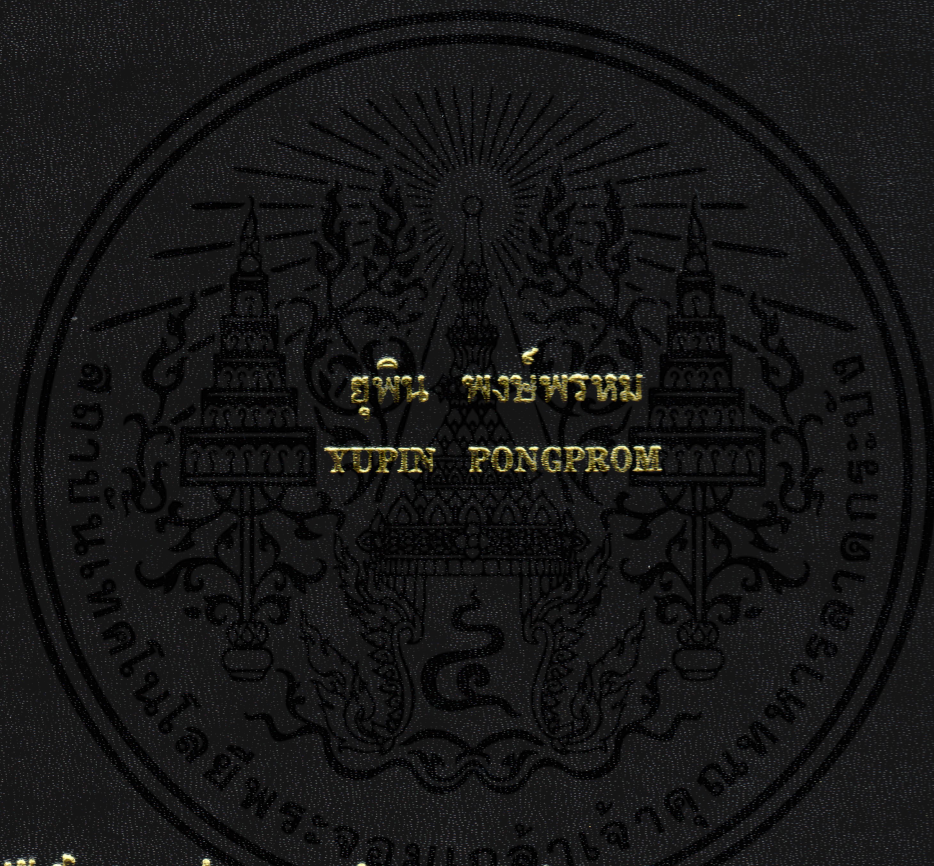


การศึกษาคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลส่งผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม
ในย่านความถี่ Ku-band

STUDY ON THE QUALITY OF DIGITAL VIDEO SIGNAL TRANSMISSION
THROUGH SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEM IN KU-BAND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-363-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลส่งผ่านระบบสื่อสารดาวเทียมใน
ย่านความถี่ Ku-band

STUDY ON THE QUALITY OF DIGITAL VIDEO SIGNAL TRANSMISSION
THROUGH SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEM IN KU-BAND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ และต้องขอรับรองเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2542

เลขหมู่.....

ISBN 974-622-363-1

เลขทะเบียน 32407

วัน, เดือน, ปี 2 3 เม.ย. 2542

**STUDY ON THE QUALITY OF DIGITAL VIDEO SIGNAL
TRANSMISSION THROUGH SATELLITE COMMUNICATIONS
SYSTEM IN KU-BAND**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1999

ISBN 974-622-363-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
"ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น" จึงขอรบกวนให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 1999
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณภาพของสัญญาณภาพดิจิทัลส่งผ่านระบบสื่อสารดาวเทียมในย่านความถี่ Ku-band
นักศึกษา นางสาวยุพิน พงษ์พรหม
รหัสประจำตัว 36061212
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ. 2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. ณรงค์ เหมกรณ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม Prof. Yoshiaki Moriya

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณภาพของการส่งสัญญาณภาพดิจิทัลและการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณรวมถึงอัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูล ผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการติดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม ณ. ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการรับและส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ในการทดลองได้ทำการรับส่งสัญญาณ เพื่อศึกษาและทดสอบคุณภาพของสัญญาณและอัตราการผิดพลาดของข้อมูลผ่านดาวเทียม โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กระทำใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรก เป็นการหาค่าคุณภาพของสัญญาณ ผ่านดาวเทียม ในลักษณะ Point-to-Point เพื่อหาค่าคุณภาพของสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล เป็นต้น และลักษณะประการที่สองคือ การศึกษาคุณภาพของสัญญาณผ่านดาวเทียมในลักษณะ วงกลับสัญญาณ (Loop Back) ที่ตัวดาวเทียม โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเช่นเดียวกับในลักษณะแรก จากการศึกษาวิจัยพบว่า เพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณผ่านดาวเทียม ควรใช้อัตราการเข้ารหัสในการส่งข้อมูลที่มากกว่า 384 กิโลบิตต่อวินาที และถ้าพิจารณาที่อัตราค่าความผิดพลาดที่อัตราเดียวกัน ที่อัตราการเข้ารหัสในการส่งข้อมูล 768 กิโลบิตต่อวินาที จะใช้ค่าระดับกำลังในการส่งข้อมูลน้อยกว่าที่อัตรา 1536 กิโลบิตต่อวินาที ประมาณ 3 เดซิเบล (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Study on the Quality Digital Video Signal Transmission through Satellite Communications System in Ku-band

Student Miss Yupin Pongprom

Student ID. 36061212

Degree Master of Engineering

Program Master of Engineering in Electrical Engineering

Year 1999

Thesis Advisor Assoc.Prof. Narong Hemmakorn

Thesis Co-Advisor Prof. Yoshiaki Moriya

ABSTRACT

This thesis presents the studies of digital, deviation of signal level, including error performance rate of digital transmission through satellite communication system. The satellite earth station workstation is installed at Telecommunication Department of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The receiving digital signal from JCSAT-3 is analyzed in two cases; First, to calculate the satellite signal with different variables such as transmission rate, transmission power by point-to-point between KMITL and CRL., The second, to study the Satellite Signal with different variable same the first. From the experiments, we found that to get good signal quality at the receiving side encoding rate must be more than 384 kbps. At the same bit error rate, the transmission power level of 768 kbps is approximately 3 dB less than the transmission power of 1536 kbps.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำแนะนำ ให้การปรึกษาและกำลังใจจากท่าน รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ , ผศ. นิภา ธีถารุจิ และ Prof. Yoshiaki Moriya จากมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศ ญี่ปุ่น และอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้ตลอดมา

ขอขอบคุณที่มงานจากหน่วยงาน CRL (Communications Research Laboratory), ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) และ Japan Satellite Inc. ที่ให้คำแนะนำ สนับสนุนเครื่องมือในการทดลองและจัดสรรเวลา, ความถี่ ในการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ในโครงการ Post-PARTNERS เพื่อการศึกษาวิจัยนี้

ขอขอบคุณที่ๆ คนใกล้ชิด และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และทุกสิ่งทุกอย่าง กับ ข้าพเจ้าจนมีความสำเร็จ ณ จุดนี้

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ยุพิน พงษ์พรหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 การสื่อสารดาวเทียม.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ระบบการเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน.....	5
2.3 สถานีภาคพื้นดิน.....	12
2.4 การส่งสัญญาณแบบดิจิทัล.....	19
2.5 Quadri-Phase Shift Keying (QPSK).....	25
2.6 โค้ชรีเรนท์ดีเทคชั่น.....	31
2.7 บิทและอัตราการผลิต.....	39
2.8 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและคุณภาพของสัญญาณ.....	44
2.9 การใช้งานระบบสื่อสารดาวเทียมกับเครือข่ายโทรทัศน์.....	52
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลอง.....	66
3.1 บทนำ.....	66
3.2 โครงสร้างของระบบ.....	67
3.3 ดาวเทียม JCSAT-3	70
3.4 คุณสมบัติเบื้องต้นของโครงการ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 คุณลักษณะทางด้านเทคนิค	73
3.6 เครื่องมือวัดในงานวิทยานิพนธ์.....	83
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	92
4.1 ระยะเวลาการทดลองในวิทยานิพนธ์.....	92
4.1.1 การทดลองในลักษณะส่งข้อมูลแบบ จุด ต่อ จุด	95
4.1.2 การทดลองในลักษณะส่งข้อมูลแบบวนกลับสัญญาณ.....	99
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	114
บรรณานุกรม.....	117
ภาคผนวก.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน.....	71
3.2 ค่าในการคำนวณการเชื่อมโยงเครือข่ายของสถานีความถี่ภาคพื้นดินที่เกี่ยวข้อง ประเทศไทย และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย....	76
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของการวัดค่าอัตราข้อมูลผิดพลาด และการวิเคราะห์สัญญาณ.....	92
4.2 ค่าระดับกำลังส่งสูงสุด ที่แต่ละอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลของสถานีภาคพื้นดิน	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า.....	5
2.2 ความหนาแน่นฟลักซ์จากแหล่งกำเนิด.....	6
2.3 การเชื่อมโยงระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน.....	8
2.4 ภาครับของสถานีภาคพื้นดิน.....	9
2.5 วงจรสมมูลย์ของภาครับ.....	9
2.6 บล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล.....	12
2.7 สายอากาศ.....	15
2.8 การติดตั้งงานสายอากาศโดยใช้วิธีต่างๆ.....	18
2.9 ผลการกรองแบบ Low Pass สัญญาณ NRZ.....	20
2.10 การส่งและการรับของพัลส์ Base band Zero ISI.....	22
2.11 ผลการกรองของเชิงความถี่ของวงจรกรอง Raised Cosine.....	23
2.12 รูปคลื่นและสเปกตรัมในระบบ PSK เมื่อใช้วงจรกรอง Raised Raised.....	25
2.13 Gray Code ที่ใช้ใน QPSK.....	26
2.14 วงจร โมดูเลท QPSK.....	26
2.15 เวกเตอร์ผลลัพธ์ของสัญญาณ QPSK.....	27
2.16 สัญญาณ QPSK ถูก Shife Phase.....	28
2.17 วงจรดีโมดูเลทสัญญาณ QPSK.....	28
2.18 การตีเทคสัญญาณ QPSK ออกมาเป็น BPSK 2 สัญญาณ.....	29
2.19 Keying Speed ในภาคส่งสัญญาณ.....	30
2.20 PSK เวกเตอร์และ Noise เวกเตอร์.....	30
2.21 เปรียบเทียบขนาดของ Noise ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิต.....	31
2.22 การรับสัญญาณ PSK ทางด้านรับ.....	32
2.23 สัญญาณ Out put หลังจากผ่าน LPF.....	32
2.24 การพิจารณารหัสเป็น 1 หรือ 0 โดย Sample hold.....	33
2.25 รหัสผิดเพี้ยนเนื่องจากเสียงรบกวน.....	33
2.26 บล็อกไดอะแกรมของ Coherent demodulator.....	34
2.27 หลักการของ Carrier recovery circuit.....	34
2.28 Carrier recovery Circuit และสัญญาณตามจุดต่างๆ.....	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 การทำงานของ phase locked loop.....	35
2.30 วงจรClock recovery.....	36
2.31 การผิดทางเฟส.....	36
2.32 คลื่นสัญญาณเมื่อผ่านวงจรหาความถี่.....	37
2.33 เปรียบเทียบ Output กรณี t1 และ t2 เป็นจุดเริ่ม.....	37
2.34 สัญญาณดิจิทัลหลังผ่านการดีโมดูเลท.....	38
2.35 วงจรดีโมดูเลทที่ใช้ ยูนิควีรด์.....	39
2.36 แผนภาพของระบบสื่อสารดิจิทัล.....	42
2.37 ตัวอย่างของเครื่องเข้ารหัสคอนไวชัน.....	44
2.38 ตัวอย่างการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนในกาลอครหัสซีเควินเซียล.....	44
2.39 ตัวอย่างการจัดกรุปของสัญญาณ โทรทัศน์.....	45
2.40 ตัวอย่างการใช้สัญญาณ FM หลายๆ คลื่นพาห์ ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน.....	46
2.41 ตำแหน่งอ้างอิงในวงจรสื่อสารดาวเทียม.....	49
2.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าของเครื่อง ขยายแบบหลอดคลื่นจร.....	50
2.43 ตัวอย่างของ C/No ของสัญญาณรบกวน ลิงค์น้อยส์ ที่ใช้เครื่องขยายแบบหลอด TWT.....	52
2.44 สเปคตรัมของสัญญาณ โทรทัศน์.....	54
2.45 บล็อกไดอะแกรมการบีบสัญญาณ.....	57
2.46 การจัดประชุมหลายแห่งพร้อมกันผ่าน MCU.....	58
2.47 บล็อก ไดอะแกรมของระบบ MCU.....	59
2.48 การแบ่งโชนการประชุมด้วย MCU.....	62
3.1 โครงร่างของการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ของโครงการ Post- PARTNERS.....	66
3.2 โครงร่างของระบบภาคพื้นดินที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ของโครงการ Post-PARTNERS.....	68
3.3 ลักษณะโดยรวมของระบบ TV Conference ที่ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3.....	69
3.4 รูปร่างลักษณะของสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3.....	70
3.5 พื้นที่ครอบคลุมการให้บริการของดาวเทียม JCSAT-3 ย่านความถี่ Ku.....	71

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ด้านหน้าของชุดอุปกรณ์ส่วนภายในอาคารของสถานีภาคพื้นดิน.....	78
3.7 ลักษณะด้านหลังและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประกอบของอุปกรณ์ภายในอาคารของ สถานีภาคพื้นดิน.....	79
3.8 งานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน.....	80
3.9 ภาพอุปกรณ์โดยรวม	80
3.10 ลักษณะเครื่องวัด BER, Delay Time.....	83
3.11 โครงสร้างหน้าจอเครื่อง Data Transmission Analyzer ในการวัดค่า BER.....	87
3.12 ตัวอย่างหน้าจอเครื่อง Data Transmission Analyzer ในการวัดค่าเวลาหน่วง.....	90
3.13 เครื่องวัด Spectrum Analyzer ในงานวิจัย.....	90
3.14 แสดงลักษณะเครื่องบันทึกสัญญาณ.....	91
4.1 โครงสร้างของระบบในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมในการประชุมทางไกล และใช้ในงานวิจัย.....	94
4.2 ระบบที่ใช้ในการทดลองระหว่าง KMITL และ CRL	95
4.3 ค่าคะแนนความพึงพอใจของนักศึกษา KMITL ที่ได้รับชมภาพจากการส่งจาก CRL	96
4.4 ค่า C/N ₀ ที่วัดได้ จากการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL ในโหมด CW.....	96
4.5 ค่า C/N ₀ ที่วัดได้ จากการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL ในโหมด CW เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2541.....	97
4.6 ค่าเฉลี่ยอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดจากการส่งของ CRL และทำการวัดที่ KMITL.....	97
4.7 ค่าอัตราบิตผิดพลาดจากการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL.....	98
4.8 ค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น จากการส่งของ CRL ที่อัตราความเร็ว 1536, 768, 512 กิโลบิตต่อ วินาที.....	98
4.9 โครงสร้างของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองลักษณะวงกลับ สัญญาณ.....	99
4.10 ค่ากำลังส่งสูงสุดและต่ำสุดที่ไม่เกิดค่าความผิดพลาดที่แต่ละอัตราความเร็วในการส่งข้อ มูล.....	100
4.11 ค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห้ต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ที่กำลังส่งสูงสุดในอัตราความเร็วนั้นๆ.....	100
4.12 ค่าแบนด์วิดท์ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล.....	101

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ค่าพลังงานต่อบิตที่ได้จากการคำนวณผลการทดลองที่ผ่านมา.....	101
4.14 ค่าเวลาน่วงที่เกิดขึ้นในการรับ-ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมที่แต่ละค่าอัตราความเร็ว ในการส่งข้อมูล.....	102
4.15 ค่า C/No ที่ทำการวัดจากการทดลองในโหมด CW.....	102
4.16 ค่า C/No ที่ทำการวัดจากการทดลองในโหมด CW โดยทำการวัดค่าทุก 5 นาที.....	103
4.17 เปรียบเทียบค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น ที่ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ต่างๆ.....	103
4.18 เปรียบเทียบค่า BER และ BLK ที่เกิดขึ้นที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล.....	104
4.19 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานต่อบิต กับอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น.....	104
4.20 ความสัมพันธ์ของค่า C/N กับอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น.....	105
4.21 เปรียบเทียบระดับ C/N ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลในกรณี ที่กำลังส่งที่ใช้เท่ากัน.....	105
4.22 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ในย่านความถี่ Ku เนื่องจากการตกของฝน.....	106
4.23 ค่าอัตราการตกของฝนสัมพันธ์กันกับรูป 4.22.....	106
4.24 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์ขณะทำการสนทนผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ระหว่าง KMITL กับ CRL.....	107
4.25 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 1.00E-08).....	107
4.26 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 7.16E-07).....	108
4.27 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 3.78E-06).....	108
4.28 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 2.51E-05).....	109
4.29 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 3.10E-04).....	109
4.30 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 9.79E-03).....	110

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31 ภาพที่รับผ่านจอโทรทัศน์จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณที่ดาวเทียม ที่ KMITL (BER = 3.35E-02).....	110
4.32 ลักษณะสัญญาณที่ทำการวัดโดยสเปกตรัม ขณะทำการติดต่อสื่อสารกันระหว่าง KMITL กับ CRL.....	111
4.33 ลักษณะการวัดค่า C/No ในโหมด CW โดยสเปกตรัม ขณะทำการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL.....	111
4.34 ลักษณะการวัดค่า BER ที่เกิดขึ้น ขณะทำการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL.....	112
4.35 ลักษณะการวัดค่า BER ที่เกิดขึ้น เป็นจำนวนมากๆ หรือ ไม่สามารถติดต่อได้ขณะทำการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL.....	112
4.36 ลักษณะการวัดค่า เวลาหน่วง.....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การใช้บริการทางด้านการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะสามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้ตามต้องการ แม้กระทั่งในทะเลหรือในชนบทที่ห่างไกล ประเทศไทยเองก็มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศมาก มีฝนตกโดยเฉลี่ยค่อนข้างสูงมาก ซึ่งการที่มีฝนตกมากนี้ จะทำให้มีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ที่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรต์ (เช่น ย่าน Ku) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องศึกษาโดยทำการทดลองและเก็บข้อมูลค่าการวัดคุณภาพของสัญญาณผ่านดาวเทียมร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศในขณะเดียวกันนั้นเพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์พิจารณาเพื่อศึกษาคุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นผ่านดาวเทียมในย่านความถี่สูง และเพื่อพิจารณาหาค่ากำลังงานที่ใช้ในการส่งและอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลให้เหมาะสมในการติดต่อสื่อสารผ่านระบบ วิทยุคอนเฟอร์เรนซ์ เพื่อให้ได้ค่าคุณภาพของสัญญาณภาพที่ดี เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศนั้นๆ โดยเฉพาะในประเทศไทยแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อที่จะได้มีการพัฒนาและใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ จึงได้เกิดมีโครงการ Post-PARTNERS ขึ้น ซึ่งเป็นโครงการงานศึกษาวิจัยพัฒนาด้านการสื่อสารดาวเทียม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ระบบสื่อสารดาวเทียมมีบทบาทอย่างมากในสังคมปัจจุบัน การส่งข่าวสารข้อมูล สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง เมื่อส่งผ่านดาวเทียม สัญญาณจะถูกส่งผ่านชั้นบรรยากาศและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ หรือมีการเปลี่ยนแปลงของเมฆหรืออัตรการตกของฝนก็จะมีผลกระทบ วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการศึกษาวิจัยคุณภาพของสัญญาณภาพผ่านดาวเทียม ในย่านความถี่ Ku-band ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบจากการตกของฝนเป็นอย่างมาก คุณภาพของสัญญาณดาวเทียม สามารถพิจารณาได้จาก อัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ ว่ามีการผิดพลาดไปเท่าไร เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปรที่สำคัญ ที่มีผลกระทบกับคุณภาพของสัญญาณภาพผ่านดาวเทียม อีกทั้งหาค่ากำลังส่ง และอัตรการเข้ารหัสการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณที่ดีในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งในส่วนของความถี่ในย่าน C-band ผลกระทบเหล่านี้อาจมีน้อย แต่ในย่านความถี่ Ku จะได้รับผลกระทบอย่างมากจากชั้นบรรยากาศ ดังนั้นจึงต้องศึกษาหาความเหมาะสมว่า การส่งสัญญาณผ่าน

ดาวเทียมควรใช้กำลังส่งของเครื่องส่งทำไร การเข้ารหัสข้อมูลควรเข้าที่อัตราการเข้ารหัสทำไร เพื่อเป็นการประหยัด แต่ได้คุณภาพของสัญญาณที่ดีตามต้องการ

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณผ่านดาวเทียม ในเรื่องการวัดอัตราการผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำการวิเคราะห์เป็นเป็นครั้ง ในแต่ละช่วงเวลาที่มีการจัดสรรเวลาและช่องสัญญาณของดาวเทียมให้ สถานีภาคพื้นดินสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ใช้ โดยในการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนค่ากำลังส่งและอัตราการเข้ารหัสในการส่งข้อมูลให้เหมาะสมในแต่ละครั้ง และเก็บเป็นสถิติร่วมกับตัวแปรที่สำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการผิดพลาดของข้อมูลผ่านดาวเทียม ย่านความถี่ Ku ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการศึกษานี้ และข้อมูลที่ได้นี้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ในการกำหนดค่า ต่างๆ บนตัวดาวเทียม เพื่อให้ใช้กำลังงานและอัตราการเข้ารหัสของข้อมูลที่ส่งได้อย่างเหมาะสมที่สุดและคุณภาพสัญญาณที่ดีที่สุดได้อย่างเหมาะสม กับสภาพภูมิประเทศ อีกทั้งประเทศไทยเอง อาจจะมีการศึกษาและทดลองเก็บข้อมูลถึงเรื่องอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดขึ้น ในการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมน้อยมากและไม่มีมีการเผยแพร่ ดังนั้นจึงหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็ประโยชน์ในการศึกษาพัฒนาต่อได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

โครงการ Post-PARTNERS (Pan-Pacific Regional Telecommunication Network Experiment and Research by Satellite) เป็นโครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยความร่วมมือกันระหว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ประเทศไทย) กับสถาบันพัฒนาสื่อการเรียนการสอนระบบมัลติมีเดีย (NIME; National Institute of Multimedia) เพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาการเรียนการสอนทางไกลผ่านดาวเทียม, และร่วมกับสถาบันพัฒนางานวิจัยทางด้านสื่อสารของประเทศญี่ปุ่น (CRL; Communication Research Laboratory) เพื่องานทางด้านพัฒนางานวิจัยทางด้านสื่อสารผ่านดาวเทียม และประเทศอื่นในทวีปเอเชีย โดยโครงการนี้เริ่มในปี 2540 ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งวงโคจรที่ 128 องศาตะวันออก โดยในวิทยานิพนธ์นี้ติดตั้งสถานีภาคพื้นดินที่ ดึกโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยมุมอติเวชัน 54.6 องศา และมุมอะซิมูท 114.6 องศา ใช้ความถี่ย่าน Ku (12.5-14.5 กิกะเฮิร์ต) ในการติดต่อสื่อสาร โดยเป้าหมายงานทดลองวิจัยของโครงการ อย่างแรกคือ ระบบการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม, การเรียนการสอนทางไกลผ่านดาวเทียมและงานทางด้านการแพทย์ผ่านดาวเทียม เป้าหมายที่สองคือ การสาธิตการสื่อสารระบบมัลติมีเดียโดยผ่านเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ ที่ต่อเข้ากับวงจรสื่อสารความเร็วสูง และเป้า

หมายที่สามของโครงการ คือ การแพร่กระจายของปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีผลกระทบต่อการศึกษา ในเรื่องของการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้นจึงได้ทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินและอุปกรณ์ต่างๆในการทดลองเพื่อวัดและเก็บข้อมูลขึ้น ที่ตึกโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยในส่วนของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานศึกษาวิจัยที่เป้าหมายแรกของโครงการ โดยเป็นการศึกษาคุณภาพสัญญาณในระบบการประชุมทางไกล และการเรียนการสอนทางไกลผ่านดาวเทียม โดยในการทดลองเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้กระทำการรับส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมร่วมกับประเทศญี่ปุ่น ผ่านวงจรการสื่อสารดาวเทียม JCSAT-3 โดยสถานีภาคพื้นดินที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารนี้สามารถที่จะปรับกำลังในการส่งได้ตั้งแต่ 17-38.2 dBm. และค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ตั้งแต่ 64-2048 กิโลบิตต่อวินาที (แต่ค่าปกติของระบบที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารจะใช้ที่ 1536 กิโลบิตต่อวินาที)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

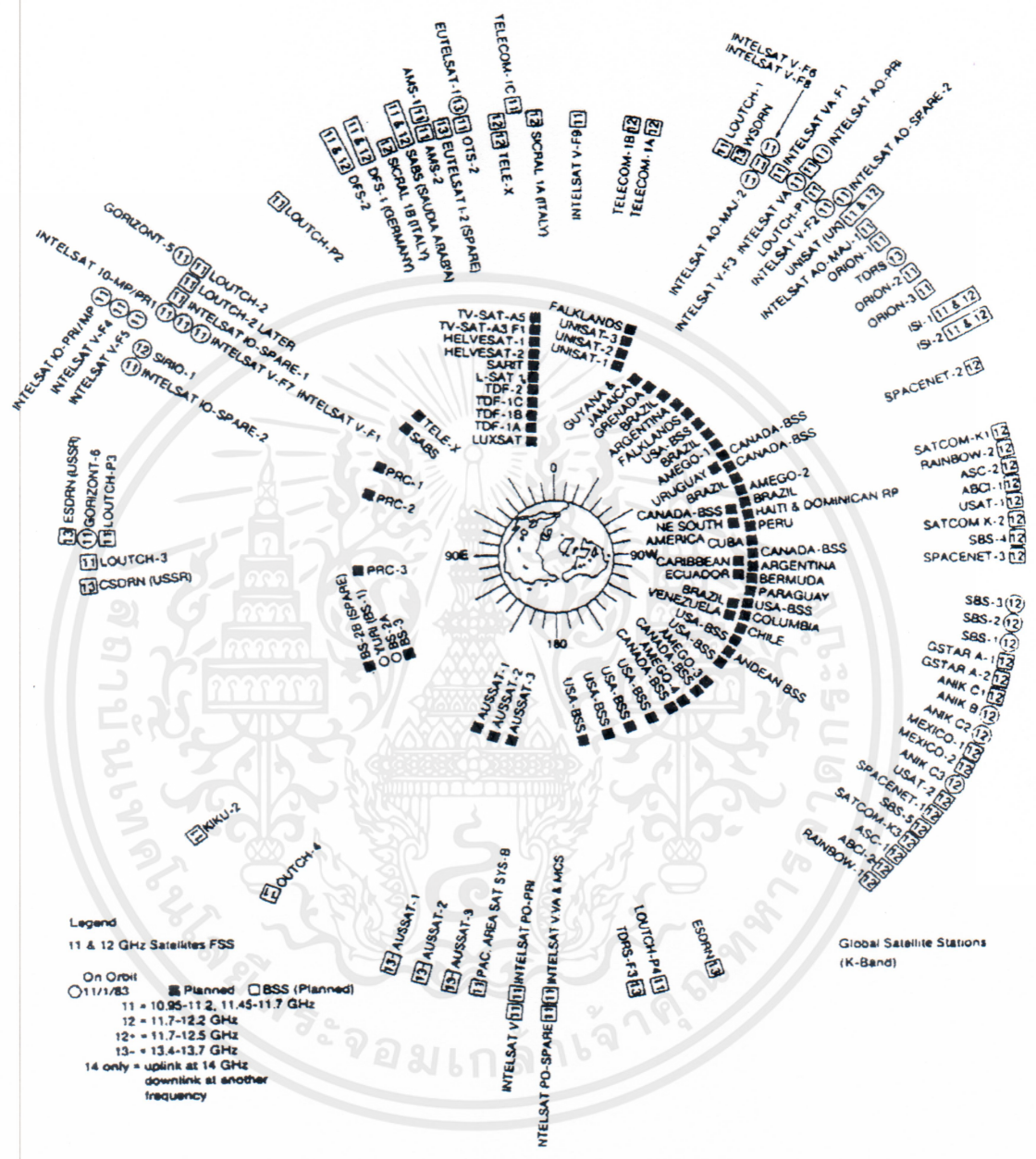
บทที่ 2

การสื่อสารดาวเทียม

2.1 บทนำ

ดาวเทียมสื่อสารมีหน้าที่ในการให้บริการงานสื่อสารต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์ , สัญญาณภาพ และการสื่อสารข้อมูลในการออกแบบระบบสื่อสารของดาวเทียมนั้น การสื่อสารขาลง (Down link) จากดาวเทียมลงไปยังสถานีภาคพื้นดินเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากระยะจากดาวเทียมและโลกมีค่าประมาณ 36,000 กิโลเมตร ดังนั้น สัญญาณที่รับได้บนพื้นโลกจะมีค่าอยู่ในระดับเพียง 10^{-10} วัตต์ โดยที่สัญญาณซึ่งสถานีภาคพื้นดินจะนำไปใช้ได้นั้น จะต้องมีย่ออัตราส่วนของสัญญาณข่าวสารต่อสัญญาณข้อมูลอยู่ในระดับ 5-25 dB ขึ้นอยู่กับแบนด์วิด (Bandwidth) และชนิดของการมอดูเลต (Modulation) ดาวเทียมในยุคแรก ๆ นั้น จะประกอบไปด้วยทรานส์พอนเดอร์ที่มีแบนด์วิด 250 หรือ 500 MHz โดยมีระบบสายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำ และภาคส่งออกซึ่งส่งกำลังออกเพียง 1 หรือ 2 วัตต์ ดังนั้น สถานีภาคพื้นดินจึงไม่สามารถรับสัญญาณแบบแบนด์วิดกว้างได้ เพราะทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) มีค่าต่ำจนใช้งานไม่ได้ ดังนั้น ในดาวเทียมรุ่นใหม่ ๆ จึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของแบนด์วิด โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Spacial Frequency Reuse และ Polarization Frequency Reuse ดังเช่น ดาวเทียม Intelsat V ซึ่งใช้งานโดยมีแบนด์วิดในย่าน C-band 500 MHz และย่าน Ku-band 250 MHz แต่จะมีแบนด์วิดประสิทธิผลรวม 2,250 MHz

องค์กรที่ควบคุมเรื่องของตำแหน่งของดาวเทียมและความถี่ใช้งาน ได้แก่ FCC (Federal Communication Commission) ดาวเทียมที่ใช้งานในย่าน 6/4 GHz และย่าน 14/11 GHz มีวงโคจรดังแสดงในรูปที่ 2.1 [11]



รูปที่ 2.1 วงโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน (Satellite Link)

การออกแบบระบบสื่อสารดาวเทียมนั้น เป็นเรื่องที่ซับซ้อนและยุ่งยากมากต้องคำนึงถึงปัจจัยและผลกระทบในหลาย ๆ ด้าน เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพของการสื่อสารที่สูงสุดในราคายอมรับได้ ปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึงก็มีดังเช่น

1. น้ำหนักของตัวดาวเทียม
2. แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าบนดาวเทียม
3. ย่านความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสาร
4. ขนาดของสายอากาศทั้งที่ภาคพื้นดินและบนดาวเทียม
5. เทคนิคในการใช้งานตัวดาวเทียมร่วมกันระหว่างสถานีภาคพื้นดินหลาย ๆ แห่ง

ทฤษฎีพื้นฐานทางการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การคำนวณกำลังงานที่รับได้โดยสถานีภาคพื้นดินนั้น เป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการสื่อสารดาวเทียม ในส่วนนี้ เราจะมาพิจารณาถึงการคำนวณความหนาแน่นของพลังงานต่อพื้นที่และสูตรการส่งผ่านของ Friis

พิจารณาจากรูปที่ 2.2 [11] ซึ่งแสดงความหนาแน่นฟลักซ์จากแหล่งกำเนิดแบบ Isotropic จะได้ว่าที่ระยะห่าง R จะมีความหนาแน่นของพลังงานดังสมการ

$$F = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2 \quad (2.1)$$

โดย P_t เป็น กำลังงานที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด

ในทางปฏิบัติ จะใช้สายอากาศที่มีเกน G_t เป็นตัวขับส่งพลังงานอีกต่อหนึ่ง ดังนั้น ความหนาแน่นของพลังงานต่อพื้นที่ในที่นี้จะเป็น

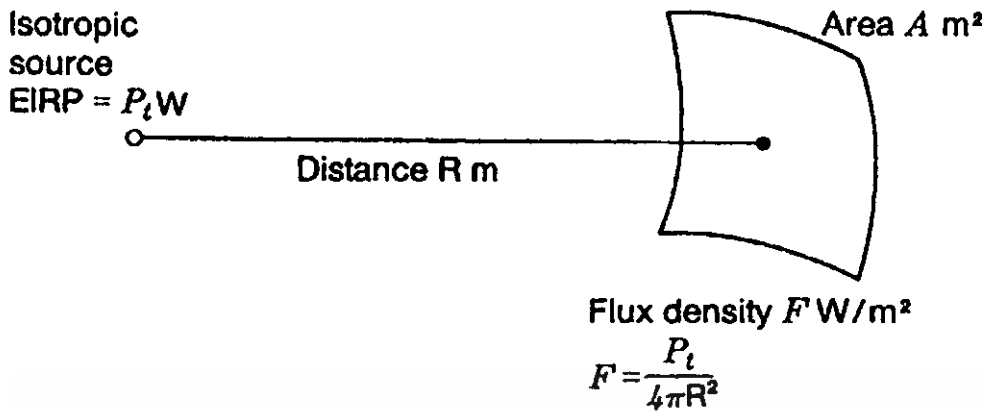
$$F = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2 \quad (2..2)$$

โดยที่ผลคูณ $P_t G_t$ เรียกว่า EIRP (Effective Isotropically Radiated Power)

สำหรับสายอากาศรับที่มีพื้นที่ประสิทธิภาพในการรับ (Aperture) พื้นที่ $A(\text{m}^2)$ จะมีพลังงานเป็น

$$P_r = FA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความหนาแน่นฟลักซ์จากแหล่งกำเนิดแบบ Isotropic

ในทางปฏิบัติ ระบบสายอากาศที่มีพื้นที่รับทางกายภาพเป็น A_r แต่ค่าของพื้นที่ประสิทธิภาพ A_e มีค่าน้อยกว่า A_r เสมอ ตามความสัมพันธ์

$$A_e = \eta A_r \quad (2.3)$$

โดย η เป็นค่าประสิทธิภาพของพื้นที่รับคลื่น (Aperture Efficiency) จะได้ว่า

$$P_r = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2} \quad (2.4)$$

และความสัมพันธ์พื้นฐานของสายอากาศ

$$G_r = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.5)$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นที่ใช้งาน

เมื่อแทนค่า A_e ของสมการ (2.5) ในสมการ (2.4) จะได้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{[4\pi R/\lambda]^2} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ซึ่งเรียกว่าสูตรส่งผ่านของ Friis โดยเทอม $(4\pi R/\lambda)^2$ นี้สามารถนิยามเป็นค่าการสูญเสีย
ระหว่างทาง (Path loss หรือ L) เมื่อเขียนในหน่วยของเดซิเบลได้เป็น

$$P_r = \text{EIRP} + G_r - L_p \quad \text{dBW} \quad (2.7)$$

โดยที่ $\text{EIRP} = 10 \log_{10}(P_t G_t)$, $G_r = 10 \log [4\pi A_r / \lambda^2]$ และ $L_p = 20 \log_{10}[4\pi R / \lambda]$

นอกจากนี้ ถ้าคำนึงถึงการสูญเสียที่เกิดในชั้นบรรยากาศ Atmosphere และการสูญเสียที่สายอากาศรับและสายอากาศส่ง จะเขียนสมการ (2.7) ใหม่ได้เป็น

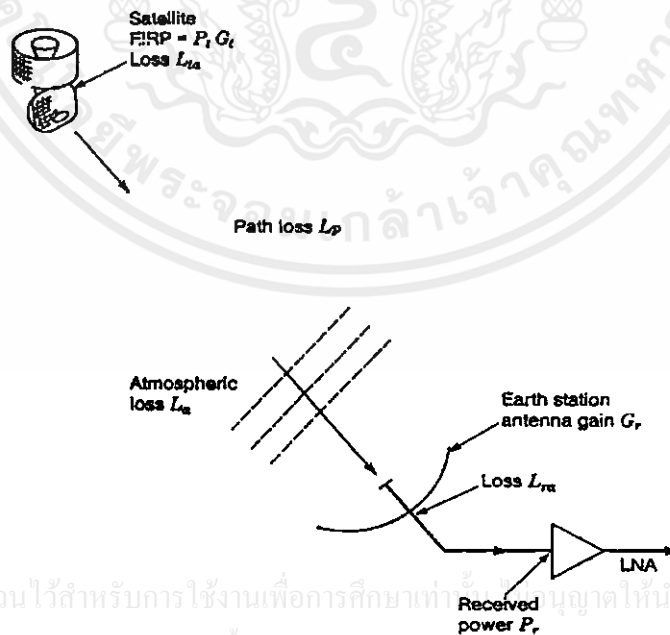
$$P_r = \text{EIRP} + G_r - L_p - L_a - L_{ra} - L_{ra} \quad (2.8)$$

โดยที่ L_a เป็นการสูญเสียในชั้นบรรยากาศ Atmosphere

L_{ra} เป็นการสูญเสียที่สภาพอากาศขาลง และ

L_{ra} เป็นการสูญเสียที่สายอากาศรับ

ปรากฏการณ์ตามสมการ (2.8) นี้แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 [11] นอกจากนี้ค่าของ L_a , L_{ra} และ L_{ra} ยังสามารถเรียกว่า Link Power Budget และพลังงานที่รับได้ P_r บางครั้งยังสามารถเรียกว่า พลังงานของคลื่นพาห์ เนื่องจาก โดยทั่วไประบบสื่อสารดาวเทียมจะใช้การมอดูเลตแบบ FM สำหรับระบบแอนะล็อก และการมอดูเลตแบบ PSK หรือ FSK สำหรับระบบดิจิทัล การมอดูเลตในระบบดิจิทัลจะมีผลให้ขนาด (Amplitude) ของคลื่นพาห์คงที่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้พลังงานของคลื่นพาห์มีค่าเท่ากับพลังงานของคลื่นที่รับได้



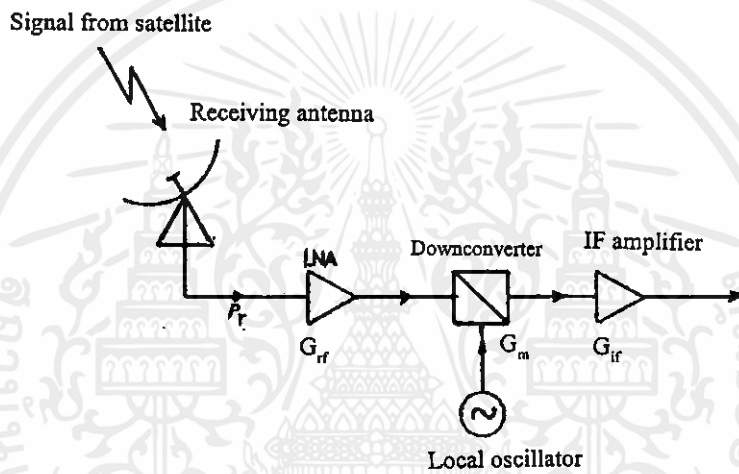
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน

การคำนวณอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนในระบบและอัตราส่วน G/T
 พลังงานของสัญญาณรบกวนทางความร้อนทั่วไปให้ไว้ตามสมการ

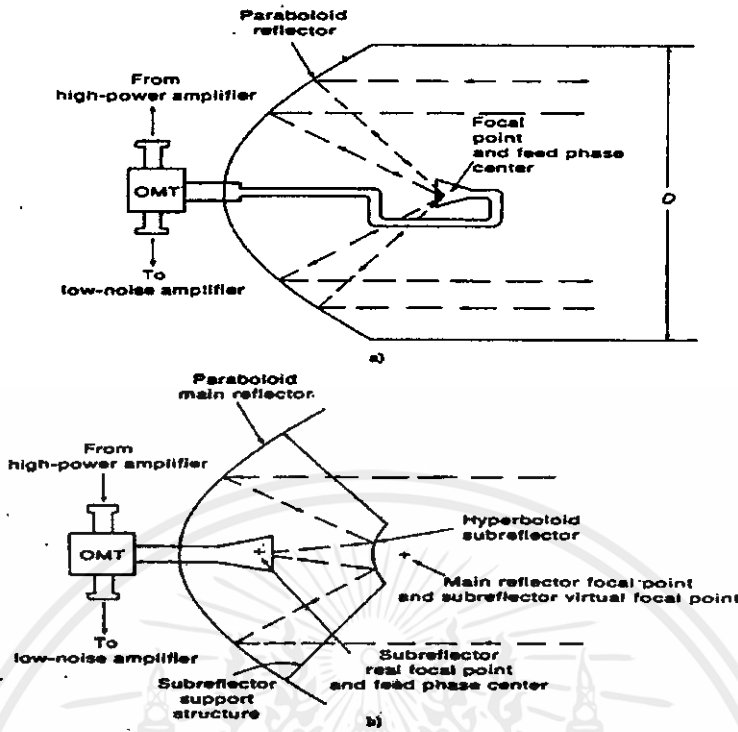
$$P_n = kT_n B \quad (2.9)$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/K หรือ -228.6 dBw/K/Hz, T_n เป็นอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนในหน่วยเคลวิน และ B เป็นแบนด์วิดท์ที่ใช้งานในหน่วย Hz โดยที่สูตรนี้ใช้งานได้สำหรับความถี่ที่ต่ำกว่า 300 GHz



รูปที่ 2.4 ภาครับของสถานีภาคพื้นดิน

สำหรับการคำนวณอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนของระบบจากรูปที่ 2.4 [11] และรูปที่ 2.5 [11] โดยที่รูปที่ 2.5 a แสดงส่วนขยาย และ Down converter มีสัญญาณรบกวนถูกแทนที่ด้วยส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนทางด้านขาเข้าของแต่ละตัว และ รูปที่ 2.5 b แสดงส่วนขยาย และ Down converter ที่มีสัญญาณรบกวนถูกแทนที่ด้วยส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนทางด้านขาเข้าเพียงตัวเดียว



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของภาครับ

- a) ส่วนของภาครขยายและ Down converter ที่มีสัญญาณรบกวนถูกแทนที่ด้วยส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนทางด้านขาเข้าของแต่ละตัว
- b) ส่วนของภาครขยายและ Down converter ที่มีสัญญาณรบกวนถูกแทนที่ด้วยส่วนของภาครขยายที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนทางด้านขาเข้าเพียงตัวเดียว กำลังงานของสัญญาณรบกวนทั้งหมดที่ขาออก IF Amplifier จะมีค่าเป็น

$$P_n = G_{IF} k T_{IF} B + G_{IF} G_m k T_M B + G_{IF} G_m G_{RF} k B (T_{RF} + T_m) \tag{2.10}$$

โดยที่ G_m , G_m และ G_{RF} เป็นอัตราขยายของ IF Amplifier Mixer และ RF Amplifier ตามลำดับ T_m , T_m และ T_{RF} เป็นอุณหภูมิของ IF Amplifier, Mixer และ RF Amplifier ตามลำดับ ส่วน T_m เป็นอุณหภูมิที่เข้าของสายอากาศ

สมการ (2.10) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$P_n = G_{IF} G_m G_{RF} k B \left[T_{RF} + T_m + \frac{T_m}{G_{RF}} + \frac{T_{IF}}{G_m + G_{RF}} \right] \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากล่าวถึงสมมติให้ T_s เป็นอุณหภูมิสัญญาณรบกวนของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.5 b

$$P_n = G_{IF} G_m G_{RF} k B T_s \quad (2.12)$$

เปรียบเทียบกับสมการ (2.11) กับ (2.12) จะได้อุณหภูมิสัญญาณรวมของระบบเป็น

$$T_s = T_{RF} + T_m + \frac{T_m}{G_{RF}} + \frac{T_{IF}}{G_m G_{RF}} \quad (2.13)$$

สำหรับในภาคขยายใด ๆ ที่มีค่า Noise Figure เป็น NF โดย

$$NF = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} \quad (2.14)$$

เราจะสามารถเทียบค่า NF นี้ให้เป็นเสมือนอุณหภูมิสัญญาณรวม T_d ตามสมการ

$$T_d = T_0(NF-1) \quad (2.15)$$

โดยที่ T_0 เป็นอุณหภูมิอ้างอิงที่ 290 K

จากที่ผ่านมาระหว่างเราสามารถหาค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณคลื่นพาห์ C ต่อสัญญาณรบกวน N ได้เป็น

$$\frac{C}{N} = \frac{P_t G_t G_r}{k T_s B} \left[\frac{\lambda}{4\pi R^2} \right]^2 = \frac{P_t G_t}{k B} \left[\frac{\lambda}{4\pi R^2} \right]^2 \frac{G_r}{T_s} \quad (2.16)$$

จะเห็นว่าค่า C/N แปรผันตรงกับ G_r/T_s ดังนั้นค่า G_r/T_s หรือเรียกสั้น ๆ ว่าค่าอัตราส่วน G/T จึงเป็นค่าที่บ่งบอกได้ถึงสมรรถนะในการรับสัญญาณของสถานีภาคพื้นดิน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Figure of Merit

การออกแบบระบบเชื่อมโยงการสื่อสารขาลง มีความต้องการในประเด็นใหญ่ ๆ 2 ประการ คือ

1. เพื่อให้เกิดความแน่ใจได้ว่าระบบการเชื่อมโยงสื่อสารนี้จะสามารถจัดสรรระดับกำลังสัญญาณและค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณข่าวสารต่อสัญญาณรบกวน S/N ให้มีค่าที่เหมาะสมเพียงพอ ในระยะเวลาที่ต่อเนื่องกัน (เกินกว่า 99.9 % ของเวลาทั้งหมด)
2. เพื่อให้จำนวนช่องสัญญาณที่จะใช้ได้มีค่าสูงสุด โดยมีค่าใช้จ่ายทางการก่อสร้างสถานีภาคพื้นดินและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาไม่มากนัก

สำหรับความต้องการในข้อแรกนั้น เรื่องที่จะต้องคำนึงถึงก่อนอื่นใดก็คือ จะต้องออกแบบให้ได้ค่า C/N มีค่ามากพอ เพื่อที่อุปกรณ์ภาคพื้นดินจะทำงานได้อย่างเหมาะสม จากนั้นจึงใช้เทคนิคทางด้านมอดูเลต หรือการจัดการบางอย่างกับสัญญาณ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่า S/N ที่มีค่าสูงกว่าค่า C/N มากเพียงพอ โดยเรียกค่าที่สูงขึ้นมาจากค่า C/N นี้ว่า S/N Improvement มอดูเลตที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น แบบ FM สำหรับระบบแอนะล็อก และแบบ PSK สำหรับระบบดิจิทัล นอกเหนือจากนี้ก็ยังมีการมอดูเลตแบบอื่น ซึ่งเริ่มเป็นที่นิยมใช้กัน เช่น CSSB (Companded Single Side Band)

สำหรับความต้องการในข้อที่ 2 ของงานออกแบบการเชื่อมโยงขาลงนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยในหลาย ๆ ด้าน เช่น ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับระบบงานสายอากาศและชุดอุปกรณ์ที่ภาครับของสถานีภาคพื้นดิน, ความแม่นยำที่ขงตรงของระบบ Tracking และสถานที่ตั้งของสถานีภาคพื้นดิน นอกจากนั้นก็ยังต้องพิจารณาถึงรายละเอียดทางด้านมอดูเลต และการเข้าใช้ความถี่ร่วมกันของสถานีภาคพื้นดินหลาย ๆ แห่ง

การออกแบบระบบเชื่อมโยงการสื่อสารขาขึ้น (Up link)

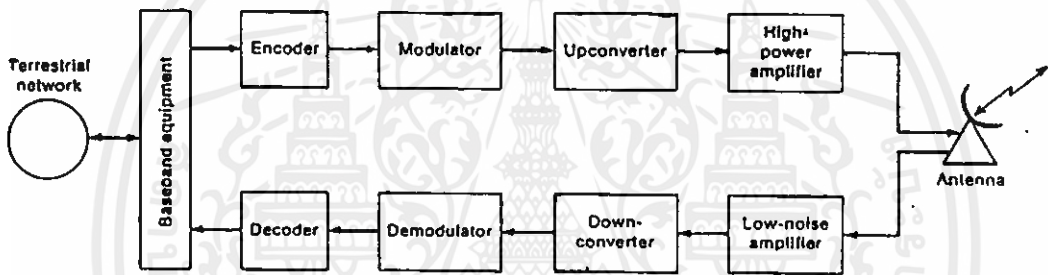
ในการออกแบบเชื่อมโยงขาขึ้น (Up link) นับได้ว่ากระทำได้ง่ายกว่าการออกแบบระบบการเชื่อมโยงขาลง (Down link) มาก ทั้งนี้ เนื่องจากที่ทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียมนั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงค่ากำลังงานของคลื่นที่จะต้องรับได้เป็นค่าแน่นอนในช่วงหนึ่ง ๆ และที่สถานีภาคพื้นดินเองก็มีศักยภาพที่ไม่จำกัด ในการจัดหากำลังงานเพื่อใช้ในการส่งออกให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานของทรานส์พอนเดอร์ในดาวเทียม

ทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียมนั้นมีภาคขยายที่จัดได้ว่าเป็น แบบ Quasi Linear โดยที่ค่าของกำลังสัญญาณที่รับได้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับของกำลังสัญญาณขาออก ตามปกติในทรานส์พอนเดอร์จะมีภาคขยายกำลัง (HPA หรือ High Power Amplifier) โดยใช้หลอด TWT (Travelling Wave Tube) เป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อมีการใช้งานการเข้าถึงแบบ FDMA แล้วตัว HPA เองจะต้องทำงานที่จุดต่ำกว่าจุดอิ่มตัวด้วยค่า Output Backoff ค่าหนึ่งเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนแบบ Inter modulation โดยปกติค่า Output Backoff นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3-7 dB โดยสามารถควบคุมได้จากกำลังสัญญาณที่ทรานส์พอนเดอร์รับได้ซึ่งส่งมาจากสถานีภาคพื้นดิน และความแม่นยำของการควบคุมระดับกำลังสัญญาณก็เป็นเรื่องที่สำคัญมาก โดยที่มาตรฐานของ Intelsat ได้กำหนดไว้ให้มีค่าความผิดพลาดได้ไม่เกิน 0.5 dB สำหรับการทำงานในแบบ FDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station)

ระบบดาวเทียม ประกอบด้วยตัวดาวเทียมซึ่งอยู่ในอวกาศที่จะติดต่อกับสถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) หลาย ๆ สถานีบนพื้นดิน โดยผู้ส่งต้องนำสัญญาณความถี่เบสแบนด์ที่ต้องการส่งไปยังวงจรถ่ายทอดที่ตัดตอนให้สัญญาณนี้ถูกยิงไปยังดาวเทียมผ่านทางสถานีภาคพื้นดิน ที่สถานีภาคพื้นดิน สัญญาณเบสแบนด์จะถูกมอดูเลตโดยความถี่วิทยุ (Radio Frequency หรือ RF) เพื่อส่งไปยังดาวเทียม เราอาจมองดาวเทียมเสมือนกับสถานีทวนสัญญาณขนาดใหญ่ในอวกาศโดยจะรับสัญญาณ RF ที่ถูกมอดูเลตจากสถานีภาคพื้นดินในความถี่ขาขึ้น และขยายแล้วก็ส่งกลับมายังโลกในความถี่ขาลงซึ่งมีความถี่ต่างจากความถี่ขาขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน จากนั้นสถานีภาคพื้นดินก็จะแปลงความถี่ RF ที่ได้รับกลับมาเป็นสัญญาณความถี่เบสแบนด์ครั้งหนึ่งแล้วผ่านวงจรถ่ายทอดให้ออกไปยังผู้ใช้บริการ



รูปที่ 2.6 บล็อก ไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

สัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในรูปของเลขฐานสองจากวงจรถ่ายทอดจะเข้าไปยังด้านส่งของสถานีภาคพื้นดิน และถูกดำเนินการต่าง ๆ เช่น การมอดูเลตเฟส เป็นต้น โดยอุปกรณ์ย่านความถี่เบสแบนด์ เพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังดาวเทียมได้อย่างเหมาะสม สัญญาณรบกวนและความไม่เป็นอุดมคติของช่องสัญญาณสื่อสารต่าง ๆ จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ในข่าวสารที่ถูกส่งไป และจะเป็นตัวจำกัดอัตราการส่งข้อมูล ถ้าอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่เกินจะรับได้ ก็จะมีการใส่รหัสเลขฐานสองไปยังสายข้อมูลพิเศษเหล่านี้ไม่มีข่าวสารแต่อย่างใด แต่จะถูกใช้เพื่อจำกัดหรือลดอัตราการผิดพลาดของข้อมูล

