สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2545

เรื่อง

การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม

The Study of QoS Performance Evaluation of Internet via Satellite

โดย

อาจารย์โอฬาร วงศ์วิรัตน์

และ

นายนพดร ชัชวาลย์

นางสาวเพ็ญศิริ งามจรรยาภรณ์

RCH
TK
5105.875
.I57
ล๑๑๕
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 54624
วัน,เดือน,ปี 24 มิ.ย. 2548

b.11ก๔๐๔
i.....

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบการให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียม ซึ่งมีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ จากผู้ให้บริการ (ISP) ไปยังผู้ใช้บริการโดยตรง และใช้เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายผ่านเราท์เตอร์ ทั้งสองรูปแบบมีโครงสร้างและใช้อุปกรณ์ในการเชื่อมต่อรวมทั้งให้บริการที่แตกต่างกัน การพิจารณาคุณภาพของบริการ (QoS) อินเตอร์เน็ทสำหรับเครือข่ายสื่อสารโดยทั่วไป สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมได้ งานศึกษาวิจัยได้พิจารณาเฉพาะรูปแบบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านผ่านดาวเทียมแบบแรก โดยพิจารณา QoS ในระดับแอปพลิเคชั่นเป็นหลัก มีปัจจัยเกี่ยวกับ QoS ที่พิจารณาคือ การหน่วงเวลา และแบนด์วิท รวมทั้งได้กำหนดรูปแบบของการทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมในอนาคต

Abtract

This research project is the study of internet service features via communication satellite which can be described in two aspects, i.e., from ISP to home user and between networks through routers. The structure, required connecting equipment, and provided services are different among those aspects. The internet quality of service (QoS) consideration, using for communication networks in general, can be applied to the connection via satellite. The study of this research project concerns only the first connection aspect. The focus is QoS in application level, which delay and bandwidth factors will be counted for consideration. The designed experiment that will be used for the performance evaluation of Internet QoS via satellite in the future has also addressed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การสื่อสารผ่านดาวเทียม	2
2.2 คุณภาพของบริการบนเครือข่าย	9
2.3 อินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม	11
3. การประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม	14
3.1 คุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ท	14
3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ท	15
3.3 รูปแบบการทดลองการประเมินประสิทธิภาพคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ท	17
4. สรุปผลการศึกษาและแนวทางการวิจัยในอนาคต	19
เอกสารอ้างอิง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทจากผู้ใช้บริการไปยังผู้ให้บริการ (ISP) มีรูปแบบที่หลากหลาย เช่น การเชื่อมต่อโดยผ่านวงจรสายเช่า (leased circuit) การเชื่อมต่อผ่านโมเด็ม และการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียม เป็นต้น รูปแบบการเชื่อมต่อดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ให้บริการเพื่อตอบสนองความต้องการในเรื่องขนาดของแบนด์วิท (Bandwidth) และปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้บริการ ในลักษณะของอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่แตกต่างกันไป

การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมนั้น เป็นบริการรูปแบบใหม่ที่เกิดขึ้นในช่วง 3-5 ปีที่ผ่านมา โดยเริ่มจากการให้บริการเชื่อมต่อในลักษณะที่เป็นแบบวงจรเช่าที่มีแบนด์วิทขนาดใหญ่ในระยะแรก เพื่อรองรับปริมาณทราฟฟิกจำนวนมากของผู้ใช้บริการปลายทางที่มีลักษณะเป็นเครือข่ายส่วนตัว (Private network) จนกระทั่งปัจจุบันสามารถพัฒนารูปแบบการให้บริการเชื่อมต่อ ให้กับผู้ใช้บริการตามบ้าน (Home user) ได้โดยตรงเหมือนกับการเชื่อมต่อผ่านโมเด็มทั่วไป รวมทั้งมีทางเลือกการให้บริการตามขนาดอัตราเร็วที่ผู้ใช้ต้องการได้ด้วย

อย่างไรก็ตาม การให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมให้กับผู้ใช้บริการตามบ้านโดยตรงยังมีลักษณะที่ไม่เป็นแบบ 2 ทางอย่างแท้จริง เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดของจานรับสัญญาณที่มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการร้องขอใช้บริการกลับไปยังผู้ให้บริการที่ต้นทางผ่านช่องสัญญาณดาวเทียมได้โดยตรง ยังต้องอาศัยเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (vpn) ภาคพื้น และกลไกการแคช (Cache) ที่สร้างขึ้นรองรับ รวมทั้งการให้บริการในย่านความถี่ Ku-band ซึ่งมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนจากสภาพภูมิอากาศที่ต่ำ ทำให้การกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ให้บริการตามขนาดแบนด์วิทของช่องสัญญาณดาวเทียมนั้น อาจไม่เป็นไปตามที่กำหนด และอาจส่งผลต่อการใช้บริการอินเตอร์เน็ท โดยเฉพาะข้อมูลสื่อประสม (Multimedia) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิธีการและแนวทาง ในการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถศึกษาและกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อคุณภาพของบริการดังกล่าว รวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และบ่งชี้คุณภาพของการให้บริการที่ได้รับว่าสอดคล้องตามอัตราเร็วที่กำหนดหรือไม่ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อศึกษารูปแบบการใช้บริการอินเตอร์เน็ทโดยการเชื่อมต่อผ่านดาวเทียม
- เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบคุณภาพการใช้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม
- เพื่อกำหนดแนวทางในการทดลอง ตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทที่ได้
- เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการให้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม
- เพื่อเป็นการสร้างงานวิจัยและโครงงานพิเศษให้กับนักศึกษาในคณะฯ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถอธิบายการให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมในรูปแบบต่าง ๆ
- สามารถกำหนดวิธีการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพของบริการในการใช้อินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมได้
- สามารถกำหนดการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพการใช้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมได้
- สามารถกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมได้
- สามารถทำให้นักศึกษาในคณะฯ มีงานวิจัยและโครงงานพิเศษรองรับในการศึกษาตามหลักสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

การสื่อสารผ่านดาวเทียมได้เข้ามามีบทบาทต่อการสื่อสารโทรคมนาคมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 เมื่อประเทศรัสเซียได้ส่งดาวเทียมดวงแรกของโลก ชื่อว่า สปุตนิก (Sputnik) ขึ้นสู่วงโคจรได้สำเร็จ หลังจากนั้นก็ทำให้เกิดการสื่อสารผ่านดาวเทียม รวมทั้งบริการในรูปแบบต่าง ๆ อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น การใช้ดาวเทียมในการสื่อสารมีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่มีปัญหาเรื่องระยะทางและสภาพภูมิประเทศ แบนด์วิทที่สูงทำให้ได้บริการหลากหลาย รวมทั้งพื้นที่คลอบคลุมที่กว้างไกล เป็นต้น

2.1.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

องค์ประกอบของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่ในอวกาศ (Space segment) และส่วนที่อยู่บนพื้นโลก (Earth segment) [1], [2]

- ส่วนที่อยู่ในอวกาศ ประกอบด้วยดาวเทียม (Satellite) ยานขับดัน (Launch vehicles) รวมทั้งส่วนประกอบที่จำเป็นในการควบคุมให้ดาวเทียมสามารถโคจรได้ในอวกาศ (TT&C) ได้แก่ ฟังก์ชั่นการตรวจวัดระยะไกล (Telemetry) การติดตามเส้นทาง (Tracking) และการควบคุม (Control)
- ส่วนที่อยู่บนพื้นโลก ที่เห็นได้ชัดเจนคือ สถานีดาวเทียม หรือสถานีภาคพื้น (Ground station) ซึ่งประกอบด้วยเสาอากาศ (Antenna) ส่วนขยายความถี่วิทยุ (RF amplifier) โมเด็ม (Modulation and Demodulation) และอุปกรณ์เบสแบนด์ (Baseband equipment) หน้าที่หลักที่สำคัญของสถานีดาวเทียมคือ เป็นส่วนเชื่อมโยง (Link) ระหว่างเครือข่ายภาคพื้นดินหรือผู้ใช้ กับดาวเทียม

2.1.2 ดาวเทียมและวงโคจร

ดาวเทียมทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดสัญญาณหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาน (Repeater) ที่อยู่ในอวกาศเพื่อติดต่อกับจานสายอากาศที่สถานีดาวเทียมภาคพื้น ดังนั้นตัวดาวเทียม (Spacecraft) จึงต้องมีความสามารถในการรักษาตำแหน่งของตัวเอง และต้องมีอุปกรณ์จัดหาพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถโคจรได้ในอวกาศ รูปแบบของตัวดาวเทียมสื่อสารมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ แบบเสถียรภาพในตัว (Body stabilization) และแบบเสถียรภาพด้วยการหมุน (Spin stabilization)

ดาวเทียมแบบเสถียรภาพในตัว หรือแบบเสถียรภาพสามแกน (Three-axis stabilization) เป็นรูปแบบที่ง่าย แต่อาศัยโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ที่ซับซ้อนในการสร้าง หลักการคือตัวดาวเทียมจะถูกทำให้อยู่คงที่เมื่อเทียบกับโลก โดยมีการหมุนวันละครั้งในการโคจรรอบโลก จัดเป็นระบบโมเมนตัมศูนย์ (Zero momentum system) หรือระบบไบแอสโมเมนตัม (Biased momentum system)

ดาวเทียมแบบเสถียรภาพด้วยการหมุน จะมีเพียงส่วนประกอบที่สำคัญของดาวเทียม (หรือทั้งตัวดาวเทียม) ที่หมุนด้วยอัตราเร็ว 1 รอบต่อวินาที ดาวเทียมสื่อสารขนาดเล็กที่มีรูปแบบนี้อาจมีลักษณะเป็นทรงกระบอกหมุนรอบแกนด้วยแรงเฉื่อยสูงสุด โดยอาจมีเสาอากาศที่สามารถคลายตัวได้ด้วยกลไกทางอิเลคทรอนิกส์

ดาวเทียมทั้งสองรูปแบบมีส่วนประกอบที่สำคัญโดยรวมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจร ซึ่งประกอบด้วย มอร์เตอร์จรวดที่คอยปรับเปลี่ยนวงโคจรของดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจรที่ถูกต้องทั้งในสภาวะปกติ และในกรณีคลาดเคลื่อนของวงโคจรอันเนื่องมาจากแรงภายนอกที่มากระทำ

- ระบบควบคุมดาวเทียมให้โคจรได้ในอวกาศ (TT&C) เป็นระบบที่มีทั้งส่วนที่อยู่บนตัวดาวเทียม และอยู่ที่สถานีภาคพื้น ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชั่นการตรวจวัดระยะไกล (Telemetry) ซึ่งใช้ส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับสัญญานควบคุมต่าง ๆ บนดาวเทียมส่งมายังสถานีดาวเทียมภาคพื้น ฟังก์ชั่นการติดตามเส้นทาง (Tracking) จะทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลตำแหน่งของตัวดาวเทียมที่สถานีภาคพื้น และฟังก์ชั่นการควบคุม (Control) ใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมให้ถูกต้อง โดยอาศัยข้อมูลการติดตามเส้นทางจากการตรวจวัดระยะไกลดังกล่าว

- ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับอุปกรณ์สื่อสารและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ติดตั้งในตัวดาวเทียม แหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญของดาวเทียมคือเซลแสงอาทิตย์ (Solar cell) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผงขนาดใหญ่ใช้รับพลังงานแสงอาทิตย์แล้วแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งช่วงกลางวันและกลางคืน

- ระบบสื่อสารของดาวเทียม เป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งเป็นเพียงชุดอุปกรณ์เล็ก ๆ ชุดหนึ่งในตัวดาวเทียมประกอบไปด้วยจายสายอากาศทำหน้าที่คอยรับและส่งสัญญานย่านความถี่ไมโครเวฟ มีส่วนภาครับ-ส่ง และภาคขยายกำลังของสัญญาน เรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ซึ่งมี 2 ชนิดหลัก คือ แบบทรานสพาเรนท์ (Transparent) และแบบรีเจนเนอร์เรทีฟ (Re generative)

ดาวเทียมเมื่อถูกปล่อยขึ้นไปในอวกาศแล้วจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด เส้นทางที่ดาวเทียมเคลื่อนที่เรียกว่าวงโคจร (Orbit) การโคจรรอบโลกของดาวเทียมอธิบายได้โดยกฎของนิวตัน (Newton law) และกฎของแรงโน้มถ่วง (Law of gravitation) ซึ่งมีสมการในการหาคาบของการเคลื่อนที่ (Period of travel) เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

และมีความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ (Angular velocity) เป็น

$$W = \frac{2\pi}{T}$$

เมื่อ a คือความยาวของแกนหลัก (Major axis) จากจุดศูนย์กลางของวงรีถึงจุดสูงสุดของวงโคจรจากโลก (Apogee)

μ คือค่าคงที่ของ Kepler มีค่าเท่ากับ 3.986132×10^5 km^3/s^2

วงโคจรของดาวเทียมมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับภารกิจที่กำหนด ระดับการรบกวนที่ยอมรับได้ และประสิทธิภาพของยานพาหนะที่ปล่อย ซึ่งจัดแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

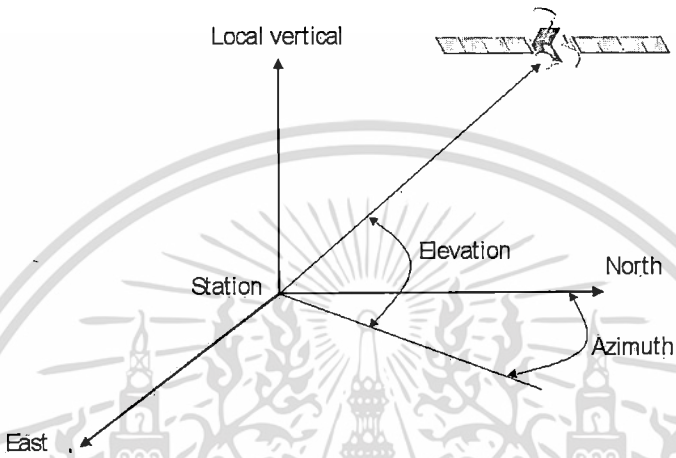
- ลักษณะวงโคจรแบบวงรีเอียงทำมุม 64 องศาเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก (Equatorial plane) ทำให้ได้พื้นที่ของสัญญานคลอบคลุมมากที่สุดเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่ไปอยู่จุดที่หากจากโลกมากสุด (Apogee) และจะลดลงเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่ต่ำลงมา และมีพื้นที่ของสัญญานคลอบคลุมต่ำสุดเมื่ออยู่ที่ตำแหน่งที่ใกล้โลกมากสุด (Perigee)

- ลักษณะวงโคจรแบบวงกลมเอียง มีระยะสูงจากพื้นโลกคงที่ประมาณ 800 ถึง 1,000 กิโลเมตร เคลื่อนที่รอบโลกภายในเวลาเพียง 1 ชั่วโมง 30 นาที สามารถคลอบคลุมทุกส่วนของโลก ส่วนมากใช้เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรหรือดาวเทียมสอดแนม บางครั้งเรียกระดับวงโคจรต่ำ (Low earth orbit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะวงโคจรแบบวงกลมรอบเส้นศูนย์สูตรที่ระดับความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตรจากพื้นโลกและการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของโลก ดาวเทียมที่มีลักษณะวงโคจรแบบนี้บางครั้งเรียกว่า ดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary satellite) เนื่องจากมีความเร็วเท่ากับการหมุนของโลก ทำให้ปรากฏเสมือนอยู่คงที่บนท้องฟ้า

ระบบมุมมอง (Look angle) ที่มองจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินไปยังดาวเทียม กำหนดโดยพารามิเตอร์สำคัญ 2 ตัวคือ มุมอาซีมุซ (Azimuth) ซึ่งวัดจากเส้นตรงในแนวระดับไปยังทิศเหนือเทียบกับเส้นในแนวระดับที่ฉายลงมาจากเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม และมุมเงย (Elevation) ซึ่งวัดจากแนวระดับไปยังแนวเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงมุม Azimuth และมุม Elevation

2.1.3 ระบบเชื่อมโยงสื่อสารและการเข้าถึงแบบหลายทาง

การรับส่งคลื่นความถี่วิทยุย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) ระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้น 2 แห่ง (โดยที่หนึ่งทำการส่งและอีกที่หนึ่งทำการรับ) ผ่านทางช่องสัญญานดาวเทียม เรียกว่า การเชื่อมโยง (Link) ซึ่งแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ การเชื่อมโยงขาขึ้น (Uplink) จากสถานีภาคพื้นไปยังดาวเทียม และการเชื่อมโยงขาลง (Downlink) จากดาวเทียมกลับลงมายังสถานีภาคพื้น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงสัญญานทั้งขาขึ้นและขาลงที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย

- สายอากาศ (Antenna) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ อัตราการขยาย (Gain) รูปแบบของการกระจายคลื่น (Radio pattern) ความกว้างของมุมคลื่นที่คลอบคลุม (Beamwidth) และหน้าคลื่นหรือโพราไลเซชั่น (Polarization)
- กำลังในการส่งในทิศทางที่กำหนด เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ตัว คือ EIRP (Equivalent Isotropic Radiation Power) ซึ่งวัดจากกำลังของแหล่งกำเนิดคลื่นคูณกับอัตราการขยาย และกำลังความเข้มของฟลักซ์ (Power flux density) ซึ่งวัดห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยระยะ R
- สัญญานรบกวนในระบบ ซึ่งเป็นค่าการสูญเสียหรือลดทอนกำลังของสัญญานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภาคส่งมายังภาครับ อันได้แก่ การสูญเสียในชั้นบรรยากาศ การสูญเสียที่สายอากาศของภาครับและภาคส่งอันเกิดจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาน หรืออุปกรณ์แปลงความถี่ เป็นต้น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงที่สำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = EIRP + G_r - L_p - L_a$$

$$EIRP = 10Log_{10}P_tG_t$$

$$G_r = 10Log_{10}\left(\frac{4\pi A_e}{\lambda^2}\right)$$

$$L_p = 10Log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2$$

เมื่อ P_r คือกำลังที่ภาครับ มีหน่วยเป็น dBW

P_t คือกำลังภาคส่ง

G_r คือเกณฑ์ขยายของสายอากาศที่ภาครับ

G_t คือเกณฑ์ขยายของสายอากาศที่ภาคส่ง

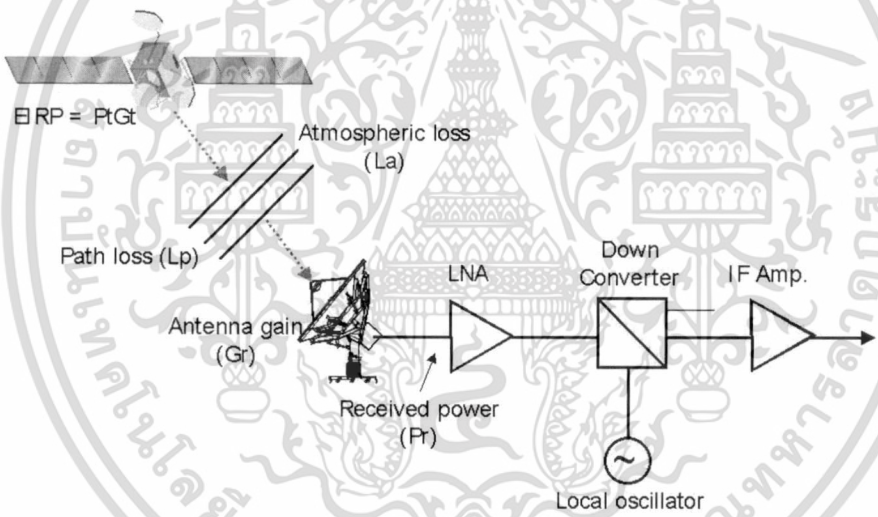
A_e คือพื้นที่รับของจานสายอากาศทางกายภาพ

R คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง

λ คือความยาวคลื่นที่ใช้

L_p คือค่าการสูญเสียระหว่างทาง

L_a คือค่าการสูญเสียที่เกิดในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.2 รูปแบบการเชื่อมโยงสื่อสารและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

นอกจากปัจจัยข้างต้นที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงแล้ว ยังมีรูปแบบหรือวิธีการในการเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องที่ต้องพิจารณาอีก คือ การมอดูเลท (Modulation) และการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex)

- การมอดูเลท เป็นการรวมข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณเสียงย่านความถี่เบสแบนด์ (เช่น โทรศัพท์) สัญญาณภาพวีดีโอ (เช่น โทรทัศน์) หรือข้อมูลดิจิตอลเข้ากับคลื่นพาห์ (Carrier) ก่อนที่จะแปลงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟโดยอุปกรณ์แปลงความถี่ (Frequency converter) เพื่อให้สามารถส่งผ่านไปยังช่องสัญญานดาวเทียมได้ การมอดูเลทในระบบสื่อสารดาวเทียมมีทั้งแบบที่เป็นอนาลอก (Analog) เช่น การมอดูเลทเชิงขนาด (Amplitude modulation) การมอดูเลทเชิงความถี่(Frequency modulation) และการมอดูเลทเชิงเฟส (Phase modulation) เป็นต้น และแบบที่เป็นดิจิตอล (Digital) เช่น BPSK (Binary phase shift keying) และ QPSK (Quadrature phase shift keying) เป็นต้น ที่ปลายทางก็จะมีกระบวนการที่ทำหน้าที่แปลงสัญญานให้กลับมาอยู่ในรูปของข้อมูลเหมือนต้นทาง เรียกว่า กระบวนการดีมอดูเลท (Demodulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การมัลติเพล็กซ์ เป็นการรวมสัญญานข้อมูลที่เข้ามาจากหลายช่องสัญญาน (Channel) จากแหล่งกำเนิด (Sources) เพื่อให้สามารถส่งผ่านร่วมกันไปในช่องสัญญานเดียวกันได้โดยป้องกันการรบกวนกันของสัญญานในแต่ละช่อง ก่อนที่จะส่งเข้าสู่กระบวนการมอดูเลท เทคนิคในการมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารดาวที่นิยมใช้มีด้วยกัน 2 แบบหลักคือ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency division multiplex) และการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time division multiplex) ที่ปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกสัญญานที่ถูกรวมกันออกมาเป็นสัญญานข้อมูลแต่ละช่องเหมือนต้นทาง เรียกว่า กระบวนการดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex)

