป็นระบบ Software Defined Radio แบบหนึ่ง

Software Defined Radio (SDR)

หมายถึง อุปกรณ์โทรคมนาคมที่มีชิ้นส่วนที่โดยปรกติจะทำบน Hardware เช่น ตัว Modulator, Mixer, Filter, Amplifier, Detector แต่ใน SDR จะทำโดยทาง Software โดยคำนวณใน คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือในระบบสมองกลฝังตัว การที่ทำให้ส่วนประกอบดังกล่าวทำโดย Software ทำให้ส่วนประกอบนั้นสามารถเปลี่ยนแปลง ในภายหลังได้ง่าย

Transport Stream หมายถึง กระแสข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลบีบอัดในรูปของกระแสพื้นฐานมัลติเพลกซ์รูปแบบแพคเก็ตหลายๆโปรแกรมภายในช่องสัญญาณเดียวที่เหมาะสมสำหรับการผสมสัญญาณและการส่งสัญญาณ

Upconverter หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความถี่ของสัญญาณให้เป็นความถี่ที่สูงขึ้น

บทที่ 2

การจองวงโคจรและการประสานงานความถี่

เหตุผลและความจำเป็น

เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) เป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีจำนวนจำกัดและเมื่อมีการนำมาใช้งานโดยการแพร่กระจายของสัญญานไปในอากาศอาจจะก่อให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาน (Interference) ระหว่างระบบที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันจนทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประสานงานของผู้ที่ประสงค์จะใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยมีข้อตกลงทางเทคนิคที่สามารถทำให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยปราศจากการรบกวนกันของสัญญานเกินกว่าระดับที่สามารถยอมรับได้ และเพื่อให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

โดยทั่วไปหน่วยงานอำนวยการภายในประเทศ (Administrations) จะเป็นหน่วยงานของรัฐที่เป็นผู้กำกับดูแลและบริหารคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งแต่เดิมนั้นกรมไปรษณีย์โทรเลขภายใต้กระทรวงคมนาคมเป็นผู้รับผิดชอบและมีการเปลี่ยนแปลงไปจนมีการจัดตั้งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (National Broadcasting and Telecommunication Commission) หรือ กสทช. (NBTC) กำหนดให้เป็นหน่วยงานอิสระของรัฐ มีบทบาทหน้าที่ในการบริหารความถี่วิทยุเพื่อกิจการโทรคมนาคม และกำกับดูแลการประกอบกิจการโทรคมนาคมตามพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่ และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ.2553 สำหรับการจองวงโคจรและการประสานงานความถี่เพื่อนำมาใช้กับระบบดาวเทียมนั้น จะอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - ITU) ซึ่งเป็นองค์กรหนึ่งของสหประชาชาติ (United Nations - UN) ตั้งอยู่ที่นครเจนีวาประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งประเทศไทยเป็นสมาชิกร่วมกับประเทศอื่นๆอีกกว่า 190ประเทศ

ก่อนที่หน่วยงานอำนวยการภายในประเทศ (Adminstrations) จะสามารถอนุญาตให้ผู้ให้บริการเปิดการใช้งานของโครงข่ายที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุใหม่ได้นั้น ซึ่งโดยหลักการแล้วจำเป็นที่จะต้องผ่านขั้นตอนการประสานงานความถี่ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้

1. แจ้งให้หน่วยงานอำนวยการของประเทศอื่นๆทราบถึงแผนงานของโครงข่ายใหม่
2. รับความเห็นจากหน่วยงานอำนวยของประเทศอื่นการตามความเหมาะสม
3. ประสานงานทางด้านเทคนิคกระโครงข่ายที่มีอยู่ก่อนหน้าแล้วหรือกำลังจะตั้งขึ้นใหม่ก่อนหน้า
4. บรรลุข้อตกลงทางด้านเทคนิดและขอบเขตการใช้งาน
5. แจ้งประกาศให้ประเทศต่างๆรับรู้และเพื่อการปกป้องโครงข่ายโดยการลงทะเบียนใน

Master International Frequency Register

6. เปิดการใช้งานของโครงข่ายที่ผ่านการประสานงานความถี่แล้ว

ดังนั้นการประสานงานความถี่จึงเป็นขบวนการที่จะช่วยให้สามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้รับการยอมรับและปกป้องดังนี้

1. ทำให้หน่วยงานอำนวยการของประเทศหนึ่งรับทราบถึงแผนงานทางเทคนิคของโครงข่ายของหน่วยงานอำนวยการของอีกประเทศหนึ่ง

2. เปิดโอกาสให้ผู้ให้บริการทั้งผู้ให้บริการโครงข่ายดาวเทียมและโครงข่ายภาคพื้นดินได้พิจารณาว่าจะเกิดการรบกวนของสัญญานในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ในโครงข่ายที่มีการใช้งานอยู่ก่อนหรือยังไม่ได้ใช้งานแต่มีอันดับการใช้งานที่สูงกว่าหรือไม่

3. เปิดโอกาสให้หน่วยงานอำนวยการสามารถคัดค้านในกรณีที่จะทำให้เกิดการรบกวนกันของคลื่นความถี่กับโครงข่ายที่ใช้งานอยู่ก่อนหน้าหรือที่อยู่ระหว่างการดำเนินงานที่มีอันดับสูงกว่า

4. เปิดโอกาสให้มีการไต่ตรองทบทวนและเจรจาเพื่อที่จะหาทางเพื่อบรรลุข้อตกลงทางเทคนิคและการใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

สหภาพโทรคมระหว่างประเทศ (ITU)[1]

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - ITU) ประกอบด้วย 4 ภาคส่วนสำหรับการบริหารภารกิจด้านต่างๆดังนี้

1. ภาคการสื่อสารวิทยุ (Radiocommunication Sector, ITU-R)[2]

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศภาควิทยุสื่อสาร (ITU-R) มีหน้าที่ในการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศโดยมีสำนักงานวิทยุคมนาคม (Radio-communication Bureau: BR) เป็นผู้ดูแลรับผิดชอบและทำหน้าที่เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการกำหนดให้มีการใช้งานคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเท่าเทียมกันในทุกกิจการวิทยุสื่อสาร (Radiocommunication Services) ซึ่งรวมถึงการกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ของกิจการดาวเทียม (Satellite Service) ที่ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมต่างๆตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulations: RR) ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์ที่กำหนดแนวทางปฏิบัติให้กับหน่วยงานโทรคมนาคมของรัฐที่อยู่ในฐานะประเทศสมาชิกของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศโดยหน่วยงานโทรคมนาคมของรัฐจะทำหน้าที่รับผิดชอบในการกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุภายในประเทศให้สอดคล้องกับการจัดสรรคลื่นความถี่ระหว่างประเทศสำหรับกิจการวิทยุสื่อสาร นอกจากนี้ ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศยังรวมถึงระเบียบขั้นตอนให้ได้มาซึ่งสิทธิ์ในการใช้คลื่นความถี่ในกิจการวิทยุสื่อสาร

---

[1] About ITU, Online, http://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx, 2015

[2] ITU Radiocommunication Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-r.aspx, 2015

บางประเภท ตัวอย่างเช่น กิจการดาวเทียมที่ถูกกำหนดโดย ITU-R ทั้งนี้ ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศสามารถปรับปรุงให้ทันสมัยและพัฒนาการของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปโดยการปรับปรุงดังกล่าวจะต้องผ่านขั้นตอนการศึกษาตลอดจนได้รับความเห็นชอบและหาข้อสรุปเป็นมติในที่ประชุมระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (World Radiocommunication Conference: WRC) ซึ่งจะจัดให้มีขึ้นเป็นประจำทุกๆ สามถึงสี่ปี

นอกจากนี้แล้ว ITU-R ยังมีหน้าที่ในการจัดให้มีการศึกษาทางเทคนิคในด้านต่างๆ เพื่อกำหนดเป็น ITU-R Recommendation ที่เกี่ยวข้องกับกิจการวิทยุสื่อสาร ซึ่งใช้เป็นเอกสารหรือข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบการใช้งานระบบวิทยุสื่อสารหรือใช้ในการประสานงานทางด้านเทคนิค

2. ภาคการกำหนดมาตรฐานโทรคมนาคม (Telecommunication Standardisation Sector, ITU-T)[3]

สหภาพโทรคมนาคมภาคกำหนดมาตรฐานโทรคมนาคม (ITU-T) เป็นหน่วยงานของสหภาพโทรคมนาคมที่เป็นผู้กำหนดมาตรฐานโทรคมนาคม เป็นและเป็นภารกิจที่รู้จักกันเป็นอย่างดีในระดับสากล ITU-T มีสำนักเลขาธิการเรียกว่า สำนักมาตรฐานโทรคมนาคม (Telecommunication Standardization Bureau, TSB) มาตรฐานที่ได้กำหนดออกมานั้น ผู้ประกอบการนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศและสื่อสารโทรคมนาคมเพื่อให้ได้มาตรฐานเดียวกัน

3. ภาคการพัฒนาโทรคมนาคม (Telecommunication Development Sector, ITU-D)[4]

สหภาพโทรคมนาคมภาคการพัฒนาโทรคมนาคม (ITU-D) จัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2535 เพื่อส่งเสริมการเข้าถึงระบบสารสนเทศ และเทคโนโลยีสื่อสารในนานาประเทศ อย่างเท่าเทียมพอเพียง และด้วยค่าใช้จ่ายที่ยอมรับได้ ITU-D มีสำนักเลขาธิการเรียกว่า สำนักพัฒนาโทรคมนาคม (Telecommunication Development Bureau, BDT)

4. ภาคการจัดงาน ไอทียู เทเลคอม (ITU TELECOM)[5]

เป็นหน่วยงานที่ดูแลการจัดงานแสดงสินค้า การประชุม และนิทรรศการระหว่างประเทศโดยนำเทคโนโลยีชั้นนำ จากอุตสาหกรรมสารสนเทศและเทคโนโลยีสื่อสาร (Information and Communication Technology - ICT) มาจัดแสดง รวมทั้งเชิญรัฐมนตรี ผู้บริหารระดับสูงของ

---

[3] ITU Telecommunication Standardisation Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-t.aspx, 2015

[4] ITU Telecommunication Development Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-d.aspx, 2015

[5] ITU Telecom, Online, http://www.itu.int/net/about/telecom.aspx, 2015

หน่วยงาน และผู้กำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมของประเทศต่างๆ มาร่วมการประชุม เพื่อนำเสนอและอภิปรายปัญหาการสื่อสารในระดับโลกด้วย

ทั้งนี้ภาคที่เกี่ยวข้องโดยตรงและเป็นหน่วยงานหลักที่ประเทศสมาชิกของสหภาพโทรคมนาคมจำเป็นต้องติดต่อในการจองวงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่ใช้งานคือ ภาคการสื่อสารวิทยุ (Radiocommunication Sector, ITU-R)

ระเบียบการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียม

กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ การประสานงานความถี่ และการจดทะเบียนความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมซึ่งได้แก่ กิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (Fixed-Satellite Service: FSS) กิจการเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม (Mobile-Satellite Service: MSS) และกิจการวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (Broadcasting-Satellite Service: BSS) จะอยู่ภายใต้ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ[6] ตามมาตรา 5 (Article 5) มาตรา 9 (Article 9) และมาตรา 11 (Article 11) ตลอดจนภาคผนวกที่ 30 30A และ 30B (Appendices 30, 30 and 30B) ซึ่งสำนักงานวิทยุคมนาคมจะทำหน้าที่รับเรื่องและตรวจสอบเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดังกล่าวจากประเทศสมาชิกที่ประสงค์จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน

ตามมาตรา 5 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศซึ่งกำหนดตารางการจัดสรรคลื่นความถี่ในแต่ละภูมิภาคของโลกได้แบ่งกลุ่มประเทศสมาชิกออกเป็น 3 ภูมิภาค (Regions) ตามแผนภาพที่ 2-1 ได้แก่

1. ภูมิภาคที่ 1 (Region 1) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มประเทศในทวีปแอฟริกา ตะวันออกกลาง ยุโรปรวมถึงสหพันธรัฐรัสเซีย มองโกเลียและประเทศส่วนใหญ่ในเอเชียกลาง (Stan countries) ยกเว้นอัฟกานิสถานและปากีสถาน

2. ภูมิภาคที่ 2 (Region 2) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มประเทศในทวีปอเมริกาเหนือ อเมริกากลางและหมู่เกาะในทะเลแคริบเบียนรวมทั้งอเมริกาใต้ และ

3. ภูมิภาคที่ 3 (Region 3) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มประเทศส่วนใหญ่ในทวีปเอเชียออสเตรเลียรวมถึงหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ทั้งนี้ การจัดสรรคลื่นความถี่ในแต่ละภูมิภาคของโลกมีขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ให้เกิดการใช้คลื่นความถี่อย่างมีระเบียบ กลุ่มประเทศสมาชิกเหล่านี้ได้ให้การยอมรับต่อการจัดสรรคลื่นความถี่ที่อาจเหมือนหรือแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและอาจกำหนดข้อสงวนหรือมีเงื่อนไขเพิ่มเติมในการใช้คลื่นความถี่ต่างๆ ดังนั้น ก่อนการใช้งานคลื่นความถี่ของกิจการวิทยุสื่อสารต่างๆในแต่ละประเทศในเบื้องต้นจึงต้องตรวจสอบก่อนว่ามีความสอดคล้องกับตารางการจัดสรรคลื่นความถี่ในมาตรา 5 ดังกล่าว

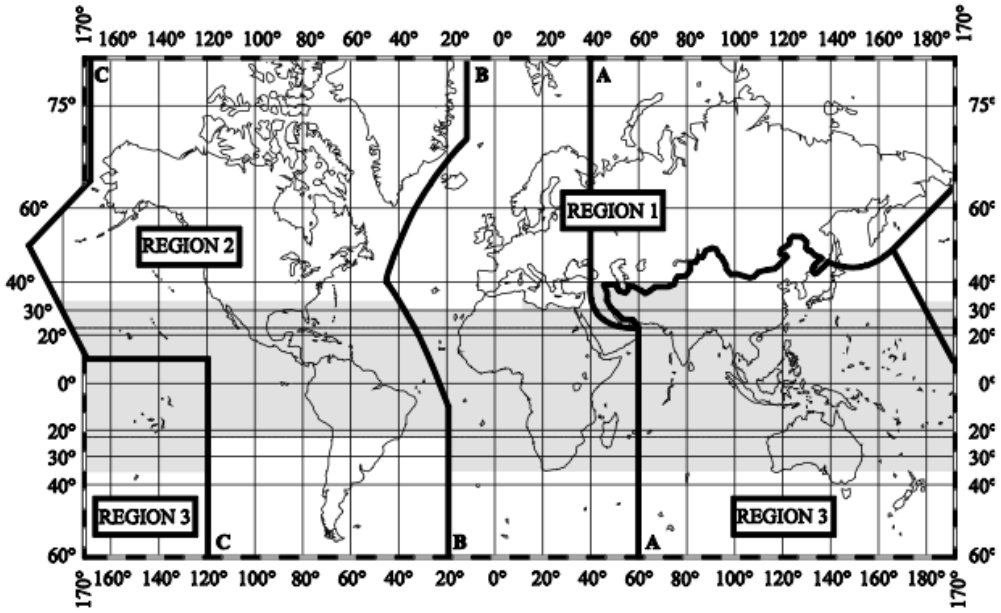
นอกจากการตรวจสอบตารางการจัดสรรคลื่นความถี่ในแต่ละภูมิภาคที่สอดคล้องต่อการ

---

[6] Radio Regulations Articles Edition 2012, Online, http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFE.pdf, 2015

ใช้ความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมแล้ว ก่อนนำดาวเทียมขึ้นใช้งานจะต้องมีการส่งเอกสารเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรและดำเนินการประสานงานความถี่ระหว่างโครงข่ายดาวเทียมตามมาตรา 9 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ ส่วนการจดทะเบียนคลื่นความถี่และการรักษาสิทธิ์การใช้งานคลื่นความถี่จะมีการกำหนดกระบวนการดังกล่าวอยู่ในมาตรา 11 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ

แผนภาพที่ 2-1 การแบ่งภูมิภาคในการจัดสรรความถี่[7]



ขั้นตอนการจองสิทธิ์ในการใช้ความถี่โครงข่ายดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า

การได้มาซึ่งสิทธิ์ในการใช้งานตำแหน่งวงโคจรค้างฟ้าและคลื่นความถี่ในภาพรวมสามารถกระทำได้สองแนวทางได้แก่ แนวทางที่ใช้หลักการ First Come First Served และแนวทางที่ใช้หลักการคลื่นความถี่ Planned Bands ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้จัดสรรให้ไว้ก่อนล่วงหน้า ซึ่งในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงหลักการแรกก่อน ส่วนหลักการที่สองจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป

สำหรับหลักการ First Come First Served นั้น ITU จะให้ลำดับสิทธิ์ (Priority) ในการใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่แก่ผู้ที่ดำเนินการแจ้งความประสงค์จะใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ตามลำดับของเอกสารที่ส่งมายัง ITU กล่าวคือ ผู้ที่ประสงค์จะใช้ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่จะต้องประสานงานกับหน่วยงานอำนวยการภายในประเทศ สำหรับประเทศไทยคือ กสทช (NBTC) ภายใต้กระทรวง ICT ซึ่งต่อไปจะถือว่าเป็นหน่วยงานอำนวยการของโครงข่าย

---

[7] ITU Radio Regulatory Framework for Space Services, Online, http://www.itu.int/en/ITU-R/space/snl/Documents/ITU-Space_reg.pdf, 2015

ดาวเทียมในการติดต่อกับ ITU โ ดยเบื้องต้นหน่วยงานดังกล่าวจะต้องยื่นเอกสารแสดงความจำนงในการขอใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ไปยังสหภาพโทรคมระหว่างประเทศ ทั้งนี้ เอกสารที่ถูกส่งก่อนจะถือว่ามี Priority ใ นการใช้งานก่อนโดยผู้ที่ยื่นความจำนงตามมาทีหลังจะต้องมาประสานงานความถี่ด้วยและจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานความถี่ของผู้ที่มาก่อน ตัวอย่างของความถี่ที่ใช้หลักการ First Come First Served มีดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ความถี่ที่ใช้หลักการ First Come First Served และการประสานงานความถี่

ความถี่	ความถี่ขาขึ้น	ความถี่ขาลง
L-band	1610-1660.5 MHz 1668-1675 MHz 1980-2010 MHz	1452-1492 MHz 1518-1559 MHz
S-band	2655-2690 MHz	2170-2200 MHz 2483.5-2670 MHz
C-band	5850-6725 MHz	3400-4200 MHz
X-band	7900-8400 MHz	7250-7750 MHz
Ku-band	13.75-14.5 GHz	10.95-11.2 GHz 11.45-11.7 GHz 12.2-12.75 GHz
Ka-band	27-31 GHz	17.7-21.2 GHz

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจองสิทธิ์ในการใช้งานตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่เพื่อนำไปสู่กระบวนการจดทะเบียนคลื่นความถี่ประกอบด้วยเอกสารหลักใน 4 ขั้นตอนได้แก่ เอกสาร Advance Publication Information (API) เอกสาร Coordination Request (CR/C) เอกสาร Notification และเอกสาร Administrative due diligence information (Resolution 49)

1. การส่งเอกสาร API

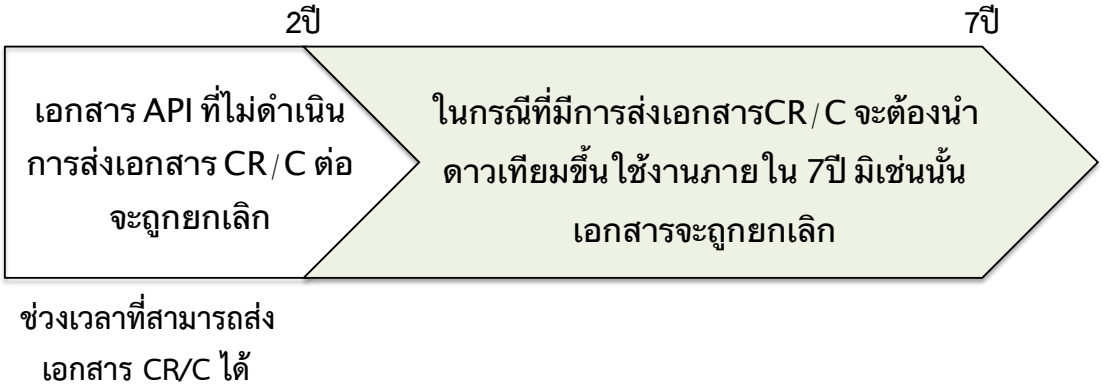
การส่งเอกสาร API เพื่อเป็นการแจ้งความจำนงของประเทศสมาชิกในการใช้งาน

ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศโดยหน่วยงานอำนวยการจะต้องส่งเอกสาร API ถึงที่สำนักงานวิทยุคมนาคม ซึ่งในเอกสารจะประกอบด้วยชื่อโครงข่ายดาวเทียม ประเทศสมาชิก ข้อมูลคลื่นความถี่ที่ประสงค์จะใช้งาน ตำแหน่งวงโคจร และวันที่คาดว่าจะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน ทั้งนี้ จะต้องส่งเอกสาร API นี้ ไม่เร็วเกินไปกว่า 7 ปีและไม่ช้าเกินไปกว่า 2 ปี นับจากวันที่จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน

หลังจากที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร API แล้ว จะทำการตีพิมพ์เอกสาร API ลงในเอกสาร International Frequency Information Circular (BR-IFIC) ซึ่งถูกจัดทำในรูปแบบ DVD และส่งไปยังประเทศสมาชิกที่ลงทะเบียนขอรับเอกสาร BR-IFIC ดังกล่าว เป็นเวลาทุกๆ 2 สัปดาห์เพื่อให้ประเทศสมาชิกที่มีโครงข่ายดาวเทียมใช้งานอยู่และ/หรือที่มีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในขั้น CR/C และ Notification ที่มี Priority สูงกว่าได้ตรวจสอบ และหากพบว่าโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับการตีพิมพ์มีแนวโน้มก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้จะได้แจ้งทักท้วงให้หน่วยงานอำนวยการของเอกสาร API ที่ได้รับการตีพิมพ์เตรียมการประสานงานความถี่ต่อไป

ทั้งนี้วันที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร API ถือเป็นวันเริ่มต้นของอายุเอกสารตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศที่กำหนดไว้ ซึ่งเอกสาร API จะถือว่าหมดอายุหากหน่วยงานอำนวยการไม่ดำเนินการส่งเอกสาร CR/C ต่อไปภายในเวลา 2 ปีหรือหากหน่วยงานอำนวยการได้ส่งเอกสาร CR/C แล้วแต่ไม่นำดาวเทียมขึ้นใช้งานภายในเวลา 7 ปี ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะทำให้เอกสาร API และเอกสารในขั้นต่อมาทุกเอกสารนั้นถูกยกเลิกไปทั้งหมด กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งเอกสาร API ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นไปตามแผนภาพที่ 2-2

แผนภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการส่งเอกสาร API



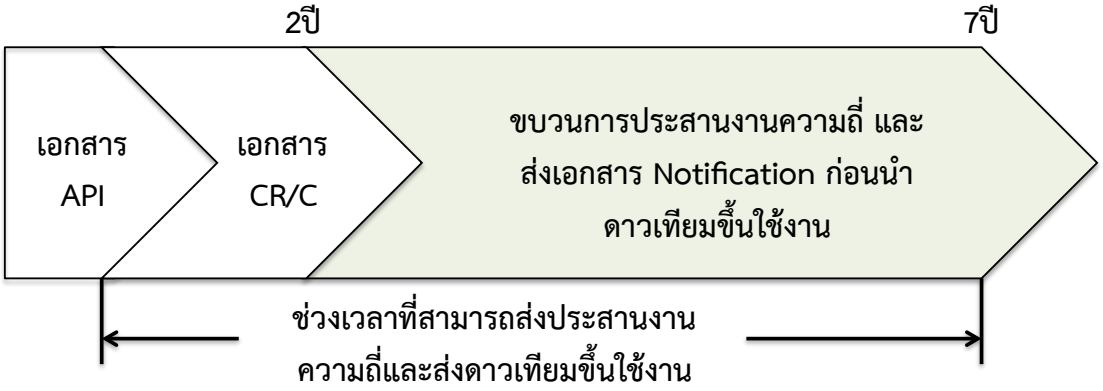
2. การส่งเอกสาร CR/C

การส่งเอกสาร CR/C เป็นการยืนยันการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและความถี่ตามที่ระบุในเอกสาร CR/C ซึ่งจะต้องอยู่ภายในกรอบข้อมูลความถี่ของเอกสาร API ทั้งนี้ หน่วยงานอำนวยการจะต้องกำหนดข้อมูลรายละเอียดทางด้านเทคนิคลงในเอกสาร CR/C ตัวอย่างเช่น ความถี่ที่จะใช้งาน พื้นที่การใช้งาน ขนาดและอัตราขยายของจานสายอากาศ ชนิดของสัญญาณ ความแรงและความกว้างของช่วงความถี่เป็นต้น ข้อมูลที่ต้องระบุในเอกสาร CR/C นั้นจะใช้ในการประสานงาน

ความถี่กับโครงข่ายดาวเทียมอื่นๆ

เช่นเดียวกัน หลังจากสำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร CR/C จะทำการตีพิมพ์ลงในเอกสาร BR-IFIC เพื่อให้ประเทศสมาชิกที่มีโครงข่ายดาวเทียมใช้งานอยู่และ/หรือที่มีเอกสาร CR/C และเอกสาร Notification ที่มี Priority สูงกว่าได้ตรวจสอบ หากพบว่าเอกสาร CR/C ที่ได้รับการตีพิมพ์มีแนวโน้มก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ จะได้แจ้งทักท้วงให้หน่วยงานอำนวยการของเอกสาร CR/C ที่ได้รับการตีพิมพ์ ทำการประสานงานความถี่ต่อไป กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งเอกสาร CR/C ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นไปตามแผนภาพที่ 2-3

แผนภาพที่ 2-3 ขั้นตอนการส่งเอกสาร CR/C



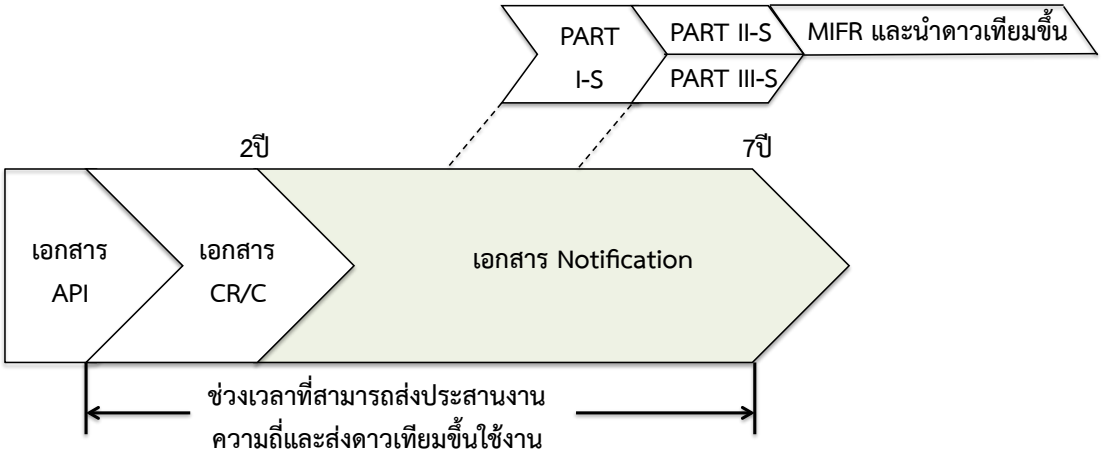
3. การส่งเอกสาร Notification

การส่งเอกสาร Notification เป็นการแจ้งขอจดทะเบียนความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศและเพื่อให้ได้รับความคุ้มครองตลอดจนได้รับการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนจากโครงข่ายดาวเทียมอื่น ซึ่งหน่วยงานอำนวยการจะต้องส่งข้อมูลเช่นเดียวกับเอกสาร CR/C พร้อมทั้งแจ้งสถานะหรือผลการประสานงานความถี่กับโครงข่ายดาวเทียมของประเทศสมาชิกที่มี Priority สูงกว่า ทั้งนี้ จะต้องส่งเอกสาร Notification ไม่ช้าเกินไปกว่า 7 ปีนับจากวันที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร API หรือไม่เร็วเกินไปกว่า 3 ปีก่อนวันที่จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน

หลังจากที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร Notification และทำการตีพิมพ์เอกสาร Notification ดังกล่าวลงใน BR-IFIC เอกสาร Notification ดังกล่าวจะถูกเรียกชื่อใหม่ว่าเป็นเอกสาร PART I-S ซึ่งสำนักงานวิทยุคมนาคมจะดำเนินการตรวจสอบข้อมูลของเอกสาร Notification อย่างละเอียด หากเอกสาร Notification ผ่านการตรวจสอบว่าถูกต้องตามข้อบังคับวิทยุและไม่ได้รับการคัดค้านจากประเทศสมาชิกเนื่องมาจากผลของการประสานงานความถี่ สำนักงานวิทยุคมนาคมจะทำการจดทะเบียนความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมดังกล่าวลงในทะเบียนคลื่นความถี่โลก (Master International Frequency Register: MIFR) และแจ้งให้ประเทศสมาชิกทราบผ่านการตีพิมพ์เอกสาร PART II-S ลงใน BR-IFIC แต่ถ้าหากเอกสาร Notification ไม่ผ่านการตรวจ

สอบหรือถูกคัดค้านจากประเทศสมาชิก สำนักงานวิทยุคมนาคมจะมีหนังสือแจ้งไปยังหน่วยงานอำนวยการของเอกสาร Notification ดังกล่าวให้ทราบและตีพิมพ์เอกสาร PART III-S ลงใน BR-IFIC ในส่วนที่ไม่ผ่านการตรวจสอบหรือถูกคัดค้านจากประเทศสมาชิก กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งเอกสาร Notification ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นไปตามแผนภาพที่ 2-4

แผนภาพที่ 2-4 ขั้นตอนการส่งเอกสาร Notification



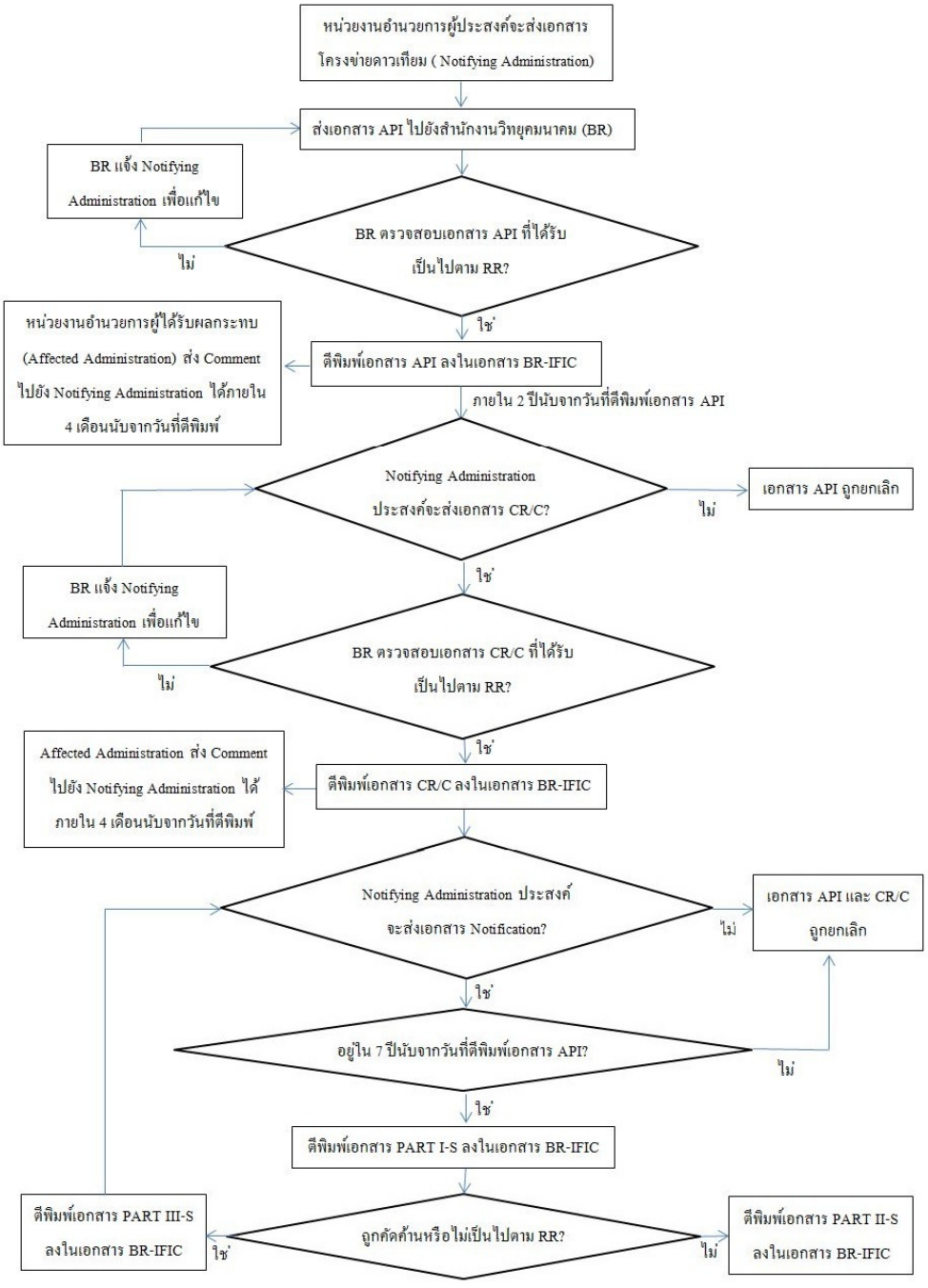
4. การส่งเอกสาร Administrative Due Diligence Information (Resolution 49)

การส่งเอกสาร Administrative due diligence information หรือ Resolution 49 เป็นการแจ้งข้อมูลของดาวเทียมที่จะนำขึ้นใช้งานโดยจะเชื่อมโยงข้อมูลดาวเทียมและความถี่ที่จะนำขึ้นใช้งานกับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในทุกขั้นตอนอันได้แก่ เอกสาร API เอกสาร CR/C และเอกสาร Notification โดยหน่วยงานอำนวยการจะต้องระบุชื่อดาวเทียม ความถี่ที่ใช้งาน ชื่อผู้จัดสร้างดาวเทียม ช่วงเวลาส่งมอบดาวเทียม ชื่อจรวดส่งดาวเทียม ชื่อผู้จัดส่งจรวด ชื่อและที่ตั้งของฐานปล่อยจรวด ตลอดจนช่วงเวลาการปล่อยจรวดเพื่อนำดาวเทียมเข้าสู่วงโคจร ทั้งนี้จะต้องส่งเอกสาร Resolution 49 ดังกล่าวพร้อมกับเอกสาร Notification หรืออย่างช้าที่สุดไม่เกินวันที่จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน

กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมทั้งหมดในข้างต้นได้แสดงในแผนภาพที่ 2-5 ทั้งนี้ เอกสารในแต่ละขั้นจะได้รับการตรวจสอบโดยสำนักงานวิทยุคมนาคมแห่งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และตัวเอกสารเองจะมีอายุกำหนดไว้ซึ่งเมื่อเลยกำหนดก็จะถูกยกเลิกหากไม่มีการส่งเอกสารในขั้นต่อไปหรือไม่นำดาวเทียมขึ้นใช้งานตามกฎข้อบังคับวิทยุ และนอกจากจะมีการตรวจสอบโดยสำนักงานวิทยุคมนาคมแล้ว หากผู้ให้บริการดาวเทียมที่รับผิดชอบเอกสารโครงข่ายดาวเทียมได้ตรวจสอบเอกสารโครงข่ายดาวเทียมใหม่และพบว่ามีผลกระทบกับโครงข่ายดาวเทียมของตนก็สามารถแจ้งไปยังหน่วยงานอำนวยการของฝ่ายตนเพื่อดำเนินการแจ้ง

เตือน (Comment) ถึงหน่วยงานอำนวยการที่รับผิดชอบเอกสารโครงข่ายดาวเทียมใหม่ให้พิจารณาแก้ไขการออกแบบการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมใหม่รวมทั้งสามารถแจ้งคัดค้าน (Objection) การจดทะเบียนความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมใหม่ดังกล่าวไปยังสำนักงานวิทยุคมนาคมได้

แผนภาพที่ 2-5 ขั้นตอนการส่งเอกสารและการประสานงานความถี่



หลักการอื่นๆตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

นอกจากกระบวนการในการส่งเอกสารการจองสิทธิ์การใช้งานวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว หลักการอื่นๆตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการรักษาหรือการได้มาซึ่งสิทธิ์ในการใช้งานวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่มีดังต่อไปนี้

1. การแจ้งยืนยันวันที่นำดาวเทียมขึ้นใช้งานจริง (Confirmation of Date of Bringing into Use)

ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศในกรณีที่ได้แจ้งจดทะเบียนความถี่โครงข่ายดาวเทียมไว้ล่วงหน้าก่อนนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน หน่วยงานอำนวยการของโครงข่ายดาวเทียมดังกล่าวจะต้องแจ้งสำนักงานวิทยุคมนาคมเพื่อยืนยันวันที่นำดาวเทียมขึ้นใช้งานจริงโดยต้องแจ้งหลังจากได้นำดาวเทียมขึ้นใช้งานแล้วเป็นเวลา 90 วันแต่ไม่เกิน 120 วัน หรือหากสำนักงานวิทยุคมนาคมมีหนังสือมาสอบถามหน่วยงานอำนวยการ หน่วยงานอำนวยการจะต้องมีหนังสือตอบกลับภายในระยะเวลา 30 วันนับจากวันที่ระบุไว้ในหนังสือของสำนักงานวิทยุคมนาคม

2. การแจ้งพักการใช้งาน (Suspension)

ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศในการรักษาสิทธิการใช้งานคลื่นความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับการจดทะเบียนแล้วไว้ต่อไปในกรณีที่จำเป็นจะต้องระงับการใช้งานดาวเทียมในวงโคจรดาวเทียมเป็นการชั่วคราว หน่วยงานอำนวยการจะต้องดำเนินการแจ้งขอพักการใช้งานคลื่นความถี่ของดาวเทียมต่อสำนักงานวิทยุคมนาคมภายในระยะเวลา 6 เดือนนับจากวันที่เริ่มพักการใช้งาน โ ดยข้อมูลที่จะต้องแจ้งประกอบด้วย วันที่เริ่มพักการใช้งานคลื่นความถี่ของดาวเทียมและวันที่จะนำคลื่นความถี่ของดาวเทียมกลับมาใช้งานตามปกติ ทั้งนี้ วันที่จะนำคลื่นความถี่ของดาวเทียมกลับมาใช้งานจะต้องมีระยะเวลาไม่เกิน 3 ปีนับจากวันที่เริ่มพักการใช้งาน

ซึ่งโดยปกติแล้วการแจ้งการพักงานจะใช้ในกรณีที่โครงข่ายดาวเทียมนั้นถูกทักท้วงเรื่องการรบกวนกันของสัญญานกับโครงข่ายที่ถูกใช้งานก่อนล่วงหน้าแล้วยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้จำเป็นที่จะต้องหยุดพักการใช้งานไปจนกว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาได้ หรือในกรณีที่ดาวเทียมหมดอายุการใช้งานหรือเกิดความเสียหายแล้วยังไม่สามารถจัดหาหรือจัดซื้อจัดสร้างและส่งดาวเทียมดวงใหม่ไปทดแทนได้อย่างต่อเนื่อง

ค่าใช้จ่ายเพื่อการประสานงานความถี่

ในการจัดส่งเอกสารในการจองวงโคจรและคลื่นความถี่ และการประสานงานความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมหนึ่งๆนั้นจะมีค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการในการดำเนินการมากพอสมควร โดยสามารถประมาณได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายจากการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียม

การส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรและใช้งานคลื่นความถี่ในอดีตไม่มีค่าใช้จ่าย แต่เนื่องจากมีการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรเป็นจำนวนมากจนทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานตำแหน่งวงโคจรและคลื่นความถี่จนทำให้ในระยะหลังผู้ที่ประสงค์จะจองตำแหน่งวงโคจรและคลื่นความถี่เพื่อใช้งานไม่สามารถทำได้เพราะถูกเอกสารของประเทศสมาชิกอื่นซึ่งมีลำดับสิทธิ์สูงกว่าไม่ให้ข้อตกลงโดยที่ตำแหน่งของตนไม่มีแผนที่จะใช้งานจริง

จากปัญหาดังกล่าวสภาแห่งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้มีมติ (Council Decision 482) อนุมัติให้สำนักงานวิทยุคมนาคมจัดเก็บค่าดำเนินการ (Cost recovery) จากการรับเรื่อง ตรวจสอบและจัดการเอกสารโครงข่ายดาวเทียมของประเทศสมาชิก ซึ่งในมติฉบับปรับปรุงปี ค.ศ. 2013 ได้กำหนดวิธีคำนวณค่าดำเนินการดังกล่าวโดยสรุปเป็นเพดานตัวเลขได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ค่าดำเนินการจากการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียม

เอกสารโครงข่ายดาวเทียม	**ค่าดำเนินการ (บาท)**
1. เอกสาร API	ไม่เรียกเก็บค่าดำเนินการ
2. เอกสาร CR/C	657,920 (หรือ CHF 20,560*)
3. เอกสาร Notification	989,120 (หรือ CHF 30,910*)
4. เอกสาร Administrative due diligence information	ไม่เรียกเก็บค่าดำเนินการ
5. เอกสาร Coordination ของ Planned bands ที่ถูกปรับปรุง	1. Appendices 30 และ 30A 384,000 (หรือ CHF 12,000*)
	2. Appendix 30B 811,200 (หรือ CHF 25,350*)
6. เอกสาร Notification ของ Planned bands	1. Appendices 30 และ 30A 369,600 (หรือ CHF 11,550*)
	2. Appendix 30B 648,960 (หรือ CHF 20,280*)

*อัตราแลกเปลี่ยน 1 ฟรังก์สวิส (CHF) ต่อ 32 บาท

ประเทศสมาชิกที่ส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมจะได้รับใบแจ้งหนี้ค่าดำเนินการจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ซึ่งหน่วยงานอำนวยการของประเทศสมาชิกนั้นจะแจ้งไปยังผู้ให้บริการดาวเทียมที่เป็นผู้รับผิดชอบเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้ดำเนินการ ตามข้อตกลงที่หน่วยงานอำนวยการของประเทศนั้นมีกับผู้ให้บริการดาวเทียมในสัญญาสัมปทาน หรือใบอนุญาต ซึ่งจะต้องจัดการชำระค่าดำเนินการภายใน 6 เดือนนับจากวันที่ระบุในใบแจ้งหนี้ เอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ไม่ชำระค่าดำเนินการภายในระยะเวลาที่กำหนดจะถูกยกเลิกตามข้อบังคับวิทยุ และหากประเทศสมาชิกประสงค์ที่จะยกเลิกเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ได้จัดส่งให้สำนักงานวิทยุคมนาคมจะต้องแจ้งสำนักงานวิทยุคมนาคมภายใน 15 วันนับจากวันที่ส่งเอกสารซึ่งจะไม่ถูกเรียกเก็บค่าดำเนินการ