เพื่อที่ส่งสัญญาณข่าวสารดิจิทัลความถี่เบสแบนด์ ผ่านไปยังช่องสัญญาณดาวเทียม เราจึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของคลื่นพาห้ในความถี่ที่เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณ วิธีการนี้เรียกว่าการมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห้แบบดิจิทัล (Digital Carrier Modulation) หน้าที่ของตัวมอดูเลเตอร์คือ รับสายข้อมูลจากตัวอักษรเข้ารหัสและมอดูเลตไปยังสัญญาณความถี่ IF

(Intermediate Frequency) ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้น ความถี่ IF จะมีค่า 70 MHz สำหรับช่องสัญญาณที่ใช้ทรานส์พอนเดอร์กว้าง 36 MHz และความถี่ IF 140 MHz สำหรับช่องสัญญาณที่ใช้ทรานส์พอนเดอร์กว้าง 54 MHz หรือ 72 MHz การที่ต้องมีความถี่ IF ก่อนนั้นก็เพื่อลดความยุ่งยากในการสร้างเครื่องมอดูเลเตอร์ความถี่ RF โดยตรง เนื่องจากการสร้างเครื่องขยายที่มีความถี่สูงมาก ๆ นั้นเป็นไปได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

สัญญาณ IF ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่ตัวแปลงความถี่ขาขึ้นเพื่อแปลงความถี่ IF ให้เป็นความถี่ RF ในขาขึ้นไปยังดาวเทียม จากนั้นจะถูกขยายกำลังโดยเครื่องขยายที่มีกำลังสูง (High Power Amplifier หรือ HPA) เพื่อส่งไปยังดาวเทียม

ในภาครับนั้น สายอากาศจะรับสัญญาณ RF ขนาดเล็กมาจากดาวเทียม เราจึงต้องขยายสัญญาณนี้ด้วยภาคสัญญาณที่มีระดับของสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier หรือ LNA) เพื่อให้ค่า S/N (Signal - to - Noise Ratio) ของสัญญาณดีขึ้น ค่าบิดผิดพลาดจึงลดน้อยลง ภาคแปลงความถี่สัญญาณขาตงจะรับสัญญาณ RF ที่ถูกขยายแล้วมาเปลี่ยนเป็นความถี่ IF สำหรับเหตุผลในการใช้ความถี่ IF นั้นก็เหมือนกับตอนส่ง สัญญาณ IF จะถูกป้อนไปยังภาคดีมอดูเลเตอร์ซึ่งจะดีมอดูเลตเอาข้อมูลออกมาจากคลื่น IF อัตราบิดผิดพลาดจากภาคดีมอดูเลเตอร์นั้นขึ้นกับอัตราส่วนของคลื่นพหุกับสัญญาณรบกวน คุณสมบัติของช่องสัญญาณดาวเทียม และวิธีการตรวจจับหรือสัญญาณ ภาคถอดรหัสสัญญาณทำหน้าที่ตรงข้ามกับภาคเข้ารหัส เนื่องจากขั้นตอนของสัญญาณที่ถูกเก็บออกมาจากภาคดีมอดูเลเตอร์อาจมีข้อผิดพลาด ดังนั้น ตัวถอดรหัสจะต้องมีรหัสเดียวกับตัวเข้ารหัส ซึ่งก็จะมีความสามารถในระดับหนึ่งในการแยกสัญญาณข่าวสารหรือสัญญาณรบกวนเมื่อได้สัญญาณข่าวสารมาแล้วก็จะถูกป้อนให้อุปกรณ์ในข่ายความถี่เบสแบนด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำการจัดการต่อไป

ในทางปฏิบัติแล้ว เราสามารถแบ่งสถานีภาคพื้นดินออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนของความถี่ RF ซึ่งประกอบด้วยตัวแปลงความถี่ขึ้นและตัวแปลงความถี่ลง (Up Converter และ Down Converter) ภาคขยายสัญญาณ RF ที่มีกำลังสูง high Power Amplifier หรือ HPA) ภาคขยายสัญญาณ RF ที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier หรือ LNA) และสายอากาศ
2. ส่วนของความถี่เบสแบนด์ ประกอบด้วย อุปกรณ์เบสแบนด์ต่างๆ เช่น ตัวเข้ารหัส (Encoder) ตัวถอดรหัส (Decoder) ตัวมอดูเลต (Modulator) และตัวดีมอดูเลต (Demodulator) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จานสายอากาศ (Antenna)

สายอากาศที่ใช้ในสถานีภาคพื้นดินเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในส่วนของอุปกรณ์ความถี่ RF เพราะว่าสายอากาศจะทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่น RF ที่ถูกมอดูเลตแล้วแล้วไปยังดาวเทียมที่ความถี่ขาขึ้น และทำหน้าที่รับคลื่น RF จากดาวเทียมที่ความถี่ขาลง สายอากาศที่สถานีภาคพื้นดินต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน 3 ข้อคือ

1. ต้องมีทิศทางสูง (Highly Directive Gain) คือ มีบีมวิด (Beamwidth) ที่แคบทั้งในการส่งและรับ นอกจากนั้นแล้วต้องมี Side lobe น้อยเพื่อลดการรบกวนกันกับสัญญาณที่ไม่ต้องการ
2. ต้องมีค่า Noise Temperature ต่ำ เพื่อสัญญาณที่รับจะได้ค่า S/N สูง
3. ต้องมีความเที่ยงตรงสูงต่อสัญญาณที่ได้รับ คือ ใช้ระบบ Tracking System ที่มีการควบคุมการเลื่อนสายอากาศไปตามตำแหน่งที่มีสัญญาณแรงที่สุด

ฟุตพริ้นต์

ส่วนที่เป็นสายอากาศของดาวเทียม จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณลงมายังพื้นโลก ให้มีรูปร่างเฉพาะตัวได้ ลักษณะของลำคลื่นที่ออกแบบไว้ให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ ที่ต้องการนี้เรียกว่า “ฟุตพริ้นต์” (footprint) โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีฟุตพริ้นต์เป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง ซึ่งพื้นที่ ที่จะได้รับสัญญาณจากดาวเทียมได้คือหรือแรงที่สุด จะอยู่ในส่วนที่เรียกว่า ศูนย์กลางของฟุตพริ้นต์ หากหลุดออกไปจากศูนย์กลางนี้ ความแรงของสัญญาณจะลดลง

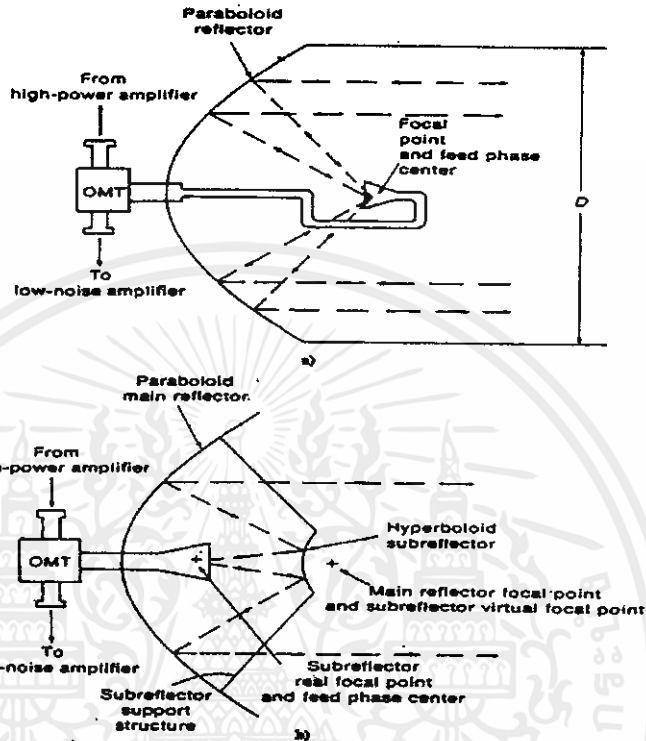
ประเภทของสายอากาศ

สายอากาศที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในระบบสถานีภาคพื้นดิน คือ สายอากาศแบบพาราโบลา โดยมีการแบ่งตามลักษณะการป้อนสัญญาณให้แก่แผ่นสะท้อนได้เป็นสามแบบ คือ แบบ Focal Point Feed , offset parabolic และแบบ Cassegrain

สายอากาศแบบพาราโบลาที่มีการป้อนสัญญาณแบบ Focal Point

สายอากาศแบบนี้ ประกอบด้วยจานสะท้อนซึ่งเป็นพื้นผิวโค้งรูปพาราโบลารอบแกน ทิศทางของการรับและ Feeder ซึ่งมีจุดศูนย์กลางโฟกัสที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อนดังในรูปที่ 2.7 [11] a) การที่เลือกจานสะท้อนเป็นแบบพาราโบลาค้นนั้น เนื่องจากรูปแบบพาราโบลามีข้อดีสำหรับสายอากาศระดับไมโครเวฟด้วยเหตุผล 2 ประการคือ 1) ลำคลื่นใด ๆ จากจุดโฟกัสจะถูกสะท้อนที่แผ่นสะท้อนพาราโบลาค้นแล้วได้ทิศทางการสะท้อนออกมานานกับแกนของพาราโบลาค้น 2) ระยะทางการเดินทางของคลื่นจากจุดโฟกัสไปยังแผ่นพาราโบลาค้นและจากแผ่นพาราโบลาค้นไปยังระนาบ

ตั้งฉากกับพาราโบลานั้น ไม่ขึ้นกับเส้นทาง (คือขึ้นอยู่กับ 2 จุดเท่านั้น) ดังนั้น แหล่งพลังงานแบบจุดที่อยู่จุด โฟกัสจะถูกเปลี่ยน ไปเป็นคลื่นระนาบที่มีเฟสเดียวกันในทิศทางที่ต้องการส่ง โดยใช้ แผ่นสะท้อนพาราโบลอยด์ ดังรูปที่ 2.7 a)



รูปที่ 2.7 a) งานสายอากาศแบบ Paraboloid b)สายอากาศแบบ Cassegrain

ขนาดของสายอากาศแบบนี้แสดงได้โดยเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของงานสะท้อน Feeder เชื่อมต่อกับภาคขยาย HPA และภาคขยาย LNA ผ่านตัว OMT (Orthogonal Mode Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ 3 พอร์ต (Port) โดยมีอัตราส่วนการแยกสัญญาณส่งและสัญญาณรับคือ 40 dB ในส่วนของภาคส่งนั้น พลังงานของคลื่นพาห้ที่จะส่งจากภาคขยาย PHA จะกระจายไปเป็นเส้นแนวเดียวกับทิศทางการส่งที่ต้องการ โดยแพทเทิร์นของคลื่น (Pattern) จะมีบีมวิด (Beamwidth) ที่แคบ ในขณะที่ส่วนของภาครับนั้นจะดักจับสัญญาณในทิศทางที่ต้องการรับให้สัญญาณกระทบแผ่นสะท้อนแล้วสะท้อนมารวมกันที่จุดโฟกัสซึ่งจะส่งผ่านไปยังภาคขยาย LNA ผ่าน Feeder ต่อไป รูปร่างของบีมที่กระจายออกมาถูกกำหนดได้โดยการใช้บางส่วนของรูปพาราโบลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิก
 ไม่ว่าจะกินใดๆทางสวน อีกหนึ่งหันมีให้คิดแปลงเป็นหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลิกนี้ จะมีลักษณะคล้ายกันกับแบบ focal point แตกต่าง
 กันตรงที่ ฟีดฮอร์นที่ใช้กับงานแบบนี้จะไม่อยู่ตรงกลางของตัวงานสะท้อน และค่อนข้างจะบาน

ออกเพื่อลดบีมวิคของลำคลื่นให้เล็กลง ซึ่งจำเป็นอย่างมากเนื่องจาก งานมีขนาดเล็ก(เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของจานพาราโบลิก) และหากนำฟีดฮอร์นธรรมดามาใช้ ก็จะทำให้มีการขยายของสัญญาณรบกวนจากภาคพื้นดินเข้าไปด้วย

สายอากาศแบบ Cassegrain

สายอากาศแบบนี้จะมีแผ่นสะท้อน 2 แผ่น คือ แผ่นสะท้อนหลักและแผ่นสะท้อนรอง โดยแผ่นสะท้อนหลักจะเป็นรูปโพรพาโกรา ส่วนแผ่นสะท้อนรองเป็นรูปไฮเปอร์โบล่า จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลักจะเป็นจุดเดียวกับโฟกัสเหมือนแผ่นสะท้อนรอง และจะมี Feeder ที่มีจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 b) ในส่วนของภาคส่งนั้น สัญญาณจากภาคส่งนั้น สัญญาณจากภาคขยาย HPA จะแผ่กระจายมาที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนรองโดย Feeder และจะกระทบแผ่นสะท้อนรองที่ด้านนอกของส่วนโค้ง หลังจากนั้นจะสะท้อนไปยังจุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลัก โดยเสมือนมีจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสเหมือน (หรือจุดโฟกัสจริงของแผ่นสะท้อนหลัก) ของแผ่นสะท้อนรอง ทำให้คลื่นที่สะท้อนออกมาจากแผ่นสะท้อนหลักมีหน้าที่มีเฟสเดียวกัน และเป็นคลื่นระนาบที่มีทิศทาง ในแง่ของส่วนรับนั้น สัญญาณจากดาวเทียมจะตกกระทบกับแผ่นสะท้อนหลักและถูกสะท้อนให้ไปรวมกันที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลัก ต่อมาจะถูกสะท้อนออกมาโดยแผ่นสะท้อนรอง และสัญญาณจะมารวมกันที่จุดศูนย์กลางเฟสของ Feeder จากนั้นก็จะส่งผ่านไปยังภาคขยาย LNA ต่อไปโดยมี OMT เป็นตัวแยกสัญญาณรับและส่ง

โดยทั่วไปแล้ว สายอากาศแบบ Cassegrain มีราคาแพงกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดา เพราะว่ามี การเพิ่มส่วนของแผ่นสะท้อนรองขึ้นมา อย่างไรก็ตาม สายอากาศแบบ Cassegrain นั้นมีข้อดีที่กว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดาหลายประการ เช่น มีค่า Noise Temperature น้อยกว่า มีทิศทางที่เที่ยงตรงกว่า และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบ Feeder มากกว่า เนื่องจากว่าพลังงานที่หลุดออกจาก Feeder นั้นส่วนใหญ่จะหลุดไปยังอากาศซึ่งมีค่า Noise Temperature น้อยกว่า 30 K ดังนั้น ค่า S/N ของสัญญาณจึงมีค่ามากกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดา เนื่องจาก Feeder อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดยอดของส่วนโค้งของแผ่นสะท้อนหลัก ทำให้เสถียรภาพทางกลดีกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดาที่มีตัวป้อนลอยอยู่เหนือแผ่นสะท้อน จากการที่มีเสถียรภาพทางกลดีกว่านั้น ทำให้ความแน่นอนในทิศทางของสายอากาศชนิดนี้มีมากกว่า

ลักษณะการติดตั้งจากสายอากาศ

การติดตั้งจากสายอากาศที่มีวิธีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้อยู่ 9 วิธีดังแสดงในรูปที่ 2.8 [11] รูป 2.8 a) แสดงการติดตั้งเป็นแกนเดี่ยวซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุด รูป 2.8 b) แสดงการติดตั้งเป็นแกนคู่หรือการติดตั้งแบบ Az-EI ซึ่งจะช่วยให้บีมคงที่ บีมสามารถมีทิศทางไปยังจุดใด ๆ โดยใช้การรวมตัวอย่าง

เหมาะสมกับมุม Azimuth และมุม Elevation แต่ด้านเป้าหมายอยู่สูงมาก การติดตั้งรูป 2.8 c) จะเหมาะสมกว่า ซึ่งเป็นการติดตั้งแบบ 2 แกนอีกแบบหนึ่ง ตั้งแต่รูป 2.8 d) เป็นต้นไปนั้นจะเป็นวิธีการเฉพาะในการสื่อสารแบบ Rader รูปที่ 2.8 d) จะมีการติดตั้งแบบ 2 แกนซึ่งสามารถที่จะหมุนได้คล้ายกับรูปที่ 2.8 e) ที่สามารถควบคุมพื้นที่ครึ่งวงกลมในการรับสัญญาณ Radar ในรูปที่ 2.8 F) ถูกออกแบบในงานที่ไม่ต้องการการยกขึ้นสูงของจาน รูปที่ 2.8 g) นั้นจะมีแกนหมุนเพิ่มมาจากรูปที่ 2.8 d) เพื่อคอยติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่ได้ เพื่อความสะดวกในการเร่งความเร็วในการติดตามของจาน รูปที่ 2.8 h) นั้นแกนของมุม Azimuth จะมีเสถียรภาพในแนวตั้งและอาจรับคำสั่งให้เคลื่อนที่ในแกนอื่น ๆ สัมพันธ์กันได้ด้วย ส่วนรูปที่ 2.8 I) ต้องการระบบ Servo 4 ระบบซึ่งทำให้มันมีน้ำหนักมากแต่การควบคุมตำแหน่งจะแม่นยำยิ่งขึ้น

การเลือกติดตั้งในแต่ละแบบจะเหมาะสมกับงานบางอย่างเท่านั้น สำหรับงานด้านการสื่อสารธรรมดาแล้วอาจใช้ 3 แบบแรกก็เพียงพอ แต่งานด้าน Radar Systems อาจต้องมีวิธีอื่น ๆ ที่กล่าวมาด้วยจึงจะเกิดประสิทธิภาพในการติดต่อหรือติดตามสูงสุด

อัตราขยายสายอากาศ

อัตราขยายเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับสายอากาศเพราะมันมีส่วนสำคัญต่อกำลังที่รับหรือส่งสำหรับสายอากาศ อัตราขยายจะหาได้โดย

$$G = \frac{n4\pi A}{\lambda^2} = \frac{n4\pi Af^2}{\lambda^2} \quad (2.17)$$

โดยที่ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของจานสายอากาศ λ เป็นความยาวคลื่น , F เป็นความถี่ , C เป็นความเร็วแสง และ n เป็นประสิทธิภาพพื้นที่ของสายอากาศ

สำหรับสายอากาศที่มีหน้าตัดเป็นพื้นที่รูปวงกลมนั้น จะได้พื้นที่

$$A = \pi D^2/4$$

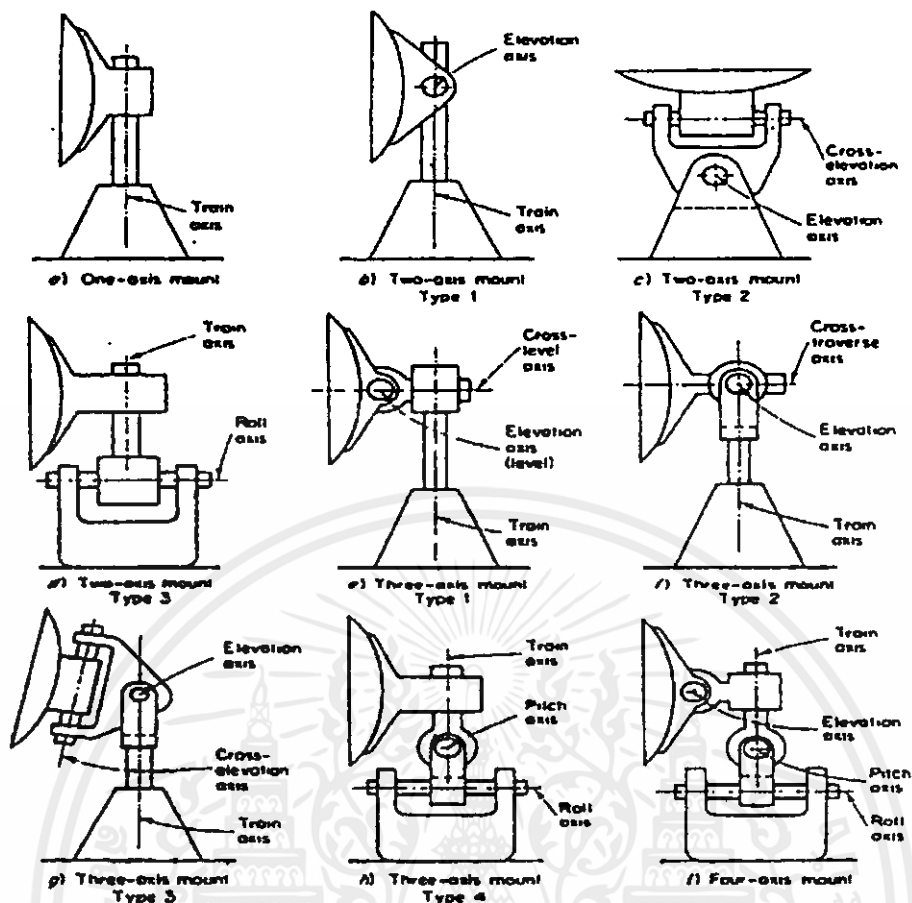
โดยที่ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของสายอากาศ ดังนั้น อัตราขยายจะเป็น

$$G = n(\pi D/\lambda)^2$$

$$G = n(\pi f D/C)^2$$

ค่าประสิทธิภาพ N แสดงถึงอัตราส่วนของพื้นที่คลื่น A ที่ถูกใช้ในการส่งหรือรับกับพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการติดตั้งจากสายอากาศโดยใช้วิธีต่าง ๆ

คำก่าตั้งแผ่กระจายคลื่นประสิทธิผลในชั้น Isotropic (EIRP)

คำก่าตั้งแผ่กระจายคลื่นประสิทธิผลในชั้น Isotropic (Effective Isotropic Radiated Power หรือ EIRP) ถูกใช้เพื่อหาคำก่าตั้งงานที่ส่งของภาคขยาย HPA คู่กับอัตราขยายของสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดิน โดยรวมถึงความสูญเสียจากการส่งสัญญาณในสายนำสัญญาณหรือท่อนำคลื่นที่ต่อระหว่างภาคขยาย HPA กับ Feeder ด้วย ถ้าเราให้ P_t เป็นคำก่าตั้งสัญญาณที่ตัวป้อน ป้อนให้แก่สายอากาศ และ G_t เป็นอัตราขยายในการส่งของสายอากาศ เราจะได้ $EIRP = P_t \cdot G_t$

คำอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายกับ Noise Temperature ของสายอากาศ (G/T)

คำอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายกับ Noise Temperature ของสายอากาศ (Gain / Noise Temperature หรือ G / T) เป็นตัวบ่งคุณภาพของสายอากาศในสถานีภาคพื้นดินและของภาคขยาย LNA พาราเมตริก G เป็นอัตราขยายของสายอากาศในการรับสัญญาณเพื่อเข้าด้านขาเข้าของภาคขยาย LNA

ด้านรับของสถานี ประกอบด้วย สายอากาศ , ท่อนำคลื่นซึ่งต่อเชื่อมกันระหว่าง Feeder กับภาคขยาย LNA, ภาคขยาย LNA และ Down converter ในลักษณะที่ Cascade กัน ค่า Noise Temperature ของสายอากาศนั้นวัดที่ด้านขาออกของ Feeder และเขียนแทนได้ด้วย T_A ท่อนำคลื่นนั้นถูกแทนด้วยค่าความสูญเสีย $L_1 > 1$ หรืออัตราขยาย $G_1 = 1/L_1 < 1$ และค่า Noise Temperature $T_{\alpha} = (L_1 - 1) T_0$ ภาคขยาย LNA นั้นถูกกำหนดคุณสมบัติโดยอัตราขยาย G_2 และค่า Noise Temperature $T_{\alpha 2}$ ค่า Noise Temperature ของ Down converter

จากการเป็นวิเคราะห์ข้างต้นเราสามารถสรุปได้ว่า

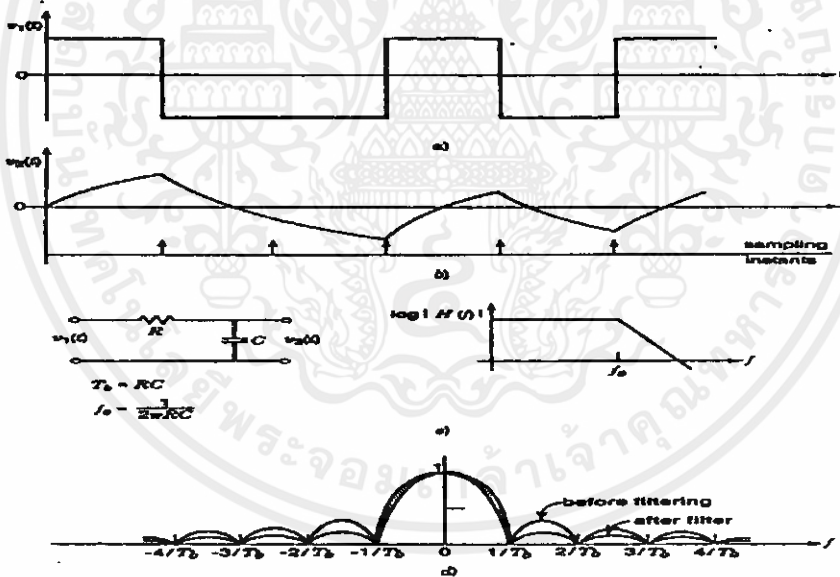
1. ยิ่งอัตราขยายของสายอากาศสูงเท่าใด ค่า G/T ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ค่า Carrier-Noise Ratio ของระบบรับขาลงดีขึ้น
2. ยิ่งค่าความสูญเสียของท่อนำคลื่นน้อยเท่าใด ค่า G/T ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น
3. ยิ่งค่า Noise Temperature ของภาคขยาย LNA น้อยเท่าใด ค่า G/T ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น
4. ค่า G/T จะคงที่โดยไม่สนใจว่าจะมองจากที่ใด แต่ที่เราเลือกมองที่ด้านขาเข้าของภาคขยาย LAN ก็เพราะมันเป็นจุดที่เด่นชัดในการเชื่อมต่อกัน

2.4 การส่งสัญญาณแบบดิจิทัล

การมอดูเลตแบบดิจิทัลเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารดาวเทียมที่มีสัญญาณเป็นดิจิทัล และใช้กับเครื่องมือระบบดิจิทัล เช่น การส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์เป็นต้น พวกสัญญาณแอนะล็อก เช่น โทรศัพท์หรือ TV ก็สามารถเปลี่ยนเป็นดิจิทัลเพื่อการส่งสัญญาณ และเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแอนะล็อกเข้าสู่ผู้ใช้ปลายทาง แม้ว่าขั้นตอนในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลนี้จำเป็นต้องใช้แบบด์วิธที่กว้างขึ้นแต่ก็ช่วยให้คุณภาพดีขึ้น กล่าวคือสัญญาณรบกวนจะลดลง และช่วยกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอก การส่งสัญญาณดิจิทัล จะใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing หรือ TDM) และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access หรือ TDMA) ทั้งสองวิธีนี้จะอนุญาตให้ใช้ทรานส์พอนเดอร์ 1 ครั้งต่อ 1 สัญญาณที่เข้า ซึ่งจะหลีกเลี่ยงปัญหาการมอดูเลตภายใน (Inter-modulation) นอกจากนั้น สัญญาณแอนะล็อกที่ถูกส่งสัญญาณแบบดิจิทัลสามารถใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล นั่นคือ สัญญาณดิจิทัลจะถูกดำเนินการแบบเดียวกันโดยไม่คำนึงว่าเนื้อหาจะเป็นข้อมูลหรืออะไรก็ตาม ฉะนั้น การเชื่อมโยงกับความถี่แบบดิจิทัลสามารถรับได้ทั้งสัญญาณโทรศัพท์ และสัญญาณข้อมูล ซึ่งจำนวนจะแตกต่างกันตามความต้องการ ปัญหาของการส่งสัญญาณดิจิทัลผ่านดาวเทียมมีอยู่ 2 ส่วน หลัก ๆ คือ 1. จะทำอย่างไรให้สัญญาณแอนะล็อกที่เข้ามาเปลี่ยนเป็นดิจิทัล และเปลี่ยนกลับ 2. จะทำอย่างไรจึงจะส่งและรับสัญญาณดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ขึ้นกับจุดค้นทางหรือจุดปลายทาง

สัญญาณแบบแมนต์ติจิตอล

เราจะแทนสัญญาณแบบแมนต์ติจิตอล เป็นอนุกรมของเลขศูนย์และหนึ่งที่ถูกส่งออกไป ในขณะที่ในวงจรสำหรับคอมพิวเตอร์ เลขศูนย์อาจถูกแทนด้วยแรงดันต่ำ และเลขหนึ่งด้วยแรงดันสูง หรือกลับกัน แต่การใช้การแทนแบบดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการส่งสัญญาณระยะไกล ๆ และจะไม่ถูกใช้ ขอใช้ตัวอย่างประกอบการอธิบายดังต่อไปนี้ จากการส่งสัญญาณ ที่มีจำนวน บิตเข้ารหัสมาก ๆ โดยวิธีนี้จะมีจำนวนศูนย์และหนึ่ง พอ ๆ กัน จะได้ครึ่งหนึ่งของเวลาจะเป็น 5 โวลต์ และอีกครึ่งหนึ่งจะเป็น 0 โวลต์ ดังนั้น จะได้ส่วนประกอบระดับสัญญาณเป็น 2.5 โวลต์ วงจรทุกวงจรที่สัญญาณนี้ผ่านจะต้องมีการตอบสนองด้านความถี่ไปถึงช่วงไฟกระแสตรง (DC) ซึ่งทำให้เป็นการยากเนื่องจากวงจรสื่อสารหลายชนิดจะมีหม้อแปลง (Transformer) อยู่ด้วย เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหานี้ การมอดูเลตแบบดิจิตอลจะรับสัญญาณขาเข้าแบบ Polar Non Return-to-Zero (NRZ) เลขศูนย์และหนึ่งจะถูกส่งเป็นบวกหรือลบจากค่า ๆ หนึ่ง ดังนั้น เลขหนึ่งอาจถูกส่งไปเป็น +1 โวลต์ และเลขศูนย์เป็น -1 โวลต์ ค่า 0 โวลต์จะไม่ถูกส่งยกเว้น จะเป็นภาวะชั่วคราว (Transient) เท่านั้น



รูปที่ 2.9 ผลการกรองแบบ Low Pass สัญญาณ NRZ a) สุ่มพัลส์ของสัญญาณ NRZ b) รูปคลื่นด้านขาออกจากวงจรกรอง RC c) วงจรกรอง RC และฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) หรือ $H(f)$ และ d) สเปกตรัมของสัญญาณ Bandlimited NRZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

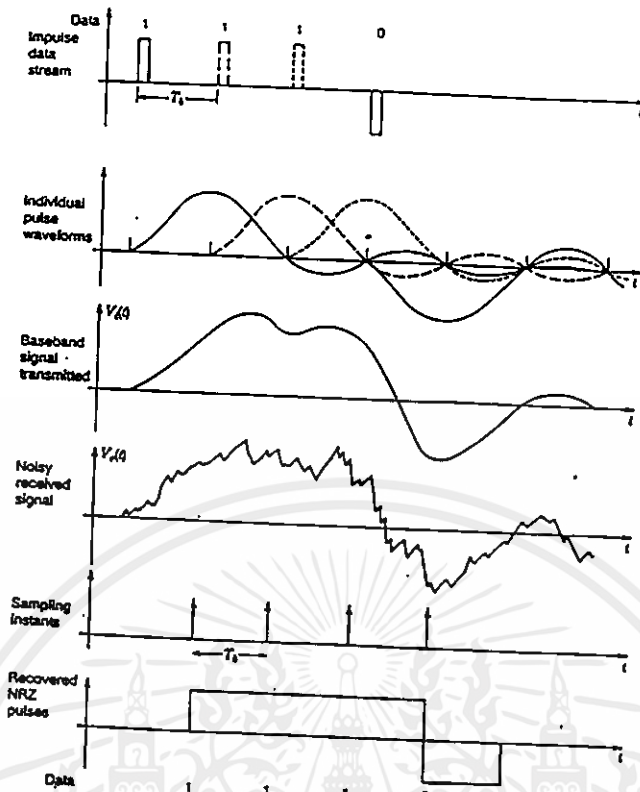
การส่งสัญญาณแบบแบนด์ของข้อมูลดิจิทัล

อนุกรมแบบซุ่มของพัลส์ไบนารีรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก มี Power Spectral Density เป็น

$$G(f) = T_b \left[\frac{\sin(\pi f T_b)}{\pi f T_b} \right]^2 \quad (2.18)$$

ให้ T_b เป็นช่วงเวลาของพัลส์สเปกตรัมซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.9 [11] รูปแบบ $\sin x$ ที่คุ้นเคยแสดงให้เห็นว่ามีพลังงานอยู่ทุกช่วงความถี่ การที่จะรักษาพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากไว้จะต้องใช้แบนด์วิดท์ ในทางปฏิบัติแบนด์วิดท์จะต้องถูกจำกัด แบนด์วิดท์ที่มีขนาดใหญ่มากรวม ๆ จะทำไม่ได้ การพิจารณาถึงการรบกวนจากการเชื่อมโยงของคลื่นวิทยุ ทำให้ระบบสื่อสารควรมีช่วงแบนด์วิดท์ที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบระบบสื่อสารอันราใช้ ภาระบัพพัลส์แบบซุ่มคังแสดงในรูปที่ 2.9 และจำกัดแถบโดยการผ่านเข้าวงจรกรอง Low-Pass รูปร่างของพัลส์จะถูกเปลี่ยนแปลง เช่น พิจารณาผลของการผ่านพัลส์ รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากไปที่วงจรกรอง Low-Pass แบบง่าย ๆ ซึ่งมีส่วนประกอบของตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 c ผลที่ได้คือ รูปคลื่นจะถูกหน่วงและพัลส์ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณเวลา โดยที่พัลส์ที่ถูกหน่วงจะถูกยัดเข้าไปในช่วงพัลส์ถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.9 b ถ้าพัลส์ที่มีรูปแบบเป็น 10 หรือ 01 ขนาดของพัลส์ที่สอง ω เวลาที่ถูกซุ่ม (Sampling) ในรูปที่ 2.9 จะลดลง โดยการหน่วงของพัลส์ก่อนหน้าหรือเราเรียกว่า Inter-symbol Interference (ISI) ซึ่งจะเกิดแทบทุกครั้งที่มีการผ่านสัญญาณดิจิทัลไปในวงจรกรองแบบจำกัดแถบ (Band limited filter) ถ้ามีสัญญาณรบกวนเพิ่มในรูปคลื่น ISI จะเพิ่มความน่าจะเป็นที่ตัวรับจะรับผิดพลาดไปซึ่งก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ในระบบเบสแบนด์เราสามารถหลีกเลี่ยง ISI ได้โดยเลือกวงจรกรอง Low-Pass ที่เหมาะสม Nyquist ได้เสนอเทคนิคที่ในทางทฤษฎีที่สามารถจำกัด ISI ให้เป็นศูนย์ หรือที่รู้จักกันในนาม Nyquist Criterion เป้าหมายคือ ให้นิเวศรับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายรูปแบบ $(\sin x) / x$ ดัดผ่านแกนที่ช่วงเวลา T_b โดยที่ T_b คือ คาบของบิต เครื่องรับจะซุ่มสัญญาณที่เข้ามาในช่วง T_b ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [11] เพื่อให้ในขณะที่พัลส์ที่ถูกซุ่มสัญญาณส่วน “หาง” จากพัลส์ที่มาก่อนจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น พัลส์ที่มาก่อนจะให้ ISI เป็นศูนย์ในแต่ละขณะของการส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การส่งและการรับของพัลส์ Base band Zero ISI

วงจรกรองที่ผลิต ISI เป็นศูนย์ที่ตัวรับ สามารถสร้างสัญญาณได้หลายแบบ วงจรกรองที่ Nyquist เสนอ ได้แก่วงจรกรอง Raised Cosine ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

$$V_r(f) = \begin{cases} T_b \cos^2 \left\{ \frac{\pi}{2\alpha R_b} \left[\frac{|f| - R_b(1-\alpha)}{2} \right] \right\} \cdot \frac{R_b}{2} (1-\alpha) & \bullet |f| \leq \frac{R_b}{2} (1-\alpha) \\ \frac{R_b}{2} (1-\alpha) & \bullet \frac{R_b}{2} (1-\alpha) < |f| < \frac{R_b}{2} (1+\alpha) \\ 0 & \bullet |f| \geq \frac{R_b}{2} (1+\alpha) \end{cases} \quad (2.19)$$

โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $R_b = 1/T_b =$ อัตราบิตในหน่วย บิต/วินาที รูปพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นโดยอิมพัลส์, $\delta(t) = V_r(t)$ ที่รูปคลื่น ISI เป็นศูนย์ $V_r(t)$ ได้มาจากการ Inverse Fourier Transform ของสัญญาณขาออกจากรอง Nyquist ซึ่งก็คือ สเปกตรัมของอิมพัลส์ขาเข้า คูณด้วยผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรอง

$$V_r = F^{-1}[V_r(f) \times S(f)] \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใด ทั้งนี้ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

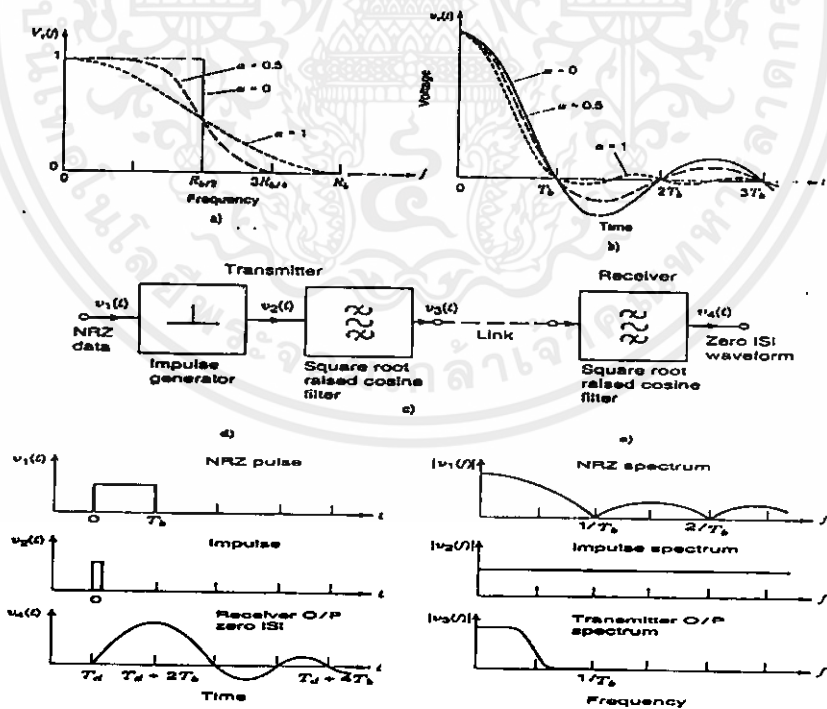
โดยที่ $F^{-1}[\]$ เป็น Inverse Fourier Transform และ $S(t)$ เป็นสเปกตรัมของพัลส์ขาเข้า ถ้าเราใช้พัลส์ $s(t)$ เป็นสัญญาณขาเข้า จะได้ $S(f) = 1$ และ

$$V_r = F^{-1}[V_r(f)] \tag{2.21}$$

ซึ่งนำมาสู่

$$V_r = \left[\frac{\cos \pi \alpha R_b t}{1 - (2\alpha R_b t)^2} \right] \cdot \left[\frac{\sin \pi R_b t}{\pi R_b t} \right] \tag{2.22}$$

สำหรับ วงจรกรอง Raised Cosine หลาย ๆ วงจร และรูปคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นโดยผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของวงจรกรองเหล่านั้น สำหรับในกรณี $\alpha = 0$ ในสมการ (2.19) จะได้ว่าวงจรกรองที่มีแบนด์วิดท์ $R_b/2$ หรือแบนด์วิดท์ต่ำสุดที่มีอัตราบิต R_b จะสามารถส่งผ่านพร้อมทั้งยังรักษาสภาพ ISI ให้เป็นศูนย์ วงจรกรองข้างต้นไม่สามารถสร้างได้ในทางปฏิบัติ ในทางปฏิบัติ ค่า α อยู่ระหว่าง 0.2-0.1 รูปที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรอง Raised Cosine และระบบเมื่อใช้วงจรนี้ โดยที่ a) เป็นคุณลักษณะค่าถ่ายโอน (Transfer Characteristic) b) ผลตอบสนองต่อพัลส์ c) ระบบเมื่อใช้วงจรนี้ d) รูปคลื่น และ e) สเปกตรัม



รูปที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรอง Raised Cosine และระบบเมื่อใช้วงจรนี้

- a) คุณลักษณะค่าถ่ายโอน (Transfer Characteristic) b) ผลตอบสนองต่อพัลส์
- c) ระบบเมื่อใช้วงจรนี้ d)รูปคลื่น และ e) สเปกตรัม

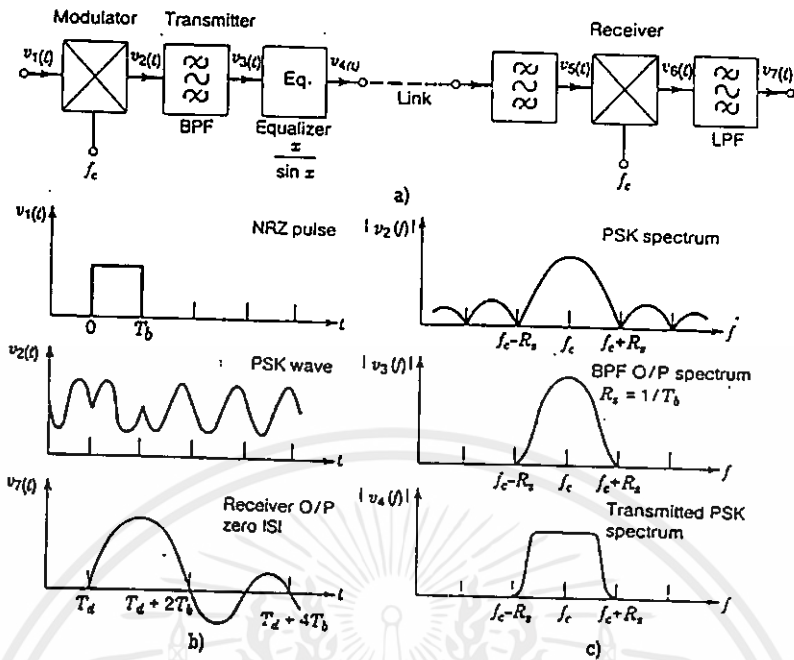
การส่งสัญญาณผ่านแถบความถี่ของข้อมูลดิจิทัล

ในระบบสื่อสารของคลื่นความถี่วิทยุที่ส่งสัญญาณเป็นข้อมูลดิจิทัลนั้น ค่าพารามิเตอร์ของคลื่น RF จะต้องถูกเปลี่ยนแปลง หรือถูกมอดูเลตเพื่อที่จะใส่ข้อมูลเบสแบนด์ วิธีที่เป็นที่นิยมในการมอดูเลตของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบดิจิทัล ได้แก่ Phase Shift Keying (PSK) ซึ่งจะต้องอธิบายต่อไป การส่งสัญญาณแบบ Band-pass หรือคลื่นความถี่วิทยุของข้อมูลดิจิทัลจะแตกต่างจากการส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ ตรงที่จำเป็นต้องมีการมอดูเลตคลื่น RF นั่นคือ ตัวเครื่องรับจะคิ่มอดูเลตคลื่น RF ที่ถูกมอดูเลตมาก่อน เพื่อจะได้กลับมาซึ่งข้อมูลเบสแบนด์ ดังนั้น ISI จะเกิดขึ้นที่ตัวเครื่องรับเนื่องมาจากการจำกัดแถบของรูปคลื่นที่ถูกมอดูเลต ยกเว้นจะมีการใช้วงจรกรองที่เข้าข่าย Nyquist Criterion

การสื่อสารคลื่นวิทยุมักจะมีข้อจำกัดอีกข้อหนึ่ง นั่นคือ แบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณจะถูกกำหนดเฉพาะเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากการส่งที่ความถี่ใกล้เคียง ทำให้ด้านขาออกของการส่งจะต้องมีการควบคุมสเปกตรัมอย่างรอบคอบให้ลดปริมาณสัญญาณออกนอกแถบให้อยู่ในระดับต่ำ

ในระบบส่งข้อมูล รูปคลื่นเบสแบนด์ที่ใช้จะมีรูปแบบเป็น NRZ Nyquist จะให้รูปคลื่น ISI เป็นศูนย์เมื่อถูกขับโดยอิมพัลส์เท่านั้นดังแสดงในสมการ (2.20) และ (2.21) ถ้าวงจรกรองถูกขับโดยสเปกตรัมรูปคลื่นพัลส์ NRZ ซึ่งมีรูป $(\sin x) / x$ และสเปกตรัมของวงจรกรองขาออกจะเป็น $V_r(\omega)(\sin x) / x$ เราสามารถทำได้โดยใช้ตัวปรับเท่า (Equalizer) ที่มีคุณลักษณะทางความถี่เป็น $x/\sin x$ รูปที่ 2.12 a แสดงการจักระบบที่กล่าวมาข้างต้น วงจรกรอง Raised Cosine จะมี Cut Off ที่ $f_c + f_0$ โดยที่ $f_0 < 1/T_0$ เพราะฉะนั้น $x/\sin x$ ของตัวปรับเท่า (Equalizer) จะทำงานในช่วงรูปคลื่นส่วนกลางของ $(\sin x)/x$ เท่านั้น ที่ $f = 1/T_0$ $x/\sin x$ จะมีค่าเป็นที่ไม่สิ้นสุด ดังนั้น α จะต้องน้อยกว่า 1 เพื่อให้ระบบนี้ทำงานได้ ในทางปฏิบัติวงจรกรอง RF ที่ใช้รูป Raised Cosine จะใช้ α ประมาณ 0.4 เพื่อให้อัตราขยายสูงสุดที่ขอบของแถบปรับเท่า (Equalizer Band) มีค่า 8.7 dB ในกรณีนี้

เราจะเห็นว่าผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรอง และตัวปรับเท่าทั้งหลายจะต้องเป็นแบบเชิงเส้นกับความถี่ในกรณีที่จะได้ ISI เป็นศูนย์ การจะให้ได้ผลตอบสนองเชิงเส้นต่อเฟสตลอดระบบสื่อสารดูเป็นเรื่องยากในทางปฏิบัติ



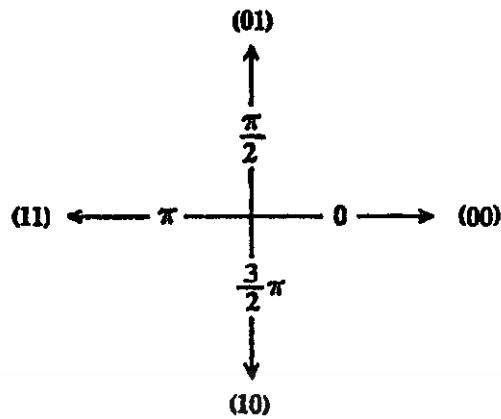
รูปที่ 2.12 แสดงรูปคลื่นและสเปกตรัมในระบบ PSK เมื่อใช้วงจรกรอง Raised Cosine และ $x/\sin x$ Equalizer a) บล็อกไดอะแกรมของ 1 ช่องสัญญาณใน QPSK b) รูปคลื่น และ c) สเปกตรัม

2.5 Quadrature PSK

ในวิธีการ QPSK สัญญาณ 2 บิตจะถูกส่งไปพร้อม ๆ กัน โดยลำดับสัญญาณดิจิทัลที่จะส่งถูกแบ่งเป็นบล็อก 2 บิต และแต่ละรหัสบล็อกประกอบด้วย 2 บิตถูกส่งไปพร้อม ๆ กัน ในกรณีนี้จะมีการรวมรหัส 4 คู่ด้วยกันคือ 00, 01, 10 และ 11 คู่ของรหัสทั้ง 4 คู่นี้จะเทียบกับ initial phase ใน Gray code ซึ่งใช้ใน QPSK

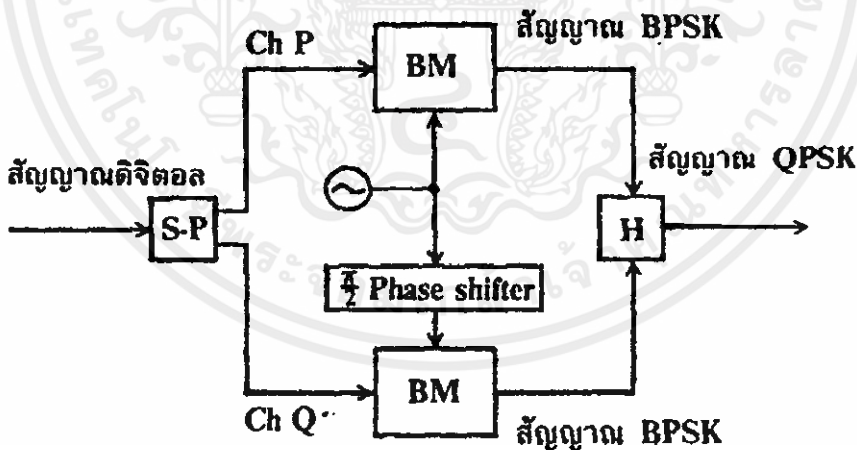
รูปต่อไปนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรหัส และ initial phase ใน Gray code ซึ่งใช้ใน QPSK เฟส 0 แทนรหัส 00 เฟส $\pi/2$ แทนรหัส 01 เฟส π แทนรหัส 11 และเฟส $3\pi/2$ แทนรหัส 10 จะเห็นว่าถ้าเปรียบเทียบรหัสระหว่างสองเฟสข้างเคียง หนึ่งในสองบิตจะเหมือนกันในทุก ๆ กรณี ดังนั้นโดยการใช้ Gray code จะมีเพียงบิตเดียวที่เกิดผิดพลาด แม้ว่าสัญญาณที่รับได้ถูกตีโมดูเลตผิดไปเป็นเฟสข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Gray code ที่ใช้ใน QPSK

รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างวงจร QPSK โมดูลชั้น วงจรนี้สร้างสัญญาณ Gray code ขึ้นมา วงจรประกอบด้วยวงจรโมดูลชั้น 2 binary PSK คู่กัน สัญญาณดิจิทัลที่จะส่งถูกแยกออกทางช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q โดยตัวเปลี่ยนอนุกรมเป็นขนาน (S/P converter) แต่ละด้านถูกโมดูลแบบ BPSK โดย balance modulator คลื่นพาหะที่ใช้สำหรับช่องสัญญาณ Q เฟสจะถูก shift ไป $\pi/2$ หลังจากผ่าน $\pi/2$ phase shifter ดังในรูป สัญญาณ โมดูล BPSK ทั้งสองนี้ได้รับโดยการใช้คลื่นพาหะที่ต่างเฟสกัน $\pi/2$ และถูกรวมกันโดยวงจรไฮบริดก็จะได้สัญญาณ QPSK ออกมา

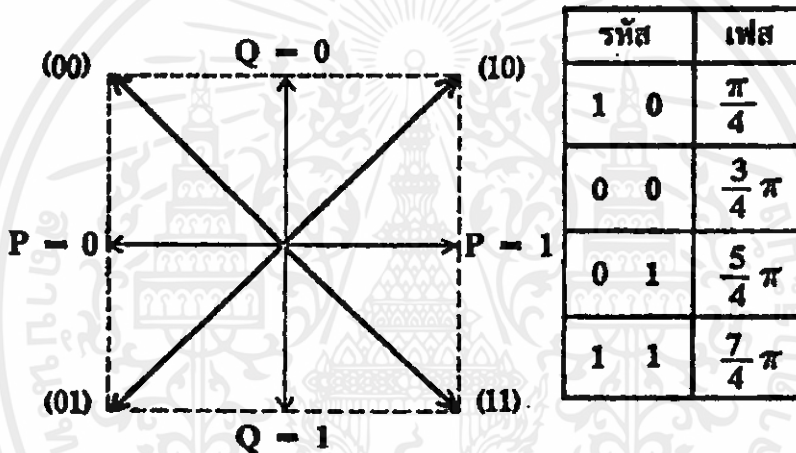


รูปที่ 2.14 วงจรโมดูล QPSK

เราลองมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นพาหะที่ใช้ในช่องสัญญาณ P และ Q และสัญญาณ BPSK สำหรับรหัส 0 และ 1 โดยใช้เวกเตอร์ไดอแกรม ถ้าเฟสเริ่มแรกของสัญญาณ output จากออสซิลเลเตอร์กำหนดเป็นตัวอย่างอิง คลื่นพาหะที่ใช้ในช่องสัญญาณ P จะอยู่ในเฟสเดียวกันกับสัญญาณอ้างอิง ส่วนคลื่นพาหะของช่องสัญญาณ Q ได้จากการ shift เฟส $\pi/2$ จากสัญญาณ

output ของออสซิลเลเตอร์สัญญาณที่โมดูลแบบ BPSK ในช่องสัญญาณ P และ Q จะอยู่ในเฟสเดียวกันกับคลื่นพาหะ สำหรับรหัส 1 แต่จะต่างเฟสกับคลื่นพาหะเท่ากับ π สำหรับรหัส 0