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้น สถานีภาคพื้นซึ่งมีอยู่จำนวนมากสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารกับดาวเทียมดวงเดียวกันได้ในเวลาเดียวกัน โดยอาศัยเทคนิคเรียกว่า การเข้าถึงแบบหลายทาง (Multiple access) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access) สำหรับการสื่อสารดาวเทียมนั้นจะนิยมใช้ 2 แบบแรก

- การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ หรือ FDMA จะกำหนดให้แต่ละสถานีภาคพื้นดินส่งสัญญานคลื่นพาห์ที่มีความถี่ศูนย์กลางต่าง ๆ กันในทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมโดยอาศัยการ์ดแบนด์ (Guard band) ในการป้องกันการทับกันระหว่างคลื่นพาห์ที่อยู่ใกล้กัน เทคนิค FDMA ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 แบบ คือ แบบ MCPC (Multiple Channel-Per-Carrier) และแบบ SCPC (Single Channel-Per-Carrier)
- การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา หรือ TDMA จะกำหนดให้แต่ละสถานีภาคพื้นดินส่งสัญญานคลื่นพาห์ความถี่เดียวกันผ่านทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมโดยแบ่งเวลาในการส่ง ดังนั้นแต่ละสถานีจะต้องมีการเข้าจังหวะกัน (Synchronization) เพื่อให้ข้อมูลจากทุกสถานีไปถึงดาวเทียมโดยไม่เกิดการทับซ้อนกัน (Overlap) รูปแบบของ TDMA เหมาะกับการส่งข้อมูลขนาดไม่ใหญ่มาก

สัญญานที่ได้จากกระบวนการมอดูเลท จะถูกแปลงให้อยู่ในย่านความถี่ของคลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของระบบสื่อสารดาวเทียม คลื่นความถี่ไมโครเวฟดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็นหลายย่านความถี่และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป สำหรับย่านความถี่ที่นิยมใช้ในการสื่อสารสื่อสารดาวเทียม สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม

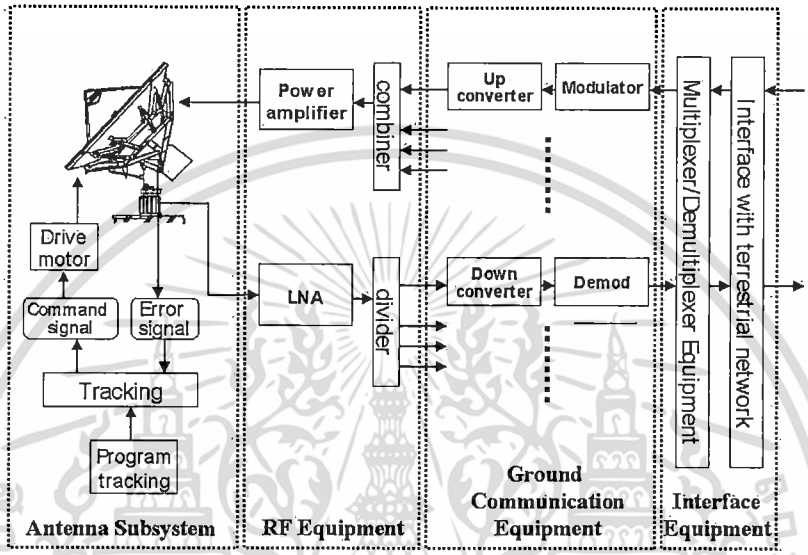
Band Designation	Frequency Range (IEEE Standard)
C	3.9 - 6.2 GHz
K	10.9 - 36.0 GHz
Ka	33 - 36 GHz
Ku	15.35 - 17.25 GHz
L	390 - 1550 MHz
P	225 - 390 MHz
Q	36 - 46 GHz
S	1.55 - 5.2 GHz
X	5.2 - 10.9 GHz

2.1.4 สถานีภาคพื้น

สถานีดาวเทียม หรือบางครั้งเรียกสถานีภาคพื้น (Ground station) เป็นส่วนที่อยู่บนพื้นโลกทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดของข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สัญญานโทรศัพท์ สัญญานโทรทัศน์ หรือสัญญาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เพื่อให้สามารถสื่อสารกับสถานีภาคพื้นอื่น ๆ ที่อยู่ห่างกันออกไปผ่านทางช่องสัญญาณดาวเทียม ดังนั้นหน้าที่หลักของสถานีภาคพื้นทั่วไปก็คือ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่อินเตอร์เฟส (Interface) ระหว่างสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดเข้ากับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม หรือเป็นส่วนที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างสถานีภาคพื้นผ่านทางช่องสัญญาณดาวเทียมนั่นเอง ดังนั้น ส่วนประกอบของสถานีภาคพื้นจึงประกอบด้วยอุปกรณ์ในการเชื่อมโยงข้างต้น (ดังแสดงในบล๊อกไดอะแกรมรูปที่ 2.3) ได้แก่ อุปกรณ์เข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาน (Encoder and Decoder) โมเด็ม (Modem) อุปกรณ์แปลงความถี่ขาขึ้นลง (Up-down converter) อุปกรณ์ขยายกำลัง (Power amplifier) LNA (Low-noise amplifier) จายสายอากาศ (Antenna) และส่วนเชื่อมต่อกับสัญญานเบสแบนด์ (Baseband interface) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของสถานีภาคพื้น

จานสายอากาศของสถานีภาคพื้น เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในส่วนของอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (RF) เนื่องจากเป็นตัวขยายและแพร่กระจายคลื่น RF ที่ได้จากการแปลงความถี่ไปยังดาวเทียมในย่านความถี่ขาขึ้น รวมทั้งทำหน้าที่ในการรับคลื่น RF จากดาวเทียมในย่านความถี่ขาลง คุณสมบัติที่สำคัญของจานสายอากาศคือ ต้องมีเกณฑ์ขยายทิศทางสูง (Highly directive gain) มีค่าอุณหภูมิสัญญานรบกวนต่ำเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนสัญญานต่อสัญญานรบกวน (Signal-to-noise ratio) สูง และมีความเที่ยงตรงสูงต่อสัญญานที่ได้รับ

ประเภทของจานสายอากาศที่เหมาะสมและเป็นที่นิยมใช้กับสถานีภาคพื้นส่วนมากเป็นแบบพาราโบรอยด์ ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการป้อนสัญญานให้กับแผงสะท้อนคลื่นได้ 2 แบบคือ แบบโฟกัลพอยท์ (Focal point) ซึ่งมีแผ่นสะท้อนเป็นพื้นผิวโค้งรูปพาราโบลารอบแกน ทิศทางของการรับส่งคลื่นผ่านตัวฟีดเดอร์ (Feeder) จะอยู่ที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อน และแบบเคสซีเกรน(Cassegrain) ซึ่งมีแผ่นสะท้อน 2 แผ่น คือแผ่นสะท้อนหลักและรอง แผ่นสะท้อนหลักเป็นรูปพาราโบลา แผ่นสะท้อนรองเป็นรูปไฮเปอร์โบลา จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลักจะเป็นจุดเดียวกับจุดโฟกัสเสมือนของแผ่นสะท้อนรอง และมีฟีดเดอร์ที่จุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนรอง

นอกจากฟังก์ชั่นการเชื่อมโยงข้อมูลข้างต้นแล้ว ยังมีสถานีภาคพื้นอีกประเภทหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมดาวเทียมให้โคจรได้ในอวกาศ (TT&C) ที่เรียกว่า สถานีดาวเทียม โดยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระยะไกล ติดตามเส้นทางและควบคุม ดังที่กล่าวข้างต้น สถานีภาคพื้นประเภทนี้จะมีจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ และตั้งอยู่ตามจุดต่าง ๆ ของโลกตามประเภทของวงโคจรดาวเทียมแต่ละชนิด

สถานีภาคพื้นสามารถจัดแบ่งขนาดได้ตามมาตรฐานต่าง ๆ เช่น มาตรฐาน INTELSAT มาตรฐาน IBS/IDR Service หรือ E-standard (14/11 GHz) และมาตรฐาน Z-Standard (6/4 GHz) เป็นต้น โดยดูจากขนาดของจานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการขยายกำลังของเครื่องส่ง และฟังก์ชั่นการทำงาน สำหรับสถานีภาคพื้นที่นิยมใช้สำหรับระบบสื่อสารดาวเทียมซึ่งมีจานสายอากาศขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยทั่วไปไม่เกิน 2 เมตร น้ำหนักรวมประมาณไม่เกิน 200 กิโลกรัม เรียกว่า VSAT (Very Small Aperture Terminal) ทำให้ราคาของเทอร์มินัลถูกลง สามารถเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย รวมทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบริการการสื่อสารข้อมูลได้อย่างกว้างขวางขึ้น

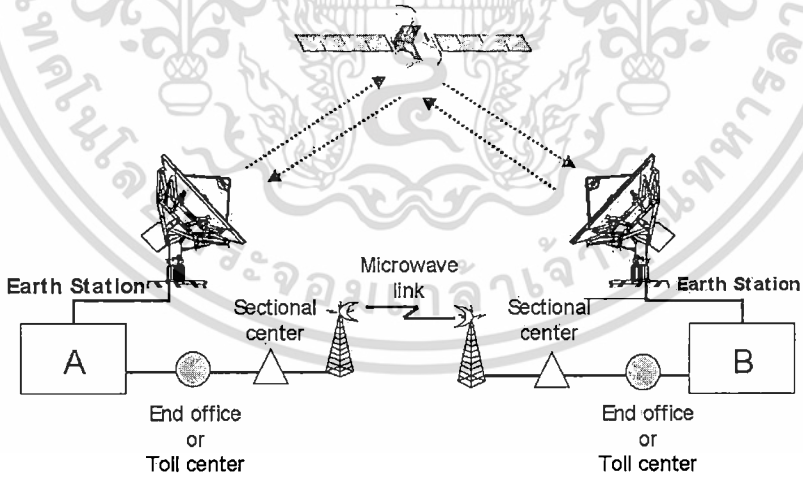
การประยุกต์ระบบ VSAT ในการสื่อสารข้อมูลนั้นยังคงต้องใช้สถานีกลาง (Master station) หรือบางครั้งเรียกสถานีฮับ (Hub station) ขนาดใหญ่ในการควบคุมการทำงานของเครือข่าย จัดการเกี่ยวกับการรับส่งข้อมูล และควบคุมการทำงานของสถานีลูกข่าย (Remote VSAT terminal) จำนวนมาก โดยที่สถานีลูกข่ายในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้จานขนาดเล็ก เรียกว่า DTH (Direct to home) สำหรับรับข้อมูลเพียงอย่างเดียวได้ด้วย