นอกจากนี้ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้ให้สิทธิ์ประเทศสมาชิกในการยกเว้นค่าดำเนินการในการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในแต่ละปีได้ 1 ครั้งต่อ 1 เอกสาร (Annual Free Entitlement)

2. ค่าใช้จ่ายจากการประสานงานความถี่

นอกจากค่าใช้จ่ายจากการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมแล้วในการดำเนินการประสานงานความถี่ ผู้ให้บริการดาวเทียมที่เป็นผู้รับผิดชอบเอกสารโครงข่ายดาวเทียมตามข้อตกลงในสัญญาสัมปทานหรือใบอนุญาตจะมีค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการประชุมประสานงานความถี่กับผู้ให้บริการดาวเทียมของโครงข่ายดาวเทียมอื่นและหน่วยงานอำนวยการของประเทศสมาชิกอื่นๆที่ต้องประสานงานความถี่ด้วยเพื่อให้ได้รับข้อตกลงในการประสานงานความถี่ตามข้อบังคับวิทยุ ค่าใช้จ่ายดังกล่าวรวมถึง ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเพื่อเข้าร่วมการประชุมของบุคลากรที่มีหน้าที่ในการเจรจาประสานงานความถี่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งรวมถึงบุคลากรของผู้ให้บริการดาวเทียม เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานอำนวยการและที่ปรึกษาที่มีความเชี่ยวชาญพิเศษในบางกรณี ทั้งนี้ ค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงและประเทศสมาชิกที่เป็นเจ้าของโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบจากตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและความถี่ตามเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ประสงค์จะใช้งาน ดังนั้นค่าใช้จ่ายจากการประสานงานความถี่ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปในแต่ละโครงข่ายดาวเทียม ตัวอย่างแสดงการประมาณการค่าใช้จ่ายจากการประสานงานความถี่ ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 126 องศาตะวันออก ซึ่งมีประเทศสมาชิกที่เป็นเจ้าของโครงข่ายดาวเทียมที่ต้องทำการประสานงานความถี่ด้วยดังแสดงในตารางที่ 2-3 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นเป็นจำนวนเงิน 2,000,000 บาท โดยประมาณ อนึ่ง เนื่องจากจำนวนตำแหน่งวงโคจรที่ต้องมีการประสานงานความถี่ในปัจจุบันมีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของการประสานงานความถี่จะสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับการประสานงานความถี่ที่ผ่านมา

ตารางที่ 2-3 ประมาณการค่าใช้จ่ายจากการประสานงานความถี่

ประเทศที่ต้องประสานงานความถี่	**1**	**2**	**3**	**5**	**6**		**7**	**8**
สถานที่จัดประชุม	ประเทศญี่ปุ่น	สาธารณรัฐอินโดนีเซีย	เขตบริหารพิเศษฮ่องกง	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สมาพันธรัฐสวิส		สาธารณรัฐเกาหลี	สาธารณรัฐประชาธิป ไตยประชาชนลาว
หน่วยงานที่ต้องประสานงานความถี่ด้วย	SJC	PALAPA	ASIASAT	CHINASATCOM	RSCC	หน่วยงานทหารของสหพันธรัฐรัสเซีย	ETRI	รัฐบาลลาว
จำนวนวันสำหรับจัดการประชุม	4	4	4	4	4	4	4	4
รวมจำนวนวันเดินทางและประชุม	6	6	6	6	6	6	6	6
จำนวนบุคลากรผู้เข้าร่วมประชุม	3	3	3	3	3	3	3	3
รวมค่าตั๋วเครื่องบิน (1,000 บาท)	113	76	60	98	250	250	102	44
รวมค่าที่พัก (1,000 บาท)	75	75	75	75	75	75	75	75

รวมค่าเบี่ยเลี้ยง (1,000 บาท)	40	40	40	40	40	40	40	40
รวมค่าเดินทางภายในประเทศ (1,000 บาท)	3	3	3	3	3	3	3	3
รวมค่าเดินทางภายในต่างประเทศ (1,000 บาท)	7	7	7	7	7	7	7	7
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินทางและการประสานงานความถี่ (1,000 บาท)	238	201	185	223	375	375	227	169
รวมค่าใช้จ่าย	**1,993,000 บาท**							

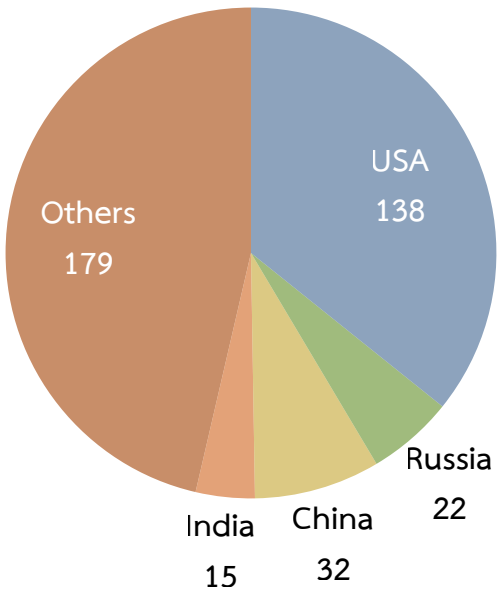
อนึ่งเพื่อให้การจัดการประชุมประสานงานความถี่ในแต่ละครั้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการเจรจาประสานงานความถี่ให้ได้ข้อสรุปหรือความตกลงกับผู้ให้บริการดาวเทียมของโครงข่ายดาวเทียมอื่น ผู้มีหน้าที่ประสานงานความถี่จะต้องทำการเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดข้อเสนอและข้อมูลสนับสนุนและหากเป็นไปได้ ใ ห้แจ้งข้อเสนอไปยังคู่เจรจาล่วงหน้าทุกครั้ง ซึ่งจะเป็นการลดขั้นตอนของกิจกรรมเหล่านี้เมื่อถึงเวลาประชุมและจะได้มีเวลาส่วนใหญ่สำหรับการเจรจาเพื่อหาข้อสรุปร่วมกันจากการประชุม การเตรียมการดังกล่าวจะช่วยให้สามารถลดจำนวนการประชุมรวมถึงค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ให้บริการดาวเทียมรายเล็กที่จำเป็นต้องประหยัดค่าใช้จ่ายในการประสานงานความถี่ โ ดยอาจมีทางเลือกอื่นๆ อีก เช่นการใช้วิธีประสานงานความถี่ทางจดหมาย การประชุมทางไกลผ่านทางโทรศัพท์ Video Conference และอื่นๆ

เอกสารการจองสิทธิ์และจำนวนดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าและสถานภาพของเอกสารจองสิทธิ์ของประเทศไทย

ในปัจจุบันดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้ามีจำนวนทั้งสิ้น 425 ดวง[8] ที่ยังไม่ได้ปลดระวางซึ่งตามกระบวนการของข้อบังคับวิทยุแห่งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดให้ผู้ที่ประสงค์จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน จะต้องดำเนินการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองสิทธิ์ในการใช้วงโคจรและคลื่นความถี่ โดยประเทศสมาชิกทุกประเทศมีสิทธิ์ที่จะยื่นเอกสารแสดงความจำนงในการขอใช้งานไปยังสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เพื่อเข้าสู่กระบวนการให้ได้มาซึ่งสิทธิ์ในการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมในวงโคจรและคลื่นความถี่ต่อไป

ในช่วงปี พ.ศ.2542-พ.ศ.2557 มีการส่งดาวเทียมค้างฟ้าเข้าสู่วงโคจรทั้งสิ้นจำนวน 386 ดวง[9] ซึ่งได้แบ่งเป็นสัดส่วนของประเทศใหญ่ๆได้ในแผนภาพที่ 2-6

แผนภาพที่ 2-6 จำนวนดาวเทียมค้างฟ้าที่ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรในช่วงปี พ.ศ.2542 - พ.ศ.2557



[8] Clark Orbit, Online, http://www.tbs-satellite.com/tse/online/REG/orbit_clarke.html, 2015

[9] Satellite Database, Online, http://satellitedebris.net/Database/LaunchHistoryView.php?recperpage=0, 2015

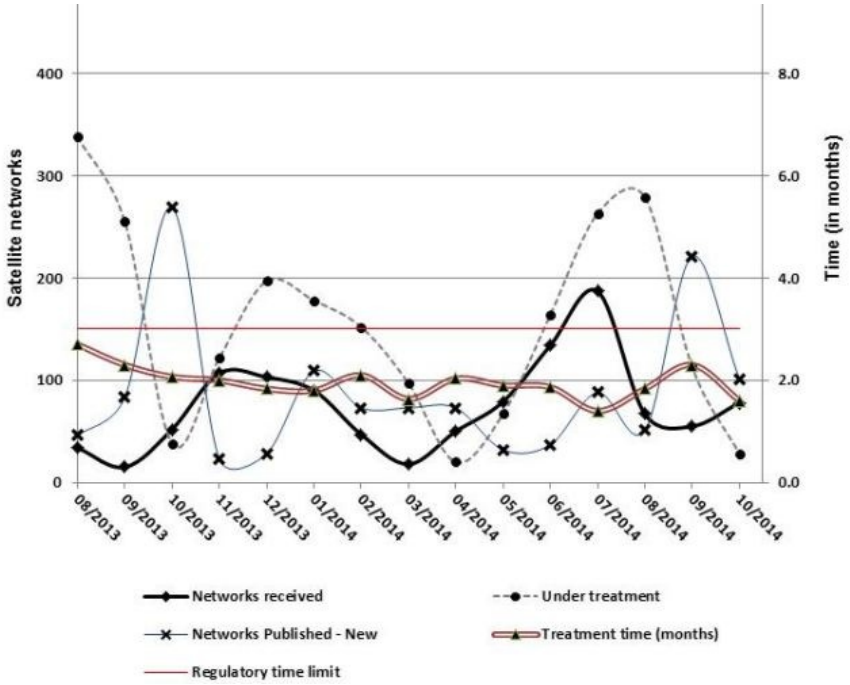
จากแผนภาพที่ 2-6 จะเห็นได้ว่าประเทศมหาอำนาจทั้งหลายโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ที่ส่งและครอบครองดาวเทียมไว้มากที่สุดทั้งจำนวนดาวเทียม จำนวนวงโคจรและคลื่นความถี่

1. ข้อมูลจำนวนเอกสาร API เอกสาร CR/C และเอกสาร Notification ที่ทางสำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับ

ในแต่ละเดือนสำนักงานวิทยุคมนาคมจะได้รับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ส่งมาจากประเทศสมาชิกเป็นจำนวนมากซึ่งจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการรับเรื่อง ตรวจสอบและดำเนินการจัดการเอกสารให้เป็นที่สิ้นสุดตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้สำนักงานวิทยุคมนาคมก็ยังมีเอกสารที่อยู่ในระหว่างการตรวจสอบและรอการตีพิมพ์ ดังนั้นสำนักงานวิทยุคมนาคมจึงจำเป็นต้องมีมาตรการในการจัดการเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อผลประโยชน์ของประเทศสมาชิก

จากการเปิดเผยข้อมูลโดยสำนักงานวิทยุคมนาคมในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557 พบว่ามีเอกสาร API เอกสาร CR/C และเอกสาร Notification ที่สำนักวิทยุคมนาคมได้รับจากประเทศสมาชิกดังแสดงในแผนภาพที่ 2-7 แผนภาพที่ 2-8 และแผนภาพที่ 2-9 ตามลำดับ

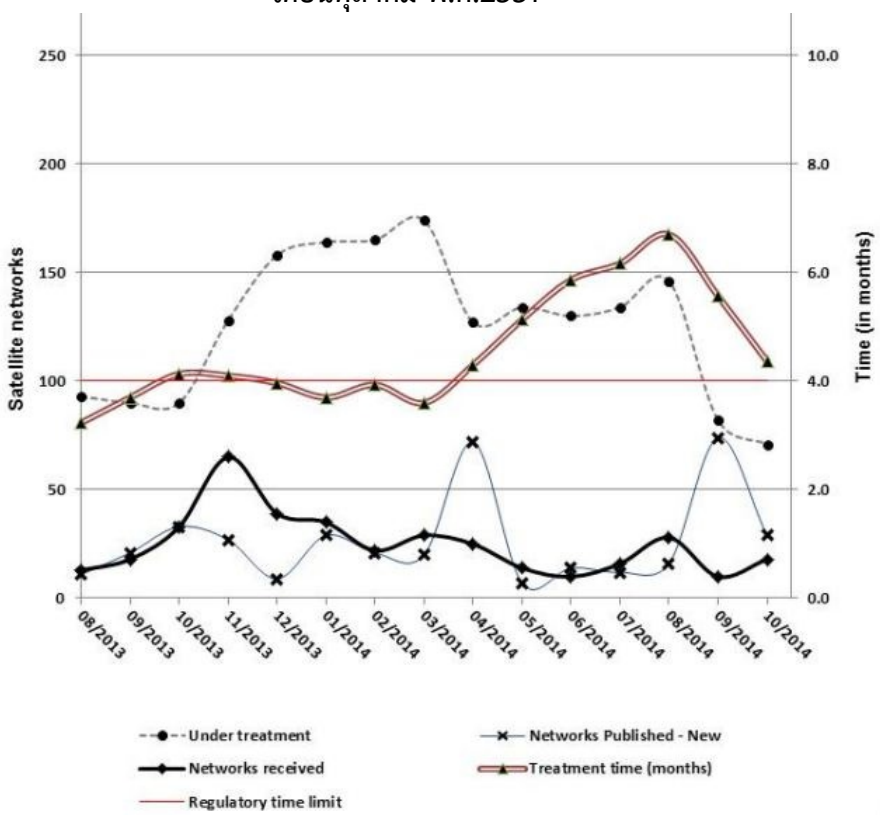
แผนภาพที่ 2-7 จำนวนเอกสาร API ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557[10]



[10] Advance Publication Information (API) for Satellite Networks, Online, www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

จากแผนภาพที่ 2-7 สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร API ใหม่ (Networks Received) เพิ่มเติมจากเอกสาร API เดิมที่อยู่ในระหว่างการตรวจสอบ (Under Treatment) และมีเอกสาร API บางส่วนที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้ดำเนินการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยและตีพิมพ์ในเอกสาร BR-IFIC (Networks Published – New) เนื่องจากเอกสาร API เป็นเอกสารขั้นต้นในการแจ้งความจำนงต่อการใช้วงโคจรและคลื่นความถี่ซึ่งยังไม่มีรายละเอียดของข้อมูลทางด้านเทคนิคมากนัก สำนักงานวิทยุคมนาคมจึงสามารถจัดการกับเอกสารโดยใช้เวลาในการตรวจสอบ (Treatment Time: Months) และสามารถดำเนินการตีพิมพ์เอกสารภายในระยะเวลา 2 เดือนโดยประมาณ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่จะใช้เวลาไม่เกิน 3 เดือน (Regulatory Time Limit) นับจากวันที่ได้รับเอกสาร

แผนภาพที่ 2-8 จำนวนเอกสาร CR/C ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557[11]

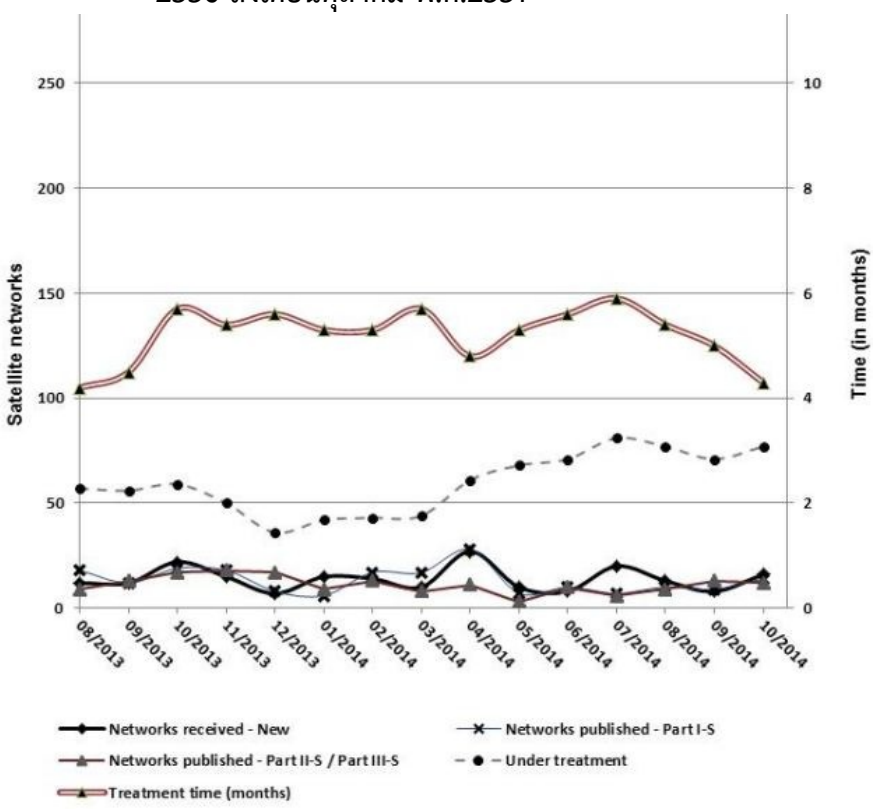


จากแผนภาพที่ 2-8 สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร CR/C ใหม่ (Networks Received) เพิ่มเติมจากเอกสาร CR/C เดิมที่อยู่ในระหว่างการตรวจสอบ (Under Treatment) และ

[11] Coordination Requests Publication for Satellite Networks, Online, www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

มีเอกสาร CR/C บางส่วนที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้ดำเนินการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยและตีพิมพ์ในเอกสาร BR-IFIC (Networks Published – New) แต่เนื่องจากเอกสาร CR/C จะมีข้อมูลรายละเอียดทางด้านเทคนิคประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก สำนักงานวิทยุคมนาคมจึงต้องใช้เวลาในการตรวจสอบเอกสารและตีพิมพ์โดยใช้เวลา 4-6 เดือนโดยประมาณ ซึ่งทำให้ในบางเดือนสำนักงานวิทยุคมนาคมต้องใช้เวลาเกินกว่า 4 เดือนที่ระบุไว้ในข้อกำหนด

แผนภาพที่ 2-9 จำนวนเอกสาร Notification ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2557[12]



จากแผนภาพที่ 2-9 สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร Notification ที่ส่งเข้ามาใหม่ (Networks Received) เพิ่มเติมจากเอกสาร Notification เดิมที่อยู่ในระหว่างการตรวจสอบ (Under Treatment) และมีเอกสาร Notification บางส่วนที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้ดำเนินการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยและตีพิมพ์ในเอกสาร BR-IFIC (Networks Published – New) เนื่องจากเอกสาร Notification เป็นเอกสารเพื่อขอจดทะเบียนคลื่นความถี่และขอรับความคุ้มครองในการใช้งานความถี่ ซึ่งสำนักงานวิทยุคมนาคมต้องตรวจสอบสถานะหรือผลการประสานงานความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมที่ขอจดทะเบียนและจำเป็นต้องใช้เวลาในการตรวจสอบ และตามข้อมูลที่ปรากฏสำนักงานวิทยุคมนาคมใช้เวลาในการตรวจสอบเอกสาร Notification และตีพิมพ์เป็นระยะเวลา 4-6

[12] Notification for Satellite Networks, Online, www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

เดือนโดยประมาณ

จากข้อมูลทั้งหมดในข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าในแต่ละเดือนสำนักงานวิทยุคมนาคมจะได้รับเอกสาร API เป็นจำนวนมากที่สุด เนื่องจากการส่งเอกสาร API ยังไม่เสียค่าใช้จ่าย และการส่งเอกสาร API เป็นการเริ่มต้นกระบวนการเพื่อแสวงหาโอกาสในการใช้วงโคจรของประเทศสมาชิก แต่เมื่อใกล้ถึงกำหนด 2 ปี ก็จะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้วงโคจรและความถี่ตามข้อมูลของเอกสาร API ประกอบกับมีค่าใช้จ่ายในการส่งเอกสาร CR/C จึงทำให้เอกสาร CR/C ที่ถูกส่งมายังสำนักงานวิทยุคมนาคมมีจำนวนลดลงกว่าครึ่งหนึ่งของเอกสาร API และเมื่อใกล้ครบกำหนด 7 ปี ก็จะมีเฉพาะเอกสาร CR/C บางส่วนที่ผ่านกระบวนการประสานงานความถี่และได้รับข้อตกลงเป็นจำนวนที่มากพอในการขอจดทะเบียนความถี่และเตรียมพร้อมที่จะนำดาวเทียมขึ้นใช้งานต่อไป ทั้งนี้ การส่งเอกสาร Notification มีการจัดเก็บค่าดำเนินการด้วยเช่นกัน

2. มาตรการการแก้ปัญหาการส่งเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมและความถี่โดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

จากข้อมูลของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าทั้งหมด (ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 0 ถึง 360 องศาตะวันออก) ที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับและยังคงถูกเก็บรักษาอยู่ในระบบฐานข้อมูลประกอบด้วยเอกสาร API เอกสาร CR/C และเอกสาร Notification เป็นจำนวนเอกสารทั้งสิ้นดังแสดงในตารางที่ 2-4 ถึงแม้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงในวงโคจรจะสามารถมีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ใช้รองรับการใช้งานได้มากกว่าหนึ่งเอกสาร แต่ข้อมูลดังกล่าวยังคงแสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันมีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมมากเกินจำนวนดาวเทียมที่ใช้งานจริง (Overfiling) ซึ่งส่งผลกระทบต่อโอกาสในการใช้วงโคจรและความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมใหม่ที่จำเป็นจะต้องประสานงานกับโครงข่ายดาวเทียมเดิมที่มีอยู่เหล่านี้

ตารางที่ 2-4 จำนวนเอกสารการจองสิทธิ์ในวงโคจรค้างฟ้า[13]

เอกสารการจองสิทธิ์	จำนวนเอกสาร
1. เอกสาร API	19,249
2. เอกสาร CR/C	16,303
3. เอกสาร Notification	9,357

ปัญหาเรื่องจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีมากเกินกว่าจำนวนดาวเทียมจริงและเป็นอุปสรรคต่อแผนการใช้งานดาวเทียมของโครงข่ายดาวเทียมใหม่ได้เกิดขึ้นตั้งแต่ในอดีตซึ่งต่อ

[13] Satellite Networks List, Online, http://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp, 2015

มาได้มีการหารือกันระหว่างประเทศสมาชิกและสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศเพื่อแก้ไขปัญหานี้โดยประเทศสมาชิกและสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศมีความเข้าใจตรงกันว่าตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งในช่วงเวลาก่อนปี พ.ศ.2540 พบว่ามีการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศยังไม่มีนโยบายในการเก็บค่าดำเนินการจากการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมจากประเทศสมาชิก และข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศในอดีตในเรื่องอายุของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมยังไม่สามารถแก้ปัญหาจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ถูกส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องได้ ทั้งนี้มีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมากที่ไม่มีแผนในการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานจริง แต่กลับเป็นอุปสรรคสำหรับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมอื่นในการขอเจรจาประสานงานความถี่ และมีบางประเทศ ตัวอย่างเช่น ราชอาณาจักรตองก้า ซึ่งเล็งเห็นโอกาสจากสภาวการณ์ดังกล่าวในเรื่องของการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองลำดับสิทธิ์ให้กับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมของตนซึ่งมีผลต่อความได้เปรียบในการประสานงานความถี่ จึงส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมากเพื่อผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและเพื่อให้นานาประเทศสามารถเข้าถึงตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและมีการใช้คลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจึงได้มีมาตรการในการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

1. ลดอายุของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมซึ่งหมายถึงช่วงเวลาในการส่งเอกสาร API เอกสาร CR/C และเอกสาร Notification จากเดิม 9 ปีเป็น 7 ปี สำหรับเอกสาร API ที่ส่งหลังวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2540

2. ยกเลิกเอกสาร API ที่ไม่ดำเนินการส่งเอกสาร CR/C ภายในกำหนด 2 ปีหลังจากวันที่ส่ง

3. ยกเลิกของเอกสาร API และเอกสาร CR/C ที่ครบกำหนด 7 ปี และไม่มีการดาวเทียมขึ้นใช้งาน

4. กำหนดให้มีการส่งเอกสาร Administrative Due Diligence Information (Resolution 49) เพิ่มเติม เพื่อแสดงข้อมูลและหลักฐานว่ามีดาวเทียมเทียมใช้งานอยู่จริง

5. จัดเก็บค่าดำเนินการสำหรับการส่งเอกสาร CR/C และเอกสาร Notification จากประเทศสมาชิก โดยเริ่มดำเนินการในปี พ.ศ.2544 เป็นต้นไป

มาตรการที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นสามารถลดจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ไม่มีแผนในการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานจริงและเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังคงเปิดโอกาสให้บางประเทศที่มีทุนทรัพย์หรือความได้เปรียบที่จะยังคงสามารถส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมากเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมในหลายๆ ตำแหน่ง จึงทำให้ปัญหาจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีอยู่เป็นจำนวนมากยังคงไม่ได้รับการแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจึงเริ่มดำเนินการตรวจสอบและยกเลิกเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับการจดทะเบียนแล้วแต่ไม่สามารถยืนยันการนำ

ดาวเทียมขึ้นใช้งานจริงจากประเทศสมาชิกได้

3. ข้อมูลเอกสาร API เอกสาร CR/C เอกสาร Notification และดาวเทียมของประเทศไทย

ประเทศไทยได้ดำเนินการในการส่งเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมไปทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ปัจจุบันสถานะเอกสารโครงข่ายดาวเทียมของประเทศไทยเป็นไปดังตารางที่ 2-5 ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 78.5 119.5 และ 120 องศาตะวันออก ส่วนในตำแหน่งวงโคจรอื่น ประเทศไทยได้ดำเนินการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมและอยู่ในระหว่างการประสานงานความถี่เพื่อพิจารณาโอกาสในการใช้งานต่อไป

ตารางที่ 2-5 เอกสารโครงข่ายดาวเทียมของประเทศไทย (ณ วันที่ 25/12/2557)

ตำแหน่งวงโคจร (องศาตะวันออก)	ชื่อเอกสารโครงข่ายดาวเทียม	วันที่ส่งเอกสาร API/A	วันที่ส่งเอกสาร CR/C	เอกสาร Notification และเอกสาร Resolution 49
50.5	THAICOM-C1	07.03.1994	16.11.1994	ส่ง
	THAICOM-N1	13.10.2004	13.04.2005	ส่ง
	THAICOM-P1R	07.06.2013	25.07.2014	-
51	THAICOM-51ER	06.05.2014	-	-
78.5	THAICOM-A2	31.12.1990	02.03.1992	ส่ง
	THAICOM-A2B	08.04.1994	24.10.1994	ส่ง
	THAICOM-AK2	31.12.1990	09.03.1992	ส่ง
	THAICOM-G1K	24.10.1997	24.04.1998	ส่ง
	THAICOM-N2	13.10.2004	13.04.2005	ส่ง
	THAICOM-Q2	27.09.2013	27.03.2014	-
	THAICOM-LSX2R	06.05.2014	-	-
119.5	THAICOM-IP1	02.10.2003	02.04.2004	ส่ง

	THAICOM-P3	07.06.2011	14.12.2012	-
	THAICOM-LSX3R	06.05.2014	-	-
120	THAICOM-A3	31.12.1990	02.03.1992	ส่ง
	THAICOM-A3B	05.09.1994	12.06.1995	ส่ง
	THAICOM-G2K	24.10.1997	24.04.1998	ส่ง
	THAICOM-N3	13.10.2004	13.04.2005	ส่ง
	THAICOM-P4R	07.06.2013	-	-
126	THAICOM-P5	30.01.2013	-	-
142	THAICOM-G3K	24.10.1997	24.04.1998	ส่ง
	THAICOM-N5R	30.01.2013	-	-

4. จำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า ณ ตำแหน่งวงโคจรในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย

การให้บริการสื่อสารดาวเทียมภายในพื้นที่ให้บริการใดๆจะต้องคำนึงมุมเงย (Elevation Angle) ที่เหมาะสมของจานสายอากาศในสถานีภาคพื้นดิน โ ดยจานสายอากาศที่ติดตั้งควรมีมุมเงยอย่างน้อย 20 องศาเหนือระดับพื้นดินเพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพและหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากข่ายสื่อสารภาคพื้นดิน ด้วยเหตุผลดังกล่าว ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยจะอยู่ในช่วงตำแหน่งวงโคจรที่ 50 ถึง 155 องศาตะวันออก

ข้อมูลของจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในช่วงตำแหน่งวงโคจรดังกล่าว[14] เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจำนวนดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้า ณ ปัจจุบัน[15] ไ ด้ถูกแสดงในแผนภาพที่ 2-10(ก) และ 2-10(ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีจำนวนดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าอยู่อย่างหนาแน่นทั้งในด้านตะวันออกและทางด้านตะวันตกของประเทศไทย เช่นเดียวกับจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น การส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมใหม่เพื่อจองตำแหน่งวงโคจรและความถี่

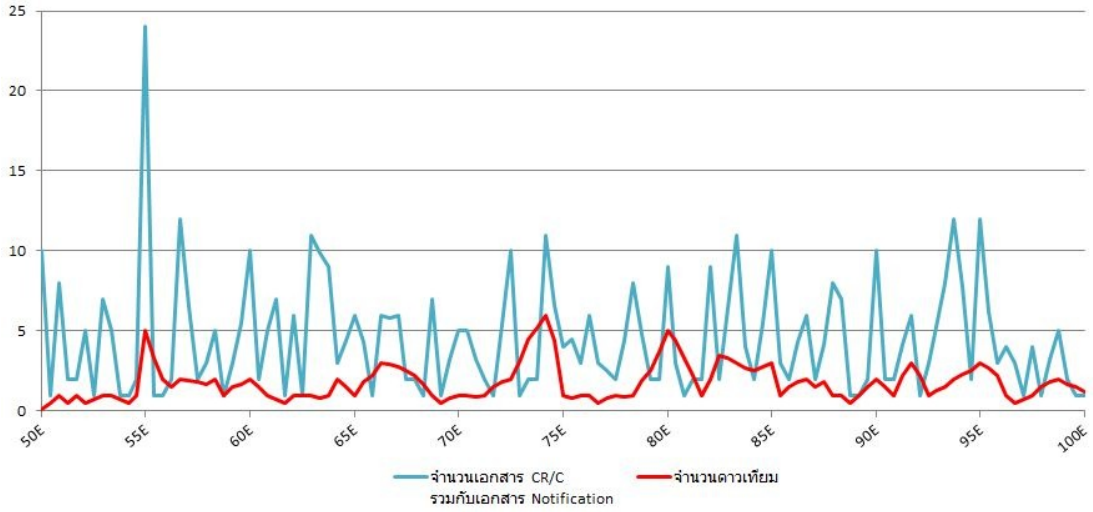
---

[14] Satellite Networks List, Online, http://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp, 2015

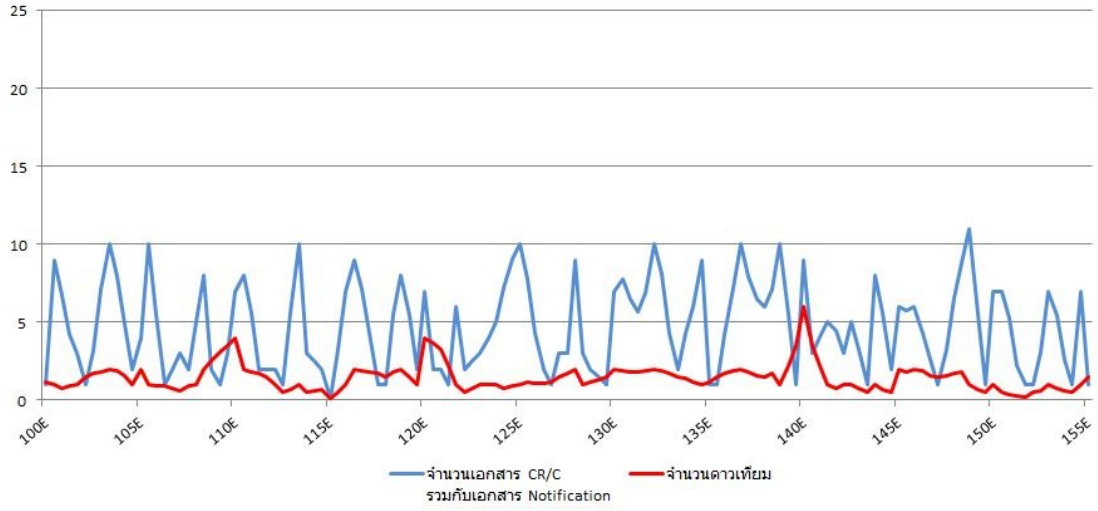
[15] Clark Orbit, Online, http://www.tbs-satellite.com/tse/online/REG/orbit_clarke.html, 2015

เพื่อการให้บริการสื่อสารดาวเทียมที่ครอบคลุมประเทศไทยจึงมีอุปสรรคเรื่องการประสานงานความถี่ อันเนื่องมาจากจำนวนดาวเทียมและจำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันเป็นจำนวนมาก

แผนภาพที่ 2-10(ก) จำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมในช่วงตำแหน่งวงโคจรที่ 50 ถึง 100 องศาตะวันออก



แผนภาพที่ 2-10(ข) จำนวนเอกสารข่ายงานดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมในช่วงตำแหน่งวงโคจรที่ 100 ถึง 155 องศาตะวันออก



หลักการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประสานงานความถี่และวิธีการแก้ไขปัญหาการรบกวนของสัญญาณ

1. หลักการของการประสานงานความถี่

การประสานงานความถี่เป็นกระบวนการในการเจรจาประสานงานระหว่างผู้ให้บริการดาวเทียมของโครงข่ายดาวเทียมที่อยู่ข้างเคียงกัน เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายสามารถบรรลุข้อตกลงและกำหนดเงื่อนไขในการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมโดยปราศจากปัญหาสัญญาณรบกวน และหลังจากประสานงานความถี่เรียบร้อยแล้วจึงแจ้งไปยังสำนักวิทยุคมนาคมเพื่อวัตถุประสงค์ในการขอจดทะเบียนคลื่นความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมลงในทะเบียนคลื่นความถี่โลก (MIFR) ซึ่งจะได้รับความคุ้มครองการใช้งานจากสัญญาณรบกวนจากโครงข่ายดาวเทียมอื่น

โดยธรรมชาติของการเจรจาต่อรองถือเป็นเรื่องปกติที่ทั้งสองฝ่ายจะต้องพยายามหาข้อได้เปรียบในการเจรจาเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของแต่ละฝ่าย กระบวนการประสานงานความถี่ก็เช่นเดียวกันซึ่งนอกเหนือจากจะมีความซับซ้อนในประเด็นทางด้านเทคนิคแล้ว ก็ยังมีประเด็นด้านอื่นๆเข้ามามีบทบาทสำคัญ ตัวอย่างเช่น ผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ การกีดกันทางการค้า ประสบการณ์และทักษะในการเจรจาต่อรอง เป็นต้น จึงทำให้การประสานงานความถี่อาจใช้เวลาดำเนินการเป็นเวลานานและในบางกรณีอาจจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานอำนวยการในเชิงนโยบายและท่าทีรวมถึงการเข้าร่วมประชุมพร้อมกันกับผู้ให้บริการดาวเทียม

หากการประสานงานความถี่ยังไม่สามารถบรรลุข้อตกลงกับโครงข่ายดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์สูงกว่าเนื่องมาจากสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับประเด็นทางด้านเทคนิค ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศก็ยังเปิดโอกาสให้สามารถส่งเอกสารเพื่อขอจดทะเบียนคลื่นความถี่ได้ภายใต้เงื่อนไขที่จะต้องป้องกันสัญญาณรบกวนไม่ให้เกิดกับโครงข่ายดาวเทียมที่ไม่ยินยอมให้ข้อตกลง ดังนั้น จึงทำให้สามารถส่งดาวเทียมขึ้นใช้งานควบคู่ไปกับการเจรจาประสานงานความถี่ให้บรรลุข้อสรุป แต่ในทางกลับกันการเปิดโอกาสโดยข้อบังคับวิทยุดังกล่าวส่งผลให้ในบางกรณีมีการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานโดยที่ยังไม่ประสานงานความถี่ ซึ่งการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานในกรณีนี้มีความเสี่ยงสูงที่จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงและนำไปสู่กระบวนการยกเลิกเอกสารโครงข่ายดาวเทียมโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

2. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโอกาสของความสำเร็จในการประสานงานความถี่

2.1. บุคลากรที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการประสานงานความถี่

บุคลากรที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการประสานงานความถี่ถือเป็นองค์ประกอบหลักในการประสานงานความถี่ให้สำเร็จ เนื่องจากการประสานงานความถี่จำเป็นจะต้องอาศัยประสบการณ์และความเชี่ยวชาญทั้งทางด้านเทคนิคและการเจรจา ทั้งนี้ บุคลากรควรมีความเข้าใจในข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ มีความรู้ความเข้าใจทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและใช้งานดาวเทียมรวมถึงการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการประสานงาน

ความถี่จึงจะทำให้สามารถเจรจาทำข้อตกลงกับคู่เจรจา ทำความเข้าใจและนำผลการประสานงานความถี่ไปใช้เป็นข้อกำหนดของการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมต่อไป

2.2. ความช่วยเหลือจากหน่วยงานของรัฐ

เนื่องจากหน่วยงานอำนวยการสำหรับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมจะเป็นหน่วยงานทางด้านกิจการโทรคมนาคมของรัฐและเป็นผู้ดำเนินการประสานงานกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ซึ่งในหลายๆกรณีของการติดต่อสื่อสารจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการดำเนินการให้เป็นไปตามข้อบังคับวิทยุที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงต้องอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานของรัฐในการดำเนินการและประสานงานกับผู้ให้บริการดาวเทียมในการจัดทำหนังสือโต้ตอบกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นที่มีความเร่งด่วน อีกทั้งหน่วยงานของรัฐจะเป็นผู้ได้รับข้อมูลต่างๆจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประสานงานกันเป็นอย่างดีระหว่างหน่วยงานของรัฐและผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อรักษาผลประโยชน์ให้กับโครงข่ายดาวเทียมของประเทศ

ในกระบวนการประสานงานความถี่ระดับหน่วยงานอำนวยการและการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียง ผู้ให้บริการดาวเทียมอาจจำเป็นต้องร้องขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานของรัฐให้เป็นผู้ดำเนินการประสานงานระดับรัฐบาลกับประเทศอื่นๆเพื่อสนับสนุนให้มีการประชุมประสานงานความถี่หรือเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน ซึ่งการให้การสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐมีความจำเป็นเพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ให้กับโครงข่ายดาวเทียมของประเทศ นอกจากนี้หน่วยงานของรัฐควรดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อคุ้มครองสิทธิ์การใช้งานคลื่นความถี่ Planned bands ของประเทศที่ได้รับการจัดสรรตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ Appendices 30 30A และ 30B โดยแจ้งความเห็นไปยังประเทศคู่กรณีที่มีแผนการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานคลื่นความถี่ Planned bands ของประเทศ

2.3. การเพิ่มขึ้นของจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียม

ปัจจุบันจะเห็นว่าเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่สำนักงานวิทยุคมนาคมได้รับและตีพิมพ์ลงในเอกสาร BR-IFIC มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ตำแหน่งวงโคจรถูกจับจองแทบทั้งหมดจึงสร้างผลกระทบและเป็นอุปสรรคต่อการประสานงานความถี่

2.4. เอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ไม่มีการนำดาวเทียมหรือความถี่ขึ้นใช้งานจริง

เนื่องจากมีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในขั้นขอประสานงานความถี่เป็นจำนวนมากที่ผู้ให้บริการดาวเทียมไม่มีแผนการนำดาวเทียมหรือความถี่ขึ้นใช้งานแต่เอกสารยังไม่หมดอายุตามข้อบังคับวิทยุซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการประสานงานความถี่ นอกจากนี้ยังมีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมในขั้นขอจดทะเบียนความถี่อีกเป็นจำนวนมากที่ไม่มีดาวเทียมใช้งานอยู่จริงหรือมีดาวเทียมแต่ดาวเทียมใช้ความถี่ไม่ครบทุกย่านตามเอกสารซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการประสานงานความถี่ได้เช่นเดียวกัน หลายประเทศที่มีทุนทรัพย์มากมักจะใช้วิธีการนี้ในการสงเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมเป็นการเผื่อเลือกเพื่อใช้ในการเจรจาต่อรอง

3. วิธีการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน

ปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการดาวเทียมเกิดจากการใช้งานที่ทับซ้อนกันของคลื่นความถี่ ขั้วคลื่นของสัญญาณ (Polarization) และพื้นที่ให้บริการระหว่างโครงข่ายดาวเทียม ณ ตำแหน่งวงโคจรที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในกรณีที่เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ โ ครงข่ายดาวเทียมของฝ่ายที่สร้างสัญญาณรบกวนจะต้องเร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาให้เสร็จสิ้นโดยเร็ว มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการให้บริการเป็นกรณีพิพาทระหว่างประเทศคู่กรณีรวมถึงการถูกแจ้งยกเลิกเอกสารโครงข่ายดาวเทียมโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้ การแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนสามารถจำแนกตามเงื่อนไขของเวลาออกเป็น 2 วิธีได้ดังนี้

3.1. การออกแบบดาวเทียม

ในขั้นตอนของการออกแบบและสร้างดาวเทียมจะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่เป็นไปตามเงื่อนไขและข้อตกลงจากการประสานงานความถี่ซึ่งถือเป็นการป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุด ทั้งนี้ ดาวเทียมอาจถูกออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้คลื่นความถี่ ขั้วคลื่นของสัญญาณหรือพื้นที่ให้บริการที่ทับซ้อนกับดาวเทียมข้างเคียงในกรณีของโครงข่ายดาวเทียมที่อยู่ใกล้กันมากหรืออยู่ ณ ตำแหน่งวงโคจรเดียวกัน ส่วนในกรณีของโครงข่ายดาวเทียมที่อยู่ห่างกันก็จะสามารถออกแบบดาวเทียมให้ใช้งานความถี่ ขั้วคลื่น หรือพื้นที่ให้บริการที่ทับซ้อนกันได้ตามเงื่อนไขของการประสานงานความถี่ แต่ในกรณีที่ได้ออกแบบและสร้างดาวเทียมเสร็จสิ้นก่อนการประสานงานความถี่ ผู้ให้บริการดาวเทียมจะมีความเสี่ยงที่อาจจะไม่สามารถใช้งานดาวเทียมได้ตามการออกแบบเนื่องจากไม่สามารถได้รับข้อตกลงจากผู้ให้บริการดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์ของเอกสารที่สูงกว่า