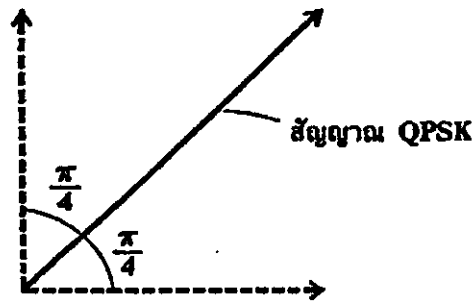
การรวมสัญญาณ BPSK ที่ได้รับการโมดูลในช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q เราจะได้สัญญาณ QPSK เมื่อรหัสในช่องสัญญาณ P เป็น “1” และรหัสในช่องสัญญาณ Q เป็น “0” เวกเตอร์ผลลัพธ์จะแสดงดังในรูป เวกเตอร์ผลลัพธ์นี้แสดงสัญญาณ QPSK สำหรับ 10 ซึ่งสัญญาณ QPSK นี้ จะต่างเฟส $\pi/4$ กับคลื่นพาหะของช่องสัญญาณ P สัญญาณ QPSK สำหรับรหัส 00 จะต่างเฟสเท่ากับ $3\pi/4$ สัญญาณสำหรับรหัส 01 จะต่างเฟส $5\pi/4$ และสัญญาณสำหรับรหัส 11 จะต่างเฟส $7\pi/4$ กับคลื่นพาหะของช่องสัญญาณ P รหัสสัญญาณเหล่านี้เรียกว่า “Gray Code” เมื่อเปรียบเทียบรหัสของ 2 เฟสที่อยู่ใกล้เคียงกัน จะเห็นว่า หนึ่งในสองบิตจะเหมือนกัน



รูปที่ 2.15 เวกเตอร์ผลลัพธ์ของสัญญาณ QPSK

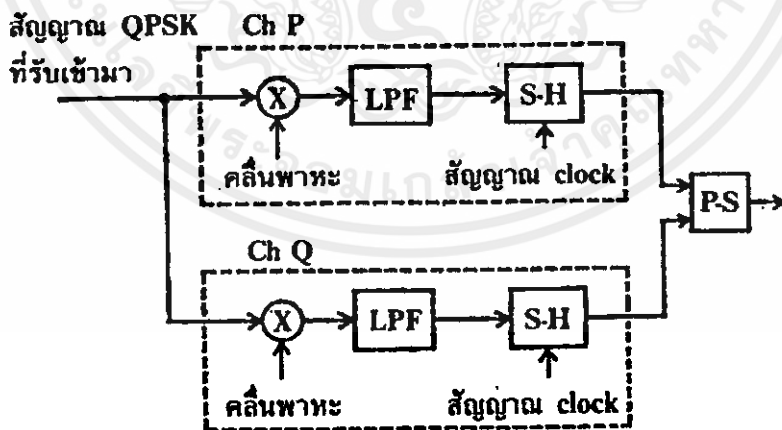
ตอนนี้เรามาพิจารณาหลักการของการตีโมดูลสัญญาณ QPSK โดย coherent detection เวกเตอร์ที่แสดงโดยเส้นทึบเป็นสัญญาณ QPSK ที่รับได้ ซึ่งสัญญาณ QPSK นี้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้โดยการรวมสัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกันคู่หนึ่ง ซึ่งแสดงโดยเส้นประ นั่นคือ การตีโมดูลสัญญาณ QPSK ก็เท่ากับการตีโมดูลสัญญาณ BPSK สองสัญญาณดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นสัญญาณ QPSK ที่ได้รับคือ การตีเทคนแบบ coherent โดยการไล่คลื่นพาหะอ้างอิงที่ตั้งฉากกันคู่หนึ่ง ซึ่งได้โดยการเลื่อนเฟสของสัญญาณที่รับไปเท่ากับ $\pi/4$ นั่นคือ สัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกันแต่ละสัญญาณถูกการตีเทคนแบบ coherent แยกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



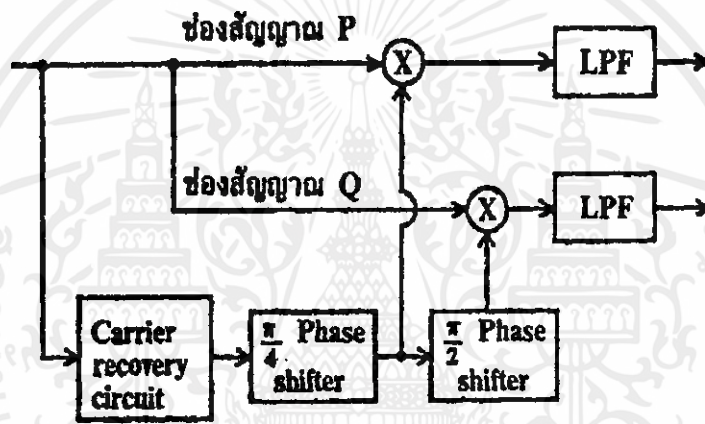
รูปที่ 2.16 สัญญาณ QPSK ถูก shift phase

รูปต่อไปนี้เป็นวงจรดีโมดูเลทสำหรับสัญญาณ QPSK โดยการดีเทคแบบ coherent ซึ่งวงจรประกอบด้วยวงจรดีโมดูเลทแบบ coherent คู่หนึ่งสำหรับสัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกัน สัญญาณ QPSK ที่รับได้ถูกแบ่งออกเป็นขบวนสัญญาณ 2 ขบวน ซึ่งถูกดีเทคแบบ coherent แยกกัน คู่ของคลื่นพาหะอ้างอิงที่ตั้งฉากกันถูกป้อนเข้า multiplier ของช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q แต่ละช่องสัญญาณ ซึ่ง output จะผ่าน low pass filter เพื่อตัดฮาร์โมนิคสูง ๆ ออก หลังจากนั้นก็ผ่านไปยังวงจร sample holder พร้อมด้วย clock pulse ดังนั้นสัญญาณจะถูกดีโมดูเลทแยกกันในช่องสัญญาณ P และ Q ขบวนสัญญาณที่ขนาดกันนี้ถูกรวมเข้าด้วยกันที่ P/S converter เพื่อจัดรูปแบบเรียงเป็นสัญญาณอนุกรมตามเดิม



เอกสารรูปที่ 2.17 วงจรดีโมดูเลทสัญญาณ QPSK ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการดีเทคสัญญาณ QPSK แบบ coherent จำเป็นที่จะต้อง shift เฟสของคลื่นพาหะอ้างอิง ทั้งคู่ไป $\pi/4$ เมื่อเทียบกับเฟสของสัญญาณที่รับได้ เพื่อจุดประสงค์นี้ จำเป็นต้องใช้วงจร $\pi/4$ carrier recovery วงจร $\pi/2$ phase shifter ในวงจร multiplier ของช่องสัญญาณ P คลื่นพาหะอ้างอิง ได้จากการเลื่อนเฟสของสัญญาณ ซึ่งเป็น out put ของวงจร carrier recovery แล้วเลื่อนเฟสไปโดยใช้ $\pi/4$ phase shifter ส่วนวงจร multiplier ของช่องสัญญาณ Q คลื่นพาหะอ้างอิงได้จาก output ของ $\pi/4$ phase ผ่านวงจร $\pi/2$ phase shifter อีกครั้งหนึ่ง คลื่นพาหะอ้างอิงนี้จะตั้งฉากกับคลื่นพาหะอ้างอิงในช่องสัญญาณ P โดยการผ่านการดีเทคแบบ coherent ของสัญญาณ QPSK ซึ่งใช้คลื่นพาหะอ้างอิงคู่หนึ่งนี้เราก็จะได้สัญญาณ BPSK 2 สัญญาณ ซึ่งรวมกันมาจากทางตอนโมดูเลท สามารถดีเทคแยกออกมาได้ โดยวิธี coherent ดังรูป



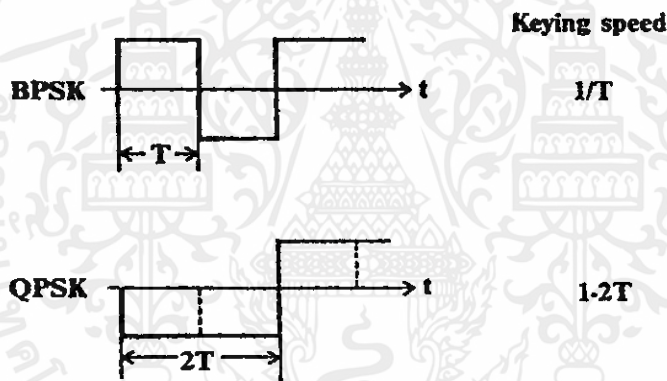
รูปที่ 2.18 การดีเทคสัญญาณ QPSK ออกมาเป็น BPSK 2 สัญญาณ

หลักการพื้นฐานของ carrier recovery จากสัญญาณ QPSK ก็เหมือนกันกับกรณีของสัญญาณ BPSK เฟสของคลื่นพาหะอ้างอิงที่ได้กลับคืนมาจะตรงกันกับเฟสหนึ่งในสี่เฟสของสัญญาณ QPSK ที่ได้รับ แต่เป็นไปได้ที่จะกำหนดความเฟสไหนในสี่เฟสเหล่านี้ตรงกันกับเฟสของคลื่นพาหะอ้างอิงที่แท้จริง โดยลักษณะนี้ปัญหาของ $\pi/2$ phase ambiguity ก็จะเกิดขึ้นใน QPSK ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ differential coding technique หรือโดยใช้ unique word เข้าช่วยเหมือนในกรณีของ BPSK

ลักษณะของ QPSK

สมมติว่าจำนวนบิตที่จะต้องส่งในหนึ่งหน่วยเวลาคือ bit rate มีค่าเท่ากันทั้งในกรณีของ BPSK และ QPSK สำหรับ QPSK บิตจะถูกส่ง 2 บิตในแต่ละครั้ง ดังนั้นความถี่ของการเปลี่ยนเฟสคลื่นพาหะจะขึ้นอยู่กับรหัส นั่นคือ keying speed จะเป็นครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับกรณี BPSK เมื่อช่วงระยะเวลาของบิตแต่ละตัวเป็น T ดังนั้น keying speed จะมีค่าเท่ากับ $1/T$ สำหรับกรณีของ BPSK และจะมีค่าเท่ากับ $1/2T$ สำหรับกรณีของ QPSK

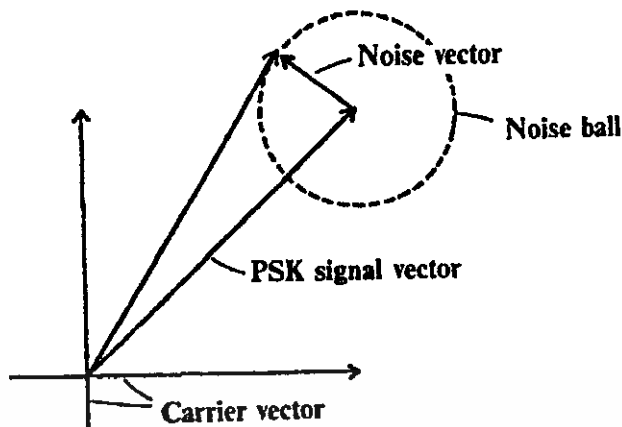
โดยทั่วไปแล้วแถบกว้างความถี่ที่ถูกครอบครองของสัญญาณ PSK จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับ keying speed ฉะนั้นเมื่อให้อัตราการส่งบิตคงที่ keying speed ในกรณีของ QPSK จะเป็นครึ่งหนึ่งของ BPSK และแถบกว้างความถี่ที่ถูกครอบครองของสัญญาณ QPSK จะเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณ BPSK ในทางตรงกันข้ามเมื่อให้แถบกว้างความถี่เท่ากัน จำนวนบิตซึ่งสามารถส่งได้ในกรณีของ QPSK จะเป็น 2 เท่าของ BPSK ดังนั้นจะเห็นได้ว่า QPSK มีข้อดีกว่า BPSK ถ้ามองจากผลในการใช้แถบความถี่คลื่น



รูปที่ 2.19 keying speed ในการส่งสัญญาณ

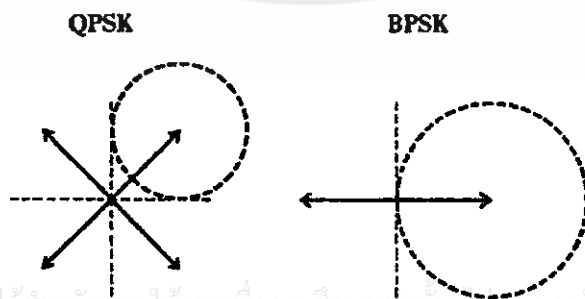
รูปต่อไปนี้เป็นแวกเตอร์ไดอแกรมของสัญญาณ PSK เมื่อมีเสียงรบกวนเข้ามา ทำให้แอมพลิจูดและเฟสเปลี่ยนไป จะเห็นว่าทิศทางของแวกเตอร์เสียงรบกวนเปลี่ยนไปได้ทุกทิศทาง แวกเตอร์เสียงรบกวนที่มีขนาดคงที่ และหมุนไปทุกทิศทางเป็นวงกลมนี้เรียกว่า “ noise ball “ เมื่อแวกเตอร์ผลรวมระหว่าง PSK แวกเตอร์ และแวกเตอร์เสียงรบกวนข้าม carrier vector ไปทางใดทางหนึ่ง (ดูรูปประกอบ) เฟสที่ส่งก็จะถูกตีโมดูลेटผิดไปเป็นเฟสข้างเคียง เพราะฉะนั้นเมื่อ noise ball มีค่ามาก การผิดพลาดของบิตก็จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 PSK เวกเตอร์ และ noise เวกเตอร์

ลองเปรียบเทียบขนาดของ noise ball สูงสุดที่ไม่ทำให้เกิด bit error ขึ้นใน BPSK และ QPSK โดยที่ความยาวของเวกเตอร์สัญญาณมีขนาดเท่ากัน ซึ่งหมายความว่ากำลังส่งสัญญาณทั้ง QPSK และ BPSK มีกำลังส่งเท่ากัน เราจะเห็นระยะระหว่างสองเวกเตอร์สัญญาณในกรณี QPSK จะสั้นกว่าในกรณี BPSK และช่วงขนาดของ noise ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิตในกรณี QPSK จะแคบกว่า ดังในรูป ดังนั้นถ้ากำลังในการส่งสัญญาณเท่ากันและความกว้างของย่านความถี่เท่ากัน อัตราการผิดพลาดของบิต กรณี QPSK จะสูงกว่ากรณี BPSK แต่จำนวนข้อมูลข่าวสารที่ส่งในกรณี QPSK จะมากเป็น 2 เท่าของ BPSK โดยลักษณะเช่นนี้ถ้าต้องการใช้ย่านความถี่ให้ได้ผลมากที่สุดจึงควรใช้ QPSK มากกว่า BPSK แต่ถ้าจะให้อัตราการผิดพลาดของบิตเกิดขึ้นเท่ากัน ก็จำเป็นต้องให้กำลังในการส่งสัญญาณในกรณี QPSK มากกว่ากรณี BPSK เพราะฉะนั้น QPSK จึงเหมาะสำหรับระบบสื่อสารดาวเทียม ซึ่งมีย่านกว้างความถี่จำกัดเข้มงวดกว่าข้อจำกัดทางกำลังในการส่งสัญญาณ



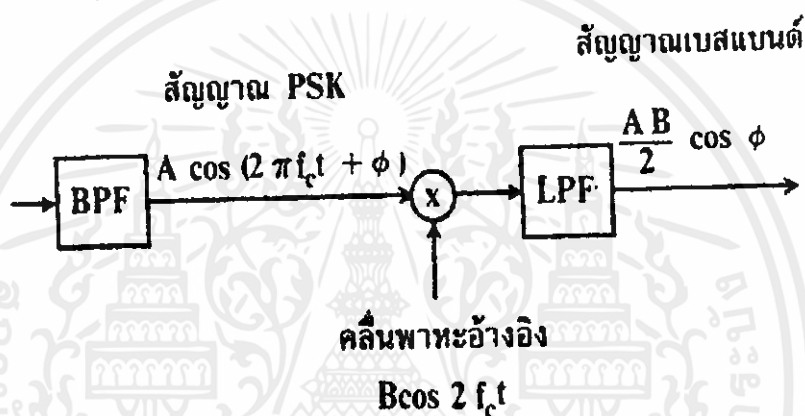
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบขนาดของ noise ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิต

2.6 โคฮีเรนทีดีเทกชัน

การตีโมดูลเททสัญญาณ PSK ทางด้านรับเป็นแบบ coherent detection ซึ่งมีหลักการดังนี้
สัญญาณ PSK ที่รับได้ ชั้นแรกจะผ่านวงจร multiplier ซึ่งจะคูณสัญญาณ PSK ที่รับได้ด้วย reference carrier สำหรับซาร์โมนิค ซึ่งรวมอยู่ในสัญญาณ output จะถูกตัดออกไปโดยผ่าน low pass filter และได้สัญญาณเบสแบนด์ออกมาทางด้านทางออก

ถ้าสัญญาณ PSK ที่รับเข้ามาคือ $A \cos(2\pi f_c t + \phi)$ คลื่นพาหะอ้างอิงมีไว้เพื่อการ
ซิงโครไนซ์กับคลื่นพาหะทางด้านส่งคือ $B \cos 2\pi f_c t$ สัญญาณที่ออกหลังจากผ่าน LPF แล้วสามารถ
กำหนดได้เป็น $AB/2 \cos \phi$



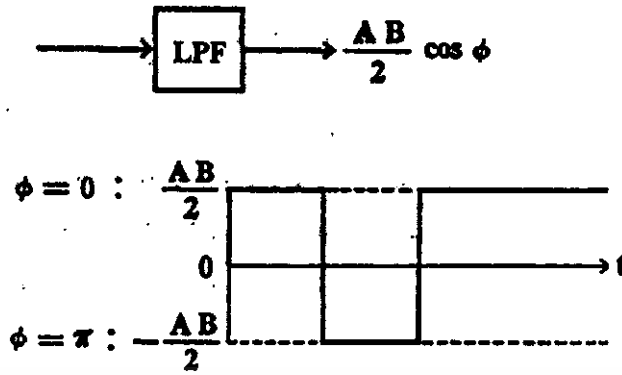
รูปที่ 2.22 การรับสัญญาณ PSK ทางด้านรับ

ทั้งนี้เนื่องจาก

$$\begin{aligned} A \cos(2\pi f_c t + \phi) \cdot B \cos 2\pi f_c t \\ &= AB/2 \{ (\cos 2\pi f_c t + \phi + 2\pi f_c t) + (\cos 2\pi f_c t + \phi - 2\pi f_c t) \} \\ &= AB/2 \{ \cos(4\pi f_c t + \phi) + \cos \phi \} \end{aligned}$$

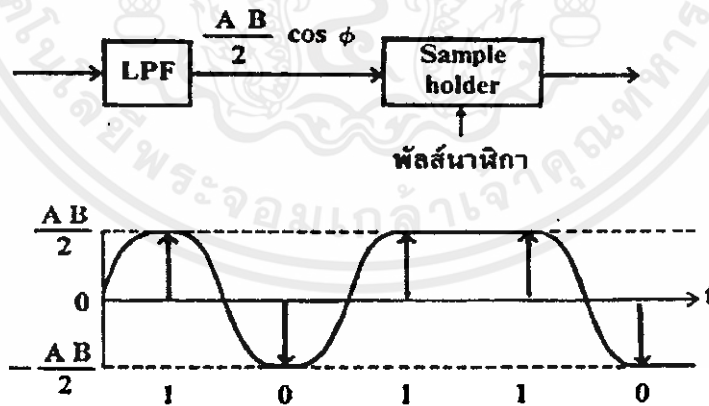
ซึ่ง $AB/2 \cos(4\pi f_c t + \phi)$ นี้คือซาร์โมนิค โดยมีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่คลื่นพาหะเดิม ซึ่งจะถูกตัดออกไปเมื่อผ่าน low pass filter ดังนั้น ทางด้านทางออก จึงมีแต่เพียง $AB/2 \cos \phi$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
นอกจากนี้เอกสารนี้ยังเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 สัญญาณ Output หลังจากผ่าน LPF.

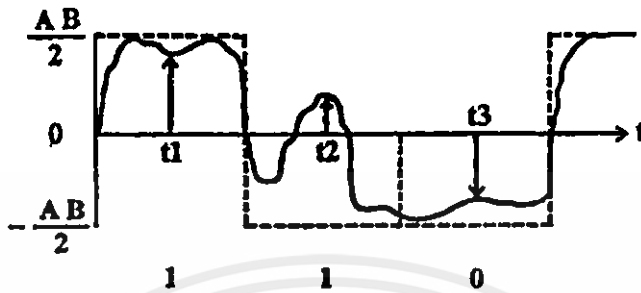
สัญญาณ Output ในรูปข้างบน ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ band limitation และเสียงรบกวน และต่อจากนั้น สัญญาณเบสแบนด์นี้จะถูกส่งไปยังวงจร Sample holder ซึ่งวงจรจะทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเบสแบนด์ด้วย clock pulse ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละรหัสสัญญาณ และกำหนดว่ารหัสนั้นเป็น 1 หรือ เป็น 0 โดยการตัดสินใจหรือพิจารณาจาก Polarity ของสัญญาณ แฉมเปิดนั้นแล้วทำการสร้างสัญญาณดิจิทัลดั้งเดิมขึ้นมาใหม่ในรูปนี้รหัสเป็น 1 สำหรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเป็นบวก และรหัสเป็น 0 สำหรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเป็นลบ



รูปที่ 2.24 การพิจารณาหรัสเป็น 1 หรือ 0 โดย Sample holder

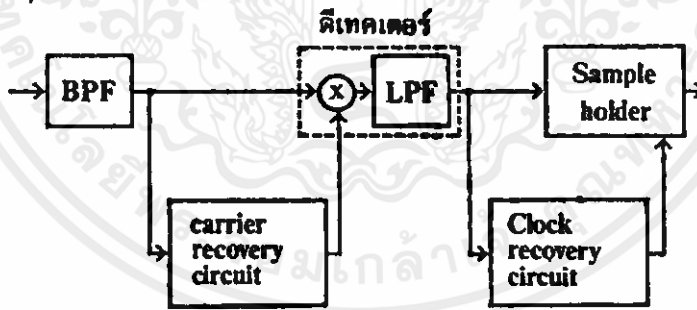
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ เมื่อสัญญาณมีการผิดเพี้ยนเนื่องจากอิทธิพลของเสียงรบกวน ถ้ามีการผิดเพี้ยนน้อย Polarity ของสัญญาณก็ไม่เปลี่ยนแปลง เช่นที่ t_1 และ t_2 รหัสที่ได้ออกมาาก็ถูกต้อง แต่ถ้าพิจารณาที่ t_3

Polarity ของสัญญาณถูกเปลี่ยนไปในทางตรงข้ามเนื่องจากเกิดการผิดเฟสขึ้นมาก รหัสที่ได้ออกมา ก็จะผิดไปจากรหัสเดิม bit error ก็จะเกิดขึ้น



รูปที่ 2.25 รหัสผิดเฟสขึ้นเนื่องจากเสียงรบกวน

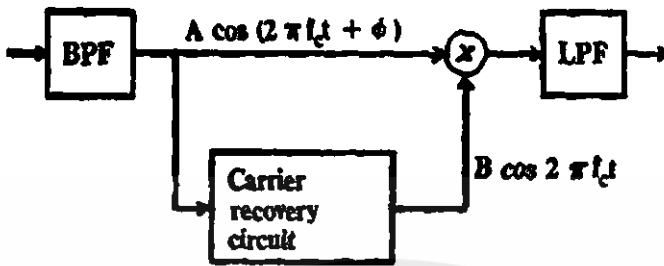
รูปต่อไปนี้เป็นบล็อกไดอะแกรมของ Coherent demodulator BPF ดีเทคเตอร์ sample holder, carrier recovery circuit และ clock recovery circuit วงจร carrier recovery circuit จะสร้างคลื่นพาหะอ้างอิงขึ้นมาใหม่ โดยการทวีคูณสัญญาณ PSK ที่รับมาได้ ส่วน clock recovery circuit จะสร้างสัญญาณ clock ขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สำหรับ sample holding ในวิธีการ coherent detection นี้ ทั้งคลื่นพาหะอ้างอิง และ สัญญาณ clock จะถูกสร้างขึ้นใหม่จากสัญญาณ PSK ที่รับเข้ามา



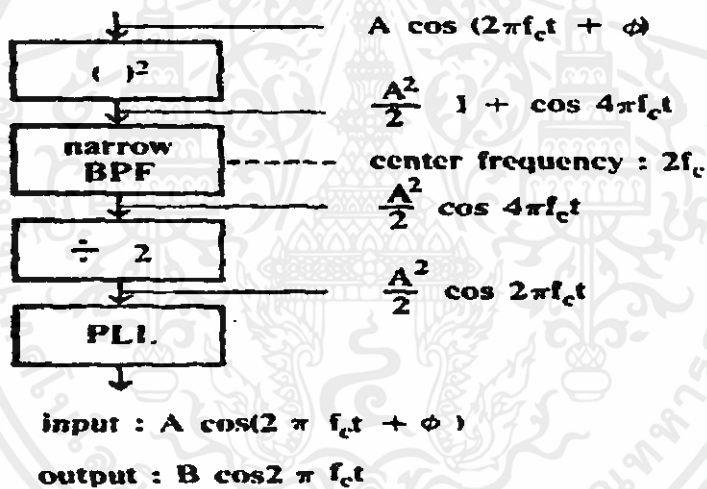
รูปที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมของ Coherent demodulator [12]

คลื่นพาหะอ้างอิงที่ใช้ใน coherent detection นี้ เพื่อการซิงโครไนซ์กับคลื่นพาหะทางส่ง และคลื่นพาหะอ้างอิงนี้จะถูกสร้างขึ้นใหม่จากสัญญาณ PSK ที่รับเข้ามา ซึ่งสัญญาณ input ที่เข้าวงจร carrier recovery circuit สามารถกำหนดโดย $A \cos(2\pi f_c t + \phi)$ สัญญาณ output คือคลื่นพาหะอ้างอิงกำหนดโดย $B \cos 2\pi f_c t$

วงจร carrier recovery ประกอบด้วย squarer, narrow band pass filter โดยมีความถี่กึ่งกลาง
ที่ $2f_c$ วงจร \square frequency divider และวงจร phase locked loop

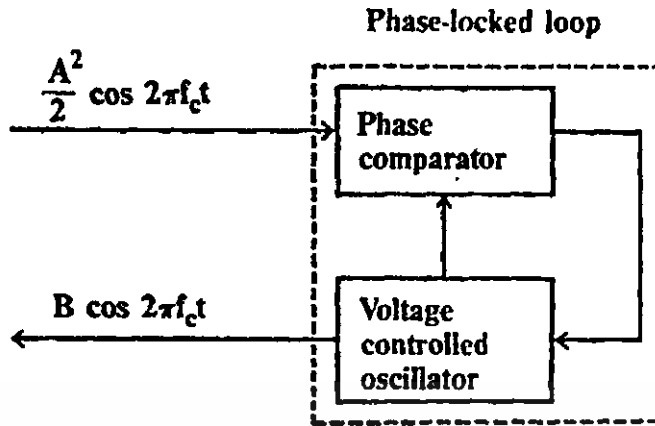


รูปที่ 2.27 หลักการของ carrier recovery circuit [12]



รูปที่ 2.28 carrier recovery circuit และสัญญาณตามจุดต่าง ๆ [12]

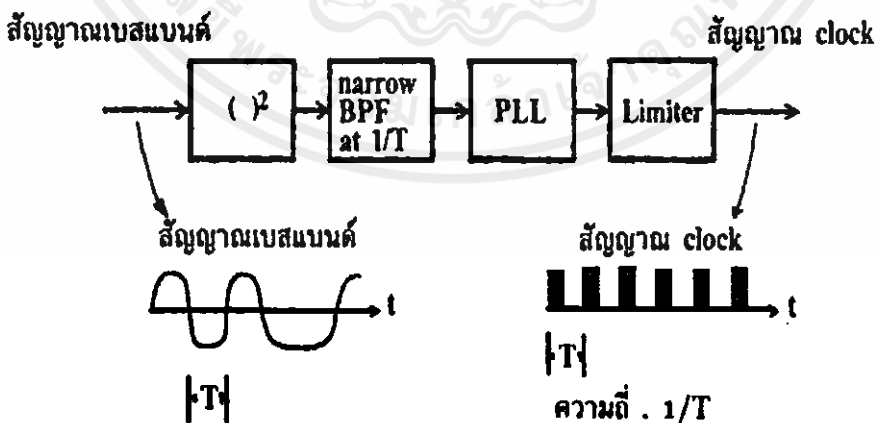
สัญญาณ $\{(A^2/2) \cos 2\pi f_c t\}$ ที่ออกจากวงจร divider ปกติจะมีเสียงรบกวนรวมอยู่ด้วย เพื่อที่จะตัดเสียงรบกวนออก และได้คลื่นพาหะอ้างอิงที่ปราศจากการผิดเพี้ยน จำเป็นต้องใช้วงจร phase lock loop ช่วย วงจร PLL นี้ประกอบด้วย phase comparator และ voltage controlled oscillator (VCO) ที่วงจร phase comparator สัญญาณ output ของวงจร divider จะถูกเปรียบเทียบอย่างต่อเนื่องกับ output ของ VCO เมื่อมีความต่างเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสองนี้ สัญญาณ output ของ VCO จะถูกควบคุมอย่างอัตโนมัติในการปรับเฟสของสัญญาณทั้งสอง โดยวิธีการนี้ คลื่นพาหะอ้างอิง $B \cos 2\pi f_c t$ ซึ่งไม่มีเสียงรบกวนรวมอยู่ด้วยสามารถที่จะสร้างขึ้นใหม่



รูปที่ 2.29 การทำงานของ phase locked loop [12]

clock pulse ที่จำเป็นสำหรับ sample holding ก็จะถูกสร้างขึ้นใหม่จากสัญญาณ PSK ที่รับได้เช่นกัน เพื่อจุดประสงค์นี้ ต้องใช้วงจร clock recovery สัญญาณเบสแบนด์ที่ได้ที่ output ของดีเทคเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้เป็น สัญญาณ input ให้กับวงจร clock recovery

มีอยู่หลายวิธีในการสร้างสัญญาณ clock ขึ้นใหม่ วงจรข้างล่างนี้ก็เป็นตัวอย่างวงจรหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย squarer, narrow BPF, PLL และลิมิเตอร์ สำหรับ narrow BPF ที่ใช้ในวงจรมีความถี่กึ่งกลางของ $1/T$ ซึ่ง T คือ ความกว้างของรหัสตัวหนึ่ง ๆ ดังนั้น $1/T$ คือความถี่ของสัญญาณ clock ที่ได้ โดยการผ่านสัญญาณเบสแบนด์ที่ได้รับที่ output ของดีเทคเตอร์ผ่านวงจรมี เราจะได้รับสัญญาณ clock ที่มีความถี่ $1/T$

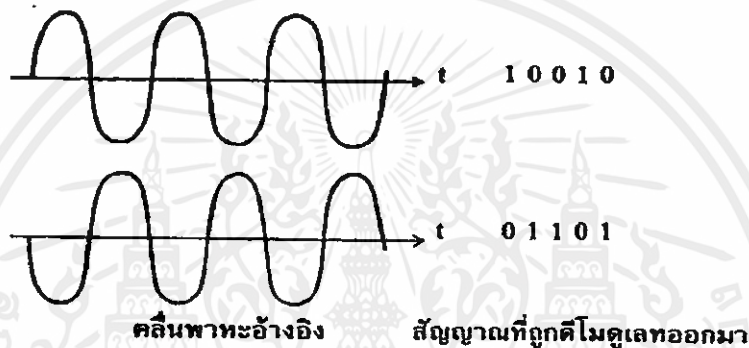


รูปที่ 2.30 วงจร clock recovery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

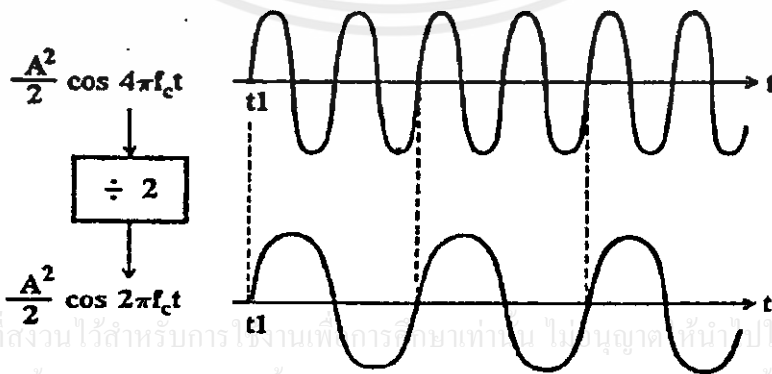
การผิดพลาดทางเฟส (Phase ambiguity)

คลื่นพาหะอ้างอิงที่ใช้ใน coherent detection มีความจำเป็นเพื่อล็อกเฟสกับคลื่นพาหะทาง ด้านส่งแต่อย่างไรก็ตาม ปกติแล้วเป็นไปได้ที่จะทำให้คลื่นพาหะสองชนิดนี้มีการล็อกเฟสซึ่งกัน และกันอย่างสมบูรณ์ในโมเด็ม PSK คือความต่างเฟสเท่ากัน ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากความต่าง ระหว่างคลื่นพาหะทั้งสอง แต่เป็นไปได้ที่จะรู้ความต่างเฟสนี้ที่ทางด้านรับ ความไม่สามารถที่จะ ตัดความต่างเฟสนี้ เป็นผลทำให้เกิดการผิดพลาดทางเฟส เมื่อคลื่นพาหะอ้างอิงเกิดการ out of phase เท่ากัน เครื่องหมายของบิตที่อยู่ในการดีโมดูเลทสัญญาณดิจิทัล จะเกิดการเปลี่ยนกลับจาก 1 เป็น 0 และจาก 0 เป็น 1



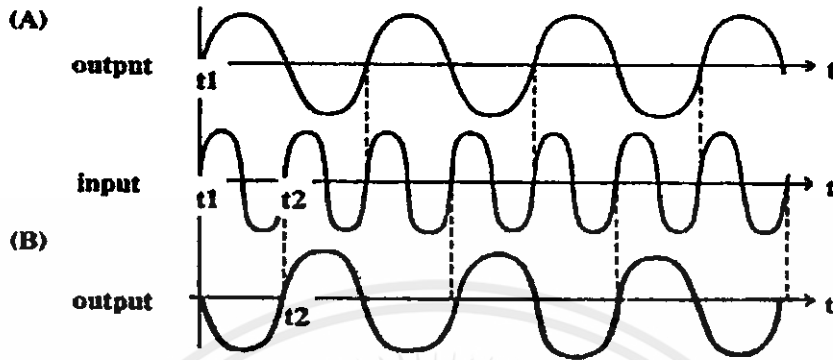
รูปที่ 2.31 การผิดพลาดทางเฟส

การผิดพลาดทางเฟสมีสาเหตุมาจาก frequency divider ในวงจร carrier recovery ในการ หารความถี่นี้สัญญาณ $\cos 4\pi f_c t$ ถูกหารความถี่ด้วย 2 จะได้ $\cos 2\pi f_c t$ รูปต่อไปนี้แสดงรูปคลื่น ดั้งเดิม และรูปคลื่นทาง output ที่ได้หลังการผ่านวงจรหารความถี่ด้วย 2 ซึ่งมีจุดเริ่มแรกที่ t_1 โดย การกำหนดจุดเริ่มแรกที่ต่างกันเราจะได้รูปคลื่น output ที่ต่างกัน



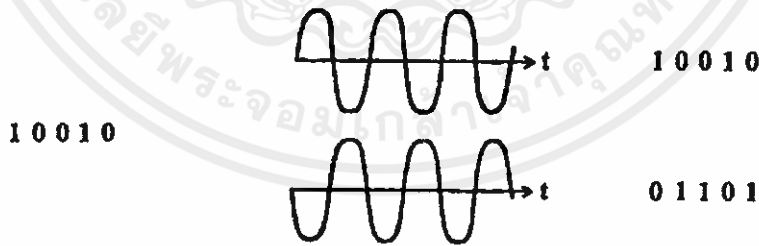
รูปที่ 2.32 คลื่นสัญญาณเมื่อผ่านวงจรหารความถี่

รูปข้างล่างนี้เป็น input และ output ของวงจรถอดรหัสที่ ใช้ในวงจร carrier recovery ซึ่ง output (A) ได้จากกรณี t_1 เป็นจุดเริ่ม ส่วน output (B) ได้จากกรณีให้ t_2 เป็นจุดเริ่ม จะเห็นว่า output ทั้งสองกรณีกลับเฟสกัน



รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบ output กรณี t_1 และ t_2 เป็นจุดเริ่ม

เนื่องจากรูปคลื่น output 2 แบบสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ที่ output ของวงจรถอดรหัส ดังนั้นเราต้องมาพิจารณารูปคลื่นของคลื่นพาหะอ้างอิง 2 แบบ แบบหนึ่งเฟสตรงกับคลื่นพาหะทาง ด้านส่ง และอีกแบบหนึ่งต่างเฟส π กับคลื่นพาหะ ตามปกติแล้วแบบใดแบบหนึ่งของคลื่นพาหะ อ้างอิงใน 2 แบบนี้ ใช้ในการดีโมดูเลทอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามไม่มีการกำหนดแน่นอนว่าแบบไหนที่ ใช้สำหรับการดีโมดูเลท และดังนั้น เราจึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้รับหลังจาก ผ่านการดีโมดูเลทเป็นแบบปกติ หรือ แบบกลับเฟส



สัญญาณที่ถูกส่งทางด้านส่ง

คลื่นพาหะอ้างอิง

สัญญาณที่ถูกดีโมดูเลท

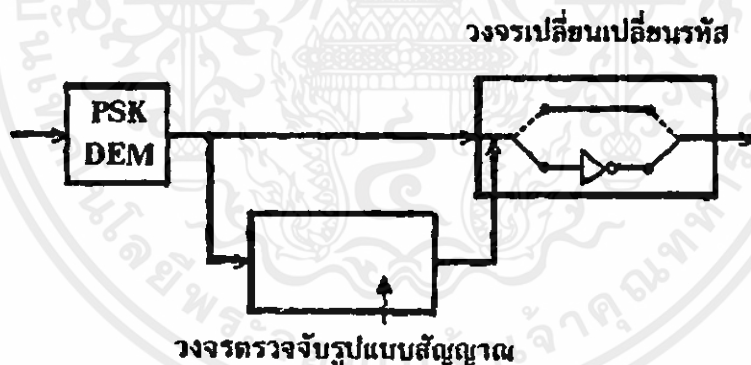
รูปที่ 2.34 สัญญาณดิจิทัลหลังจากการดีโมดูเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิธีการที่จะแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ทางเฟสคือ differential coherent PSK หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า DC.PSK โดยวิธีการนี้ ข่าวดาต้าในสัญญาณดิจิทัลที่จะส่งจะถูกทำให้เฟสของสัญญาณ PSK เปลี่ยนไป คือ ไม่ให้เป็น initial phase ของสัญญาณ PSK

ยูนิกเวิร์ด (Unique word)

อีกวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการผิดพลาดทางเฟสคือ การใช้รูปแบบของรหัสที่แน่นอนตายตัว เรียกว่า “ยูนิกเวิร์ด” โดยทางด้านจะส่งรูปแบบของรหัสที่แน่นอนตายตัวคือ ยูนิกเวิร์ด จะถูกเพิ่มเข้าไปที่ด้านหน้าของลำดับข้อมูลที่จะส่ง เมื่อทางด้านรับทำการดีโมดูเลทได้รับยูนิกเวิร์คออกมาตรงกับรูปแบบรหัสที่ได้ส่งมา data ข้อมูลที่ตามมาก็พิจารณาได้ว่าถูกต้อง แต่เมื่อยูนิกเวิร์คที่ทำการดีโมดูเลทออกมามีรูปแบบรหัสที่ตายตัวนั้นกลับรหัสกันเช่น แทนที่จะเป็น 11010 กลับเป็น 00101 ดังนั้น data ข้อมูลที่ส่งตามมาก็พิจารณาได้ว่ารหัสกลับกันเนื่องจากการผิดพลาดทางเฟส และลำดับข้อมูลที่จะตามมาก็จะถูกเปลี่ยนเป็นรหัสตรงข้าม เพื่อว่าลำดับข้อมูล output จะได้ตรงกับรหัสทางด้านส่ง

รูปต่อไปนี้เป็นบล็อกไดอแกรมของวงจรดีโมดูเลทที่ใช้ยูนิกเวิร์ด ซึ่งประกอบด้วยวงจรตรวจจับรูปแบบสัญญาณ และวงจรเปลี่ยนรหัส วงจรตรวจจับรูปแบบสัญญาณจะตรวจสอบยูนิกเวิร์คจากสัญญาณ output ของดีโมดูเลเตอร์ เมื่อยูนิกเวิร์คมีรูปแบบที่ตรงข้ามกับรูปแบบเดิม สวิตช์ในวงจรเปลี่ยนรหัสก็จะถูกปรับไปทางด้านตรงข้าม เพื่อให้รหัสเกิดการเปลี่ยนรหัสไปเป็นตรงข้าม ดังนั้นอิทธิพลของการผิดเฟสก็จะไม่เกิดขึ้น และลำดับข้อมูลสัญญาณที่ถูกต้องก็สามารถรับได้ทางด้านรับ



รูปที่ 2.35 วงจรดีโมดูเลทที่ใช้ยูนิกเวิร์ด

ระบบที่ใช้ยูนิกเวิร์คมีข้อดีตรงที่จะไม่เกิดการผิดพลาดของบิตเป็นคู่ๆ เหมือนของ differential coherent PSK และอัตราการผิดพลาดของบิตจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ differential coherent PSK ดังนั้นระบบนี้เหมาะสมที่จะใช้กับการส่งสัญญาณข้อมูลที่มีความเร็วในการส่งสูง ซึ่งใช้ส่งในระบบสื่อสารดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลต และการเข้ารหัส

ความแตกต่างระหว่างการมอดูเลตแบบดิจิทัลกับการเข้ารหัสแบบดิจิทัล ไม่สามารถจะแยกออกจากกันได้ชัด แต่ในการเข้ารหัสจะมีบิตเพิ่มเติมเพื่อทำการ Forward Error Correction (FEC) เพื่อแก้ไขความผิดพลาดในการส่งข้อมูลแล้วจึงทำการมอดูเลต แต่ในกระบวนการมอดูเลตก็มีการเพิ่มบิตความผิดพลาด จึงทำให้การมอดูเลต และการเข้ารหัสแยกออกจากกันไม่ชัดเจน

2.7 บิต และอัตราการผิดพลาด

ค่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมโยงทางดิจิทัลที่สำคัญ ได้แก่ อัตราความผิดพลาดของบิต (Bit Error Rate หรือ BER) และมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดบิต (Bit Error Probability หรือ PB) ซึ่งมีความหมายถึงความน่าจะเป็นของบิตที่ส่งไปแล้วทำการรับไม่ถูกต้อง (เช่น ส่ง 1 แต่อ่านได้เป็น 0) ตัวอย่างเช่น ถ้า $BER = 1 \cdot 10^{-4}$ แสดงว่าส่งไป 10,000 บิต แล้วผิด 1 ตัว จะเห็นได้ว่า BER ก็เป็นเครื่องชี้คุณภาพของการสื่อสารดิจิทัลเหมือนกัน โดยทั่วไปแล้ว บิตความผิดพลาดจะเกิดจากความผิดพลาดของสัญลักษณ์ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน จึงมีผลทำให้วงจรไม่สามารถแสดงบิต ได้ถูกต้อง เช่น ผลของสัญญาณรบกวนทำให้เฟสเปลี่ยนไป

ความผิดพลาดของสัญลักษณ์หรือของบิต เกิดจากสัญญาณรบกวนเทอร์มัล (Thermal Noise) ส่งผลกระทบจากภายนอกและจากภายในวงจรเอง ถ้าพิจารณาเฉพาะสัญญาณรบกวนเทอร์มัล ค่าอัตราความผิดพลาดของสัญลักษณ์ (Symbol Error Rate หรือ SER อาจเรียกว่า Symbol Error Probability หรือ PE) จะสามารถคำนวณได้จาก E_s / N_0 หรือ E_b/N_0 วัดที่แบนด์วิดท์ IF ที่ด้านขาเข้าของตัวดีมอดูเลเตอร์ ถ้าค่า E_s / N_0 ยิ่งสูงแสดงว่า SER มีค่าน้อย

ถ้าให้ C เป็นกำลังของคลื่นพาห้ซึ่งส่งในระหว่างคาบของสัญลักษณ์ (T_s) พลังงานที่ได้รับใน 1 คาบเวลาของสัญลักษณ์ คือ

$$E_s = CT_s = C/R_s \quad (2.23)$$

โดยที่ R_s = อัตราสัญลักษณ์ ในหน่วยสัญลักษณ์ต่อวินาที

ค่าความหนาแน่นสัญญาณรบกวน (Noise Density หรือ N_0) เป็นค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้รับ (N) หารด้วย แบนด์วิดท์ที่ขาเข้าของตัวดีมอดูเลเตอร์

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{C}{N} \cdot \frac{B}{R_s} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $N_0 = N/B$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รวมสองส่วนการได้เป็น N หารด้วยแบนด์วิดท์ที่ขาเข้าของตัวดีมอดูเลเตอร์

สำหรับ BPSK บิต และความผิดพลาดของสัญลักษณ์มีค่าเท่ากัน ในขณะที่การมอดูเลชันอื่นๆ ที่ M มากกว่า 2 มีความสัมพันธ์ระหว่าง P_B และ P_E ดังสมการ

$$P_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_E}{1 - 2^{-N_s}} \quad (2.25)$$

สำหรับ P_E น้อยกว่า 1 มากๆ สมการจะลดลงเหลือ

$$P_B = \frac{\ln 2}{\ln M} P_E = \frac{P_E}{\log_2 M} \quad (2.26)$$

ดังนั้น จะเห็นว่า QPSK และ BPSK มีค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate) เดียวกัน สำหรับค่า E_s/N_o เดียวกัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ QPSK และ BPSK ที่มีการส่งบิตเป็น R_o บิต/วินาที โดยมีค่า B และค่า C/N เดียวกัน

สำหรับ QPSK นั้น $R_s = R_o / 2$

$$\left[\frac{E_s}{N_o} \right]_{QPSK} = \frac{C B_{QPSK}}{N R_s} = \frac{C \cdot 2B}{N R_o} \quad (2.27)$$

สำหรับ BPSK $R_s = R_o$

$$\left[\frac{E_s}{N_o} \right]_{BPSK} = \frac{C B_{BPSK}}{N R_s} = \frac{C B}{N R_o} \quad (2.28)$$

และจาก

$$P_{B_{BPSK}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{B C}{R_o N_o}} \right) \quad (2.29)$$

ดังนั้น

$$P_{B_{QPSK}} = \frac{1}{2} P_{B_{BPSK}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{B C}{R_o N_o}} \right) \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น QPSK จะมีค่า BER สูงกว่า BPSK เมื่อเปรียบเทียบกันโดยอัตราบิต, แบนด์วิดท์ และค่า C/N เท่ากัน แต่ QPSK ส่งข้อมูลในรูปบิตได้เป็น 2 เท่าของ BPSK ที่แบนด์วิดท์ RF เดียวกัน ดังนั้น QPSK จึงมีความจุในการส่งข่าวสารเป็น 2 เท่าของ BPSK

ในระบบ Differential QPSK เฟสของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนไปเป็นจำนวนเต็มของ $\frac{\pi}{2}$ rad ซึ่งขึ้นกับบิตที่เข้ามาแต่เนื่องจากมีค่าอัตราความผิดพลาดสูงเมื่อใช้เทคนิคนี้ ดังนั้น เทคนิคของการมอดูเลตแบบ Differential จึงไม่เป็นที่นิยม

อัตราข่าวสาร (Information Rate)

ในการส่งข่าวสารผ่านช่องสื่อสารที่มีเสียงรบกวน ข่าวสารที่ได้รับอาจผิดพลาดหรือหายไป ในระหว่างการส่ง และเนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นอัตราข้อมูลและอัตราข่าวสาร จึงมีหน่วยวัดที่ต่างกัน อัตราการส่งข่าวสารผ่านช่องสื่อสารนอกจากจะขึ้นกับอัตราการส่งบิต หรืออัตราข้อมูลแล้วยังขึ้นกับความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสัญลักษณ์

ความจุของช่องสื่อสาร

ถ้าเราทราบค่าอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวน (S/N) และความกว้างแถบของช่องสื่อสาร เราควรส่งข้อมูลผ่านช่องสื่อสารนี้ที่อัตราความเร็วมากที่สุดเท่าไร จึงยังสามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง ดังนั้นมีผู้วิจัยเรื่องนี้กันมากมายเป็นเวลาช้านาน จนถึงต้นศตวรรษ 19 ฮาร์ตลีย์และชานนอน (Hartley and Shannon) ก็ค้นพบทฤษฎีความจุของช่องสื่อสารที่สามารถตอบข้อสงสัยดังกล่าวได้

ความจุของช่องสื่อสารที่มีความกว้างแถบ B และมี white noise ที่ถูกจำกัดความถี่บวกอยู่คือ

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \text{ บิตต่อวินาที}$$

ในที่นี้ C คือความจุของช่องสื่อสารมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

B คือความกว้างแถบมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

S/N คืออัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวน

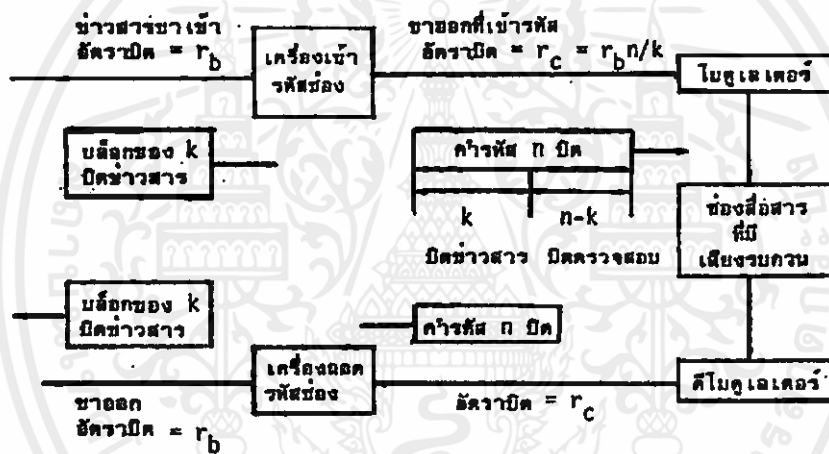
(ไม่มีหน่วย) กำลังของสัญญาณและกำลังของเสียงรบกวนมีหน่วยเป็นวัตต์

พิจารณาได้ว่า ความจุของช่องสื่อสารเป็นฟังก์ชันขึ้นกับความกว้างแถบและอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวน นั่นคือเราสามารถเพิ่มความจุของช่องสื่อสาร โดยการแลกเปลี่ยน (tradeoff) ความกว้างแถบกับอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวน กล่าวคือ ความจุของช่องสื่อสารจะเป็นอนันต์ ถ้าส่งข้อมูลผ่านช่องสื่อสารที่ไม่มีเสียงรบกวน ขณะเดียวกันเราสามารถเพิ่มความจุของช่องสื่อสาร โดยการขยายความกว้างแถบ หรือเพิ่มอัตรา

ส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวน การขยายความกว้างแถบไม่ทำให้ความจุของช่องสื่อสารเป็นอนันต์ เพราะในขณะที่ขยายความกว้างแถบกำลังของเสียงรบกวนก็จะเพิ่มตาม ทำให้อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อกำลังของเสียงรบกวนลดน้อยลง ถ้ากำลังของสัญญาณไม่เพิ่มในสัดส่วนที่มากกว่ากำลังของเสียงรบกวน

การเข้ารหัส

ตามทฤษฎีฮาร์ตลีย์และชานนอน ถ้าอัตราการส่งข้อมูลต่ำกว่าความจุของช่องสื่อสาร ($R < C$) เราสามารถใช้เทคนิคการเข้ารหัสให้ส่งข้อมูลโดยมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดต่ำที่สุดได้ การเข้ารหัสนั้นสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ 2 ชนิดคือ การเข้ารหัสแหล่งกำเนิด (source coding) และการเข้ารหัสช่องสื่อสาร (channel coding) ดังในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แผนภาพของระบบสื่อสารดิจิทัล

รูปที่ 2.36 [8] แสดงให้เห็นว่าข่าวสารสามารถกำเนิดในรูปแอนะล็อกและดิจิทัลก็ได้ ถ้าอยู่ในรูปแอนะล็อกก็จะผ่านการจัดรูปแบบ (formatting) และการจัดลำดับของโครงสร้างของข้อมูล (structured sequences) เช่น การเข้ารหัสลิเนียร์บล็อก (linear block codes) และการเข้ารหัสคอนโวลูชัน (convolutional codes) ข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสช่องสื่อสารแล้วจะผ่านการโมดูเลชันตามระบบดิจิทัลโมดูเลชัน แล้วจะผ่านช่องสื่อสาร เมื่อข้อมูลมาถึงปลายทาง ก็จะถูกดีโมดูเลทแล้วถูกถอดรหัสช่องสื่อสาร (channel decoding) และผ่านเครื่องดีคริปเตอร์ (decryptor) ถ้าใช้เครื่องเอ็นคริปเตอร์ ที่ต้นทาง แล้วจะผ่านการถอดรหัสแหล่งกำเนิด เมื่อได้สัญญาณดิจิทัลแล้วจะถูกแปลงกลับเป็นแอนะล็อก หรือคงอยู่ในรูปดิจิทัล สุดท้ายแล้วว่าสัญญาณเดิมเป็น แอนะล็อกหรือดิจิทัลและถูกส่งไปยังแหล่งรับข่าวสารตามต้องการ