2.1.5 เครือข่ายสื่อสารดาวเทียม

เครือข่ายสื่อสารดาวเทียมมีพื้นฐานจากแนวคิดของเครือข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication network) ที่รองรับการสื่อสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งภายใต้ระยะทางที่ห่างไกลกันหลายพันกิโลเมตร และทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารสามารถใช้งานร่วมกัน (Shared) ได้ระหว่างผู้ใช้หลายคน

รูปแบบของเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมมีหลายรูปแบบขึ้นกับประเภทของบริการที่ต้องการ แต่สามารถสรุปได้เป็น 2 รูปแบบหลักคือ แบบจุดต่อจุด (Single point-to-point) และแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to-multipoint)

- แบบจุดต่อจุด เป็นรูปแบบพื้นฐานที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างจุด A ไปยังจุด B (ดังรูป 2.4) รูปแบบของเครือข่ายชนิดนี้เรียกว่า Unswitched ซึ่งมีลักษณะคล้ายการเชื่อมต่อโดยใช้สายเช่า (Leased) บนเครือข่ายภาคพื้นดินทั่วไป แต่ใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาน (Repeater) เพียงตัวเดียวคือทรานสปอนเดอร์ที่ติดตั้งบนตัวดาวเทียม บางครั้งจึงเรียกว่าเป็นสายเคเบิลบนท้องฟ้า (Cable in the sky) ส่วนมากใช้กับรูปแบบของบริการที่มีการเชื่อมโยงระหว่าง 2 สถานีภาคพื้นโดยตรง เช่น ชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศ เป็นต้น

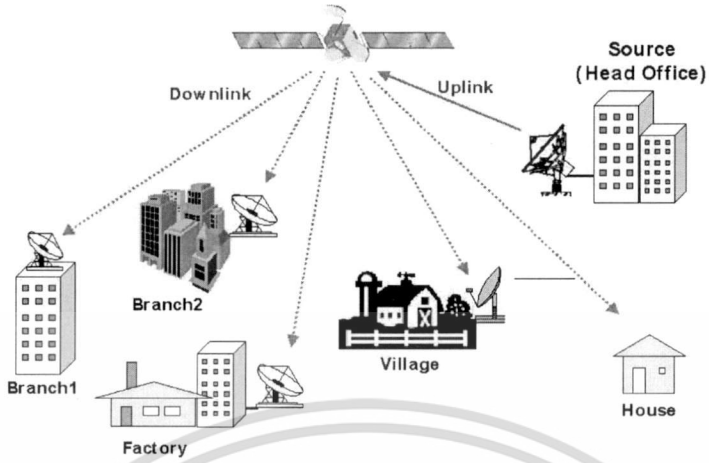


รูปที่ 2.4 เครือข่ายดาวเทียมแบบจุดต่อจุด

- แบบจุดต่อหลายจุด เป็นรูปแบบที่พบมากสำหรับบริการของเครือข่ายสื่อสารดาวเทียม (ดังรูป 2.5) เนื่องจากว่าทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมส่วนมากทำงานบนพื้นฐานของการกระจายคลื่น (Broadcasting) เป็นหลัก ดังนั้นสถานีภาคพื้นต้นทางจึงสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีภาคพื้นปลายทางได้มากกว่าหนึ่งสถานี รูปแบบของการเชื่อมต่อแบบนี้จะใช้สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างสำนักงานใหญ่ไปยังสาขาที่ตั้งตามที่ต่าง ๆ โดยใช้การแบ่งแยกข้อมูลสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นโดยอาศัยเทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA และ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหลัก นอกจากนี้ยังถูกใช้สำหรับรูปแบบของบริการในการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์ด้วย



รูปที่ 2.5 เครือข่ายดาวเทียมแบบจุดต่อหลายจุด

2.2 คุณภาพของบริการบนเครือข่าย

การรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ใด ๆ จะใช้ "คุณภาพของบริการ" หรือ QoS (Quality of Services) เป็นข้อกำหนดในการอ้างอิงความสามารถของเครือข่ายสำหรับการให้บริการที่ดีกับทราฟฟิก (Traffic) ที่ต้องการ ภายใต้เทคโนโลยีเครือข่ายที่หลากหลาย เช่น เฟรมลีเลย์ (Frame Relay) ATM (Asynchronous Transfer Mode) อีเธอร์เน็ท (Ethernet) รวมทั้ง เครือข่ายไอพี (IP-Routed network) เป็นต้น วัตถุประสงค์หลักของ QoS ก็เพื่อกำหนดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยแบนด์วิทที่กำหนด (Dedicated bandwidth) การควบคุมจิทเตอร์ (Jitter) และการควบคุมความล่าช้า (Latency) โดยที่ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อทราฟฟิกที่เป็นแบบเรียลไทม์ (real-time) รวมทั้งการปรับปรุงคุณลักษณะของการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยด้าน QoS ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบกับทราฟฟิกอื่น ๆ ด้วย [3], [4]

หลักการของ QoS คือ เพื่อให้เราสามารถกำหนดบริการที่ดีภายใต้การโฟลว (Flow) ของข้อมูลที่แน่นอน ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดลำดับความสำคัญ (Priority) ของการโฟลว หรือจำกัดการโฟลวของทราฟฟิกอื่นบนเครือข่าย โดยวิธีต่าง ๆ เช่น การใช้เครื่องมือจัดการความคับคั่งบนเครือข่าย (Congestion management tools) ทำให้เกิดการกำหนดลำดับความสำคัญได้โดยการคิวร์ (Queuing) และการให้บริการคิวร์ (Servicing queues) ในรูปแบบที่แตกต่างกัน การใช้เครื่องมือในการจัดการคิวร์จะใช้สำหรับป้องกันความคับคั่งหรือการติดขัด (Congestion) ทำให้เกิดการกำหนดลำดับความสำคัญได้โดยการลดโฟลวของทราฟฟิกที่มีความสำคัญต่ำเพื่อให้บริการกับทราฟฟิกที่มีความสำคัญสูงกว่าโฟลวไปก่อน การกำหนดนโยบาย (Policing) และรูปแบบ (Shaping) สามารถกำหนดลำดับความสำคัญของการโฟลวได้โดยการจำกัดทรูพุท (Throughput) ของทราฟฟิกอื่น และการใช้เครื่องมือการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพสามารถจำกัดการโฟลวของทราฟฟิกปริมาณมาก ๆ ได้ โดยใช้การโฟลวของทราฟฟิกขนาดเล็กแทนได้ เป็นต้น เครื่องมือด้าน QoS ข้างต้นสามารถช่วยบรรเทาปัญหาความคับคั่งต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม หลายครั้งพบว่ามีปริมาณทราฟฟิกจำนวนมากกว่าปริมาณแบนด์วิทที่รองรับ ซึ่งในกรณีนี้ QoS ก็เป็นเพียงแค่เครื่องช่วยบรรเทาปัญหาเท่านั้น

2.2.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของคุณภาพของบริการ

กรอบโครงสร้างของสถาปัตยกรรมพื้นฐานประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่สำคัญซึ่งใช้ในการสร้าง QoS คือ

- การวางเกณฑ์และข้อกำหนดคุณภาพของบริการ (QoS Identification and Marking)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการวางเกณฑ์และข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพของบริการสำหรับการทำให้เกิด QoS ร่วมกันจากปลายถึงปลาย (End-to-end) ของเครือข่าย ซึ่งจะต้องถูกกำหนดขึ้นก่อนเพื่อให้ได้บริการที่ต้องการตามชนิดของทราฟฟิก วิธีการนี้จะใช้สองกระบวนการคือ การจัดประเภท (Classification) และการจอง (Reservation)

ในการที่จะให้บริการที่ต้องการตามประเภทของทราฟฟิกได้นั้น ขั้นแรกจะต้องมีการกำหนด (Identify) ลงไปก่อน จากนั้นแพ็คเกจอาจถูกมาร์ค (Mark) หรือถูกกำหนดกฎเกณฑ์ขึ้น (หรือไม่ก็ได้) ทั้งสองส่วนนี้ทำให้เกิดการจัดประเภท

ในกรณีแรก เมื่อแพคเกจถูกกำหนดแต่ไม่มีการวางเกณฑ์ ก็จะถูกจัดเป็นประเภทแบบพื้นฐานต่อฮอบ (Per-hop basis) ซึ่งหมายความว่าการจัดประเภทดังกล่าวจะกระทำภายในอุปกรณ์ที่กำหนดเท่านั้น ไม่ส่งผ่านไปยังเราท์เตอร์ (Router) ต่อไป โดยอาศัยการกำหนดลำดับความสำคัญของคิวร์ (Priority queuing) และการกำหนดคิวร์ตามต้องการ (Custom queuing)

ในกรณีที่สอง เมื่อแพ็คเกจถูกวางเกณฑ์สำหรับใช้ทั้งเครือข่าย ก็จะใช้การเซ็ทค่าบิทในเฮดเดอร์ของไอพี (IP precedence bits) หรือการทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นในไอพี (Differentiated QoS) เพื่อให้ทั้งเครือข่ายรับรู้ได้เหมือนกัน

- คุณภาพของบริการภายใต้เครือข่ายเดี่ยว (Qos within a Single Network Element)

เป็นการกำหนดคุณภาพของบริการภายในเครือข่ายเดียว ซึ่งมี 4 ส่วนคือ การจัดการความแออัด (Congestion management) การจัดการคิวร์ (Queue management) ประสิทธิภาพลิงก์ (Link efficiency) รวมทั้งนโยบายและรูปแบบทราฟฟิก (Traffic shaping and policing)

การจัดการความแออัด (Congestion management) เป็นการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเราท์เตอร์ว่าจะแก้ปัญหาในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิกมากเกินกว่าอัตราเร็วของลิงก์ (Link speed) อันเนื่องจากธรรมชาติของทราฟฟิกข้อมูลประเภทสื่อประสม (Multimedia traffic) ซึ่งอาจใช้การจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer) และการจัดลำดับเข้ามาช่วย เช่น รับข้อมูลทราฟฟิกมาเก็บในบัฟเฟอร์ (Buffer) ในลักษณะคิวร์เดียว จากนั้นทำการโปรเซสเพ็คเกจแรกที่เข้ามาก่อน หรือรับข้อมูลทราฟฟิกมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์แบบหลายคิวร์ จากนั้นจึงให้บริการกับคิวร์ใดคิวร์หนึ่งเป็นพิเศษ เป็นต้น เครื่องมือในการจัดการความคับคั่งสามารถช่วยดำเนินการดังกล่าวได้ ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดคิวร์แบบมีลำดับ (Priority queuing) การกำหนดคิวร์ตามต้องการ (Custom queuing) การกำหนดคิวร์แบบเท่าเทียม (Weight fair queuing) และการกำหนดคิวร์แบบเท่าเทียมโดยจัดกลุ่ม (Class-based weighted fair queuing)