3.2. มาตรการในการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน

ในการประสานความถี่อาจมีการกำหนดมาตรการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นแม้ทั้งสองฝ่ายจะได้ข้อสรุปหรือเงื่อนไขในการประสานงานความถี่แล้ว ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนหลังจากนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน ทั้งสองฝ่ายจะดำเนินการตามมาตรการที่ได้ตกลงร่วมกัน ทั้งนี้การแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนอาจใช้เวลานานเนื่องจากความจำเป็นในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุตามขั้นตอนของมาตรการ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่ได้รับความร่วมมือหรือขาดการติดต่อประสานงาน ผู้ให้บริการดาวเทียมจะต้องติดต่อประสานงานกับหน่วยงานอำนวยการของโครงข่ายดาวเทียมที่เกี่ยวข้องเพื่อติดตามและประสานงานกันในระดับหน่วยงานอำนวยการรวมถึงประสานงานแจ้งไปยังสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศในกรณีที่จำเป็นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาให้เป็นที่สิ้นสุด

วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ Planned Bands ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้จัดสรรให้นานาประเทศ

1. ที่มาของการจัดสรรวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ Planned Bands

เนื่องจากประเทศสมาชิกบางประเทศไม่มีศักยภาพเพียงพอในการแข่งขันกับประเทศ อื่นๆในการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานผ่านกระบวนการประสานงานความถี่เพื่อให้ได้มาซึ่งสิทธิ์ในการใช้ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ตามหลักการ First Come First Served ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกันในกลุ่มประเทศสมาชิกสำหรับการเข้าถึงทรัพยากรความถี่และตำแหน่งวงโคจร สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจึงได้จัดสรรตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมควบคู่กับคลื่นความถี่แบบ Planned Bands ให้กับทุกๆประเทศตามข้อบังคับวิทยุในภาคผนวก 30 30A และ 30B (Appendices 30, 30A and 30B) ซึ่ง Appendices 30 และ 30A กำหนดตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่สำหรับกิจการวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในขณะที่ Appendix 30B กำหนดตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่สำหรับกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม เมื่อประเทศสมาชิกต้องการใช้งานตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ Planned Bands ดังกล่าวก็สามารถส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียม Planned Bands แจ้งไปยังสำนักงานวิทยุคมนาคมได้ทันทีโดยการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานในกรณีนี้ไม่ต้องผ่านกระบวนการประสานงานความถี่ อย่างไรก็ตาม การใช้งานตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ที่ได้รับการจัดสรรไว้มีข้อจำกัดทั้งทางด้านพื้นที่ให้บริการ เนื่องจากจะใช้งานได้เฉพาะพื้นที่ภายในประเทศเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางด้านเทคนิค เช่น ขนาดจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินรวมไปถึงกำลังส่งของอุปกรณ์เป็นต้น

2. คลื่นความถี่ Planned Bands และตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ Appendices 30 30A และ 30B

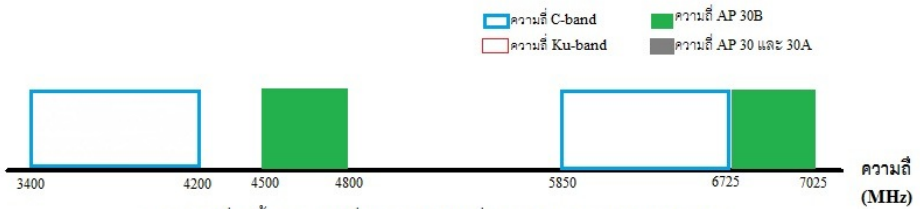
ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ Appendices 30 30A และ 30B (Planned Bands) มีการจัดสรรคลื่นความถี่หรือช่องความถี่และตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมให้ประเทศสมาชิกได้มีสิทธิ์ในการใช้งาน ซึ่งความถี่ตามภาคผนวกในข้อบังคับวิทยุนี้ถูกแบ่งเป็นสองกลุ่มดังตารางที่ 2-6 และเมื่อเปรียบเทียบช่วงความถี่ของ Appendices 30 30A และ 30B กับช่วงความถี่ในย่าน C และ Ku ที่ได้รับการจัดสรรโดยใช้หลักการ First Come First Served ดังแสดงในแผนภาพที่ 2-11 จะพบว่าไม่มีช่วงความถี่ที่ทับซ้อนกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าประเทศสมาชิกสามารถเลือกใช้งานความถี่แบบใดก็ได้โดยอิสระ

ตารางที่ 2-6 คลื่นความถี่ Planned Bands

ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ	กิจการ	ความถี่ขาขึ้น	ความถี่ขาลง
1. Appendices 30 และ 30A	กิจการวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (BSS)	11.7-12.2 GHz (Appendix 30A)	14.5-14.8 GHz 17.3-18.1 GHz (Appendix 30)
2. Appendix 30B	กิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (FSS)	6725-7025 MHz 12.75-13.25 GHz	4500-4800 MHz 10.7-10.95 GHz 11.2-11.45 GHz

อนึ่งตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมของแต่ละประเทศสมาชิกและคลื่นความถี่ที่แต่ละประเทศจะสามารถใช้ได้รวมถึงข้อมูลรายละเอียดทางด้านเทคนิคต่างๆของโครงข่ายดาวเทียม จะต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ Appendices 30 30A และ 30B และต้องให้บริการเฉพาะในอาณาเขตของประเทศตนเองเท่านั้น

แผนภาพที่ 2-11 (ก) ช่วงความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ในย่าน C-band และความถี่ Planned Bands Appendix 30B และ (ข) ช่วงความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ในย่าน Ku-band และความถี่ Planned Bands Appendices 30 30A และ 30B



(ก) ความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ C-band และ Appendix 30B

(ข) ความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงของความถี่ Ku-band Appendices 30 30A และ 30B

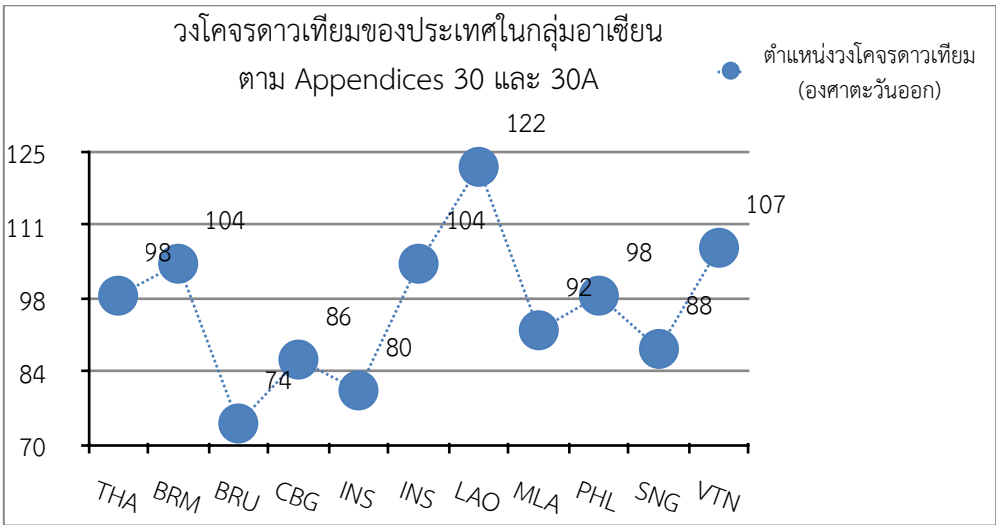
อย่างไรก็ตามคลื่นความถี่ Planned Bands สามารถทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน แต่การปรับปรุงข้อมูลคลื่นความถี่ Planned Bands ดังกล่าว จะต้องผ่านขั้นตอนการประสานงานความถี่กับโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบรวมทั้งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมต่อไป

เนื่องจากการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและการใช้งานคลื่นความถี่ที่ถูกจัดสรรโดยใช้หลักการ First Come First Served เริ่มมีความยากและซับซ้อนมากขึ้น การพิจารณาใช้ความถี่ Planned Bands ซึ่งมีข้อจำกัดแต่ถ้าสามารถได้รับความร่วมมือกับประเทศอื่นๆเพื่อพัฒนาตำแหน่งวงโคจรร่วมกันและขยายขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของดาวเทียมโดยการพิจารณาความเป็นไปได้ของการใช้ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียม ก็อาจจะทำให้การใช้ดาวเทียมในย่านความถี่ Planned Bands มีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น

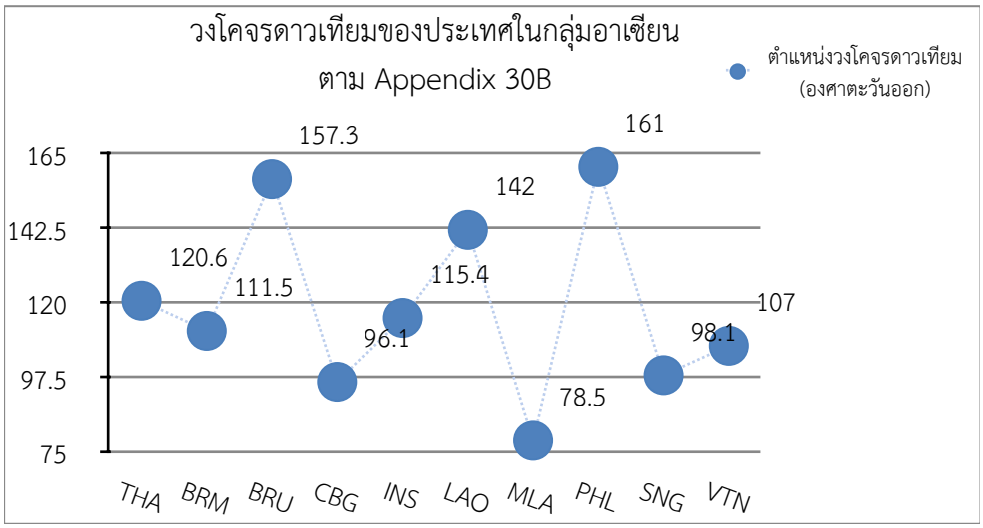
3. ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียนตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ Appendices 30 30A และ 30B

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้จัดสรรวงโคจรดาวเทียมและความถี่ตามภาคผนวก 30 30A และ 30B ของข้อบังคับวิทยุให้แก่ประเทศต่างๆในกลุ่มอาเซียน ซึ่งประกอบไปด้วย ราชอาณาจักรไทย (THA) สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา (BRM) ประเทศบรูไนดารุสซาลาม (BRU) ราชอาณาจักรกัมพูชา (CBG) สาธารณรัฐอินโดนีเซีย (INS) สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (LAO) ประเทศมาเลเซีย (MLA) สาธารณรัฐฟิลิปปินส์ (PHL) สาธารณรัฐสิงคโปร์ (SNG) และสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม (VTN) ดังแสดงในแผนภาพที่ 2-12 และแผนภาพที่ 2-13 และสรุปในตารางที่ 2-7

แผนภาพที่ 2-12 วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียนตาม Appendices 30 และ 30A



แผนภาพที่ 2-13 วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียน ตาม Appendices 30B



การใช้วงโคจรและคลื่นความถี่ Planned Bands ได้รับความนิยมค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่สามารถครอบคลุมได้เฉพาะอาณาเขตของประเทศที่มีสิทธิ์ใช้งานความถี่ Planned Bands ณ ตำแหน่งวงโคจรนั้นเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องรวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานีภาคพื้นดิน

ตารางที่ 2-7 วงโคจรดาวเทียมของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มอาเซียน ตาม Appendices 30 30A และ 30B

ประเทศ	สัญลักษณ์	ตำแหน่งวงโคจร ตาม Appendices 30 และ 30A (องศาตะวันออก)	ตำแหน่งวงโคจร ตาม Appendix 30B (องศาตะวันออก)
ไทย	THA	98	120.6
พม่า	BRM	104	111.5
บรูไน ดารุสซาลาม	BRU	74	157.3
กัมพูชา	CBG	86	96.1
อินโดนีเซีย	INS	80.2 และ 104	115.4
ลาว	LAO	122.2	142
มาเลเซีย	MLA	91.5	78.5

ฟิลิปปินส์	PHL	98	161
สิงคโปร์	SNG	88	98.1
เวียดนาม	VTN	107	107

ดังนั้น หากต้องการใช้งานวงโคจรและคลื่นความถี่ Planned Bands ให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการขยายพื้นที่ให้บริการ การกำหนดตำแหน่งวงโคจรที่เหมาะสม และการปรับปรุงลักษณะการใช้งานทางด้านเทคนิคเพิ่มเติม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การดำเนินการเพิ่มเติมดังกล่าว (Modified Planned Bands) จะต้องส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมไปยังสำนักงานวิทยุคมนาคมเพื่อเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่และมีความเป็นไปได้ที่จะมีอุปสรรคในการประสานงานเช่นเดียวกับกรณี First Come First Served และเพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการประสานงานความถี่สำหรับกรณีดังกล่าวให้ประสบความสำเร็จ อาจจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือของประเทศต่างๆในกลุ่มอาเซียนให้ดำเนินการพิจารณาตำแหน่งวงโคจรที่เหมาะสมและมีศักยภาพสำหรับทุกประเทศที่จะสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยมีการขยายพื้นที่ให้บริการครอบคลุมอาณาเขตของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ ความร่วมมือดังกล่าวยังเป็นการสร้างโอกาสและอำนาจในการเจรจาต่อรองกับโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงให้ประสบความสำเร็จได้

สรุป

ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรร่วมของทุกประเทศ หากประเทศใดมีความประสงค์จะใช้งานดาวเทียมในวงโคจรก็สามารถดำเนินการตามขั้นตอนและกระบวนการของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้โดยมีหลักการที่สำคัญคือจะต้องประสานงานความถี่โครงข่ายดาวเทียมของตนกับโครงข่ายดาวเทียมของประเทศผู้ได้รับผลกระทบให้ได้เป็นผลสำเร็จเพื่อป้องกันผลกระทบต่อโครงข่ายดาวเทียมที่อยู่ใกล้เคียงและเพื่อให้ได้มาซึ่งสิทธิในการใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ การประสานงานความถี่เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและใช้เวลานานเนื่องจากทั้งสองฝ่ายจะต้องเจรจาและหาข้อตกลงร่วมกัน ทั้งนี้ในการเจรจาประสานงานความถี่อาจเป็นการเจรจาระหว่างผู้ให้บริการดาวเทียมของทั้งสองฝ่าย (Operator-to-Operator Level) หรืออาจจะมีการเจรจาระหว่างหน่วยงานอำนวยการของทั้งสองฝ่าย (Administration-to-Administration Level) ได้เช่นเดียวกันเพื่อให้การสนับสนุนการประสานงานความถี่ให้ได้ข้อยุติ แต่ทั้งนี้หน่วยงานอำนวยการของแต่ละประเทศเท่านั้นที่เป็นหน่วยงานที่เป็นผู้ติดต่อและดำเนินการในการส่งเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่กับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

การดำเนินการตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศและการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนของโครงข่ายดาวเทียมจะต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐในการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ให้บริการดาวเทียมประสงค์ที่จะส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ เอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่จะถูกส่งไปยังสำนักวิทยุคมนาคมต้องได้รับการตรวจสอบและผ่านการพิจารณาของหน่วยงานของรัฐให้เป็นที่เรียบร้อยก่อน

และเมื่อเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนกับโครงข่ายดาวเทียมของผู้ให้บริการดาวเทียมและไม่สามารถเจรจาเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนกับโครงข่ายดาวเทียมที่เกี่ยวข้องได้ ผู้ให้บริการดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบอาจต้องร้องขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานของรัฐในการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานอำนวยการที่เกี่ยวข้องหรือสำนักงานวิทยุคมนาคมเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน

เนื่องจากการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและการใช้งานคลื่นความถี่มีการแข่งขันสูง ผู้ให้บริการดาวเทียมที่ส่งเอกสารภายหลังซึ่งทำให้เสียเปรียบในเรื่องของลำดับสิทธิ์ (Priority) หรือประเทศที่ยังขาดศักยภาพในการประสานงานความถี่ให้เป็นผลสำเร็จอาจไม่มีโอกาสเข้าถึงการใช้งานวงโคจรและคลื่นความถี่อันถือเป็นแหล่งทรัพยากรร่วมของทุกประเทศ ดังนั้น การใช้งานวงโคจรและความถี่ Planned Bands จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเข้าถึงทรัพยากรดังกล่าวเพื่อการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมโดยไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่ แต่การใช้งานความถี่ Planned Bands ก็มีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ตำแหน่งวงโคจร คลื่นความถี่ที่ใช้งาน พื้นที่ให้บริการและข้อจำกัดทางด้านเทคนิคอื่นๆ ที่ถูกกำหนดไว้แล้วโดย ITU จึงทำให้ที่ผ่านมาการใช้งานความถี่ Planned Bands ได้รับความสนใจค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม ก็ยังสามารถปรับปรุงลักษณะทางด้านเทคนิคของคลื่นความถี่ Planned Bands ให้เหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานตามที่ต้องการทั้งในกรณีของการกำหนดตำแหน่งวงโคจรเองหรือการขยายขอบเขตพื้นที่ให้บริการให้ครอบคลุมไปถึงประเทศอื่นได้ แต่ก่อนที่จะใช้งานได้จะต้องเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่กับโครงข่ายดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบให้ได้ข้อยุติเป็นที่เรียบร้อยก่อน ซึ่งในอนาคตอาจมีความจำเป็นหรือมีความเป็นไปได้ในการรวมกลุ่มกันระหว่างประเทศที่ต้องการขยายการใช้งานความถี่ Planned Bands หรือความถี่ในส่วนที่ต้องประสานงานแบบ First Come First Served (Non-Planned Bands) เพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้วงโคจรและความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีที่แต่ละประเทศต่างแยกการใช้งานตามสิทธิ์ที่ได้รับจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือสิทธิการใช้งานที่ได้มาจากการประสานงานความถี่

บทที่ 3

นวัตกรรมใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมสื่อสาร

เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุและวงโคจรค้างฟ้ามีปริมาณที่จำกัดในขณะที่ความต้องการการใช้งานนั้นยังคงมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่องดังนั้นการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและการประสานงานความถี่มีความยากลำบากมากขึ้นตามไปด้วย เป็นเหตุให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารดาวเทียมให้สามารถใช้คลื่นความถี่ที่วิทยุ และวงโคจรดาวเทียมมีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวนั้นมีทั้งในส่วนภาคอวกาศ (Space Segment) ที่เกี่ยวข้องกับระบบดาวเทียมโดยเน้นนวัตกรรมที่เพิ่มศักยภาพของดาวเทียมให้สามารถยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศและเพิ่มขีดความสามารถในการใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในส่วนที่เกี่ยวข้องกับภาคพื้นดิน (Ground Segment) ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ภาคพื้นดินที่ใช้ในการรับส่งสัญญานดาวเทียมให้ มีการจัดการข้อมูลและการใช้คลื่นความถี่วิทยุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

แต่เดิมการรับส่งสัญญานดาวเทียมจะเป็นระบบอนาลอกซึ่งเป็นระบบที่อาศัยความแรงของสัญญานโดยลำพังในการต่อสู้กับสัญญานรบกวนและชดเชยกับการสูญเสียของกำลังของสัญญาณที่ถูกกระจายไปในอวกาศและถูกลดทอนโดยชั้นบรรยากาศของโลกรวมถึงความชื้นของเมฆและน้ำฝน ซึ่งระบบนี้เปรียบเสมือนการแข่งกันตะโกนใครตะโกนได้ดังกว่าก็จะสามารถส่งสัญญาณเสียงไปถึงผู้รับได้ดีกว่า ถ้าทุกคนแข่งการตะโกนในที่สุดก็จะมีแต่เสียงรบกวนไม่มีใครสามารถสื่อสารกันได้เพราะมีแต่เสียงรบกวน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบสื่อสารจากระบบอนาลอกมาเป็นระบบดิจิตอลซึ่งมีการพัฒนาการเข้าระหัสเพื่อตัดการรบกวนของสัญญาณ (Error Correction Coding) และระบบบีบอัดสัญญาณ (Digital Compression) ซึ่งทำให้สามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุในปริมาณที่น้อยกว่าระบบอนาลอก ทางด้านของภาคอวกาศก็ได้มีการพัฒนาให้ดาวเทียมมีอายุการใช้งานได้นานขึ้นและมีการพัฒนาระบบจานสายอากาศให้สามารถกำหนดพื้นที่ให้บริการได้หลากหลายและสามารถนำคลื่นความถี่วิทยุเดิมมาใช้งานได้อีก (Frequency Reuse) รวมถึงอุปกรณ์ที่สามารถถอดและเข้าระหัสสัญญาณแบบดิจิตอลบนดาวเทียมด้วย

บทนี้ได้รวบรวมนวัตกรรมใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมที่สามารถยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความี่วิทยุเพื่อใช้ในการพิจารณานำนวัตรรมใหม่ๆที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบดาวทียมสื่อสารหรือใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆของไทยเอง

นวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับภาคอวกาศ (Space Segment) เพื่อยืดอายุการใช้งานของดาวเทียม (Satellite Life-Extension Technology)

โดยปกติอายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณของเชื้อเพลิงที่บรรจุในถังเชื้อเพลิงของตัวดาวเทียมเอง ซึ่งดาวเทียมจะใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวส่วนหนึ่งในช่วงของการนำส่งดาวเทียมจากวงโคจรถ่ายโอน (Transfer Orbit) สู่วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit) หลังจากที่จรวดส่งดาวเทียมได้ปล่อยดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรถ่ายโอนแล้ว และอีกส่วนหนึ่งในการควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมให้อยู่ในกรอบของตำแหน่งที่ใช้งานอยู่ตลอดเวลา เมื่อเชื้อเพลิงดังกล่าวหมดลง ดาวเทียมจะไม่สามารถรักษาตำแหน่งและวงโคจรให้เหมือนเดิมได้ ส่งผลให้ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งและมีวงโคจรที่ไม่ใช่วงโคจรค้างฟ้าอีกต่อไป ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้อายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศก็จะสิ้นสุดลง ดังนั้นผู้ให้บริการดาวเทียมจะต้องสำรองเชื้อเพลิงไว้อีกส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการปลดระวางโดยการนำดาวเทียมไปสู่วงโคจรที่สูงขึ้นออกไปจากระดับวงโคจรค้างฟ้าทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงที่ดาวเทียมดังกล่าวจะไปก่อปัญหากับดาวเทียมดวงอื่นๆที่ยังใช้งานอยู่

เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ควบคุมดาวเทียมในปัจจุบันนั้นประกอบด้วย 2 ประเภทใหญ่ด้วยกัน คือ เชื้อเพลิงแบบเคมี (Chemical Propulsion) และเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า (Electric Propulsion) เชื้อเพลิงแบบเคมีนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้มาเป็นเวลานาน จนกระทั่งมีการพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของอุตสาหกรรมและเป็นทางเลือกในการออกแบบของดาวเทียมสื่อสารอีกด้วย ซึ่งรายละเอียดของเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทจะได้กล่าวถึงในแต่ละหัวข้อต่อไป

เนื่องจากเชื้อเพลิงบนดาวเดียมเป็นปัจจัยในการกำหนดอายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศ ดังนั้นจึงเกิดนวัตกรรมในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบเชื้อเพลิงของดาวเทียมขึ้น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศ และล้วนเป็นนวัตกรรมที่คิดค้นเพื่อการใช้งานในช่วงปลายอายุดาวเทียม ซึ่งได้ใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุแรกเริ่มไปมากแล้วในปัจจุบันมีแนวคิดและนวัตกรรมดังต่อไปนี้

1. นวัตกรรมการเติมเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิงบนดาวเทียม

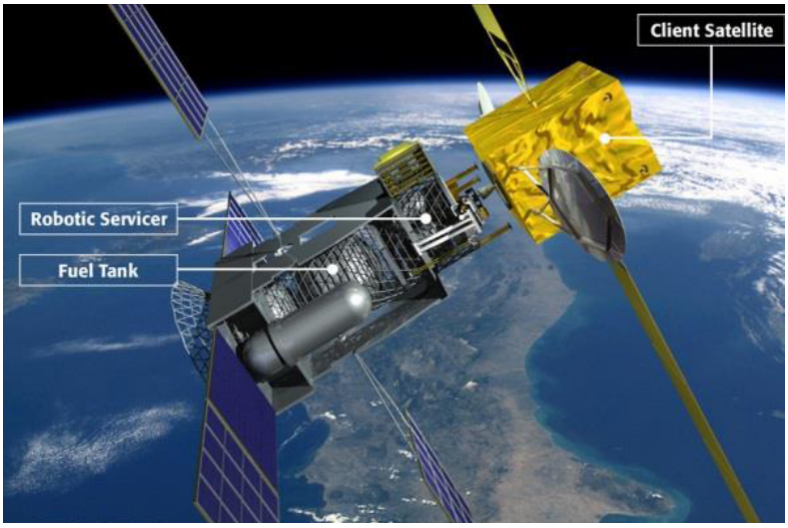
จากการที่อายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงบนดาวเทียมนั้น ทำให้เกิดแนวคิดในการเติมเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิงเพื่อให้มีเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นสำหรับการควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมต่อไป แนวคิดนี้ได้เกิดเป็นนวัตกรรมภายใต้โครงการ Space Infrastructure Service (SIS)[1] ของประเทศแคนาดาขึ้นอย่างเป็นทางการในปี พ.ศ.2553 และเนื่องจากดาวเทียมในอวกาศปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงแบบเคมีเป็นหลักในการควบคุมตำแหน่งและวงโคจร ดังนั้นโครงการนี้จึงพิจารณาการเติมเชื้อเพลิงแบบเคมีเท่านั้นโดยจะสร้างดาวเทียมที่ใช้สำหรับบรรทุกเชื้อเพลิงแบบเคมีในปริมาณประมาณ 2,000 กิโลกรัม ส่งขึ้นสู่อวกาศในระดับใกล้เคียงกับวงโคจรค้างฟ้า เมื่อดาวเทียมในอวกาศดวงใดที่ใช้งานอยู่นั้นมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ใกล้

---

[1] Space Infrastructure Servicing, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Infrastructure_Servicing, 2015

จะหมดแล้ว ก็จะดำเนินการเคลื่อนดาวเทียมที่บรรทุกเชื้อเพลิงทางเคมีนี้ ไ ปทำการเติมเชื้อเพลิงเข้าสู่ถังเชื้อเพลิงของดาวเทียมเป้าหมายในปริมาณที่เหมาะสมต่อเป้าประสงค์ แผนงานและปัจจัยอื่นๆของดาวเทียมนั้นๆ

แผนภาพที่ 3-1 โครงการ Space Infrastructure Service



ดาวเทียมสื่อสารในวงโคจรค้างฟ้า จะมีจรวดขับดันหลักซึ่งใช้ในช่วงการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรเพื่อทำการปรับวงโคจรดาวเทียมจากวงโคจรถ่ายโอนเข้าสู่วงโคจรค้างฟ้า จรวดขับดันนี้จะเชื่อมต่อกับถังเชื้อเพลิงแบบเคมี ซึ่งส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้น ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าจะติดตั้งจรวดขับดันหลักนี้ที่ด้านหลังของตัวดาวเทียม ดังนั้นหลักการในการเติมเชื้อเพลิงภายใต้โครงการ SIS นี้ คือ นำการดาวเทียมที่บรรทุกเชื้อเพลิงแบบเคมีนี้ไปยังด้านหลังของดาวเทียมเป้าหมายและทำการยึดเกาะกับดาวเทียมนั้น จากนั้นจะทำการเชื่อมต่อท่อนำส่งเชื้อเพลิงเข้ากับกลไกของจรวดขับดันหลักของดาวเทียมเป้าหมาย เพื่อทำการถ่ายโอนเชื้อเพลิงจากดาวเทียมของโครงการนี้ไปยังถังเชื้อเพลิงของดาวเทียมเป้าหมายตามปริมาณที่กำหนด เมื่อทำการถ่ายโอนเชื้อเพลิงเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็ทำการปลดท่อนำส่งเชื้อเพลิงและปลดการยึดเกาะตัวดาวเทียมเป้าหมาย พร้อมเคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งดังกล่าว ดาวเทียมเป้าหมายที่ได้รับการเติมเชื้อเพลิงก็จะมีปริมาณเชื้อเพลิงทางเคมีในถังเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งและวงโคจรต่อไปเป็นระยะเวลาตามสัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้รับเพิ่มขึ้น

ประเด็นที่สำคัญของโครงการนี้คือ การเชื่อมต่อท่อนำส่งเชื้อเพลิงเข้ากับกลไกของจรวดขับดันหลักของดาวเทียมเป้าหมายซึ่งคาดว่าจะมีความซับซ้อนในขั้นตอนทางเทคนิค นอกจากนี้ยังมีประเด็นทางเทคนิคของตัววาล์วของระบบเชื้อเพลิงที่ใช้บนตัวดาวเทียมในปัจจุบันนั้นมิได้ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการเติมเชื้อเพลิงในภายหลัง อย่างไรก็ตามดาวเทียมโครงการ SIS นี้ นอกจากจะบรรทุกเชื้อเพลิงจำนวนมากแล้ว ยังมีเทคโนโลยีทางด้านกลไกหุ่นยนต์ร่วมด้วยเพื่อใช้ในการยึดเกาะ

ดาวเทียมเป้าหมาย ดังนั้นนอกจากเป้าหมายในการเติมเชื้อเพลิงแล้ว ดาวเทียมนี้ยังขยายขอบเขตไปยังการแก้ไขปัญหาของดาวเทียมที่อยู่ภายนอกโครงสร้างดาวเทียมหนึ่งๆ เช่น การแก้ไขปัญหาแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สามารถกางออกได้ เป็นต้น รวมทั้งการจัดการกับดาวเทียมที่หมดอายุ หรือการจัดการกับชิ้นส่วนในอวกาศด้วย

โครงการนี้มีเป้าหมายเริ่มต้นที่จะยิงดาวเทียมต้นแบบนี้ในปี พ.ศ.2558 อย่างไรก็ตามหลังจากการดำเนินการพัฒนาอยู่ระยะหนึ่ง ก่อนที่โครงการนี้จะชะลอตัวลงในปี พ.ศ.2554 เนื่องจากเหตุผลทางธุรกิจในช่วงเวลาเดียวกันนั้นได้มีการพัฒนาในอุตสาหกรรมดาวเทียมและอวกาศที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการเติมเชื้อเพลิงดังนี้

องค์การนาซ่า (NASA) ได้ดำเนินโครงการRobotic Refueling Mission (RRM)[2] ซึ่งเป็นโครงการทดลองบนสถานีอวกาศนานาชาติ (International Space Station : ISS) ในปี พ.ศ. 2554 และทดสอบสำเร็จในปี พ.ศ.2556 ซึ่งโครงการนี้ได้ดำเนินการทดสอบกระบวนการเชื่อมต่อระบบเชื้อเพลิงผ่านอุปกรณ์วาล์ว และจรวดขับดันที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับอุปกรณ์ที่ใช้บนตัวดาวเทียม และยังได้ทดสอบ อุปกรณ์เครื่องมือต้นแบบที่ใช้ในระบบกลไก ซึ่งสามารถนำไปใช้กับดาวเทียมที่ให้บริการเติมเชื้อเพลิงในอนาคตได้

แผนภาพที่ 3-2 โครงการ Robotic Refueling Mission โดย องค์การนาซ่า

ศูนย์อวกาศแห่งประเทศเยอรมัน (German Aerospace Center : DLR)โดยหน่วยงาน DLR Space Administration ดำเนินโครงการ German Orbital Servicing Mission (DOES) โดยการส่งดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำจำนวนสองดวง ขึ้นไปที่ระดับความสูงประมาณ 550 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก เพื่อทำการทดสอบการจัดการกับดาวเทียมในอวกาศที่มีปัญหา รวมทั้งการเติมเชื้อเพลิงให้กับดาวเทียมด้วย โดยมีกำหนดการที่จะส่งดาวเทียมในปี พ.ศ.2561

---

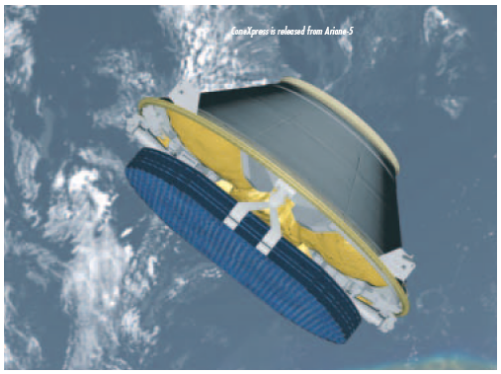
[2] Robotic Refueling Mission, Online, http://ssco.gsfc.nasa.gov/rrm_refueling_task.html, 2015

2. นวัตกรรมการติดตั้งเชื้อเพลิงสำรอง

จากแนวคิดของการเติมเชื้อเพลิงนั้นได้มีแนวคิดทางวิศวกรรมที่แตกต่างออกไป คือ การติดตั้งเชื้อเพลิงสำรองแทนการเติมเชื้อเพลิง ซึ่งเชื่อว่าสามารถลดประเด็นความซับซ้อนของกระบวนการทางวิศวกรรมลงได้ แนวคิดนี้ได้เกิดเป็นนวัตกรรมภายใต้โครงการ Mission Extension Vehicle (MEV)3 ของบริษัทเอกชนในประเทศสหรัฐอเมริกา และโครงการ ConeXpress Orbital Life Extension Vehicle (CX-OLEV หรือ ConeXpress4) ของประเทศอังกฤษ

ดาวเทียม MEV เป็นดาวเทียมภายใต้โครงการขององค์กรประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีลักษณะ ของตัวดาวเทียมเสมือนดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าทั่วไป รวมทั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ดาวเทียมนี้ใช้เวลาประมาณ 6-12 เดือนในการปรับจากวงโคจรถ่ายโอนไปยังวงโคจรค้างฟ้า คล้ายกับดาวเทียมโครงการ ConeXpress ซึ่งเป็นดาวเทียมที่สร้างโดยองค์กรในประเทศอังกฤษโดยเริ่มออกแบบให้สามารถส่งขึ้นสู่อวกาศโดยจรวดขนส่ง Ariane5[5] ของ บริษัทแอเรียนสเปซ (Ariane Space) ประเทศฝรั่งเศส และใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า (Electric Propulsion System) ในการปรับวงโคจรจากวงโคจรถ่ายโอนหลังจากแยกออกจากจรวดขนส่ง ขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้า ซึ่งคาดว่าจะต้องใช้เวลาประมาณ 6 เดือน นอกจากนี้ยังใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้านี้ในการควบคุมตำแหน่งและการทรงตัวของดาวเทียม รวมทั้งการเคลื่อนย้ายของตัวดาวเทียม ดาวเทียมนี้มีความสามารถในการยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมเป้าหมายในวงโคจรค้างฟ้าได้สูงสุดประมาณ 12 ปี

แผนภาพที่ 3-3 ดาวเทียม ConeXpress ขณะออกจากจรวดนำส่ง



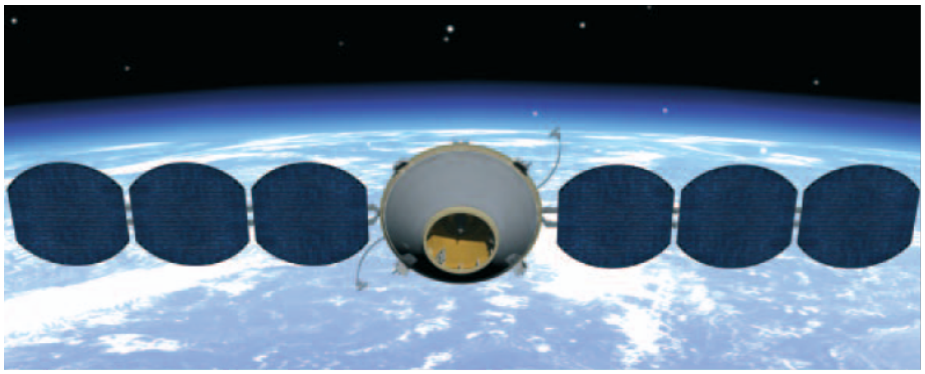
---

[3] Satellite Life Extension Services, Online, http://www.vivisat.com/?page_id=10, 2015

[4] ConeXpress-OLEV, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/conexpress-ors.htm, 2015

[5] Ariane 5, Online, http://www.arianespace.com/launch-services-ariane5/ariane-5-intro.asp, 2015

แผนภาพที่ 3-4 ภาพด้านหน้าของดาวเทียม ConeXpress หลังจากกางแผงพลังงานแสงอาทิตย์



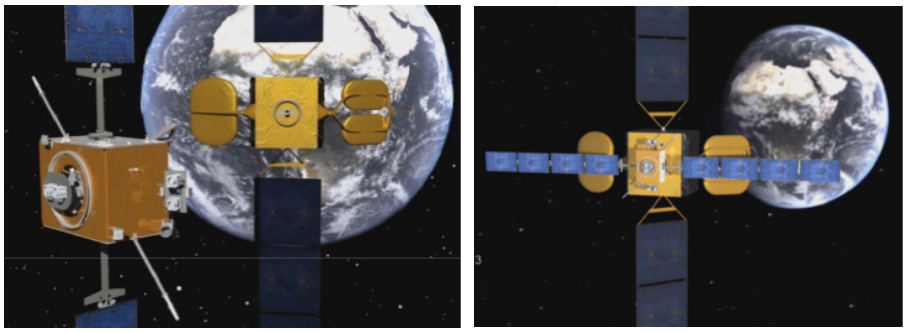
ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างข้อมูลเฉพาะสำหรับดาวเทียมติดตั้งเชื้อเพลิงสำรอง

ดาวเทียม	ConeXpress
น้ำหนักก่อนยิง	1,600 กิโลกรัม
น้ำหนักเริ่มใช้งานในอวกาศ	ประมาณ 1,200 กิโลกรัม
ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เมตร สูง 1.35 เมตร และ ความยาวหลังกางแผงพลังงาน 14 เมตร
แผงพลังงานแสงอาทิตย์	เซลแสงอาทิตย์แบบ GaAs จำนวน 6 แผง ให้พลังงานประมาณ 3.6 กิโลวัตต์
ระบบเชื้อเพลิง	แกส Xenon 165 กิโลกรัม
อายุการใช้งาน	ประมาณ 12 ปี

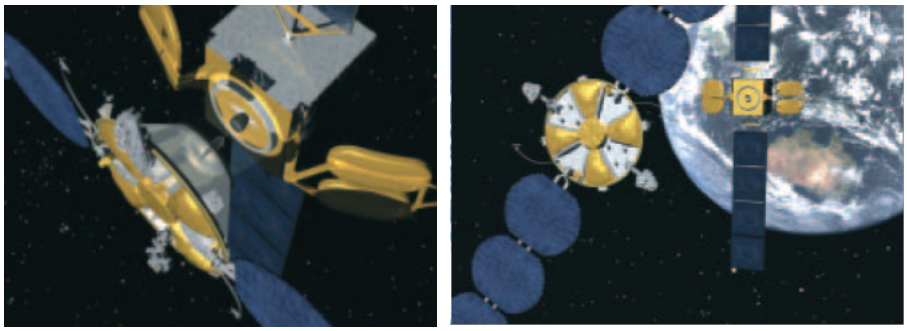
หลักการของทั้งสองโครงการนั้นคล้ายคลึงกับแนวคิดของการเติมเชื้อเพลิง คือ การนำส่งดาวเทียมที่บรรทุกเชื้อเพลิงแบบเคมีจำนวนมากขึ้นสู่อวกาศในระดับใกล้เคียงกับวงโคจรค้างฟ้า และเคลื่อนย้ายดาวเทียมที่บรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้ไปยังดาวเทียมเป้าหมายเพื่อใช้เชื้อเพลิงที่บรรทุกนี้ในการยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศ ดาวเทียมของทั้งสองโครงการนี้จะเข้ายึดเกาะตัวดาวเทียมเป้าหมายผ่านทางจรวดขับดันหลัก สิ่งที่แตกต่างจากแนวคิดของการเติมเชื้อเพลิงคือดาวเทียมนี้จะไม่มีการถ่ายโอนเชื้อเพลิงสู่ดาวเทียมเป้าหมายแต่อย่างใด การยึดเกาะจรวดขับดันนั้นเพื่อเป็นการยึดเกาะดาวเทียมสองดวงเข้าหากันเสมือนเป็นดาวเทียมดวงเดียวกัน และใช้เชื้อเพลิงระบบจรวดขับดัน และระบบควบคุมอื่นๆของดาวเทียมบรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้ในการควบคุม

ตำแหน่งและวงโคจรแทน จากการที่ดาวเทียมทั้งสองดวงยึดติดกันนั้น ทำให้การทำงานของดาวเทียมบรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้ส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมเป้าหมายด้วย ทำให้ดาวเทียมเป้าหมายสามารถใช้งานได้ต่อไปตามระยะเวลาที่ต้องการหรือจนกว่าเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิงของดาวเทียมบรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้จะหมดไป เมื่อต้องการที่จะยกเลิกการยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมเป้าหมาย ก็สามารถที่จะดำเนินการโดยการปลดการยึดเกาะของดาวเทียมบรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้ออกจากดาวเทียมเป้าหมาย หรือสามารถให้ดาวเทียมบรรทุกเชื้อเพลิงสำรองนี้นำดาวเทียมเป้าหมายนั้นขึ้นสู่วงโคจรปลดระวางก่อนทำการปลดการยึดเกาะและแยกตัวไปในที่สุด

แผนภาพที่ 3-5 ภาพดาวเทียม MEV เข้ายึดเกาะ ดาวเทียมเป้าหมาย



แผนภาพที่ 3-6 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ConeXpress เข้าสู่ด้านหลังของดาวเทียมเป้าหมายเพื่อยึดเกาะ



ทั้งนี้ดาวเทียมในแนวคิดนี้มีการขยายกรอบความคิดในการใช้งานเพิ่มขึ้นจากการยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมอีกด้วย จากการทำงานของดาวเทียมในการเข้ายึดเกาะดาวเทียมเป้าหมายเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของดาวเทียมเป้าหมายนี้ ทำให้ดาวเทียมประเภทนี้ สามารถดำเนินกิจกรรมที่ดาวเทียมเป้าหมายไม่สามารถจะทำได้เนื่องจากขีดจำกัดของปริมาณเชื้อเพลิงหรือข้อจำกัดหรือสถานะความเสียหายของดาวเทียมเอง เช่น การนำพาดาวเทียมที่ต้องปลดระวางสู่วงโคจรปลดระวางที่สูงขึ้น การเคลื่อนย้ายดาวเทียมจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง เป็นต้น