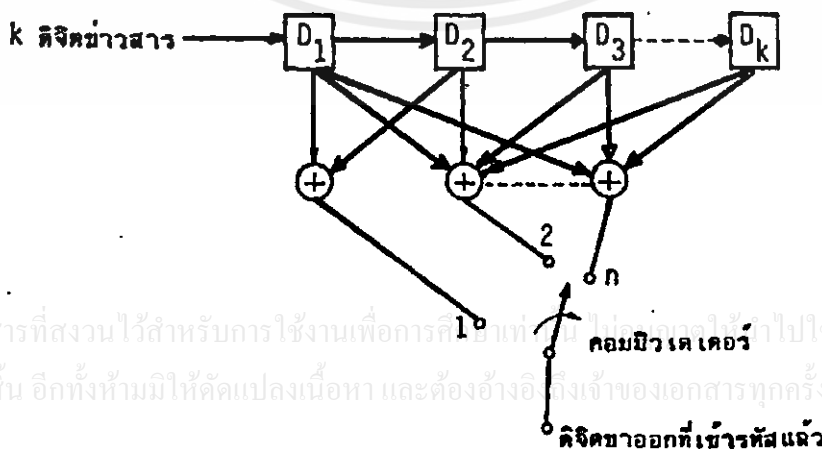
ต่อไปเราจะกล่าวถึงการเข้ารหัสช่องสื่อสารโดยทั่วไป มีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือเพิ่มความเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลมากขึ้น เราสามารถแบ่งรหัส ตามวัตถุประสงค์หลักของการเข้ารหัสได้ดังนี้

1. รหัสที่ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล (error detection code)
2. รหัสที่แก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล (error correction code)

รหัสที่แก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล ต้องสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้ด้วย ส่วนรหัสที่ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้นั้น ส่วนมากเป็นรหัสที่สร้างได้ง่ายๆเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับถูกต้องหรือไม่ ถ้าผิดก็ให้ส่งใหม่ เครื่องรับทราบแต่เพียงว่าเกิดข้อมูลผิดพลาดแต่ไม่ทราบว่าผิดพลาดที่บิตไหน รหัสที่ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลอย่างง่ายนี้ถูกนำมาใช้กับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่อัดอยู่ในเทปคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่า รหัสตรวจคู่ (parity check code) รหัสตรวจคู่นี้มีหลักการง่ายๆคือ ให้เติมบิตต่อท้ายบิตข่าวสาร (information bit) เพื่อให้ผลบวกเลขฐาน 2 ของบิตทั้งหมด (รวมทั้งบิตที่เพิ่มด้วย) เป็น '0' หรือ '1' แล้วแต่ว่าจะเป็น ภาวะคู่ หรือภาวะคี่ บิตที่เติมเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดนี้เรียกว่า บิตตรวจคู่ (parity check bit)

รหัสคอนโวลูชัน

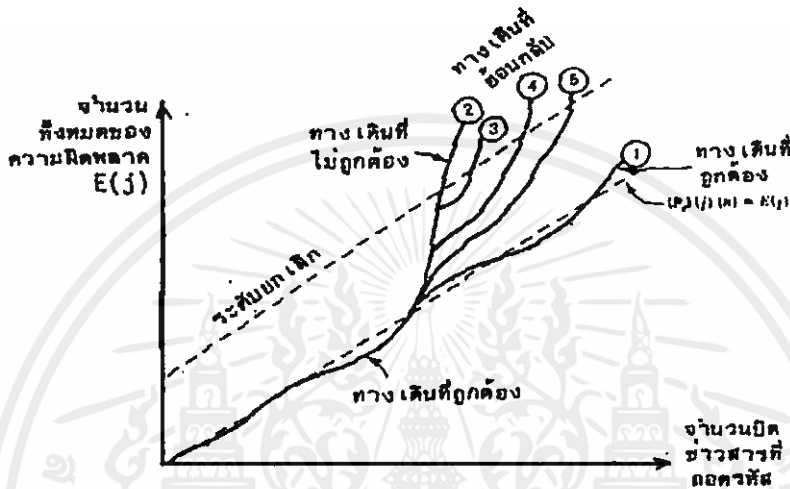
ความแตกต่างระหว่างรหัสบล็อก และรหัสคอนโวลูชัน (convolution codes) คือในรหัสบล็อก บล็อกของ n บิตที่กำหนดโดยเครื่องเข้ารหัส (encoder) ใน 1 หน่วยเวลาใด ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับบล็อกของ k บิตข้อมูลขาเข้าภายในหน่วยเวลานั้นเท่านั้น ในรหัสคอนโวลูชันบล็อกของ n บิตที่กำหนดโดยเครื่องเข้ารหัสในหน่วยเวลาใด ๆ นั้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับบล็อกของ k บิตข้อมูล ในหน่วยเวลานั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับ $(N-1)$ บล็อกของบิตที่นำหน้า $(N>1)$ ตามปกติ ค่าของ k และ n จะมีค่าน้อย ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 ตัวอย่างของเครื่องเข้ารหัสคอนโวลูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสคอนไวลูชันเหมือนกับรหัสบล็อก สามารถออกแบบให้ตรวจสอบหรือแก้ไขความผิดพลาดอย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลมักถูกส่งเป็นบล็อก รหัสบล็อกจึงเหมาะที่จะใช้เป็นการตรวจสอบความผิดพลาด และรหัสคอนไวลูชันมักใช้ในการแก้ไขความผิดพลาด การลงรหัสคอนไวลูชันสามารถทำได้โดยใช้พีซีริจิสเตอร์ และได้มีการพัฒนาวิธีการถอดรหัสมากมาย ผลงานการวิจัยและศึกษามือเร็ว ๆ นี้ ปรากฏว่ารหัสคอนไวลูชัน สามารถทำงานได้ดีเท่าหรือดีกว่ารหัสบล็อกในการควบคุมความผิดพลาด



รูปที่ 2.38 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการถอดรหัสซีเควินเชิซล

2.8 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและคุณภาพของสัญญาณ

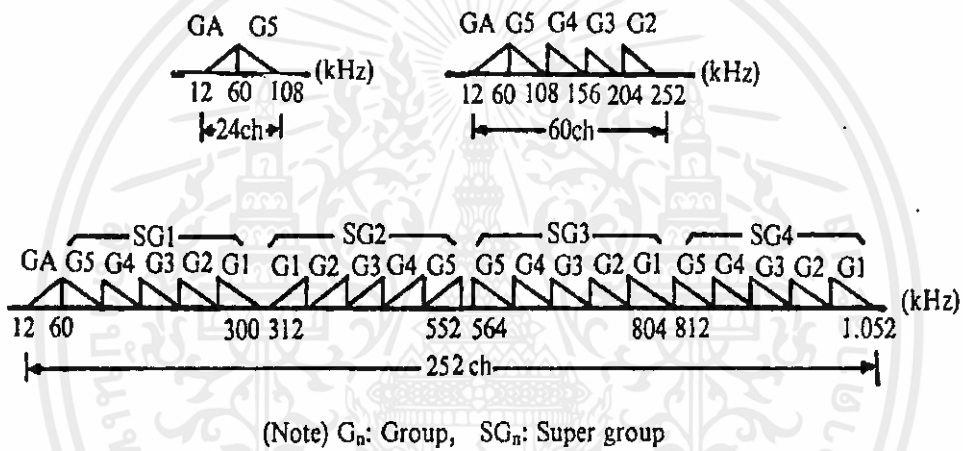
ระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ FDM – FM – FDAM

ระบบ FDM – FM – FDMA ซึ่งย่อมาจาก Frequency division multiplex – frequency modulation – frequency division multiple access เป็นระบบสื่อสารแบบอนาล็อกที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม ระบบนี้ใช้การมอดูเลตแบบ FM และให้สถานีภาคพื้นดินเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบจัดสรรความถี่ไว้ล่วงหน้า ระบบนี้พัฒนาจากระบบสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดินซึ่งแต่เดิมก็ใช้การมอดูเลตแบบ FM เช่นเดียวกัน ปัจจุบันนี้ถึงแม้เทคโนโลยีทางด้านสื่อสารดาวเทียมจะพัฒนาไปมาก ระบบนี้ก็ยังมีที่ใช้อยู่อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีคุณสมบัติดี ในหัวข้อนี้จึงขอกกล่าวถึงการในระบบนี้สำหรับการสื่อสารโทรศัพท์ โดยจะกล่าวถึงการคำนวณสัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบและผลกระทบของสัญญาณรบกวนนั้น ๆ เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมัลติเพล็กซ์สัญญาณโทรศัพท์

ตามข้อเสนอแนะของ CCITT G322 และ G423 (CCITT Recommendations G322 and G423) สัญญาณโทรศัพท์จะถูกจำกัดแบนด์วิดท์เป็น 3.1 kHz (300 – 3,400 Hz) และถูกมัลติเพล็กซ์โดยใช้ ไซเคิลแบนด์ด้านเดียวให้เป็นกรุป โดยที่ขนาดของกรุปจะเป็น 12 ช่องสัญญาณ 24 ช่องสัญญาณ 48 ช่องสัญญาณ หรือสูงกว่านี้ สัญญาณโทรศัพท์ที่ถูกมัลติเพล็กซ์เรียบร้อยแล้วจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่จะไปมอดูเลตแบบ FM เข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์ รูปที่ 2.39 [10] แสดงตัวอย่างการจัดกรุปของสัญญาณโทรศัพท์ดังกล่าวข้างต้น ในระบบสื่อสารดาวเทียมที่กล่าวถึงอยู่นี้ ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันนั้นไม่จำเป็นต้องถูกส่งไปที่จุดหมายปลายทางเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งสัญญาณคลื่นพาห์เดียวกันจะสามารถใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างหลาย ๆ สถานีภาคพื้นดินได้

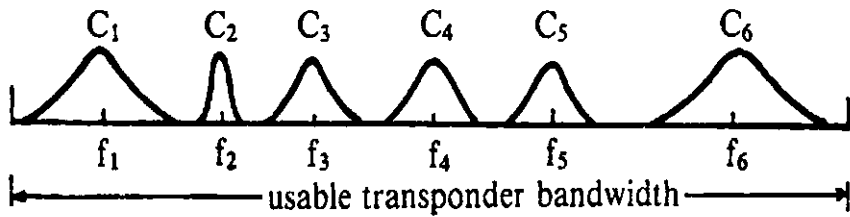


รูปที่ 2.39 ตัวอย่างการจัดกรุปของสัญญาณโทรศัพท์

เนื่องจากในระบบสื่อสารดาวเทียม เรามักจะแบ่งหน่วยของช่องสัญญาณบนดาวเทียมเป็น ทรานสปอนเดอร์ (transponder) โดยที่ 1 ทรานสปอนเดอร์จะมีแบนด์วิดท์ประมาณ 36 MHz และ เป็น 72 MHz ในดาวเทียมดวงใหม่ ๆ ดังนั้นถ้าสัญญาณ FM คลื่นพาห์เดียวใช้แบนด์วิดท์ไม่หมด เราก็มีโอกาสเพิ่มสัญญาณ FM คลื่นพาห์อื่นเข้าไปในทรานสปอนเดอร์เดียวกันได้ และนับว่าเป็น เรื่องโชคอย่างหนึ่งที่สัญญาณ FM นั้นถึงแม้จะมีแบนด์วิดท์กว้างแต่การกระจายของสเปกตรัม รอบๆคลื่นพาห์จะอยู่ในรูปใกล้เคียงกับการกระจายของเกาส์เซียน จึงทำให้ไม่เกิดการรบกวน ระหว่างสัญญาณ FM ที่อยู่ใกล้กันได้ง่าย รูปที่ 2.40 [11] แสดงตัวอย่างของการใช้สัญญาณ FM

เอกสารหลาย ๆ คลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



C_n : Carrier number f_n : Center frequency of carrier

รูปที่ 2.40 ตัวอย่างการใช้สัญญาณ FM หลาย ๆ คลื่นพาห้ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารดาวเทียม

(1) สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารดาวเทียม

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารดาวเทียมโดยทั่วไปนั้นอาจแยกกว้าง ๆ ออกเป็น 3 แบบคือ

- (ก) ลิงคินอยส์ (link noise) ซึ่งได้แก่สัญญาณรบกวนความร้อนขาขึ้น สัญญาณรบกวนความร้อนขาลง สัญญาณรบกวนอินเตอร์มอดูเลชันในดาวเทียม และสัญญาณรบกวนภายในระบบเดียวกัน (intra-system interference noise)
- (ข) สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ภาคพื้นดิน ได้แก่ สัญญาณรบกวนส่วนที่นอกเหนือจากสัญญาณรบกวนความร้อนที่เกิดขึ้นที่เครื่องรับ
- (ค) สัญญาณรบกวนที่ข้ามมาจากระบบอื่น เช่น มาจากระบบไมโครเวฟบนภาคพื้นดิน หรือระบบสื่อสารดาวเทียมระบบอื่น

ในบรรดาสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบนี้ แบบ (ก) จัดว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดจะมีผลกระทบต่อระบบมากที่สุด สัญญาณรบกวนนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียม เช่น ค่า EIRP และค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดินและของดาวเทียม การทำงานของทรานสปอนเดอร์บนดาวเทียมและมอดูเลชันอินเตอร์มอดูเลชันของสัญญาณ FM เป็นต้น สำหรับสัญญาณรบกวนในข้อ (ข) นั้น ส่วนที่อาจจะมีผลกระทบมากที่สุดก็คืออินเตอร์มอดูเลชันที่จะเกิดขึ้นในเครื่องส่งของสถานีภาคพื้นดิน ในกรณีที่ใช้เครื่องขยายเครื่องเดียวกันในการขยายสัญญาณ FM หลาย ๆ ความถี่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนในข้อ (ข) และข้อ (ค) สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันให้มีขนาดต่ำมาก ๆ เมื่อเทียบกับข้อ (ก) ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงสัญญาณรบกวนแบบข้อ (ก) เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(2) การแสดงกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

ในระบบ FDM-FM-FDMA นี้เรามักจะแสดงกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนที่ขาเข้าของเครื่องรับในรูปของกำลังของคลื่นพาห้ต่อกำลังของสัญญาณรบกวนดังนี้คือ

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{kTB_0} \quad (2.31)$$

โดยที่ C เป็นกำลังของคลื่นพาห้ N เป็นกำลังของสัญญาณรบกวนและ B_0 เป็นแบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM นั้น ค่า C/N นี้เป็นการแสดงอัตราส่วนระหว่างกำลังของคลื่นพาห้ต่อกำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมดซึ่งจะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM การแสดงอัตราส่วนนี้แบบแยกเอาแบนด์วิดท์ออก หรือการแสดงอัตราส่วนนี้ต่อ 1 Hz ในหลาย ๆ โอกาสจะให้ความสะดวกในการใช้งานมากกว่าดังนั้น จึงนิยามอัตราส่วนของกำลังคลื่นพาห้ต่อกำลังสัญญาณรบกวน 1 Hz ในรูปต่อไปนี้

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{kT} = \frac{C}{kTB_0} \cdot B_0 = \frac{C}{N} \cdot B_0 \quad (2.32)$$

นอกจากนั้นในบางโอกาสเราอาจสะดวกที่จะใช้ค่ากำลังของคลื่นพาห้ต่ออูณหภูมิของสัญญาณรบกวนจึงนิยามของค่านี้ในรูปต่อไปนี้

$$\frac{C}{T} = \frac{C}{N_0} \cdot k = \frac{C}{N} \cdot kB_0 \quad (2.33)$$

เมื่อเขียนสมการ (2.31) ถึงสมการ (2.33) ในรูปของหน่วย dB จะได้ผลดังนี้

$$\left[\frac{C}{N} \right] = 10 \log C - 10 \log kB_0 \quad (2.34)$$

$$\left[\frac{C}{N_0} \right] = \left[\frac{C}{N} \right] + 10 \log B_0 \quad (2.35)$$

$$\left[\frac{C}{T} \right] = \left[\frac{C}{N_0} \right] + 10 \log k \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อนึ่งหากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏไว้ ณ วันที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณโดยทั่วไปนั้นเรามักใช้ค่า $[C/N_0]$ เพราะเป็นค่าที่เป็นพื้นฐานซึ่งให้ความสะดวกในการเปรียบเทียบสัญญาณ FM หลาย ๆ สัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ไม่เท่ากัน

สำหรับคุณภาพของสัญญาณ FM หลังจากการคิมอดูเลตออกมานั้น ถ้าให้ค่า C/N หรือ C/N_0 ของสัญญาณขาเข้ามา จากผลการวิเคราะห์ จะได้ SNR ของสัญญาณขาออกเป็นดังนี้

$$\text{SNR}_D = \frac{3}{2} \beta^2 \frac{CB_0}{NW} = \frac{3}{2} \beta^2 \frac{C}{WN_0} \quad (2.37)$$

โดย w เป็นแบนด์วิคท์ของสัญญาณเบสแบนด์ และ β เป็นมอดูเลชันอินเด็กซ์ซึ่งเท่ากับ $\Delta f/w$ ถ้าเราให้ f_r เป็นค่ามอดูเลชันที่แสดงเป็นค่า rms ในกรณีของสัญญาณเบสแบนด์ความถี่เดียว f_r จะเท่ากับ $\Delta f/\sqrt{2}$ ทำให้สมการ (2.37) เขียนได้เป็น

$$\text{SNR}_D = 3 \frac{C}{N_0} \frac{1}{W} \cdot \left(\frac{f_r}{W} \right)^2 \quad (2.38)$$

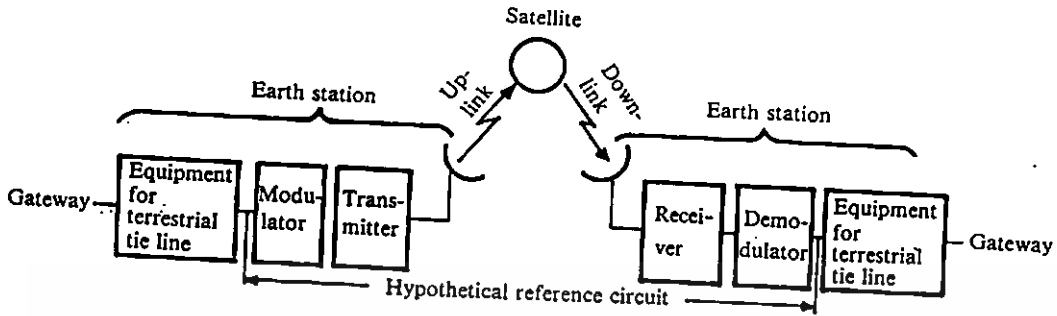
ในกรณีของสัญญาณโทรศัพท์ที่กำลังพิจารณาอยู่นี้ ถ้าเราจะพิจารณาคุณภาพของสัญญาณขาออกของโทรศัพท์ช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่ง เราจะได้โดยหากำลังของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณนั้น ถ้าให้ f_r เป็นความถี่ศูนย์กลางของช่องสัญญาณซึ่ง f_r อาจจะมีค่าเป็นหลัก kHz หรือเป็น MHz ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกมอดูเลตอยู่ และ B_c เป็นแบนด์วิคท์ของช่องสัญญาณโทรศัพท์ กำลังของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณนั้นจะหาได้โดยการอินทิเกรตความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ที่เกี่ยวข้อง

(3) ลิงคั่นออสส์

ลิงคั่นออสส์จัดเป็นสัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบมากที่สุด ลิงคั่นออสส์จะประกอบด้วยสัญญาณรบกวนหลักๆ คือ สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขาขึ้น (up-link thermal noise) สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิลง (down-link thermal noise) สัญญาณที่เกิดจากอินเตอร์มอดูเลชันในทรานสพอนเดอร์ของคววมเทียมนและสัญญาณรบกวนภายในระบบเดียวกัน สัญญาณรบกวนที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ แต่เรามีวิธีการบอกระดับของสัญญาณรบกวน โดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงที่สมมุติขึ้นในวงจรสื่อสาร (hypothetical reference circuit) นั้น หน่วยของสัญญาณรบกวนที่ใช้นั้นโดยทั่วไปจะเป็น Pw (pico watt) ถ้าเขียนเป็น pW_0 ตัวห้อย "0" จะแสดงว่าเป็นกำลังของสัญญาณรบกวนที่เทียบกับจุดอ้างอิงในลักษณะที่ว่า ถ้าสัญญาณนั้นไป

เอกสารเพื่อการศึกษานี้จัดทำขึ้นโดย "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 แสดงตำแหน่งจุดอ้างอิงในวงจรสื่อสารดาวเทียม ซึ่งได้แก่ จุดขาเข้าของวงจรมอดูเลเตอร์ และขาออกของวงจรมอดูเลเตอร์ของสถานีภาคพื้นดิน

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นหลังจุดอ้างอิง ซึ่งอาจจะมี การสูญเสียเกิดอยู่ระหว่างกลาง 20 dB ซึ่งในการคำนวณระดับของสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆที่กล่าวมาเป็นดังนี้

(1) สัญญาณรบกวนความร้อนขาขึ้น

สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขาขึ้นนี้เป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ภาครับสัญญาณของดาวเทียม ซึ่งถ้าให้อุณหภูมิสมมูลของสัญญาณรบกวนเป็น T_s ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน หรือ N_0 จะเป็น kT_s และถ้าอัตราขยายของสายอากาศรับของดาวเทียมเป็น G_s ค่า G_s/T_s นี้จะถูกเรียกว่า ฟิกเกอร์ออฟเมอร์ริต ของดาวเทียม ดังนั้น ค่า C/N_0 ของสัญญาณขาขึ้นเขียนได้เป็น

$$\left[\frac{C}{N_0} \right] = [EIRP]_E - [L_U] + \left[\frac{G}{T} \right]_s - 10 \log k \tag{2.39}$$

โดยที่ $[C/N_0]$ เป็นค่าคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน(1 เฮอร์ต) แสดงค่าหน่วยเป็น dB

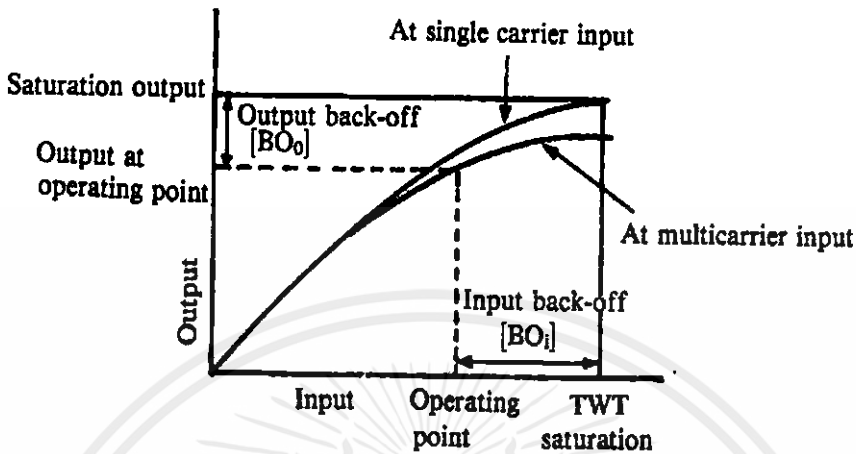
$[EIRP]_E$ เป็นค่ากำลังส่งออกที่มีผลของสถานีภาคพื้นดิน

$[L_U]$ เป็นค่าการสูญเสียขาขึ้น (up-link transmission loss) และ

$10 \log k$ มีค่าเท่ากับ -228.6 dB

ในกรณีที่มีคลื่นพาห์มากกว่าหนึ่งคลื่นพาห์ที่ต้องขยายสัญญาณด้วยเครื่องขยายเดียวกันนั้น ต้องมีการป้องกันการเกิดอินเตอร์มอดูเลชันและครอสมอดูเลชัน ที่รุนแรง ด้วยการลดระดับสัญญาณขาเข้าของทรานสponder ให้ต่ำกว่ากรณีที่มีคลื่นพาห์เดียว ซึ่งเรียกว่า อินพุทแบ็คออฟ (input back-off) ซึ่งจะทำให้เกิด เอ้าท์พุทแบ็คออฟ (output back-off) ไปในขณะเดียวกัน ดังแสดงในรูป 2.42 ในกรณีเช่นนี้ระดับของสัญญาณที่จุดทำงานนั้น จะเป็นตัวกำหนดค่า EIRP ของสถานีภาคพื้นดิน และในกรณีที่มีหลายคลื่นพาห์ ค่า $[C/N_0]$ เขียนได้เป็น

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{UA} = [W_s] - 10 \log \frac{4\pi}{\lambda^2} - [B_{oi}] + [G_s] \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าของเครื่องขยายแบบ หลอดคลื่นจร (TWT) [10]

(2) สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขาลง

สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขาลงนั้นส่วนใหญ่จะมาจากสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สายอากาศของภาคพื้นดินที่รับเข้ามา และสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ภาครับของสถานีภาคพื้นดิน การคิด $[C/N_o]$ ที่เข้าสู่ภาครับของสถานีภาคพื้นดินนั้นจะทำได้ทำนองเดียวกับ สัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขาขึ้น กล่าวคือ ถ้าให้ $[EIRP]_s$ และ $[L_D]$ เป็น EIRP ของความถี่ขม และการสูญเสียขาลง $[G/T]_E$ เป็นค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดิน ในกรณีของสัญญาณคลื่นพาห์เดียว ดังนั้นค่า $[C/N_o]$ ขาลงที่เข้าสู่ภาครับของสถานีภาคพื้นดิน จะเขียนได้ดังนี้

$$\left[\frac{C}{N_o} \right] = [EIRP]_s - [L_D] + \left[\frac{G}{T} \right]_E - 10 \log k \quad (2.41)$$

โดยที่ $[G/T]_E$ นั้นรวมสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เข้าทางสายอากาศและสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ภาครับด้วย ในกรณีที่มีหลายคลื่นพาห์ ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน ก็จะต้องคำนึงถึงจุดอิมิตัวของทรานสปอนเดอร์ และ $[BO_o]$ เป็นเอ๊าท์พุทแบ็คออฟ ดังนั้นในกรณีนี้จึงเขียนค่า $[C/N_o]$ ได้เป็น

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{DA} = [EIRP]_{ss} - [BO_o] - [L_D] + \left[\frac{G}{T} \right]_E - 10 \log k \quad (2.42)$$

(3) สัญญาณรบกวนอินเทอร์มอดูเลชันในทรานสปอนเดอร์

ในกรณีที่ใช้หลายคลื่นพาห้ในทรานสปอนเดอร์เดียวกันนั้น เนื่องจากคุณสมบัติของหลอด TWT ไม่เป็นเชิงเส้นโดยทั่วไปจึงเกิดอินเทอร์มอดูเลชันเสมอ ถึงแม้จะมีการทำอินพุทแบ็คคอปแล้ว ซึ่งสัญญาณรบกวนอินเทอร์มอดูเลชันนี้จะขึ้นกับความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้ และขึ้นกับจำนวนคลื่นพาห้ ดังนั้นเราจะสามารถเขียนอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณคลื่นพาห้และกำลังของสัญญาณรบกวนอินเทอร์มอดูเลชัน $[C/N_o]_{IM}$ ในสภาพการใช้งานจริงดังนี้

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{IM} = \left[\frac{C_s}{N_o} \right]_{IM} + [P_s] - [EIRP]_{SS} \quad (2.43)$$

โดยที่ $[C_s/N_o]_{IM}$ เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกที่จุดอิมิตัวของทรานสปอนเดอร์กับกำลังของสัญญาณรบกวนอินเทอร์มอดูเลชันในแบนวิทซ์ของความถี่คลื่นพาห้

$[P_s]$ เป็น EIRP ของความถี่ที่ความถี่คลื่นพาห้ที่สนใจ

$[EIRP]_{SS}$ เป็น EIRP ที่จุดอิมิตัวของทรานสปอนเดอร์ และเนื่องจาก $[EIRP]_{SS}$ จะสูงกว่า $[P_s]$ เสมอ ดังนั้น $[C/N_o]_{IM}$ จะต่ำกว่า $[C_s/N_o]_{IM}$ เสมอ

(4) สัญญาณรบกวนภายในระบบเดียวกัน (intra-system interference)

สัญญาณรบกวนแบบนี้จะเกิดขึ้นทั้งขาขึ้นและขาลง ถ้าให้ $[C/N_o]_{BU}$, $[C/N_o]_{BD}$ เป็น $[C/N_o]$ ของสัญญาณรบกวนขาขึ้นและขาลง ภายในระบบเดียวกัน ที่เกิดขึ้นจากคลื่นพาห้ที่ใช้โพลาริเซชันเดียวกัน และ $[C/N_o]_{XU}$, $[C/N_o]_{XD}$ เป็นสัญญาณรบกวนรวม $[C/N_o]_I$ จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_I} &= \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_{BU}} + \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_{BD}} \\ &+ \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_{XU}} + \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_{XD}} \end{aligned} \quad (2.44)$$

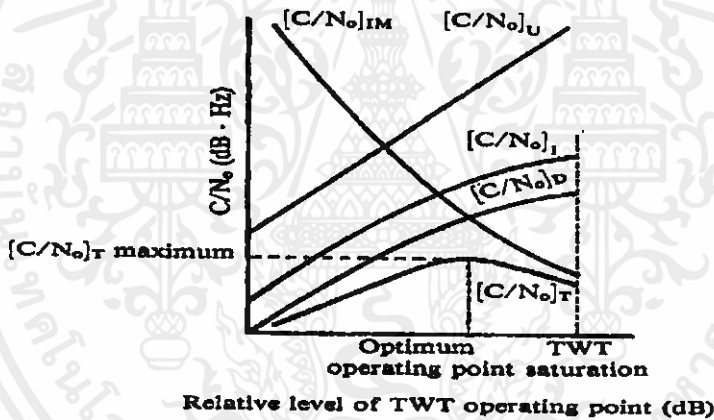
เนื่องค่าทางขวามือของสมการจะเป็นค่าที่ได้จากการทดลองเป็นหลัก และ $\text{anti log}[C/N_o]$ หมายถึงการคิด $[C/N_o]$ กลับมาอยู่ในรูปของจำนวนเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ผลรวมของลิ้งค์นอยส์

จากสัญญาณรบกวนแบบหลายๆ ที่กล่าวมา 4 แบบข้างต้น ซึ่งพิจารณาได้ว่า ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ดังนั้นสัญญาณรบกวนผลรวมของลิ้งค์นอยส์คือ $[C/N_o]_T$ ก็จะเป็นผลบวกของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งจะเขียนได้ดังนี้

$$\frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_T} = \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_U} + \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_D} + \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_{IM}} + \frac{1}{\text{anti log}[C/N_o]_I} \tag{2.45}$$



รูปที่ 2.43 แสดงตัวอย่างของ $[C/N_o]$ ของสัญญาณรบกวน ลิ้งค์นอยส์ ที่ใช้เครื่องขยายสัญญาณแบบหลอด TWT [10]

2.9 การใช้งานระบบสื่อสารดาวเทียมกับเครือข่ายโทรทัศน์

แม้ว่าจะส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยสัญญาณโทรศัพท์จะมีมาก แต่เทคโนโลยีดาวเทียมได้ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรม TV มากกว่าระบบโทรศัพท์อย่างมากมาย สัญญาณผ่านดาวเทียมทำให้เราสามารถชมการถ่ายทอดสดและยังส่งเสริมการสร้างเครือข่ายรายการผ่านดาวเทียม ปัจจุบันจะเห็นได้ชัดว่าระบบ TV เป็นส่วนสำคัญของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณโทรทัศน์

แม้ว่าระบบสัญญาณ TV จะมีหลายมาตรฐาน แต่ระบบที่ได้รับการใช้มากคือ ระบบ NTSC 525 เส้นที่ 60 Hz ของทางสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น และระบบ PAL 625 เส้น /50 Hz ของทางยุโรป หลักการทำงานค่อนข้างจะคล้ายคลึงกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างของระบบ NTSC มาอธิบาย เนื่องจากการศึกษาทางด้านการส่งที่วิวัฒนาการไปอย่างกว้างขวางในสหรัฐอเมริกา

ภาพของการส่งสัญญาณ TV แบบขาว-ดำ จะแสดงสัญญาณแอนะล็อกที่บ่งถึงจำนวนของโครงสีขาว (Brightness) ในรูปลักษณะการกวาดทางเส้นขนานแนวนอน สัญญาณนี้มีชื่อว่าสัญญาณ Luminance นอกจากสัญญาณ Luminance แล้ว พัลส์ซิงโครไนซ์จะถูกส่งมาเพื่อให้เครื่องรับ TV สามารถแสดงผลของขั้นตอนการกวาดของกล้องบันทึกภาพ

TV ขาวดำได้ถูกพัฒนา ก่อน TV สี และการออกแบบ TV ขาวดำนั้นได้ทำเพื่อให้ข้อมูลสีสามารถถูกเพิ่มในภายหลังโดยไม่ลดคุณภาพของเครื่องรับแบบขาวดำ สีต่าง ๆ นั้นสามารถถูกสร้างจากอัตราส่วนที่เหมาะสมของ สีแดง เขียวและน้ำเงิน การส่งสัญญาณ TV สี สามารถทำได้โดยการส่งสัญญาณสีแต่ละส่วนแยกกัน แต่ทำให้ต้องใช้แบนด์วิดท์เกินความจำเป็น ในทางกลับกันการรวมกันของสัญญาณสีทั้ง 3 สี จะถูกส่งไป และแต่ละส่วนของแต่ละสีจะถูกแยกแยกที่เครื่องรับกล้อง TV ชนิดระดับแรงดัน 3 ค่า สำหรับสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในแต่ละจุดของภาพที่ส่งไป เราจะใช้สัญญาณ R G และ B เพื่อแสดงค่าแรงดันของสัญญาณสีทั้งสาม สำหรับเครื่องรับแบบขาวดำ (Monochrome) นั้นจะแสดงผลตามระดับแสงขาวในแต่ละจุดของภาพ หรือที่เราเรียกว่า Luminance (Y) แสงขาวนี้เกี่ยวข้องกับแรงดันของสีทั้ง 3 ดังนี้

$$Y = 0.3 R + 0.59 G + 0.11 B$$

โดยที่สัญญาณ Luminance ถูกส่งไปเพื่อให้จอ Monochrome สามารถรับภาพสีในลักษณะขาวและดำ

สำหรับการแสดงผลภาพสีที่รวมกันอย่างอิสระของ R G และ B ต้องถูกส่งไปพร้อมสัญญาณ Y เพื่อให้เราสามารถแสดงผลของสีได้ สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณ I และสัญญาณ Q

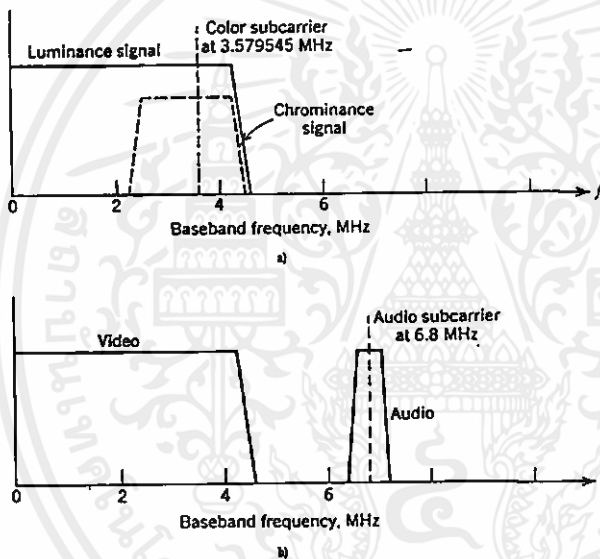
$$I = 0.60 R - 0.29 G - 0.32 B \quad (2.46)$$

$$Q = 0.21 R - 0.52 G + 0.31 B \quad (2.47)$$

I มาจาก In-Phase และ Q มาจาก Quadrature ทั้งสัญญาณ I และ Q เมื่อถูกใส่รหัสพร้อม Y จะนำข้อมูล "Chrominance" ของสีในแต่ละจุดของภาพ สัญญาณ I และ Q ทำหน้าที่มอดูเลตคลื่นพาห้ของสีที่ทำให้ขนาดของสัญญาณ Chrominance เป็นตัวกำหนดค่าอิ่มตัวหรือระดับความบริสุทธิ์ของสีในแต่ละจุด และมุมเฟสของสัญญาณ Chrominance เป็นตัวกำหนดค่า "Hue" หรือ Shade ของสีจากขนาดและมุมเฟส เครื่องรับ TV จะกำหนด Shade ของสี และจำนวนแสงขาวที่จะเพิ่มจากสัญญาณ Luminance ซึ่งจะกำหนดความสว่างของสีว่าควรจะเป็นอย่างไร

ในการส่งสัญญาณภาคพื้นดิน สัญญาณ Luminance (Y) ซึ่งถูกกรองให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4.2 MHz จะมอดูเลตคลื่นพาห้ของรูปด้วยตัวมอดูเลตแบบ Vestigial Side band (VSB) ส่วนของ Upper Side band จะถูกส่งทั้งหมด แต่ส่วนของ Lower Side band จะถูกตัดไปบางส่วน สัญญาณ VSB ที่ได้คือ ส่วนที่จำเป็นสำหรับการส่งส่วนภาพ สำหรับ TV ขาวดำ

ข้อมูล Chrominance จะถูกส่งโดยคลื่นพาห้นำสี (Color Sub carrier) ที่ 3.579545 MHz (ประมาณ 3.58) ค่านี้ถูกเลือกเพราะเป็นช่วงที่ค่อนข้างว่างของสเปกตรัมของ Luminance ทั้งยังลดการรบกวนกันระหว่างการรับสีและขาวดำทั้งสัญญาณ I และ Q มอดูเลตคลื่นพาห้นำสีด้วยวิธี Double – Balanced Mixes เพื่อสร้างสัญญาณ Double Side band Suppressed Carrier (DSBSC) คลื่นพาห้จะมี Phase Shift 90 ก่อนที่จะเข้าช่วง Q มอดูเลต ดังนั้น ทั้งส่วน I และ Q สามารถถูกแสดงผลใหม่ได้ที่เครื่องรับ รูปที่ 2.44 a แสดงภาพของสเปกตรัมของสัญญาณภาพเบสแบนด์



รูปที่ 2.44 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโทรทัศน์

a) สเปกตรัมของสัญญาณภาพ b) สเปกตรัมของสัญญาณภาพและเสียง

สัญญาณเสียงของสัญญาณเบสแบนด์อยู่ในช่วง 50 kHz ความถี่นี้มีมอดูเลตคลื่นพาห้ของสัญญาณเสียงและผลที่ได้เป็นคลื่น FM จะถูกเพิ่มเข้าไปในสัญญาณภาพเบสแบนด์ รูปที่ 2.44 b แสดงผลจากการผสมสัญญาณ TV นี้ จะเห็นว่าประกอบด้วยสัญญาณภาพเบสแบนด์ที่ต่ำกว่าคลื่นพาห้ของสัญญาณเสียง ที่ถูกมอดูเลตเป็น FM แล้ว ในสหรัฐอเมริกา คลื่นพาห้ของสัญญาณเสียงจะมีความถี่ที่ 6.8 MHz

การกระจายสัญญาณบนพื้นโลก สัญญาณเสียงและภาพถูกรวมเข้าด้วยกันและถูกเลื่อนไปที่ความถี่ที่เหมาะสมในช่วง VHF หรือ UHF เพื่อการส่งสัญญาณ ดังนั้น สัญญาณที่กระจายออกไปจะเป็นการรวมกันหลายชนิด เช่น FM (เสียง) , VSB (Luminance) และ Quadrature PSBSC

(Chrominance) เป็นต้น สำหรับการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมสัญญาณภาพเบสแบนด์ของสัญญาณภาพ (Luminance กับ Chrominance) จะมอดูเลต 1 คลื่นพาห์ของสัญญาณภาพและ 2 สัญญาณเสียง จะมอดูเลต 2 คลื่น พาห์สัญญาณเสียง เครื่องข่าย TV ทั่ว ๆ ไปจะมีค่า Peak Deviation f_p ที่ 10.75 MHz และความถี่สูงสุดของการมอดูเลตสัญญาณภาพ f_v ที่ 4.2 MHz จากสมการ (5.4) เราจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์ของทรานส์พอนเดอร์ 29.9 MHz สัญญาณ TV มักจะถูกเบี่ยงเบนกินไปเพื่อแลกกับการปรับปรุงในอัตราส่วน S/N ของภาพซึ่งทำให้ได้ภาพที่ดีขึ้น และยังตัดขนาดของ Side band ด้วย

สัญญาณ TV จากดาวเทียมจะแตกต่างจากการกระจายสัญญาณ TV ธรรมดา ตัว Converters ที่ยอมรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในบ้านเรือนจะต้องมีมอดูเลตสัญญาณ FM ที่เข้ามา แล้วแสดงผลใหม่ของสัญญาณเบสแบนด์ทั้งช่องภาพและช่องเสียง ทำการมอดูเลตใหม่ทั้งสัญญาณภาพและเสียงเข้าสู่ระบบที่ผลิตคลื่นพาห์ธรรมดาโดยใช้ขั้นตอนการมอดูเลตเหมือนกับตัวสัญญาณออกอากาศของ TV

การคำนวณอัตรา S/N สำหรับการถ่ายทอด TV ผ่านดาวเทียม

สมการ (2.48) และ (2.49) เป็นสมการที่ใช้แทนกันได้ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S/N ด้านขาออกของตัวมอดูเลต FM ต่อด้านขาเข้าของ C/N โดยรวม จากสมการนั้นแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบพลังงานทั้งหมดของสัญญาณกับพลังงานทั้งหมดของสัญญาณรบกวน และค่า S/N ที่ทำนายจะสามารถปรับปรุงได้โดยการ Preemphasis และควรจะถ่วงน้ำหนักเพื่อชดเชยการตอบสนองที่ไม่ Uniform ต่อคาบกับ White Noise ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ ดัชนีของการ Preemphasis เป็น p และการถ่วงน้ำหนักเป็น q โดยใช้ค่า dB เป็น P และ Q เพิ่มในสมการ (2.48) และ (2.49)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_v = \left(\frac{C}{N}\right)_i + 1.76 + 10 \log \left(\frac{B_{IF}}{f_v}\right) + 20 \log \left(\frac{\Delta f_{peak}}{f_v}\right) + P + Q \quad \text{dB} \quad (2.48)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_v = \left(\frac{C}{N}\right)_i + 10 \log [3m^2(1+m)] + P + Q \quad \text{dB} \quad (2.49)$$

ในที่นี้ f_v เป็นค่าความถี่สูงสุดของการมอดูเลตสัญญาณภาพ (4.2 MHz ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา) และดัชนีการมอดูเลต m เป็น $\Delta f_{peak}/f_v$ แทนค่า 10.75 MHz ของ Δf_{peak} ในสมการจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\left(\frac{S}{N}\right)_v = \left(\frac{C}{N}\right)_i + 18.5 + P + Q \quad \text{dB} \quad (2.50)$$

ค่าที่ได้สำหรับ P และ Q ขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะของสัญญาณรบกวนของระบบนั้น ๆ และขึ้นกับการตอบสนองของผู้ชมแต่ละคนต่อสัญญาณรบกวนที่มีในภาพ สำหรับค่า P+Q นั้น ประมาณ 18-26 dB ซึ่งแปลว่าได้มีการปรับปรุงของอัตราส่วน S/N โดยรวม 36.5-44.5 dB

เครือข่ายโทรทัศน์

ปัจจุบันสถานีโทรทัศน์หลักทั้ง 5 สถานี ในประเทศไทย (ช่อง 3,5,7,9 และ 11)รวมทั้งในประเทศ ลาวและเวียดนาม ได้ใช้บริการของดาวเทียม ไทยคม เพื่อส่งสัญญาณโทรทัศน์ กล่าวคือ รายการต่าง ๆ จะถูกส่งจากสถานีแม่ข่าย ผ่านดาวเทียมไทยคมไปสู่สถานีย่อยในพื้นที่ห่างไกลทั่วประเทศ เพื่อแพร่ภาพรายการโทรทัศน์สู่ผู้ชมในแต่ละท้องถิ่นอีกครั้งหนึ่ง ในลักษณะเดียวกับที่ผู้ประกอบการเคเบิลทีวีส่งสัญญาณ ไปยังลูกค้าในต่างจังหวัด นอกจากนี้สถานีโทรทัศน์บางสถานียังได้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีระบบเก็บข่าวเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม (Satellite News Gathering : SNG) ในการส่งสัญญาณข่าวจากนอกสถานที่กลับมายังสถานีแม่ข่ายเพื่อถ่ายทอดให้แก่ผู้ชมที่ดูตามบ้านได้อย่างทันทั่วทั้งที่ โดยอาศัยช่องสัญญาณทั้งแบบ C-แบนด์และแบบ Ku-แบนด์ บนดาวเทียมไทยคมอีกด้วย

Digital DTH; ระบบโทรทัศน์ดิจิตอลผ่านดาวเทียม

ระบบสัญญาณโทรทัศน์โดยตรงผ่านดาวเทียมในระบบดิจิตอล (Digital Direct-To-Home Broadcast) อาศัยช่องสัญญาณดาวเทียม Ku-แบนด์และ C-แบนด์ ที่มีความแรงของช่องสัญญาณประกอบการใช้เทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Compression - MPEG-2) ทำให้สามารถให้บริการด้านรายการโทรทัศน์ได้หลายสิบช่องสถานี และสามารถรับชมได้ด้วยภาพและเสียงที่คมชัดเช่นเดียวกับการรับชมจากเครื่องเล่นเลเซอร์หรือซีดี นอกจากนี้ยังสามารถกระจายเสียงได้ถึง 2 ภาษาหรือมากกว่าในเวลาเดียวกันและบริการพิเศษอื่นๆ ปัจจุบันลูกค้าที่ใช้บริการระบบ Digital DTH ได้แก่เครือข่ายโทรทัศน์ประเภทบอกรับสมาชิก, เครือข่ายโทรทัศน์ประเภทมีโฆษณา และเครือข่ายโทรทัศน์เพื่อการศึกษา และเมื่อดาวเทียมไทยคม 3 เข้าสู่วงโคจรช่องสัญญาณ Ku-แบนด์ ของดาวเทียมไทยคม 3 จะสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณโทรทัศน์ระบบ Digital DTH ได้อีกนับร้อยช่อง

โทรทัศน์เพื่อการศึกษาผ่านดาวเทียม

โครงการโทรทัศน์เพื่อการศึกษาผ่านดาวเทียมในประเทศไทยได้เริ่มขึ้นครั้งแรกในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2537 โดยความร่วมมือระหว่างกรมการศึกษานอกโรงเรียนสังกัดกระทรวงศึกษาธิการและมูลนิธิไทยคม เป็นโครงการเพื่อให้บริการการศึกษาแก่ประชาชนทั่วไปที่ขาดโอกาสในการรับการศึกษาซึ่งอยู่ในท้องถิ่นทุรกันดารห่างไกลความเจริญ โดยถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์

เพื่อการศึกษาผ่านดาวเทียม ไปยังศูนย์การเรียนรู้ทั่วประเทศซึ่งมีแผนการสร้างศูนย์การเรียนการสอน พร้อมทั้งติดตั้งชุดรับสัญญาณ IRD กว่า 70,000 ตำบลทั่วประเทศไทย

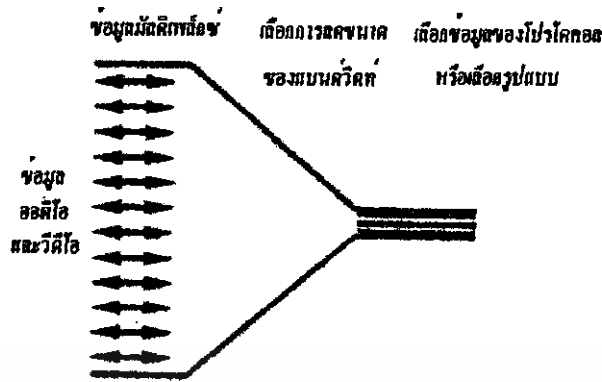
ระบบการประชุมทางโทรทัศนระหว่างหลายสถานี(Video Conference)

วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์เป็นการนำระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมาใช้ในการสื่อสารภาพ เสียง และข้อมูล เพื่อประโยชน์ในการประชุม หรือสัมมนาทางไกล ระหว่างกลุ่มบุคคลที่อยู่ต่างสถานที่ ให้สามารถร่วมประชุมสัมมนาได้ตอบกันได้ พร้อมทั้งเห็นภาพผู้เข้าร่วมประชุม และยังสามารถแสดงภาพต่างๆ หรือสิ่งของอื่นๆ ประกอบการประชุมได้อีกด้วย นอกเหนือจากประชุมแล้ว วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ยังสามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรม การเรียนการสอน ช่วยสนับสนุนการนำเสนอ สินค้าและการแก้ปัญหาลูกค้าในงานธุรกิจ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้การจัดการประชุมของหน่วยงานต่างๆ ในแต่ละครั้งผู้เข้าร่วมประชุมจะต้องเดินทางมาประชุมกัน ณ ที่หนึ่งๆ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายต่างๆ ไปกับการเดินทางมากพอสมควร อีกทั้งยังเป็นปัญหาด้านความสะดวกในการประชุมและปัญหาการจราจรที่ไม่มีวันจะแก้ไขได้ง่ายๆ ด้วยเหตุผลข้างต้นผสมผสานกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของระบบติดต่อสื่อสาร จึงมีระบบการประชุมทางโทรทัศน (Video conferencing system) เกิดขึ้นมา เพื่อให้ผู้ที่ประชุมซึ่งอยู่ ณ สถานที่ต่างกัน สามารถประชุมผ่านทางจอโทรทัศนที่ติดตั้งไว้ในหน่วยงานของแต่ละที่ได้

สำหรับทางด้านอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบก็คือ codec (มาจาก coder-decoder) ซึ่งอุปกรณ์ตัวนี้จะทำหน้าที่คล้ายกับวงจร A/D คอนเวอร์เตอร์โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณวิดีโอและออดิโอ ซึ่งอยู่ในลักษณะสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล พร้อมกับทำการรวมสัญญาณดิจิทัลเข้ากับสัญญาณข้อมูลอื่น ๆ ด้วยจากนั้นจะทำการบีบสัญญาณที่ได้เพื่อการส่งสัญญาณผ่านข่ายการสื่อสารต่อไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.45 [8] ประโยชน์ของการบีบสัญญาณก่อนส่งออกไปยังระบบสื่อสารนี้ ทำให้ความกว้างของแบนด์ (band width) ถูกลดให้แคบลงมาทำให้ความเร็วในการส่งสัญญาณเร็วขึ้นรวมทั้งปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้เป็นจำนวนบิตต่อวินาทีที่เป็นปริมาณมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 บล็อกไดอะแกรมการบีบอัดสัญญาณ

วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

1. วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์แบบนิ่ง (Still Video)

เป็นการสื่อสารที่แสดงออกมาเป็นภาพนิ่ง ซึ่งอาจจะมีภาพต่อเนื่องหลายภาพได้ แต่ทุกภาพที่ปรากฏบนจอแสดงภาพจะเป็นภาพนิ่งทุกภาพ รูปแบบของวิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ นี้ เป็นลักษณะของการประชุมทางเสียง ประกอบภาพมากกว่า เนื่องจากความสะดวก ไม่ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายต่ำ

2. วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์แบบเคลื่อนไหว (Motion Video)

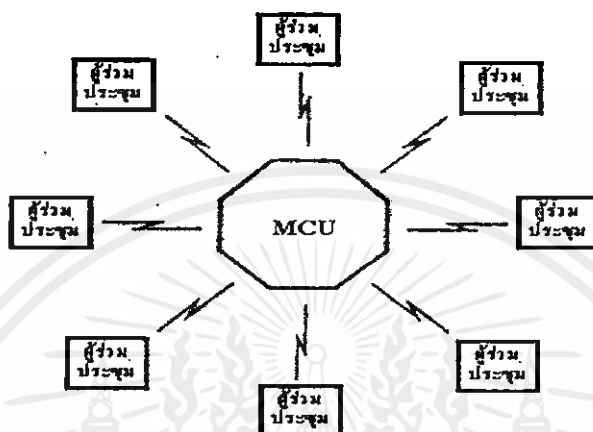
การสื่อสารลักษณะนี้เป็นที่นิยมมากกว่า เพราะนอกจากจะส่งภาพของการประชุมที่เป็นธรรมชาติแล้ว ยังสามารถส่งภาพนิ่งหรือเอกสารต่างๆ ได้