การจัดการคิวร์ (Queue management) เป็นการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับคิวร์ของแพ็คเกจในบัฟเฟอร์เพื่อป้องกันการเกิดการดรอป (Drop) และโอเวอร์โฟลว (Overflow) ของแพ็คเกจเกิดขึ้น เนื่องจากคิวร์ในบัฟเฟอร์มีขนาดจำกัด หากเต็มแล้วจะไม่สามารถรับแพ็คเกจอื่นที่เข้ามาได้ทำให้เกิดการสูญเสียแพคเกจดังกล่าวไป หรือเกิดการดรอปขึ้น ดังนั้นกลไกในการจัดการคิวร์จึงมีหน้าที่ 2 อย่าง อย่างแรกคือ พยายามทำให้แน่ใจได้ว่าคิวร์ไม่เต็มเพื่อที่จะมีพื้นที่รองรับแพ็คเกจที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าได้ อย่างที่สองคือ ยอมให้สร้างข้อกำหนด (Criteria) เพื่อให้เกิดการดรอปแพ็คเกจบางชนิดที่มีลำดับความสำคัญต่ำ ก่อนที่จะทำการดรอปแพ็คเกจที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า

ประสิทธิภาพลิงก์ (Link efficiency) เกี่ยวข้องกับการจัดแบ่งขนาดของแพ็คเกจให้เหมาะสมกับอัตราเร็วของลิงก์เพื่อให้สามารถแทรกเข้าไปได้ โดยอาจใช้การลดปริมาณโอเวอร์เฮด (Overhead) ที่เกิดขึ้น

การกำหนดนโยบายและรูปแบบทราฟฟิก (Traffic shaping and policing) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนโยบายของทราฟฟิกที่สัมพันธ์กับรูปแบบของทราฟฟิก โดยการกำหนดรูปแบบของทราฟฟิก (Shapping) จะใช้กำหนดการโฟลวของข้อมูลให้เหมาะสมกับแบนด์วิทเพื่อป้องกันการโอเวอร์โฟลว (Overflow) เช่น เครือข่ายหลักมีแบนด์วิทขนาดใหญ่ (T1) เชื่อมต่อกับเครือข่ายรองด้วยแบนด์วิทที่ต่ำกว่า (384 kbps) ดังนั้นหากไม่มีการกำหนดรูปแบบก็ทำให้เกิดการโอเวอร์โฟลว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น การกำหนดรูปแบบทำได้ด้วยการกำหนดอัตราเร็วของทราฟฟิกให้อยู่ในระดับ 384 kbps ส่วนที่สูงกว่าอัตราที่กำหนดจะถูกบัฟเฟอร์เพื่อดำเนินการส่งผ่านในภายหลังเพื่อคงไว้ซึ่งอัตราการโฟลที่คงที่ ส่วนการกำหนดนโยบายของทราฟฟิก (Policing) จะคล้ายกับการกำหนดรูปแบบของทราฟฟิกจะแตกต่างคือสามารถกำหนดความสำคัญได้ เช่น ทราฟฟิกที่มีอัตราสูงกว่าที่กำหนดจะไม่ถูกบัฟเฟอร์ หรือ ถูกทิ้งไป (Discard) เป็นต้น

- การจัดการคุณภาพของบริการ (QoS Management)

เป็นการช่วยกำหนดและประเมินวัตถุประสงค์และนโยบายของคุณภาพของบริการ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกกำหนดระดับพื้นฐานเครือข่ายเพื่อช่วยบอกคุณลักษณะของทราฟฟิก ขั้นที่สองใช้เทคนิคคุณภาพของบริการเมื่อทราบคุณลักษณะของทราฟฟิกและวัตถุประสงค์ของแอปพลิเคชั่นถูกกำหนดแล้วสำหรับเพิ่มคุณภาพของบริการ และขั้นที่สามประเมินผลโดยการทดสอบผลตอบของแอปพลิเคชั่น

2.2.2 ระดับคุณภาพของบริการแบบปลายถึงปลาย (End-to-End QoS Levels)

ระดับของบริการ (Service level) หมายถึง ระดับความสามารถของคุณภาพบริการจากปลายถึงปลายที่เครือข่ายสามารถให้บริการได้ตามความต้องการภายใต้ปริมาณทราฟฟิกของเครือข่ายที่กำหนด ระดับของบริการแตกต่างกันขึ้นกับคุณภาพบริการซึ่งถูกกำหนดภายใต้กรอบของแบนด์วิท การหน่วงเวลา จิทเตอร์ และคุณลักษณะของการสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยกรอบดังกล่าวเป็นตัววัดระดับของบริการที่มีให้ได้ แบ่งเป็น 3 ระดับคือ

- Best-effort service หรือเป็นที่รู้จักกันดีคือบริการที่ไม่มี QoS ซึ่งเป็นพื้นฐานการเชื่อมต่อโดยไม่มีการรับประกันการนำส่ง มีลักษณะการจัดการคิวร์แบบเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) นั่นคือ ไม่มีความแตกต่างระหว่างโฟลว รูปแบบนี้พบในการนำส่งไอพีแพ็คเกจในระดับเครือข่าย
- Differentiated service หรือเรียกอีกอย่างว่า Soft QoS โดยที่ทราฟฟิกบางตัวได้รับการจัดการที่ดีกว่าทราฟฟิกอื่น เช่น ประมวลผลเร็ว มีแบนด์วิทมากกว่า และอัตราการสูญเสียต่ำ เป็นต้น รูปแบบบริการนี้ใช้การอ้างอิงทางสถิติเป็นเกณฑ์
- Guaranteed service หรือเรียกอีกอย่างว่า Hard QoS ใช้การจองทรัพยากรเครือข่ายสำหรับทราฟฟิกที่กำหนดโดยอาศัยเครื่องมือด้าน QoS เช่น RSVP (Resource Reservation Protocol) และ CBWFQ (Class-based Weight Fair Queue) เป็นต้น

การพิจารณาว่าบริการระดับใดข้างต้นที่ควรเลือกใช้ในเครือข่ายขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น

- แอปพลิเคชั่น หรือปัญหาที่ผู้ใช้กำลังพยายามที่จะแก้ แต่ละบริการทั้ง 3 ระดับนั้นเหมาะกับแอปพลิเคชั่นที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่ได้หมายความว่าผู้ใช้จะต้องปรับไปเป็นแบบ Differentiated service ก่อนจากนั้นจึงปรับไปเป็นแบบ Guaranteed service หรือบางครั้ง Best-effort service อาจจะเหมาะสมหรือเพียงพอ ทั้งนี้ขึ้นกับความต้องการของแอปพลิเคชั่นของผู้ใช้
- ราคาของการสร้างและการใช้บริการแบบรับประกัน QoS นั้นสูงกว่าแบบ Differentiated service

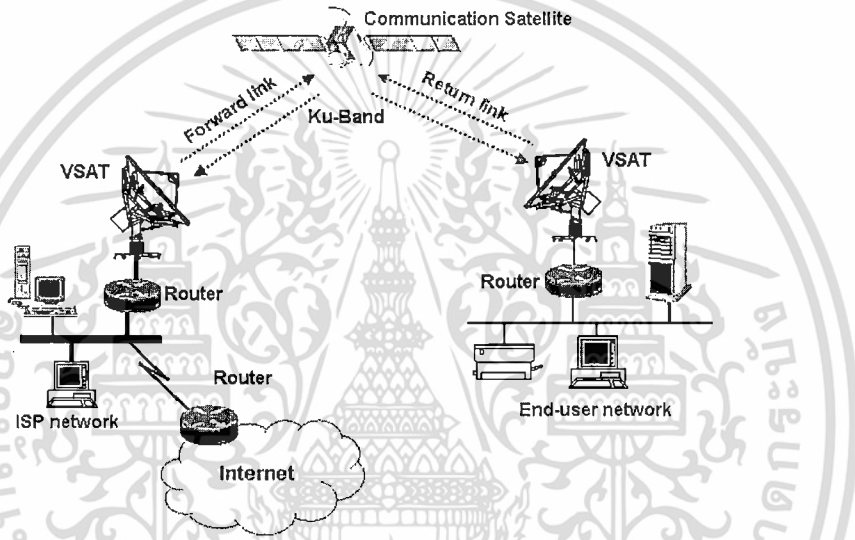
2.3 อินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม

ปัจจุบันการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทจากผู้ใช้บริการไปยังผู้ให้บริการ (ISP) มีรูปแบบที่หลากหลาย เช่น การเชื่อมต่อโดยผ่านวงจรสายเช่า (leased circuit) การเชื่อมต่อผ่านโมเด็ม และการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียม เป็นต้น รูปแบบการเชื่อมต่อดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ให้บริการ ทั้งนี้ ก็เพื่อตอบสนองความต้องการในเรื่องขนาดของแบนด์วิทและปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้บริการ ในลักษณะของอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่แตกต่างกันไป

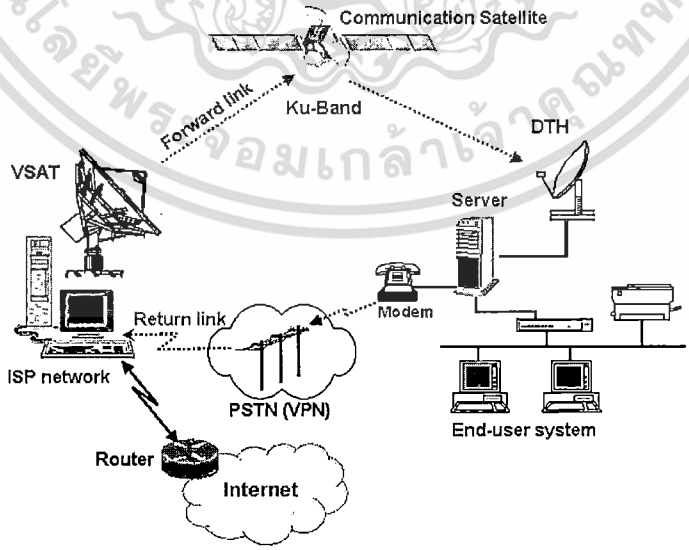
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมนั้น เป็นบริการรูปแบบใหม่ที่เกิดขึ้นในช่วง 3-5 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในประเทศไทยนั้นมีด้วยกัน 2 รูปแบบที่นิยม [5], [6] คือ แบบที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายโดยตรงผ่านเราท์เตอร์ (ดังรูปที่ 2.6) และแบบที่ให้บริการกับผู้ใช้ตามบ้าน (Home user) โดยตรงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ (ดังรูปที่ 2.7)