ในปัจจุบันโครงการ MEV และโครงการ ConeXpress ต่างก็อยู่ในช่วงของการ

พัฒนาระบบกลไกเฉพาะของแต่ละดาวเทียม เช่นกลไกการยึดเกาะดาวเทียมเป้าหมายเป็นต้น ทั้งนี้ตามคำอธิบายเบื้องต้นของดาวเทียม ConeXpress ที่วางแผนเบื้องต้นที่จะใช้เวลานานถึง 6 เดือนในการปรับวงโคจรหลังจากแยกจากจรวดขนส่งนั้น ขึ้นสู่ระดับใกล้เคียงกับวงโคจรค้างฟ้า ดังนั้นดาวเทียมโครงการ ConeXpress นั้นจึงมีการวิเคราะห์และทดสอบโครงสร้างของดาวเทียมให้รองรับสภาวะอวกาศในช่วงที่ปรับวงโคจรสู่วงโคจรค้างฟ้านั้นอีกด้วย

3. นวัตกรรมของระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า (Electric propulsion)

เชื้อเพลิงแบบเคมี (Chemical Propulsion) เป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้บรรจุในถังเชื้อเพลิงของดาวเทียมมาเป็นเวลานานในการควบคุมตำแหน่งและการปรับวงโคจร ทั้งนี้จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแบบเคมีและเทคโนโลยีของจรวดขับดันที่ใช้สำหรับเชื้อเพลิงประเภทนี้ถึงแม้ว่าจะเป็นระบบที่ให้แรงขับดันได้สูงแต่มีประสิทธิภาพในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นแรงขับดันได้ไม่สูงนัก จึงทำให้ดาวเทียมสื่อสารวงโคจรค้างฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงแบบเคมีนั้นต้องบรรทุกเชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อใช้สำหรับการปรับวงโคจรของดาวเทียมขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้า และควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมตลอดอายุการใช้งาน ทั้งนี้ประมาณ 60%-70% ของน้ำหนักดาวเทียมที่ติดตั้งบนจรวดขนส่งดาวเทียมนั้นจะเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงแบบเคมี และประมาณ 60% ของเชื้อเพลิงที่บรรจุในถังเชื้อเพลิงจะถูกใช้หลังจากดาวเทียมแยกตัวออกจากจรวดแล้ว เพื่อปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้าและเข้าสู่ตำแหน่งที่ใช้งาน นั่นหมายถึงน้ำหนักของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าประมาณ 40% เลยทีเดียวจะเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่บรรทุกเพื่อใช้ในกิจกรรมการนำส่งดาวเทียมสู่วงโคจรค้างฟ้า ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นโดยปกติหากต้องการให้ดาวเทียมมีอายุที่ยาวนานขึ้นก็จะต้องเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงของดาวเทียม ซึ่งจะพบปัญหาในเรื่องของขีดจำกัดของถังเชื้อเพลิงที่ติดตั้งบนดาวเทียมซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมระดับหนึ่งเท่านั้น และขีดจำกัดจากความสามารถของจรวดนำส่งดาวเทียมแต่ละชนิดในอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำส่งน้ำหนักดาวเทียมได้ไม่เท่ากันและราคาค่าขนส่งดาวเทียวเข้าสู่วงโคจรก็จะแปรผันตามน้ำหนักของดาวเทียมด้วย ข้อจำกัดดังกล่าวอาจจะทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงได้ตามต้องการได้ ดังนั้นแนวคิดจึงอยู่ที่การใช้น้ำหนักที่มีจำกัดนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างน้ำหนักโดยประมาณของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าโดยประมาณที่จรวดส่งดาวเทียมสามารถนำส่งได้

จรวดนำส่งดาวเทียม	น้ำหนักโดยประมาณสำหรับดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (กิโลกรัม)
แอเรียน 5 (Ariane 5)	6,100 – 10,500
โปรตอน (Proton)	6,000
ฟอลคอน 9 (Falcon9)	4,850
เอช ทู เอ (H-II A)	4,100 - 6,000

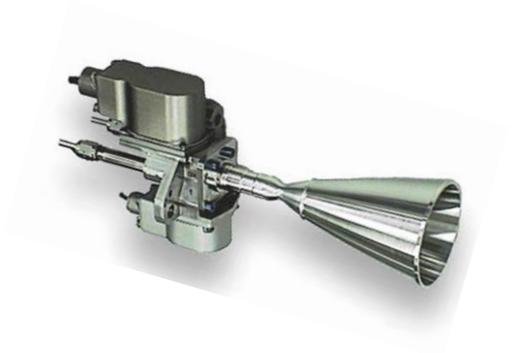
ในอุตสาหกรรมดาวเทียมนั้นได้มีการพัฒนาระบบจรวดขับดันโดยใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นแรงขับดันได้ดีกว่าระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี แต่มีกำลังผลักน้อยกว่าและได้นำมาใช้กับดาวเทียมสื่อสารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดาวเทียมสื่อสารในวงโคจรค้างฟ้าในด้านต่างๆ รวมทั้งทางด้านการยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมในวงโคจร ดังนี้

3.1. เทคโนโลยีของระบบเชื้อเพลิงทางไฟฟ้าและจรวดขับดัน

ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าเป็นการใช้แกสเฉื่อยเป็นเชื้อเพลิงซึ่งส่วนใหญ่ใช้แกสซีนอน (Xenon) ร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการกระตุ้นให้เกิดการแตกประจุของแกสเฉื่อย ทำให้เกิดเป็นพลังงานและแรงขับดันที่สามารถใช้ในการควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมได้ ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าจะไม่มีเชื้อเพลิงแบบเคมีแต่อย่างใด เช่นเดียวกันกับน้ำหนักของระบบเชื้อเพลิงแบบเคมีขึ้นกับปริมาณเชื้อเพลิงแบบเคมีในถังเชื้อเพลิงนั้น ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าก็มีน้ำหนักของระบบที่ขึ้นกับปริมาณของแกสเฉื่อยในถังแกสเช่นกัน

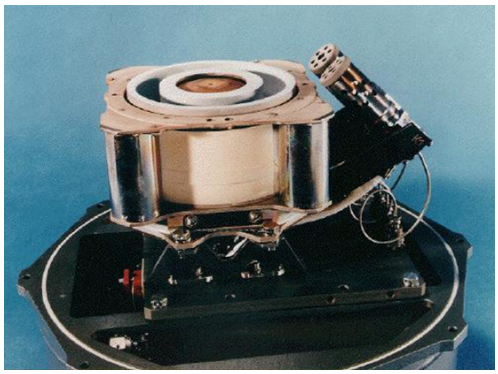
จากการทำงานของระบบเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันนั้น ทำให้ระบบจรวดขับดันของทั้งระบบเชื้อเพลิงทั้งสองแบบนี้แตกต่างกันด้วย จากคุณสมบัติและเทคโนโลยีของจรวดขับดันที่ใช้ร่วมกับระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้านี้ พบว่าจรวดขับดันประเภทนี้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าจรวดขับดันระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี คือสามารถเปลี่ยนน้ำหนักของเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วยเป็นแรงขับดันได้ดีกว่าจรวดขับดันประเภทเชื้อเพลิงแบบเคมีอย่างมาก แต่ให้แรงขับดันที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงต้องจุดจรวดขับดันเป็นระยะเวลาที่นานกว่าจรวดขับดันของระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี อย่างไรก็ดีจากการวิเคราะห์ผลสุทธิของประสิทธิภาพพบว่าภายใต้อายุการใช้งานของดาวเทียมในอวกาศที่เท่ากันนั้น ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าจะใช้แกสเฉื่อยในปริมาณน้ำหนักที่เบากว่าปริมาณเชื้อเพลิงแบบเคมีอย่างมาก นอกจากนี้แกสเฉื่อยสามารถติดตั้งบรรจุได้ง่ายและปลอดภัยกว่าเชื้อเพลิงแบบเคมีด้วย

แผนภาพที่ 3-7 จรวดขับดันระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี[6]



[6] Bipropellant Thrusters, Online, http://cs.astrium.eads.net/sp/spacecraft-propulsion/bipropellant-thrusters/index.html, 2015

แผนภาพที่ 3-8 จรวดขับดันระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า รุ่น SPT100[7]



จากผลวิเคราะห์ดังกล่าวส่งผลให้ดาวเทียมที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้านั้นมีน้ำหนักลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับดาวเทียมที่ใช้ระบบขับดันแบบเคมี ซึ่งน้ำหนักที่ลดลงนี้ทำให้ดาวเทียมสามารถบรรจุแกสเฉื่อยเพิ่มได้เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของดาวเทียม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถที่จะนำน้ำหนักที่ลดลงนี้ในการเพิ่มอุปกรณ์หรือช่องสัญญาณให้มากขึ้นแทนได้เช่นกัน ดังนั้นประโยชน์ของระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้านี้ได้มีการยอมรับและนำมาใช้งานบนดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้ามากขึ้นเรื่อยๆ พบว่าในปี พ.ศ.2553 มีดาวเทียมชนิดต่างๆที่ติดตั้งระบบเชื้อเพลิงทางไฟฟ้าเพื่อการควบคุมตำแหน่งในวงโคจรมากกว่า 70 ดวง[8]

3.2. การปรับวงโคจรในช่วงการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรค้างฟ้าโดยระบบเชื้อเพลิงทางไฟฟ้า(Electric Orbit Raising)

ตามที่ได้อธิบายเบื้องต้นว่าเชื้อเพลิงที่บรรจุในถังเชื้อเพลิงของดาวเทียมนั้นส่วนหนึ่งจะใช้สำหรับการปรับวงโคจรหลังจากดาวเทียมแยกตัวออกจากจรวดขนส่งขึ้นไปยังระดับวงโคจรค้างฟ้า และอีกส่วนหนึ่งใช้เพื่อการควบคุมตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจรตลอดอายุการใช้งาน และจากการนำระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าและเทคโนโลยีจรวดขับดันที่ใช้ร่วมกันนั้นมาใช้สำหรับการควบคุมตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจร สามารถช่วยลดน้ำหนักของเชื้อเพลิงลงได้ พร้อมทั้งสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของดาวเทียมหรือประยุกต์ใช้เพิ่มขนาดของดาวเทียมให้มีช่องสัญญาณที่มากขึ้นนั้น อย่างไรก็ตาม น้ำหนักที่กล่าวถึงเป็นเพียงประมาณ 40% ของน้ำหนักเชื้อเพลิงทั้งหมดของดาวเทียมที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี น้ำหนักที่เหลืออีกจำนวนมาก จะใช้สำหรับการปรับวงโคจรหลังจากแยกตัวออกจากจรวดขนส่ง ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้ามาทดแทนระบบเชื้อเพลิงแบบเคมีในช่วงการปรับวงโคจรหลังจากดาวเทียมแยกตัวออกจากจรวดขนส่ง ซึ่งจะสามารถลดน้ำหนักดาวเทียมได้จำนวนมาก เช่น หากดาวเทียมต้องใช้เชื้อเพลิงแบบเคมี ประมาณ 1,400 กิโลกรัมในการปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้าแล้ว ดาวเทียมดวงเดียวกันนี้จะใช้เชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า

---

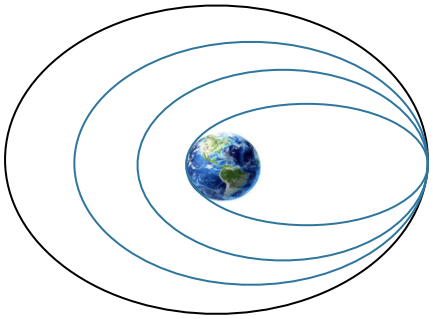
[7] SPT-100, Online, http://www.astronautix.com/engines/spt100.htm, 2015

[8] Spacecraft with Electric Propulsion, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_spacecraft_with_electric_propulsion, 2015

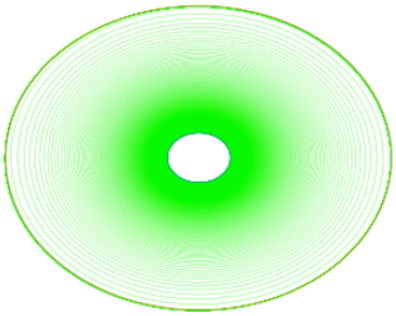
ประมาณ 150 กิโลกรัมในการปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับเดียวกัน หรือใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าประมาณ 8-9 เท่า เลยทีเดียว

จากคุณสมบัติของระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า ที่มีขนาดของแรงขับดันที่น้อยกว่าระบบเชื้อเพลิงแบบเคมี รวมทั้งอัตราเร่งที่น้อยกว่าด้วยนั้น ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าในการสร้างแรงขับดันที่ต้องการ ดังนั้นดาวเทียมที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าเท่านั้น จะต้องใช้ระยะเวลานานถึงประมาณ 6 เดือน ในการปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้า ทั้งนี้ขึ้นกับรุ่น และประสิทธิภาพของจรวดขับดัน ขณะที่ระบบเชื้อเพลิงแบบเคมีใช้เวลาประมาณ 10 วันเท่านั้นในการปรับวงโคจรของดาวเทียมขนาดเดียวกัน ขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้า

แผนภาพที่ 3-9 การปรับวงโคจรสู่ระดับค้างฟ้าด้วยระบบเชื้อเพลิงแบบเคมีและระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า



เชื้อเพลิงแบบเคมี



เชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า[9]

นอกจากนี้ จากการที่ดาวเทียมติดตั้งระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า จะต้องใช้เวลานานมากในการปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้านั้น ทำให้ระหว่างที่วงโคจรค่อยๆปรับระดับนั้น ดาวเทียมจะต้องใช้เวลานานประมาณ6 เดือนในอวากาศที่เป็นช่วงของ แวนอัลเลน เบลท์ (Van Allen Belt[10]) ซึ่งเป็นช่วงที่มีประจุไฟฟ้าและอนุภาคต่างๆหนาแน่นและมีพลังงานสูงที่อาจจะส่งผลต่อระบบการทำงานของอุปกรณ์และระบบของดาวเทียมได้ ดังนั้นการใช้ระบบเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าเพื่อปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้านั้น จึงมีความเสี่ยงที่อุปกรณ์หรือระบบของดาวเทียมจะเสียหายได้ ผู้ผลิตจึงต้องคำนึงถึงเรื่องการป้องกันปัจจัยเสี่ยงจากแวนอัลเลน เบลท์ นี้ด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ระบบเชื้อเพลิงทางไฟฟ้าเพื่อการปรับวงโคจรขึ้นสู่ระดับวงโคจรค้างฟ้านั้น กำลังเป็นที่สนใจใน

---

[9] William Tiff, A Comparison of Chemical and Electric Propulsion for Orbit Raising, Online, http://ccar.colorado.edu/asen5050/projects/projects_2014/Tifft_William/Results.html, 2015

[10] Van Allen Radiation Belt, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt, 2015

อุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เพราะสามารถลดน้ำหนัก เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานหรือช่องสัญญาณได้ นอกจากนี้ผลจากการที่น้ำหนักดาวเทียมลดลงยังสามารถทำให้ มีทางเลือกของจรวดขนส่งมากขึ้น หรือสามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศได้เช่นกัน

นวัตกรรมเทคโนโลยีดาวเทียมที่เพิ่มขีดความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีจำนวนจำกัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดคือการใช้คลื่นความถี่นั้นๆให้สามารถเป็นตัวกลางในการรับส่งสัญญาณและข้อมูลให้ได้มากที่สุด สำหรับดาวเทียมสื่อสารนั้นได้มีการพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งพอจำแนกเป็นวิธีการต่างๆได้ดังนี้

1. นวัตกรรมการใช้ความถี่ซ้ำ (Frequency Reuse)

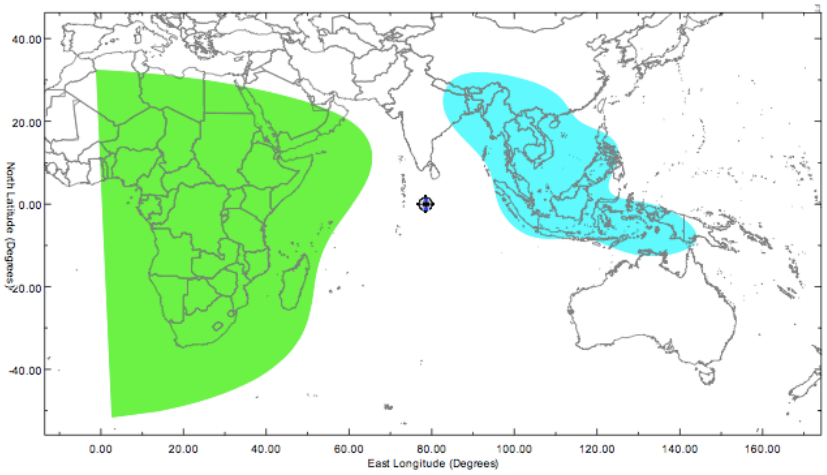
เนื่องจากแถบคลื่นความถี่วิทยุ (Bandwidth) มีจำนวนจำกัด การนำความถี่มาใช้ซ้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ (Capacity) บนดาวเทียมได้ ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ย่าน C-band ที่มี Bandwidth 500 เมกะเฮิร์ท (MHz) นั้นโดยทั่วไปจะ สามารถแบ่งเป็นช่องสัญญาณได้ 12 ช่อง โดยแต่ละช่องนั้นมี Bandwidth ที่ใช้งาน 36 MHz และมีการ์ดแบนด์ (Guard Band) 4 MHz ถ้าเราสามารถนำความถี่ชุดเดิมนั้นมาใช้งานซ้ำอีกครั้งหนึ่งโดยไม่ให้เกิดสัญญานรบกวนกับช่องสัญญานที่ใช้ความถี่นั้นไปแล้ว ก็จะสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้เป็นเท่าตัวคือ 24 ช่อง การที่จะไม่ให้ช่องสัญญาณที่ใช้คลื่นความถี่วีทยุเดียวกันเกิดการรบกวนกันสามารถทำได้สองวิธีหลักๆ คือการใช้ขั้วคลื่นความถี่ (Polarization[11]) ที่ตรงข้ามกัน และวิธีการออกแบบพื้นที่ให้บริการที่ใช้ความถี่ซ้ำกันแยกห่างจากกันมากพอที่จะไม่ทำให้สัญญาณของจากทั้งสองพื้นที่บริการกวนกันได้ หรือกวนกันในระดับที่ยอมรับได้ ดังเช่นการออกแบบพื้นที่ให้บริการบีม C-band เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และ C-band แอฟริกา (Africom-1) บนดาวเทียมไทยคม 6[12] ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันทำให้ได้ช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นหนึ่งเท่าตัว

---

[11] Polarization Wave, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Polarization_%28waves%29, 2015

[12] Thaicom-6, Online, http://www.thaicom.net/satellites/existing/thaicom6.aspx, 2015

แผนภาพที่ 3-10 แสดงพื้นที่ให้บริการบีมซีแบนด์เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สีฟ้า) และซีแบนด์แอฟริกา (Africom-1) (สีเขียว)



สำหรับดาวเทียมที่ต้องการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณเป็นปริมาณมาก หรือเรียกว่า High Throughput Satellite (HTS)[13] จะมีการออกแบบพื้นที่ให้บริการแบบหลายบีม (Multi-beam) คู่กับการใช้ความถี่ซ้ำมากขึ้น โดยแบ่งแถบความถี่ที่มีอยู่แบ่งออกเป็นความถี่ย่อย (Allocated Subband) แบบสามความถี่ (3X Frequency Reuse) หรือสี่ความถี่ (4X Frequency Reuse) หรือเป็นจำนวนใดๆ ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-11 เพื่อลดการกวนกันระหว่างบีมที่ใช้ความถี่ซ้ำ แต่ขนาดของ Bandwidth ของความถี่ย่อยก็จะเล็กไปด้วย ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ (Cellular Mobile Telephone)[14]

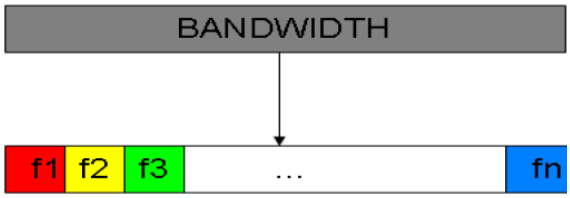
การใช้งานดาวเทียมที่มีพื้นมี่ให้บริการแบบหลายบีมนั้นสามารถให้บริการได้เช่นเดียวกันกับดาวเทียมที่มีพื้นที่บริการแบบบีมเดียวแต่เป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถที่จะรับส่งสัญญาณให้บริการเฉพาะบีมหรือกระจายไปในหลายบีมได้พร้อมกันโดยอาศัยสถานีแม่ (Gateway)เป็นตัวกำหนด

---

[13] High Throughput Satellite, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/High_throughput_satellite, 2015

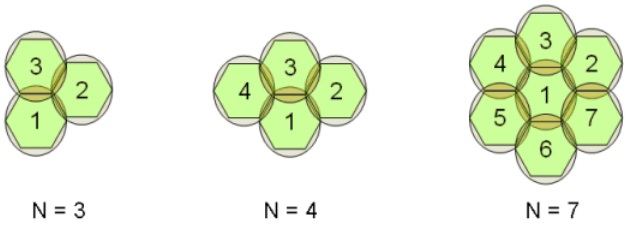
[14] Soft Frequency Reuse, Online, http://www.raymaps.com/index.php/soft-frequency-reuse/ , 2015

แผนภาพที่ 3-11 แสดงการแบ่งแถบความถี่ย่อย[15]



ความถี่ที่ใช้ซ้ำจะใช้คู่กับพื้นที่ให้บริการแบบหลายบีม (Multi-beam) ซึ่งหลายๆบีมที่วางติดๆกันและใช้แถบความถี่นี้จะเรียกว่ากลุ่มของบีมหรือคลัสเตอร์ (Cluster) ขนาดของคลัสเตอร์นั้นจะสอดคล้องกับระดับการใช้ความถี่ซ้ำ ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-12 จุดประสงค์เพื่อต้องการให้ได้ค่าอัตราส่วนการกวนกันของสัญญาณที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน (Carrier to Co-channel Interference, C/I) อยู่ในระดับที่เหมาะสม

แผนภาพที่ 3-12 แสดงกลุ่มของบีมหรือคลัสเตอร์ (Cluster)[16]



ปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาในการแบ่งระดับการใช้ความถี่ซ้ำ (Frequency Reuse Scheme) คืออัตราส่วนการกวนกันของสัญญาณที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน (Carrier to Co-channel Interference, C/I)

การกวนกันของสัญญาณนั้นมีทั้งขาขึ้น (Uplink) และ ขาลง (Downlink) แผนภาพที่ 3-13 แสดงลักษณะการกวนกันของสัญญาณจากหลายพื้นที่บริการ หรือ บีม (Beam) ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ทั้งขาขึ้นและขาลง ยกตัวอย่างการกวนด้านขาลง ระดับของสัญญาณรบกวนจะแปรผันตาม

---

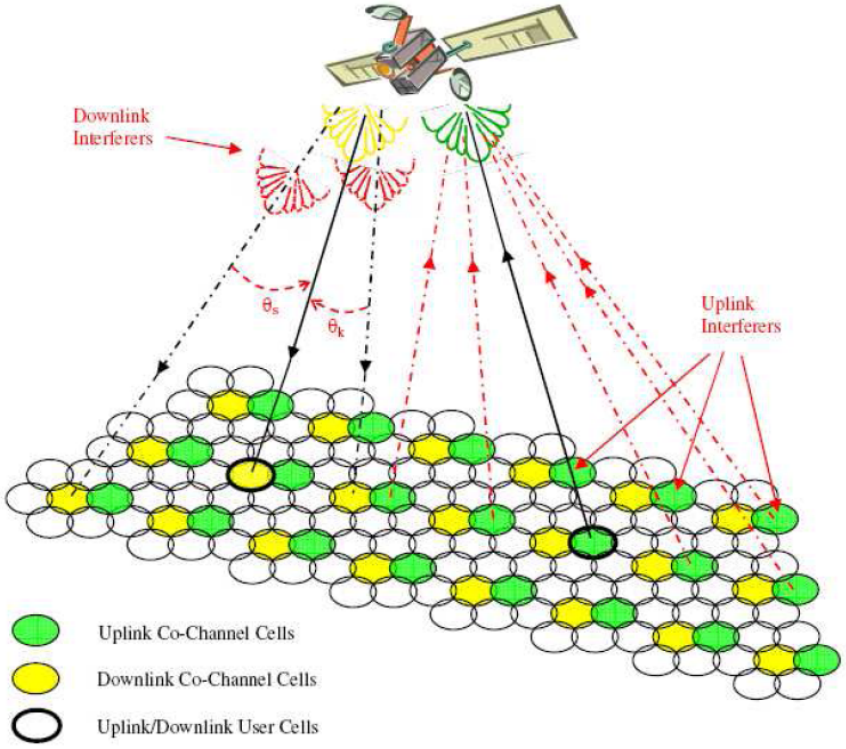
[15] Ozlem Kilic and Amir I. Zaghloul, Interference in Cellular Satellite Systems, Online, http://www.intechopen.com/books/satellite-communications/interference-studies-in-cellular-satellite-systems, 2010

[16] Soft Frequency Reuse, Online, http://www.raymaps.com/index.php/soft-frequency-reuse/ , 2015

[17] Side Lobe, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Side_lobe, 2015

จำนวนการใช้ความถี่ซ้ำ และ Side Lobe[17] ของบีมอื่นที่มาตกในตำแหน่งของสถานีรับใดๆ ดังนั้นการออกแบบจานสายอากาศแบบ Multi-beam ก็จะส่งผลต่อระดับสัญญาณรบกวนโดยตรง

แผนภาพที่ 3-13 แสดงลักษณะการกวนกันของสัญญาณจากหลายพื้นที่บริการ[18]



ขนาดของแบนด์วิดท์ย่อยที่ต้องการจะมีความสัมพันธ์กับระดับการใช้ความถี่ซ้ำ ยิ่งระดับการใช้ความถี่ซ้ำมากเท่าไหร่ขนาดของแบนด์วิดท์ย่อยก็ยิ่งเล็กลงมากเท่านั้น เช่น ถ้ามี Bandwidth ที่สามารถใช้งานได้อยู่ 500 MHz ถ้าแบ่งแบบ 3X ก็จะได้แบนด์บิดท์ย่อยต่อบีม 166.67 MHz แต่ถ้าแบ่งแบบ 4X ก็จะได้125 MHz ต่อบีม หรือถ้าแบ่งแบบ 7X เหมือนระบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะได้ 71.42 MHz ต่อบีม ดังนั้นความเหมาะสมของการแบ่งระดับการใช้ความถี่ซ้ำก็ต้องขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน (Application) และระดับ C/I ที่ต้องการและยอมรับได้ ซึ่งก็จะโยงไปถึงเรื่องการออกแบบจานสายอากาศ และความซับซ้อนในการออกแบบ Multi Spot Beam ที่จะกล่าวในลำดับต่อไป

---

[18] Soft Frequency Reuse, Online, http://www.raymaps.com/index.php/soft-frequency-reuse/ , 2015

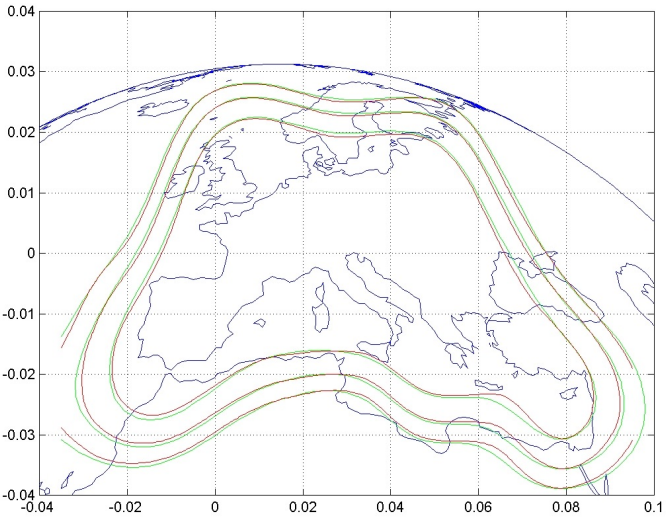
2. นวัตกรรมการออกแบบจานสายอากาศและขนาดของจานสายอากาศ

องค์ประกอบหลักที่ทำให้การใช้ความถี่ซ้ำมีประสิทธิภาพ คือการออกแบบจานสายอากาศเพื่อกำหนดพื้นที่ให้บริการตามที่ต้องการ และสามารถสร้างหลายพื้นที่บริการที่ใช้ความถี่ซ้ำกันได้ ลักษณะพื้นที่ให้บริการสามารถออกแบบจำแนกได้ดังนี้

2.1. การออกแบบจานสายอากาศตามรูปร่างพื้นที่ให้บริการ (Shaped Beam)

การออกแบบสายอากาศตามพื้นที่ให้บริการต้องการจะแบ่งเป็นโซน ตามประเทศ หรือตามภูมิภาคเพื่อที่จะส่งข้อมูลข่าวสารในลักษณะจุดต่อจุด (Point-to-Point) หรือจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) หรือแบบแพร่กระจาย (Broadcast) เนื่องจากลักษณะของพื้นที่ให้บริการจะครอบคลุมในวงกว้างทำให้การใช้ความถี่ซ้ำจะทำไม่ได้มากอาจจะได้เพียงสองหรือสามพื้นที่ให้บริการ เพราะพื้นที่ทั้งกล่าวต้องมีระยะห่างกันมากพอที่จะไม่เกิดสัญญาณรบกวนกันที่สูงเกินระดับยอมรับได้ แผนภาพที่ 3-14 แสดงพื้นที่ให้บริการแบบตามรูปร่างพื้นที่ให้บริการ ที่เป็นลักษณะ Shaped Beam ที่สร้างจากจานดาวเทียมแบบมีรูปร่างตามพื้นที่ให้บริการ หรือ Shaped Reflector หรือด้วยวิธีการรวมสัญญาณจากหลายๆ ฟีด (Feed Horn) ด้วยระบบ Beam Forming Network (BFN) ซึ่งบทวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงในรายละเอียด

แผนภาพที่ 3-14 แสดงพื้นที่ให้บริการแบบสายอากาศตามรูปร่างพื้นที่ให้บริการ[19]

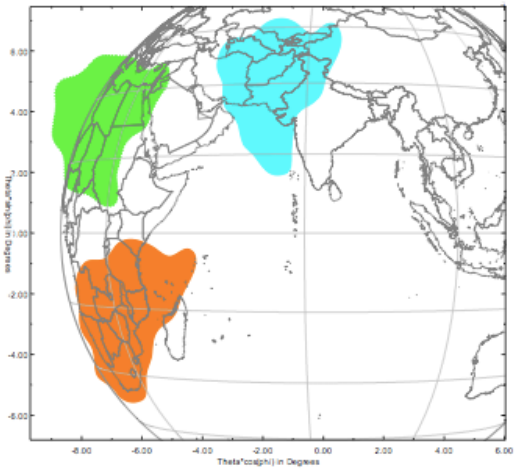


[19] POS Antenna Shaping, Online, http://www.ticra.com/products/software/pos, 2015

2.2. การออกแบบจายสายอากาศตามพื้นที่บริการแบบเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ (Steerable shaped beam)

การออกแบบจานสายอากาศที่สามารถย้ายพื้นที่ให้บริการได้โดยจานสายอากาศนั้นจะมีการติดตั้งมอเตอร์ที่แขนของจานสายอากาศให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระต่อกันทั้งสองแกน (Two-axis Steering) แต่การออกแบบจานสายอากาศแบบนี้ไม่สามารถจะนำความถี่ที่จัดสรรให้พื้นที่ให้บริการแบบนี้ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้ เพราะพื้นที่ให้บริการสามารถเคลื่อนที่ไปที่ไหนก็ได้ตามความต้องการของลูกค้า ข้อดีของจานสายอากาศแบบนี้คือเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นในการเลือกพื้นที่ให้บริการ จะทำให้สามารถย้ายพื้นที่ให้บริการตามตำแหน่งที่ลูกค้าต้องการแทนการสร้างพื้นที่ให้บริการแบบคงที่ (Fixed Beam) ซึ่งถ้าไม่มีลูกค้าในพื้นที่บริการที่คาดการณ์ไว้ก็จะไม่สามารถย้ายพื้นที่ให้บริการไปได้ ทำให้ความถี่ที่จัดสรรไว้ไม่ได้ใช้งาน แต่การประสานงาความถี่นั้นจะทำได้ลำบากและซับซ้อนขึ้นเนื่องจากไม่ได้กำหนดพื้นที่ให้บริการตายตัวจึงจำเป็นต้องประสานงานความถี่ด้วยพื้นที่บริการที่กว้างขึ้นเท่ากับพื้นที่ที่ต้องการเคลื่อนย้ายไปให้บริการ แผนภาพที่ 3-15 แสดงพื้นที่ให้บริการเมื่อทำการย้ายไปให้บริการในที่ต่างๆ ตามกลุ่มเป้าหมาย

แผนภาพที่ 3-15 แสดงตัวอย่างการย้ายบีมไปให้บริการตามกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย



2.3. การออกแบบเป็นหลายๆบีม (Multi-spot beam)

การออกแบบจานสายอากาศเป็นแบบหลายๆบีมนั้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานจากแบนด์วิดท์เดิมที่ใช้งานแบบปกติ โดยสามารถคำนวณได้จากแบนด์วิดท์ที่ได้ทั้งหมดดังนี้[20]

---

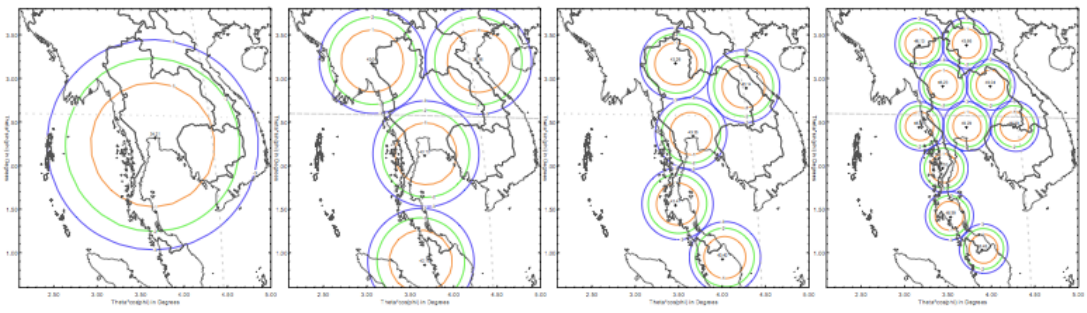
[20] Satchandi Verma and Eric Wiswell. “Next generation broadband satellite communication systems”. 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit. 12-15 May, 2002

$$\text{แบนด์วิดท์ที่ได้ทั้งหมด} = \frac{\text{จำนวนบีมทั้งหมด X ขนาดแถบความถี่ที่ถูกจัดสรร}}{\text{จำนวนการใช้ความถี่ซ้ำ}}$$

ยกตัวอย่างเช่น มีจำนวนบีม 10 บีมโดยทีมีขนาด Bandwidth 500 MHz และมีการแบ่งความถี่เป็น 4x จะได้แบนด์วิดท์การใช้งานทั้งหมด = (10 x 500)/4 = 1,250 MHz หรือคิดเป็น 2.5 เท่าของ Bandwidth แต่ถ้าเราสามารถเพิ่มจำนวนบีมมากขึ้นเป็น 50 บีม ก็จะได้แบนด์วิดท์ให้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 6,250 MHz หรือคิดเป็น 12.5 เท่า

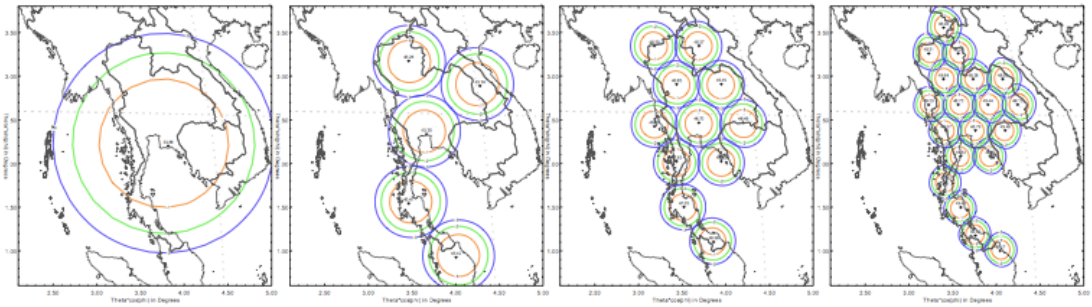
ในพื้นที่ให้บริการใดๆ การที่จะสร้างให้มีจำนวนบีมให้ได้มากที่สุดนั้น จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของจานสายอากาศของดาวเทียม กับ ย่านความถี่ที่ใช้งาน ดังแผนภาพที่ 3-16 ที่ความถี่ 12,500 MHz ถ้ากำหนดพื้นที่ให้บริการคือประเทศไทย จะเห็นได้ว่าถ้าใช้จานสายอากาศขนาด 60 เซนติเมตรวางได้ หนึ่งบีม จานสายอากาศขนาด 1.2 เมตรสามารถวางได้ 4 บีม จานสายอากาศขนาด 1.8 เมตรวางได้ 5 บีม และจานสายอากาศขนาด 2.7 เมตรวางได้ทั้งหมด 10 บีม โดยที่ขนาดของจานสายอากาศบนดาวเทียมใหญ่ขึ้นขนาดของบีมก็จะเล็กลง ทำให้วางบีมได้มากขึ้นและได้แบนด์วิดท์การใช้งานมากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพการใช้งานความถี่มากขึ้นเป็นลำดับ

แผนภาพที่ 3-16 แสดงขนาดของบีมที่สร้างจากจานบนดาวเทียมขนาดต่างๆ กัน เรียงจากซ้ายไปขวา ขนาด 60 เซนติเมตร, 1.2, 1.8 และ 2.7 เมตร



ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดจานสายอากาศบนดาวเทียมที่ขนาด 1.8 เมตร แล้วเปลี่ยนความถี่ใช้งานเป็น 4 GHz หรือ 4,000 MHz (C-band ขาลง), 12.5 GHz (Ku-band ขาลง), 20 GHz (Ka-band ขาลง), 30 GHz (Ka-band ขาขึ้น) ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-17 ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งความถี่สูงขึ้นขนาดของบีมก็ยิ่งเล็กลง ทำให้วางจำนวนบีมได้มากขึ้น

แผนภาพที่ 3-17 แสดงขนาดของบีมที่สร้างจากจานสายอากาศบนดาวเทียม ขนาด 1.8 เมตร ที่ความถี่ 4 GHz, 12.5 GHz, 20 GHz และ 30GHz ตามลำดับ

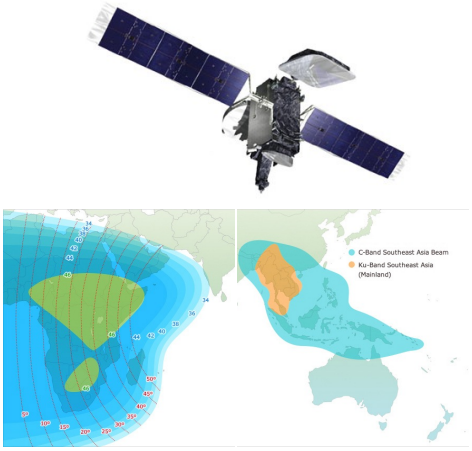


ทั้งนี้การเพิ่มขนาดของจานสายอากาศและจำนวนบีมต้องคำนึงถึงการรบกวนกันข้ามบีมของกลุ่มบีมที่ใช้ความถี่เดียวกันด้วย

2.4. นวัตกรรมการเพิ่มจำนวนจานสายอากาศบนดาวเทียม

การเพิ่มจำนวนจานสายอากาศบนดาวเทียมก็เป็นปัจจัยหลักหนึ่งที่ทำให้สามารถใช้งานความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำนวนพื้นที่ให้บริการจะสอดคล้องกับจำนวนของจานสายอากาศบนดาวเทียม ยกตัวอย่างเช่นพื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 6 มีทั้งหมด 3 พื้นที่หรือ 3บีม มีบีม C-band เอเชียตะวันออกเฉียงใต้, Ku-band เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และ C-band แอฟริกา (Africom-1) จานสายอากาศของดาวเทียมไทยคม 6 มีอยู่ 3ใบเท่ากับพื้นที่ให้บริการดังแสดงในแผนภาพที่ 3-18

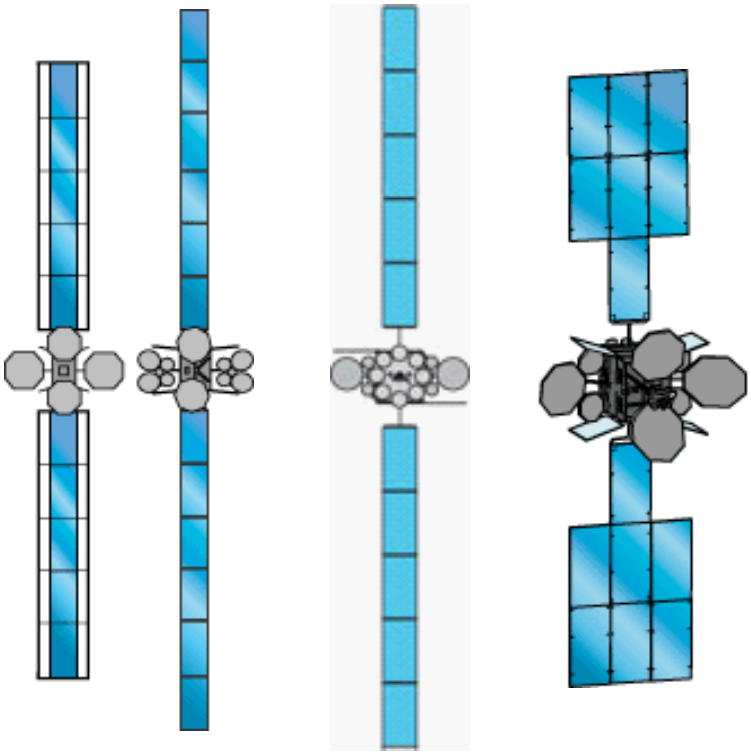
แผนภาพที่ 3-18 แสดงรูปจำลองดาวเทียมไทยคม 6 และพื้นที่ให้บริการ[21]



[21] Thaicom-6, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/thaicom-6.htm, 2015