ขอบเขตความต้องการในอนาคต

ในระบบการประชุมทางโทรทัศนระหว่างสถานที่ 2 แห่ง (point-to-point) นั้น สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อ codec ของสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งได้ โดยตรง แต่จริง ๆ แล้วความต้องการในการจัดการประชุมทางโทรทัศนในแต่ละครั้งจะมีจำนวนการประชุมมากกว่าสองแห่งอย่างแน่นอน หรือเป็นระบบการประชุมหลายจุด (multi-point) ซึ่งวิธีการนี้จะต้องทำการเพิ่ม codec และจอโทรทัศน์ รวมทั้งเส้นทางการเชื่อมต่อระบบในแต่ละสถานที่นอกจากนี้ในทางปฏิบัติแล้ว วิธีการแบบนี้ยังถูกจำกัดการประชุมได้แค่ระหว่างสถานที่เพียงไม่กี่แห่งเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมแบบหลายจุด MCU (multipoint control unit) ขึ้นมา ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเชื่อมโยง codec จากหลาย ๆ แห่งได้อย่างสะดวกดังแสดงในรูปที่ 2.46 [8] โดย MCU นี้สามารถนำเข้าไปวางเชื่อมต่อเข้ากับข่ายการสื่อสารแบบต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง การเชื่อมต่อระหว่าง MCU กับ codec อาจต่อถึงกันโดยผ่านการสวิตช์ หรือไม่ผ่านการสวิตช์ก็ได้

codec ทั้งหมดที่อยู่ภายในการประชุมหนึ่ง ๆ จะต้องใช้ขั้นตอนของการประมวลสัญญาณวิดีโอ, ออดิโอและอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่ต้องเหมือนกัน MCU ที่ผลิตหรือสร้างได้ในปัจจุบัน จะมีพอร์ตสำหรับต่อกับ codec ได้สูงสุดถึง 8 พอร์ตดังนั้นสำหรับ MCU เครื่องหนึ่งจึงสามารถจัดการประชุมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ ได้ถึง 8 แห่งพร้อมกัน



รูปที่ 2.46 การจัดการประชุมหลายแห่งพร้อมกันผ่าน MCU

อุปกรณ์ของวิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ประกอบด้วย

1. กล้องวิดีโอ

จะประกอบด้วยกล้องเพียงตัวเดียว หรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการและจำนวนผู้เข้าร่วมประชุม แต่โดยทั่วไปจะใช้กล้องที่มีความสามารถสูง สามารถเลือกจับภาพได้ว่า ต้องการจะจับภาพบุคคลหรือจับภาพเป็นกลุ่มตามความเหมาะสม

2. จอแสดงภาพ

สามารถใช้เครื่องรับโทรทัศน์ขนาดใหญ่ หรือโปรเจกเตอร์ขนาดใหญ่ เพื่อการประชุมที่มีผู้ร่วมประชุมจำนวนมาก แต่โดยปกติทั่วไป จะใช้จอแสดงภาพแบบเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งจะได้คุณภาพของภาพที่คมชัดดีกว่าโปรเจกเตอร์

3. ระบบเสียง

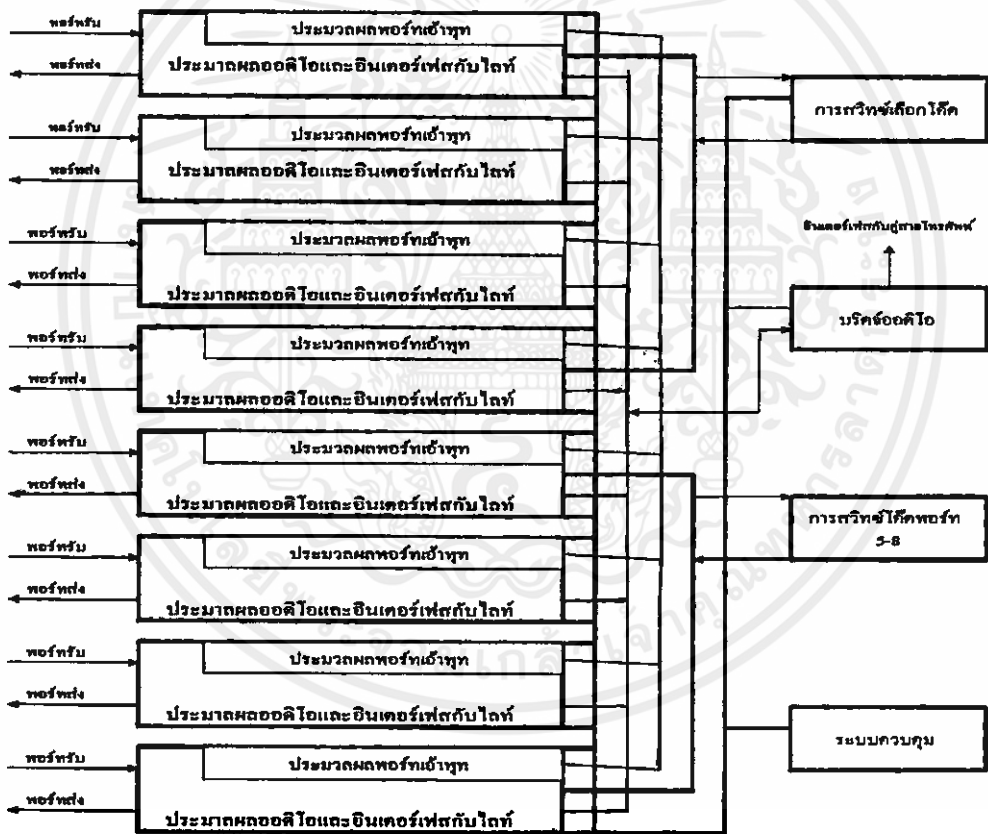
ระบบเสียงถือเป็นส่วนสำคัญมากของการประชุม เสียงต้องมีคุณภาพดี ไม่เบา ไม่มีเสียงก้องหรือเสียงรบกวนโดยปกติจะต้องเป็น ไมโครโฟนที่มีคุณภาพการรับส่งเสียง ได้ไวและชัดเจน

4. อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ดังเช่น การจักระบบไฟที่ให้แสงสว่างเพียงพอละดูเป็นธรรมชาติ การจัดโต๊ะประชุมตามลักษณะของความต้องการก็เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณา นอกจากนี้ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถที่จะเพิ่มอุปกรณ์อย่างอื่น เข้ามาในระบบได้ เช่น เครื่องสไลด์ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในกรณีต้องการแลกเปลี่ยนข่าวสารซึ่งกันและกัน

การทำงานภายใน MCU

ในระบบของ MCU จะประกอบด้วยส่วนของโมดูลหลัก ๆ 5 ส่วนคือ 1. ชุดประมวลผลการติดต่อสื่อสาร (communication processor) , 2. ชุดประมวลสัญญาณออไดโอ (audio processor) , 3. ชุดบริจ้อออไดโอ (audio bridge) 4. ชุดสวิตซ์เลือกโค้ด (code stream switch) และ 5. ชุดควบคุมระบบ (system controller) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.47 [8]



รูปที่ 2.47 บล็อกโคอะแกรมของระบบ MCU

การประมวลสัญญาณออไดโอและวงจรเชื่อมต่อกับไลท (audio processor/Line interface circuit(LIF) จะประกอบด้วยส่วนของวงจรอินเตอร์เฟสสำหรับการเชื่อมต่อกับข่ายภายนอก ชุดประมวลสัญญาณออไดโอจะเป็น โมดูลที่จะอินเตอร์เฟสกับชุดประมวลสัญญาณการติดต่อสื่อสาร และชุดบริจ้อออไดโอ โดยในชุดประมวลผลสัญญาณออไดโอจะทำการถอดรหัสข้อมูลสัญญาณออไดโอแล้วส่งเข้าสู่ชุดบริจ้อออไดโอ และในทางกลับกันก็จะทำการเข้ารหัสสัญญาณออไดโอที่ทำ

การผสมสัญญาณเข้าด้วยกันแล้วจากชุดบริจ้ออติโอ แล้วส่งสัญญาณกลับไปยังส่วนประมวลผล การติดต่อสื่อสาร

การประมวลผลสัญญาณการสื่อสาร ในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลรวม (composite) จากภายนอกเข้ามาทางวงจรอินเตอร์เฟสที่ติดตั้งอยู่บนชุดของประมวลผลสัญญาณ ออติโอ ซึ่งการทำงานของชุดประมวลผลสัญญาณการสื่อสารนี้ จะทำการแยกสัญญาณข้อมูลรวม ออกเป็นส่วนสัญญาณของออติโอ, วิดีโอ, กราฟฟิก, ข้อมูลข่าวสาร และข้อมูลสำหรับการควบคุม หลังจากแยกสัญญาณเหล่านี้ออกมาแล้ว ก็จะส่งต่อไปกับวงจรควบคุมระบบ, ระบบสวิตซ์โค้ด และการประมวลผลสัญญาณออติโอ เพื่อทำการประมวลผลของแต่ละส่วนในขั้นตอนต่อไป

ในทางกลับกันในส่วนของ การประมวลผลการติดต่อสื่อสารนี้ ยังทำหน้าที่รับสัญญาณวิดีโอ และข้อมูลอัตราเร็วสูงจากส่วนของระบบสวิตซ์โค้ด, สัญญาณออติโอที่ถูกผสมเข้ากับสัญญาณอื่น ๆ แล้วจากภาคประมวลผลออติโอและข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ, ภาพกราฟฟิกและข้อมูลสำหรับการควบคุมเพื่อที่จะจัดรวมเข้าด้วยกันทั้งหมดเป็นสัญญาณข้อมูลรวมสำหรับการส่งกลับออกไป ภายนอก

การบริจ้อสัญญาณออติโอ จะทำการเชื่อมต่อกับชุดประมวลผลสัญญาณออติโอและสาย โทรศัพท์ของผู้ร่วมสนทนาคนอื่น ๆ หรือสถานีอื่น ๆ โดยที่วงจรบริจ้อสัญญาณออติโอจะทำการผสมสัญญาณออติโอที่ได้รับเข้ามาทั้งหมด แล้วส่งต่อไปยังชุดประมวลผลสัญญาณออติโอและสาย โทรศัพท์ที่ต่ออยู่กับชุดนั้นนอกจากนี้ ในโหมดการปฏิบัติงานแบบทำงานเมื่อมีเสียง voice activated ก็จะทำให้วงจรชุดบริจ้อออติโอส่งสัญญาณควบคุมให้กับส่วนควบคุมระบบเพื่อแสดงถึงพอร์ตที่เป็นของผู้พูดหลัก (dominant speaker)

การสวิตซ์เลือกโค้ด วงจรส่วนนี้จะทำการอินเตอร์เฟสกับชุดประมวลผลการติดต่อสื่อสาร โดยจะทำการเลือกเส้นทางหรือช่องสัญญาณการส่งสัญญาณวิดีโอและข้อมูลที่มีความเร็วสูง ตัวอย่างเช่นในโหมดของการทำงานแบบทำงานสวิตซ์เมื่อมีเสียง ซึ่งการสวิตซ์เลือกโค้ดจะถูกกำหนด การทำงานจากส่วนควบคุมระบบให้ชุดสวิตซ์เลือกโค้ดส่งผ่านสัญญาณวิดีโอของผู้พูดหลักให้กับ ส่วนวงจรประมวลผลการติดต่อสื่อสารในทุกชุด หรือทุกโมดูลของแต่ละพอร์ต (ยกเว้นโมดูลของ พอร์ตที่ต่อกับผู้พูดหลัก)

ส่วนควบคุมระบบ เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ของระบบ MCU โดยจะให้ข้อมูล สำหรับการควบคุมกับโมดูลอื่น ๆ ทั้งหมด และจะแสดงถึงความต้องการของการประชุมที่เฉพาะเจาะจงระหว่างสถานที่แห่งใดแห่งหนึ่ง ซึ่งการควบคุมการสวิตซ์และการกำหนดวิธีการที่จะจัดรวม และแยกเฟรมของสัญญาณข้อมูลรวม นอกจากนั้นส่วนควบคุมระบบยังทำหน้าที่ในการตรวจสอบระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลการติดต่อสื่อสารที่ทำการประมวลผลอยู่นั้น ได้รับและส่งออกเป็น ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำและมีกำหนดค่าเวลาที่ถูกต้องตามต้องการด้วย

โหมดการทำงานของส่วน MCU

โหมดการทำงานของส่วน MCU นั้นได้แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน ซึ่งในแต่ละโหมดการทำงานก็จะกำหนดลำดับขั้นการเลือก และส่งสัญญาณวิดีโอไปยังสถานที่ต่าง ๆ ที่กำลังทำการประชุมกันอยู่

โหมดการสวิตซ์สัญญาณวิดีโอด้วยเสียง (voice activated video switching mode) แหล่งกำเนิดหรือจุดศูนย์กลางของสัญญาณวิดีโอที่ใช้ในการประชมนั้น ส่วนมากแล้วจะเริ่มค้นหรือกำเนิดมาจากผู้พูดหลักเสมอ (เปรียบเหมือนกับประธานนัดประชุม) ต่อจากนั้นวงจรในส่วนของ MCU ก็จะทำการตรวจสอบระดับเสียงของผู้เข้าประชุมในแต่ละสถานที่หรือแต่ละช่องสัญญาณอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ขั้วกันนี้ก็จะทำการตรวจสอบระดับเสียงของผู้เข้าประชุมอื่น ๆ ด้วยถ้าหากว่าระดับเสียงของผู้เข้าประชุมไม่ว่าจะเป็นสถานที่ใดมีระดับความแรงสูงกว่าระดับเสียงของผู้พูดหลักที่กำลังพูดอยู่นั้นเป็นเวลานานช่วงเวลาหนึ่ง (สามารถตั้งระยะเวลานี้ได้เหมือนกับการตั้งความไวในการตรวจจับเสียง) MCU ก็จะทำการสวิตซ์เลือกเอาสัญญาณวิดีโอที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้สนทนาขณะนั้นกลายมาเป็นผู้พูดหลักแทน และผู้พูดหลักปัจจุบันก็จะเห็นภาพของผู้พูดหลักคนก่อนหน้านี้เสมอ

ในการสวิตซ์เลือกสัญญาณวิดีโอในแต่ละครั้งตามระดับความแรงของเสียงนั้น หากมีแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ดังมากอีกแหล่งหนึ่งเกิดขึ้นมาในเวลาใกล้เคียงกันมาก การสวิตซ์ในขณะนั้นจะไม่เกิดขึ้นต้องรอให้เวลาผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งเสียก่อน (สามารถตั้งระยะช่วงเวลานี้ได้) ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ MCU ทำการสวิตซ์กลับไปกลับมามากเกินไปและบ่อยเกินไปจนทำให้เกิดความรำคาญ และการประชุมจะไม่ต่อเนื่องกัน

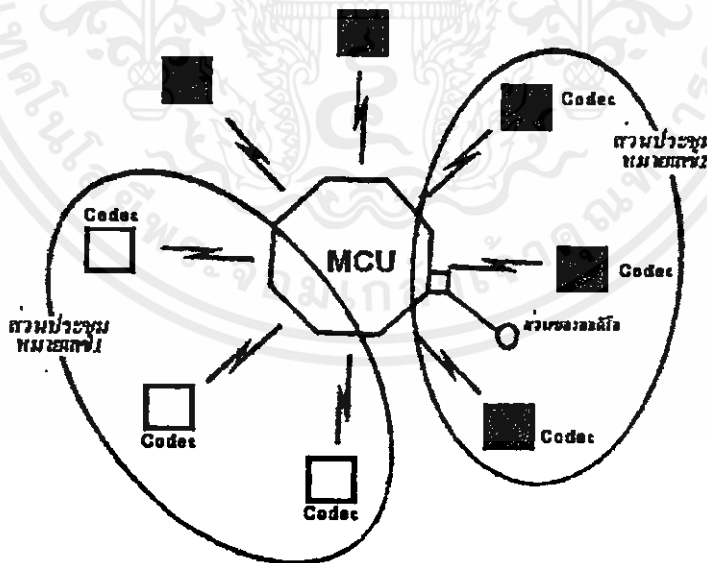
ทางด้านสัญญาณออกดีโอนั้น ส่วนควบคุม MCU จะทำการผสมสัญญาณออกดีโอมจากทุกที่เข้าด้วยกันทั้งหมด แล้วจะทำการส่งให้กับผู้เข้าประชุมในแต่ละสถานที่ ซึ่งผู้เข้าประชุมในทุก ๆ สถานที่จะสามารถได้ยินเสียงจากผู้เข้าประชุมจากสถานที่อื่น ๆ ได้ทั้งหมดยกเว้นเสียงของผู้เข้าประชุมเอง อย่างเช่นตัวอย่างของการจัดการประชุมระหว่างสถานที่ 3 แห่งโดยขณะที่ codec 3 เป็นผู้พูดหลักและเห็นภาพที่มาจาก codec 2 ที่เป็นผู้พูดหลักคนก่อน ส่วน codec 1 และ codec 2 จะเห็นภาพจาก codec 3 และสัญญาณออกดีโอมจากทุก codec จะถูกผสมเข้าด้วยกันที่ MCU และส่งออกไปยังแต่ละ codec ต่อไป

โหมดควบคุมผู้พูดหลัก (chair-person control mode) การทำงานของโหมดนี้จะทำงานคล้ายกับการควบคุมด้วยเสียงแต่การกำหนดผู้พูดหลักนั้นจะไม่อาศัยเสียงที่มีระดับเสียงต่าง กันมาก ๆ ในโหมดนี้ผู้พูดหลักจะถูกกำหนดโดยผู้ควบคุม (chairperson) เป็นลักษณะใช้มือเลือก (manual) โดยผู้ควบคุมนี้จะอยู่ในสถานที่ที่ทำการประชุมแห่งใดก็ได้หรืออยู่ในที่เดียวกับส่วนควบคุม MCU ก็ได้

โหมดควบคุมการประชุมแบบบรรยาย (lecture control mode) ในโหมดนี้จะช่วยในการประชุมมีลักษณะเหมือนกับอยู่ในห้องเรียน โดยผู้เข้าประชุมในสถานที่อื่น ๆ ทุกแห่งสามารถมองเห็นผู้บรรยายได้พร้อมและเหมือนกันหมดและมีการควบคุมแบบเลือกควบคุมด้วยมือ ดังนั้นผู้บรรยายหรือผู้พูดหลักจะยังไม่ถูกเปลี่ยนหรือไม่สามารถเปลี่ยนภาพของผู้พูดหลักได้จากสถานที่อื่น จนกว่าจะมีการกำหนดผู้พูดหลักไปยังส่วนควบคุม MCU ใหม่ แต่ก็มีข้อแตกต่างจากระบบควบคุมผู้พูดหลักตรงที่ ผู้บรรยายสามารถเลือกภาพที่เห็นได้ตามต้องการ ขณะที่ผู้พูดหลักในโหมด chairperson จะเห็นภาพของผู้พูดหลักคนก่อนเสมอ

การแบ่งแยกและขยายการประชุม

เนื่องจาก MCU หนึ่งเครื่องสามารถจัดการประชุมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ ได้ถึง 8 แห่ง จึงสามารถที่จะทำการแบ่งการประชุมออกเป็นหลาย ๆ การประชุมที่เป็นอิสระจากกัน ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2.48 [8] ซึ่งประกอบด้วยการประชุม #1 การประชุม #2 และการประชุมระหว่างสถานที่อีกสองแห่ง แต่ละการประชุมสามารถถูกโปรแกรมให้มีอัตราการส่งผ่านข้อมูล โหมดการปฏิบัติงาน ขั้นตอนการประมวลสัญญาณอะนาล็อก , การเข้ารหัส และพารามิเตอร์ที่ใช้งานอื่น ๆ ให้แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตาม ภายในการประชุมหนึ่ง ๆ จะต้องใช้ขั้นตอนการประมวลสัญญาณวีดีโอ , อะนาล็อก และอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่เหมือนกัน



เอกสารรูปที่ 2.48 การแบ่งงานการประชุมด้วย MCU การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายการประชุมสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนพอร์ตที่ต่อกับ codec ให้มากขึ้นด้วยการเชื่อมต่อ MCU หลาย ๆ เครื่องเข้าด้วยกันในลักษณะคาสเคด (cascade) ซึ่งใช้พอร์ตของแต่ละ MCU ต่อเข้าด้วยกันทำให้สามารถเพิ่มจำนวนพอร์ตที่ต่อกับ codec ให้มากขึ้นได้ถึง 14 พอร์ต แต่ถึงกระนั้น หาก MCU แต่ละเครื่องมีขั้วการติดต่อสื่อสารที่แตกต่างกันเช่น เครื่องหนึ่งอยู่ในยุโรปอีกเครื่องหนึ่งในสหรัฐฯ จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนโปรโตคอลระหว่างกันด้วย (ซึ่งก็พิจารณาเช่นเดียวกันสำหรับการประชุมระหว่าง 2 แห่งที่ codec อยู่บนขั้วสื่อสารที่แตกต่างกัน) ถึงแม้จะไม่มีข้อจำกัดในทางทฤษฎีของจำนวน MCU ที่จะมาต่อเข้าด้วยกัน แต่ในทางปฏิบัติมักจะถูกจำกัดด้วยสาเหตุหลายอย่างเช่น รูปลักษณะของขั้ว , ความล่าช้าของสัญญาณที่ส่งผ่านเครือข่าย และระดับการยอมรับของผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการแนะนำให้อำกัดจำนวน MCU ที่ต่อถึงกันไว้ที่ 2 เครื่องเท่านั้น

จากการจัดการประชุมแบบคาสเคดกันทำให้สามารถทำการแบ่งแยกการประชุมออกเป็นหลาย ๆ การประชุมได้ ผลที่ตามมาคือสามารถจัดการประชุมที่แยกจากกันอย่างอิสระได้ในแต่ละสถานที่การประชุม แต่ถ้าหากจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนสถานที่ทำการประชุมและจำเป็นต้องควบคุมเกี่ยวสัมพันธ์กันระหว่างส่วน MCU ทั้งสองแห่งจะทำให้ต้องเพิ่มเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่าง MCU แต่ละแห่งมากขึ้น เพื่อลดเส้นทางการเชื่อมต่อสัญญาณต่าง ๆ ลง ก็สามารถใช้อุปกรณ์ของขั้วสื่อสารเช่น การมัลติเพล็กซ์หรือการต่อक्रमสัญญาณดิจิทัล (digital Cross-connect System : DCS) เข้ามาช่วยในการเชื่อมต่อ MCU ที่อยู่ห่างไกลกันได้

การส่งผ่านภาพกราฟิก

ในระบบการประชุมทางโทรทัศน์ระหว่างสถานที่ต่างๆ ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถที่จะส่งภาพกราฟิกเช่น แผนภูมิ, กราฟ หรือสไลด์ ไปให้ผู้เข้าร่วมประชุมที่อยู่อื่นได้รับชมได้ MCU จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้รับจากผู้เข้าร่วมประชุมในแต่ละที่อย่างสม่ำเสมอ และจะให้ลำดับความสำคัญกับข้อมูลที่เป็นภาพกราฟิกและแสดงความต้องการที่จะส่งไปยัง MCU เมื่อ codec ได้รับการตอบกลับก็จะหยุดการส่งภาพเคลื่อนไหวและทำการส่งข้อมูลของภาพกราฟิกแทน

เมื่อ MCU ได้รับข้อมูลของภาพกราฟิก ก็จะหยุดโหมดการแสดงผลขณะนั้นไว้ชั่วคราวซึ่งทำให้การแสดงผลภาพเคลื่อนไหวที่ผู้เข้าร่วมประชุมในที่ต่าง ๆ ได้รับชมขณะนั้นกลายเป็นภาพกราฟิกที่เป็นภาพนิ่ง ชั่วคราวแทนต่อมาเมื่อ MCU ได้รับสัญญาณแสดงการสิ้นสุดการส่งภาพกราฟิกจาก codec MCU ก็จะกลับไปยังโหมดการแสดงผลก่อนหน้านั้น (หรือกลับไปยังผู้พูดหลักคนใหม่ ถ้าผู้พูดหลักคนใหม่แทรกขึ้นมาระหว่างที่กำลังส่งภาพกราฟิกอยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่านข้อมูลข่าวสาร

codec จะมีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต สำหรับต่อกับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น เครื่องโทรสาร, คอมพิวเตอร์ , พล็อตเตอร์ โดยพอร์ตข้อมูลที่ใช้อินเตอร์เฟซ RS-232 จะต่อกับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลอัตราเร็วสูงข้อมูลข่าวสารจะถูกจัดรวมกับข้อมูลของวิดีโอและออดิโอภายในเฟรมข้อมูล ข้อมูลจากอินเตอร์เฟซ RS-449 จะใช้ฟิลด์ร่วมกับข่าวสารของการติดต่อระหว่าง CPU ของ codec กับ codec หรือ codec กับ MCU ข้อมูลจากอินเตอร์เฟซ RS-449 จะได้ฟิลด์ร่วมกับข้อมูลของวิดีโอฟิลด์ SRC (Sync Reference Code) จะใช้กำหนดรายละเอียดภายในฟิลด์ CPU/RS-232 user data และฟิลด์ video/RS-449 user data

ในโหมดการปฏิบัติงานแบบสวิตช์ด้วยสัญญาณเสียง MCU จะรับสัญญาณวิดีโอจากผู้พูดหลักและส่งกระจายให้กับผู้ร่วมประชุมที่อยู่อื่นทั้งหมด ถ้าผู้พูดหลักมีความต้องการที่จะส่งข้อมูลที่ใช้ฟิลด์ร่วมกับข้อมูลของวิดีโอ การส่งข้อมูลในลักษณะแบบนี้จะต้องทำการส่งข้อมูลให้เสร็จสิ้นก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงผู้พูดหลักหรือก่อนที่จะมีเสียงจากผู้พูดคนอื่นแทรกขึ้นมากลางคัน แต่ถ้าหากว่ามีการพูดแทรกของผู้พูดอื่นแทรกขึ้นมาระหว่างการส่งข้อมูลของผู้พูดหลัก จะทำให้เกิดการสวิตช์ไปยังแหล่งกำเนิดเสียงจากผู้พูดหลักคนใหม่ ทำให้การส่งข้อมูลของผู้พูดหลักคนก่อนขาดหายไป หรือได้รับข้อมูลไม่ครบนั่นเอง ดังนั้นในการประชุมที่มีความต้องการส่งข้อมูลบ่อยครั้ง ควรจะให้โหมดการปฏิบัติงานแบบควบคุมโดยผู้พูดหลักดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลไม่ขาดหายไป

การเข้ารหัส

ถ้าการประชุมนั้นต้องการไม่ให้ผู้ใดรับรู้ (เป็นการประชุมลับ) ก็สามารถที่จะทำการเข้ารหัสสำหรับการติดต่อระหว่าง codec กับ MCU ได้ตามต้องการ โดยอาจจะเข้าเฉพาะบางพอร์ตหรือทั้งหมดในการประชุมหนึ่งๆ การเข้ารหัส เฉพาะบางพอร์ตถูกเรียกว่า conference-based encryption

ข้อดีของวิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์

1. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ค่าเบี้ยเลี้ยง ค่าที่พัก โดยเฉพาะที่ต้องเดินทางไปประชุมต่างประเทศ
2. สามารถประหยัดเวลาในการเดินทาง ทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการประชุม โดยเฉพาะบริษัท หรือหน่วยงาน ที่มีสาขากระจายอยู่ที่ห่างไกล
3. สามารถใช้ข้อได้เปรียบของวิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ ทำให้สามารถเหนือคู่แข่งทางด้าน การออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือกลยุทธ์ของบริษัท รวมทั้งได้รับความคิดเห็นที่สำคัญต่อการปรับปรุงและพัฒนาได้อย่างทันเหตุการณ์

ข้อจำกัดของวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์

1. การที่จะมีระบบวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ ย่อมมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงความจำเป็นและความคุ้มค่าในการใช้งาน
2. ภาพของผู้เข้าร่วมประชุม จะถูกจำกัดด้วยประสิทธิภาพของกล้อง บางช่วงหรือบางอิริยาบถอาจจะไม่อยู่ในมุมมองของกล้อง และบางครั้งคุณภาพของภาพอาจจะไม่ดี ทำให้ผู้เข้าร่วมประชุมเบื่อกว่าหน้า ไม่ให้ความสนใจ
3. การประชุมระยะไกลลักษณะนี้ ไม่ใช่การติดต่อเป็นการส่วนตัว ย่อมจะไม่คุ้นเคย



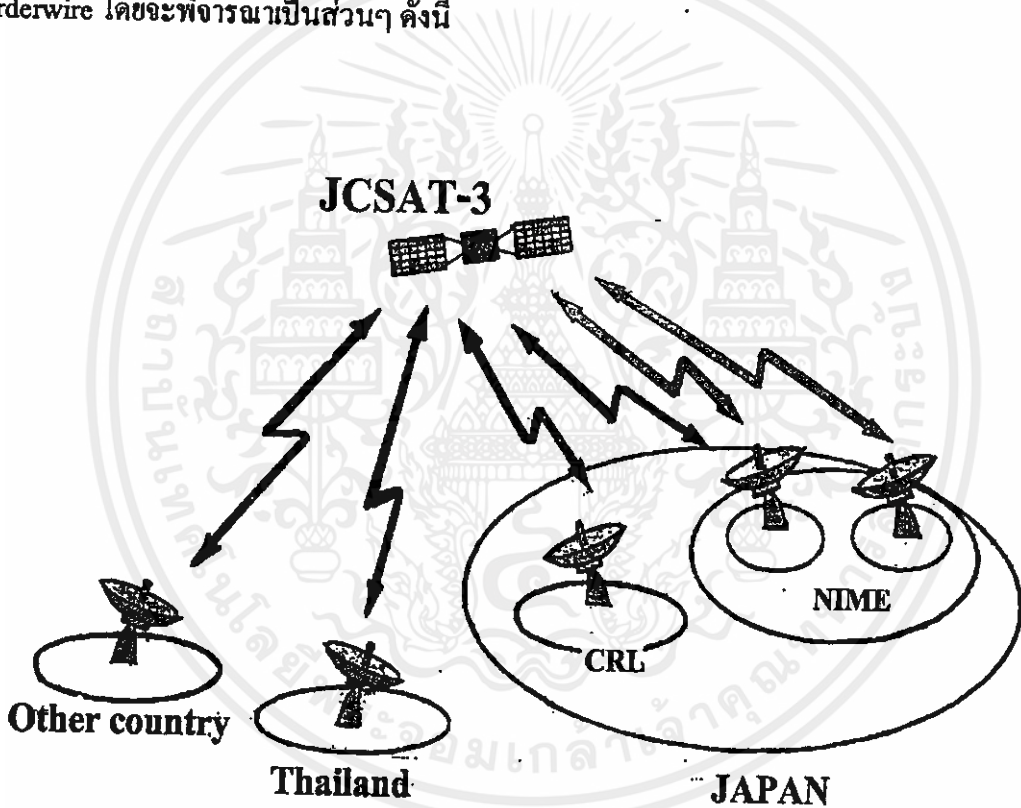
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 บทนำ

การติดต่อสื่อสารของโครงการ Post-PARTNERS มีโครงร่างในการติดต่อสื่อสารดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นการประยุกต์ให้สามารถนำไปใช้กับระบบการสื่อสารดาวเทียมได้ ซึ่งเป็นการสื่อสารระบบดิจิทัล ที่ใช้ในการรับส่งภาพเคลื่อนไหว, เสียงและข้อมูลที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 2.048 เมกะบิตต่อวินาที และสัญญาณเสียงระบบดิจิทัลสำหรับ orderwire โดยจะพิจารณาเป็นส่วนตัว ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงโครงร่างของการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ของโครงการ Post-PARTNERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของระบบประกอบด้วย 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนี้

3.2.1 สถานีภาคพื้นดิน

ระบบสถานีภาคพื้นดินที่ใช้ในการส่งสัญญาณภาพและเสียง โดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ประกอบด้วย

- งานสายอากาศและฐานที่ตั้ง
- อุปกรณ์ประกอบที่อยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor Unit) ประกอบด้วย อุปกรณ์ขยายกำลังสูง, อุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนต่ำ, อุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้น (up-converter) และอุปกรณ์แปลงความถี่ลง (down-converter)
- อุปกรณ์ประกอบที่อยู่ภายในอาคาร (Indoor Unit) ประกอบด้วย วงจร RF/IF, วงจรเบสแบนด์ และวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า
- อุปกรณ์ประกอบ เช่น สายส่งกำลัง RF และ ชุดเครื่องโทรศัพท์ชนิดยกหู

3.2.2 ระบบ TV Conference

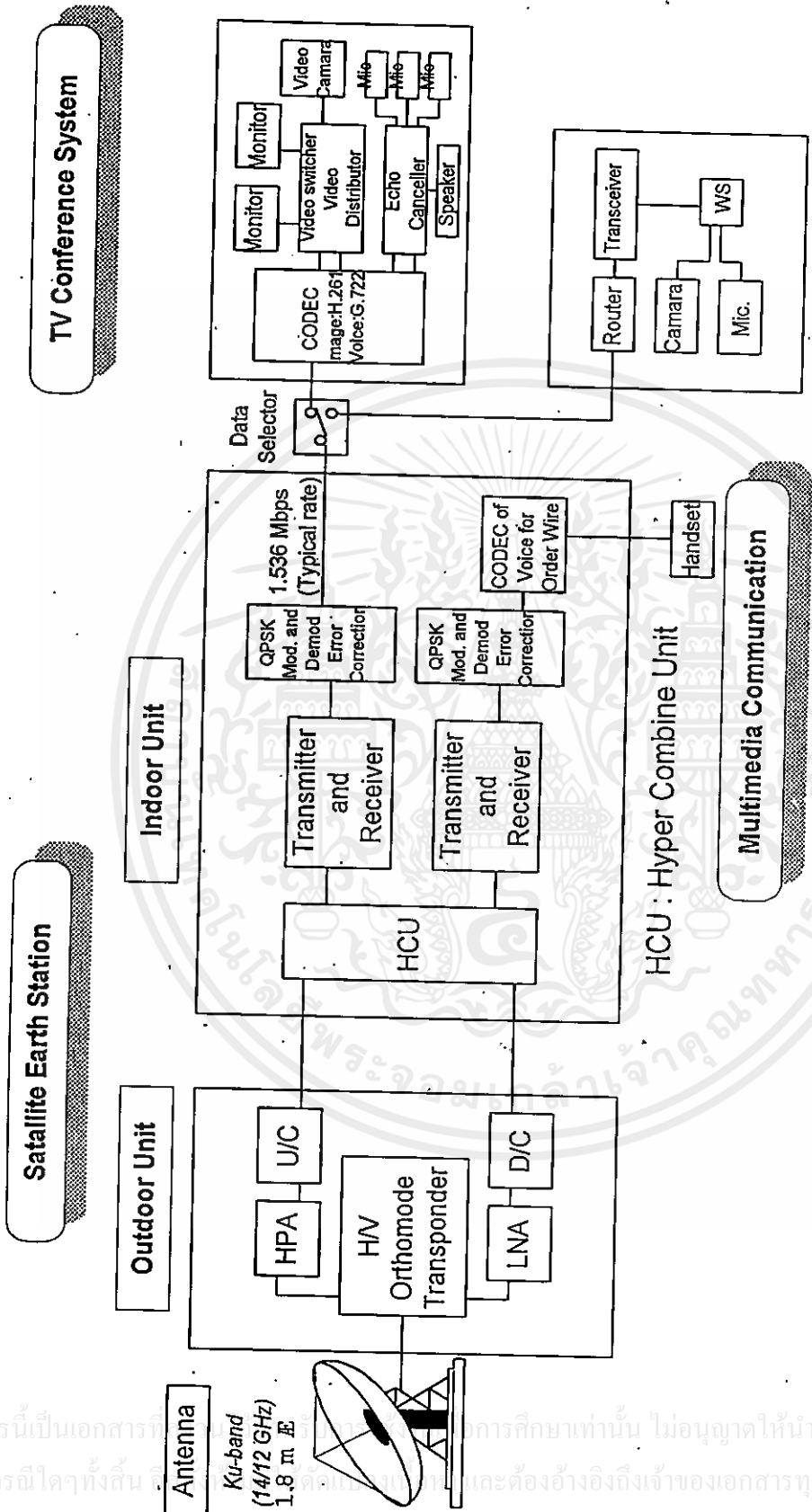
ระบบในส่วนนี้ เป็นการเข้ารหัส, ถอดรหัส ภาพเคลื่อนไหว, เสียง และข้อมูล รวมถึงการแสดงผลของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต มีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้

- H.261 การเข้ารหัส-ถอดรหัสภาพ (image CODEC)
- G.722 การเข้ารหัส-ถอดรหัสเสียง (voice CODEC)
- อินเตอร์เฟสสำหรับ H.261/ G.722 CODEC
- ชุด I/O สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอกประกอบ เช่น กล้องวิดีโอ, ไมโครโฟน, ลำโพง, เครื่องรับโทรทัศน์
- ชุดจ่ายวิดีโอ (Video distributors)
- ชุดเลือกวิดีโอ (Video switchers)
- ชุดตัดเสียงสะท้อน (Echo canceller)

3.2.3 อุปกรณ์ประกอบ

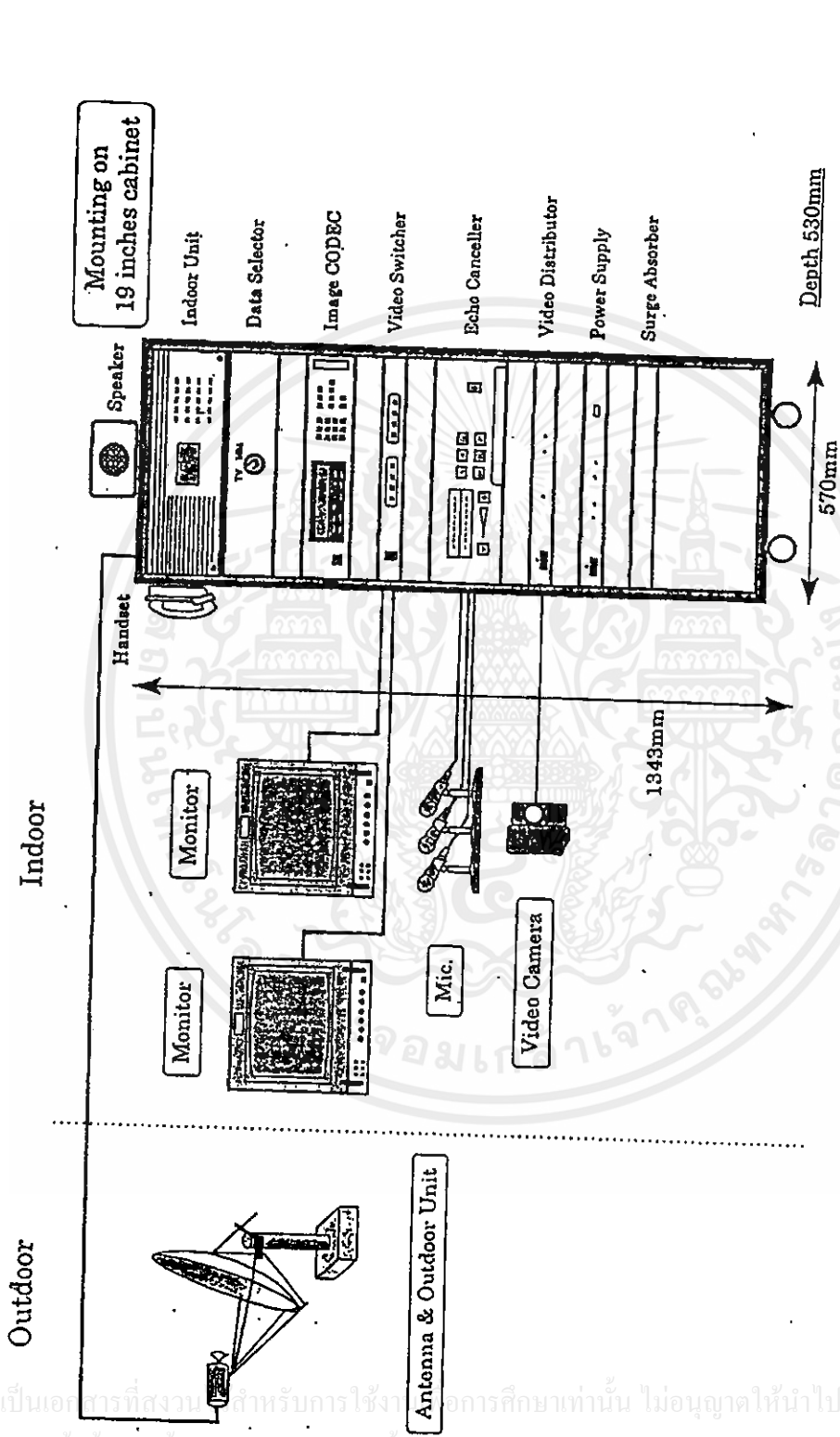
เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์สำหรับต่อทางด้าน อินพุตและเอาต์พุตและใช้สำหรับการแสดงสัญญาณภาพและเสียง ดังเช่น กล้องวิดีโอ, ไมโครโฟน, ลำโพง, เครื่องรับโทรทัศน์สำหรับแสดงภาพการ conference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของระบบภาคพื้นดินที่ใช้การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ของโครงการ Post-PARTNERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้... โยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้

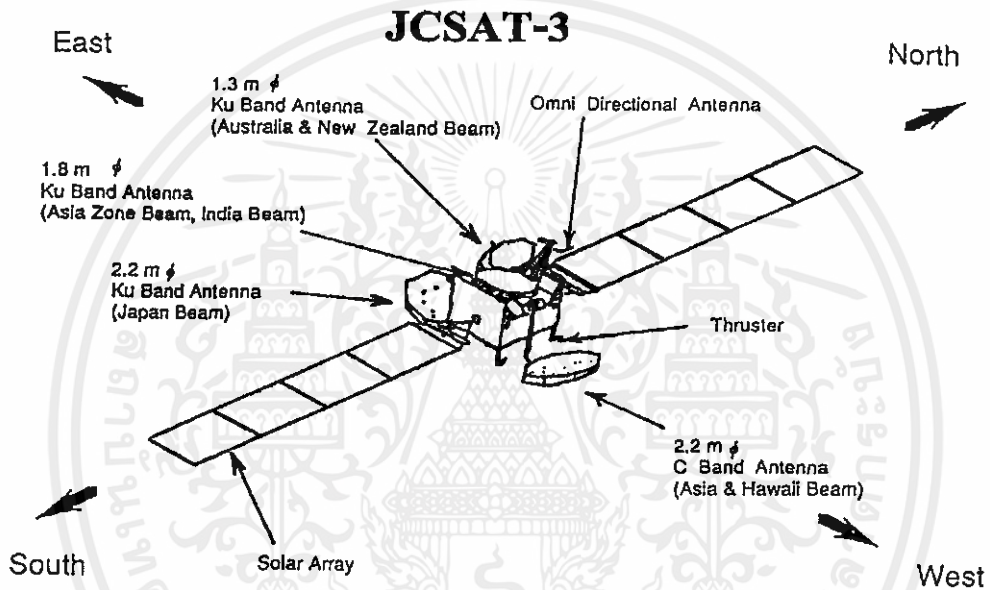


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะโดยรวมของระบบ TV Conference ที่ใช้ช่องสัญญาณของดาวเทียม JCSAT-3 ของโครงการ Post-PARTNERS ในการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง ไม่มีการนำไปใช้

3.3 ดาวเทียม JCSAT-3

JCSAT-3 เป็นชื่อดาวเทียมของบริษัท Japan Satellite System, Inc. เป็นองค์กรที่ทำงานเกี่ยวกับดาวเทียมและเป็นผู้นำทางด้านการศึกษาแห่งประเทศญี่ปุ่น, การสื่อสารนานาชาติและภูมิภาคแห่งนี้ ในลักษณะของการกระจาย (Broadcasting) มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่ โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น โดยดาวเทียม JCSAT-3 นี้ ถูกสร้างขึ้นโดยการตกลงว่าจ้าง บริษัท ฮิวส์ (Hughes) เป็นผู้สร้างและดำเนินการดาวเทียม JCSAT-3 เมื่อ เดือนตุลาคม 2536 และถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อ เดือนสิงหาคม 2538 โดยเริ่มให้บริการเมื่อ เดือนตุลาคม 2538



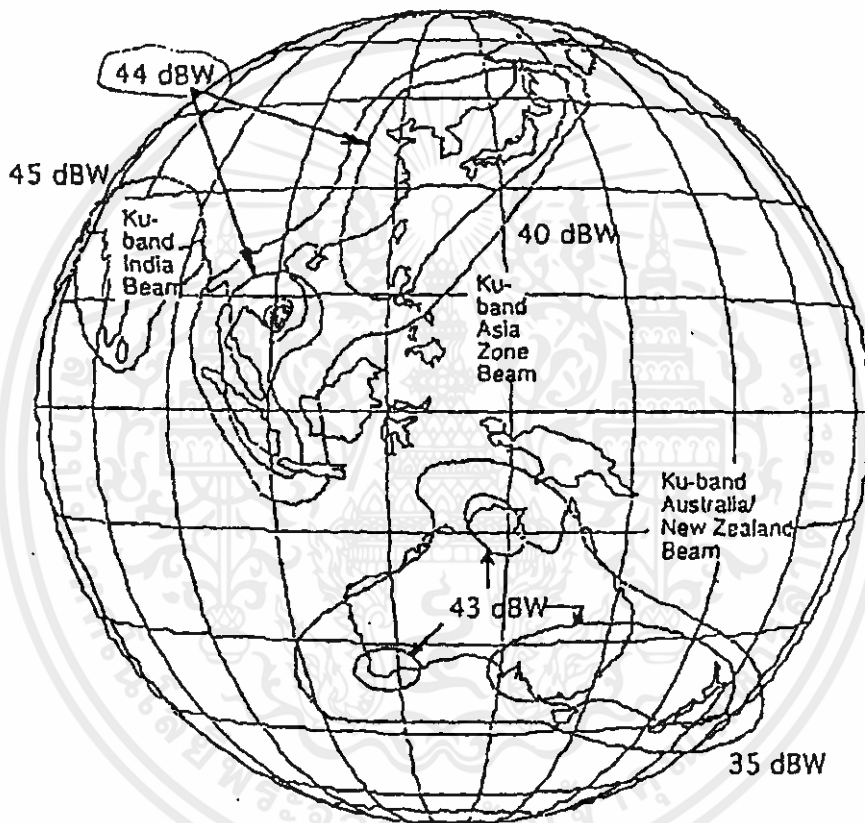
รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างลักษณะของดาวเทียม JCSAT-3

ข้อมูลทางด้านเทคนิคของดาวเทียม JCSAT-3

	Ku-band	C-band
จำนวนช่องสัญญาณ	: 28	: 12
ความถี่ที่ใช้	: 14/12 GHz Band	: 6/4 GHz Band
แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ	: 36 MHz (12 ch) สวิตช์เลือกไปที่ 54 MHz (2 ch)	: 27 MHz (16 ch)
โพลารไรเซชันขาขึ้น/ขาลง	: ติเนียร์	: ติเนียร์
อัตราขยายกำลังงานที่ออก	: 60 วัตต์ (TWTA)	: 34 วัตต์ (SSPA)
พื้นที่บริการหลัก ประเทศญี่ปุ่น	: > 55 dBW เมืองสำคัญ	: > 39 dBW
โอกินาวา	: > 51 dBW ส่วนกลางของการบริการ	: > 38 dBW

เกาะอื่นๆ	: > 46 dBW	พื้นที่รอบนอกของการบริการ: > 37 dBW
พื้นที่สปกอบีมี	: > 46 dBW	ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ : > 25 dBW (อินเดีย, ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์)
(เอเชีย)	: > 45 dBW	

Ku-band Service Coverage



รูปที่ 3.5 แสดงพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการของดาวเทียม JCSAT-3 ย่านความถี่ Ku

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน ที่สำคัญในงานวิจัย

ชื่อเมือง	ละติจูด , ลองจิจูด (องศา)	EIRP (dBW)	G/T (dB/K)	SFD (dBW/m ²)	Elevation (deg.)	Azimuth (deg.)
กรุงเทพฯ ประเทศไทย	13.7 100.6	44.6	0.0	-89.2	54.6	114.6
โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น	35.7 139.8	44.5	0.4	-89.6	46.7	199.7

3.4 คุณสมบัติเบื้องต้นของโครงการ Post-PARTNERS ในงานวิจัย

3.4.1 คุณสมบัติของดาวเทียมสื่อสาร

- รายละเอียดทางด้านเทคนิคที่จำเป็น เช่นเดียวกับ ดาวเทียมสื่อสาร JCSAT-3
- ทรานสปอนเดอร์ : ใช้ทรานสปอนเดอร์เลขที่ K1, K3, K5, K7, K9, K11, K13, K15, K17, K19, K21, K23, K25, และ K27 (ออกแบบโดย Japan Satellite System Inc.)
- การเข้าถึงของข้อมูล ใช้วิธี : FDMA
- อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (ดิจิทัล) : 64 Kb/s – 2.048 Mb/s
: 64 Kb/s – 1.536 Mb/s สำหรับ TV Conference (ปกติ 1.536 Mb/s)
- จำนวนช่องสัญญาณ : ดิจิตอล 4 ช่องสัญญาณ
: สัญญาณเสียงสำหรับ orderwire 3 ช่องสัญญาณ

3.4.2 สถานีภาคพื้นดิน

สถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม JCSAT-3 ทำงานในย่านความถี่ Ku ดังนี้

- ความถี่ที่ใช้ส่ง : 14.00 GHz - 14.50 GHz
- ความถี่ที่ใช้รับ : 12.25 GHz - 12.75 GHz
- G/T : มากกว่า 23.0 dB/k
- กำลังคลื่นพาที่ส่ง : 8 dBW

3.4.3 ระบบ T.V. Conference

- การเข้ารหัสภาพ (ITU-T H.261)
- การเข้ารหัสเสียง (ITU-T G.722)
- การจัดสรรขยายช่องสัญญาณวิดีโอ : เข้า 1 / ออก 5 ; BNC 75 โอห์ม
- การกำจัดเสียงสะท้อน : cannon connector

3.4.4 การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง สถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม กับ ระบบ T.V.