การเชื่อมต่อในแบบแรกนั้น มีพื้นฐานมาจากการประยุกต์ระบบ VSAT เข้ามาใช้กับการรับส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมที่เป็นแบบจุดต่อจุด การให้บริการเชื่อมต่อจะมีลักษณะเหมือนวงจรเช่า (Leased circuit) หรือบริการแบบเข้าถึงโดยตรง (Direct access) ซึ่งมีแบนด์วิทขนาดใหญ่ เพื่อรองรับปริมาณทราฟฟิกจำนวนมากของผู้ใช้บริการปลายทางที่มีลักษณะเป็นเครือข่ายส่วนตัว (Private network) สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายผ่านช่องสัญญาณดาวเทียมได้โดยตรงในลักษณะ 2 ทิศทาง โดยระยะแรกนั้นให้บริการในย่านความถี่ C-Band เป็นหลัก จึงทำให้สถานีลูกข่ายปลายทางยังคงใช้อุปกรณ์จานสายอากาศในการรับส่งสัญญาณที่มีขนาดใหญ่อยู่ ปัจจุบันมีบริการในย่านความถี่ Ku-Band ด้วย



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทระหว่างเครือข่ายผ่านเราท์เตอร์



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมโดยอาศัยเครือข่ายโทรศัพท์

การเชื่อมต่อในแบบที่สอง เป็นการพัฒนารูปแบบการให้บริการเชื่อมต่อมาเป็นลักษณะจุดต่อหลายจุด เพื่อให้บริการกับผู้ใช้ตามบ้าน (Home user) ได้โดยตรง โดยใช้ย่านความถี่ Ku-Band เป็นหลักในการให้บริการ ทำให้ลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของจานสายอากาศของผู้ใช้ปลายทางให้มีขนาดเล็กลง จนสามารถใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กแบบ DTH (Direct to home) สำหรับรับข้อมูลจากผู้ให้บริการที่ส่งมายังผู้ใช้บริการ (Forward link) ได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ทได้เหมือนการใช้บริการเชื่อมต่อระยะไกล (Remote access) ผ่านโมเด็มทั่วไป รวมทั้งมีทางเลือกในการใช้บริการตามขนาดอัตราเร็วที่ผู้ใช้ต้องการได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของจานสายอากาศที่มีขนาดเล็ก ทำให้การเชื่อมต่อแบบนี้ไม่สามารถใช้การสื่อสารในลักษณะที่เป็นแบบ 2 ทางผ่านช่องสัญญานดาวเทียมได้โดยตรงเหมือนแบบแรก ดังนั้น การส่งข้อมูลร้องขอจากผู้ใช้บริการกลับไปยังผู้ใช้บริการ (Returned link) จึงกระทำผ่านโมเด็มไปยังเครือข่ายโทรศัพท์ภาคพื้น โดยอาศัยเทคนิคเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) และกลไกการแคช (Cache) ช่วย ดังรูปที่ 2.7

ปัจจุบันการให้บริการเชื่อมต่อในรูปแบบที่สอง ได้รับการพัฒนาให้สามารถรองรับบริการได้ในอัตราเร็วสูงถึง 256 kbps ทำให้ตอบสนองความต้องการในการใช้อินเตอร์เน็ทความเร็วสูงในลักษณะต่าง ๆ เช่น การเรียกดูข้อมูลสื่อประสม (Multimedia) ทั้งแบบตามความต้องการ (On-demand) และแบบถ่ายทอดสด (Live broadcasting) หรือการดาวน์โหลด (Download) ไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว เป็นต้น รวมทั้งสามารถรองรับการใช้งานทั้งในระดับแบบบุคคล หรือเชื่อมต่อใช้งานหลายคนพร้อม ๆ กันได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม

3.1 คุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ท

จากการศึกษารูปแบบของการให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมทั้ง 2 แบบนั้น เนื่องจากในรูปแบบแรกใช้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลเหมือนกับที่ใช้ในสถานีภาคพื้นแบบ VSAT ทั่วไปซึ่งมีความเสถียรสูง (Stable) สามารถรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญานดาวเทียมได้ทั้ง 2 ทาง รวมทั้งอุปกรณ์มีราคาแพงและต้องจ่ายค่าเช่าช่องสัญญานดาวเทียมในอัตราที่สูง จึงเป็นข้อจำกัดในการจัดหาอุปกรณ์สำหรับศึกษาทดลอง ดังนั้นในโครงการศึกษาวิจัยนี้ จึงได้พิจารณาเฉพาะรูปแบบการให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมให้กับผู้ใช้บริการตามบ้านโดยตรงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เท่านั้น เนื่องจากการให้บริการในรูปแบบดังกล่าว ใช้อุปกรณ์ขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วย จานสายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้วพร้อมอุปกรณ์ภาครับ การ์ดเครือข่ายสำหรับแปลงสัญญานดาวเทียม โมเด็ม และคอมพิวเตอร์ รวมทั้งอุปกรณ์มีราคาถูกและเสียค่าใช้จ่ายในการเช่าช่องสัญญานดาวเทียมในอัตราที่ต่ำ จึงทำให้สามารถจัดหามาใช้ในการศึกษาทดลองได้

นอกจากนี้ รูปแบบของการให้บริการที่ศึกษา มีลักษณะการสื่อสารที่ไม่เป็นแบบผ่านดาวเทียมทั้ง 2 ทาง เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานรับสัญญานที่มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการร้องขอใช้บริการกลับไปยังผู้ให้บริการที่ต้นทางผ่านทางช่องสัญญานดาวเทียมได้โดยตรง ยังคงต้องอาศัยโมเด็มผ่านเครือข่ายภาคพื้น รวมทั้งการใช้ย่านความถี่ Ku-band ในการให้บริการ ที่มีความทนทานต่อสัญญานรบกวนจากสภาพภูมิอากาศต่ำ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลต่ออัตราเร็วในการให้บริการตามขนาดแบนด์วิทของช่องสัญญานดาวเทียมที่กำหนด รวมทั้งอาจมีผลต่อคุณภาพของบริการในการใช้อินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมที่ได้

การศึกษาคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทโดยทั่วไปภายใต้กรอบสถาปัตยกรรม QoS ที่ได้กล่าวข้างต้น สามารถเริ่มจากการศึกษาคุณลักษณะของแอปพลิเคชั่นบนอินเตอร์เน็ท ซึ่งสามารถอธิบายได้ใน 4 ลักษณะเพื่อบอกถึงคุณภาพของบริการบนอินเตอร์เน็ทได้ คือ [7]

- กระบวนการกระจาย (Distributed process) บริการซึ่งเป็นแอปพลิเคชั่นบนอินเตอร์เน็ทส่วนมากมีลักษณะเป็นโปรเซสที่ทำงานกันคนละที่และมีการแลกเปลี่ยนข่าวสาร (Message) ระหว่างกัน
- การสูญหายของข้อมูล (Data loss) สำหรับแอปพลิเคชั่นที่ต้องการความถูกต้องสูง (Reliable transfer) จะต้องมีการสูญหายของข้อมูลต่ำหรือไม่มีการสูญหายเลย
- แบนด์วิท (Bandwidth) แต่ละแอปพลิเคชั่นต้องระบุขนาดของแบนด์วิทว่าต้องใช้อย่างน้อยที่สุดเท่าไร จึงจะมีประสิทธิภาพ
- ความไวต่อเวลา (Time sensitiveness) คือความต้องการของแอปพลิเคชั่นที่จะต้องได้รับการส่งข้อมูลให้เร็วที่สุด นั่นคือจะต้องมีการหน่วงเวลา (Delay) ต่ำ

ปัจจัยทั้ง 4 หากพิจารณาเปรียบเทียบกับแอปพลิเคชั่นหลัก คือ อีเมล (E-mail) การถ่ายโอนไฟล์ (FTP) และการส่งเอกสารเว็ป (Web document transfer) แล้วนั้นพบว่า E-mail และ FTP นั้นไม่ควรมีการสูญหายของข้อมูล ส่วน Web นั้นสามารถยอมให้เกิดการสูญหายได้ สำหรับปัจจัยเรื่องแบนด์วิทนั้น ทั้งสามแอปพลิเคชั่นมีความต้องการที่ยืดหยุ่น (Elastic) และไม่สนใจเรื่องความไวต่อเวลามากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาในเรื่องของประเภทของข้อมูล ปัจจัยเรื่องของเวลาค่อนข้างมีผลเป็นอย่างมาก เช่น ข้อมูลประเภทที่มีความต่อเนื่อง (Stream) พวกภาพเคลื่อนไหวและเสียงนั้นต้องการอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่คงที่และใช้เวลาที่สั้น ต่างจากข้อมูลจำนวนมาก (Burst) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วในการส่งข้อมูลได้ นอกจากนี้ ประเภทของการส่งข้อมูลก็เกี่ยวข้องกับปัจจัยความไวต่อเวลาเช่นกัน เช่น การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล ต่างจากการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous) ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของการหน่วงเวลามากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสัมพันธ์ที่ส่วนมากเกี่ยวกับแอปพลิเคชั่นแบบมีการปฏิสัมพัทธ์ (Interactive) ในลักษณะเรียลไทม์ (Real-time) เป็นหลัก [8]

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของบริการบนอินเตอร์เน็ท กับโครงสร้างของสถาปัตยกรรม QoS ทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันได้ กล่าวคือ QoS เป็นการแสดงคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทที่ผู้ใช้ได้รับ โดยมีปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการบนอินเตอร์เน็ทได้ 4 ปัจจัย คือ [9], [10]

- การหน่วงเวลา (Delay) เป็นเวลาในการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับผ่านเครือข่าย
- จิทเตอร์ (Jitter) เป็นการเปลี่ยนแปลงของการหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลระหว่างปลายถึงปลาย
- แบนด์วิท (Bandwidth) เป็นความกว้างของช่องสื่อสารที่รองรับอัตราการส่งต่อข้อมูลระหว่าง 2 จุด
- ความถูกต้องเชื่อถือได้ (Reliability) เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการส่งและอัตราเฉลี่ยของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เมื่อกล่าวถึงคุณภาพของบริการบนอินเตอร์เน็ท ส่วนมากจะอ้างอิงกับปัจจัยทั้ง 4 สำหรับอธิบายความแตกต่างที่เกิดขึ้นของแต่ละทราฟฟิก ปัจจุบันขนาดของอิเตอร์เน็ทนั้นใหญ่มากตามความต้องการที่สูงขึ้น ทำให้มีแอปพลิเคชั่นจำนวนมากตามมา รวมทั้งมีแอปพลิเคชั่นใหม่ ๆ ประเภทสื่อประสม (Multimedia) ซึ่งต้องการทรัพยากร (Resources) ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทั้ง 4 บนเครือข่ายที่ต่างกัน ดังนั้นในการสร้างหรือพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องสำหรับรองรับ QoS จึงมีประเด็นหลัก 2 ส่วนที่ต้องพิจารณาคือ การจัดสรรทรัพยากร (Resource allocation) และ ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (Performance optimization)