ความสามารถในการสร้างจำนวนจานสายอากาศที่มากขึ้น ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการผลิตของผู้ผลิตดาวเทียมแต่ละราย ขนาดของโครงสร้างหลักของตัวดาวเทียม และยังขึ้นกับขนาดของห้องโดยสารบนหัวจรวด (Fairing) ที่บรรทุกดาวเทียมเพื่อส่งไปยังอวกาศอีกด้วย

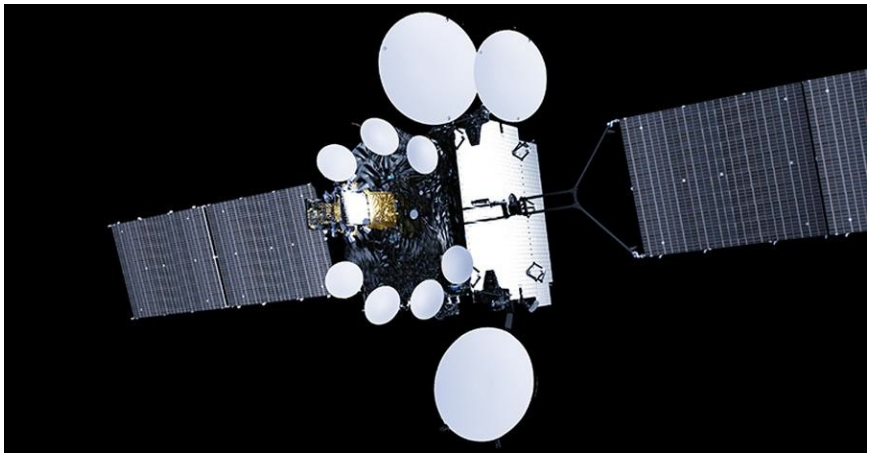
แผนภาพที่ 3-19 แสดงดาวเทียมที่สร้างโดยบริษัทโบอิ้ง (Boeing) ประเทศสหรัฐอเมริกาที่สามารถติดตั้งจานสายอากาศได้มากถึง 10 ใบ[22]



Anix F **Imarsat-5** **NSS-8**

[22] Boeing 702 Fleet, Online, http://www.boeing.com/boeing/defense-space/space/bss/factsheets/702/702fleet.page?, 2014

แผนภาพที่ 3-20 แสดงรูปจำลองดาวเทียมที่สร้างโดยบริษัท Thales Alenia Space ประเทศฝรั่งเศส ที่สามารถสร้างจานสายอากาศที่ติดตั้งบนแผงด้านหน้า (Earth Deck) ได้มากถึง 7 ใบ[23]

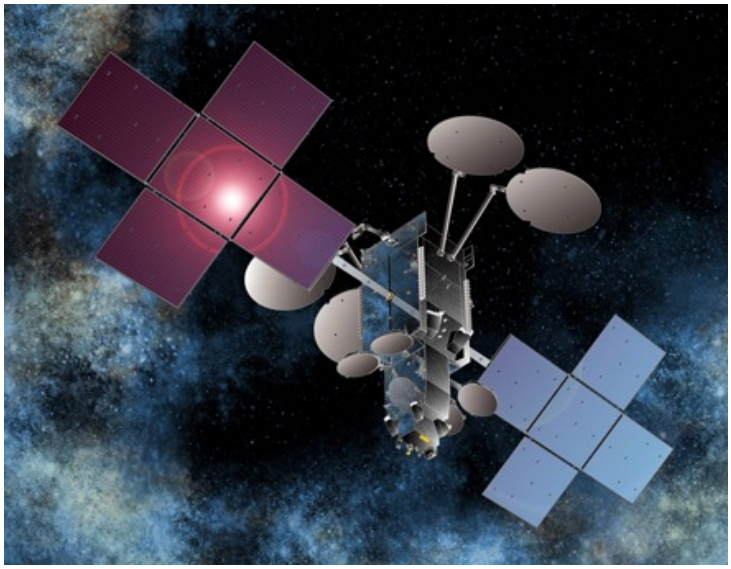


ทั้งนี้จำนวนสายอากาศที่สามารถติดตั้งบนดาวเทียมจะขึ้นกับขนาดของจานสายอากาศด้วย ถ้าขนาดเล็กก็สามารถติดตั้งได้หลายใบดังแสดงในแผนภาพข้างต้น แต่ถ้าจานสายอากาศมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องติดตั้งด้านข้างของโครงสร้างดาวเทียม แต่ก่อนจะถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร จานสายอากาศประเภทนี้จะถูกพับติดกับโครงสร้างด้านข้างเพื่อทำให้สามารถที่จะบรรจุเข้ากับหัวจรวดส่งดาวเทียมได้ และเมื่ออยู่ในอวกาศจานสายอากาศเหล่านี้จะถูกกางออกมา เราจะเรียกจานสายอากาศประเภทนี้ว่าจานสายอากาศที่กางออกได้ (Deployable Antenna) โดยปกติแล้วผู้ผลิตดาวเทียมบางรายจะสามารถติดตั้งจานสายอากาศขนาดใหญ่ได้ข้างละสองใบ รวมสองข้างได้สี่ใบ ยกตัวอย่างเช่น ดาวเทียม NBN Co 1A ที่สร้างโดยบริษัท Space System Loral ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-21

---

[23] Thales Group Telecommunications, Online, https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/what-we-do/telecommunications, 2015

แผนภาพที่ 3-21 แสดงรูปจำลองดาวเทียม NBN Co 1A ที่มีจานสายอากาศด้านข้างที่กางได้ทั้งหมด 4ใบ[24]



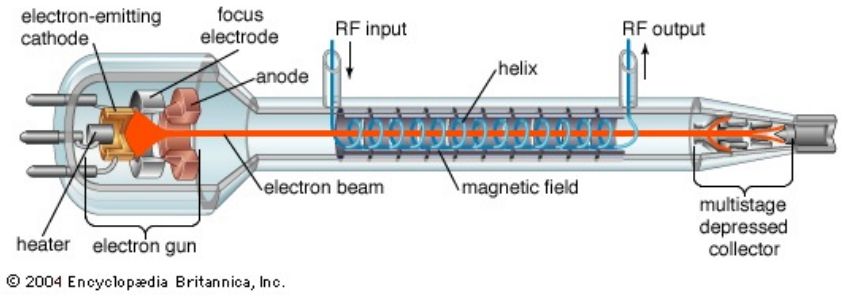
3. นวัตกรรมการเพิ่มขนาดกำลังขยายของตัวขยายสัญญาณ (High Power Amplifier)

การเพิ่มกำลังวัตต์ของตัวขยายสัญญาณให้สูงขึ้น เป็นอีกการพัฒนาเพื่อนำไปสู่การใช้งานคลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพได้มากขึ้น เพราะความแรงของสัญญาณที่มากขึ้น จะสามารถใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณ (Modulation) และการเข้ารหัส (Coding) ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้การส่งข้อมูลข่าวสารมีความเร็วมากขึ้นหรือ Capacity สูงขึ้น

ตัวขยายสัญญาณที่ทำให้ได้กำลังวัตต์ที่สูงที่ใช้งานบนดาวเทียมในที่นี้จะมุ่งเน้นไปที่ตัวขยายสัญญาณแบบ Travelling Wave Tube Amplifier (TWTA) ซึ่งองค์ประกอบของตัว TWTA นั้นมีองค์ประกอบหลักดังแสดงในแผนภาพที่ 3-22

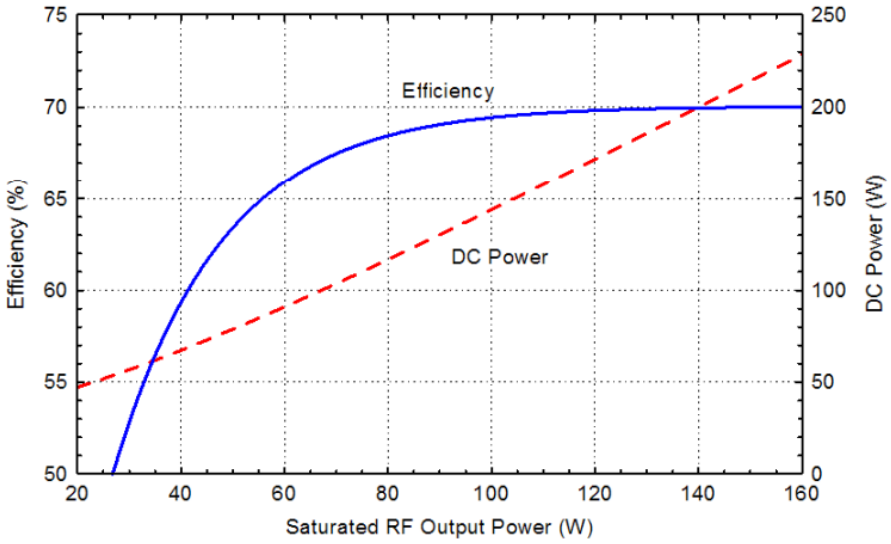
[24] NBN-Co 1A and 1B, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/nbn-co-1.htm, 2015

แผนภาพที่ 3-22 แสดงองค์ประกอบของตัวขยายสัญญาณแบบ TWTA[25]



วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบ TWTA คือการพยายามเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power)ให้เป็นกำลังวัตต์ของสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Frequency - RF) ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-23 ซึ่งแสดงตัวอย่างของประสิทธิภาพของ TWTA ในย่านความถี่เคยูแบนด์ของบริษัท L3 ETI

แผนภาพที่ 3-23 แสดงประสิทธิภาพของ Ku-TWTA หาได้จากอัตราส่วนระหว่าง RF power กับ DC power[26]



[25] Traveling-Wave-Tube, Online, http://www.britannica.com/EBchecked/topic/603591/traveling-wave-tube, 2015

[26] L-3 Ku-band TWTA, Online, http://www2.l-3com.com/eti/downloads/Ku_quad.pdf, 2015

ในยุคแรกๆนั้น TWTA มีประสิทธิภาพเพียง 50% ซึ่งหมายความว่า TWTA นั้นใช้พลังงานไฟฟ้าไปแปลงเป็นกำลังส่งของสัญญาณคลื่นวิทยุได้เพียงครึ่งเดียว อีกครึ่งหนึ่งนั้นสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพิ่มประสิทธิมากขึ้นเป็น 60% - 70% และกำลังวัตต์ก็มากขึ้นด้วยดังที่แสดงในตารางที่ 3-3 ซึ่งในย่านความถี่ที่สูงขึ้นนั้นความยากในการออกแบบและผลิต TWTA คือ การสร้างปืนยิงอีเลคตรอน (Electron Gun) และระบบการบีมลำแสงอีเลคตรอน (Electron Beam Focusing)

ตารางที่ 3-3 แสดงค่าประสิทธิภาพของ TWTA ในย่านความถี่ต่างๆ[27,28]

ย่านความถี่	ช่วงความถี่ (กิกะเฮิร์ทซ์)	ผู้ผลิต	กำลังวัตต์ (Watts)	ประสิทธิภาพ (efficiency)
L	1.0-2.0	L3 ETI	80-250	68-70%
	1.17-1.65	Thales	70-280	60-65%
S	2.3-2.8	L3 ETI	90-300	62-72%
	2.15-2.65	Thales	70-275	64-66%
C	3.4-4.2	L3 ETI	20-120	66-69%
		Thales	20-125	62-70%
X	7.0-9.0	L3 ETI	20-165	54-65%
	7.25-8.5	Thales	12-160	59-66%
Ku	10.7-12.75	L3 ETI	30-150	60-70%
		Thales	25-250	65-70%
K	17.0-22.0	L3 ETI	30-130	65%

เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณอื่นๆ TWTA จะมีลักษณะการขยายสัญญาณที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Linearity) หรือขยายแบบหนึ่งต่อหนึ่ง เมื่อทำงานใกล้จุดสูงสุดของกำลังส่งซึ่งเป็นจุด

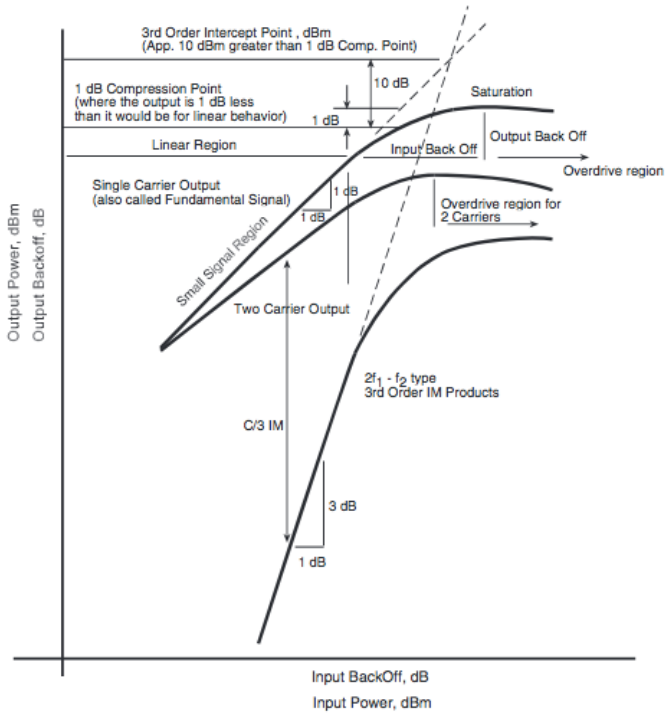
---

[27] L-3 Communications Product Lines, Online, http://www2.l-3com.com/eti/product_lines_space_twt.htm, 2015

[28] Thales Group Space Program, Online, https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space, 2015

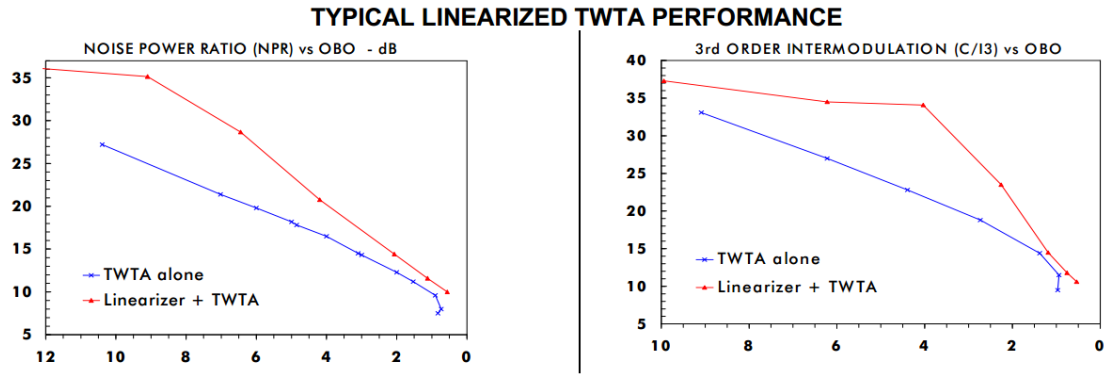
ที่ TWTA มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-24 ซึ่งผลของการขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ ทำให้เกิด Intermodulation Product ขึ้นในกรณีที่ TWTA นั้นต้องขยายสัญญาณมากกว่าหนึ่งสัญญาณในเวลาเดียวกันโดยจะส่งผลทำให้คุณภาพสัญญาณต่ำลงและมีผลกระทบต่อ Capacity ที่จะได้ ปัญหาดังกล่าวเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดนวัตกรรมของอุปกรณ์ลดการผิดเพี้ยนของเฟส (Phase) และการผิดเพี้ยนของระดับสัญญาณ (Amplitude) ที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity) อุปกรณ์ดังกล่าวคือ Linearizer ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดระดับสัญญาณของ Intermodulation Product เมื่อใช้ในการขยายสัญญาณมากกว่าหนึ่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน และช่วยลดระดับของ Noise Power Ratio (NPR) ซึ่งเป็น Intermodulation Product ในกรณีที่ TWTA ต้องขยายสัญญาณเป็นจำนวนมากพร้อมกัน ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-25 แกนแนวนอนแสดงค่า OBO (Output Power Back Off) หรือระดับของกำลังวัตต์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับกำลังวัตต์สูงสุดมีหน่วยเป็น dB (Decibel) และแกนตั้งเป็นค่า Intermodulation Product ที่เป็น Third Intermodulation Product สำหรับกรณีมีสองสัญญาณ และ NPR ในกรณีที่มีมากกว่าสองสัญญาณขึ้นไป จะเห็นได้ว่า Linearizer ช่วยทำให้สามารถใช้งาน TWTA ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

แผนภาพที่ 3-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของ TWTA[29]



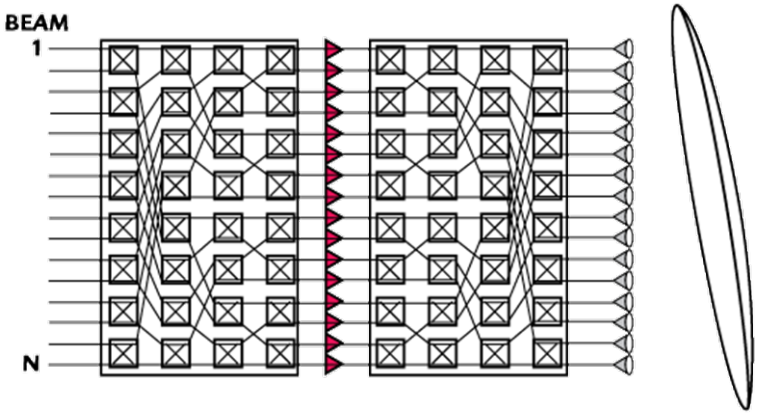
[29] Charan Langton. “All About Traveling Wave Tube Amplifiers”. (Online). Available: http://complextoreal.com/wp-content/uploads/2013/01/twta.pdf, 2015

แผนภาพที่ 3-25 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของ intermodulation product ที่เกิดจาก TWTA ที่มีและไม่มี Linearity[30]



นอกจากนี้ยังมีตัวขยายสัญญาณอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า Multi-Port Amplifier (MPA)[31] ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-26

แผนภาพที่ 3-26 แสดงไดอะแกรมของตัวขยายสัญญาณแบบ Multi-Port Amplifier (MPA)

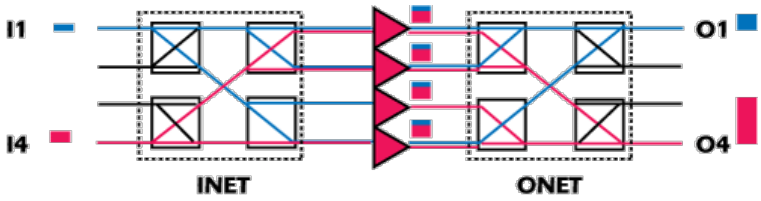


[30] Thales Group. “Channel Amplifier Linearizer/Solid State Power Amplifier”. (Online). Available: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/CAMP_SSPA-2012.pdf, 2015

[31] Piero Angeletti and Marco Lisi. “Multiport Power Amplifiers for Flexible Satellite Antennas and Payloads” (Online). Available: http://www.microwavejournal.com/articles/9430-multiport-power-amplifiers-for-flexible-satellite-antennas-and-payloads?v=preview, 2015

โดยหลักการทำงานของ MPA สามารถอธิบายได้อย่างง่ายๆ ดังแผนภาพที่ 3-27 แนวความคิดหลักก็คือการใช้ตัวขยายสัญญาณร่วมกัน (Common Power Pool) แต่จัดสรรระดับสัญญาณขาออกตามความต้องการของการใช้งาน ด้านฝั่งขาเข้าจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า INET (Input Microwave Network) ที่จะกระจายสัญญาณของแต่ละพอร์ทไปทุกตัวขยายสัญญาณ และมี ONET (Output Microwave Network) ที่จะรวมสัญญาณจากตัวขยายสัญญาณทุกตัวมาออกที่พอร์ทขาออก

แผนภาพที่ 3-27 แสดงการทำงานของตัวขยายสัญญาณแบบ a multi-port amplifier (MPA)



MPA เหมาะสำหรับการใช้งานกับการออกแบบจานสายอากาศแบบ Multi-Beam ข้อดีของ MPA คือ

1. สามารถที่จะจัดสรรระดับของสัญญาณที่ส่งออกไปแต่ละบีมได้ ทำให้เพิ่ม Capacity ในบีมเป้าหมายได้ตามความต้องการใช้งานอย่างแท้จริง
2. ลดหรือตัดตัวขยายสำรองในกรณีที่ตัวขยายหลักเสียจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ประเภทสวิทช์ไปด้วย
3. ลดน้ำหนักที่ไม่ต้องมีสวิชท์และทำให้ประหยัดพื้นที่การติดตั้ง
4. ทำให้ความน่าเชื่อถือ (Reliability) เพิ่มขึ้น เพราะถ้ามีตัวขยายสัญญาณ (TWTA: Travelling Wave Tube Amplifier) ตัวใดตัวหนึ่งเสีย ระดับสัญญาณในบีมนั้นๆ ก็ไม่ได้หายไปทั้งหมดซึ่งตากจากการออกแบบที่แยก TWTA สำหรับแต่ละบีม แต่ระดับสัญญาณจะลดลงตามขนาดของ MPA ที่ใช้ ซึ่งการลดลงของระดับสัญญาณจะเป็นอัตราส่วนของจำนวนพอร์ทของ MPA ถ้ามี TWTA ตัวหนึ่งเสียอัตราการลดลงของระดับสัญญาณเมื่อเทียบกับสัญญาณทั้งหมดสามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้

$$\frac{Pout}{Ptot} = \left(\frac{N-1}{N}\right)^2$$

โดยที่ N คือขนาดของ MPA สมมุติพิจารณา MPA แบบ 8 พอร์ท ถ้า TWTA เสีย 1 ตัวระดับสัญญาณจะลดลง 1.2 dB แต่ถ้าเป็นแบบ 16 พอร์ทแล้ว TWTA เสีย 1 ตัวระดับสัญญาณจะลดลงเพียง 0.6 dB ยิ่งจำนวนพอร์ทมากอัตตราส่วนของการลดลงของสัญญาณยิ่งน้อยลง แต่ข้อเสียก็

คือในส่วนของ INET และ ONET ก็จะมีความซับซ้อนมากขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้น มี Amplitude และ Phase Error มากขึ้นที่ต้องปรับแต่ง

ได้มีการนำ MPA มาใช้ในดาวเทียมประเภทให้บริการแบบเคลื่อนที่ (Mobile Communications) เช่นโครงการของอิริเดียม เป็นต้น และยังนำมาใช้กับ HTS (High Throughput Satellite) ด้วย ถ้าหากนำมาใช้กับการออกแบบจานสายอากาศแบบสามารถปรับเปลี่ยนขนาดกำลังขยายของจาน (Multi Beam Adaptive Antenna) ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ความถี่ได้มากขึ้น

5. ระบบประมวลผลติดตั้งในตัวดาวเทียม (On-Board Processor)

ดาวเทียมสื่อสารโดยทั่วไปแล้วจะเป็นแบบ Bent-Pipe คือทำหน้าที่รับสัญญานจากสถานีภาคพื้นดินแล้วขยายส่งกลับไปยังปลายทางโดยไม่มีการถอดรหัสหรือปรับแต่งสัญญาณใดๆทั้งสิ้น การจัดสรรช่องสัญญาณเป็นแบบอนาล็อก คือการกำหนดแถบความที่ตายตัวกับพื้นที่ให้บริการดังแสดงในแผนภาพที่ 3-28 ซึ่งในกรณีที่บางเวลาและบางพื้นที่มีความต้องการใช้ช่องสัญญาณที่ลดน้อยลงก็ไม่สามารถย้ายช่องความถี่นี้ไปเพิ่มให้กับส่วนพื่นที่บริการอื่นที่อาจมีความต้องการต้องการใช้สัญญาณมากขึ้น ณ เวลานั้นได้ ทำให้เกิดการเสียโอกาสในการใช้งานแถบความถี่นั้นๆไป นวัตกรรม On-Board Processor สามารถจำแนกได้ดังนี้

5.1. การจัดสรรช่องสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Channelizer)[32]

On-Board Processor เป็นอุปกรณ์อีเลคโทรนิคส์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลและการจัดสรรช่องสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Channelizer) ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-29 ซึ่งจะทำการคัดแยกสัญญาณ (Demultiplex) ที่รับเข้ามาในแต่ละบีมของภาครับ ทำการสับเปลี่ยนข้ามช่องสัญญาณหรือข้ามบีม และทำการรวมสัญญาณ (Multiplex) เพื่อลงบีมของภาคส่งที่ต้องการ ระบบ Digital Channelizer จึงสามารถเพิ่มหรือลดขนาดของแถบความถี่ (Bandwidth)ที่จะจัดสรรให้พื้นที่บริการหนึ่งได้ตามความต้องการที่แท้จริง ถ้าความต้องการมากขึ้นก็จัดสรรให้มากขึ้น ถ้าต้องการน้อยลงก็จัดสรรให้น้อยลง แล้วนำแถบความถี่ที่เหลือไปให้บริการในพื้นที่อื่น

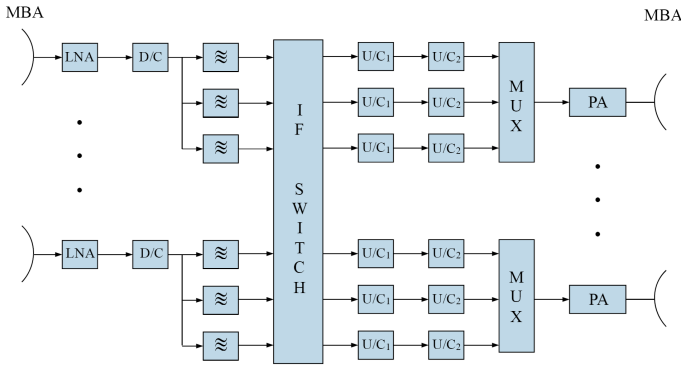
ระบบ Digital Channelizer ยังสามารถทำการชดเชยการลดทอนของสัญญาณที่สูญหายระหว่างทาง (Path Loss) และการเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงของสัญญาณ (Amplitude Response) ด้วยวิธีทางดิจิตอลได้อีกด้วย ระบบ Digital Channelizer ได้ถูกใช้งานจริงแล้วในระบบดาวเทียมของ Asia Cellular Satellite (ACeS) และ Wideband Global SATCOM (WGS) ระบบ Digital Channelizer สามารถรองรับปริมาณการใช้งานที่ผ่านดาวเทียมได้มากขึ้น 10% ถึง 30% เมื่อเทียบกับระบบอนาลอก (Analog Channelizer) ระบบ Digital Channelizer มีราคาอยู่ที่ประมาณ US$10-15M เมื่อเทียบกับราคาดาวเทียมที่ประมาณ US$250M เนื่องจากระบบ

---

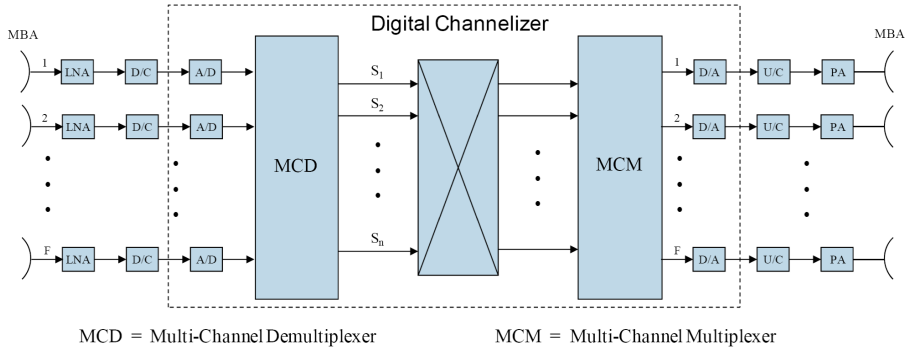
[32] C. Butash and J. R. Marshall, "Leveraging Digital On-Board Processing to Increase Communications Satellite Flexibility and Effective Capacity," in 28th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2010), Anaheim, California, 2010

นี้มีการประมวณสัญญาณโดยวิธีดิจิตอลอยู่แล้ว จึงสามารถต่อยอดเพื่อใช้งานร่วมกับจานสายอากาศแบบ Phase Array Antenna อีกด้วยโดยการปรับแต่งสัญญาณให้กำหนดเป็นพื้นที่ให้บริการตามความต้องการของการใช้งาน (Digital Channelizer Beamformer) ระบบนี้นิยมใช้ในดาวเทียมที่ให้บริการแบบเคลื่อนที่ (Mobile Satellite Services) ที่มีพื้นที่ให้บริการและของปริมาณการใช้งานที่มีกรเปลี่ยนแปลงค่อนมาก เช่นในดาวเทียม Thuraya และ Inmarsat-4 เป็นต้น

แผนภาพที่ 3-28 แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบอนาล็อก



แผนภาพที่ 3-29 แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบดิจิตอล

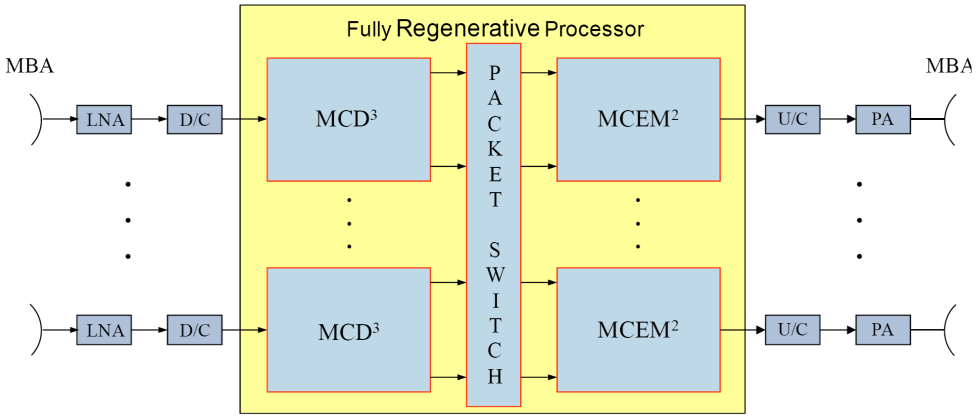


5.2. หน่วยประมวลผลแบบสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ (Fully Regenerative Processor)

เป็นแนวคิดที่ต่อยอด On-Board Processor กับ Digital Channelizer และ Digital Channelizer Beamformer ขึ้นไปอีกระดับหนึ่งคือนอกเหนือจากการปรับสัญญาณในย่านความถี่ ขนาดของช่องสัญญาณ รูปร่างของบีมหรือพื้นที่ให้บริการแล้วยังสามารถที่จะแปลงคืนสัญญาณ (Demodulate) ที่ได้มาจากภาครับ ออกเป็นข้อมูลดิจิตอลในรูปแบบของ IP Packet จากนั้นก็ทำการสับสายข้อมูลในระดับ Packets เพื่อส่งไปยังพื้นที่ที่ต้องการโดยการแปลงข้อมูลกลับเป็นสัญญาณ (Modulate) เพื่อให้ได้สัญญาณในภาคส่งใหม่ ระบบนี้เป็นระบบหน่วยประมวลผลแบบ

สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่หรือ Fully Regenerative Processor (FRP) แสดงในแผนภาพที่ 3-30 โดยที่ MCD คือ Multi-Channel Demultiplexer, Demodulator and Decoder และ MCEM คือ Multi-Channel Encoder, Modulator and Multiplexer ซึ่งการ Demodulate สัญญาณภาครับให้ออกมาเป็นข้อมูล IP Packet นี้มีข้อดีคือสามารถรวมข้อมูล และลดปริมาณ Bandwidth ที่ต้องใช้ในการส่งได้ (เปรียบเทียบกับระบบ Analog หรือ Digital Channelizer ที่ทำการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเท่านั้น แต่ยังคงใช้ Bandwidth เท่าเดิม) ปริมาณ Bandwidth ที่ต้องใช้ในการส่งสามารถลดลงเนื่องจากข้อมูลของการใช้งานจริงส่วนใหญ่จะเป็นแบบช่วงๆไม่ต่อเนื่อง (Bursty) เปรียบเสมือนโบกี้รถไฟที่มีผู้โดยสารนั่งไม่เต็มทุกที่นั่งและขึ้น-ลงในแต่ละสถานีไม่พร้อมกัน ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถบริหารข้อมูลและการจัดสรร Bandwidth ตามการใช้งานในขณะขั้นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพเปรียบเสมือนการจัดสรรขนาดและจำนวนที่นั่งของโบกี้รถไฟตามจำนวนผู้โดยสารในขณะนั้นๆไม่มีการสูญเปล่าของที่นั่ง จึงทำให้เกิด Statistical Multiplexing Gain[33]

แผนภาพที่ 3-30 แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fully Regenerative Processor



ประโยชน์ของระบบ Fully Regenerative Processor คือเปลี่ยนช่องสัญญาณแบบ Bent Pipe มาเป็นแบบ Regenerative ด้วยการนำสัญญาณขาขึ้น (Uplink) มาคัดแยกแล้วแปลงคืนเป็นข้อมูลก่อน จากนั้นก็สับสายข้อมูลแล้วแปลงกลับเป็นสัญญาณที่จะส่งไปยังขาลงปลายทาง (Downlink) ด้วยการเข้ารหัสที่ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับสัญญาณขาขึ้น วิธีนี้คุณภาพของสัญญาณขาลงจะถูกแยกออกจากคุณภาพของสัญญาณขาขึ้นแบบอิสระเพราะสัญญาณขาขึ้นได้ถูกแปลงมาเป็นข้อมูลแล้วก่อนที่จะแปลงกลับเป็นสัญญานขาลงซึ่งจะได้คุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าและสามารถใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบ Bent Pipe

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ MCD และ MCEM มักจะถูกผลิตออกมาในรูปแบบของวงอีเลคทรอนิคส์แบบ ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่าย แต่

---

[33] Statistical Time Division Multiplexing, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_time_division_multiplexing, 2015

ระบบนี้มีข้อเสียที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อรองรับการเข้ารหัสหรือการเข้าสัญญาณแบบใหม่ๆในอนาคตได้ ดังนั้นระบบ Fully Regenerative Processor จึงมักจะเป็นระบบปิดที่เฉพาะเจาะจงของระบบดาวเทียมนั้นๆเช่นในระบบดาวเทียม Iridium และ Spaceway ส่วนระบบ Digital Channelizer หรือ Digital Channelizer Beamformer นั้นทำงานในระดับสัญญาณไม่มีการแปลงและถอดสัญญาณมาเป็นข้อมูลจึงไม่ขึ้นกับเทคโนโลยีการเข้ารหัสหรือแปลงสัญญาณแต่อย่างใด

ระบบประมวลผลแบบ Fully Regenerative Processor ที่ทำในรูปแบบของ ASIC (Application Specific Integrated Circuit) มีข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งรวมถึงราคาความร้อนที่เกิดจากการใช้งาน การเป็นระบบปิดซึ่งเป็นปัญหาหลักเนื่องจากดาวเทียมสื่อสารจะมีอายุการใช้งานในวงโคจรไม่ต่ำกว่า 15ปีจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก

5.3. ระบบช่องสัญญาณที่ปรับเปลี่ยนได้โดยซอฟแวร์ (Software Defined Payload)

ในปัจจุบันอุปกรณ์ ASIC และ FPGA (Field Programmable Gate Array) ได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง และมีความคงทนกว่าเดิมเป็นอย่างมากดังที่ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3-4

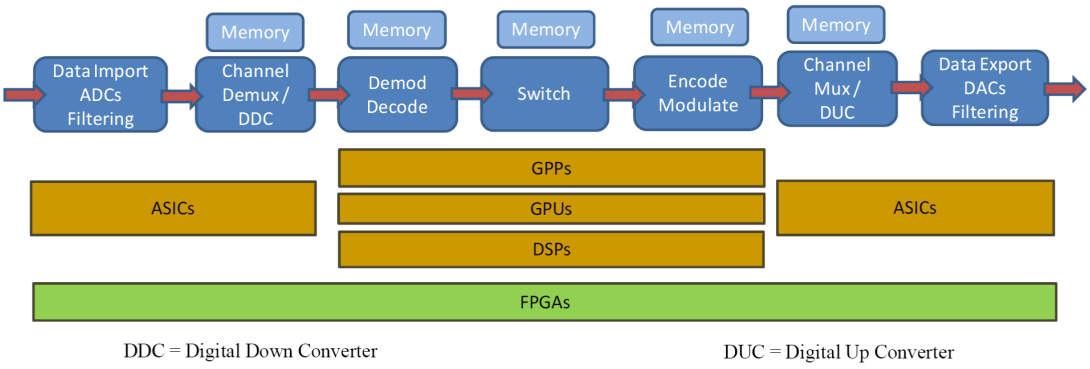
ตารางที่ 3-4 แสดงการพัฒนาคุณสมบัติตัวประมวลผลสัญญาณดิจตอลที่ใช้ในอวกาศ

Parameter	Radiation Tolerant CMOS ASIC Technologies					Spaceflight Qualified FPGAs			
Year of Introduction	1994	2001	2007	2010	201X	2000	2004	2007	2010
Lithography (nm)	500	250	150	90	45	220	150	90	65
Relative Power Dissipation	16.7	8.3	3.3	1	0.8	43.4	21.7	10.8	7
Useable Gates (M) on Largest Die	0.5	6	12	30	70	1	6	18	20

ข้อดีของ FPGA คือมีความยืดหยุ่นมากกว่า ASIC เพราะสามารถโปรแกรมให้ทำงานตามที่ต้องการได้เมื่อมีความจำเป็น ดังนั้นการทำ Modulation/Demodulation, Encoding/Decoding, Switching, Channelizer และ Beamforming สามารถทำบนซอฟท์แวร์ที่ทำงานในระบบ Reconfigurable Computer (RCC) ที่พัฒนามาจากระบบ Software Defined Radio

(SDR)[34] ที่กำลังเป็นที่นิยมในระบบสื่อสารภาคพื้นดิน มาเป็นระบบ Software Defined Payload (SDP)[35] ระบบนี้สามารถรองรับการปรับเปลี่ยน Configuration และ Parameters ของ Payload และรองรับ Protocols ในอนาคตได้ขึ้นอยู่กับขนาดของ FPGA ที่ใช้ ระบบ SDP เป็นนวัตกรรมที่เป็นที่สุดในเรื่องความคล่องตัว และความยืดหยุ่นของ Onboard Processor ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-31

แผนภาพที่ 3-31 แสดงสถาปัตยกรรมของ Software Defined Payload (SDP) ซึ่งรองรับการปรับเปลี่ยน Configuration และ Parameters ของ Payload ได้อย่างไม่จำกัด



เทคโนโลยีของ ADC (Analog-to-Digital Converter), DAC (Digital-to-Analog Converter) และ Upconverter ที่ทนต่อรังสีสำหรับการใช้งานในอวกาศจะพัฒนาได้ไม่เร็วเท่ากับเทคโนโลยีของอุปกรณ์ลอจิกอย่าง ASIC หรือ FPGA แต่ก็อยู่ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถรองรับการใช้งานที่มี Bandwidth กว้างได้ถึง ที่ 500 MHz ซึ่งในปัจจุบันก็มีขนาด น้ำหนักและประหยัดพลังงานไฟฟ้ากว่าเมื่อ 10ปี ทีแล้วเป็นอย่างมาก

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมเหล่านี้จะมีข้อดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมมาก และระบบ Software Defined Payload สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณของดาวเทียม แต่เนื่องจากดาวเทียมมีการลงทุนที่สูง และใช้เวลาสร้างที่นาน มีอายุใช้งานที่นานมากกว่า 10-15 ปี หากมีความผิดพลาดกับดาวเทียมที่ใช้งานอยู่จะส่งผลกระทบอย่างมากกับลูกค้าโดยเฉพาะลูกค้ารายใหญ่ การหาดาวเทียมมาทดแทนอาจต้องใช้เวลานาน

---

[34] Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," Royal Institute of Technology, Kista, Sweden, 2000

[35] Angeletti, M. Lisi and P. Tognolatti, "Software Defined Radio: A key technology for flexibility and reconfigurability in space applications," in IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2014

เกินกว่าที่ลูกค้าจะยอมรับผลกระทบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยความเสี่ยงนี้ด้วยในการนำเทคโนโลยีใหม่ๆที่ยังไม่มีประวัติการใช้งาน (Heritage) มากพอ

สรุป

ในบทนี้ได้รวบรวมการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆในส่วนที่เกี่ยวข้องกับภาคอวกาศ (Space Segement) ที่เกี่ยวข้องกับระบบดาวเทียมที่สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานดาวเทียมและช่วยให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งมีจำนวนจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมประกอบด้วยนวัตกรรมที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมด้วยวิธีการเติมเชื้อเพลิงและดาวเทียมลากจูง รวมถึงระบบขับดันที่ใช้เชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า การเพิ่มประสิทธิภาพของช่องสัญญาณดาวเทียมโดยการนำความถี่มาใช้ซ้ำ การแบ่งพื้นที่บริการให้เป็นแบบเซลลูล่าร์ การพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขยายสัญญานที่มีกำลังสูงขึ้นและมีความเป็นเชิงเส้นที่ดีกว่าเดิม การพัฒนานำเทคโนโลยีอีเลคโทรนิคส์แบบดิจิตอลมาใช้ร่วมงานกับซอฟแวร์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของช่องสัญญาณดาวเทียมให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของช่องสัญญาณทั้งในด้านของกำลังส่ง ความกว้างของช่องสัญญาณ และยังสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่บริการได้อีกด้วยตามความต้องการการใช้งานและความจำเป็น

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงจะยังคงมีการพัฒนาต่อไปอย่างไม่หยุดยั้งและจะช่วยให้การใช้งานของคลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วย ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาการออกแบบดาวเทียมให้สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่วงโคจรดาวเทียมโดยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุที่มีจำนวนจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้งานของคนทั้งโลก การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวจะสามารถช่วยให้การประสานงานความถี่บรรลุข้อตกลงได้ง่ายขึ้นแต่ทั้งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจะต้องผลักดันให้ผู้บริการดาวเทียมยินยอมที่จะใช้เทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมมาใช้งานแทนที่จะยึดติดกับเทคโนโลยีเดิมๆที่ล้าสมัยและใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ไม่มีประสิทธิภาพด้วย

ในบทที่ 5 จะนำเสนอแนวทางการประยุกต์นวัตกรรมใหม่ๆและข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการออกแบบดาวเทียมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อเพิ่มโอกาสในการบรรลุข้อตกลงในการประสานงานความถี่

บทที่ 4

นวัตกรรมเทคโนโลยีอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดิน

ในบทนี้นำเสนอนวัตกรรมใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีของอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดินที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มโอการในการบรรลุข้อตกลงของการประสานงานความถี่

การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็นจุดประสงค์หลักในการพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดิน อุปกรณ์การเข้าและถอดรหัสสัญญาณ (Modem) ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายมิติของการทำงาน เช่น การพัฒนาด้านมาตรฐานการส่งข้อมูล การพัฒนาฟังก์ชัน Adaptive Coding and Modulation (ACM) การใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier (CnC) และการเพิ่มขนาดของช่องสัญญาณที่มีความกว้างของช่วงความถี่ (Bandwidth) มากขึ้น เป็นต้น นอกจากการพัฒนา Modem ที่ทำให้การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว ด้านเทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์ (TV Broadcasting) ยังมีการพัฒนาด้านการบีบอัดสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Compression) เพื่อลดปริมาณข้อมูลก่อนส่ง ซึ่งมีผลทำให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับส่งข้อมูลน้อยลงด้วย

การพัฒนามาตรฐานการส่งข้อมูล

การส่งภาพโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมด้วยมาตรฐาน DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) เกิดขึ้นครั้งแรกของโลกในประเทศไทย และแอฟริกาใต้ในช่วงปลายปี พ.ศ.2537[1] และในปี พ.ศ.2540 ก็ได้มีพัฒนาเพิ่มให้มีการประยุกต์ใช้ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่หรือ Satellite News Gathering (SNG) ที่สามารถส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ เช่นข่าวจากจุดที่ทำข่าวมายังสถานีแม่ (HUB) ได้ ซึ่งทั้ง DVB-S และ DVB-DSNG ยังคงเป็นมาตรฐานโลกในการแพร่ภาพผ่านดาวเทียม และยังมีการใช้งานอย่างกว้างขวางเป็นระยะเวลาต่อเนื่องมากกว่า 10 ปี ต่อมาได้มีการพัฒนาต่อยอดโดยกลุ่ม DVB Project Group ทำให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เรียกว่า DVB-S2 (2nd Generation Satellite Digital Video Broadcasting) และได้ประกาศเป็นมาตรฐานในปี พ.ศ.2548 ซึ่งทำให้การใช้งานความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นประมาณ 30% ซึ่งหมายความว่า ในขนาดช่องความถี่ที่เท่ากัน เราสามารถส่งข้อมูล ซึ่งอาจจะเป็นข่าวสาร หรือ ภาพโทรทัศน์ ได้มากขึ้น 30%

ถึงแม้ว่า ในช่วงเริ่มต้นของการใช้งาน DVB-S2 ที่เข้ามาแทนที่ DVB-S ในกลุ่มผู้ใช้งานจะมีอุปสรรค คือผู้ให้บริการต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ต้นทางและผู้ใช้งานปลายทางซึ่งมีจำนวนมากต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ปลายทางคือ กล่องรับสัญญาณดาวเทียม ทำให้ความนิยมในการใช้งานของระบบ DVB-S2 ยังไม่มากเท่าที่ควร อย่างไรก็ดี ยังมีปัจจัยหลักอยู่ 2 ประการที่ช่วยกระตุ้นให้ระบบ DVB-S2 ได้รับการ

---

[1] 2nd Generation Satellite - DVB Project, Online, https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/DVB-S2_Factsheet.pdf, 2012

ยอมรับและมีการใช้งานแพร่หลายมากขึ้นในปี พ.ศ.2549 คือ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - ITU) ซึ่งเป็นหน่วยงานสากลที่ได้รับการยอมรับและมีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการสื่อสารและข้อมูล ได้ประกาศแนะนำให้ระบบ DVB-S2 เป็นมาตรฐานสากลที่ควรใช้สำหรับการแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม[2] และอีกปัจจัยหนึ่งคือ ผู้ถือลิขสิทธิ์ทรัพย์สินทางปัญญาของระบบ DVB-S2 ตัดสินใจคิดค่าลิขสิทธ์ในการนำไปผลิตเป็นอุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้มาตรฐานระบบ DVB-S2 ด้วยราคาที่ถูกมาก ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้งานระบบ DVB-S2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแพร่ภาพโทรทัศน์ มีจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ระบบ DVB-S2 มีการพัฒนาในหลายด้านได้แก่

1. สนันสนุนข้อมูลหลายรูปแบบ

ความสามารถในการสนับสนุนความหลากหลายรูปแบบของข้อมูลที่จะส่งผ่านดาวเทียมได้มากขึ้น นั่นคือ สามารถใช้ได้กับทั้งข้อมูลที่เป็น Transport Stream หรือ Generic Data ซึ่งหมายรวมถึง ข้อมูลแบบ IP ด้วยในขณะที่มาตรฐาน DVB-S เป็นมาตรฐานที่สามารถรองรับรูปแบบของข้อมูลได้เพียงแบบเดียว คือ MPEG Transport Stream เท่านั้น

2. สามารถใช้มอดูเลชั่นระดับสูง

มีการพัฒนามอดูเลชั่นระดับสูง (High Order Modulation) มากขึ้น ซึ่งมาตรฐาน DVB-S ซึ่งรวมถึง DVB-DSNG เดิมนั้นมีเฉพาะการใช้การมอดูเลชั่นแบบ QPSK และ 8PSK เท่านั้น ส่วนใน DVB-S2 นี้มีการพัฒนามอดูเลชั่นถึงระดับ 16APSK และ 32APSK เพื่อรองรับการใช้งานที่สูงขึ้นได้

3. การชดเชยข้อมูลที่สูญหายไป

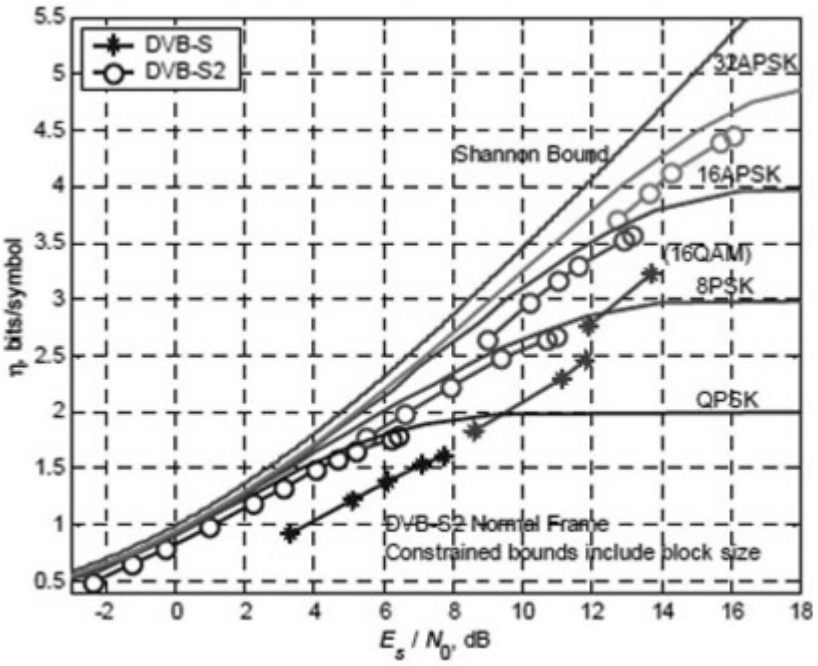
การพัฒนาในเรื่องของการชดเชยข้อมูลที่สูญหายไปโดยใช้ Forward Error Correction (FEC) หรือ การเข้ารหัส (Channel Coding) ที่พัฒนาจากการเข้ารหัสแบบ Low-Density Parity (LDPC) ร่วมกับ Bose-Chaudhuri-Hcquengham (BCH) ซึ่งผลทำให้มีการสูญหายของข้อมูลน้อยลง มีประสิทธภาพในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ Shannon Theory ซึ่ง Shannon Theory เป็นทฤษฎีที่บ่งบอกถึงความสามารถสูงสุดในการส่งข้อมูลในระบบดิจิตอล นั่นคือเป็นการส่งข้อมูลโดยที่ไม่เกิดความผิดพลาด (Error) ขึ้นเลย

---

[2] ITU. “Digital Satellite Broadcasting System with Flexible Configuration (Television, Sound and Data) - ITU recommendation number BO.1784”. (Online). Available: http://www.itu.int/rec/R-REC-BO.1784-0-200701-I, 2015

การใช้งานร่วมกันของมอดูเลชั่นระดับสูง และ การเข้ารหัส จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากกราฟในแผนภาพที่ 4-1[3] ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลในกรณีที่มีการใช้มอดูเลชั่นและการเข้ารหัสต่างๆ ของการส่งข้อมูลด้วยมาตรฐาน DVB-S DVB-S2 และ Shannon Bound โดยที่ DVB-S เป็นกราฟเส้น * (∗) และ DVB-S2 เป็นกราฟเส้น o (o) จะเห็นว่า กราฟของ DVB-S2 ให้ประสิทธิภาพมากกว่าในกรณีกราฟของ DVB-S ประมาณ 30% – 50% คือที่ระดับอัตราส่วนพลังงานสัญลักษณ์ต่อความเข้มของสัญญาณรบกวน (Es/No) ที่เท่ากัน DVB-S2 จะให้อัตราการส่งข้อมูลในหน่วยบิทต่อสัญลักษณ์ (Bits/Symbol) มากขึ้น 30% – 50% เมื่อเทียบกับ DVB-S หรือ ในอัตราการส่งข้อมูลในหน่วยบิทต่อสัญลักษณ์ (Bits/Symbol) ที่เท่ากัน DVB-S2 จะต้องการระดับอัตราส่วนพลังงานสัญลักษณ์ต่อความเข้มของสัญญาณรบกวน (Es/No) ที่น้อยกว่าประมาณ 2 dB เมื่อเทียบกับ DVB-S และเข้าใกล้เส้น Shannon Bound มากกว่า

แผนภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลในกรณีที่มีการใช้มอดูเลชั่นและการเข้ารหัสต่างๆ ของการส่งข้อมูลด้วยมาตรฐาน DVB-S DVB-S2 และ Shannon Bound



[3] Mark Lambert. “SatBroadcasting™: TechTalk – DVB-S2 + DVB-RCS: Challenges + Benefits”. (Online). Available: http://www.satmagazine.com/story.php?number=1955130098, 2011

4. การเข้ารหัสที่มีจำนวนมากขึ้น

การเข้ารหัส (Coding) มีจำนวนรหัสที่มาก และหลากหลายขึ้น มีรหัส 1/4 ถึง 9/10 จากเดิมที่มีเพียง 1/2 ถึง 6/7 ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่โดยตรง กล่าวคือมีอัตราการสูญเสียเพื่อใช้สำหรับเข้ารหัสที่น้อยลง จากการเข้ารหัสจำนวน 1 บิท สำหรับข้อมูลจำนวน 7 บิท สำหรับการเข้ารหัสแบบ 6/7 และเหลือเพียงการเข้ารหัสจำนวน 1 บิท สำหรับขอมูลจำนวน 10 บิท สำหรับการเข้ารหัสแบบ 9/10 ซึ่งเป็นใช้จำนวนรหัสที่น้อยลง ส่งผลให้สามารถส่งจำนวนข้อมูลได้มากขึ้นที่แถบความถี่เท่ากัน

5. สามารถใช้ค่า Roll-Off[4] ที่น้อยลง

มีการพัฒนาค่า Roll-Off ให้มีค่าน้อยลงจาก 0.35 เหลือ 0.2 ซึ่งผลให้มีการใช้งานความถี่น้อยลงโดยคงจำนวนข้อมูลเท่าเดิม ซึ่งค่า Roll-Off นี้จะเป็นค่าชี้วัดการใช้งานแบนวิดท์ (Bandwidth) หรือแถบความถี่ส่วนที่เกินจากแบนวิดท์ที่ต้องการ ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรกรอง (Filter) โดยถ้า Roll-Off มีค่าเป็นศูนย์ (0) แสดงว่าไม่มีส่วนเกินออกมาหรือไม่เกิดการสูญเสียการใช้งานแบนวิดท์ ดังนั้น ถ้าค่า Roll-Off มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากขึ้น จะแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้งานความถี่ที่มากขึ้น

6. สามารถใช้ฟังก์ชั่น Adaptive Coding and Modulation (ACM)

มีฟังก์ชัน Adaptive Coding and Modulation (ACM) ซึ่งทำให้มีการปรับและจัดสรร การเข้ารหัสและมอดูเลชั่นที่เหมาะสมในแต่ละเฟรม ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่เป็นอย่างมาก โดยจะกล่าวถึงในรายละเอียดเกี่ยวกับฟังก์ชัน ACM อีกครั้งในหัวข้อ 2.2 การพัฒนาฟังก์ชัน Adaptive Coding and Modulation (ACM)

7. เป็นมาตรฐานแบบเปิด

DVB-S หรือ DVB-S2 เป็นมาตรฐานแบบเปิด (Open Standard) ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการแพร่ภาพโทรทัศน์จากผู้ผลิตต่างๆ จากหลากหลายแห่งสามารถผลิตอุปกรณ์มาใช้งานร่วมกันได้ จึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และยังได้มีการพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งต่างจากการใช้มาตรฐานการส่งข้อมูลแบบปิด ที่ถึงแม้ว่า ผู้ผลิต ผู้พัฒนาได้คิดค้นขึ้นเองเพื่อการเพิ่มประสิทธิการใช้งานความถี่ให้สูงสุดก็ตาม แต่มักจะได้รับความนิยมเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งเนื่องจากการพัฒนาต่อยอดโดยผู้ผลิตอื่นไม่สามารถทำได้

---

[4] Raise Cosine Filter, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Raised-cosine_filter, 2015

นอกจากนี้การพัฒนามาตรฐาน DVB ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และได้มีการพัฒนา DVB-S2 extensions (DVB-S2X) ในปี พ.ศ.25575 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องต่างๆ เพิ่มขึ้นอีก

การพัฒนาฟังก์ชัน Adaptive Coding and Modulation (ACM)

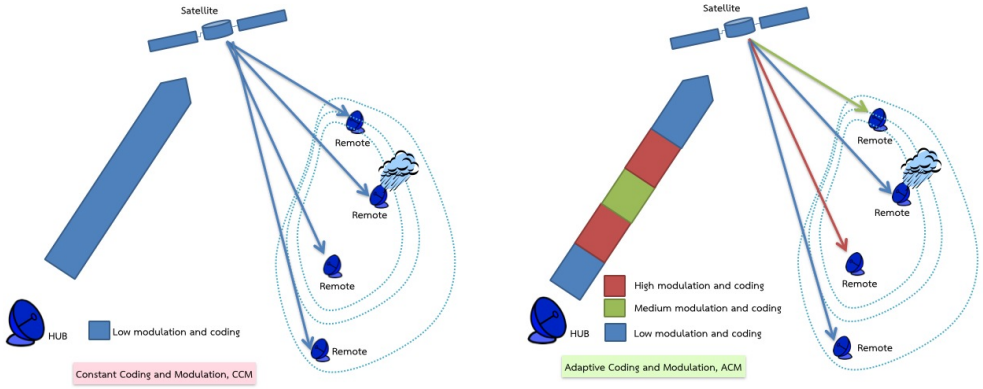
ฟังก์ชัน ACM ซึ่เป็นฟังก์ชั่นในการปรับการเข้ารหัสและมอดูเลชั่นแบบไดนามิกตามสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณเพื่อให้สามารถรับส่งสัญญานได้อย่างต่อเนื่องให้ได้มากและนานที่สุดเป็นการใช้คลื่นความถี่และพลังงานของช่องสัญญาณดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าระบบที่ใช้ระหัสและการมอดูเลชั่นแบบคงที่ การพัฒนาระบบนี้มีการใช้งานทั้งในมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบเปิดเช่น มาตรฐาน DVB-S2 และมาตรฐานแบบปิด เช่น ระบบ iPSTAR ซึ่งเป็นระบบแรกในโลกที่นำเทคโนโลยีนี้มาใช้งาน

เมื่อพิจารณาระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมโดยทั่วไปที่ไม่มีฟังก์ชัน ACM ระบบจะมีการจัดสรร รหัส และ มอดูเลชั่นค่าเดียวหรือแบบคงที่ (Constant Coding and Modulation, CCM) นั่นคือ จะไม่มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมในแต่ละเฟรม ซึ่งจะต้องพิจารณาภาพรวมของระบบ คือ ขนาดจานรับ-ส่งสัญญาณ ขนาดของกำลังส่ง และความแรงของสัญญาณดาวเทียม รวมถึงต้องคำนึงสัญญาณรบกวนต่างๆ ตลอดจนการลดทอนเนื่องจากฝน ซึ่งเป็นตัวแปรหลักสำหรับการใช้งานความถี่สูงตั้งแต่ย่าน Ku-band เป็นต้นไป เมื่อพิจารณาภาพรวมทั้งหมดจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจึงทำการจัดสรร รหัส และมอดูเลชั่น ค่าเดียว หรือแบบคงที่ให้ ซึ่งจะพบว่าระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ไม่มีฟังก์ชัน ACM นั้น รหัส และมอดูเลชันที่ได้จึงมีค่าไม่สูงมากนัก เพื่อให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมนี้สามารถเป็นไปได้ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่ฝนตกระดับหนึ่ง หรือในสภาวะที่มีการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน และส่งผลให้การอัตราการส่งข้อมูลผ่านดาวเทียมที่ได้ไม่สูงมากนัก ถือว่าเป็นการใช้งานความถี่ที่ไม่เต็มประสิทธิภาพนัก นั่นคือ ถือได้ว่าในสภาวะที่อากาศปลอดโปร่งระบบจะมีการสูญเสียโอกาสที่จะได้ รหัส หรือ มอดูเลชั่นที่สูงกว่าไป ซึ่งหมายถึงอัตราการส่งข้อมูลที่มากกว่า หรือที่เรียกว่าเป็นกำหนด Margin เผื่อให้กับระบบเพื่อรักษาการติดต่อสื่อสารให้คงอยู่ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ

---

[5] ETSI. “European Standard ETSI EN 302 307-1 V1.4.1 (2014-11)”. (Online). Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230701/01.04.01_60/en_30230701v010401p.pdf, 2014

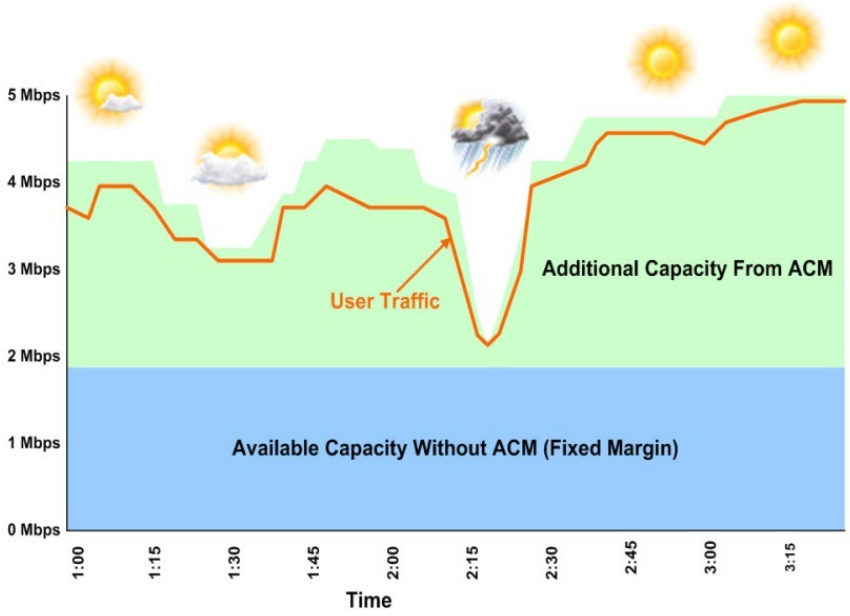
แผนภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบการจัดสรรรหัส และมอดูเลชั่นระหว่างระบบที่มีฟังก์ชั่น ACM และ ระบบ CCM (ไม่มี ACM)



ดังนั้นนวัตกรรมการพัฒนาฟังก์ชั่น ACM ที่สามารถปรับและจัดสรร การเข้ารหัส และมอดูเลชั่นที่เหมาะสมในแต่ละเฟรม ของแต่ละผู้ใช้นี้ จะทำให้ได้อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด โดยที่ถ้าผู้ใช้อยู่ในสภาวะอากาศปลอดโปร่ง ไม่มีการลดทอนเนื่องจากฝน ก็ย่อมจะได้รหัส และมอดูเลชั่นที่สูงกว่า และส่งผลให้สามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้มากขึ้นและใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับระบบดั้งเดิมที่ไม่มีฟังก์ชัน ACM นั่นหมายถึงการแปลงจาก Margin ที่สูญเปล่าในสภาวะอากาศปลอดโปร่งเป็นการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่มากขึ้น และเมื่อมีการลดทอนจากฝนเกิดขึ้น ฟังก์ชัน ACM นี้ก็จะปรับ และจัดสรร รหัส และ มอดูเลชั่นลดลงให้เหมาะสมกับผู้ใช้นั้นๆ ซึ่งแสดงได้ในแผนภาพที่ 4-2[6] และ แผนภาพที่ 4-3 แสดงอัตราการส่งข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาวะอากาศและมีการสูญเสีย Margin น้อยกว่า หรือ การแปลง Margin ที่สูญเปล่ามาเป็นอัตราการส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้น

[6] Comtech EF Data. “Adaptive Coding and Modulation (ACM)”. (online). Available: http://www.comtechefdata.com/technologies/acm, 2015

แผนภาพที่ 4-3 อัตราการส่งข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสภาวะอากาศ ของระบบที่มี ACM เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มี ACM

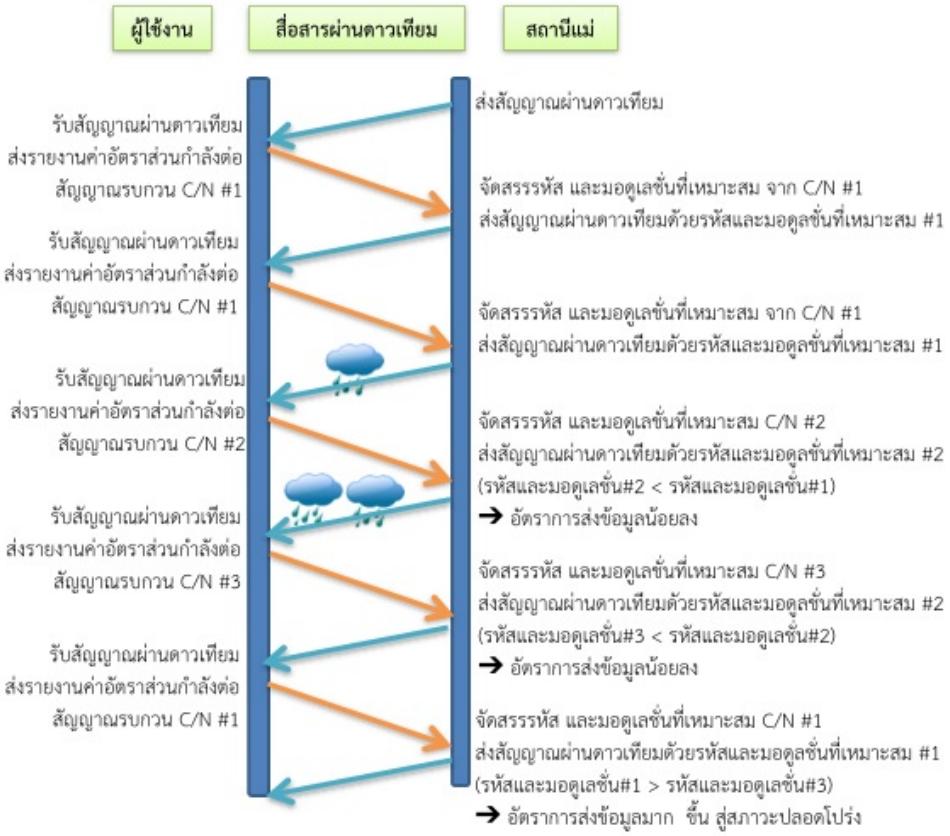


อย่างไรก็ตาม การใช้งานฟังก์ชั่น ACM ก็มีข้อจำกัดของการใช้งานอยู่ นั่นคือ ฟังก์ชั่นนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับการรายการกลับถึงค่าอัตราส่วนกำลังต่อสัญญาณรบกวน (C/N) จากฝั่งผู้ใช้งาน (User) มายังสถานีแม่ (HUB) ตลอดระยะเวลาของการใช้งาน จากนั้น ฟังก์ชั่น ACM ก็จะทำการจัดสรร รหัส และมอดูเลชั่นที่เหมาะสมในแต่ละเฟรม แต่ละผู้ใช้ ได้ ดังแสดงในแผนภาพที่ 4-4 ซึ่งการรายงานกลับนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อเป็นการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ 2 ทาง (two-way communication) เท่านั้น

นอกจากนี้ ในมาตราฐาน DVB-S2 ที่มีจำนวนการเข้ารหัสที่มาก และหลากหลายขึ้นทั้งด้านต่ำ (Low Code Rate) คือ การเข้ารหัสที่ส่งจำนวนข้อมูลได้น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนรหัสแต่ต้องการอัตราส่วนกำลังต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐาน DVB-S เดิม เช่น 1/4 เป็นต้น และด้านสูง (High Code Rate) คือ การเข้ารหัสที่ส่งข้อมูลได้มากเมื่อเทียบกับจำนวนรหัส แต่ต้องการอัตราส่วนกำลังต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐาน DVB-S เดิม เช่น 9/10 เป็นต้น การใช้งานการเข้ารหัสในด้านต่ำร่วมกับฟังก์ชัน ACM นี้จะทำให้ความสามารถด้านการคงอยู่อย่างต่อเนื่องของการติดต่อสื่อสาร (Link Availability) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีฟังก์ชัน ACM ซึ่งความสามารถด้านการคงอยู่อย่างต่อเนื่องนี้เปรียบเสมือนการทนต่อสภาวะอากาศที่มากขึ้นนั่นเอง และมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการสื่อสารผ่านดาวเทียมทั่วไป

ในกรณีที่มีจำเป็นต้องให้ค่าความคงอยู่อย่างต่อเนื่องมีค่าสูง (High Link Availability) ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดอัตราการส่งข้อมูลลง หรือการใช้การเข้ารหัสด้านต่ำเพื่อสามารถใช้งานในสภาวะที่อัตราส่วนกำลังต่อสัญญาณรบกวน (C/N) มีค่าต่ำได้ เพื่อที่จะรักษาความต่อเนื่องในการติดต่อสื่อสารไว้ เช่น การติดต่อสื่อสารทางการทหารผ่านดาวเทียม เป็นต้น

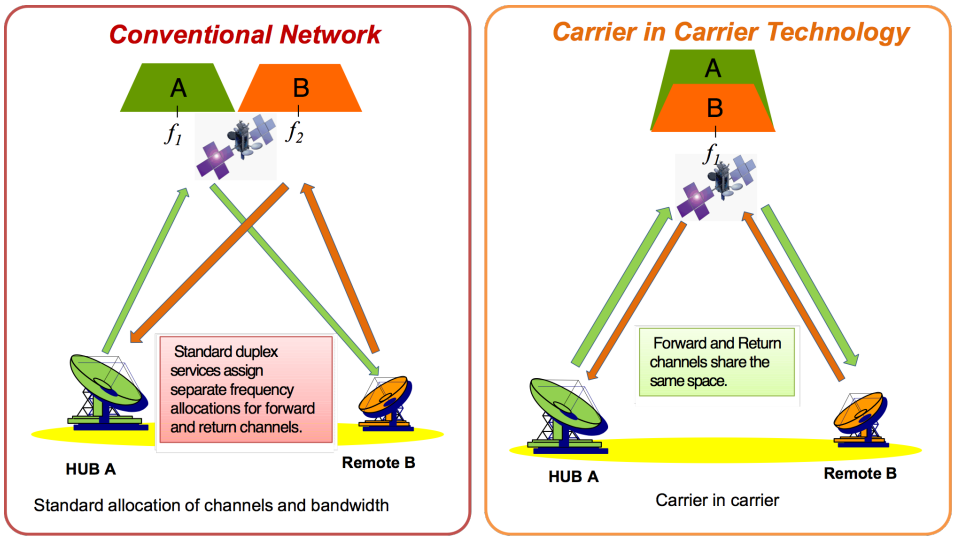
แผนภาพที่ 4-4 ไดอะแกรมการส่ง-รับของทำงานของฟังก์ชั้น ACM



เทคโนโลยี Carrier in Carrier (CnC)

เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้มีการใช้งานความถี่บนดาวเทียมซ้ำกันในเวลาเดียวกันได้ โ ดยที่สามารถส่งสัญญาณหนึ่งขึ้นไปซ้อนทับกับอีกสัญญาณหนึ่งที่มีอยู่แล้วในความถี่เดียวกันโดยไม่เกิดการรบกวนกัน เนื่องจากความสามารถทางด้านรับ ซึ่งสามารถเลือกรับได้แต่เฉพาะสัญญาณที่ตนต้องการเพียงสัญญาณเดียวได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถ รับ-ส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันที่ความถี่เดียวกันได้ (Duplex) ส่งผลให้ความถี่ หรือแบนวิดท์ที่ใช้ลดลงมากถึง 50%

แผนภาพที่ 4-5 ไดอะแกรมเปรียบเทียบการใช้งานแบนวิทด์ในกรณีไม่ใช้ และใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier

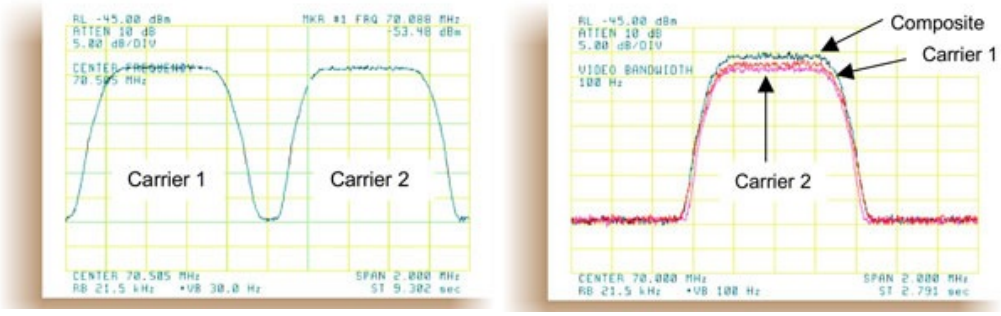


หลักการและเทคนิค Carrier in Carrier ทำได้โดยใช้หลักการของการหักล้าง (Cancellation) โดยที่สถานี HUB A ส่ง สัญญาณ A ขึ้นไปบนดาวเทียมในความถี่หนึ่ง และ HUB B ก็ส่งสัญญาณ B ขึ้นไปในความถี่เดียวกัน บนดาวเทียมเดียวกัน ดังแสดงในแผนภาพที่ 4-5 ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ลงมาจากดาวเทียมที่ไปยังทั้งสถานี A และสถานี B เป็นสัญญาณที่รวมกันของสัญญาณ A และ สัญญาณ B (A+B) ดังแสดงในแผนภาพที่ 4-6(ข) เมื่อพิจารณาที่สถานี HUB Aสัญญาณ A+B ที่รับได้ก็จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณ A ซึ่งตนเป็นผู้ส่ง และทำการหักล้าง (cancel) กัน ดังนั้นสถานี HUB A ก็จะเลือกรับแต่เฉพาะสัญญาณที่แตกต่างได้ และจะได้แต่เฉพาะสัญญาณ B ((A+B) – A) ดังแสดงในแผนภาพที่ 4-7 ทำให้สถานี A สามารถรับสัญญาณ B ได้โดยที่ตนส่งสัญญาณ A ขึ้นไปที่ความถี่เดียวกันบนดาวเทียมเดียวกัน ซึ่งเทคนิค Carrier in Carrier นี้จะใช้งานได้ก็ต่อเมื่อ สถานีรับ และส่งอยู่ในพื้นที่ (Footprint) ให้บริการเดียวกันของดาวเทียมนั้น แผนภาพที 4-6 เปรียบเทียบรูปสัญญาณจากสเปคตรัมในแกนความถี่ของสัญญาณกรณีทั่วไป และกรณีการใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier[7]

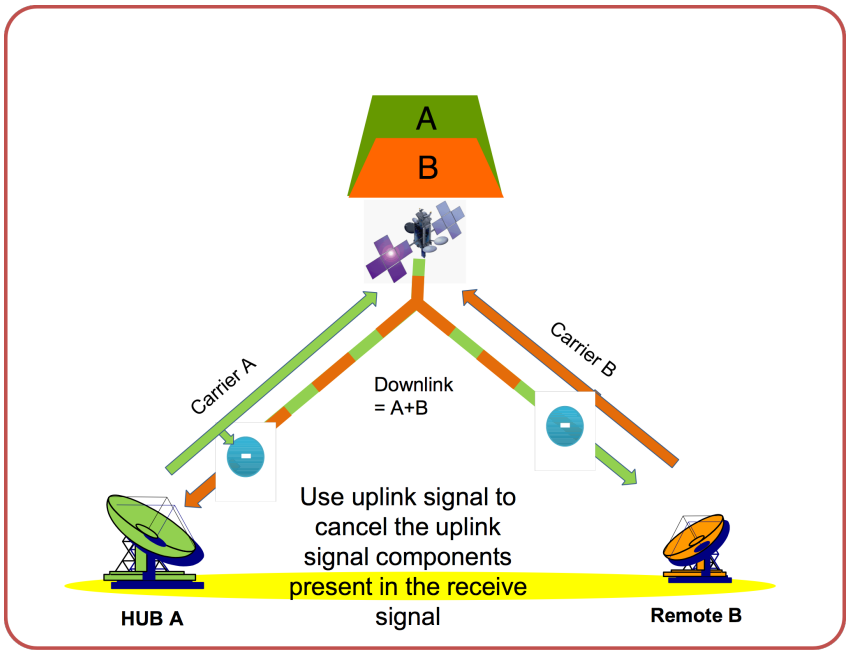
[7] Comtech EF Data. “DoubleTalk® Carrier-in-Carrier® Bandwidth Compression”. (online). Available: http://www.comtechefdata.com/technologies/doubletalk, 2015

แผนภาพที่ 4-6 เปรียบเทียบรูปสัญญาณจากสเปคตรัมในแกนความถี่ของสัญญาณกรณีทั่วไป และกรณีการใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrier

(ก) กรณีสัญญาณทั่วไป (ข) กรณีใช้เทคโนโลยี Carrier in Carrie



แผนภาพที่ 4-7 หลักการของเทคนิค Carrier in Carrier



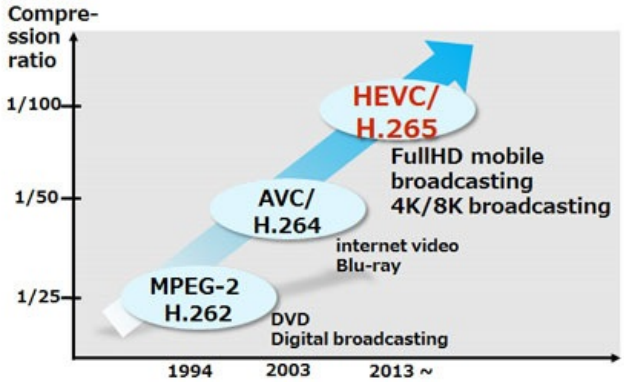
การพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ของเครื่องรับส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมที่กล่าวมาเป็นเพียงเทคโนโลยีที่เห็นเด่นชัด ซึ่งยังมีการพัฒนาปลีกย่อยอีกมากที่ยังไม่ได้กล่าวถึง เช่น การพยายามเพิ่มขนาดของแบนวิดท์ของ Carrier เพื่อตอบรับกับเทคโนโลยีดาวเทียมที่มีช่องทรานสปอนเดอร์ที่กว้างขึ้น เพื่อยังคงการใช้งานไว้ในลักษณะ Carrier เดี่ยว (Single Carrier) เนื่องจากการใช้งานหลาย Carrier ด้วย TWTA ตัวเดียวกันจะมีการสูญเสียเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของการขยายสัญญาณดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Compression)

ปัจจุบันข้อมูลทั้งภาพและเสียงได้มีการแปลงเป็นไฟล์ข้อมูลระบบดิจิตอล วัตถุประสงค์ของการบีบแบบดิจิตอล (Digital Compression) คือการทำให้ขนาดของไฟล์มีขนาดลดลง ดังนั้นเทคโนโลยีการบีบแบบดิจิตอลนี้จึงเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้การใช้งานความถี่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เริ่มต้นของมาตราฐานในปี พ.ศ.2536 จากระบบ MPEG-1 (H.261) ที่มีจุดประสงค์เพียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บไฟล์ลงฮาร์ดดิสก์ และนำไปสู่รูปแบบมาตราฐานการเก็บไฟล์วิดีโอ รวมถึงไฟล์เสียงแบบ MP3 และมีการพัฒนาต่อเป็นระบบ MPEG-2 (H.262) ในปี พ.ศ. 2542 ซึ่งที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลายในเทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม รวมถึงเป็นรูปแบบมาตราฐานของการเก็บไฟล์ด้วยเทคโนโลยี DVD ซึ่งระบบ MPEG-2 (H. 262) ยังคงได้รับความนิยมจนปัจจุบัน

การพัฒนาได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องมาเป็นระบบ MPEG-4 (H.264 หรือ MPEG-4 Part 10/Advanced Video Coding - AVC) และได้รับการรับรองให้เป็นมาตรฐานในปี พ.ศ.2546 โดยคณะ Joint Video Team (JVT) ซึ่งเป็นการรวมตัวของผู้เชี่ยวชาญของการเข้ารหัสวิดีโอ หรือ Video Coding Experts Group (VCEG – ITU[8]) และ Moving Picture Experts Group (MPEG – ISO/IEC[9])

แผนภาพที่ 4-8[10] เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดไฟล์ของ MPEG-2 MPEG-4 และ HEVC



[8] Video Coding Experts Group, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Video_Coding_Experts_Group, 2015

[9] Moving Picture Experts Group, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Moving_Picture_Experts_Group, 2015

[10] HEVC Converter, Online, http://www.jihosoft.com/convert-video/hevc-converter.html, 2015

การพัฒนาด้านประสิทธิภาพของการบีบอัดไฟล์ในระบบ MPEG-4 เมื่อเทียบกับระบบ MEPG-2 คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการบีบอัดข้อมูลได้มากขึ้นถึงประมาณ 2 เท่า ซึ่งมีผลให้ขนาดของไฟล์วิดีโอลดลงประมาณครึ่งหนึ่งโดยคงคุณภาพความคมชัดเท่าเดิม หรือเป็นการเพิ่มคุณภาพความคมชัดให้มากขึ้นประมาณ 2 เท่าโดยคงขนาดของไฟล์วิดีโอไว้เท่าเดิม ตามแสดงในแผนภาพที่ 4-8 ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่มากขึ้นประมาณ 2 เท่า คือ ความสามารถในการเพิ่มจำนวนการส่งช่องสัญญาณโทรทัศน์ได้มากขึ้นเป็น 2 เท่าในขนาดของช่องสัญญาณดาวเทียมขนาดเท่าเดิมนั่นเอง การพัฒนาของระบบ MPEG-4 เมื่อเทียบกับระบบ MEPG-2 นอกเหนือจากการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการบีบอัดไฟล์แล้วยังเพิ่มจำนวนรูปแบบการส่งสัญญาณวิดีโอ เพราะนอกจากการแพร่ภาพโทรทัศน์ (Broadcasting) แล้ว ยังสามารถส่งในรูปแบบอินเตอร์เนต และสัญญาณโทรศัพท์ได้ด้วย รูปแบบการบีบอัดไฟล์วิดีโอ H.264 นี้ถือเป็นรูปแบบการบีบอัดไฟล์วิดีโอที่ประสบความสำเร็จอย่างสูงและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการแพร่ภาพโทรทัศน์ทั่วโลก และเนื่องจากความละเอียดของไฟล์วิดีโอในปัจจุบันมีขนาดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามเทคโนโลยีการถ่ายภาพ นั่นคือ จากระดับ Standard Definition (SD) 1280 x 720 pixels เพิ่มขึ้นเป็นระดับ High Definition (HD) 1920 x 1080 pixels และ Ultra High Definition (UHD)/4K 3840 x 2160 pixels ตามลำดับ การพัฒนารูปแบบการบีบอัดไฟล์วิดีโอจึงมีบทบาทมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

การพัฒนาการบีบอัดไฟล์ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนล่าสุดได้พัฒนาเป็นระบบ H.265[11,12] หรือ High Efficiency Video Coding (HEVC) ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดจากระบบ H.264 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 จนแล้วเสร็จในปี พ.ศ.2556 ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการบีบอัดไฟล์วิดีโอได้มากขึ้นถึงอีก 2 เท่า หรือทำให้ข้อมูลเดิมมีขนาดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง โดยคงความคมชัดเท่าเดิม ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากสำหรับการส่งวิดีโอความละเอียดระดับ 4K ผ่านดาวเทียมที่กำลังจะมีบทบาทมากในอนาคตอันใกล้สำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ที่มีความละเอียดสูง และมีการประมาณการว่าในการผลิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรุ่นใหม่ๆ จะมีการนำเอาเทคโนโลยีที่รองรับทั้งมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบใหม่ คือ DVB-S2X และการบีบอัดไฟล์วิดีโอรูปแบบใหม่ คือ HEVC ไว้ในเครื่องเดียวกัน เพื่อรองรับการให้บริการ UHD หรือ 4k ได้

---

[11] Wolfcrow. “Understanding MPEG-2, MPEG-4, H.264, AVCHD and H.265”. (Online). Available: http://wolfcrow.com/blog/understanding-mpeg-2-mpeg-4-h-264-avchd-and-h-265/, 2015

[12] Joel Hruska. “H.265 benchmarked: Does the next-generation video codec live up to expectations?”. (Online). Available: http://www.extremetech.com/computing/162027-h-265-benchmarked-does-the-next-generation-video-codec-live-up-to-expectations, 2013

สรุป

ในบทนี้ได้รวบรวมการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปการณ์สื่อสารภาคพื้นดิน (Ground Segment) ที่สามารถช่วยให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งมีจำนวนจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบภาคพื้นดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมมากโดยเปลี่ยนจากระบบอนาลอกมาเป็นระบบดิจิตอลซึ่งสามารถใช้การผสมสัญญานมอดูเลชั่นในระดับที่สูงขึ้นควบคู่กับการเข้ารหัสที่สามารถชดเชยการสูญเสียของข้อมูลที่เป็นแบบไดนามิกคือสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาวะแวดล้อมของภูมิอากาศและระดับของสัญญาณรบกวน และยังมีนวัตกรรมการบีบไฟล์ข้อมูลแบบดิจิตอลที่สามารถทำให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อลดขนาดของช่องสัญญาณหรือแถบความถี่โดยยังสามารถคงคุณภาพของสัญญาณภาพและเสียงได้ทัดเทียมกับของเดิมได้