การจัดสรรทรัพยากร (Resource allocation) บนอินเตอร์เน็ทนั้นค่อนข้างทำได้ยากแต่ก็มีบริการที่เกิดขึ้นภายใต้แนวคิดในการจัดสรรทรัพยากรอยู่ 2 รูปแบบคือ บริการรวม (Integrated services) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจองทรัพยากรเพื่อรับประกันทรัพยากรที่จะใช้ในการนำส่งข้อมูลก่อนส่งออกไป เช่น RSVP เป็นต้น และบริการที่แตกต่าง (Differentiated services) ซึ่งเป็นการใช้คุณลักษณะของความพยายามที่ดีที่สุด (Best effort) ในการนำส่งข้อมูลในระดับไอพี โดยใช้ส่วนหัวของไอพี 3 บิทซึ่งเป็นส่วนของ TOS (Term of service) ระบุความต้องการของแอปพลิเคชั่นว่าเป็นแบบการหน่วงเวลาต่ำหรือทรูพุทสูง

ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (Performance optimization) เป็นการจัดสรรทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพและราคาที่เหมาะสม เป็นการเชื่อมต่อระหว่างคุณภาพของบริการและประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการเพิ่มกลยุทธ์เข้าไปช่วย เช่น ทราฟฟิก (Traffic) การหน่วงเวลา (Delay) การจัดตาราง (Scheduling) เป็นต้น ซึ่งเป็นการพัฒนาการบริการของผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ท (ISP) โดยอาศัยอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชั่นการจัดการดังกล่าวภายใต้กรอบของ QoS ข้างต้น

3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ท

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของอินเตอร์เน็ทซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพของบริการ จะเป็นการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพจากปัจจัยทั้ง 4 ส่วน คือ การหน่วงเวลา จิทเตอร์ แบนด์วิท และความถูกต้องเชื่อถือได้ ว่ามีผลต่อคุณภาพของแอปพลิเคชั่นอย่างไร [10]-[12] มีงานวิจัยที่ศึกษาการจำลองประสิทธิภาพของเว็ปแอปพลิเคชั่น (Web

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

application) โดยใช้โปรโตคอลไฮเปอร์เท็กซ์ (HTTP) เป็นหลักซึ่งอาศัยโปรโตคอลในระดับทรานสปอร์ท (Transport layer) ที่หลากหลายในการนำส่งทั้ง TCP (Transmission control protocol) และ UDP (User datagram protocol) ภายใต้รูปแบบของเครือข่ายที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย [13] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่อธิบายประสิทธิภาพและคุณสมบัติด้านเวิร์คโหลด (Workload) ของเว็ปเซอร์ฟเวอร์ (Web server) และของเว็ปไคลเอ็นท์ (Web clients) บนอินเตอร์เน็ท โดยใช้ข้อมูลที่แตกต่างจากหลายส่วนเพื่อแสดงถึงกิจกรรมที่ต่างกันของการใช้งานเว็ปเซอร์ฟเวอร์รวมทั้งช่วงเวลาในการใช้งาน [14], [15] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวเป็นการชี้วัดคุณภาพของบริการในระดับแอปพลิเคชั่นและเครือข่ายภาคพื้นเป็นหลัก ไม่คลอบคลุมถึงเครือข่ายสื่อสารดาวเทียม

งานวิจัยด้านอินเตอร์เน็ทที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมที่พบนั้น เป็นการศึกษาคุณลักษณะและประสิทธิภาพของโปรโตคอลทีซีพีไอพี (TCP/IP) ในการใช้งาน [16], [17] ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นการทดลองวัดผลสำเร็จ (Throughput) ที่ได้จากการรับส่งข้อมูล โดยอาศัยโปรโตคอลทีซีพีไอพีในการนำส่งและวัดผลกระทบที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่างเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมระดับวงโคจรต่ำ (LEO) และดาวเทียมแบบค้างฟ้า (GEO) ด้วยการปรับขนาดของวินโดว์ (Window) ซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ (Buffer size) และปรับเวลาที่ใช้ในการรอ (TTL) ที่แตกต่างกันของโปรโตคอลทีซีพีไอพี ภายใต้แบนด์วิทของช่องสัญญานดาวเทียมที่มีอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยทั้งสองดังกล่าว เป็นการวัดคุณภาพของบริการในระดับเครือข่ายและอุปกรณ์ในรูปของอัตราความผิดพลาดของบิท (BER) และข้อผิดพลาดต่าง ๆ จากการเชื่อมโยง (Link errors)

สำหรับงานวิจัยที่วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายดาวเทียมที่รองรับทราฟฟิกของอินเตอร์เน็ท [18] เป็นการจำลองคุณลักษณะของทราฟฟิกบนอินเตอร์เน็ทโดยใช้ซอฟท์แวร์ Trafgen ในการสร้างโดยอาศัยข้อมูลทางสถิติที่รวบรวมได้จากนั้นจึงนำข้อมูลที่สร้างขึ้นได้ไปทดลองกับดาวเทียม ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) ของ NASA ซึ่งมีลักษณะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบจุดต่อจุดเพื่อเชื่อมโยงระหว่างเราท์เตอร์ทั้ง 2 ฝั่งซึ่งต่อกับคอมพิวเตอร์ที่สร้าง ทราฟฟิกอินเตอร์เน็ทดังกล่าว การเชื่อมโยงใช้แบนด์วิทที่รองรับอัตราเร็วในระดับ T1 (1.544 Mbps) จากนั้นจึงวัดค่าของเวลาที่ใช้ในการนำส่งข้อมูล

งานวิจัยใน [19] เป็นการทดลองที่ต่อเนื่องภายใต้โครงการเดียวกันกับ [18] โดยใช้ดาวเทียม ACTS ของ NASA งานวิจัยนี้เป็นการลดปัญหาเกี่ยวกับทรูพุท (Throughput) จากการใช้โปรโตคอล TCP ที่เชื่อมโยงผ่านดาวเทียมด้วยอัตราเร็วในระดับ T1 ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของวินโดว์ (Windows size) เวลาในการเริ่มเซสชั่นที่ช้า (Slow start) รวมทั้งกลไกการตอบกลับ (Acknowledgement) ที่ส่งผลต่อทรูพุทที่ได้ โดยใช้การเชื่อมต่อ TCP แบบหลายชุด (Multiple TCP) ในการรองรับแอปพลิเคชั่นในการถ่ายโอนข้อมูล (FTP) ซึ่งมีผลทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า 90% ซึ่งช่วยลดการติดขัดในระดับแอปพลิเคชั่นได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การศึกษาส่วนมากเป็นการวัดประสิทธิภาพในการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ใช้บนอินเตอร์เน็ทในระดับทรานสปอร์ท (Transport) และระดับเครือข่าย (Network) ไม่คลอบคลุมถึงระดับแอปพลิเคชั่น รวมทั้งรูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมโยงสื่อสารผ่านดาวเทียม จะเป็นแบบจุดต่อจุดในลักษณะของการสื่อสารแบบสองทางเป็นหลัก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทก็จะเน้นในเรื่องของการหน่วงเวลา (Delay) และแบนด์วิท (Bandwidth) ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP ดังกล่าว

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยภายใต้โครงการ จึงเป็นการนำเสนอแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมในลักษณะของการให้บริการไปยังผู้ใช้โดยตรง โดยอาศัยเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) และกลไกการแคช (Cache) ผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยเกี่ยวข้องกับ QoS ที่พิจารณาคือ การหน่วงเวลา และแบนด์วิท ซึ่งสัมพันธ์และส่งผลต่อแอปพลิเคชั่นแบบสื่อประสมที่ปรากฏในการให้บริการในระดับปลายถึงปลาย โดยจะพิจารณาเฉพาะบริการระดับ Best-effort ในช่วงแรก จากนั้นจึงพิจารณาบริการในระดับ Differentiated และ Guaranteed ต่อไปตามลำดับในอนาคต

3.3 รูปแบบการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการ

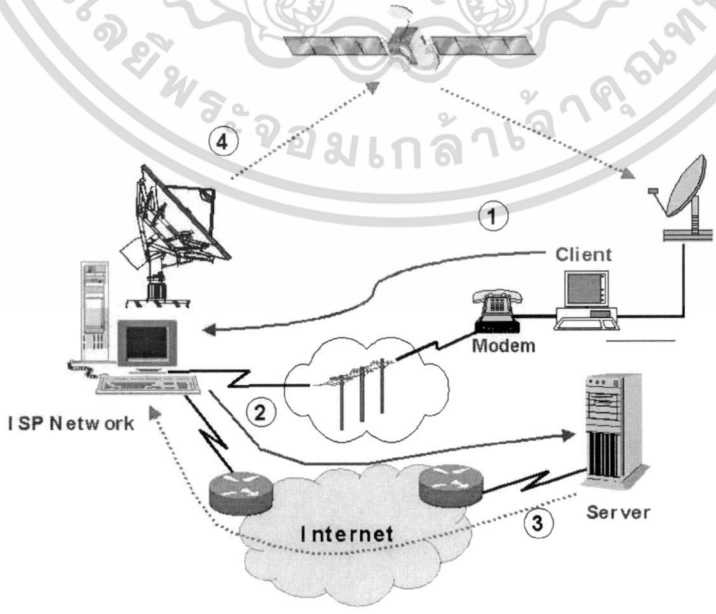
จากรูปแบบของการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมที่ศึกษา ซึ่งมีลักษณะเป็นการให้บริการกับผู้ใช้ตามบ้านโดยตรง โดยอาศัยเครือข่ายส่วนตัวเสมือนและกลไกการแคชผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์ (ดังรูปที่ 2.7) การทดลองประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการที่กำหนด จะพิจารณาแอปพลิเคชั่นที่ให้บริการในระดับปลายถึงปลาย (Enf-to-end) เฉพาะบริการ Best-effort โดยพิจารณาปัจจัยด้าน QoS ในเรื่องการหน่วงเวลา และแบนด์วิท

สภาพแวดล้อมในการทดลองจะเป็นการจัดรูปแบบของเครือข่ายเพื่อใช้ในการทดลองเป็น 3 รูปแบบคือ การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม (ดังรูปที่ 3.1) การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเกทย์เวย์ของเครือข่าย (ดังรูปที่ 3.2) และ การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทระยะไกล ผ่านโมเด็ม (ดังรูปที่ 3.3)

แอปพลิเคชั่นที่จะใช้ในการทดลอง โดยแอปพลิเคชั่นที่กำหนดจะแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของข้อมูลที่ใช้ คือ

- Streaming data แอปพลิเคชั่นประเภท Audio/Video
- Burst data แอปพลิเคชั่นประเภทการถ่ายโอนข้อมูลขนาดใหญ่ (FTP)
- Light weight data แอปพลิเคชั่นในการส่งข้อมูลเว็ปเพจ (Web document transfer)