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงจะยังคงมีการพัฒนาต่อไปอย่างไม่หยุดยั้งและจะช่วยให้การใช้งานของคลื่นความถี่วิทยุมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วย ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาการออกแบบดาวเทียมให้สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่วงโคจรดาวเทียมโดยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุที่มีจำนวนจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้งานของคนทั้งโลก การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 และบทที่ 4 จะสามารถช่วยให้การประสานงานความถี่บรรลุข้อตกลงได้ง่ายขึ้นแต่ทั้งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจะต้องผลักดันให้ผู้บริการดาวเทียมยินยอมที่จะใช้เทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมมาใช้งานแทนที่จะยึดติดกับเทคโนโลยีเดิมๆที่ล้าสมัยและใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ไม่มีประสิทธิภาพด้วย

บทที่ 5

แนวทางการประยุกต์นวัตกรรมใหม่ๆเพื่อการประสานงานความถี่และการออกแบบระบบดาวเทียมสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากปัญหาที่นานาประเทศมีความต้องการใช้วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุที่มีจำนวนจำกัดกันอย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้การประสานงานความถี่มีความซับซ้อนและยากที่จะบรรลุข้อตกลงได้ก่อนที่จะสามารถนำดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรเพื่อใช้งานตามที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 บทวิจัยนี้ได้ทบทวนนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดินในบทที่ 3 และบทที่ 4 ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการพิจารณาออกแบบดาวเทียมและการวางโครงข่ายดาวเทียมสื่อสารที่มีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะบรรลุการประสานงานความถี่เพื่อนำดาวเทียมขึ้นไปใช้งาน ซึ่งผู้วิจัยขอเสนอแนวทางและข้อเสนอแนะในการประยุกต์นวัตกรรมใหม่ๆเพื่อการประสานงานความถี่และออกแบบดาวเทียมสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับยุทธวิธีในการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและการประสานงานความถี่ และความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนเพื่อเพิ่มโอกาสในการจองตำแหน่งวงโคจรให้สำเร็จ และการใช้งานคลื่นความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังนี้

ยุทธวิธีในการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและประสานงานความถี่เพื่อเพิ่มโอกาสในการจองตำแหน่งวงโคจรให้สำเร็จ

ปัจจุบันหลายประเทศในภูมิภาคต่างๆ ต่างก็มีดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าเป็นของตนเอง รวมถึงประเทศที่เปิดให้บริการช่องสัญญาณดาวเทียมรายใหญ่ของโลก ตัวอย่างเช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และลักเซมเบิร์ก ซึ่งในแต่ละรายมีดาวเทียมในสังกัดอยู่เป็นจำนวนใกล้เคียงหรือมากกว่า 50 ดวง นอกจากนี้ในส่วนของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมยังพบว่ามีเอกสารจองตำแหน่งวงโคจรของประเทศต่างๆอยู่อีกเป็นจำนวนมากซึ่งถือเป็นการจองสิทธิ์การใช้งานวงโคจรดาวเทียมได้จนกว่าเอกสารเหล่านี้จะหมดอายุไป ดังนั้น ผู้ให้บริการดาวเทียมรายใหม่ที่มีเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์ (Priority) ต่ำกว่าจึงอาจถูกกีดกันโอกาสการใช้วงโคจรดาวเทียมและความถี่จากเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์สูงกว่า อีกทั้งยังมีความเสี่ยงสูงที่จะไม่สามารถประสานงานความถี่ได้สำเร็จจนทำให้ไม่สามารถนำดาวเทียมขึ้นใช้งานได้ตามแผนการใช้งาน

ดังนั้น เพื่อเพิ่มโอกาสในการประสานงานความถี่ให้สำเร็จและสามารถนำดาวเทียมขึ้นใช้งานในตำแหน่งวงโครจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ให้บริการดาวเทียมจำเป็นต้องมียุทธวิธีในกระบวนการต่างๆ เริ่มตั้งแต่การจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียม การส่งเอกสารเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ รวมถึงการออกแบบดาวเทียมให้มีความยืดหยุ่นเพื่อรองรับการใช้งานไม่ว่าผลการประสานงานความถี่จะเป็นอย่างไร ซึ่งในส่วนนี้จะได้เสนอแนะยุทธวิธีโดยสังเขปในกระบวนการต่างๆ ดังกล่าว

1. การส่งเอกสารเพื่อการประสานงานความถี่ (Coordination Request: CR/C) ภายในเวลาไม่เกิน 6 เดือนนับจากวันที่ส่งเอกสาร API

ตามมาตรา 9 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ ประเทศสมาชิกสามารถดำเนินการส่งเอกสาร CR/C พร้อมกันกับเอกสาร API ซึ่งรวมถึงกรณีที่มีการส่งเอกสาร CR/C ภายใน 6 เดือนนับจากวันที่ส่งเอกสาร API ซึ่งสำนักวิทยุคมนาคมจะดำเนินการตรวจสอบเอกสาร CR/C และตีพิมพ์เอกสาร CR/C ดังกล่าวลงในเอกสาร BR-IFIC โดยจะระบุวันที่ได้รับเอกสาร CR/C นี้เป็นวันที่นับจากวันที่สำนักวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร API ไ ปอีกเป็นเวลา 6 เดือนซึ่งถือเป็นวันเริ่มนับลำดับสิทธิ์ (Priority) ของเอกสาร การดำเนินการส่งเอกสาร CR/C ตามลักษณะดังกล่าวจะทำให้เอกสารได้รับ ลำดับสิทธิ์ ที่ดีที่สุดตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ

ส่วนในกรณีของการส่งเอกสาร CR/C ภายหลังระยะเวลา 6 เดือนซึ่งสามารถทำได้แต่จะต้องไม่เกินระยะเวลา 2 ปีนับจากวันที่ทำการส่งเอกสาร API ทั้งนี้ สำนักวิทยุคมนาคมจะดำเนินการตรวจสอบเอกสาร CR/C และตีพิมพ์ลงในเอกสาร BR-IFIC โ ดยจะระบุวันที่ได้รับเอกสารตรงกับวันที่สำนักวิทยุคมนาคมได้รับเอกสาร CR/C นั้น ซึ่งในกรณีนี้อาจทำให้เอกสาร CR/C ที่ส่งมีลำดับสิทธิ์ตามหลังเอกสาร CR/C ของโครงข่ายดาวเทียมอื่นๆที่ถูกส่งมาถึงก่อนหน้านั้นแล้ว ซึ่งอาจเป็นอุปสรรค์ต่อการประสานงานความถี่ต่อไปในอนาคตได้

อนึ่ง การส่งเอกสาร CR/C ตามกำหนดภายใน 6 เดือนจะต้องอาศัยความร่วมมือและการสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐเพื่อดำเนินการในเรื่องนี้ไปยังสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศให้เร็วและทันตามกำหนด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ผู้ประกอบการที่ประสงค์จะของวงโคจรต้องทำงานอย่างใกล้ชิดดับหน่วยงานของรัฐในการรักษาผลประโยชน์ของประเทศ

2. การส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมพร้อมกันในหลายๆ ตำแหน่งวงโคจร

2.1. การส่งเอกสาร API ในหลายๆตำแหน่งวงโคจร

เนื่องจากในแต่ละตำแหน่งวงโคจรจะมีลักษณะการใช้งานคลื่นความถี่และพื้นที่ให้บริการของโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงที่แตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างของจำนวนเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์สูงกว่าและเป็นอุปสรรคต่อการประสานงานความถี่ ดังนั้น จึงควรส่งเอกสาร API ในหลายๆตำแหน่งวงโคจรแล้วทำการติดตามสถานการณ์ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง

ภายในระยะเวลา 6 เดือนเพื่อประเมินโอกาสและความเป็นไปได้ในการใช้งานตำแหน่งวงโคจรและคลื่นความถี่ในแต่ละตำแหน่งวงโคจร

อย่างไรก็ตามในขั้นต้นก่อนการส่งเอกสาร API ผู้ให้บริการดาวเทียมควรทำการประเมินความเป็นไปได้ในการจองตำแหน่งวงโคจรจากข้อมูลการใช้งานคลื่นความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงเพื่อให้สามารถประเมินเป็นการเบื้องต้นได้ว่าจะสามารถใช้ความถี่ใดได้ ณ ตำแหน่งวงโคจรที่มีความสนใจจะจอง การประเมินและการติดตามสถานการณ์ภายใน 6 เดือนดังกล่าวอาจรวมถึงการประเมินสถานะของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มีลำดับสิทธิ์สูงกว่าในขณะนั้นประกอบด้วยเนื่องจากเอกสารเหล่านี้อาจมีแผนในการนำดาวเทียมขึ้นใช้งานในอนาคตหรือสถานะของเอกสารอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากการถูกยกเลิกเอกสาร API ที่ครบกำหนด 2 ปีแล้วไม่มีการส่งเอกสาร CR/C ซึ่งหลังจากติดตามสถานการณ์ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงและประเมินโอกาสการใช้งานวงโคจรแล้วจึงพิจารณาส่งเอกสาร CR/C ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป

อนึ่ง การส่งเอกสาร API นั้นไม่มีข้อจำกัดเรื่องจำนวนเอกสารและไม่เสียค่าดำเนินการจึงสามารถส่งได้หลายตำแหน่งพร้อมกัน อย่างไรก็ตามควรที่จะทำการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานอำนวยการ (Administration) ผู้รับผิดชอบในการส่งเอกสาร API เพื่อแจ้งให้ทราบและให้ได้รับความเห็นชอบถึงความจำเป็น เนื่องจากการส่งเอกสาร API เพื่อจองวงโคจรในหลายๆตำแหน่งนั้นอาจเป็นการเพิ่มภาระหน้าที่ให้กับหน่วยงานอำนวยการในการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามจำนวนของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ถูกส่งไป

2.2. การส่งเอกสาร CR/C ในหลายๆตำแหน่งวงโคจร

การส่งเอกสาร CR/C หลายๆตำแหน่งวงโคจรมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มโอกาสในการประสานงานความถี่ให้สำเร็จก่อนนำดาวเทียมขึ้นใช้งานเนื่องจากการประสานงานความถี่เพียงตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งนั้นมีความเสี่ยงสูงที่จะไม่สามารถประสานงานความถี่เพื่อขอจดทะเบียนคลื่นความถี่ได้สำเร็จและส่งผลให้ไม่สามารถนำดาวเทียมขึ้นใช้งานได้ตามแผนที่วางไว้ นอกจากนี้ การส่งเอกสาร CR/C หลายๆตำแหน่งจะช่วยให้การนำดาวเทียมขึ้นใช้งานมีความยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการเพิ่มอำนาจในการต่อรองกับโคงข่ายาวเทียมที่ต้องประสานงานความถี่ด้วยในขั้นตอนการเจรจายิ่งมีตัวเลือกมากก็ยิ่งมีอำนาจในการต่อรองมาก

การส่งเอกสาร CR/C แตกต่างจากการส่งเอกสาร API เนื่องจากจะทำให้เอกสารโครงข่ายดาวเทียมได้รับลำดับสิทธิ์ และสามารถเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่กับโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงได้ ทั้งนี้ เมื่อเวลาผ่านไปเอกสาร CR/C จะมีลำดับสิทธิ์สูงขึ้นและมีโอกาสที่จะใช้งานตำแหน่งวงโคจรที่ได้จองไว้ได้มากขึ้น เนื่องจากเอกสารโครงข่ายดาวเทียมอื่นที่มีลำดับสิทธิ์สูงกว่าแต่ไม่ดำเนินการขอจดทะเบียนคลื่นความถี่ภายใน 7 ปีจะเริ่มหมดอายุหรือถูกยกเลิกไป

อย่างไรก็ตามการส่งเอกสาร CR/C มีค่าใช้จ่ายจากการเรียกเก็บค่าดำเนินการจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ซึ่งการส่งเอกสาร CR/C ในหลายๆตำแหน่งถือเป็นการลงทุนที่สูงและผู้ให้บริการดาวเทียมอาจไม่สามารถจัดหาดาวเทียมขึ้นใช้งานทุกๆตำแหน่งที่ส่งเอกสารได้พร้อมกันทั้งนี้วัตุประสงค์หลักในการจองวงตำแหน่งวงโคจรในหลายๆตำแหน่งก็เพื่อเพิ่มโอกาสและอำนาจในการต่อรองในช่วงการประสานงานความถี่

3. การจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานและการประสานงานความถี่

ในการจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมไม่มีข้อจำกัดในเรื่องย่านความถี่ที่จะถูกบรรจุลงในเอกสารหากย่านความถี่เหล่านั้นและพื้นที่ให้บริการไม่ขัดแย้งกับตารางจัดสรรคลื่นความถี่ตามมาตรา 5 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ ดังนั้น การบรรจุย่านความถี่ที่หลากหลายในเอกสารโครงข่ายดาวเทียมจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการใช้งานย่านความถี่ที่มีในเอกสารและเพิ่มความยืดหยุ่นในการประสานงานความถี่

สำหรับเรื่องพื้นที่ให้บริการที่ระบุในแต่ละย่านความถี่นั้นการจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมอาจกำหนดพื้นที่การใช้งานของแต่ละย่านความถี่ให้ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างได้โดยไม่ขัดแย้งกับมาตรา 5 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสการใช้งานย่านความถี่ในบริเวณต่างๆที่เป็นไปได้และเพิ่มความยืดหยุ่นในการประสานงานความถี่เช่นกัน

ทั้งนี้การจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้บรรจุย่านความถี่ที่หลากหลายและมีพื้นที่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงและเอกสารโครงข่ายดาวเทียมมากขึ้น จึงอาจทำให้ได้รับหนังสือแจ้งความเห็นจากหน่วยงานอำนวยการ (Administrations) ที่เกี่ยวข้องและได้รับผลกระทบเป็นจำนวนมากเพื่อขอให้มีการประสานงานความถี่ต่อไปจึงจะเป็นการเพิ่มภาระในการประสานงานความถี่เช่นเดียวกัน

แนวทางในการออกแบบระบบดาวเทียมสื่อสารเพื่อใช้วงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1. แนวทางการออกแบบและพัฒนาระบบดาวเทียมเพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้งานในด้านต่างๆ

การใช้งานโครงข่ายผ่านดาวเทียมนั้นสามารถที่จะแบ่งออกตามประเภทของการใช้งานได้แก่ การเชื่อมต่อเพื่อส่งข่าวสาร การใช้งานอินเตอร์เน็ต หรือการแพร่ภาพออกอากาศ ดังนั้นการออกแบบดาวเทียมจึงต้องคำนึงถึงการเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบดาวเทียมให้เหมาะสมต่อการใช้งานดังต่อไปนี้

1.1. การเลือกใช้ความถี่ที่เหมาะสม

การเลือกใช้ความถี่ที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อมีเสถียรภาพ และขนาดจานสายอากาศภาคพื้นดินมีขนาดที่เหมาะสมด้วย ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ย่าน C-band จะเหมาะสำหรับการใช้งานโครงข่าย VSAT (Very Small Aperture Terminal) ซึ่งเป็นโครงข่ายเชื่อมต่อเพื่อการส่งข่าวสาร ทั้งนี้เนื่องจากการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนในย่าน C-band นั้น จะน้อยกว่าในย่าน Ku-band และ Ka-band จึงทำให้เสถียรภาพในการเชื่อมต่อดีกว่าอีกสองย่านความถี่อย่างมาก แต่ข้อเสียคือขนาดของจานสายอากาศภาคพื้นดินที่ใช้กับโครงข่าย VSAT จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 2.4 เมตรขึ้นไป เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งสัญญาณรบกวนไปยัง

ดาวเทียมในตำแหน่งข้างเคียงซึ่งขึ้นกับข้อตกลงของการประสานงานความถี่ของแต่ละตำแหน่งวงโคจร

ความถี่ย่าน Ku-band นั้นจะเหมาะสำหรับโครงข่าย Direct To Home (DTH) ซึ่งเป็นโครงข่ายการกระจายเสียงและแพร่ภาพออกอากาศถึงผู้รับโดยตรง ข้อดีของการใช้งานในความถี่ย่านนี้คือขนาดของจานในภาครับที่ติดตั้งตามบ้านนั้น จะมีขนาดเล็ก เช่น ขนาด 60 เซนติเมตร ถึงแม้ความถี่ย่าน Ku-band จะได้รับผลจากการลดทอนสัญญาณของฝนมาก แต่ก็จะถูกชดเชยด้วยการใช้จานสายอากาศภาคพื้นดินของสถานีแม่ข่ายที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 7 เมตรขึ้นไปและมีอุปกรณ์ขยายกำลังวัตต์ของสัญญาณที่มีความสามารถสูง เพื่อชดเชยการลดทอนสัญญาณของฝนในภาคส่งได้และเพิ่มเสถียรภาพในการเชื่อมต่อในภาคส่ง

ความถี่ย่าน Ka-band เหมาะสำหรับโครงข่ายเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตความเร็วสูง เพราะเป็นย่านความถี่ที่มีแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่กว้าง ทำให้สามารถรองรับการใช้งานที่ต้องการความจุของข้อมูลข่าวสารหรือ Capacity สูงๆ ได้ดี แต่มีข้อเสียคือการลดทอนของสัญญาญอันเนื่องมาจากฝนนั้นจะสูงมาก ดังนั้นอุปกรณ์ภาคพื้นดินและระบบแม่ข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับลดความแรงในการส่งสัญญาณ และปรับ Modulation และ Coding เพื่อให้การเชื่อมต่อนั้น สามารถทนต่อการลดทอนของสัญญาณได้ในระดับหนึ่งดังอธิบายไว้ในหัวข้อนวัตกรรมอุปกรณ์ภาคพื้นดินในบทที่ 4

นอกจากความถี่ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งนิยมใช้ในดาวเทียมเชิงพาณิชย์ในวงโคจรค้างฟ้าแล้ว ยังมีความถี่ย่านอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ในกิจการเฉพาะกิจ เช่นความถี่ย่าน X-band ที่ถูกกำหนดให้ใช้เฉพาะในกิจการทหารเท่านั้น

1.2. การออกแบบลักษณะพื้นที่ให้บริการให้เหมาะสม

การออกแบบพื้นที่ให้บริการนั้น สามารถออกแบบได้หลายรูปร่างลักษณะขึ้นกับความต้องการในการเชื่อมต่อโครงข่าย เช่น การออกแบบพื้นที่ให้บริการแบบครอบคลุมพื้นที่กว้างในลักษณะกลุ่มประเทศ ภูมิภาค หรือทวีป การออกแบบลักษณะพื้นที่ให้บริการในรูปแบบนี้ จะเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายการส่งข้อมูลข่าวสารแบบ VSAT ที่แต่ละสถานีภาคพื้นดินสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรงแบบจุดต่อจุด หรือ จุดต่อหลายๆจุด หรือการกระจายเสียงแพร่ภาพออกอากาศ ซึ่งมีข้อดีคือ ทั้งสถานีรับและสถานีส่งสามารถอยู่ที่ตำแหน่งใดๆ ก็ได้ภายใต้พื้นที่ที่ให้บริการเดียวกัน แต่ข้อเสียคือประสิทธิภาพการใช้ความถี่ก็จะลดลงและไม่สามารถใช้แถบความถี่ซ้ำ หรือใช้ซ้ำได้เพียงสองครั้งโดยที่พื้นที่ให้บริการจะต้องห่างกันมาก ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 3 นอกจากนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือพื้นที่ให้บริการยิ่งกว้างมากขึ้น ความแรงของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการก็จะลดลงไปด้วย ซึ่งอาจจะทำให้เสียโอกาสในการแข่งขันทางการตลาด และจานสายอากาศภาคพื้นดินก็จะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นด้วย ทั้งนี้การออกแบบพื้นที่ในลักษณะนี้ จะต้องคำนึงถึงโอกาสที่สัญญาณจะถูกรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียงด้วย ถ้าสามารถระบุพื้นที่ให้บริการได้ชัดเจนและเป็นพื้นที่แคบ ก็จะช่วยทั้งในเรื่องการจัดการสัญญาณรบกวนและความแรงของสัญญาณภายใต้พื้นที่ให้บริการก็จะแรงมากขึ้น

การออกแบบพื้นที่ให้บริการแบบหลายๆ บีมหรือ Multi-Spot Beam จะเหมาะกับการใช้งานในโครงข่ายอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง เพราะการออกแบบพื้นที่ให้บริการใน

ลักษณะนี้ สามารถใช้แถบความถี่ซ้ำได้ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ความถี่อย่างมาก แต่มีข้อเสียคือถ้าเป็นดาวเทียมแบบธรรมดา (Bent-Pipe) จะไม่สามารถทำการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดข้ามบีมได้ จะต้องมีสถานีแม่ข่าย (Gateway) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่ถ้าเป็นดาวเทียมที่มีตัวประมวลผลกลางบนดาวเทียม (On-board Processer) จะสามารถทำการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดระหว่างสถานีลูกข่ายได้ ดังที่อธิบายในบทที่ 3 อย่างไรก็ตามดาวเทียมแบบ Multi-Spot Beam สามารถประยุกต์การใช้งานได้เช้นเดียวกันกับดาวเทียมที่เป็นแบบครอบคลุมพื้นที่กว้างและมีความยืดหยุ่นมากกว่าโดยเพราะสามารถใช้งาน แบบ จุดต่อจุด (Point-to-Point) แบบ จุดต่อหลายๆจุดได้ (Point-to-Multipoint) หรือแบบแพร่กระจาย (Broadccast) ได้ ตามความประสงค์ของการใช้งานโดยผ่านการเชื่อมต่อที่สถานีแม่ข่าย

1.3. การออกแบบความแรงของสัญญาณให้เหมาะสม

ความแรงของสัญญาณภาคส่งของดาวเทียมหรือ Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) ที่ต้องการจะถูกคำนวณมาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะทำให้โครงข่ายสามารถเชื่อมต่อกันได้ที่เรียกว่า Link Budget ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับโครงข่ายที่ใช้งาน เช่น โครงข่ายที่ใช้งานเพื่อการส่งข้อมูลข่าวสารและการแพร่ภาพออกอากาศจากสถานีแม่ข่ายไปยังสถานีภูมิภาคในย่าน C-band นั้น มีความแรงของสัญญาณหรือ EIRP ที่เหมาะสมระหว่าง 37 ถึง 40 dBW (เดซิเบลวัตต์) ส่วนการใช้งานโครงข่าย DTH ในย่าน Ku band จะมีความแรงของ EIRP ระหว่าง 50 ถึง 56 dBW ส่วนการใช้งานย่าน Ka band จะมีความแรงของ EIRP มากยิ่งขึ้น ข้อดีของการออกแบบดาวเทียมให้มี EIRP ที่แรง จะทำให้ขนาดของจานสายอากาศของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินมีขนาดเล็กลงและมีราคาถูก และยังทำให้ส่งข้อมูลข่าวสารได้เร็วขึ้นและมากขึ้น หรือสามารถแพร่ภาพออกอากาศได้จำนวนช่องมากขึ้น ทั้งนี้การกำหนดความแรงของ EIRP ต้องให้สอดคล้องกับข้อตกลงของการประสานงานความถี่ที่กำหนดไว้

2. แนวทางการออกแบบดาวเทียมเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานภายใต้ข้อจำกัดอันเนื่องมาจากผลของการประสานงานความถี่

ในกรณีที่การประสานงานความถี่ยังไม่แล้วเสร็จ หรือยังไม่บรรลุข้อตกลงในบางหัวข้อก่อนการดำเนินการสร้างดาวเทียม จะทำให้มีความเสี่ยงว่า พื้นที่ให้บริการนั้นๆ หรือความถี่นั้นๆ อาจจะใช้งานไม่ได้ ซึ่งจะมีผลเสียหายต่อเป้าหมายของโครงการ การดำเนินธุรกิจ หรือเกิดการสูญเสียของทรัพยากรเนื่องจากไม่สามารถใช้งานช่องสัญญาณดาวเทียมได้ ดังนั้น เพื่อลดความเสี่ยงดังที่กล่าวมาแล้ว และเพื่อเอื้อต่อการบรรลุข้อตกลงในการประสานงานความถี่ได้ง่ายขึ้น การออกแบบดาวเทียมเพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานสามารถทำได้ดังนี้

2.1. สามารถเปลี่ยนพื้นที่ให้บริการได้

พื้นที่ให้บริการที่ทับซ้อนกันใช้ย่านความถี่เดียวกันและขั้วสัญญาณ (Polarization) เดียวกัน จะทำให้เกิดการรบกวนกันระหว่างดาวเทียมที่อยู่ในตำแหน่งวงโคจรใกล้กัน การเปลี่ยนหรือขยับพื้นที่ให้บริการจึงเป็นทางออกในการแก้ปัญหาความขัดแย้งนี้ได้ ซึ่งการเปลี่ยนพื้นที่ให้บริการสามารถทำได้โดยการออกแบบดาวเทียมดังนี้

1. ออกแบบจานสายอากาศบนดาวเทียมให้สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือ Steerable Antenna โดยมีการติดตั้งระบบขับเคลื่อน หรือ มอเตอร์ที่แกนจานดาวเทียมทั้งสองแกน

2. ออกแบบจานสายอากาศที่หมุนเปลี่ยนหน้าจาน (Rotatable Reflector) เพื่อเปลี่ยนพื้นที่และขนาดของพื้นที่ให้บริการได้

3. ออกแบบจานสายอากาศแบบ Beam Forming Network (BFN) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงพื้นที่ให้บริการโดยการเปลี่ยนระดับการป้อนสัญญาณและเฟสขาเข้าของแต่ละ Feed Horn โดยการส่งคำสั่งในการปรับเปลี่ยนนี้จากระบบควบคุมที่สถานีควบคุมภาคพื้นดิน

4. การทำ Beam Switching ที่สามารถเลือกได้ว่าจะให้ส่งสัญญาณขึ้นจาก บีมไหนและส่งสัญญาณลงที่บีมใด ซึ่งการเลือกบีมสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบของการเลือกทุกช่องสัญญาณพร้อมกัน หรือ แยกแต่ละช่องสัญญาณ การออกแบบนั้นจะต่างกันที่การออกแบบสวิทช์ เช่น ถ้าเลือกทุกช่องสัญญาณพร้อมกัน จะต้องเพิ่มสวิทช์ในการเลือกบีมของพื้นที่ให้บริการ แต่ถ้าให้มีความสามารถในการเลือกเป็นรายช่องอิสระจากกัน ก็จะต้องเพิ่มสวิทช์ในการเลือกแต่ละช่องสัญญาณ

2.2. สามารถเปลี่ยนย่านความถี่ได้

ถ้าพื้นที่ให้บริการทับซ้อนกัน การเปลี่ยนย่านความถี่การใช้งานในพื้นที่บริการนั้นๆ จะสามารถแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนกันได้ เช่น หากความถี่ย่าน Ku-band ขาขึ้นแบ่งเป็นสองช่วง 13.75 – 14.0 กิกะเฮิร์ซ และ 14.0 – 14.5 กิกะเฮิร์ซ ส่วนความถี่ขาลงมีช่วง 10.45 - 11.2, 11.45 - 11.7 และ 12.2 – 12.75 กิกะเฮิร์ซ ดังนั้นการเลือกคู่ของช่วงความถี่ภาคส่งกับช่วงความถี่ภาครับให้มีความยืดหยุ่นในการจับคู่ได้นั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวแปลงความถี่ของสัญญาณให้ต่ำลงหรือ Down Converter เพื่อรองรับการเลือกความถี่ขาขึ้นและความถี่ขาลงใดๆ หรือถ้า Down Converter มีขีดความสามารถในการเปลี่ยนความถี่ในการแปลงสัญญาณที่เรียกว่า Local Oscillator (LO) เป็นแบบ Selectable LO Frequency ก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่มตัว Down Converter ซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้

2.3. สามารถปลี่ยนแปลงการใช้งานได้ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงการใช้งานทั้งหมดหมายถึง การเปลี่ยนพื้นที่ให้บริการ การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ การเปลี่ยนระดับความแรงของระดับสัญญาณส่งตามพื้นที่ให้บริการ และการเปลี่ยนการเชื่อมต่อ ซึ่งปัจจุบันสามารถทำได้โดย On-Board Processor ที่มีทั้งแบบ Digital Channelizer, แบบ Fully Regenerative และแบบ Software Defined Payload ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 3

แนวทางความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนเพื่อพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารและใช้วงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีความต้องการใช้งานระบบดาวเทียมสื่อสารทั้งในเขตเมืองและในชุมชนห่างไกลเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ตัวอย่าง เช่น การใช้งานเพื่อรับชมโทรทัศน์ความละเอียดสูง (High Definition Television: HD-TV) และรับชมโทรทัศน์ความละเอียดสูงยิ่งยวด (Ultra High Definition: UHD-TV) การใช้งานการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) การศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม (Distance Learning Television: DLTV) เป็นต้น การพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประเทศจึงมีความจำเป็นและต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนเพื่อร่วมกันพัฒนาประเทศ

1. การส่งเสริมอุตสาหกรรมดาวเทียมของไทย

เพื่อเป็นการส่งเสริมและผลักดันอุตสาหกรรมดาวเทียมของไทยเพื่อให้ประเทศได้รับการพัฒนาในด้านต่างๆ รวมถึงการพัฒนาความสามารถในการแข่งขันของผู้ให้บริการดาวเทียมภายในประเทศในด้านดาวเทียมสื่อสารกับนานาประเทศ หน่วยงานของรัฐอาจให้การสนับสนุนโดยการดำเนินนโยบายเพื่อกระตุ้นและส่งเสริมการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ

ในลักษณะเช่นนี้ นโยบายเพื่อกระตุ้นและส่งเสริมการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมจะส่งเสริมผู้ให้บริการดาวเทียมไทยในการจัดสร้างและพัฒนาโครงข่ายดาวเทียมเพื่อเพิ่มรายได้และการจ้างงานภายในประเทศซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาระบบเศรษฐกิจองค์รวมอันถือเป็นการสร้างความแข็งแกร่งของโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจและระบบสาธารณูปโภคของประเทศไทย

อนึ่ง เพื่อให้การกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในภาคส่วนต่างๆ อันได้แก่ หน่วยงานของรัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแล ผู้ให้บริการโครงข่ายดาวเทียม ผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม ผู้ใช้บริการโครงข่าย ตลอดจนผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์เชื่อมโยงโครงข่าย เป็นต้น ซึ่งหน่วยงานของรัฐควรพิจารณาส่งเสริมให้มีการกำกับดูแลการประกอบกิจการโทรคมนาคมโดยกำหนดข้อบังคับการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการเป็นสำคัญ ทั้งนี้ ควรมีการพิจารณาข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ข้อตกลงทางเทคนิคอันเนื่องมาจากผลการประสานงานความถี่ตามสภาวะแวดล้อมของวงโคจรดาวเทียมที่อาจมีผลต่อการใช้งานของอุปกรณ์ภาคพื้นดินให้เป็นไปตามข้อตกลงซึ่งจำเป็นจะต้องปฏิบัติหรือบังคับใช้ ได้แก่ ระดับความแรงของสัญญาณในภาคส่งรวมถึงขนาดของจานสายอากาศที่สามารถใช้งานได้ทั้งในภาคส่ง และภาครับ ซึ่งหากสามารถกำกับการใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ก็จะสามารถปกป้องสิทธิประโยชน์ของผู้ใช้บริการไม่ให้ตกเป็นผู้ได้รับผลกระทบดังในกรณีของการใช้จานสายอากาศของสถานีภาครับในกิจการโทรทัศน์ (Television Receive Only - TVRO) ขนาดเล็กซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดจากผลการประสานงานความถี่อันเป็นสาเหตุทำให้ผู้ใช้บริการ TVRO ทั่วประเทศได้รับผลกระทบในการรับชมเนื่องมาจากคุณภาพสัญญาณที่ได้รับสัญญาณรบกวนจากดาวเทียม ณ ตำแหน่งวงโคจรข้างเคียงขณะใช้งาน ดังนั้น เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค

หรือผู้ใช้บริการ หน่วยงานของรัฐควรกำหนดมาตรฐานการผลิตจานสายอากาศให้สอดคล้องกับผลการประสานงานความถี่เพื่อให้เป็นมาตรฐานแก่ผู้ผลิตและป้องกันสัญญาณรบกวนแก่ผู้ใช้บริการ หากผู้ผลิตผลิตจานสายอากาศที่มีขนาดเล็กกว่าข้อกำหนดเพื่อผลประโยชน์ทางการค้าจนส่งผลให้ผู้ใช้บริการได้รับผลกระทบจากสัญญาณคุณภาพต่ำหรือได้รับสัญญาณรบกวนและเกิดการร้องเรียนขึ้น หน่วยงานของรัฐควรมีมาตรการคุ้มครองผู้ใช้บริการอย่างเหมาะสมรวมถึงมีบทลงโทษผู้ผลิตในกรณีดังกล่าว

ทั้งนี้ การที่จะกำหนดมาตรฐานเพื่อคุ้มครองผู้ใช้บริการได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น หน่วยงานของรัฐอาจประกอบด้วย กระทรวงอุตสาหกรรมและสำนักงาน กสทช. โ ดยทุกฝ่ายต้องหารือกันเพื่อกำหนดมาตรฐานการผลิตและมาตรการคุ้มครองผู้ใช้บริการอย่างเป็นระบบ

2. ความร่วมมือจากหน่วยงานของรัฐในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการจองและใช้งานตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและความถี่

เนื่องจากผู้ให้บริการดาวเทียมมีความจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐเพื่อดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองตำแหน่งวงโคจร การแจ้งยืนยันการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมรวมถึงการพักการใช้งานและการรักษาสิทธิ์การใช้งานคลื่นความถี่ในตำแหน่งวงโคจรซึ่งเกี่ยวข้องและอยู่ภายใต้ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ ทั้งนี้ การดำเนินการดังกล่าวเป็นการดำเนินการในนามประเทศเพื่อแจ้งข้อมูลหรือโต้ตอบเพื่อชี้แจงเหตุผลกับสหภาพวิทยุคมนาคมระหว่างประเทศโดยในบางกรณีอาจมีข้อจำกัดในเรื่องเวลาซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานของรัฐในการพิจารณาและดำเนินการเพื่อให้ทันตามข้อกำหนดของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศหรือตามแผนการนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน ตัวอย่างเช่น การส่งเอกสาร CR/C ภายใน 6 เดือนนับจากวันที่ส่งเอกสาร API เพื่อให้ได้ลำดับสิทธิ์ของเอกสารที่ดีที่สุด การแจ้งใช้งานโครงข่ายดาวเทียม ณ ตำแหน่งวงโคจรและคลื่นความถี่ที่ทำการจองหลังจากนำดาวเทียมขึ้นใช้งาน (Bringing into Use) การแจ้งพักการใช้งานคลื่นความถี่ (Suspension) เมื่อโครงข่ายดาวเทียมมีการระงับการใช้งานชั่วคราวเพื่อเป็นการรักษาสิทธิการนำดาวเทียมดวงใหม่ขึ้นใช้งานในอนาคต เป็นต้น

ในบางกรณี ผู้ให้บริการดาวเทียมอาจมีความจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานอำนวยการในการทำหนังสือเพื่อโต้ตอบหรือประสานงานกับหน่วยงานโทรคมนาคมของต่างประเทศในบางประเด็น เช่น การทักท้วงการใช้งานคลื่นความถี่ของโครงข่ายดาวเทียมข้างเคียงที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลง การคัดค้านการขอจดทะเบียนคลื่นความถี่ของเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่ไม่ได้รับข้อตกลง การประชุมประสานงานความถี่ระดับหน่วยงานอำนวยการ (Administration-to-Administration Meeting) เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าหน่วยงานของรัฐมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมเพื่อจองตำแหน่งวงโคจรและคลื่นความถี่ การประสานงานความถี่รวมไปถึงการใช้งานโครงข่ายดาวเทียมที่มีอยู่หรือที่มีแผนการใช้งานในอนาคต เนื่องจากผู้ให้บริการดาวเทียมต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานของรัฐให้เป็นสื่อกลางในการติดต่อกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศและหน่วยงานโทรคมนาคมต่างประเทศ ดังนั้น ความ

ร่วมมือระหว่างสองฝ่ายจึงกล่าวได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจองและการใช้งานตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่ของโครงข่ายดาวเทียม

3. ความร่วมมือระหว่างประเทศ

เพื่อพัฒนาและเชื่อมโยงข่ายสื่อสารดาวเทียมของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หน่วยงานของรัฐอาจเสนอหรือร่วมมือกับหน่วยงานโทรคมนาคมของประเทศในกลุ่มอาเซียน (ASEAN) เพื่อนำเสนอหรือร่วมกำหนดนโยบายในการพัฒนาข่ายสื่อสารดาวเทียมของภูมิภาคให้สามารถเข้าใช้งานวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่เพื่อพัฒนาภูมิภาคและเพิ่มอำนาจในการแข่งขันและต่อรองให้ทัดเทียมกับนานาประเทศ

3.1. สถานภาพจำนวนวงโคจรดาวเทียมและดาวเทียมของผู้ให้บริการดาวเทียมรายย่อยในกลุ่มอาเซียน

สำหรับประเทศต่างๆในกลุ่มอาเซียนในปัจจุบันส่วนใหญ่จะมีดาวเทียมเพื่อให้บริการเป็นของตนเอง ซึ่งประเทศไทยเริ่มมีโครงการดาวเทียมแห่งชาติในปี พ.ศ. 2534 และทำการจัดส่งดาวเทียมดวงแรก ได้แก่ ดาวเทียมไทยคม 1 เข้าสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2536 จากนั้นจึงได้จัดส่งดาวเทียมดวงอื่นๆตามมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน คือ ดาวเทียมไทยคม 7 โดยมีบริษัท ไทยคม (จำกัด) มหาชน เป็นผู้ให้บริการดาวเทียมไทยคมดังกล่าวของประเทศไทย ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 78.5 119.5 และ 120 องศาตะวันออก และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย ทวีปแอฟริกา ทวีปออสเตรเลีย และบางส่วนของทวีปยุโรป และในส่วนของผู้ให้บริการดาวเทียมอื่นๆของประเทศในกลุ่มอาเซียนมีดังต่อไปนี้

1. ประเทศอินโดนีเซีย

ประเทศอินโดนีเซียมีผู้ให้บริการดาวเทียมจำนวน 5 ราย ได้แก่ Telkom Indosat Indostar PSN และ CSM โดยมีดาวเทียมให้บริการ ณ ปัจจุบันรวมจำนวน 5 ดวง ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 108 113 118 123 146 และ 150.5 องศาตะวันออก มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปออสเตรเลีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศอินเดีย

2. ประเทศมาเลเซีย

ประเทศมาเลเซียมีผู้ให้บริการดาวเทียมจำนวน 1 ราย ได้แก่ Measat โดยมีดาวเทียมให้บริการ ณ ปัจจุบันรวมจำนวน 6 ดวง ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 46 91.5 และ 148 องศาตะวันออก มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย ทวีปยุโรป ทวีปแอฟริกาและทวีปออสเตรเลีย

3. ประเทศเวียดนาม

ประเทศเวียดนามมีผู้ให้บริการดาวเทียมจำนวน 1 ราย ได้แก่ Vinasat โดยมีดาวเทียมให้บริการ ณ ปัจจุบันรวมจำนวน 2 ดวง ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 131.8 และ 132 องศาตะวันออก มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปออสเตรเลีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียตะวันออก และประเทศอินเดีย

4. ประเทศฟิลิปปินส์

ประเทศฟิลิปปินส์เคยมีผู้ให้บริการดาวเทียมจำนวน 1 ราย ได้แก่ Mabuhay แต่ปัจจุบันได้ถูกควบกิจการเข้ากับบริษัท Asia Broadcast Holdings (ABS) ในปี พ.ศ. 2552

5. ประเทศลาว

ประเทศลาวมีแผนจะนำดาวเทียม Laosat-1 ขึ้นใช้งานในปี พ.ศ. 2558 หรือ พ.ศ.2559 ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 128.5 องศาตะวันออก มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

6. ประเทศสิงคโปร์

ประเทศสิงคโปร์มีผู้ให้บริการดาวเทียมจำนวน 1 ราย ได้แก่ SingTel โดยร่วมมือกับองค์กรต่างๆ เช่น บริษัท Chunghwa Telecom ของสาธารณรัฐจีน และบริษัท ABS เป็นต้น ทำให้สามารถเปิดให้บริการดาวเทียมได้ ณ ตำแหน่งวงโคจรที่ 17 57 75 88 และ 138 องศาตะวันออก มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย ทวีปออสเตรเลีย ทวีปยุโรปและทวีปแอฟริกา

ความร่วมมือระหว่างประเทศของผู้ให้บริการของประเทศในกลุ่มอาเซียนในการผลักดันอุตสาหกรรมดาวเทียมให้มีความเจริญก้าวหน้าจะมีส่วนช่วยให้ประสบความสำเร็จในการประสานงานความถี่และมีตำแหน่งวงโคจรที่สามารถให้บริการได้ ความร่วมมือกันในการพัฒนาอุตสาหกรรมดาวเทียมภายในภูมิภาคเพื่อเพิ่มศักยภาพในการจัดหาดาวเทียมมาให้บริการร่วมกันเป็นการสร้างโอกาสในการจองตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและการใช้งานคลื่นความถี่ให้มากขึ้นและสร้างอำนาจต่อรองในการประสานงานความถี่ให้ทัดเทียมผู้ให้บริการรายใหญ่ ความร่วมมือกันนี้อาจกระทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การร่วมกันใช้ความถี่ในตำแหน่งวงโคจรที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันของประเทศในกลุ่มอาเซียนอย่างเต็มประสิทธิภาพและสนับสนุนการประสานงานความถี่ของประเทศในกลุ่มอาเซียนด้วยกันเองให้สามารถใช้ความถี่และวงโคจรร่วมกันได้ การร่วมมือกันในการหาตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมใหม่ที่มีศักยภาพในการให้บริการดาวเทียม ไม่ขัดขวางหรือสร้างข้อจำกัดแก่โครงข่ายดาวเทียมของประเทศในกลุ่มอาเซียนโดยมีข้อตกลงร่วมกันซึ่งอาจรวมถึงผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ การมีดาวเทียมเพื่อให้บริการประเทศในกลุ่มอาเซียนด้วยความถี่ Planned Bands เป็นต้น

3.2. แนวทางความร่วมมือเพื่อใช้งานความถี่ Planned Bands

ในการมีดาวเทียมเพื่อให้บริการประเทศในกลุ่มอาเซียนด้วยความถี่ Planned Bands มีความจำเป็นต้องจัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่บรรจุย่านความถี่ Planned Bands ที่ประสงค์จะใช้งานและขยายขอบเขตการให้บริการความถี่ Planned Bands เพื่อครอบคลุมประเทศในกลุ่มอาเซียน (Modified Planned Bands) และเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่ตามหลักการ First Come First Served ซึ่งถ้าทุกประเทศในกลุ่มอาเซียนมีนโยบายการใช้งานความถี่ Planned Bands ดังกล่าว ทุกประเทศอาจมีแนวทางความร่วมมือกันดังต่อไปนี้

1. จัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้บรรจุย่านความถี่ Planned Bands และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมประเทศในกลุ่มอาเซียน