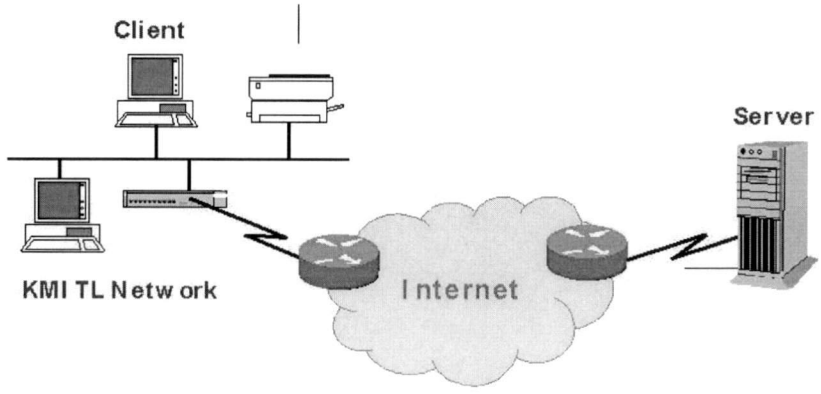
ปัจจัยที่จะใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ จะเป็นการวัดค่าการหน่วงเวลา (Delay) ที่ได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบนด์วิทที่ใช้ เพื่อเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขของเวลาต่าง ๆ โดยกำหนดแอปพลิเคชั่นที่ให้บริการติดตั้งบนเครื่องเซอร์ฟเวอร์ (Server) ซึ่งเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ท และให้แอปพลิเคชั่นบนเครื่องไคลเอ็นท์ (Client) เรียกใช้ผ่านทางเครือข่ายภายใต้สภาพแวดล้อมทั้ง 3 รูปแบบ ทั้งนี้ก็เพื่อจะประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทที่ได้เปรียบเทียบภายใต้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อคุณภาพของบริการดังกล่าว รวมทั้งเพื่อเป็นนำไปใช้ในการวิเคราะห์และบ่งชี้คุณภาพของการให้บริการที่ได้รับว่าสอดคล้องตามอัตราเร็วที่กำหนดหรือไม่ต่อไปในอนาคต



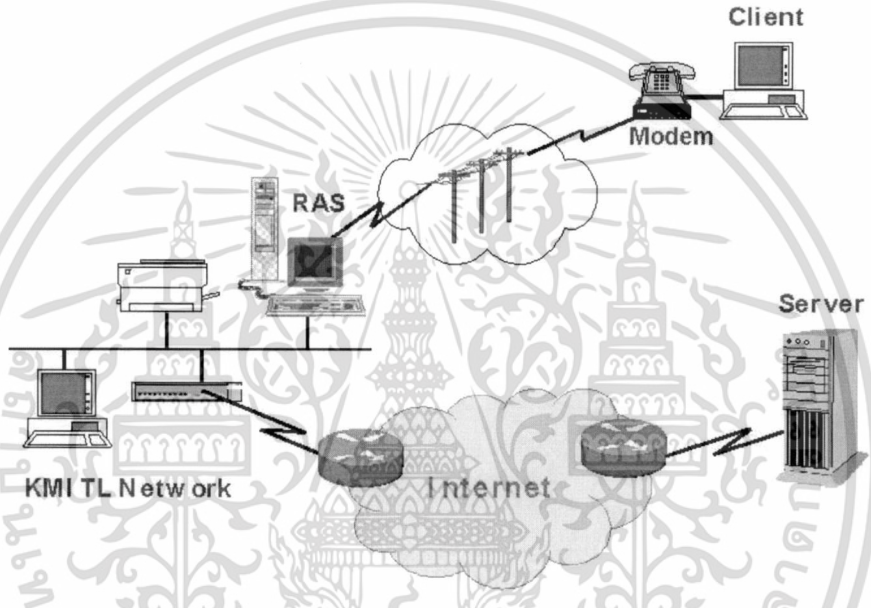
รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54624



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านเกทย์เวย์ของเครือข่าย



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทระยะไกล ผ่านโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษาและแนวทางวิจัยในอนาคต

รายงานนี้เป็นการศึกษาวิจัยในโครงการเรื่อง "การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม" ภายใต้การสนับสนุนจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ปี พ.ศ. 2545 โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษารูปแบบการให้บริการอินเตอร์เน็ทโดยการเชื่อมต่อผ่านดาวเทียม เพื่อศึกษาคุณภาพของบริการและคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม รวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพบริการดังกล่าว เพื่อนำไปกำหนดแนวทางในการออกแบบการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทต่อไป

รายงานกล่าวถึงพื้นฐานของระบบสื่อสารดาวเทียมและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของดาวเทียมและวงโคจร การเชื่อมโยงสื่อสารและการเข้าถึงแบบหลายทาง สถานีภาคพื้น และเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมที่ให้บริการ ทั้งแบบจุดต่อจุดและแบบจุดต่อหลายจุด สำหรับคุณภาพของบริการและโครงสร้างสถาปัตยกรรมของคุณภาพบริการบนเครือข่ายประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ การวางเกณฑ์และข้อกำหนดคุณภาพของบริการ (QoS Identification and Marking) คุณภาพของบริการภายใต้เครือข่ายเดี่ยว (Qos within a Single Network Element) และการจัดการคุณภาพของบริการ (QoS Management) ในส่วนของบริการระดับปลายถึงปลาย สามารถแบ่งระดับของบริการออกได้เป็น 3 ระดับ คือ บริการ Best-effort บริการ Differentiated และบริการ Guarantee ซึ่งให้คุณภาพของบริการที่แตกต่างกัน

บริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมสามารถจัดแบ่งการให้บริการออกได้เป็น 2 รูปแบบ ตามลักษณะการเชื่อมต่อ คือ การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทระหว่างเครือข่ายผ่านเราท์เตอร์ และการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียมโดยอาศัยเครือข่ายโทรศัพท์ ทั้งสองแบบมีการใช้อุปกรณ์ในการเชื่อมต่อ รวมทั้งลักษณะของแอปพลิเคชั่นที่ต่างกัน โครงการศึกษาวิจัยได้พิจารณาศึกษาเฉพาะรูปแบบการเชื่อมต่อแบบที่สองสำหรับการศึกษาทดลองในอนาคต โดยได้พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลักคือ การหน่วงเวลา (Delay) จิทเตอร์ (Jitter) แบนด์วิท (Bandwidth) และความถูกต้องเชื่อถือได้ (Reliability)

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนมากเป็นเรื่องของการหน่วงเวลาและแบนด์วิท ซึ่งส่งผลต่อโปรโตคอล TCP/IP ทั้งในระดับทรานสปอร์ท และในระดับเครือข่าย ไม่คลอบคลุมถึงระดับแอปพลิเคชั่น รูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมโยงสื่อสารผ่านดาวเทียม จะเป็นแบบจุดต่อจุดในลักษณะของการสื่อสารแบบสองทางเป็นหลัก

ผลการศึกษาวิจัยภายใต้โครงการ ได้นำเสนอแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพบริการอินเตอร์เน็ทผ่านเครือข่ายสื่อสารดาวเทียมในลักษณะของการให้บริการไปยังผู้ใช้โดยตรง โดยอาศัยเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) และกลไกการแคช (Cache) ผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์ และพิจารณาปัจจัยเกี่ยวข้องกับ QoS คือ การหน่วงเวลา และแบนด์วิท ซึ่งสัมพันธ์และส่งผลต่อแอปพลิเคชั่นที่ปรากฏสำหรับการให้บริการในระดับปลายถึงปลาย โดยพิจารณาเฉพาะบริการระดับ Best-effort นอกจากนี้ งานศึกษาวิจัยได้กำหนดรูปแบบของการทดลองสำหรับงานวิจัยในอนาคต โดยกำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายไว้ 3 รูปแบบ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบในการประเมินประสิทธิภาพคุณภาพของบริการอินเตอร์เน็ทผ่านดาวเทียม และกำหนดแอปพลิเคชั่นตามชนิดของข้อมูล 3 ประเภทคือ Streaming data Burst data และ Light weight data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] W. L. Morgan and G. D. Gordon, Communications Satellite Handbook, John Wiley and Sons, New York, 1989.

[2] G. Maral and M. Bousquet, Satellite Communications Systems: Systems, Techniques, and Technology, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, 1993.

[3] P. Fergson and G. Huston, Quality of Service Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York, 1998.

[4] Cisco, "Quality of Service (QoS)," http://www.cisco.com

[5] Thaicom Satellite Network, "Thaicom Internet Satellite Provider," http://www.thaicom.net

[6] Samart Telecom, "Samart Telecom Satellite Provider," http://www.samtel.com

[7] Aheng Wang, "Internet QoS: Architectures and Mechanism for Quality of Services," http://www.isoc.org

[8] R. Steinmetz and K. Nahrstedi, Multimedia: Computing, Communications and Applications, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, July 1995.

[9] L. C. Wolf, C. Griwodz, and R. Steinmetz, "Multimedia Communication," Proc. of the IEEE, Vol. 85, No. 12, Dec 1997, pp. 1915-1933.

[10] K.Van Der Wal, M. Mandjes, and H. Bastiaansen, "Delay Performance Analysis of the New Internet Services with Guaranteed QoS," in Proc. of the IEEE, Vol. 85, No. 12, Dec 1997, pp. 1947-195.

[11] O.Wongwirat, N. Chotikakamthorn, and S. Ohara, "Modeling Internet Delay for Interactive Distributed Multimedia Applications," in Proc. of the 1999 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Dec 1999, pp.521-524.

[12] T.V. Lakshman and U. Madhow, "The Performance of TCP/IP for Networks with High Bandwidth-Delay Products and Random Loss," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.5, No.3, June 1997, pp.336-350.

[13] J. Heidemann, H. Obraczka, and J. Touch, "Modeling the Performance of HTTP Over Several Transport Protocols," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 5, No. 5, Oct. 1997, pp.616-630.

[14] M.F. Arlitt and C.L. Williamson, "Internet Web Server: Workload Characterization and Performance Implications," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 5, No. 5, Oct. 1997, pp.631-644.

[15] C. Cunha, A. Bestavros, and M. Crovella, "Characteristics of WWW client-based traces," Tech. Rep. 95-010, Boston Univ., Apr.1995.

[16] M. Allman, C. Hayes, H. Kruse, and S. Ostermann, "TCP Performance over Satellite Links," Proc. of the 5th Int'l Con. on Telecom. Sys., 1997.

[17] C. Partridge, and T.J. Shepard, "TCP Performance over Satellite Links," IEEE Network, Sep.-Oct. 1997, pp.44-49.

[18] H. Kruse, M. Allman, J. Griner, S. Ostermann, and E. Helvey, "Satellite Network Performance Measurements Using Simulated Multi-User Internet Traffic," NASA Lewis Research Center.

[19] M. Allman, H. Kruse, and S. Ostermann, "An Application-Level Solution to TCP Satellite Inefficiencies," Ohio University in corporate with NASA Lewis Research Center.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้