2. ประเมินสถานการณ์การใช้งานความถี่ Planned Bands ของดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้ารวมถึงเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่บรรจุย่านความถี่ Planned Bands ที่มี

การปรับปรุงการใช้งาน (Modified Planned Bands) เนื่องจากเอกสารที่จัดทำขึ้นจะต้องเข้าสู่กระบวนการประสานงานความถี่กับเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่มี Priority สูงกว่า

3. พิจารณาใช้งานตำแหน่งวงโคจรของประเทศในกลุ่มอาเซียนที่ได้รับการจัดสรรโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือพิจารณาตำแหน่งวงโคจรอื่นที่มีโอกาสสูงที่จะประสานงานความถี่ได้ผลสำเร็จ

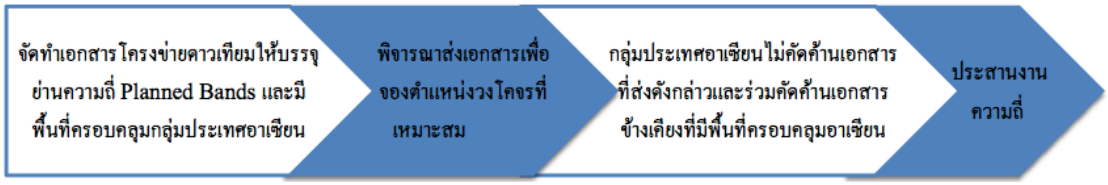
4. ดำเนินการส่งเอกสารโครงข่ายดาวเทียมตามตำแหน่งวงโคจรที่ประเมินว่าเหมาะสม

5. ประเทศในกลุ่มอาเซียนไม่แจ้งคัดค้านเอกสารโครงข่ายดาวเทียมที่จัดทำขึ้นถึงแม้เอกสารดังกล่าวมีพื้นที่บริการครอบคลุมอาณาเขตของประเทศตน

6. ประเทศในกลุ่มอาเซียนร่วมกันแจ้งคัดค้านเอกสารโครงข่ายดาวเทียมของประเทศอื่นที่ทำการจองใกล้ตำแหน่งวงโคจรที่สนใจและมีพื้นที่ให้บริการทับซ้อนประเทศในกลุ่มอาเซียน

แนวทางความร่วมมือดังกล่าวอาจสรุปเป็นแผนภาพได้ดังแสดงในแผนภาพที่ 5-1

แผนภาพที่ 5-1 แนวทางความร่วมมือการใช้งานความถี่ Planned Bands



สรุป

ปริมาณการจองสิทธิ์วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นเหตุให้การที่จะได้สิทธิ์วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุมาใช้งานนั้นมีความยากลำบากเพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการจองสิทธิ์วงโคจรล่วงหน้าโดยคำนึงถึงโอกาสในการเจรจาต่อรอง รวมถึงการออกแบบดาวเทียมที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้ความถี่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถึงแม้ว่าวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุที่ได้สิทธิ์มานั้นอาจจะมีข้อจำกัดในการใช้งานแต่การนำเทคโนโลยีใหม่ๆมาประยุกต์ใช้ก็จะสามารถที่จะนำคลื่นความถี่วิทยุมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและอาจจะเพียงพอต่อความต้องการได้

บทที่ 6

สรุป และ ข้อเสนอแนะ

สรุป

คลื่นความถี่วิทยุและวงโคจรดาวเทียมโดยเฉพาะอย่างยิ่งวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด ซึ่งทั่วโลกมีความต้องการการใช้งาน วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุนั้นเมื่อจองมาได้แล้วถือว่าเป็นทรัพยากรชั่วคราวของรัฐซึ่งรัฐสามารถจัดสรรให้เอกชนหรือหน่วยงานของรัฐนำไปใช้งานต่อได้ตามความเหมาะสมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศ แต่จะไม่มีประเทศไหนที่เป็นเจ้าของอย่างถาวรถ้าหากไม่มีการนำไปใช้งานหลังจากที่ได้รับสิทธิ์จากการจองแล้ว เปรียบเสมือนสิทธิ์ในที่ดินเพื่อใช้ทำกินชั่วคราวถ้าหากว่าได้ที่ดินนี้มาแล้วแต่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ที่ดินนี้ก็จะถูกเวนคืนไปให้ประเทศอื่นใช้ ก่อนที่รัฐจะมีวงโคจรดาวเทียมเพื่อที่จะไปจัดสรรให้ใช้งานได้นั้นรัฐจำเป็นที่จะต้องจองวงโคจรให้ได้เสียก่อน และเมื่อได้มาแล้วก็ต้องนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาสิทธิ์ของวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุ ถ้าหากไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ในเวลาที่กำหนดรัฐก็จะเสียสิทธิ์ของวงโคจรและคลื่นความถี่วิยุนั้นไป

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณความต้องการใช้วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุมีปริมาณมากขึ้นทุกปีทั้งจากประเทศมหาอำนาจจนถึงปะเทศที่กำลังพัฒนาและมีปริมาณมากกว่าทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมากจึงทำให้การจองสิทธิ์ในวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุมีความยากลำบากและซับซ้อนมากขึ้นยากที่จะได้สิทธิ์จากการประสานงานความถี่ในวงโคจรใหม่ๆและคลื่นความถี่วิทยุมาใช้งานได้เพิ่มขึ้นจากเดิม อีกทั้งยังมีโอกาสที่จะสูญเสียวงโคจรและคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิ์มาก่อนหน้านั้นหากภาครัฐหรือเอกชนไม่สามารถนำวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเพราะสิทธิ์ในวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นจะหมดไปถ้าไม่ได้ถูกนำมาใช้งานตามเวลาที่กำหนดโดยที่สิทธิ์ในวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นจะถูกจัดสรรไปให้กับประเทศอื่นที่จองสิทธิ์ถัดมาและสามารถประสานงานความถี่ได้สำเร็จ

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมก็ได้มีการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถ ความยืดหยุ่นในการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จในการจองสิทธิ์ และหรือรักษาสิทธิ์ของวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุในสภาวะที่การแข่งขันที่สูงมากขึ้นทุกวัน ลำดับเวลาและกลยุทธ์ในการส่งเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุถือว่ามีความสำคัญมากในขั้นตอนการจองสิทธิ์และการประสานงานความถี่ ซึ่งกระทรวง ICT และ กสทช ในฐานะที่เป็นหน่วยงานอำนวยการในประเทศ (Administrations) รวมถึงหน่วยงานอื่นๆของรัฐและภาคเอกชนที่มีความต้องการการใช้วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุควรจะร่วมมือกันแบบบูรณาการในการจองสิทธิ์ให้ได้มาซึ่งวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุไปและนำใช้งานให้เกิดประโยชน์

สูงสุดและอย่างต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้ผู้วิจัยขอเสนอเสนอแนะในเรื่องของการจองสิทธิ์วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุดังต่อไปนี้

1. การส่งเอกสารจองสิทธิ์

กระทรวง ICT และ กสทช เร่งสำรวจความต้องการการใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุรวมถึงพื้นที่การใช้งานจากทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการจองวงโคจรขั้นต้น (เอกสาร API) ซึ่งควรที่จะส่งเอกสารจองไปในหลายๆตำแหน่งเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในการจองขั้นต้นนี้โดยการวิเคราะห์หาตำแหน่งวงโคจรที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานและมียังมีการจองในตำแหน่งนั้นหรือตำแหน่งใกล้เคียงไม่มากนัก การดำเนินการในข้อนี้สมควรดำเนินการทันทีในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี และสมควรที่จะดำเนินการต่อเนื่องเป็นระยะๆถัดจากนั้นไป

หลังจากที่ได้ทำการส่งเอกสารจองวงโคจรเบื้องต้น (เอกสาร API) แล้วกระทรวง ICT และ กสทช ควรให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีความสนใจในการใช้วงโคจรดาวเทียมในระยะเวลาไม่เกิน 7 ปีข้างหน้าร่วมกันศึกษารายละเอียดและความเป็นไปได้ของการใช้งานและโอกาสบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรของตำแหน่งวงโคจรต่างๆที่ได้ส่งเอกสาร API ที่ได้ดำเนินการไปแล้วเพื่อเลือกตำแหน่งวงโคจรที่เหมาะสมในการจัดทำเอกสารการขอประสานงานความถี่ (เอกสาร CR/C) ภายใน 6 เดือน ถึง 2 ปีหลังจากที่ได้ส่งเอกสาร API ทั้งนี้เอกสาร CR/C ที่ส่งก่อนจะได้รับสิทธิ์เหนือเอกสารที่ส่งทีหลัง ดังนั้นจึงสมควรที่จะพยายามส่งเอกสาร CR/C ให้เร็วที่สุดคือภายใน 6 เดือนหลังจากการส่งเอกสาร API ถ้าไม่ดำเนินการส่งเอกสาร CR/C ภายใน 2 ปีหลังจากการส่งเอกสาร API วงโคจรนั้นก็จะถูกยกเลิกไปโดยอัตโนมัติ เนื่องจากการส่งเอกสาร CR/C นั้นมีค่าใช้จ่ายจึงสมควรให้หน่วยงานที่มีความประสงค์ที่จะใช้วงโคจรนั้นๆเป็นผู้รับภาระค่าใช้จ่ายในการส่งเอกสารและการประสานงานความถี่ที่จะต้องดำเนินการหลังจากนั้น อย่างไรก็ตามกระทรวง ICT และหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความประสงค์ใช้วงโคจรดาวเทียมสมควรที่จะคัดเลือกวงโคจรที่จะส่งเอกสาร CR/C ให้ทาง ITU เพื่อขอประสานงานความถี่ มากกว่า 1 ตำแหน่งเพื่อเพิ่มโอกาสในการบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรและการประสานงานความถี่ และควรที่จัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานและการประสานงานความถี่ด้วย

2. การประสานงานความถี่และการจัดสรรวงโคจรดาวเทียม

หลังจากการส่งเอกสาร CR/C เพื่อขอประสานงานความถี่แล้วจะมีเวลาในการประสานงานความถี่ สร้างและส่งดาวเทียมเพื่อนำไปใช้งานในวงโคจรที่ได้จองไว้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 7 ปี ซึ่งโดยปกติแล้วดาวเทียมจะใช้เวลาในการออกแบบ การขออนุมัติ การก่อสร้างและจัดส่งเข้าสู่วงโคจรไม่ต่ำกว่า 3-4ปี ดังนั้นจึงมีเวลาในการที่จะใช้ในการประสานงานความถี่เพียง 3 หรือ 4 ปีหลังจากการส่งเอกสาร CR/C สำหรับการที่จะหาข้อสรุปก่อนที่จะตัดสินใจดำเนินการขออนุมัติการ

สร้างและส่งดาวเทียม ดังนั้นกระทรวง ICT สมควรที่จะสำรวจและแจ้งหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความประสงค์ใช้วงโคจรดาวเทียมเร่งดำเนินการประสานงานความถี่และทำเรื่องเสนอขออนุมัติการสร้างและส่งดาวเทียมในตำแหน่งที่ได้มีการส่งเอกสาร CR/C อย่างน้อย 3 ปีก่อนที่เอกสาร CR/C จะหมดอายุ หากไม่มีหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนใดๆมีความสนใจ รัฐอาจจะพิจารณาให้หน่วยงานของรัฐหรือเอกชนต่างประเทศใช้วงโคจรดังกล่าวได้โดยจะต้องมีการเรียกเก็บค่าเช่าวงโคจรและความถี่ที่เหมาะสมและมีข้อกำหนดต่างๆที่จะไม่ทำให้รัฐและผู้ประกอบการในประเทศเสียประโยชน์ โดยที่วงโคจรดังกล่าวยังเป็นสิทธิ์ของรัฐที่จะนำไปให้หน่วยงานของรัฐหรือเอกชนภายในประเทศนำไปใช้งานได้ในอนาคตเมื่อมีความจำเป็น

กรณีที่มีหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนที่มีความสนใจใช้วงโคจรมากกว่าจำนวนวงโคจรที่รัฐได้จองไว้ กระทรวง ICT สมควรที่จะให้หน่วยงานต่างๆเหล่านั้นศึกษาความเป็นไปได้ร่วมกันในการที่จะออกแบบระบบดาวเทียมร่วมกันเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดและเป็นธรรมกับทุกหน่วยงานที่มีความประสงค์ที่จะใช้งาน ทั้งนี้สมควรที่จะกำหนดระยะเวลาให้ชัดเจนว่าจะต้องได้ข้อสรุปอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 4ปี ก่อนเอกสาร CR/C จะหมดอายุลง

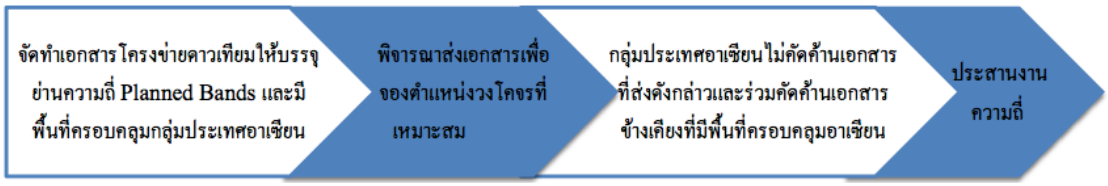
3. การออกแบบดาวเทียม

ในการออกแบบดาวเทียมที่อาจจะต้องทำการออกแบบในช่วงที่ยังอยู่ระหว่างการประสานงานความถี่ไม่แล้วเสร็จสมควรที่จะพิจารณาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์ภาคพื้นดินที่มีความทันสมัยมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและมีความยืดหยุ่นในการรองรับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประสารงานความถี่ที่ยังไม่แล้วเสร็จโดยการเลือกใช้ความถี่ ลักษณะพื้นที่การให้บริการ และความแรงของสัญญาณที่เหมาะสม ออกแบบให้สามารถเปลี่ยนพื้นที่ให้บริการและ/หรือย่านความถี่ได้ ซึ่งในส่วนนี้รัฐบาลควรที่จะเปิดโอกาสให้มีข้อกำหนดทางเทคนิคขั้นต่ำตามสมควรแต่ควรที่จะมีความยืดหยุ่นได้โดยพิจารณาในเรื่องของการใช้งานเป็นหลัก

4. ความร่วมมือระหว่างประเทศ

พิจารณานำความถี่ Planned Bands มาใช้งานโดยอาศัยความร่วมมือระหว่างประเทศถ้าจำเป็นโดยดำเนินการตามขั้นตอนในแผนภาพ 6-1

แผนภาพที่ 6-1 แนวทางความร่วมมือการใช้งานความถี่ Planned Bands



5. การส่งเสริมและกำกับดูแลอุตสาหกรรมดาวเทียมสื่อสารของไทย

การดำเนินนโยบายเพื่อพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารควรพิจารณาควบคู่ไปกับนโยบายการกำกับดูแลและคุ้มครองผู้ใช้บริการภายในประเทศเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการเนื่องมาจากความไม่สนใจและมุ่งแต่แสวงหาผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ของผู้ผลิตอุปกรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจานสายอากาศที่ไม่เป็นตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดตามผลของการประสานงานความถี่ และควรพิจารณามาตรการในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบเพื่อเยียวยาผู้ที่ได้รับผลกระทบประกอบด้วย เพื่อเป็นการพัฒนาให้ประเทศไทยมีความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยี่ดาวเทียมและการคุ้มครองผู้บริโภคและผู้ประกอบการผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

กระทรวง ICT และผู้ประกอบการธุรกิจดาวเทียมศึกษารายละเอียดและข้อกำหนดของ ITU และข้อตกลงจากการประสานงานความถี่ เพื่อกำหนดมาตรฐานให้กระทรวงอุสาหกรรมบังคับใช้กับผู้ผลิตและผู้นำเข้าอุปกรณ์สื่อสารดาวเทียม ผลิตและหรือนำเข้าอุปกรณ์สือสารดาวเทียมให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างเคร่งคัด โดยสมควรที่จะดำเนินการทันทีและไม่เกินระยะเวลา 2ปี

กระทรวง ICT และกระทรวงอุตสาหกรรม สมควรที่จะสนับสนุนนวัตกรรมทางด้านสื่อสารโทรคมนาคมใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยกำหนดระยะเวลาให้ผู้ประกอบการเปลี่ยนอุปกรณ์สื่อสารที่หมดอายุการใช้งานลงโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิ์ภาพและคุณภาพสูงขึ้นเท่านั้นภายในระยะเวลาที่กำหนดแต่ไม่เกิน 10ปี หลังจากที่ได้มีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงกว่าเดิมได้ผ่านการรับรองด้านมาตรฐานสากลแล้ว

บรรณานุกรม

Journals and Publications

Angeletti, M. Lisi and P. Tognolatti, "Software Defined Radio: A key technology for flexibility and reconfigurability in space applications," in IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2014

C. Butash and J. R. Marshall, "Leveraging Digital On-Board Processing to Increase Communications Satellite Flexibility and Effective Capacity," in 28th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2010), Anaheim, California, 2010

Charan Langton. "All About Traveling Wave Tube Amplifiers". (Online). Available: http://complextoreal.com/wp-content/uploads/2013/01/twta.pdf, 2015

ETSI. "European Standard ETSI EN 302 307-1 V1.4.1 (2014-11)". (Online). Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30230701/01.04.01_60/en_30230701v010401p.pdf, 2014

ITU. "Digital Satellite Broadcasting System with Flexible Configuration (Television, Sound and Data) - ITU recommendation number BO.1784". (Online). Available: http://www.itu.int/rec/R-REC-BO.1784-0-200701-I, 2015

Mark Lambert. "SatBroadcasting™: TechTalk – DVB-S2 + DVB-RCS: Challenges + Benefits". (Online). Available: http://www.satmagazine.com/story.php?number=1955130098, 2011

Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," Royal Institute of Technology, Kista, Sweden, 2000

Ozlem Kilic and Amir I. Zaghloul, "Interference in Cellular Satellite Systems", Online, http://www.intechopen.com/books/satellite-communications/interference-studies-in-cellular-satellite-systems, 2010

Piero Angeletti and Marco Lisi. "Multiport Power Amplifiers for Flexible Satellite Antennas and Payloads" (Online). Available: http://www.microwavejournal.com/articles/9430-multiport-power-amplifiers-for-flexible-satellite-antennas-and-payloads?v=preview, 2015

Satchandi Verma and Eric Wiswell. "Next generation broadband satellite communication systems". 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit. 12-15 May, 2002

Thales Group. “Channel Amplifier Linearizer/Solid State Power Amplifier”. (Online). Available: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/CAMP_SSPA-2012.pdf, 2015

Internet / Electronics Database

2nd Generation Satellite - DVB Project, Online, https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/DVB-S2_Factsheet.pdf, 2012

About ITU, Online, http://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx, 2015

Advance Publication Information (API) for Satellite Networks, Online, http://www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

Ariane 5, Online, http://www.arianespace.com/launch-services-ariane5/ariane-5-intro.asp, 2015

Bipropellant Thrusters, Online, http://cs.astrium.eads.net/sp/spacecraft-propulsion/bipropellant-thrusters/index.html, 2015

Boeing 702 Fleet, Online, http://www.boeing.com/boeing/defense-space/space/bss/factsheets/702/702fleet.page?, 2014

Clark Orbit, Online, http://www.tbs-satellite.com/tse/online/REG/orbit_clarke.html, 2015

Comtech EF Data. “Adaptive Coding and Modulation (ACM)”. (online). Available: http://www.comtechefdata.com/technologies/acm, 2015

Comtech EF Data. “DoubleTalk® Carrier-in-Carrier® Bandwidth Compression”. (online). Available: http://www.comtechefdata.com/technologies/doubletalk, 2015

ConeXpress-OLEV, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/conexpress-ors.htm, 2015

Coordination Requests Publication for Satellite Networks, Online, www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

HEVC Converter, Online, http://www.jihosoft.com/convert-video/hevc-converter.html, 2015

High Throughput Satellite, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/High_throughput_satellite, 2015

ITU Radio Regulatory Framework for Space Services, Online, http://www.itu.int/en/ITU-R/space/snl/Documents/ITU-Space_reg.pdf, 2015

ITU Radiocommunication Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-r.aspx, 2015

ITU Telecom, Online, http://www.itu.int/net/about/telecom.aspx, 2015

ITU Telecommunication Development Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-d.aspx, 2015

ITU Telecommunication Standardisation Sector, Online, http://www.itu.int/net/about/itu-t.aspx, 2015

Joel Hruska. "H.265 benchmarked: Does the next-generation video codec live up to expectations?". (Online). Available: http://www.extremetech.com/computing/162027-h-265-benchmarked-does-the-next-generation-video-codec-live-up-to-expectations, 2013

L-3 Communications Product Lines, Online, http://www2.l-3com.com/eti/product_lines_space_twt.htm, 2015

L-3 Ku-band TWTA, Online, http://www2.l-3com.com/eti/downloads/Ku_quad.pdf, 2015

Moving Picture Experts Group, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Moving_Picture_Experts_Group, 2015

NBN-Co 1A and 1B, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/nbn-co-1.htm, 2015

Notification for Satellite Networks, Online, www.itu.int/ITU-R/go/space-statistics/en, 2015

Polarization Wave, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Polarization_%28waves%29, 2015

POS Antenna Shaping, Online, http://www.ticra.com/products/software/pos, 2015

Radio Regulations Articles Edition 2012, Online, http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFE.pdf, 2015

Raise Cosine Filter, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Raised-cosine_filter, 2015

Robotic Refueling Mission, Online, http://ssco.gsfc.nasa.gov/rrm_refueling_task.html, 2015

Satellite Database, Online, http://satellitedebris.net/Database/LaunchHistoryView.php?recperpage=0, 2015

Satellite Life Extension Services, Online, http://www.vivisat.com/?page_id=10, 2015

Satellite Networks List, Online, http://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp, 2015

Side Lobe, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Side_lobe, 2015

Soft Frequency Reuse, Online, http://www.raymaps.com/index.php/soft-frequency-reuse/ , 2015

Space Infrastructure Servicing, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Infrastructure_Servicing, 2015

Spacecraft with Electric Propulsion, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_spacecraft_with_electric_propulsion, 2015

SPT-100, Online, http://www.astronautix.com/engines/spt100.htm, 2015

Statistical Time Division Multiplexing, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_time_division_multiplexing, 2015

Thaicom-6, Online, http://www.thaicom.net/satellites/existing/thaicom6.aspx, 2015

Thaicom-6, Online, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/thaicom-6.htm, 2015

Thales Group Space Program, Online, https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space, 2015

Thales Group Telecommunications, Online, https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/what-we-do/telecommunications, 2015

Traveling-Wave-Tube, Online, http://www.britannica.com/EBchecked/topic/603591/traveling-wave-tube, 2015

Van Allen Radiation Belt, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt, 2015

Video Coding Experts Group, Online, http://en.wikipedia.org/wiki/Video_Coding_Experts_Group, 2015

William Tiff, "A Comparison of Chemical and Electric Propulsion for Orbit Raising", Online, http://ccar.colorado.edu/asen5050/projects/projects_2014/Tifft_William/Results.html, 2015

Wolfcrow. "Understanding MPEG-2, MPEG-4, H.264, AVCHD and H.265". (Online). Available: http://wolfcrow.com/blog/understanding-mpeg-2-mpeg-4-h-264-avchd-and-h-265/, 2015

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นาย ไพบูลย์ ภานุวัฒนวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 15 มีนาคม 2503

การศึกษา

2510 - 2516	โรงเรียนวัดหงษ์ปทุมาวาส ปทุมธานี
2517 - 2522	โรงเรียนปทุมวิไล ปทุมธานี
2520 - 2521	Darien High School, Connecticut, USA. (ทุน AFS)
2523 - 2527	B.S.E.E. Yale University, New Haven, Connecticut, USA (ทุนมหาวิทยาลัย)
2527 - 2529	M.S.E.E. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA (ทุนมหาวิทยาลัย)
2544 - 2544	AMP INSEAD, Fontainebleau, France

ประวัติการทำงานโดยย่อ

2529 - 2532	วิศวกรควบคุมคุณภาพ Seagate Technology (Thailand)
2532 - 2534	วิศวกรอาวุโส AT&T Telecommunications
2534 - 2535	ผู้จัดการ Head & Media Micropoplis Corporation
2535 - 2539	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม บจม ไทยคม
2540 - 2545	ผู้อำนวยการสำนักวิศวกรรมดาวเทียม บจม ไทยคม
2546 - 2450	รองกรรมการผู้อำนวยการวิศวกรรมและปฏิบัติการดาวเทียม บจม ไทยคม
2551 - 2554	รองกรรมการผู้อำนวยการอาวุโสฝ่ายเทคนิค บจม ไทยคม

ตำแหน่งปัจจุบัน

2555 -	หัวหน้าคณะบริหารด้านเทคนิค บจม ไทยคม

สรุปย่อ

ลักษณะวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เรื่อง ปัญหาการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและแนวทางการร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน
ผู้วิจัย นายไพบูลย์ ภานุวัฒนวงศ์ **หลักสูตร** วปอ **รุ่นที่** 57
ตำแหน่ง หัวหน้าคณะผู้บริหารด้านเทคนิค บจม ไทยคม

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันดาวเทียมสื่อสารนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบสื่อสารทั้งในด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงของชาติ รัฐบาลไทยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของบทบาทของดาวเทียมสื่อสารและได้อนุมัติให้เอกชนได้ลงทุนภายใต้สัมปทานแบบ ลงทุนสร้าง-โอนกรรมสิทธิ์-และรับสิทธิ์ในการให้บริการ (Built-Transfer-Operate) เมื่อปีพ.ศ.2534 ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการจองวงโคจรไปเป็นจำนวนมากกว่า 5 ตำแหน่ง แต่มีเพียง 3 ตำแหน่งคือ 78.5 องศาตะวันออก 119.5 องศาตะวันออก และ 120 องศาตะวันออก เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้งานและให้บริการได้โดยมีข้อจำกัดและยังมีอีกหลายตำแหน่งที่ยังอยู่ระหว่างการการประสานงานความถี่กับประเทศต่างๆซึ่งมีแนวโน้มการประสานงานความถี่ที่ยากขึ้นเนื่องจากนานาประเทศได้มีการจองวงโคจรมากขึ้นตามลำดับ ประกอบด้วยข้อกำหนดของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - ITU) ได้ออกข้อกำหนดโดยจำกัดระยะเวลาในการจองและรักษาสิทธิ์วงโคจรที่สั้นลงหากประเทศผู้จองวงโคจรไม่สามารถส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรและใช้งานได้ตามกำหนด ดังนั้นจึงมีความสุ่มเสี่ยงที่ประเทศไทยอาจจะมีวงโคจรดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้จริงได้จำกัดเท่าที่ใช้งานในปัจจุบันและไม่สามารถรองรับการเติบโตทางเศษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในอนาคตได้

ข้อกำหนดที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศกำหนดออกมาใหม่นั้นยังคงเอื้อประโยชน์ให้กับประเทศมหาอำนาจเช่นสหรัฐอเมริกา ประเทศในยุโรป และประเทศสาธารณประชาชนจีนที่มีศักยภาพในการสร้างและส่งดาวเทียมได้เองอีกทั้งยังมีสถานภาพทางเศรษฐกิจที่เอื้ออำนวยในการจองและประสานงานความถี่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายจำนวนมากตามจำนวนวงโคจรที่จองและจำนวนประเทศที่ต้องประสานงานความถี่ด้วย ดังนั้นประเทศมหาอำนาจจึงมีจำนวนวงโคจรที่สามารถนำไปใช้งานได้อยู่ในครอบครองจำนวนมากทำให้มีบทบาทต่อการพัฒนาด้านการสื่อสารโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมทั้งในด้านของความมั่นคงภายในประเทศและในการพาณิชย์ และยังสามารถรุกคืบเข้ามาในตลาดทางเอเชียแฟซิฟิกเนื่องจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศไม่มีข้อกำหนดให้และจำกัดให้แต่ละประเทศสามารถจองวงโคจรเฉพาะที่ประเทศตนเองสามารถรับส่งสัญญานได้โดยตรงเท่านั้น สิ่งเดียวที่แต่ละประเทศยังคงสามารถป้องกันการรุกคืบและการครอบงำธุรกิจดาวเทียมทั้งในด้านความมั่นคงและในเชิงพาณิชย์คือนโยบายการคุ้มครองและการรักษาสิทธิ์ไม่ให้ดาวเทียมต่างชาติ

เข้ามาบริการในประเทศได้อย่างเสรี

ประเทศไทยถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพในการแข่งขัน ในการประยุกต์การใช้งานช่องสัญญานดาวเทียมเพื่อให้เกิดการให้บริการโทรคมนาคมทั้งในด้านความมั่นคงของชาติและในด้านพาณิชย์แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนวงโคจรและความถี่ที่จะนำไปใช้งานเพื่อรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศและภูมิภาค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องหาแนวทางและยุทธศาสตร์ในการจองวงโคจรเพิ่มเติมและรักษาสิทธิ์วงโคจรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันรวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำวงโคจรและความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้จัดสรรมาปรับแต่งโดยอาจจะอาศัยความร่วมมือของประเทศเพื่อนบ้านและพันธมิตรในการเจรจาและต่อรองเพื่อให้ได้วงโคจรและความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงโดยลดข้อจำกัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนและขบวนการจองวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้ารวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่มีอยู่ในปัจจุบันและแนวโน้มของปัญหาและอุปสรรคต่อการบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรดาวเทียมเพื่อนำมาใช้งานได้จริง
2. เสนอแนะแนวทางและยุทธศาสตร์ในการจองวงโคจรดาวเทียม การประสานงานความถี่ระหว่างประเทศและความร่วมมือระหว่างภาครัฐ และเอกชนทั้งภายในและระหว่างประเทศเพื่อให้ได้มาซึ่งวงโคจรดาวเทียมและความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในอนาคต
3. เสนอแนะเทคโนโลยีที่ได้ถูกพัฒนาและกำลังพัฒนาที่อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการประสานงานความถี่และวงโคจรที่มีจำนวนจำกัดนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

เน้นการวิจัยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมโดยไม่จำกัดว่าเพื่อการพาณิชย์หรือความมั่นคงของชาติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยศึกษาขบวนการขั้นตอนการจองวงโคจร การประสานงานความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนด และจากการประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (World Radio communication Conference: WRC) ประสบการณ์การประสานงานความถี่โดยคณะวิศกรสื่อสารดาวเทียมของไทยร่วมกับภาครัฐที่ได้ประสานงานความถี่กับนานาประเทศ

การศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากผู้ประกอบการสร้างดาวเทียม และผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมชั้นนำในต่างประเทศรวมถึงแนวคิดของผู้เขียนจากประสบการณ์การทำงานดาวเทียมสื่อสารมามากกว่า 22 ปี

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณความต้องการใช้วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุมีปริมาณมากขึ้นทุกปีทั้งจากประเทศมหาอำนาจจนถึงปะเทศที่กำลังพัฒนาและมีปริมาณมากกว่าทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมากจึงทำให้การจองสิทธิ์ในวงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุมีความยากลำบากและซับซ้อนมากขึ้นยากที่จะได้สิทธิ์จากการประสานงานความถี่ในวงโคจรใหม่ๆและคลื่นความถี่วิทยุมาใช้งานได้เพิ่มขึ้นจากเดิม อีกทั้งยังมีโอกาสที่จะสูญเสียวงโคจรและคลื่นความถี่ที่ได้รับสิทธิ์มาก่อนหน้านั้นหากภาครัฐหรือเอกชนไม่สามารถนำวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเพราะสิทธิ์ในวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นจะหมดไปถ้าไม่ได้ถูกนำมาใช้งานตามเวลาที่กำหนดโดยที่สิทธิ์ในวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุนั้นจะถูกจัดสรรไปให้กับประเทศอื่นที่จองสิทธิ์ถัดมาและสามารถประสานงานความถี่ได้สำเร็จ

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารผ่านดาวเทียมก็ได้มีการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถ ความยืดหยุ่นในการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จในการจองสิทธิ์ และหรือรักษาสิทธิ์ของวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุในสภาวะที่การแข่งขันที่สูงมากขึ้นทุกวัน ลำดับเวลาและกลยุทธ์ในการส่งเอกสารจองสิทธิ์วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุถือว่ามีความสำคัญมากในขั้นตอนการจองสิทธิ์และการประสานงานความถี่ ซึ่งกระทรวง ICT และ กสทช ในฐานะที่เป็นหน่วยงานอำนวยการในประเทศ (Administrations) รวมถึงหน่วยงานอื่นๆของรัฐและภาคเอกชนที่มีความต้องการการใช้วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุควรจะร่วมมือกันแบบบูรณาการในการจองสิทธิ์ให้ได้มาซึ่งวงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุไปและนำใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุดและอย่างต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้ผู้วิจัยขอเสนอเสนอแนะในเรื่องของการจองสิทธิ์วงโคจรและคลื่นความถี่วิทยุดังต่อไปนี้

1. การส่งเอกสารจองสิทธิ์

กระทรวง ICT และ กสทช เร่งสำรวจความต้องการการใช้วงโคจรดาวเทียมและคลื่นความถี่วิทยุรวมถึงพื้นที่การใช้งานจากทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการจองวงโคจรขั้นต้น (เอกสาร API) ซึ่งควรที่จะส่งเอกสารจองไปในหลายๆตำแหน่งเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในการจองขั้นต้นนี้โดยการวิเคราะห์หาตำแหน่งวงโคจรที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานและมียังมีการจองในตำแหน่งนั้นหรือตำแหน่งใกล้เคียงไม่มากนัก การดำเนินการในข้อนี้สมควรดำเนินการทันทีในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี และสมควรที่จะดำเนินการต่อเนื่องเป็นระยะๆถัดจากนั้นไป

หลังจากที่ได้ทำการส่งเอกสารจองวงโคจรเบื้องต้น (เอกสาร API) แล้วกระทรวง ICT และ กสทช ควรให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีความสนใจในการใช้วงโคจรดาวเทียมใน

ระยะเวลาไม่เกิน 7 ปีข้างหน้าร่วมกันศึกษารายละเอียดและความเป็นไปได้ของการใช้งานและโอกาสบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรของตำแหน่งวงโคจรต่างๆที่ได้ส่งเอกสาร API ที่ได้ดำเนินการไปแล้วเพื่อเลือกตำแหน่งวงโคจรที่เหมาะสมในการจัดทำเอกสารการขอประสานงานความถี่ (เอกสาร CR/C) ภายใน 6 เดือน ถึง 2 ปีหลังจากที่ได้ส่งเอกสาร API ทั้งนี้เอกสาร CR/C ที่ส่งก่อนจะได้รับสิทธิ์เหนือเอกสารที่ส่งทีหลัง ดังนั้นจึงสมควรที่จะพยายามส่งเอกสาร CR/C ให้เร็วที่สุดคือภายใน 6 เดือนหลังจากการส่งเอกสาร API ถ้าไม่ดำเนินการส่งเอกสาร CR/C ภายใน 2 ปีหลังจากการส่งเอกสาร API วงโคจรนั้นก็จะถูกยกเลิกไปโดยอัตโนมัติ เนื่องจากการส่งเอกสาร CR/C นั้นมีค่าใช้จ่ายจึงสมควรให้หน่วยงานที่มีความประสงค์ที่จะใช้วงโคจรนั้นๆเป็นผู้รับภาระค่าใช้จ่ายในการส่งเอกสารและการประสานงานความถี่ที่จะต้องดำเนินการหลังจากนั้น อย่างไรก็ตามกระทรวง ICT และหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความประสงค์ใช้วงโคจรดาวเทียมสมควรที่จะคัดเลือกวงโคจรที่จะส่งเอกสาร CR/C ให้ทาง ITU เพื่อขอประสานงานความถี่ มากกว่า 1 ตำแหน่งเพื่อเพิ่มโอกาสในการบรรลุความสำเร็จในการจองวงโคจรและการประสานงานความถี่ และควรที่จัดทำเอกสารโครงข่ายดาวเทียมให้มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานและการประสานงานความถี่ด้วย

2. การประสานงานความถี่และการจัดสรรวงโคจรดาวเทียม

หลังจากการส่งเอกสาร CR/C เพื่อขอประสานงานความถี่แล้วจะมีเวลาในการประสานงานความถี่ สร้างและส่งดาวเทียมเพื่อนำไปใช้งานในวงโคจรที่ได้จองไว้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 7 ปี ซึ่งโดยปกติแล้วดาวเทียมจะใช้เวลาในการออกแบบ การขออนุมัติ การก่อสร้างและจัดส่งเข้าสู่วงโคจรไม่ต่ำกว่า 3-4ปี ดังนั้นจึงมีเวลาในการที่จะใช้ในการประสานงานความถี่เพียง 3 หรือ 4 ปีหลังจากการส่งเอกสาร CR/C สำหรับการที่จะหาข้อสรุปก่อนที่จะตัดสินใจดำเนินการขออนุมัติการสร้างและส่งดาวเทียม ดังนั้นกระทรวง ICT สมควรที่จะสำรวจและแจ้งหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความประสงค์ใช้วงโคจรดาวเทียมเร่งดำเนินการประสานงานความถี่และทำเรื่องเสนอขออนุมัติการสร้างและส่งดาวเทียมในตำแหน่งที่ได้มีการส่งเอกสาร CR/C อย่างน้อย 3 ปีก่อนที่เอกสาร CR/C จะหมดอายุ หากไม่มีหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนใดๆมีความสนใจ รัฐอาจจะพิจารณาให้หน่วยงานของรัฐหรือเอกชนต่างประเทศใช้วงโคจรดังกล่าวได้โดยจะต้องมีการเรียกเก็บค่าเช่าวงโคจรและความถี่ที่เหมาะสมและมีข้อกำหนดต่างๆที่จะไม่ทำให้รัฐและผู้ประกอบการในประเทศเสียประโยชน์ โดยที่วงโคจรดังกล่าวยังเป็นสิทธิ์ของรัฐที่จะนำไปให้หน่วยงานของรัฐหรือเอกชนภายในประเทศนำไปใช้งานได้ในอนาคตเมื่อมีความจำเป็น

กรณีที่มีหน่วยงานของรัฐหรือเอกชนที่มีความสนใจใช้วงโคจรมากกว่าจำนวนวงโคจรที่รัฐได้จองไว้ กระทรวง ICT สมควรที่จะให้หน่วยงานต่างๆเหล่านั้นศึกษาความเป็นไปได้ร่วมกันในการที่จะออกแบบระบบดาวเทียมร่วมกันเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดและเป็นธรรมกับทุกหน่วยงานที่มีความประสงค์ที่จะใช้งาน ทั้งนี้สมควรที่จะกำหนดะยะเวลาให้ชัดเจนว่าจะต้องได้ข้อสรุปอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 4ปี ก่อนเอกสาร CR/C จะหมดอายุลง

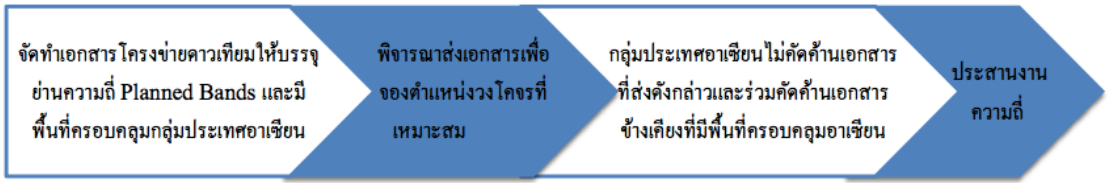
3. การออกแบบดาวเทียม

ในการออกแบบดาวเทียมที่อาจจะต้องทำการออกแบบในช่วงที่ยังอยู่ระหว่างการ

ประสานงานความถี่ไม่แล้วเสร็จสมควรที่จะพิจารณาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดาวเทียมและอุปกรณ์ภาคพื้นดินที่มีความทันสมัยมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและมีความยืดหยุ่นในการรองรับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประสารงานความถี่ที่ยังไม่แล้วเสร็จโดยการเลือกใช้ความถี่ ลักษณะพื้นที่การให้บริการ และความแรงของสัญญาณที่เหมาะสม ออกแบบให้สามารถเปลี่ยนพื้นที่ให้บริการและ/หรือย่านความถี่ได้ ซึ่งในส่วนนี้รัฐบาลควรที่จะเปิดโอกาสให้มีข้อกำหนดทางเทคนิคขั้นต่ำตามสมควรแต่ควรที่จะมีความยืดหยุ่นได้โดยพิจารณาในเรื่องของการใช้งานเป็นหลัก

4. ความร่วมมือระหว่างประเทศ

พิจารณานำความถี่ Planned Bands มาใช้งานโดยอาศัยความร่วมมือระหว่างประเทศถ้าจำเป็นโดยดำเนินการตามขั้นตอนในแผนภาพ



5. การส่งเสริมและกำกับดูแลอุตสาหกรรมดาวเทียมสื่อสารของไทย

การดำเนินนโยบายเพื่อพัฒนาระบบดาวเทียมสื่อสารควรพิจารณาควบคู่ไปกับนโยบายการกำกับดูแลและคุ้มครองผู้ใช้บริการภายในประเทศเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการเนื่องมาจากความไม่สนใจและมุ่งแต่แสวงหาผลประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ของผู้ผลิตอุปกรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจานสายอากาศที่ไม่เป็นตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดตามผลของการประสานงานความถี่ และควรพิจารณามาตรการในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบเพื่อเยียวยาผู้ที่ได้รับผลกระทบประกอบด้วย เพื่อเป็นการพัฒนาให้ประเทศไทยมีความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีดาวเทียมและการคุ้มครองผู้บริโภคและผู้ประกอบการผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

กระทรวง ICT และผู้ประกอบการธุรกิจดาวเทียมศึกษารายละเอียดและข้อกำหนดของ ITU และข้อตกลงจากการประสานงานความถี่ เพื่อกำหนดมาตรฐานให้กระทรวงอุสาหกรรมบังคับใช้กับผู้ผลิตและผู้นำเข้าอุปกรณ์สื่อสารดาวเทียม ผลิตและหรือนำเข้าอุปกรณ์สือสารดาวเทียมให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างเคร่งคัด โดยสมควรที่จะดำเนินการทันทีและไม่เกินระยะเวลา 2ปี

กระทรวง ICT และกระทรวงอุตสาหกรรม สมควรที่จะสนับสนุนนวัตกรรมทางด้านสื่อสารโทรคมนาคมใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยกำหนดระยะเวลาให้ผู้ประกอบการเปลี่ยนอุปกรณ์สื่อสารที่หมดอายุการใช้งานลงโดยให้ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิ์ภาพและคุณภาพสูงขึ้นเท่านั้นภายในระยะเวลาที่กำหนดแต่ไม่เกิน 10ปี หลังจากที่ได้มีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงกว่าเดิมได้ผ่านการรับรองด้านมาตรฐานสากลแล้ว