Conference และกับการสื่อสารระบบมัลติมีเดีย

- ภาพ, เสียง และข้อมูลสำหรับระบบ T.V. Conference

(64 Kb/s - 1.536 Mb/s) : RS-422/449, 1 ช่องสัญญาณ

- ภาพ, เสียง และข้อมูลสำหรับระบบ มัลติมีเดีย

(64 Kb/s - 2.048 Mb/s) : RS-422/449, 1 ช่องสัญญาณ

3.4.5 การเชื่อมต่อระหว่างระบบ T.V. Conference และอุปกรณ์ประกอบ

- กิ่งอวีดีโอ : NBC jack ; 1 ช่องสัญญาณ
- ไมโครโฟน : cannon connector
- ลำโพง : สายลำโพง

3.4.6 อุปกรณ์ประกอบ

- กิ่งอวีดีโอ : รูปแบบ NTSC
- โทรศัพท์ : 2 สาย 1 ช่องสัญญาณ
- จอแสดงภาพ 2 ชุด (สำหรับ T.V. Conference) : 29 นิ้ว

3.5 คุณลักษณะทางด้านเทคนิค

3.5.1 สายอากาศ มีคุณลักษณะดังนี้

1. ชนิดของสายอากาศ : งานสายอากาศ ออฟเซ็ท พาราโบลิก
2. ย่านความถี่ : ความถี่ส่ง 14.00 GHz - 14.50 GHz
: ความถี่รับ 12.25 GHz - 12.75 GHz
3. ขนาดของงานสายอากาศ : 1.8 เมตร
4. โพราไรเซชัน : ส่ง Horizontal Polarization / Vertical Polarization
: รับ Vertical Polarization / Horizontal Polarization
(เลือกโพราไรเซชัน ด้วยการปรับสวิทช์)
5. อัตราขยายของสายอากาศ : มากกว่า 46.2 dBi (ที่ 14.25 GHz)
: มากกว่า 45.4 dBi (ที่ 12.50 GHz)
6. SWR สายอากาศ : น้อยกว่า 1.3
7. ช่วงของการปรับมุมสายอากาศ: มุมอะซิมูท 360 องศา (ปรับละเอียด 20 องศา)
: มุมอีลิเวชัน 25 – 70 องศา (ปรับละเอียด 20 องศา)
8. ด้านทานความเร็วลม : สูงสุด 60 เมตรต่อวินาที
9. ตำแหน่งสายอากาศ : ปรับด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 สัญญาณในการส่ง

สัญญาณดิจิทัล

1. ความถี่ : ความถี่ส่ง 14.00 GHz - 14.50 GHz
: ความถี่รับ 12.25 GHz - 12.75 GHz
2. การแยกช่องสัญญาณ : 2.5 KHz
3. การมอดูเลชัน : QPSK (Coherent detection)
4. ฟิเตอร์จำกัดความกว้างของสัญญาณแบบแบนด์ : Root Nyquist
5. การเข้ารหัสภาพ : H.261
การเข้ารหัสเสียง : G.722 (SB-ADPCM : 56 Kb/s)
6. การแก้ไขข้อผิดพลาด : Sequential R = □
7. อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล : 3.276 เมกกะบิตต่อวินาที
8. ชนิดของสัญญาณที่ส่ง : ภาพ, เสียง, ข้อมูล (1.536 เมกกะบิตต่อวินาที)

สัญญาณเสียงดิจิทัลสำหรับ orderwire

1. ความถี่ : ความถี่ส่ง 14.00 GHz - 14.50 GHz
: ความถี่รับ 12.25 GHz - 12.75 GHz
2. การแยกช่องสัญญาณ : 2.5 KHz
3. การมอดูเลชัน : QPSK
4. การเข้ารหัสเสียง : เข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน (convolution), ถอดรหัสแบบ ไวทาบิ (vitabi), R = □

3.5.3 ความปลอดภัยในการปฏิบัติ

- สามารถควบคุมระดับสัญญาณส่ง โดยตั้งที่ส่วนของชุด Indoor Unit
- ระบบมีการป้องกัน จากการส่งที่ไม่ถูกต้อง โดยจะไม่สามารถส่งสัญญาณออกไป และรับสัญญาณจากสถานีข้อยได้ จนกว่าจะทำการยกเลิกคำสั่งหรือการตั้งค่าการทำงานนั้นๆ

3.5.4 .สภาพแวดล้อมในการใช้งาน

ระบบนี้ต้องใช้เฉพาะในอาคาร ส่วนสายอากาศและส่วนที่อยู่นอกอาคาร สภาพแวดล้อมจะต้องได้รับการพิจารณาและได้รับความเห็นชอบ

3.5.5 ส่วนเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ส่วนเพิ่มเติมนี้เป็นส่วนที่ถูกนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมในระบบ T.V. Conference คือ

1. VCR
2. LCD Projector
3. Screen

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าในการคำนวณการเชื่อมโยงเครือข่ายของสถานีความถี่ภาคพื้นดิน โค
 เกียวประเทศญี่ปุ่น กับสถานีภาคพื้นดินสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประเทศไทย โดยใช้ความถี่ JCSAT-3

JCSAT-3 satellite	: Ku-band, Asia zone beam
Earth station (Tokyo) \Rightarrow Earth station (Bangkok)	
Transmission rate	: 1.536 Mb/s, Error correction rate \square , QPSK modulation
Antenna diameter	: 1.8 m ϕ
Weather	: fine
Interference by neighbor satellite and cross polarization is estimated to be 20% of required C/N	
The value in JCSAT-3 technical report (C/IM = 18 dB) is used as the cross modulation product	

<Uplink> (14 GHz) Tokyo

Transmit power	dBW	10.8	
Transmit loss	dB	-3.0	
Antenna gain	dBi	46.2	1.8m
ES EIRP	dBW	54.0	Transmit power 6W
Uplink path loss	dB	-207.0	
Uplink rain loss	dB	0.0	fine weather
Satellite G/T	dB/K	2.0	
Bandwidth	dBHz	61.9	
Boltzman const.	dB	-228.6	
Uplink C/N	dB	15.7	

<Downlink> (12 GHz) Bangkok

Satellite EIRP	dBW	46.4	
Output backoff	dB	-15.2	
Downlink path loss	dB	-205.7	
Downlink rain loss	dB/K	0.0	fine weather
Rain temp inc.	dB	0.0	

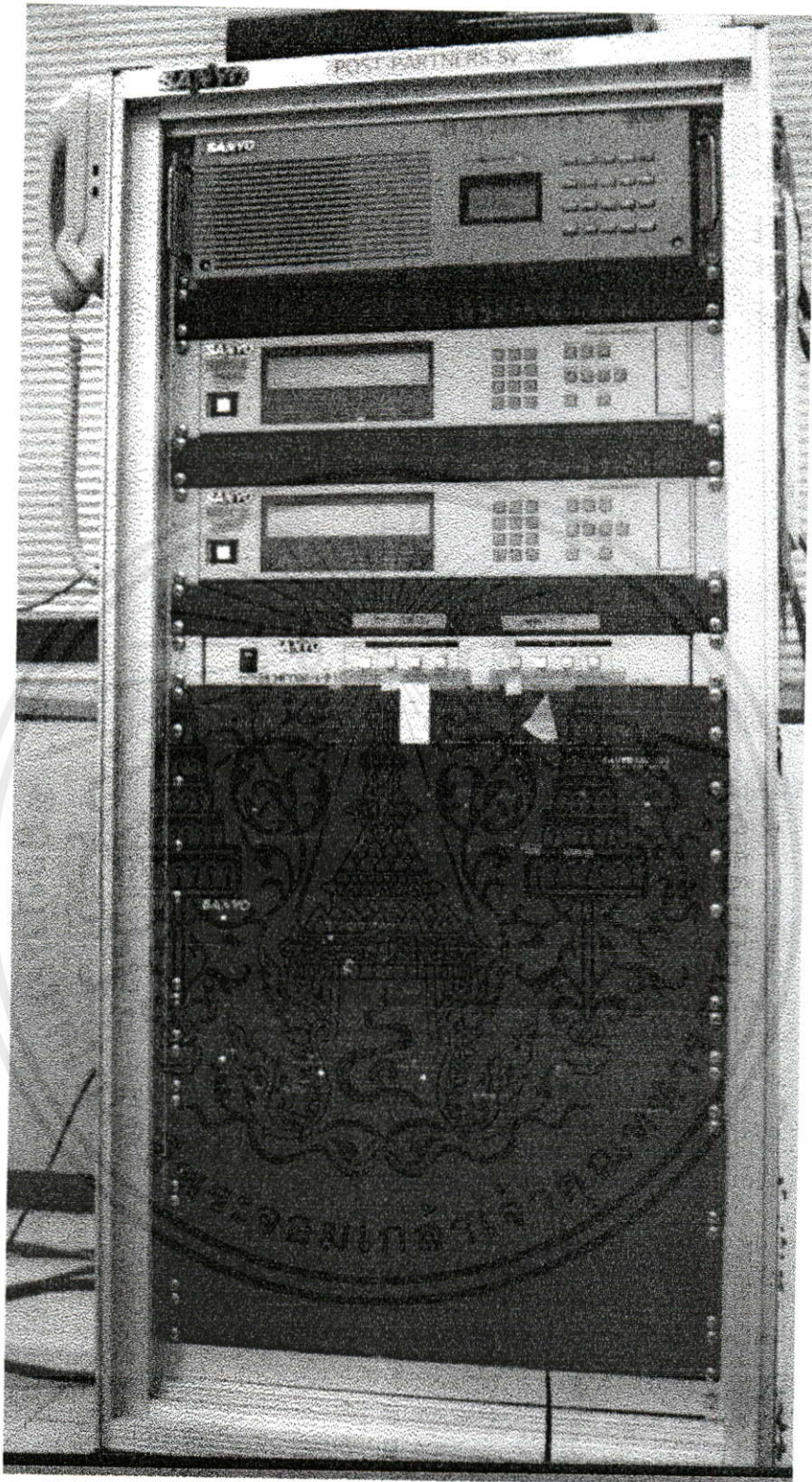
ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

Receive antenna	dB	23.0	1.8m, 140K
Bandwidth	dBHz	61.9	
Boltzman const.	dB	-228.6	
Downlink C/N	dB	15.2	

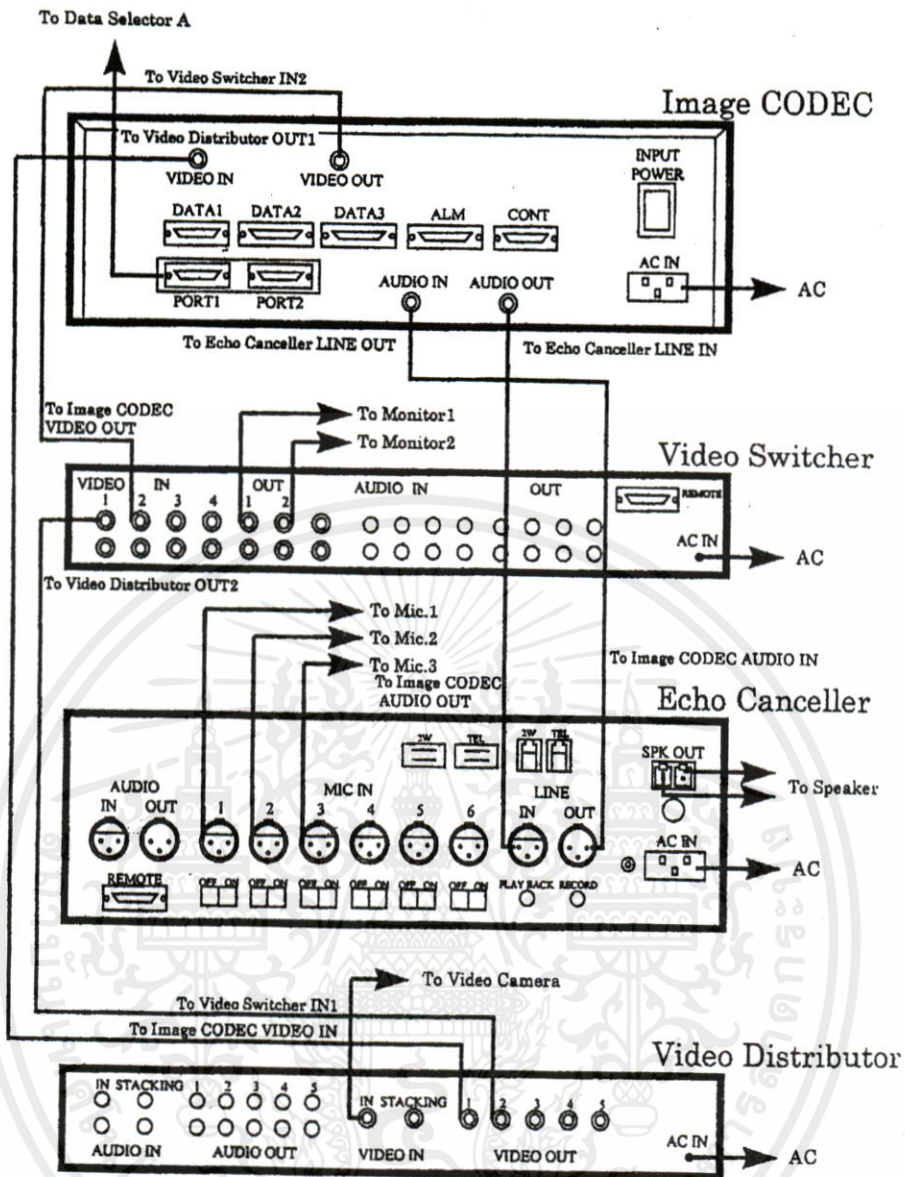
<Downlink> (12 GHz) Bangkok

C/N, u+d	dB	12.4	
C/Na+x, u+d	dB	14.0	
C/IM	dB	-18.0	
C/(N+1) TOTAL	dB	9.5	
Req. C/(N+1)	dB	7.0	
Margin	dB	2.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

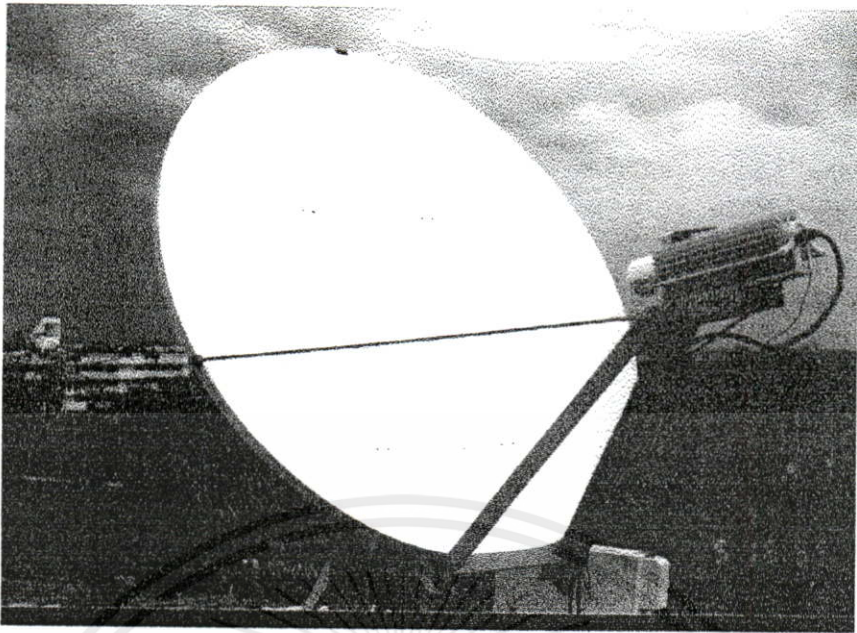


รูปที่ 3.6 แสดงด้านหน้าของชุดอุปกรณ์ส่วนภายในอาคาร (Indoor Unit) ของสถานีภาคพื้นดิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

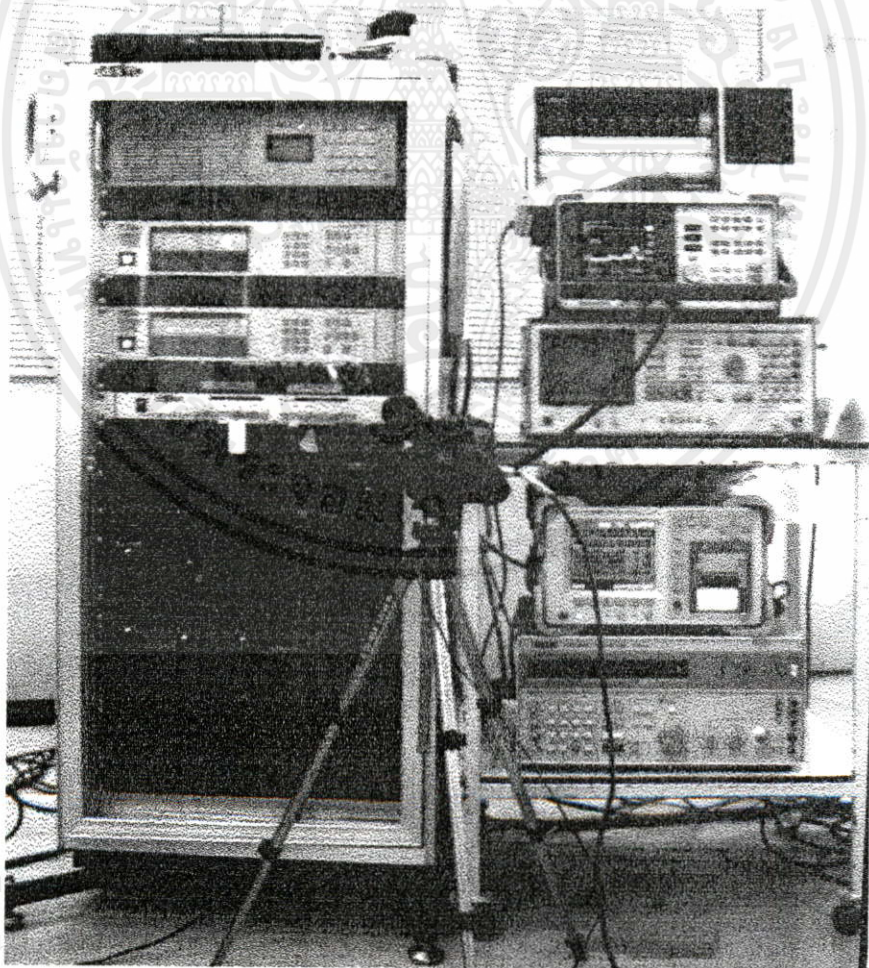


รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะด้านหลังชุดอุปกรณ์ภายในอาคาร (Indoor Unit) และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประกอบเพื่อการ Conference ของสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงงานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน (Outdoor Unit) ขนาด 1.8 เมตร

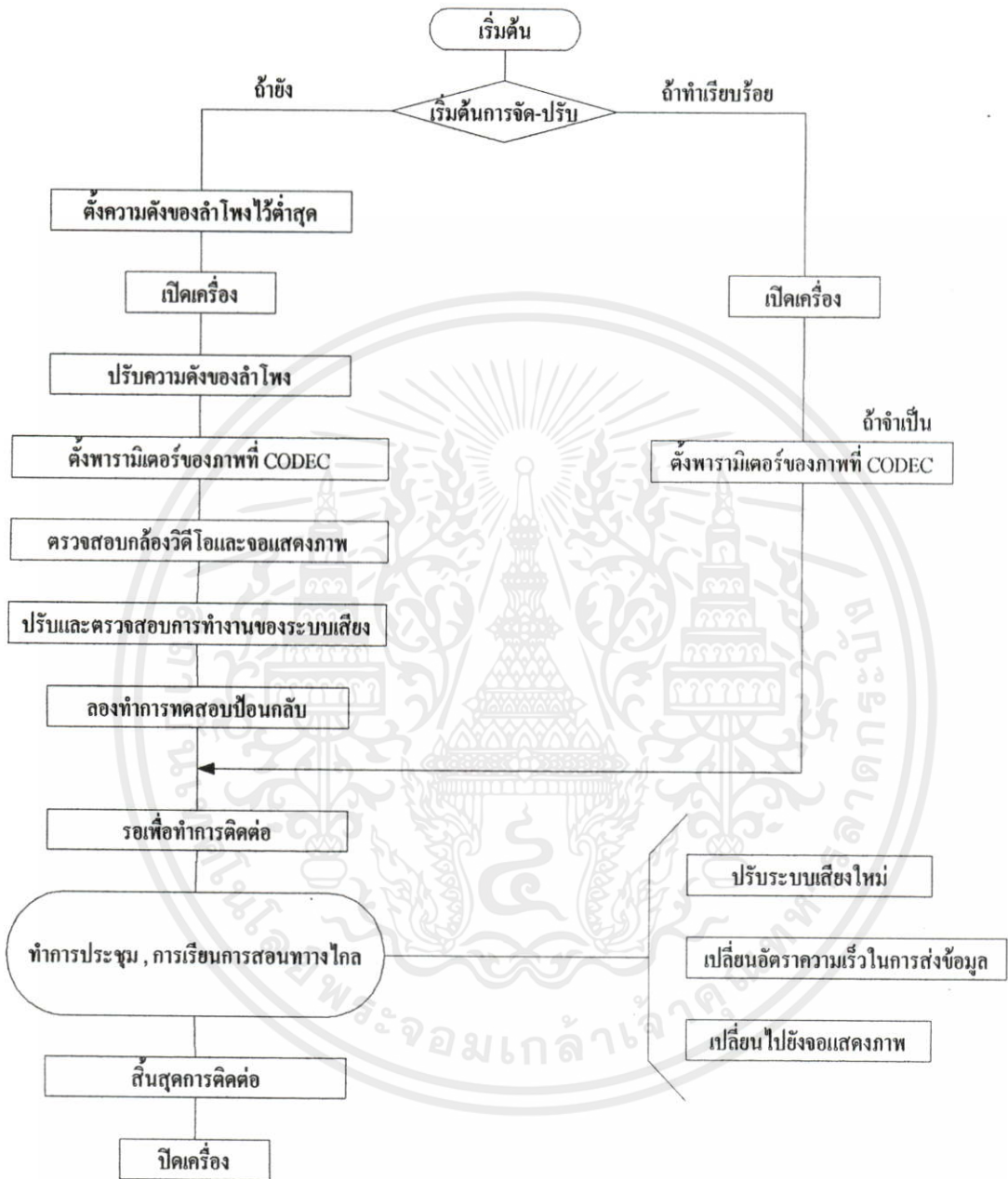


เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

โฆษณาด้านการค้า
การนำไปใช้

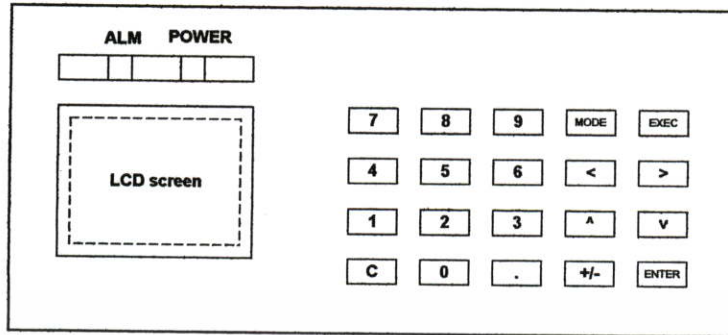
รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์โดยรวมที่ใช้ในงานทดลองวิจัย

โพลซาร์จ การทำงานของระบบ การประชุมทางไกลและการเรียนการสอนทางไกลผ่านดาวเทียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าตัวแปรในการทำการเริ่มต้นการติดต่อของสถานีภาคพื้นดิน



ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการตั้งค่าอุปกรณ์ Indoor Unit ในส่วนการทำ UAT ซึ่งเป็นการส่งคลื่นไปเพื่อเช็ทกับศูนย์ควบคุมดาวเทียมที่โยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งการทำ UAT นี้ จะกระทำก่อนมีการประชุมหรือการใช้งานดาวเทียม

การทำ UAT ประกอบด้วยสองขั้นตอนดังนี้

1. UAT ใช้การส่งสัญญาณคลื่นพาห้คงที่อย่างเดียวนำไม่มีการมอดูเลชั่น แต่ส่วนใหญ่มักจะข้ามขั้นตอนนี้ไป
2. UAT โดยการมอดูเลทสัญญาณ

การกระทำ UAT จะใช้ช่องสัญญาณ CH01 และ CH02 จะใช้เมื่อใช้ระบบเสียงทางสายผ่านดาวเทียม และจะต้องมีการเปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟมากกว่า 30 นาที เพื่อเป็นการเริ่มการทำงานของเครื่องก่อนทำ UAT ตามขั้นตอนดังนี้

กด exec เพื่อเข้าไปทำงานที่

CH 01

CH SG

(02)	Test Flag	“OFF” เพื่อทำการ UAT และ Conf. “ON” เพื่อทดสอบคลื่นพาห้
(04)	Tx. Freq.	กำหนดความถี่ส่ง
	Rx Freq.	กำหนดความถี่รับ
(05)	EIRP Tx. Power	ตั้งค่ากำลังส่ง ; ต่ำสุดที่ +21.2 dBm ตั้งค่ากำลังส่ง ; สูงสุดที่ +21.2 dBm
(07)	TX Carrier Mod.	“CW ON” เมื่อต้องการส่งในโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น CW อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มา
“ON” เมื่อส่งคลื่นที่มีการมอดูเลทไปใช้
สัญญาณ

Rx Carrier

อยู่ที่ OFF

(40) Transmission Rate

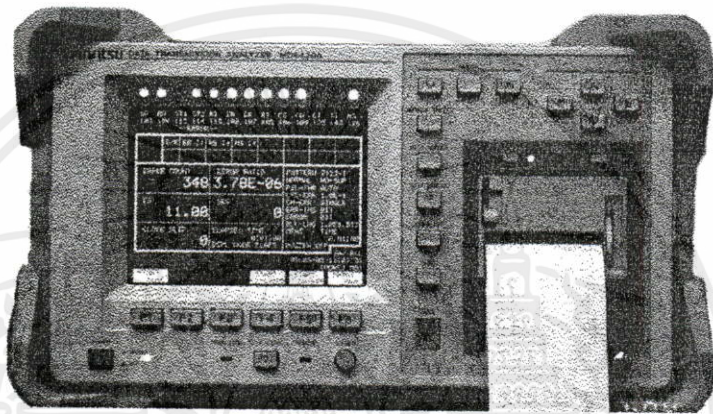
Tx : ตั้งอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล

Rx : ตั้งอัตราความเร็วในการรับข้อมูล

3.6 เครื่องมือวัดในงานวิทยานิพนธ์

ประกอบด้วยเครื่องมือวัด เพื่อวัดค่าข้อมูลและบันทึกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณาหลักๆ 4 ส่วน คือ

3.6.1 Data Transmission Analyzer (Anritsu, Model MD6420A)



รูปที่ 3.10 แสดงรูปลักษณะของเครื่องวัด BER, Delay Time ที่ใช้งานทดลองวิจัย

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานสื่อสาร ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้ในการวัดค่าความผิดพลาด และค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในระบบการรับ-ส่งข้อมูลในงานสื่อสาร โดยได้อธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.6.1.1 การวัดค่าความผิดพลาด (Error measurement)

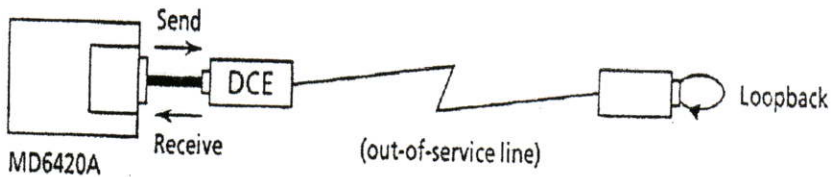
การวัดค่าความผิดพลาดสามารถกระทำได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการดังนี้

1. การวัดแบบจุด-ต่อ-จุด

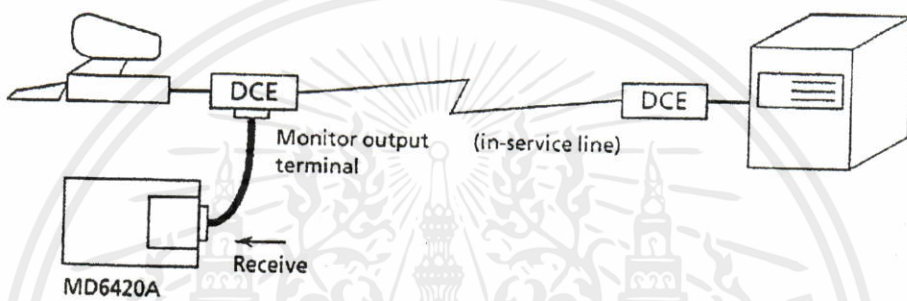


เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานที่ (out-of-service line) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในงานวิจัยหรืองานด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดแบบวนกลับ



3. การวัดแบบ มอนิเตอร์



ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กระทำการวัดใน 2 ลักษณะแรก เนื่องจากการศึกษา ทดลองเพื่อ วิจัยหาค่าที่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพอากาศต่างๆ ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย จึงต้องมีการปรับ ค่าตัวแปรในการทดลองใช้งาน ดังนั้นในลักษณะวิธีที่ 1 และ 2 จึงเหมาะสมและสามารถกระทำการ ได้

คุณลักษณะการวัดค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น

1. ค่าความผิดพลาดที่ตรวจจับ: ค่าความผิดพลาดทุกอย่างที่เกิดขึ้นจากส่วน bit error, code error, parity error, CRCError และความผิดพลาดที่เกิดจากความไม่พอดีกันของเฟรม ซึ่งสามารถที่จะ เลือกวัดได้

2. หัวข้อของความผิดพลาดในการวัด:

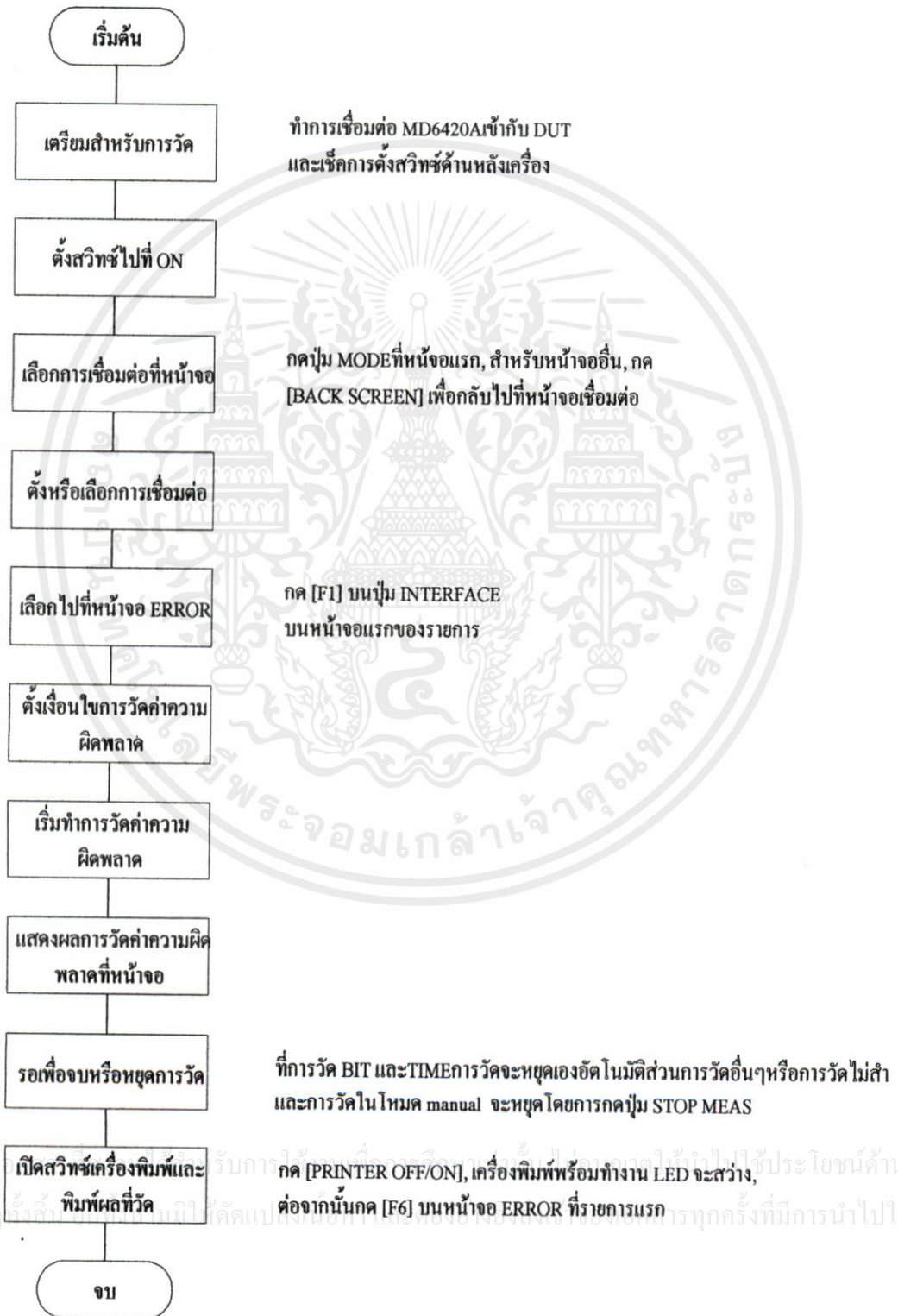
- error count, error rate
- block error count, block error rate
- BBE (Background Bit Error)
- BBER (Background Bit Error Rate)

3. คุณลักษณะของค่าความผิดพลาด

- US (Unavailable Seconds), %US
- AT (Available Time), %AT

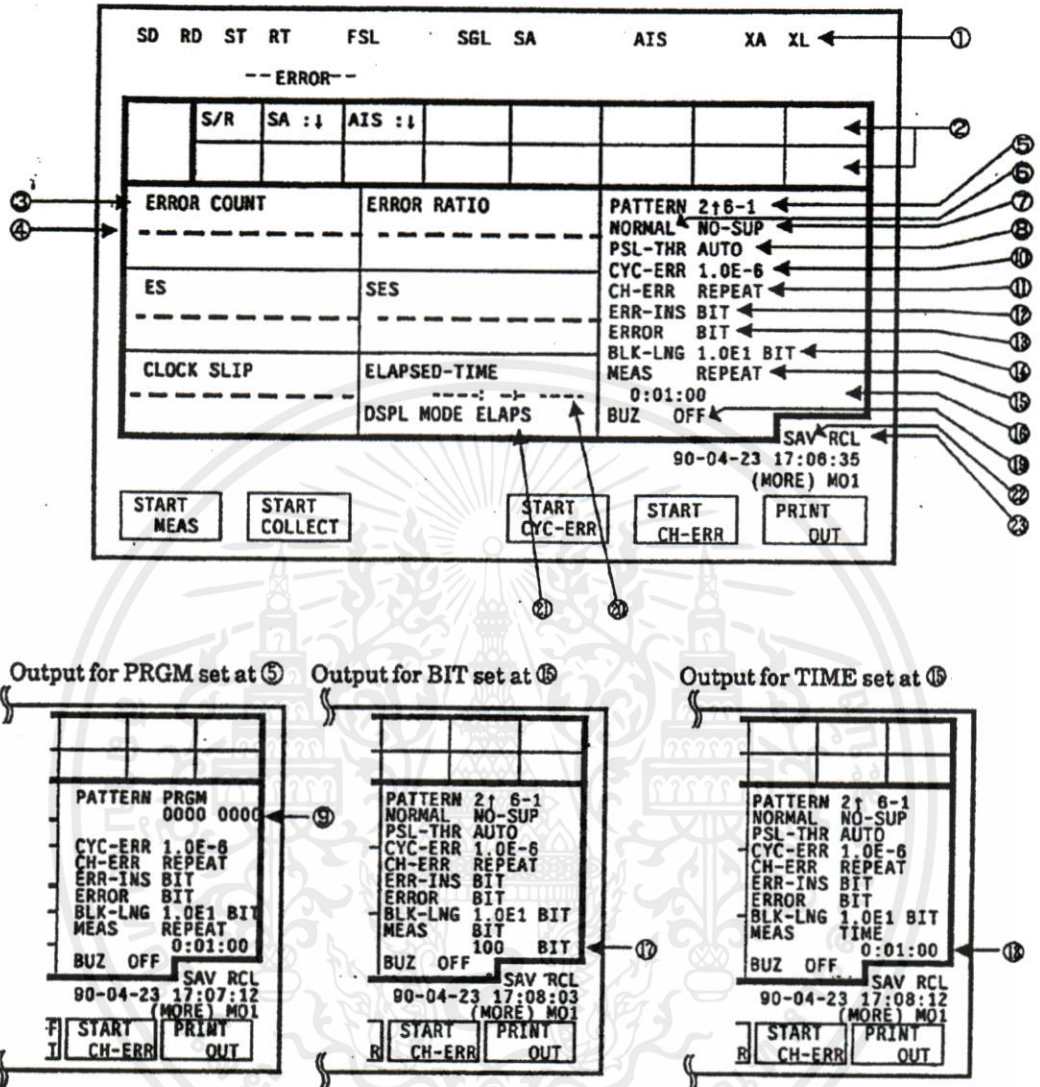
- SES (Severely Errored Seconds), %SES
 - DM (Degraded Minutes), %DM
 - ES (Error Seconds), %ES
 - EFS (Error Free Seconds), %EFS
4. แสดงค่าการนับที่เกิดขึ้นและค่าเวลาที่วัด
- Pattern sync loss count
 - Clock slip count
 - Clock slip generation time (seconds)
 - AC power failure time (seconds)
 - Pattern sync loss time (seconds)
 - AIS generation time (seconds)
 - Frame sync loss time (seconds)
 - X.50 frame sync loss time (seconds)
 - Input signal loss time (seconds) (Measurement items differ depending on the interface unit)
5. การวัดค่าเวลาที่ผ่านไป (Elapsed time)
- ค่าเวลาที่ผ่านไปจากเริ่มทำการวัด 0-999 ชั่วโมง 59 นาที 59 วินาที
 - รอบของการวัดค่าเวลาที่ผ่านไป 0-999 ชั่วโมง 59 นาที 59 วินาที
6. ความยาวของบล็อคข้อมูล
- 2^n bits ($n = 5 - 16$)
 - 2^m bits ($m = 1 - 16$)
7. ค่าเวลาในการวัด
- การวัดครั้งเดียว 10^n บิต ($n = 2 - 9$), 2500 บิต , 1 วินาที ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที 59 วินาที
 - การวัดซ้ำ , 1 วินาที ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที 59 วินาที
 - ควบคุมด้วยมือ (สูงสุด 1 ปี)
8. รูปแบบการวัดอัตราการเกิดบิตผิดพลาด
- Fix pattern, pseudorandom pattern
9. เงื่อนไขการตรวจจับการสูญเสียความสอดคล้องกันของรูปแบบ
- Pseudorandom pattern, ดีเทคค่าบิตผิดพลาดที่เท่ากับค่า m หรือมากกว่า กับค่า n บิต เพื่อหาค่า sync loss
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ดังนี้ 10/100, 20/100, 25/100, 100/300, 100/1000, 200/1000, 250/1000, 1000/3000, 1000/10000, 2000/10000, 2500/10000, 10000/30000, 10000/100000, 20000/100000, 25000/100000, 100000/300000, auto.

การตั้งเครื่องวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น
ขั้นตอนวิธีการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น แสดงดัง โฟล์สชาจต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ไว้

โครงสร้างของหน้าจอแสดงค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างหน้าจอเครื่อง Data Transmission Analyzer ในการการวัดค่าอัตราบิตผิดพลาด

รูปโครงสร้างหน้าจอ เครื่อง วัดค่าบิตผิดพลาด (Data Transmission Analyzer) ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการอธิบายในส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1 - ไฟแสดงข้อสัญญาณ
- 2 S/R,SND,RCV สายสัญญาณและแจ้งสถานะของสัญญาณที่ตั้ง
- 3 - หัวข้อของผลที่วัด
- 4 - ผลที่วัด
- 5 PATTERN ชื่อรูปแบบที่ใช้รับ-ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฉีกใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัปโหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

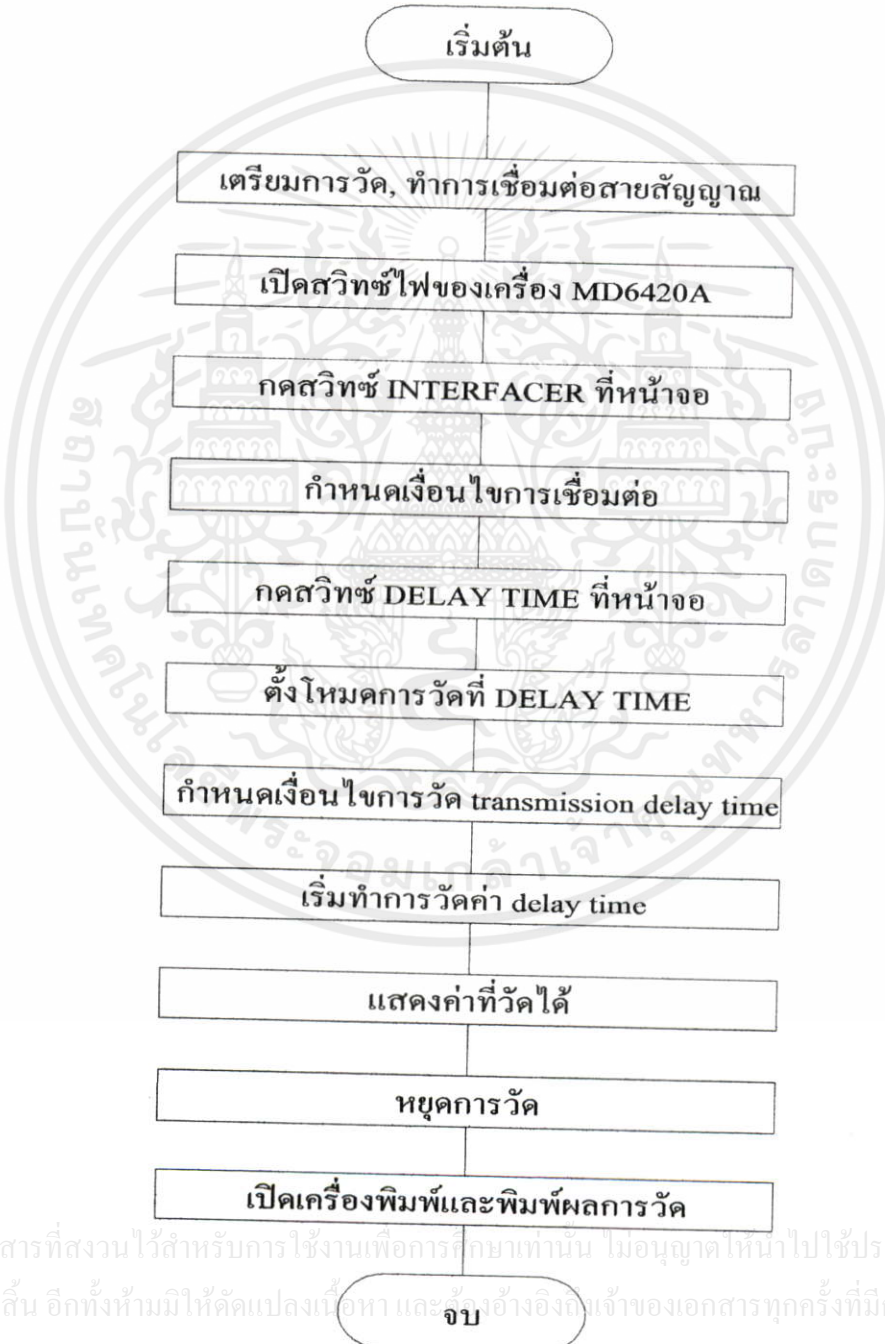
- 6 - ชนิดของรูปแบบในการรับ-ส่ง
- 7 - การกลับสู่รูปแบบสภาวะเริ่มต้นของการรับ-ส่ง
- 8 PSL-THR ค่าเทรชโฮลตรวจจับการสูญเสียความพอดีของรูปแบบ Pseudorandom
- 9 - รูปแบบโปรแกรม
- 10 CYC-ERR การเพิ่มอัตราความผิดพลาดแบบวนรอบ
- 11 CH-ERR วิธีการเพิ่มความผิดพลาดในช่องสัญญาณ
- 12 ERR-INS ชนิดของความผิดพลาดที่เพิ่มเข้าไป
- 13 ERROR ชื่อของความผิดพลาดที่ทำการตรวจจับ
- 14 BLK-LNG ความยาวของบล็อกข้อมูล
- 15 MEAS เครื่องกำลังทำการวัด
- 16 - ช่วงเวลาที่ทำการวัด กรณีอยู่ในโหมดวนซ้ำ
- 17 - ค่าของบิท กรณีเลือกการทำงานในโหมดบิท
- 18 - เวลาที่ทำการวัด กรณีเลือกวัดในโหมดเวลา
- 19 BUZ สัญญาณเสียงแสดงสถานะเมื่อตรวจจับการผิดพลาดได้
- 20 ELAPSED-
TIME แสดงค่าเวลาที่ใช้ในการวัดค่าผิดพลาดตั้งแต่เริ่มจนจบการวัด
- 21 DSPL MODE แสดงโหมดที่ตั้งใช้ในการแสดง สำหรับ 4 และ 20
- 22 SAV เป็นคำสั่งให้เก็บค่าเงื่อนไขการเชื่อมต่อที่ตั้งค่าไว้ในหน่วยความจำ
- 23 RCL เป็นคำสั่งเรียกเงื่อนไขการเชื่อมต่อที่เก็บในหน่วยความจำขึ้นมาอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

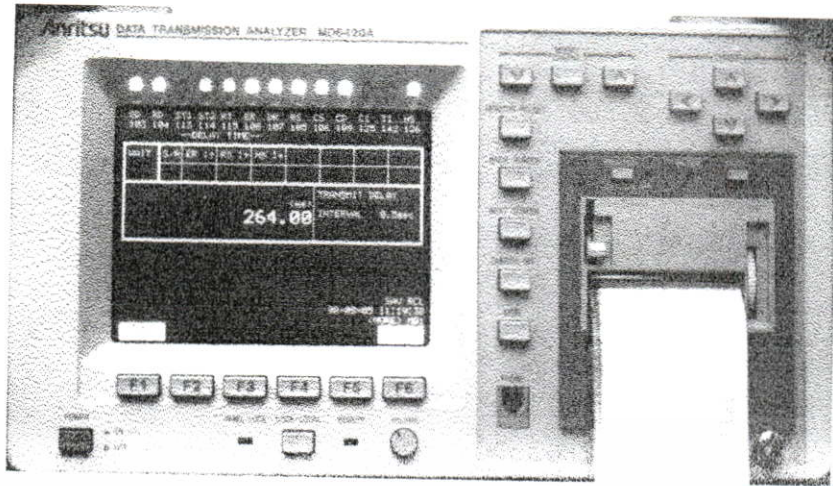
3.6.1.2 การวัดค่าเวลาหน่วง (Delay Time)

ค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในการส่ง-รับ สัญญาณ สามารถวัดได้โดยการวัดค่า Delay time ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เครื่อง Data Transmission Analyzer ในการวัด เช่นเดียวกันกับการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ไฟล์ชาร์ตของการตั้งเครื่องวัดค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้น



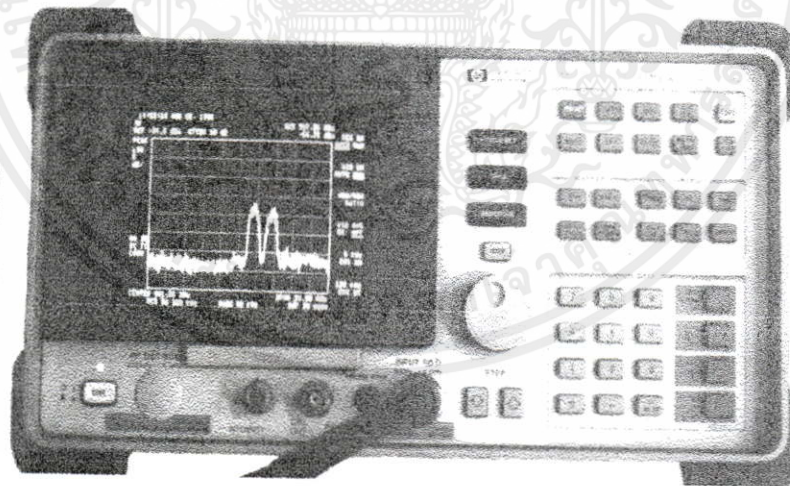
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของหน้าจอแสดงผลของเครื่องData Transmission Analyzer ที่ใช้ในการวัดค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในการส่ง-รับ สัญญาณ

3.6.2 Spectrum Analyzer (Hewlett Packard model 8590B)

การวัดค่าระดับสัญญาณ, ค่าแบนด์วิดของสัญญาณและค่าแคเรียตอสัญญาณรบกวนในการทดลองเพื่อวิจัยศึกษานี้ ใช้เครื่อง Spectrum Analyzer ยี่ห้อ Hewlett Packard 8590B ดังแสดงดังต่อไปนี้

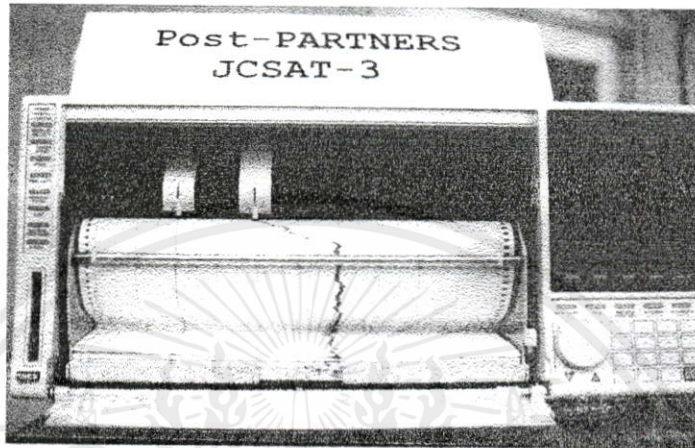


รูปที่ 3.13 แสดงหน้าจอของเครื่องวัด Spectrum Analyzer ที่ใช้ในงานทดลองวิจัย (วัดค่าระดับสัญญาณ, ค่าแบนด์วิด, ค่า C/No)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 Recorder (Anritsu)

เป็นอุปกรณ์ช่วยบันทึกค่าระดับสัญญาณร่วมกับค่าปริมาณการตกของฝน เพื่อพิจารณาค่าระดับสัญญาณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากฝนซึ่งมีผลอย่างมากกับระดับคุณภาพของสัญญาณดาวเทียมความถี่ย่าน Ku



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะเครื่องบันทึกสัญญาณ (Recorder) ขณะทำการบันทึกค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในงานวิทยานพรีซณะฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การสื่อสารระบบความถี่ในย่านความถี่ Ku จะได้รับผลกระทบอย่างมากกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และอัตราการตกของฝน ดังนั้นคุณภาพของการสื่อสารที่ทำการทดลองวัดและศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ศึกษาคุณภาพของสัญญาณในระบบการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม โดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ของประเทศญี่ปุ่น โดยมีรูปแบบของระบบการวัดดังรูปที่ 4.1

จากในรูป 4.1 แสดงระบบการวัดค่าอัตราผิดพลาด (Bit Error Rate) ในการทดลองวัดค่าผิดพลาด และการวิเคราะห์การส่งข้อมูล โดยใช้เครื่องมือ Data Transmission Analyzer (MD6420A) และ Spectrum Analyzer ในการวัดค่ากำลังของสัญญาณคลื่นพาห์ และกำลังของสัญญาณรบกวน

4.1 ลักษณะการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ กระทำใน สองลักษณะคือ

4.1.1 การทดลองส่งข้อมูลแบบ จุด-ต่อ-จุด (point to point)

การทดลองแบบจุด-ต่อ-จุด นี้เป็นการทดลองโดยความร่วมมือกันระหว่าง CRL (Communication Research Laboratory) สถาบันวิจัยงานทางด้านสื่อสารของประเทศญี่ปุ่น KMITL (King Mongkut Institute Technology of Ladkrabang) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.1.2 การทดลองส่งข้อมูลแบบวนกลับ (Loop back) ที่ สถานีภาคพื้นดิน ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ ตึกโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของการวัดค่าอัตราข้อมูลผิดพลาดและการวิเคราะห์สัญญาณ

หัวข้อ	คุณลักษณะ
ความถี่ส่งของ CRL	14.0405 GHz
ความถี่ส่งของ KMITL	14.0435 GHz
ความถี่รับของ CRL	12.2955 GHz
ความถี่รับของ KMITL	12.2925 GHz
ระบบการมอดูเลชัน	QPSK
ระบบการดีมอดูเลชัน	Synchronous Detection
ระบบแก้ไขการผิดพลาด	Convolutional Coding & Sequential Decoding
อัตราส่วนของ Forward Error Correction	1/2

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

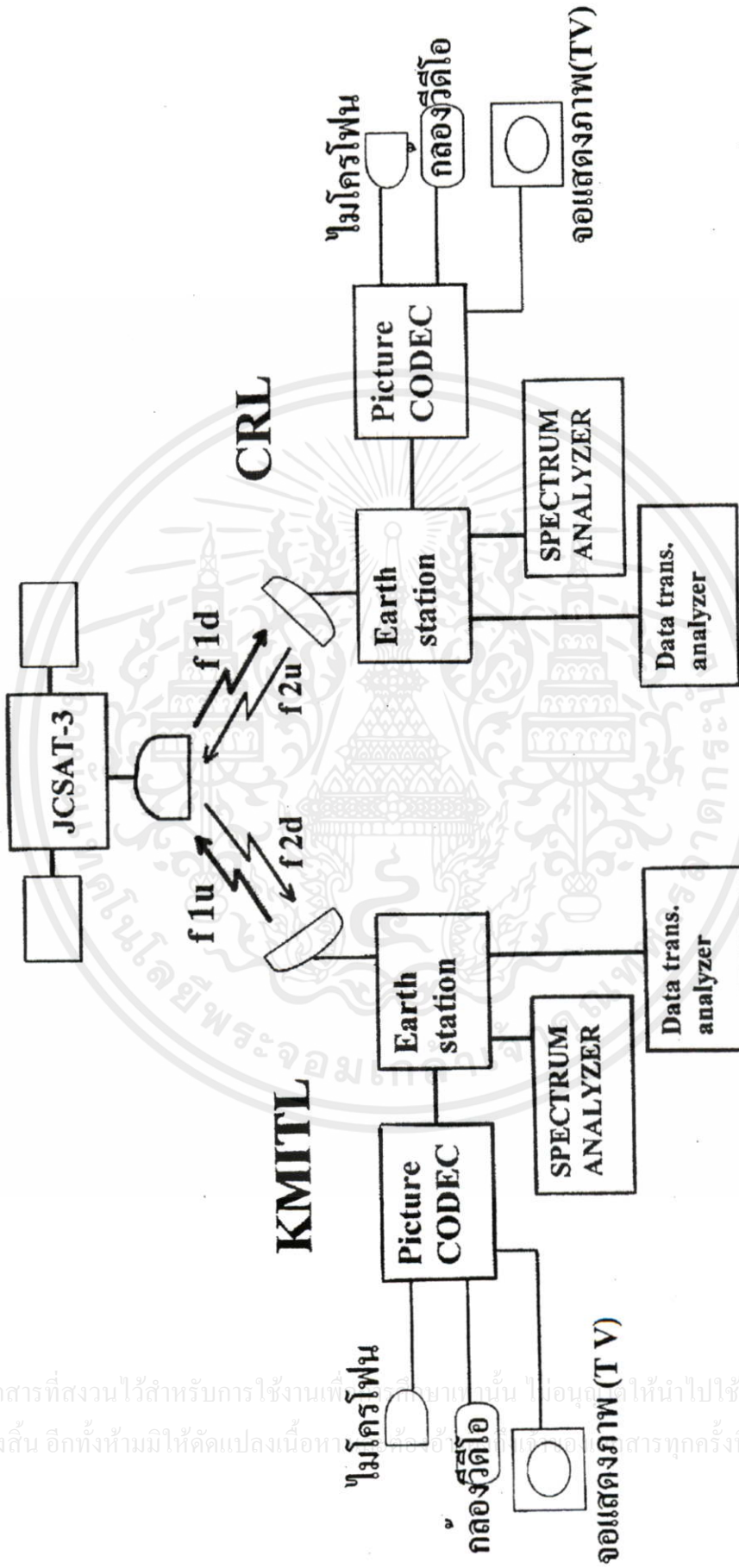
อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล	256-2048 kbps
รูปแบบการส่งข้อมูล	23 rd M Series Psuedo Random Pattern
คาบเวลาในการวัดค่า BER	60 วินาที

ค่าระดับกำลังงานในการทำงานของสถานีภาคพื้นดินที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้แจกแจงที่แต่ละอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล เมื่อเริ่มแรกที่ได้มาติดตั้งสถานีภาคพื้นดิน และได้ทำการทดสอบการส่งสัญญาณหลังเมื่อทำการติดตั้งแล้ว เมื่อเดือนธันวาคม 2539 ดังแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าระดับกำลังส่งสูงสุดที่แต่ละอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ของสถานีภาคพื้นดิน(กำลังส่งสูงสุดของระบบ 38.2 dBm หรือ 6.6 W)

อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (kbps)	ค่าระดับกำลังส่งในการทำงาน (dBm)
2048	38.2
1544	38.2
1536	38.2
768	37.0
512	35.5
384	34.5
256	33.0
224	32.0
192	31.5
128	30.0
112	29.0
64	27.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

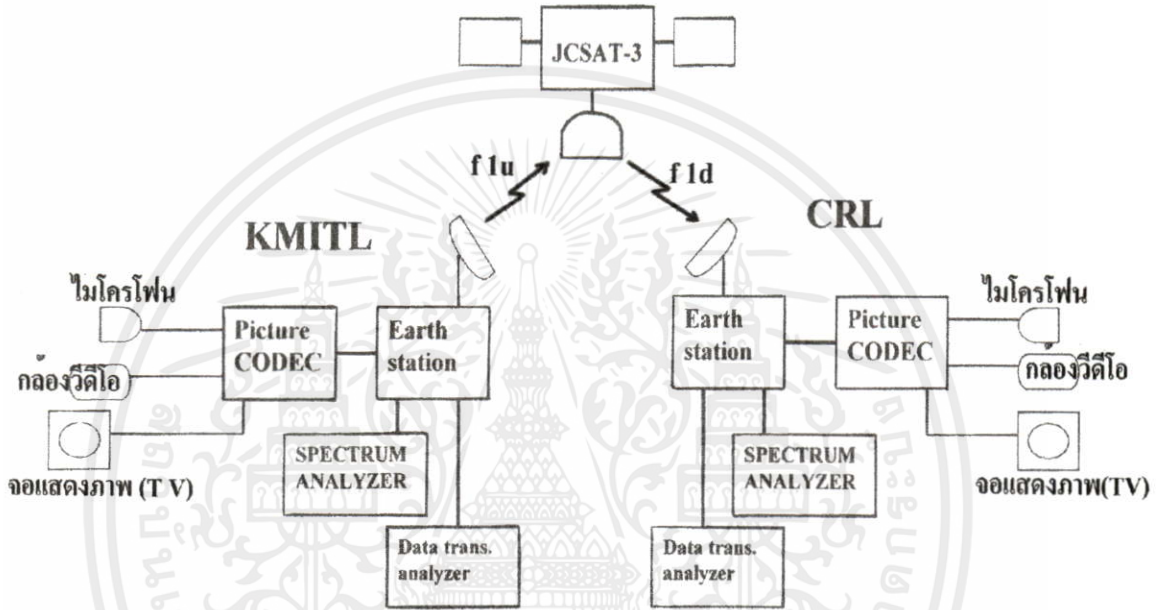


รูปที่ 4.1 แสดง โครงสร้างของระบบในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมในการประชุมทางไกล และใช้ในการทดลองด้วยสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อนุญาตเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาข้อมูลหรือข้อมูลเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

การส่งสัญญาณแบบ จุด ต่อ จุด

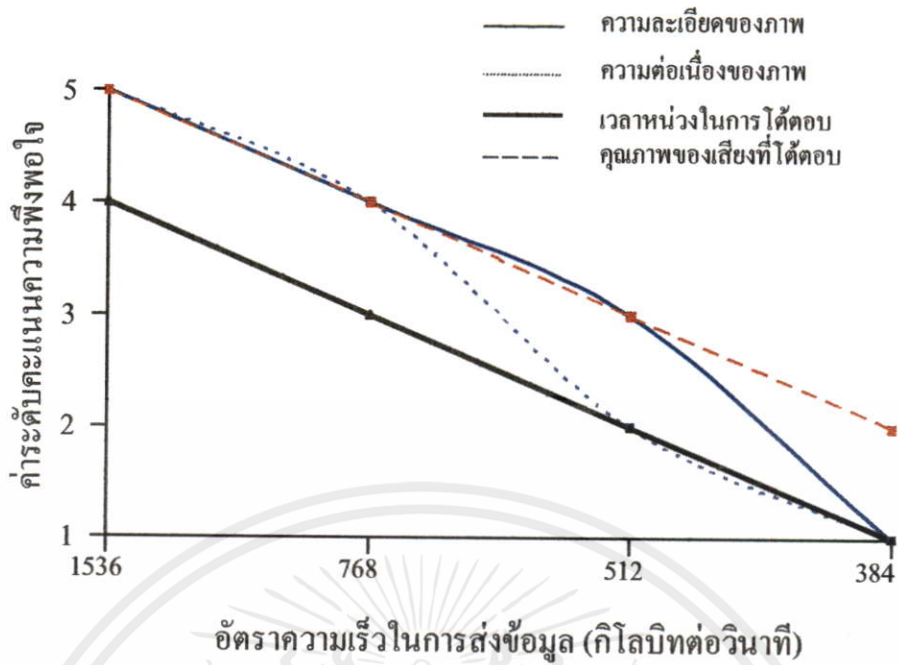
การทดลองในลักษณะ จุด ต่อ จุด เป็นการทดลองร่วมกันระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังของสัญญาณ โดยการวัดค่าอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้น, ค่าระดับสัญญาณและความพึงพอใจในคุณภาพ (KMITL) ประเทศไทย กับสถาบันวิจัยงานทางด้านสื่อสาร (CRL) แห่งประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาวิเคราะห์ค่าภาพของภาพและเสียงที่ได้รับผ่านแสดงผ่านทางจอโทรทัศน์ แสดงภาพผ่านวงจรการสื่อสารความเร็วสูงผ่านดาวเทียม JCSAT-3 โดยได้รับการจัดสรรความถี่ จากศูนย์ควบคุมดาวเทียมแห่งประเทศญี่ปุ่น ตามตารางที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลองระหว่าง KMITL กับ CRL

การกระทำการทดลองในลักษณะแรกนี้ เป็นไปตามการนัดหมายที่มีขึ้นร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL และตั้งความถี่ในการติดต่อสื่อสารกันตามในตารางที่ 4.1 ซึ่งก่อนการทดลองจะมีขั้นตอนในการติดต่อสื่อสารกันตามขบวนการของการทำ วิดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ หลังจากที่ติดต่อกันได้แล้วนั้นก็มีการตกลง, พุดคุยถึงวิธีการทดลอง, ขั้นตอนและเวลาในการวัดและบันทึกค่าการทดลองต่างๆ ต่อไป

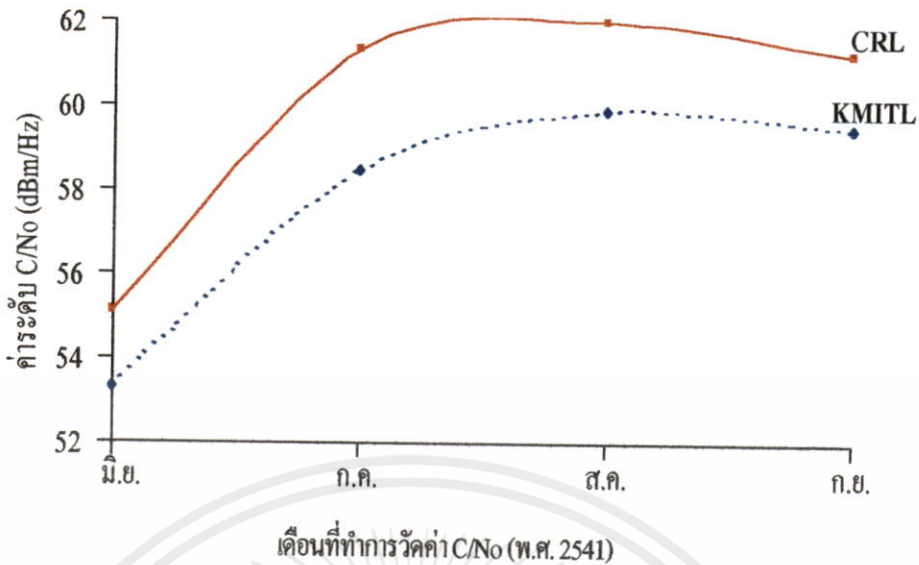
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าคะแนนความพึงพอใจของนักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 20 คน ที่รับชมภาพจากการส่งของสถานีภาคพื้นดิน CRL ประเทศญี่ปุ่น

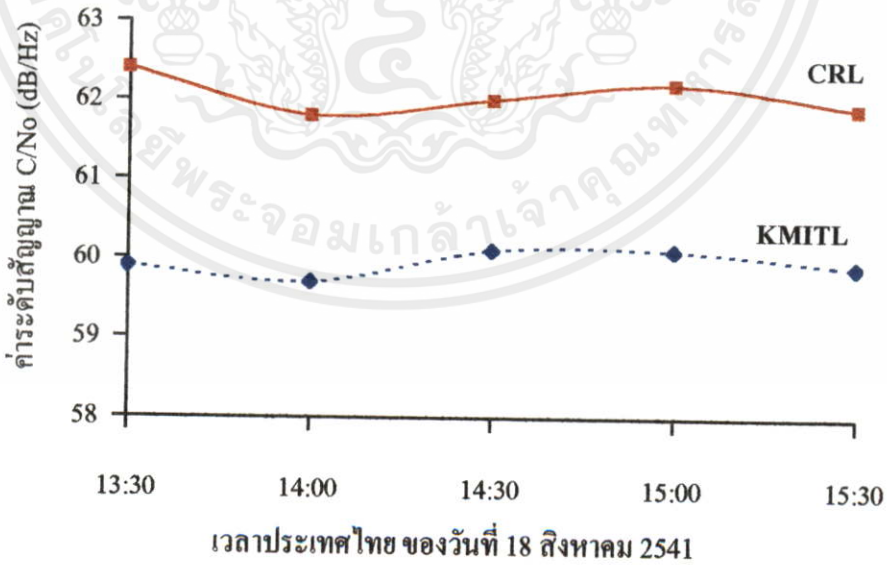
การทดลองในรูปที่ 4.3 เป็นการทดลองที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลค่าต่างๆ ที่ระดับกำลังส่งสูงสุด โดยแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกเป็น เรื่อง ความละเอียดของภาพที่ได้รับชม, ความต่อเนื่องของภาพในการเคลื่อนไหว, เวลาหน่วงที่เกิดขึ้นระหว่างภาพและเสียง และคุณภาพของเสียง โดยแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 5 ระดับ และระดับที่ 5 เป็นค่าระดับคะแนนที่มีความพึงพอใจมากที่สุด เทียบกับค่าคุณภาพที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ 1536 กิโลบิตต่อวินาที เป็นอัตราความเร็วปกติ ที่ใช้ในการคอนเฟอร์เรนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

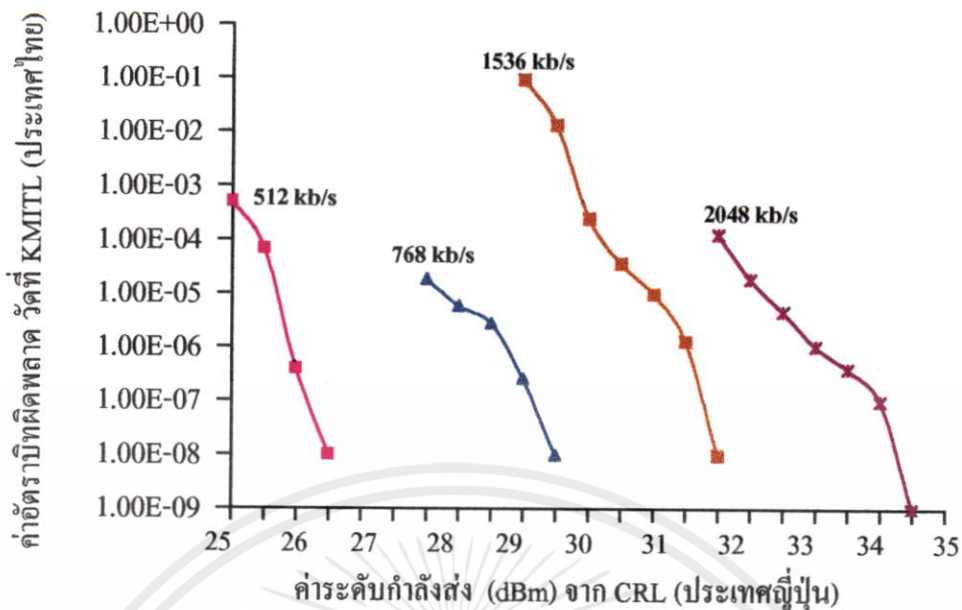


รูปที่ 4.4 แสดงค่า C/No ที่วัดได้จากการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL ใน CW mode ที่กำลังส่ง 25 dBm

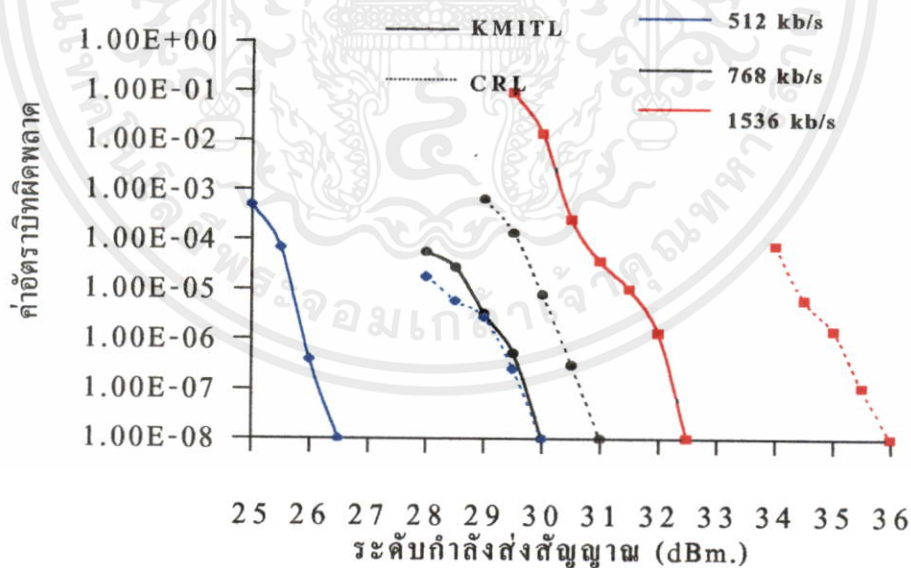
ผลการทดลองในรูป 4.4 เป็นการทดลองร่วมกัน ในโหมด CW ที่กำลังส่ง 25 dBm โดยเส้นกราฟของ CRL เป็นค่า C/No ที่ CRL ทำการรับสัญญาณและวัดจากการส่งของ KMITL และเส้นกราฟของ KMITL เป็นค่า C/No ที่ KMITL ทำการรับสัญญาณและวัดจากการส่งจาก CRL ซึ่งในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณร่วมกันในเดือนนั้นๆ ซึ่งมีค่าสภาพอากาศที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 แสดงค่าระดับสัญญาณ C/No ในโหมด CW ที่กำลังส่ง 25 dBm. ที่กระทำการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL-CRL ในวันที่ 18 สิงหาคม 2541 (เวลาประเทศไทย) ที่มีการนำไปใช้



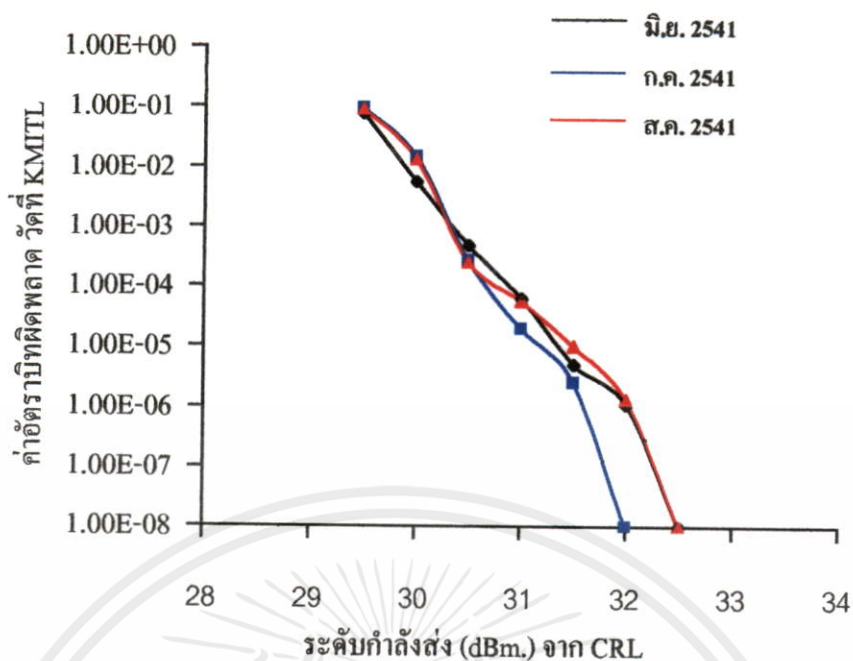
รูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการส่งของ CRL ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล โดยทำการวัดและบันทึกค่าอัตราผิดพลาดที่ KMITL



รูปที่ 4.7 แสดงค่าอัตราผิดพลาดที่เกิดขึ้น จากการทดลองร่วมกันระหว่าง KMITL กับ CRL ใน

เวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

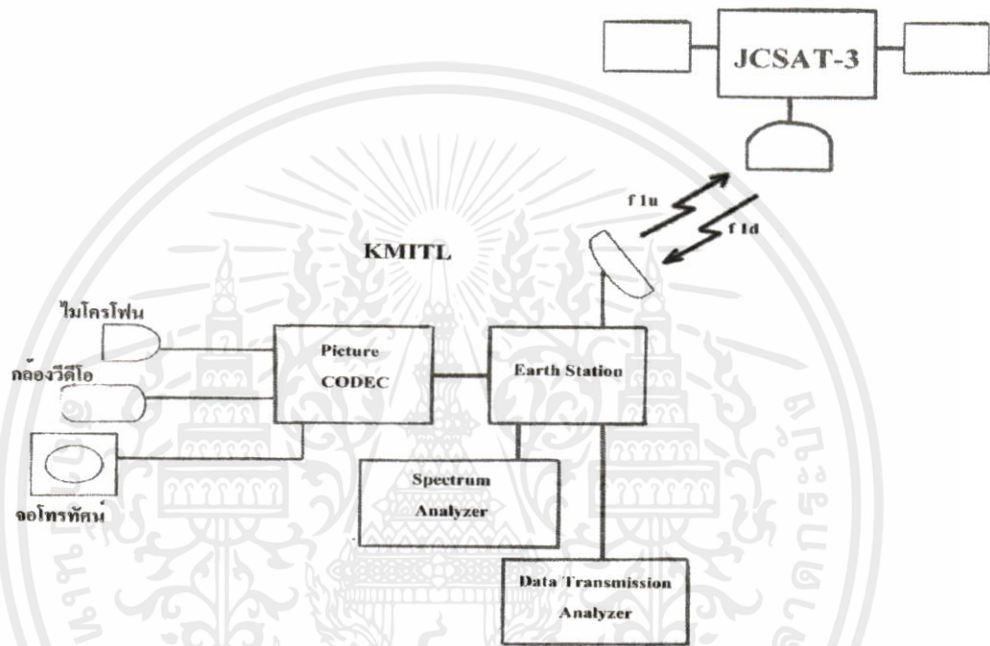


รูปที่ 4.8 แสดงค่าอัตราบัพิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยทำการวัดที่ KMITL และทำการส่งจาก CRL ที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 1536 กิโลบิตต่อวินาที และมีการปรับเปลี่ยนค่าระดับกำลังในการส่งร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณแบบวนกลับสัญญาณ (Loop back)

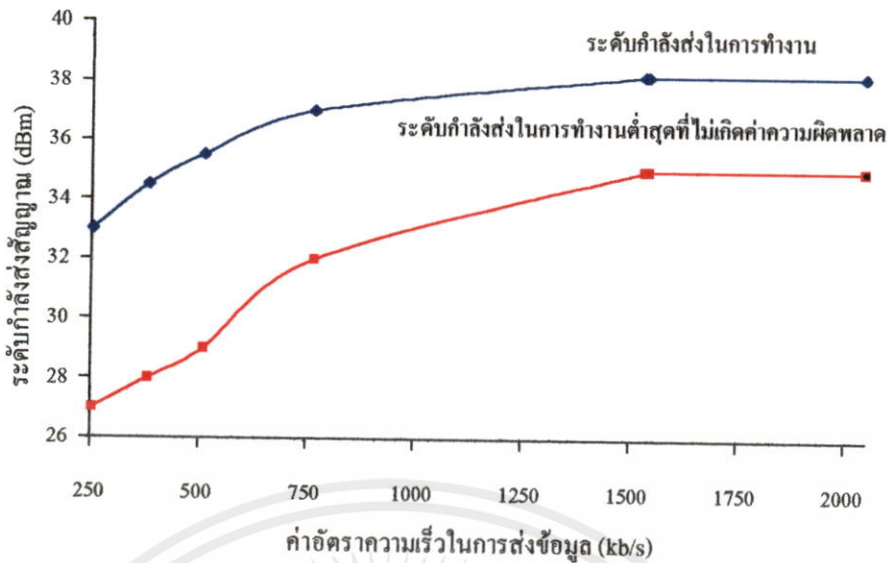
การทดลองในลักษณะที่สองนี้เป็นการวนกลับสัญญาณ โดยทำการส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบังด้วยความถี่ ตามที่ศูนย์ควบคุมดาวเทียมแห่งประเทศไทยกำหนดให้ใช้คือ ส่งด้วยความถี่ (up link) 14043.5 เมกกะเฮิร์ต ขึ้นไปยังดาวเทียม และรับสัญญาณที่ส่งกลับลงมาจากดาวเทียมด้วยความถี่ 12295.5 เมกกะเฮิร์ต ดังแสดงในรูป 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองลักษณะวนกลับสัญญาณ โดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3

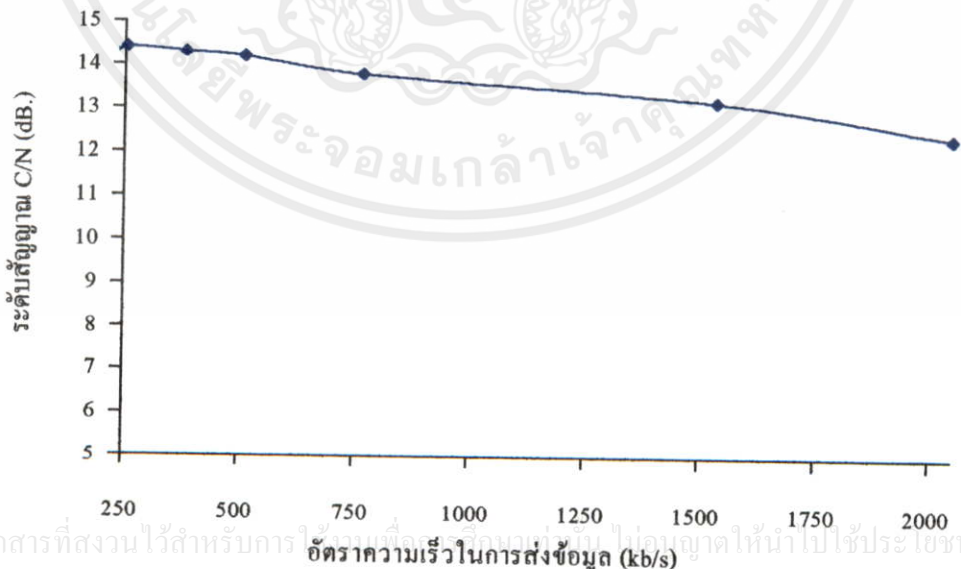
ซึ่งในการทดลองนั้น ก่อนที่จะมีการส่งสัญญาณขึ้นไปยังดาวเทียม ต้องได้รับอนุญาตจากศูนย์ควบคุมดาวเทียม ที่ประเทศไทย ตามเวลาและความถี่ที่กำหนด โดยทำการติดต่อกับ CRL ก่อน ด้วยความถี่รับ 12292.5 MHz ด้วยค่าระดับสัญญาณต่ำสุด (28.2 dB.) และเมื่อสัญญาณที่ส่งขึ้นไปถูกต้องแล้ว จึงได้รับอนุญาตให้ส่งด้วยค่าระดับกำลังส่งสูงสุด (38.2 dB.) และต่อจากนั้นก็ทำการปรับความถี่รับมาที่ 12295.5 MHz) และทำการทดลองต่างๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงค่ากำลังส่งสูงสุดที่ใช้และค่ากำลังส่งต่ำสุดที่ยังไม่เกิดค่าความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล โดยจากวิธีการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณ

จากความสัมพันธ์ของอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลกับค่าระดับกำลังส่งในตาราง 4.2 จะสามารถทำการทดลองวัดค่าระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (C/N) และค่าแบนด์วิดท์ได้ ดังแสดงในรูป 4.11 และ 4.12 และคำนวณหาค่าพลังงานต่อบิต ได้ดังรูปที่ 4.13

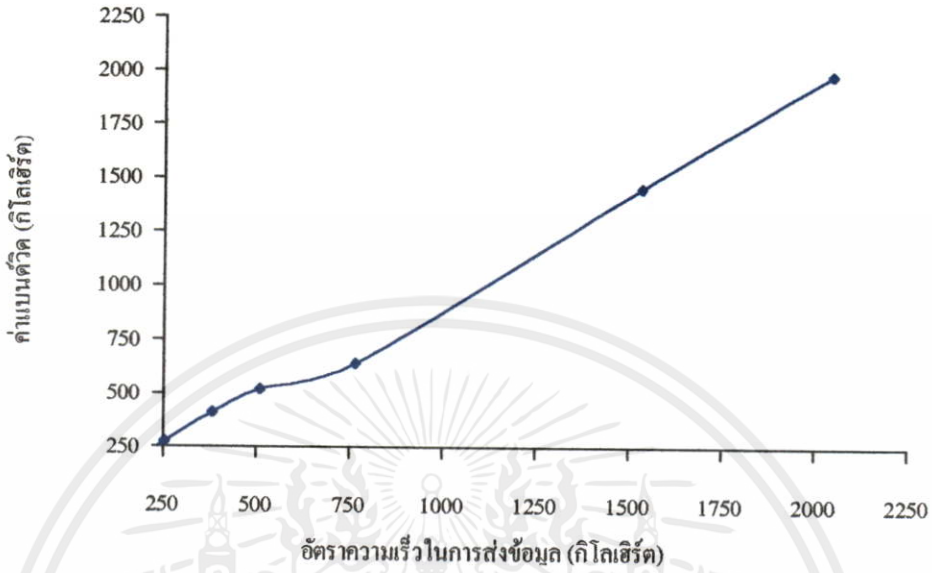


รูปที่ 4.11 แสดงค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห่ต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ค่าระดับกำลังส่งสูงสุด

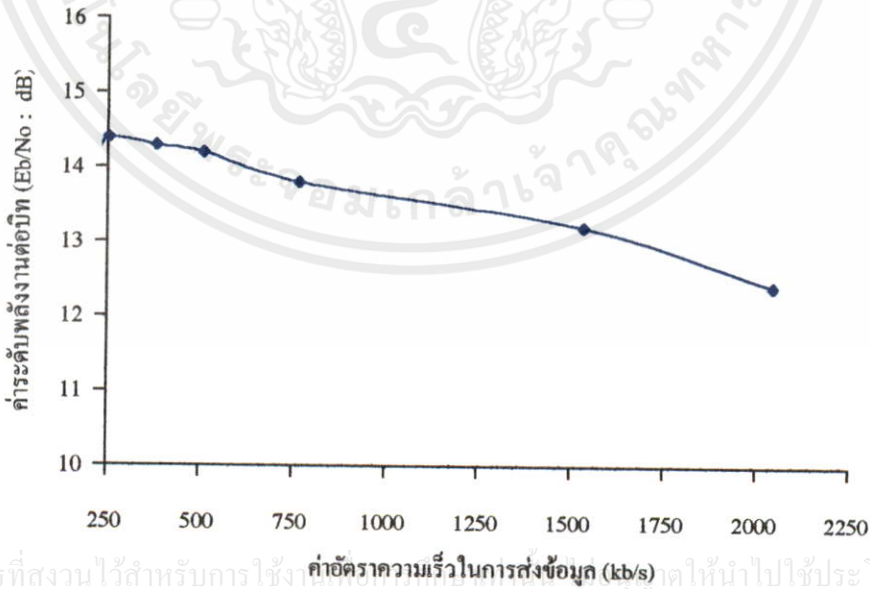
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เตรียมไว้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลเชิงลึกทั้งหมดของเอกสารที่ทำการจัดพิมพ์ที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูป 4.11 เป็นค่าระดับกำลังส่งสูงสุดของการทำงานในแต่ละอัตรา
ความเร็ว นั่นคือเป็นระดับค่า C/N ที่สามารถใช้งานได้

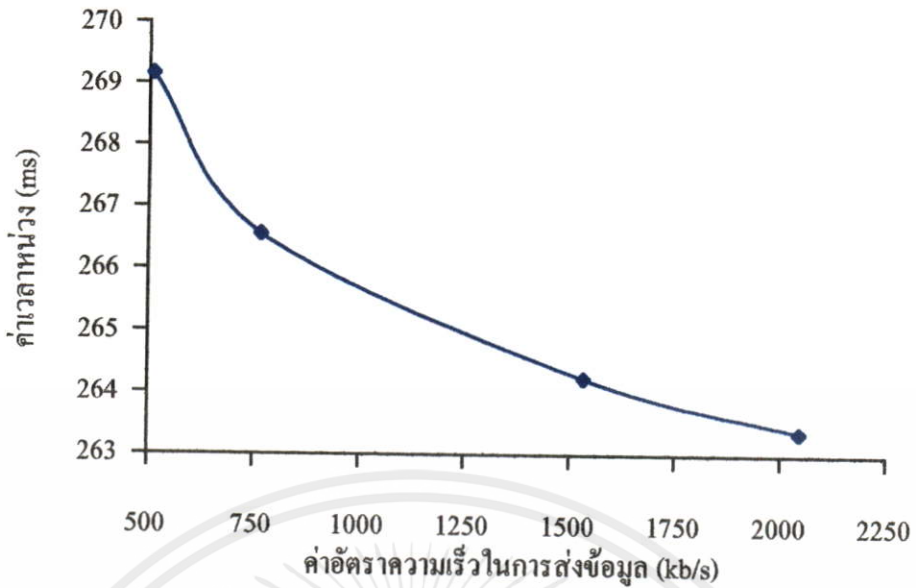


รูปที่ 4.12 แสดงค่าแบนด์วิดที่วัดได้ จากการทดลองส่ง-รับข้อมูล ที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่ง
ข้อมูลที่กำลังส่งสูงสุด ซึ่งค่าแบนด์วิดที่ได้จากการวัดจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตรา
ความเร็วในการส่งข้อมูล

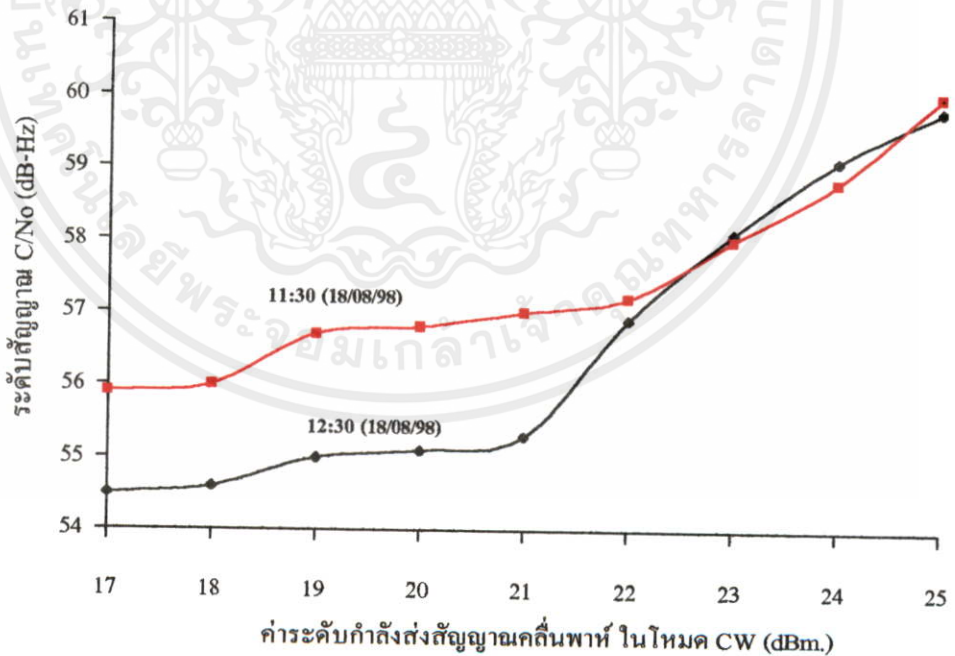


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ

รูปที่ 4.13 แสดงค่าระดับพลังงานต่อบิต ที่คำนวณ ได้จากผลการวัดค่าในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ที่แต่ละ
ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่กำลังส่งสูงสุด

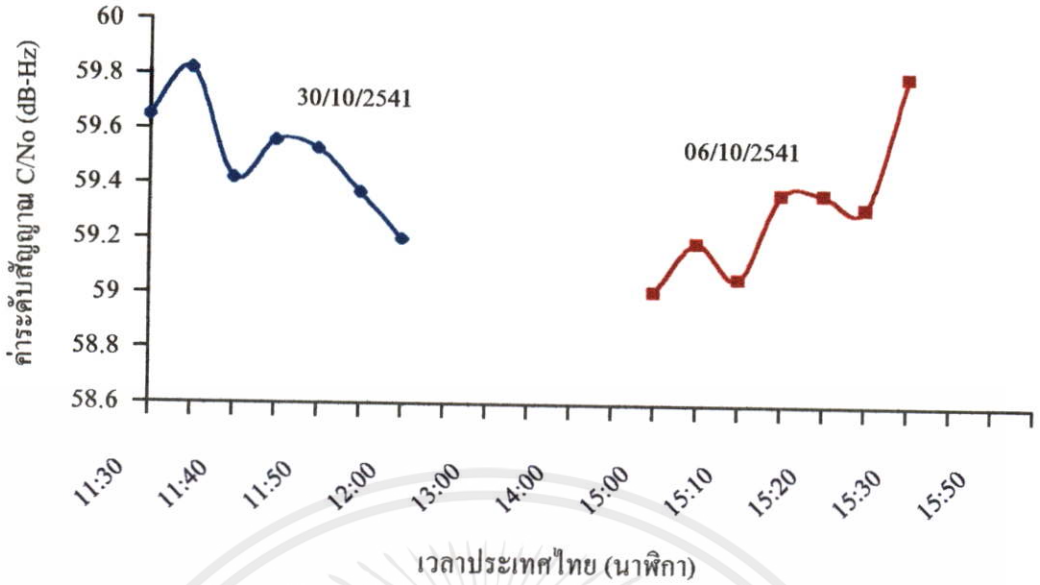


รูปที่ 4.14 แสดงค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นที่วัดได้ ในการทดลองส่ง-รับ สัญญาณดิจิตอลผ่านช่องสัญญาณควมเทียม ที่ค่ากำลังส่งสูงสุดที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ซึ่งจากผลที่ได้ มีค่าเวลาหน่วงที่สามารถใช้งานได้ ที่ค่า ประมาณ 263-267 มิลลิวินาที



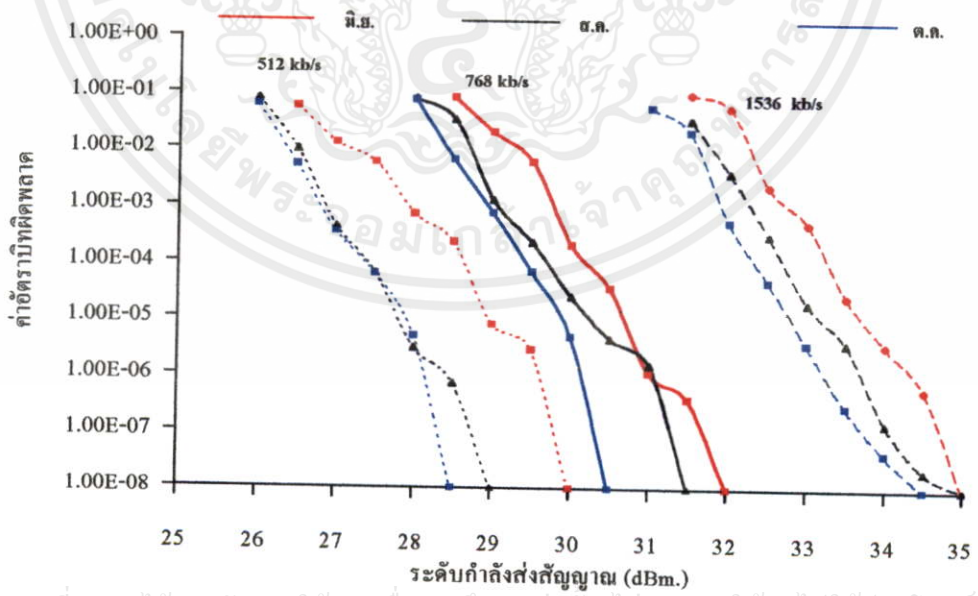
รูปที่ 4.15 แสดงค่าคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (C/N₀) ที่ทำการทดลองในโหมด CW ที่ค่าระดับกำลังส่งสูงสุด ถึงค่าระดับกำลังส่งต่ำสุดของระบบในโหมดการทำงานนี้ (25 -17 dBm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเนื้อหาไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห่ต่อสัญญาณรบกวนหนึ่งเฮิร์ต (C/N₀) ในโหมด CW ที่ค่ากำลังส่งสูงสุด (25 dBm) ทุก 5 นาที (ช่วงเวลา 15:00-15:30 ของวันที่ 06/10/41 และช่วงเวลา 12:00-12:30 ของวันที่ 30/10/41)

จากกราฟผลการทดลองจะเห็นว่ากราฟมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอยู่ในช่วงประมาณ 0.6 dBm. ซึ่งพิจารณาว่าน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลง ของชั้นบรรยากาศ

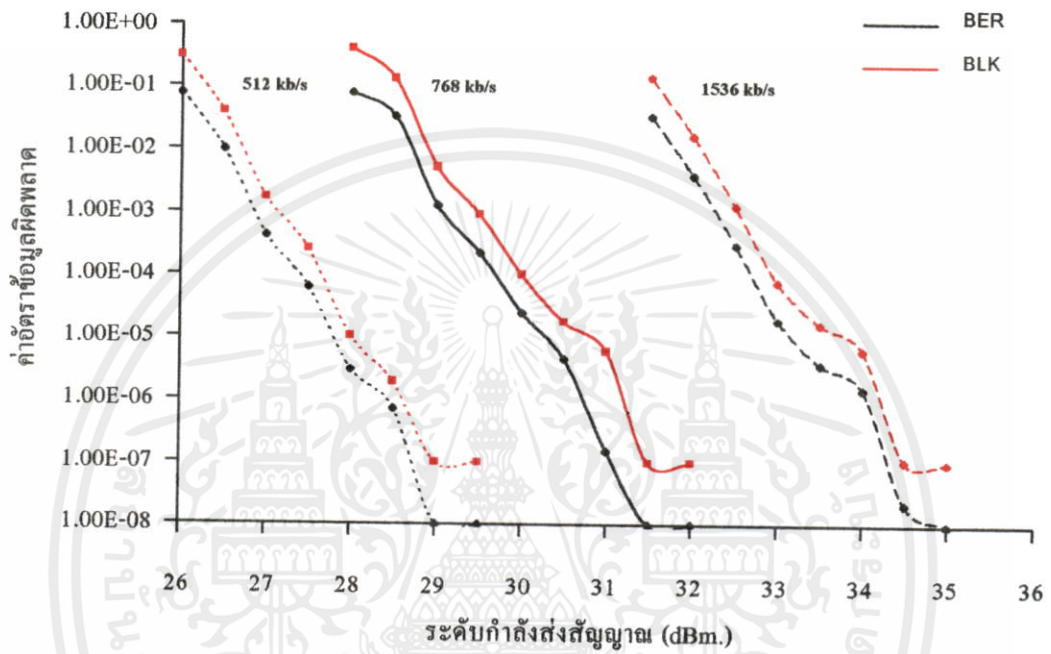


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว

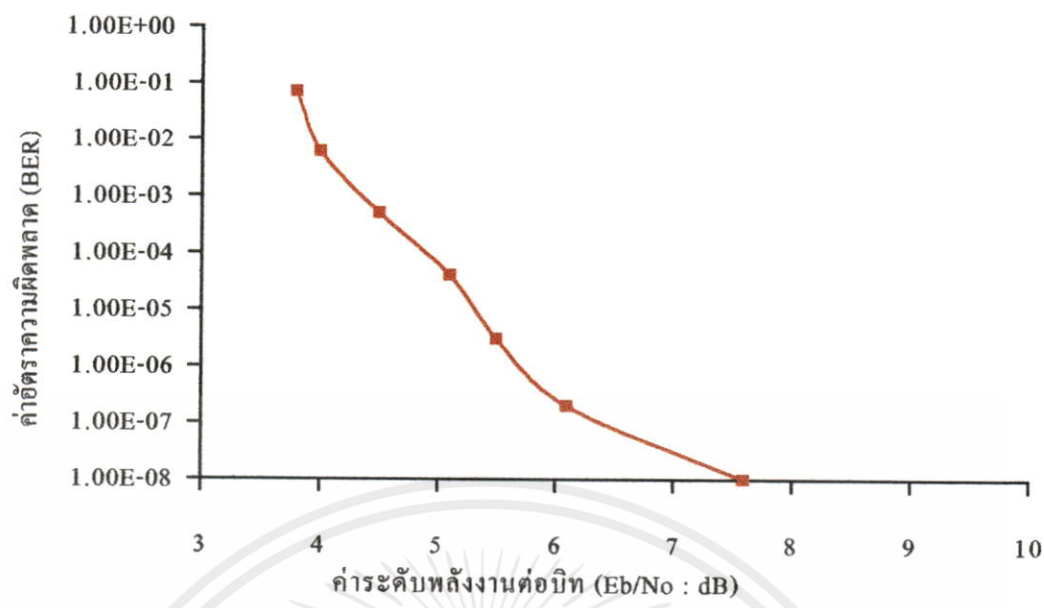
1536, 768, 512 กิโลบิตต่อวินาที ของเดือน มิ.ย., ส.ค. และ ต.ค. 2541

จากการพิจารณาผลการทดลองในรูป 4.17 จะเห็นว่า ที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลเดียวกัน และอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นเดียวกัน ที่เดือน มิ.ย. จะต้องใช้ระดับกำลังส่งมากกว่าเดือน ต.ค. 1-1.5 dBm. สำหรับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เนื่องจากผลที่ได้เป็นการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณ

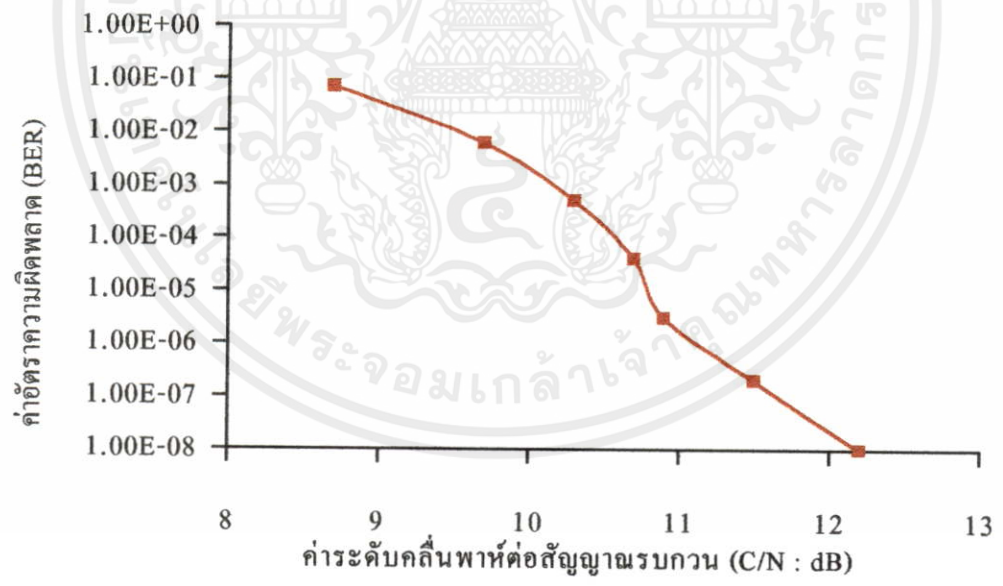


รูปที่ 4.18 แสดงค่าความสัมพันธ์กันระหว่างค่าอัตราบิตผิดพลาด (BER) และอัตราบิตผิดพลาด (BLK) ที่เกิดขึ้นในขณะเดียวกัน ในการทดลองลักษณะวนกลับสัญญาณ เมื่อมีการปรับค่าระดับกำลังส่งที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลต่างๆ กัน (1 บิตลอก = 100 บิต)

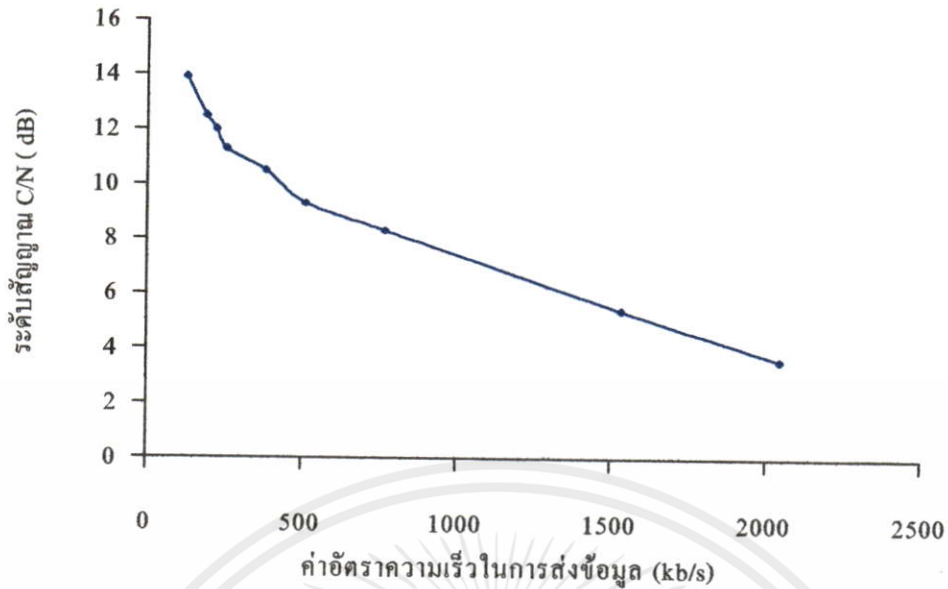
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงค่าระดับพลังงานต่อบิตพร้อมกับอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้น ที่ค่าต่างๆ จากการทดลองในลักษณะวนกลับสัญญาณ ในระบบที่ใช้ทำการทดลองนี้ ค่าระดับพลังงานต่อบิตที่สามารถใช้งานได้ โดยไม่เกิดค่าบิตผิดพลาด อยู่ที่ ระดับ ประมาณ 7 dB.



รูปที่ 4.20 แสดงค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่วัดได้ในการทดลองลักษณะวนกลับสัญญาณ ซึ่งจากกราฟที่ได้ ค่าระดับ C/N ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดค่าบิตผิดพลาด ของระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ประมาณ 12 dB.



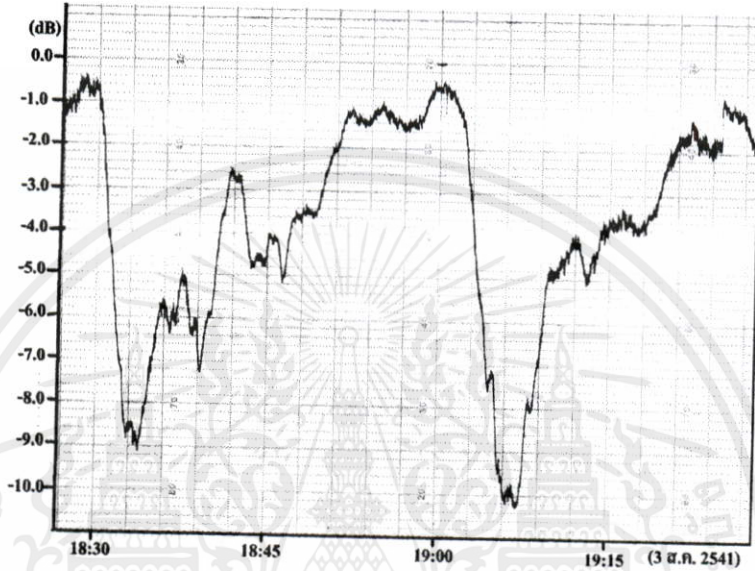
รูปที่ 4.21 แสดงค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห์ต่อระดับสัญญาณรบกวนที่แต่ละอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ที่ค่าระดับกำลังส่งเดียวกัน (ในรูปนี้ที่ 30 dBm.)

จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าที่ระดับกำลังส่งถูกจำกัด ที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่า จะได้ค่าระดับสัญญาณคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่า นั่นก็หมายถึงว่าค่าพลังงานต่อบิตที่ได้มีค่าสูงกว่าและคุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าด้วย ซึ่งจากกราฟรูปนี้ ที่ค่าระดับกำลังงาน 30 dBm. ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่เหมาะสม คือ 512 kb/s ซึ่งมีค่า C/N ประมาณ 9 dB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

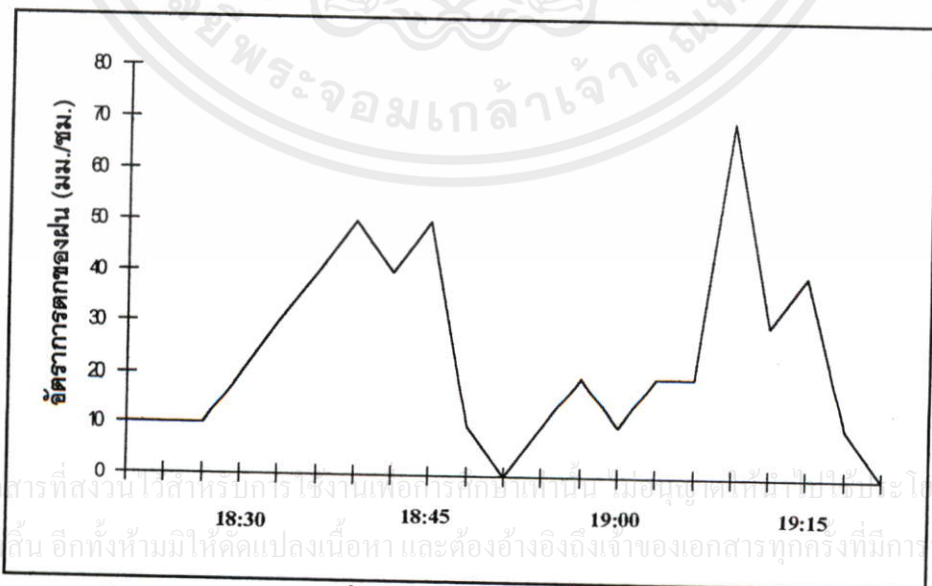
การสื่อสารผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku จะได้รับผลกระทบอย่างมากกับอัตราการตกของฝน และได้มีผู้สนใจได้ทำการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง และในวิทยานิพนธ์นี้ก็ ได้มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 เนื่องจากอัตราการตกของฝน บางส่วน แสดงการเปรียบเทียบดังในรูปที่ 4.22 และ 4.23

ระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลง



เวลาประเทศไทย วันที่ 3 สิงหาคม 2541

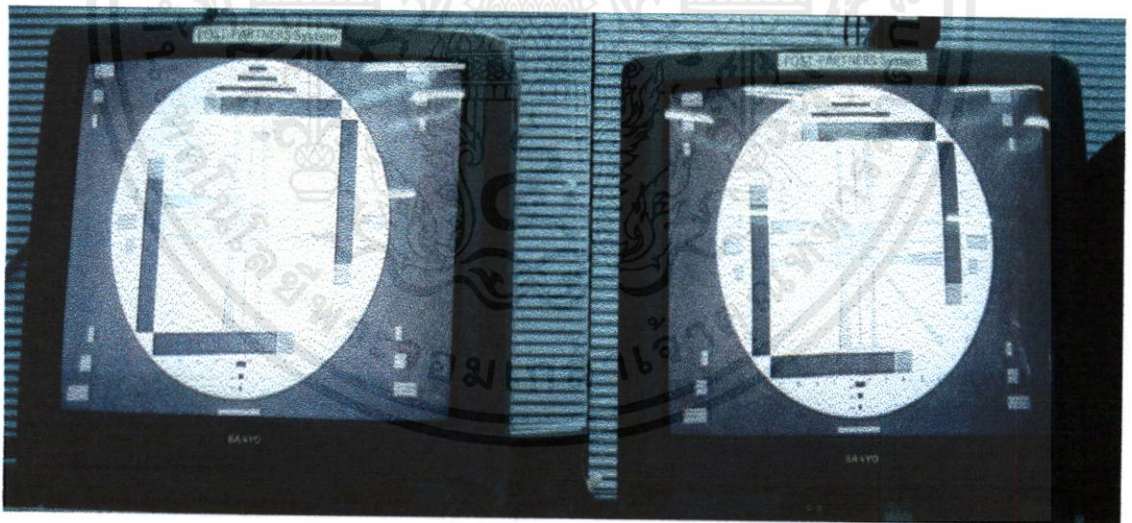
รูปที่ 4.22 แสดงการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม JCSAT-3 ย่านความถี่ Ku เนื่องจากการตกของฝน



รูปที่ 4.23 แสดงอัตราการตกของฝน เพื่อให้เห็น ความสัมพันธ์กันกับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม ย่านความถี่ Ku ในรูปที่ 4.22

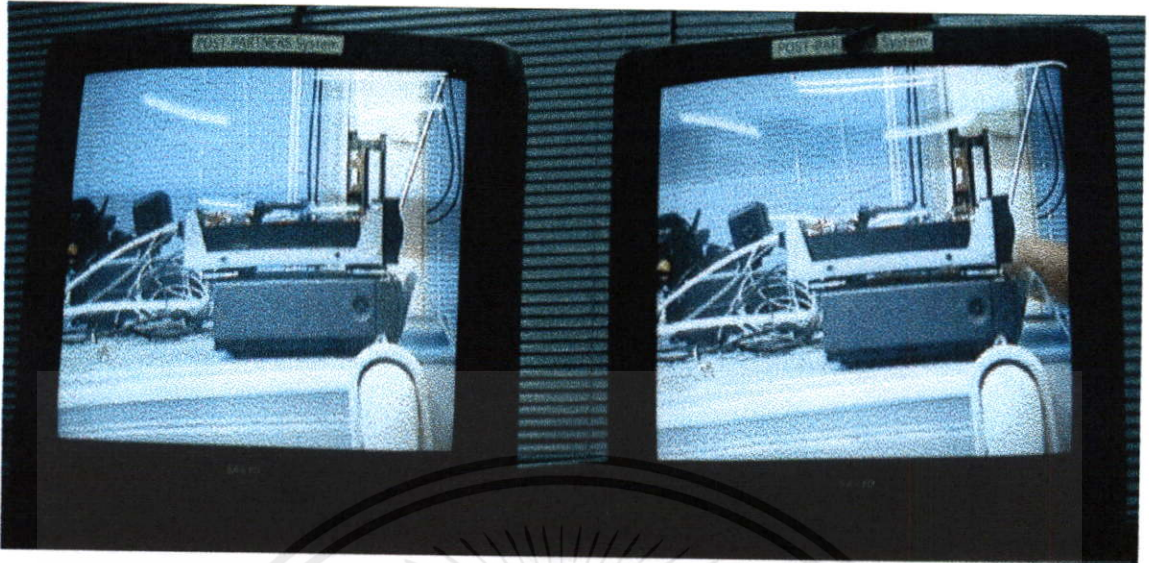


รูปที่ 4.24 แสดงภาพขณะทำการสนทนาผ่านวงจรการสื่อสารดาวเทียม JCSAT-3 ระหว่าง KMITL กับ CRL คุณภาพของภาพและเสียงมีความคมชัดและชัดเจนดีมาก (ค่ากำลังส่ง 38.2 dBm., อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 1536 kb/s, BER = 0.00E-08)



รูปที่ 4.25 แสดงภาพในการทดลองลักษณะวงกลับสัญญาณ ทางด้านส่ง (จอซ้ายมือ) และภาพที่ได้รับผ่านดาวเทียม (จอขวามือ) ที่ไม่เกิดค่าความผิดพลาด ซึ่งในระบบการสื่อสารที่ใช้ในการทดลองนี้คือ BER = 0.00E-08 คุณภาพของภาพที่รับเหมือนกับทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



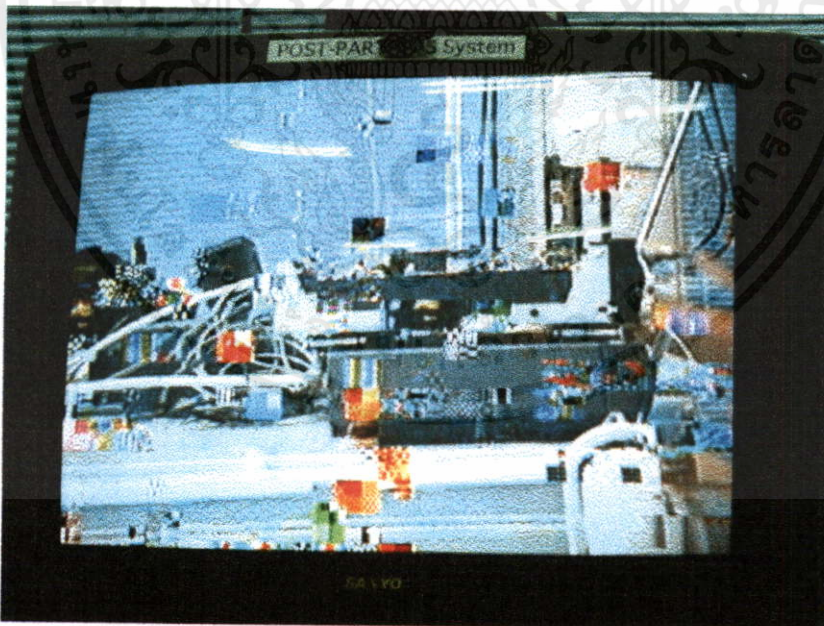
รูปที่ 4.26 แสดงภาพในการทดลองลักษณะวนกลับสัญญาณ ทางด้านส่ง (จอซ้ายมือ) และภาพที่ได้รับผ่านดาวเทียม (จอขวามือ) ที่ไม่เกิดค่าความผิดพลาด ซึ่งในระบบการสื่อสารที่ใช้ในการทดลองนี้คือ $BER = 7.16E-07$ คุณภาพของภาพที่ได้รับใกล้เคียงกับทางด้านส่ง



รูปที่ 4.27 แสดงภาพทางด้านรับผ่านจอโทรทัศน์ จาการทดลองส่งในลักษณะวนกลับสัญญาณ มีค่าอัตราผิดพลาด หรือ $BER = 3.78E-06$ คุณภาพของภาพที่ได้รับ บล็อกสีปนขึ้นมาในภาพที่รับและมีความล่าช้าของภาพเคลื่อนไหวมากขึ้น



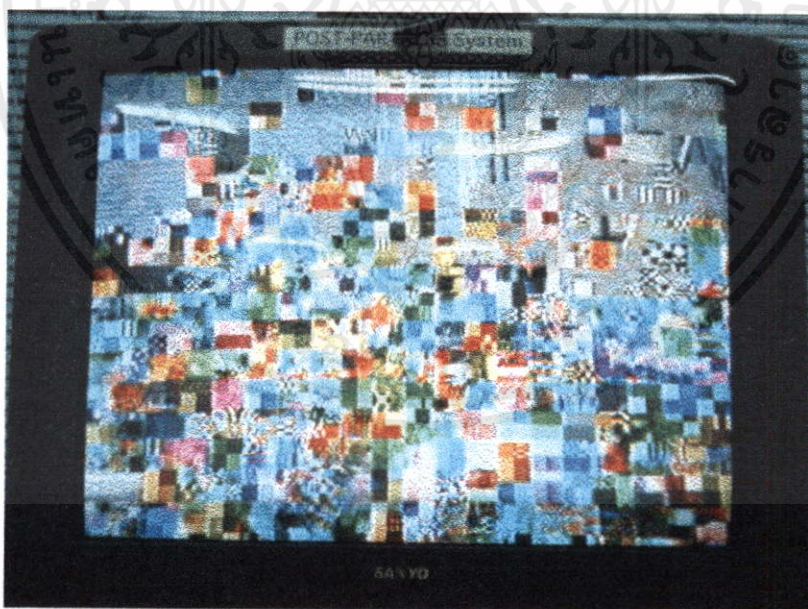
รูปที่ 4.28 แสดงภาพทางด้านรับผ่านจอโทรทัศน์ จากการทดลองส่งในลักษณะวนกลับสัญญาณ มีค่าอัตราผิดพลาด หรือ $BER = 2.51E-05$ คุณภาพของภาพที่ได้รับ บล็อกสีปนขึ้นมาในภาพที่รับมากขึ้นและมีความล่าช้าของภาพเคลื่อนไหวมากขึ้น



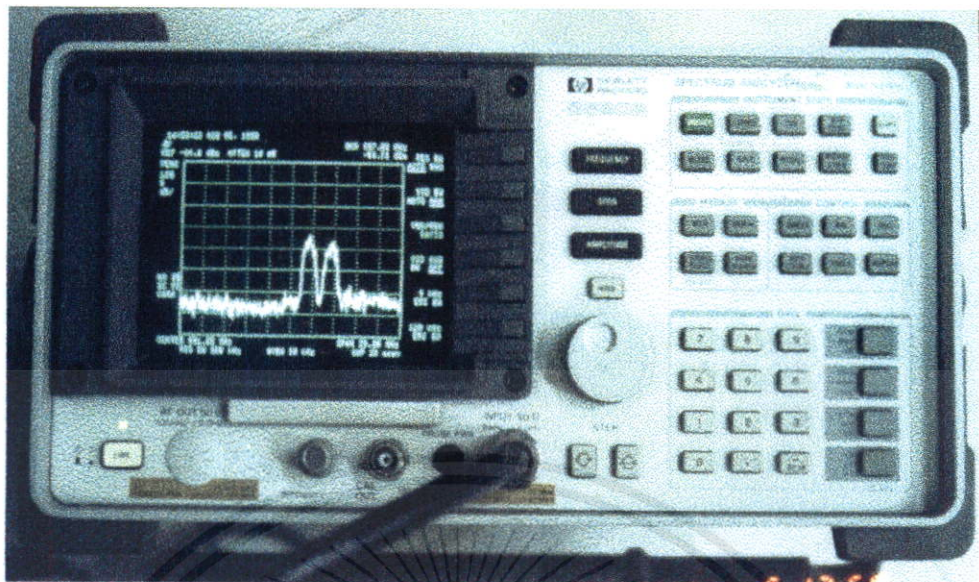
รูปที่ 4.29 แสดงภาพทางด้านรับผ่านจอโทรทัศน์ จากการทดลองส่งในลักษณะวนกลับสัญญาณ มีค่าอัตราผิดพลาด หรือ $BER = 3.10E-04$ คุณภาพของภาพที่ได้รับ บล็อกสีปนขึ้นมาในภาพที่รับมากขึ้นและมีความล่าช้าของภาพเคลื่อนไหวอย่างมาก แต่ยังสามารถติดต่อกันได้



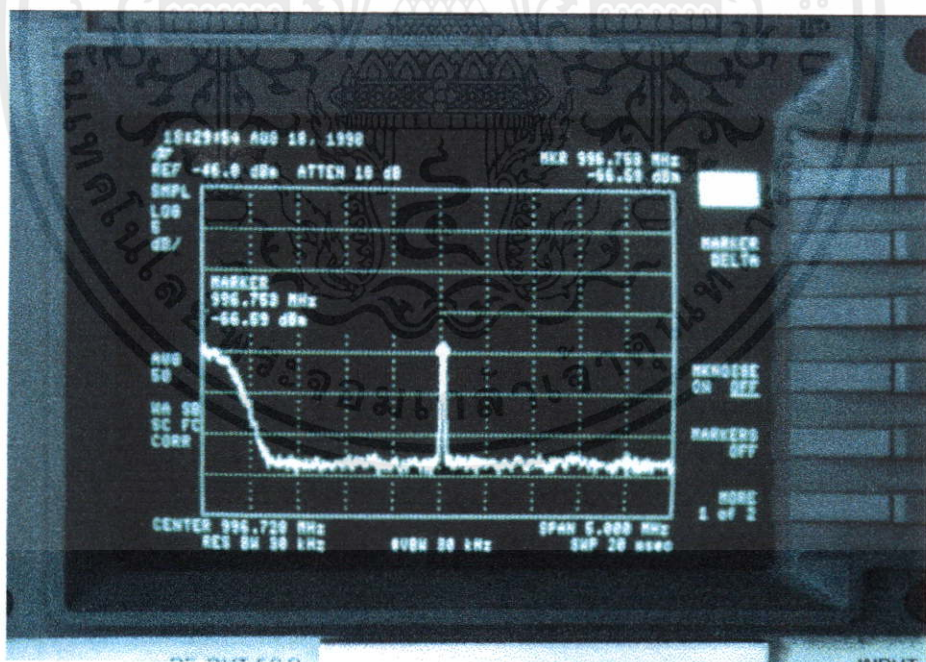
รูปที่ 4.30 แสดงภาพทางด้านรับผ่านจอโทรทัศน์ จากการทดลองส่งในลักษณะวนกลับสัญญาณ มีค่าอัตราบิตผิดพลาด หรือ $BER = 9.79E-03$ คุณภาพของภาพที่ได้รับมีบล็อกสีปนเป็นจำนวนมากและมีความล่าช้าของภาพเคลื่อนไหวอย่างมาก มีการหยุดนิ่งของภาพเป็นบางครั้ง



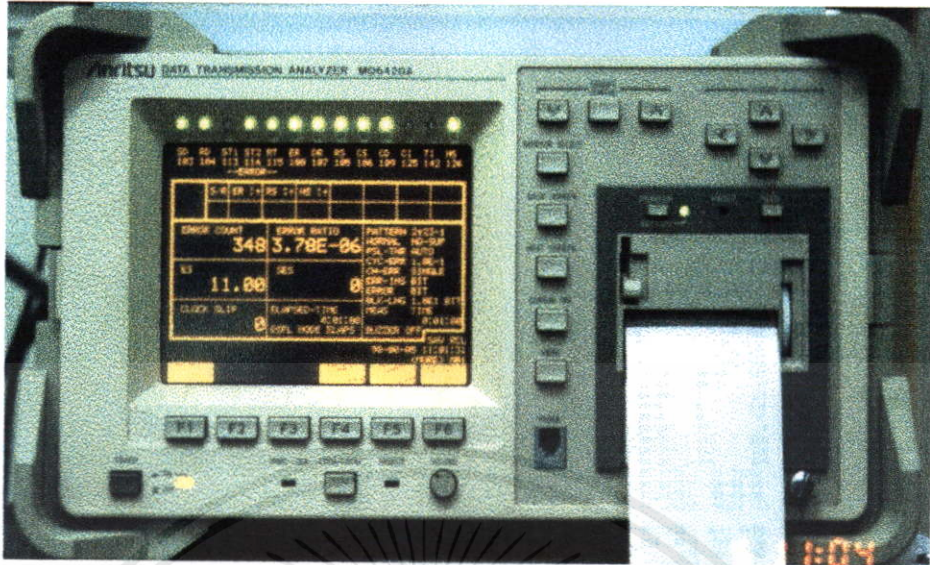
รูปที่ 4.31 แสดงภาพทางด้านรับผ่านจอโทรทัศน์ จากการทดลองส่งในลักษณะวนกลับสัญญาณ มีค่าอัตราบิตผิดพลาด หรือ $BER = 3.35E-02$ คุณภาพของภาพที่ได้รับ มีบล็อกสีปนขึ้นมาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อผิดพลาดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในภาพที่รับจนเต็มจอและมีความล่าช้าของภาพเคลื่อนไหวอย่างมาก จนภาพหยุดนิ่งเป็นเวลานาน การติดต่อไม่สามารถกระทำได้อันเนื่องมาจากสัญญาณขาดหาย



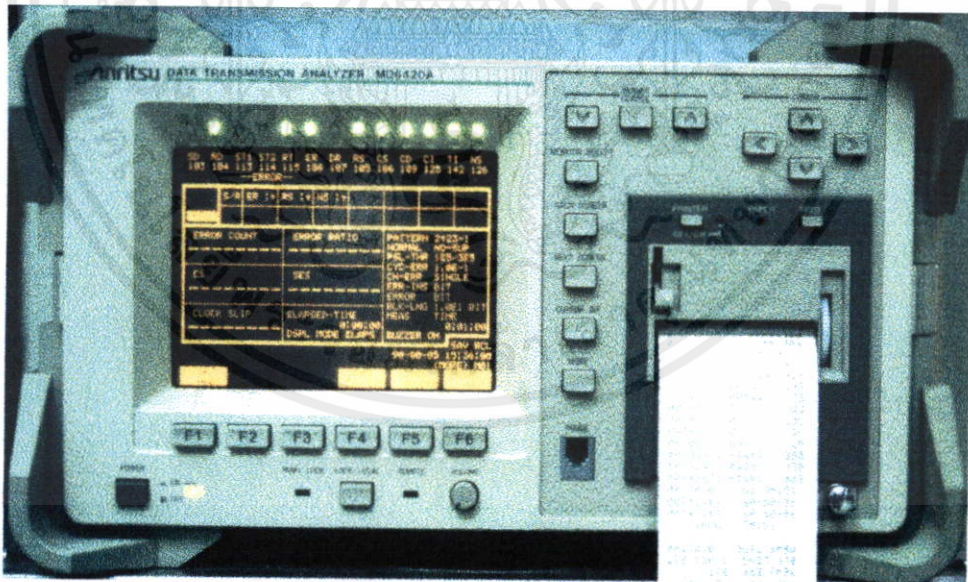
รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะสัญญาณและค่าระดับสัญญาณขณะทำการติดต่อสื่อสารกันระหว่าง KMITL กับ CRL ด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer



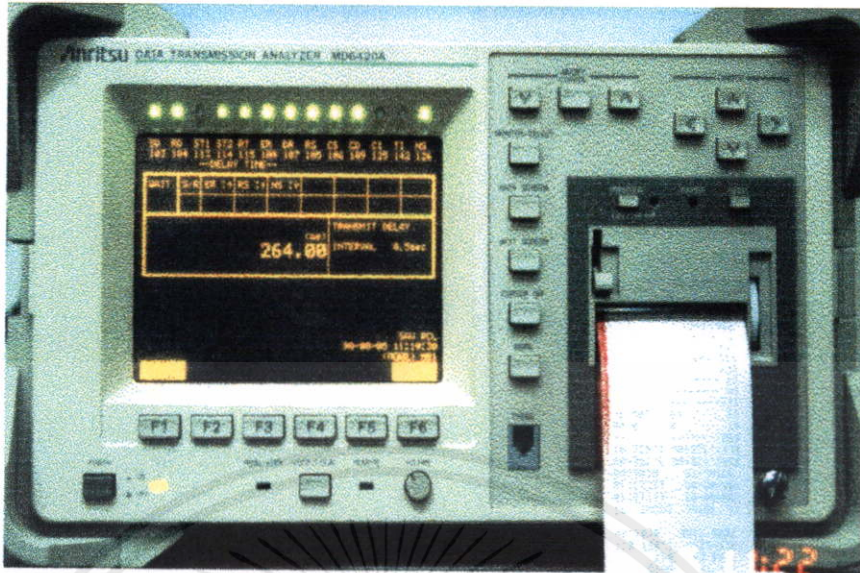
รูปที่ 4.33 แสดงรูปปร่างสัญญาณที่หน้าจอ Spectrum Analyzer ขณะทำการทดลองวัดค่า C/No ใน เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โหมค CW ด้วยวิธีการวนกลับ สัญญาณ และปรับเปลี่ยนค่าระดับกำลังส่ง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงหน้าจอการวัดค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง ในรูปนี้เป็นค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยค่ากำลังส่ง 33.5 dBm, อัตราความเร็วในการส่ง 1536 kb/s และมีค่าอัตราบิตผิดพลาดเท่ากับ $3.78E-06$



รูปที่ 4.35 แสดงภาพหน้าจอการวัดค่าอัตราบิตผิดพลาด กรณีเกิดค่าความผิดพลาดอย่างมากๆ หรือ เอกสารนี้เป็นเอกสาร การติดต่อไม่สามารถกระทำได้ สังเกตจากหน้าจอจะไม่แสดงค่าและสัญญาณไฟที่แสดง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น สัญญาณ ในการตรวจเช็คจะติดไม่ครบ ังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงหน้าจอการวัดค่า Delay Time ที่เกิดขึ้นในการส่ง-รับ สัญญาณ โดยวิธีการวนกลับ สัญญาณ ที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 1536 กิโลบิตต่อวินาที จากจอแสดงค่า Delay Time = 264 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณภาพของการส่งสัญญาณดิจิทัลและการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณรวมถึงอัตราการผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล ผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Post-PARTNERS ซึ่งเป็นโครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี ของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยความร่วมมือกันระหว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) กับสถาบันพัฒนางานวิจัยทางด้านสื่อสารของประเทศญี่ปุ่น (CRL) และได้ทำการติดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม ณ. ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการรับและส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม JCSAT-3 ในการทดลองได้ทำการรับส่งสัญญาณ เพื่อศึกษาและทดสอบคุณภาพของสัญญาณ และอัตราการผิดพลาดของข้อมูลผ่านดาวเทียม โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กระทำใน 2 ลักษณะคือ

1. การหาค่าคุณภาพของสัญญาณ ผ่านดาวเทียม ในลักษณะ Point-to-Point

เพื่อหาค่าคุณภาพของสัญญาณภาพความเร็วสูงผ่านดาวเทียม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล, ค่าระดับกำลังในการส่งข้อมูล เป็นต้น ผลการทดลองที่ได้ จากการทดลองในลักษณะนี้ จะพิจารณาได้ว่า ค่าคุณภาพของภาพและเสียงที่ได้รับจากการส่งของ CRL และทำการรับสัญญาณและประเมินค่าคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ ออกมาเป็นค่าคะแนนความพึงพอใจ โดยนักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.3 สามารถพิจารณาสรุปได้ว่า ที่ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ไม่น้อยกว่า 512 กิโลบิตต่อวินาที ด้วยค่ากำลังส่งในการทำงานของแต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ก็จะเพียงพอกับการใช้ติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม และในการทดลองร่วมกันนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการส่งสัญญาณเพื่อวัดค่าอัตราผิดพลาด ได้ดังรูป 4.7 พิจารณาสรุปได้ว่า ที่ค่าอัตราผิดพลาดเดียวกัน และอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลเดียวกัน ที่ KMITL จะต้องใช้กำลังส่งที่มากกว่า CRL ประมาณ 1-3 dB ซึ่งอาจพิจารณาสาเหตุได้ว่าเป็นเพราะ สถานีภาคพื้นดินที่ CRL อยู่ในพื้นที่ประสิทธิภาพการรับสัญญาณจากดาวเทียมดีกว่าสถานีภาคพื้นดินที่ KMITL และจากรูป 4.6 พิจารณาที่ค่าอัตราผิดพลาดเดียวกัน ที่ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลต่างกัน เช่นที่ 1536 กิโลบิตต่อวินาที กับที่ค่า 768 กิโลบิตต่อวินาที จะเห็นว่าที่ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำกว่า (768 กิโลบิตต่อวินาที) จะใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณน้อยกว่า นั่นก็หมายถึงว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า

2. การศึกษาคุณภาพของสัญญาณผ่านดาวเทียมในลักษณะวนกลับสัญญาณ (Loop Back) ที่ดาวเทียม JCSAT-3

โดยการทดลองจะกระทำการปรับเปลี่ยนค่ากำลังส่ง และอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล เพื่อศึกษาค่าอัตราบิดเบือนที่เกิดขึ้น สามารถที่จะพิจารณาผลการทดลองได้ คือ พิจารณาในรูป 4.10 จะเห็นว่าเราสามารถประหยัดค่ากำลังงานในการส่งข้อมูลได้ถึง 2-3 dB. ถ้าที่แต่ละค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ใช้กำลังในการส่งที่ระดับกำลังต่ำสุดที่ไม่มีค่าบิดเบือนเกิดขึ้น ซึ่งที่ค่านี้เมื่อพิจารณาคุณภาพเทียบกับที่ค่ากำลังส่งสูงสุด จะไม่รู้ถึงความแตกต่างของคุณภาพของภาพและเสียงมากนัก และที่ค่าอัตราบิดเบือนที่เกิดขึ้นค่าเดียวกันหรือบดบังข้อมูลบิดเบือนค่าเดียวกันที่ค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่า จะใช้กำลังในการส่งข้อมูลที่น้อยกว่าประมาณ 2-3 dB. เช่นเดียวกับการทดลองในลักษณะที่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ส่วนในรูป 4.19 และ 4.20 พอที่จะสรุปได้ว่า ค่าพลังงานต่อบิตที่รับได้ของสัญญาณยังคงลด ค่าอัตราบิดเบือนจะมากขึ้น เช่นเดียวกับค่าระดับคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างจากค่าทางทฤษฎี ก็อาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจาก การสูญเสียที่เกิดขึ้น ในส่วนของอุปกรณ์สถานีภาคพื้นดินและเนื่องจากในช่วงที่เริ่มมีการทดลอง ซึ่งได้รับการอนุมัติและจัดสรรให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมนั้นเริ่มในเดือน มิถุนายน 2541 และกระทำการทดลองได้เป็นบางช่วงวัน เวลาที่ได้รับการจัดสรร จึงอาจจะทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียในอากาศมาก เนื่องจากเป็นฤดูฝน มีค่าความชื้นในอากาศมาก จึงทำให้ค่าที่วัดได้แตกต่างจากข้อมูลทางทฤษฎีของต่างประเทศมากพอสมควร ส่วนในรูป 4.21 พิจารณาได้ว่าที่ระดับกำลังส่งเดียวกัน ที่อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่า จะทำให้ค่าสัญญาณคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนดีกว่า นั่นก็คือค่าพลังงานต่อบิตก็จะดีกว่าด้วย และจากรูป 4.24-4.31 เป็นคุณภาพของภาพที่รับแสดงผ่านทางจอโทรทัศน์ ที่ค่าอัตราบิดเบือนค่าต่างๆ ซึ่งระบบของสถานีภาคพื้นดินนี้ที่ค่า BER = 0.00E-08 เป็นลักษณะการส่งสัญญาณที่ไม่เกิดค่าความผิดพลาดเลย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

ในการส่งสัญญาณเพื่อการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม JCSAT-3 นี้ สามารถกระทำการติดต่อสื่อสารได้ที่ค่า อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ที่ไม่น้อยกว่า 512 กิโลบิตต่อวินาที และสามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้ที่ระดับกำลังงานต่ำสุด โดยไม่เกิดค่าความผิดพลาดขึ้น ซึ่งมีค่าระดับของสัญญาณคลื่นพาห์ต่อระดับของสัญญาณรบกวน (C/N ;dB) ประมาณ 10 dB ดังนี้

ระดับกำลังส่ง 30 dBm. : อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 512 kb/s

ระดับกำลังส่ง 32 dBm. : อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 768 kb/s

ระดับกำลังส่ง 35 dBm. : อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล 1536 kb/s

สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้จนเกิดค่าอัตราบิดเบือนมากขึ้นมากกว่า BER = 9.99E-04 ซึ่งคุณภาพของภาพที่ได้รับ จะมีบดบังสีปนในภาพที่รับ มีค่าเวลาหน่วงในความต่อเนื่องของภาพ แต่คุณภาพของเสียงยังสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากสัญญาณเสียงถูกส่งด้วยอัตราความเร็วคงที่ ที่

64 กิโลบิตต่อวินาที ดังนั้นจึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก หากในการติดต่อสื่อสารมีการปรับระดับกำลังส่ง ให้เหมาะสมกับค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล และสภาพการใช้งาน ซึ่งคุณภาพของสัญญาณที่คืนนั้น ต้องมีความชัดเจน ไม่มีปัญหาเรื่องของเวลาหน่วง จนทำให้เป็นอุปสรรคในการสื่อสาร อีกทั้งยังต้องเป็นการประหยัดพลังงานด้วย จากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ อีกทั้งยังเป็นข้อมูลสำคัญส่วนหนึ่ง ของการออกแบบเครือข่ายดาวเทียมในอนาคตเพื่อให้มีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่

แนวทางในการพัฒนา

การวัดค่าคุณภาพของสัญญาณในการติดต่อสื่อสารด้วยความเร็วสูงผ่านดาวเทียม โดยใช้ช่องสัญญาณของดาวเทียม JCSAT-3 นี้ ซึ่งในการทดลองวิจัยมีข้อจำกัด ในเรื่องระยะเวลาในการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมในการทดลอง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จึงไม่สามารถกระทำได้ตลอดเวลา เพื่อเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรต่างๆ ตามฤดูกาลของประเทศไทย ดังนั้นในการพัฒนาต่อไป ถ้าจึงควรจะมีการเก็บค่าผลการทดลองเกี่ยวกับค่าอัตราบิตผิดพลาด และค่าระดับสัญญาณ C/N ร่วมกับค่าทางอุดมศึกษา ให้ได้มากที่สุด หรือถ้าสามารถเป็นไปได้ควรจะมีการทดลอง ตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการรับ-ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมได้ถูกต้องให้เหมาะสม เพื่อเป็นการประหยัดและได้สัญญาณมีคุณภาพมากที่สุด อันสามารถจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิง หรือพัฒนาระบบสื่อสารที่ใช้งานในลักษณะเดียวกันนี้ ให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศไทย ซึ่งการสื่อสารในลักษณะนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

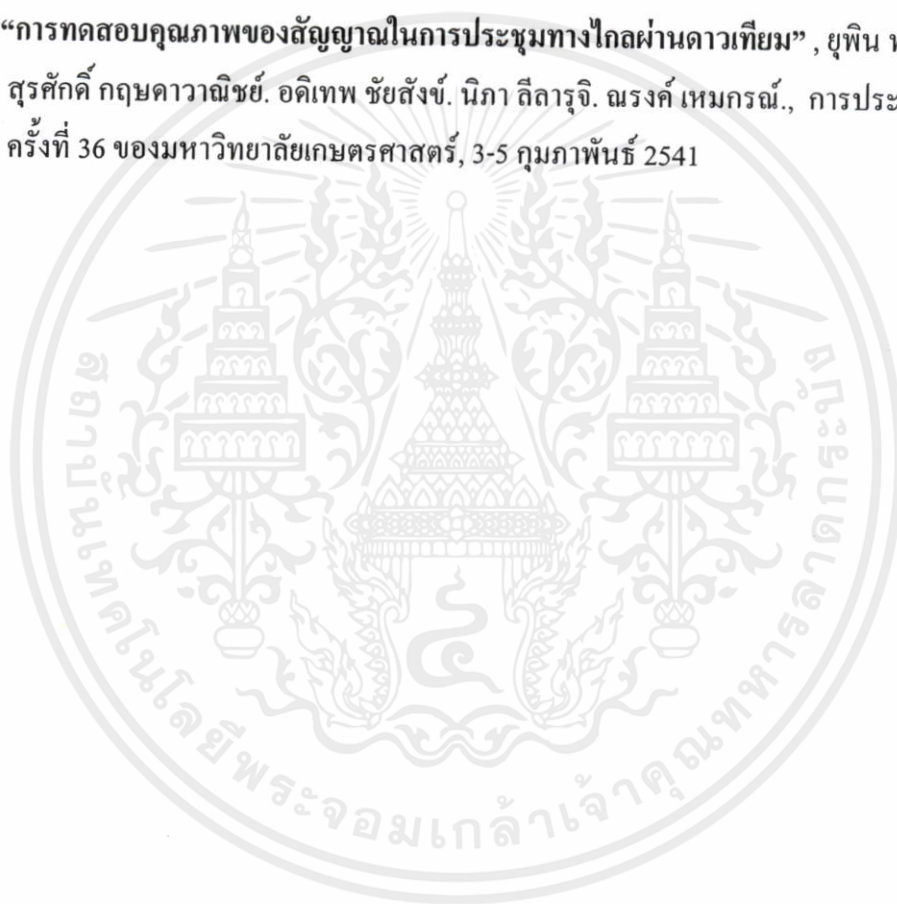
บรรณานุกรม

- [1] Ministry of Post and Telecommunications, Association of Radio Industries and Businesses. 1996. **[Post-PARTNERS Project] Report of Experiment.** Tokyo: Communications Research Laboratory(CRL).
- [2] Ministry of Post and Telecommunications, Association of Radio Industries and Businesses. 1997. **[Post-PARTNERS Project] Report of Experiment.** Tokyo: Communications Research Laboratory(CRL).
- [3] Seminar Group. **Post-PARTNERS Project Training Seminar.** 1998. Tokyo: Communications Research Laboratory(CRL).
- [4] Dr. KAMILO FEHER and Engineering of Hewlett-Packard Ltd. 1987. **Telecommunications Measurement, Analysis, and Instrumentation.** New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [5] K. Miya. 1990. **Satellite Communications Technology.** Tokyo: KDD Engineering and Consulting, Inc.
- [6] SANYO Electric Co.,Ltd and Ministry of Post and Telecommunications. **Satellite Communications System for Post-PARTNERS Instruction Manual of Satellite Earth Station and Specifications.** Tokyo: Ministry of Post and Telecommunications.
- [7] บริษัท สามารถคอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน), เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารดาวเทียม. กรุงเทพฯ : เนชั่น พับลิชชิ่ง กรุ๊ป.
- [8] พงษ์ศักดิ์ สุตัมพันธ์ไพบูลย์. 2539. **เรื่องน่ารู้การสื่อสารดาวเทียม.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [9] ดร. สุวิพล สิทธีชีวะภาค. 2539. **พื้นฐานแห่งการสื่อสารข้อมูล.** บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- [10] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. 2541. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [11] ดร. ประสิทธิ์ ชิมพูน, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2540. **การสื่อสารดาวเทียม.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ.: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [12] ณรงค์ เหมกรณ์. 2533. **การสื่อสารดาวเทียม.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [13] สุรศักดิ์ กฤษดาวิชชัย “การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.

ภาคผนวก

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. **“Satellite Communications System for Post-PARTNERS Project in Thailand”**
Yupin Pongprom. Thikumporen Boonchuk. Nipha Leelaruji. Narong Hemmakorn.,
Internatinal Telecommunication Symposium 16 th (1998), Volume II, P 179-185,
September 15-17, Taiwan.
2. **“การทดสอบคุณภาพของสัญญาณในการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม”**, ยูพิน พงษ์พรหม.
สุรศักดิ์ กฤษดาวณิชย์. อติเทพ ชัยสังข์. นิภา ลีลารุจิ. ณรงค์ เหมกรณ์., การประชุมวิชาการ
ครั้งที่ 36 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 3-5 กุมภาพันธ์ 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Satellite Communication System for POST-PARTNERS Project in Thailand

Yupin Pongprom Nipha Leelaruji Narong Hemmakorn Thikumporn Boonchuk
 Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Takashi Otsuka, Ministry of Posts and Telecommunications, JICA Expert for KMITL
 Yoshiaki Moriya Tokai University, JICA Expert for KMITL
 Ryoza Yamazaki Ministry of Posts and Telecommunications, Japan

Abstract

The newly satellite television conference system was done between Japan and Thailand and other Asian regions. The development technology research started by using the satellite systems as a joint research of Japan and Thailand in 1997. This research is called POST-PARTNERS, and this systems use the Ku-band. As for Thailand, the rainfall amount has been observed about 1000 millimeter per month at rainy season. In morning, a thick cloud is covered in the sky at the dry season. Moreover, the fog is generated frequently, too. Therefore, the antenna noise temperature rises and the CN ratio decreases. When no good propagation condition, we are proposed transmission rate variable system. The transmission power control can be set increments of 0.1 dB between +21.2 dBm and +38.2 dBm. The operation method designed correspondence to the change in the weather situation. The transmission rate is applied to the transportable satellite communication system. Which communication digital moving picture, voice and data at 64 Kb/s - 2.048 Mb/s (typically 1.536 Mb/s), and digital voice signal for order wire using JCSAT-3 satellite. At the presentation describes the research purpose propagation characteristic (problem in the satellite operation in Thailand), and operation technology.

1) Introduction

A study on a new communication system utilizing commercial satellite (JCSAT-3) was started by Japan, Thailand and other Asian countries. The objective of this study is to support people in the field of education, tele-medicine, and environmental monitoring. The joint technology research between

Japan and Thailand to develop international communication using satellite, started in 1997.

This research is called "POST-PARTNERS" (POST - Pan-Pacific Regional Telecommunications Network Experiments and Research by Satellite) and Ku-band frequency is used for communication. It rains very heavily during the rainy season in many areas in Thailand. During the dry season, on the other hand, it rains very little. However, the early morning sky is covered with thick clouds during the dry season, even though the clouds will clear up during the day. In addition, it gets foggy often, which increases thermal noise temperature in the air and reduces the CN ratio of satellite communication channels.

We are currently studying the response of electromagnetic wave against environmental change(meteorological conditions), and the information transmission system. The purpose of our study is to find out the best way to develop advanced information communication via satellite. There are not many new studies, such as ours, where communication satellite are used. By utilizing properties of satellite communication, we are working hard to solve technical problems involved in remote education between countries.

There are many problems related to research and development of technology. Southeast Asian countries are located in equatorial tropical zone, and there are hardly any data regarding propagation of this region. Therefore, initially, we must collect data, and find out a satellite communication system which is stable under harsh conditions, and what the limitations of satellite usage are. In addition, small aperture antenna is particularly important for remote education utilizing a satellite, as this antenna is economical and easy to install.

In our study, transmission power was made adjustable within the range from 17~38 dBm, so that optimum operational conditions

could be determined. As a result, we came up with an operation system which could respond to changes in meteorological conditions. Moreover, visual transmission performance was measured by changing signal transmission speed when it was raining. The transmission speed could be adjusted within the range from 64~2,048 kbps. The transmission speed was set at 1,536 kbps during normal communication.

In this presentation, the goals of our study, operation technology, propagation characteristics of image and sound will be discussed. In addition, multi-purpose use of satellite and problems of using satellite in Thailand will also be discussed.

2) Background of the study

The importance of technological interchange and human resources development has been stressed for the growth of Asia-pacific region in the 21st century. As a first step, Asia-pacific information communication base (AIC) must be urgently built. Development advancement in economy and information technology at the global level has become the driving force economic growth and prosperity. For 4 years since 1992, we carried out an international joint communication experiment (or PARTNERS project) using satellite, with countries in Asia - Pacific region, producing valuable results. This experiment was followed by POST-PARTNERS project to do more sophisticated research. Launched in 1997, the POST-PARTNERS plan dramatically improved the quality of sound and image, by using satellite JCSAT-3. The JCSAT-3 enables international communication within Asia.

Our research results will be useful for various other researchers, such as improvement of satellite technology to measure communication performance.

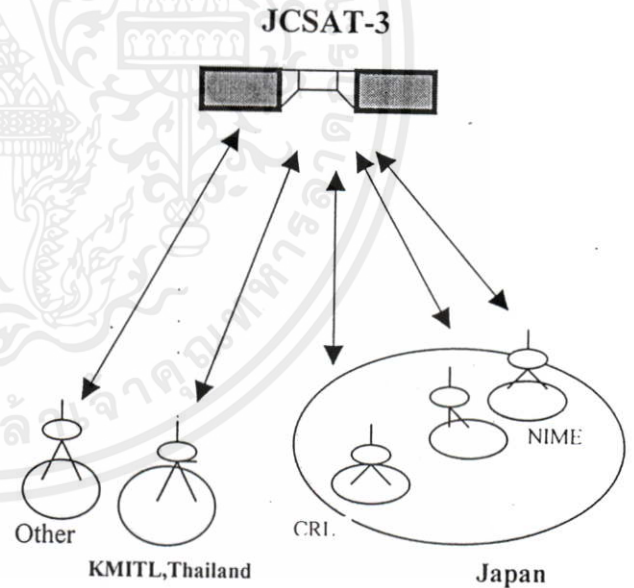
The target of our first research is tele-conference system. Through the face-to-face, bilateral communication system research, the possible applications in education and medicine will be examined.

The target of our second research is demonstration of multi-media communications, where the network of computer terminals connected with high-speed satellite communication circuits enables bilateral, large-capacity data communication by sound, image, and letters. The equatorial zone, which largely influences to satellite communication. The following are the topics of our research; -to understand the characteristics of rainfall in Southeast Asia, and to experiment remote The target of our third research is electromagnetic wave propagation in education using hierarchical transmission system during rain attenuation, the influence of ionospheric

scintillation during the solar activity period, and scintillation properties seen during good weather.

Table 1 shows major differences found between PARTNERS plan and POST-PARTNERS project.

Project	PARTNERS	POST-PARTNERS
Satellite	ETS-V	JCSAT-3
Frequency	L-band	Ku-band
Trans. Rate	64 kbps	1536 kbps (typical)
Contents	Semi-moving picture Data, Voice	Moving picture Data, voice



KMITL: King Mongkut Institute Technology of Ladkrabang
 CRL: Communication Research Laboratory
 NIME: National Institute of Multimedia Education

Figure 1 Illustrates the network of POST-PARTNERS project.

3) Tele-conference system

Among various researches carried out in POST-PARTNERS project, satellite tele-conference system is one of the most important research topics. Tele-conferencing is composed of outdoor antenna and its accessories, that is, transmitter and receiver and indoor device. The system's block drawing is shown in figure 2.

The system allows adjustment of transmission speed under various propagation conditions (such as rain attenuation). Through a call-through line(Japan- Thailand), the signal image of a resolution test pattern shot by a three-tube picture camera was sent at various transmission speeds ranging from 64 kbps ~ 1536 kbps.

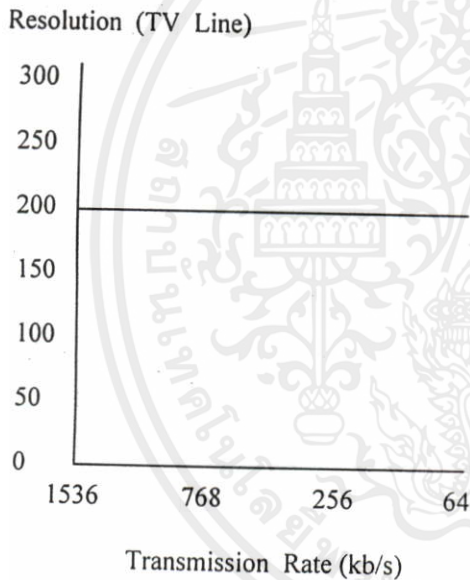


Figure 3 Result of resolution test for still picture

The vertical and horizontal resolution of still pictures was not affected by the transmission speed. In addition, we performed an image quality assurance test. Read-out signal from a laser disk was used for standard picture. Two CODEC units with different coding factors were employed. Subjective evaluation of picture and sound quality was done at transmission speed of 1536 kbps; the best quality under this speed was evaluated using 5 stage method. The evaluation result is shown in Table 2. The characteristic obtained were as we specify. The characteristics found in images of tele-conference system are summarized in figure 4.

Table 2 Measure of subjective picture and voice quality evaluation

Score of Evaluation	Picture quality and voice quality
5	Not worse than the standard Picture (1536 kbps)
4	Worse a little than the standard Picture (1536 kbps)
3	Worse than the standard Picture (1536 kbps)
2	Very worse than the standard Picture (1536 kbps)
1	Not practical

In the evaluation of picture quality of multimedia communication, transmission speed rate of satellite communication circuit was adjusted in 4 stages(2048 kbps, 1536 kbps, 768 kbps, 384 kbps,) to find out the relationship between picture quality, and transmission speed and number of frames. Table 3 shows the result.

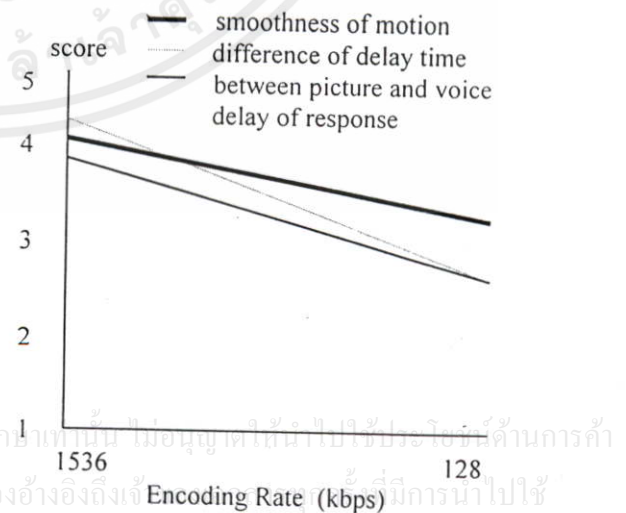


Figure 4 Results of evaluation test for video conference picture

Table 3 Transmission rate of satellite circuit vs picture transmission rate and number of frames

Trans. Rate of Satellite.	Picture trans. Rate	Number of frame (frms/sec)
2.048 Mbps	1.8 Mbps	15
1.536 Mbps	1.1 Mbps	10
768 kbps	600 kbps	5
384 kbps	300 kbps	5

Bit error rate was measured by changing transmission power, using transmission speed as a parameter. Figure 5 shows the characteristics

4) Considerations

On May 20, 1998, while collecting data of various experiment, the communication abruptly deteriorated. Both Japanese and Thailand sides were unable to determine the cause of poor communication for a little while; it took us several minutes before we found out that rain attenuation was the cause. The equatorial zone has two seasons; dry and rainy. In Bangkok, the rainy season lasts 6 months. Although the annual precipitation both in Bangkok and Tokyo is around 1,500 mm., the hourly rainfall intensity often exceeds 10 mm. In Bangkok, which causes rain attenuation, thus leading to line-drop.

Thai TV broadcasting utilizes satellite circuits as relays. Satellite circuits of Ku-band often suffer line-drop due to rainfall. Therefore, some TV stations switch back to C-band satellite circuits. As can be seen from the above, the usage of Ku-band

satellite circuits in the equatorial zone pose many problems.

Acknowledgement

The authors wish to thank Mr. Hisao Seo from Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) and Mr. Takeyuki Ojima from Communications Research Laboratory(CRL) for assistance in the experiment and to thank Japan Satellite System Inc. for sponsor the satellite transponder.

References

- [1] Mingsai Tsai, Yoshiaki Moriya and Eiji Shibuya " Characteristics of Bit-Error-Rate in Digital Broadcastig" Proceeding of the 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation , pp. 21-26
- [2] Communications Research Laboratory " POST-PARTNERS Project T raining Seminar" Kokunbunji Tokyo, Japan, 2-6 March 1998
- [3] Communications Research Laboratory "Report of Experiments in 1996 fiscal year " March 1997
- [4] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage "Satellite Communication " December 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบคุณภาพของสัญญาณในการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม
Signal Quality Test on Satellite Video Conference

ยุพิน พงษ์พรหม¹ สุรศักดิ์ กฤษดาวาณิชย์¹ อดิเทพ ชัยสังข์¹ นิภา ลีลารุจี¹
ณรงค์ เหมกรณ์¹

Yupin pongphom¹ Surasak Kitsadawanich¹ Aditep Chaisang¹ Nipha Leelaruji¹
Narong Hemmakorn¹

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการนำช่องสัญญาณของดาวเทียม JCSAT-3 มาทำการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีความเร็วต่าง ๆ เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนทางไกลในรูปแบบการแลกเปลี่ยนข่าวสารการทดลองได้ทำการทดลองระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กับ National Institute of Multimedia Education (NIME) และ Communications Research Laboratory (CRL) ของประเทศญี่ปุ่น โดยมีเป้าหมายการวิจัยเพื่อศึกษาคุณภาพของสัญญาณภาพและเสียงและการตรวจสอบสมรรถภาพของระบบการประชุมทางไกล และศึกษาอัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านดาวเทียม ผลการศึกษาพบว่า การประชุมทางไกลผ่านดาวเทียมควรใช้การเข้ารหัสภาพที่อัตราการเข้ารหัสที่มากกว่า 384 kbps เนื่องจากความละเอียดและความต่อเนื่องของภาพค่อนข้างดีเยี่ยม ส่งผลการวัดอัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูลความเร็วสูง ที่อัตราการผิดพลาดค่าเดียวกัน อัตราการส่งที่ 768 kbps จะมีค่าระดับกำลังงานส่งน้อยกว่าอัตราการส่งที่ 1.536 Mbps ประมาณ 3 dB

ABSTRACT

This paper reports the experiment on transmission of video and audio signal via JCSAT-3 satellite in various speed, to develop the distance education by interchange the information among King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang (KMITL), National Institute of Multimedia Education (NIME, Japan) and Communication Research Laboratory (CRL, Japan). The purpose of this research is to study quality of picture and voice signal via distance education and check the quality of distance education system and bit error rate (BER) of satellite transmitting signal. The result of picture quality evaluation test are excellent for resolution and smoothness of motion in the range of encoding rate over 384 kbps, and the result of bit error rate measurement indicates appropriate level about of 3 dB at the transmission rate of 768 kbps in comparison with the transmission rate of 1.536 Mbps.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

การสื่อสารดาวผ่านดาวเทียมได้มีบทบาทสำหรับสังคมไทยมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านโทรทัศน์ ระบบนี้มีข้อเด่นเนื่องจากสัญญาณจากดาวเทียมสามารถกระจายไปทั่วประเทศ ซึ่งจะส่งผลไปสู่การลดค่าใช้จ่ายและเวลา รวมทั้งจำนวนบุคลากรในการเดินทางติดต่อสื่อสาร นอกจากนี้การโต้ตอบระหว่างคู่สนทนาสามารถโต้ตอบได้ทันทีสำหรับระบบที่เป็นฟูลดูเพล็กซ์

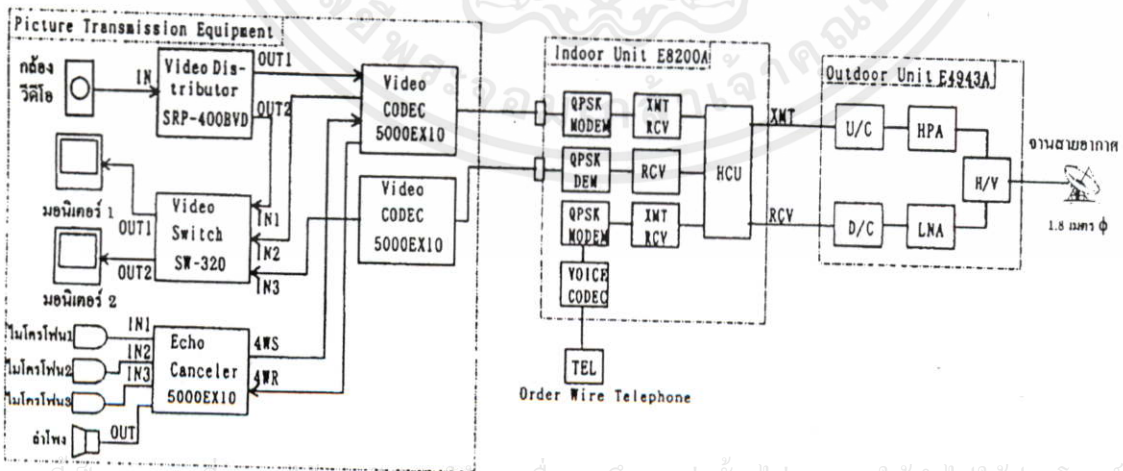
อย่างไรก็ตามระบบนี้สามารถขยายการใช้งานไปสู่รูปแบบการสื่อสารระหว่างสังคมกลุ่มย่อยๆ ได้ ก็ต่อเมื่อสามารถลดค่าใช้จ่าย ระบบที่เห็นได้ชัดก็คือการลดปริมาณความเร็วในการส่งข้อมูล

ในการส่งข้อมูลนั้นจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพและเสียงที่ได้รับ กล่าวคือไม่สามารถสร้างความเป็นธรรมชาติของภาพและเสียงได้ สำหรับระบบที่มีการเคลื่อนไหวไม่มาก เช่น การบรรยายหรือการประชุมเป็นต้นที่ภาพของผู้บรรยายไม่เปลี่ยนรวดเร็วนัก สามารถสร้างด้วยระบบที่อาศัยการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำกว่า 256 kbps ได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้มีข้อตกลงร่วมมือทางวิชาการกับกระทรวงไปรษณีย์และโทรคมนาคมของประเทศญี่ปุ่นภายใต้ชื่อโครงการ Post-PARTNERS โดยเริ่มต้นโครงการนี้ตั้งแต่ปลายปี 2539 เป็นต้นมา โครงการนี้ใช้ดาวเทียม JCSAT-3 ของประเทศญี่ปุ่นในการศึกษาวิจัย ส่งสัญญาณภาพเสียง และข้อมูล ผ่านดาวเทียมเพื่อศึกษาคุณสมบัติของการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมได้ทำการทดลองหลายอย่าง เช่น การประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม การวัดอัตราการผลิตในการส่งข้อมูลการสื่อสารมัลติมีเดีย การทดสอบการแพร่กระจายคลื่น

ระบบของโครงการ Post-PARTNERS

สถานีภาคพื้นดิน ซึ่งประกอบด้วย งานสายอากาศ outdoor unit, indoor unit และ อุปกรณ์การส่งสัญญาณภาพและเสียง ดังแสดงใน Fig.1 ได้ทำการติดตั้งไว้ 3 แห่งด้วยกัน คือ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, NIME และ CRL ความถี่ในการส่งและรับสัญญาณแสดงดัง Table 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1 System Constitution of Earth Station and Other Equipment

Table 1 Frequency channel of video conference

earth station	Uplink (MHz)	downlink (MHz)
King Mongkut's Institute Technology of Ladkrabang (KMITL)	14,043.5	12,295.5
NIME (Japan)	14,046.5	12,268.5
CRL (Japan)	14049.5	12,301.5

ภาพและเสียงจากเลเซอร์ดิส หรือ ภาพนิ่งจาก กล้องวิดีโอถูกเข้ารหัสในอุปกรณ์ CODEC ภาพ (5000 EX) และส่งจาก CRL มายังที่ตัวรับปลายทางของระบบ คือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผ่านดาวเทียม JCSAT-3 การทดสอบหาค่าคุณภาพ ของสัญญาณภาพ ได้จากการประเมินผลการรับชมของผู้ ทดสอบ ซึ่งเป็นนักศึกษาของสถาบัน ฯ

วิธีการทดลอง

การทดสอบหาค่าคุณภาพของสัญญาณภาพในระบบการ ประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม

ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นไปได้ที่จะ ทำการสื่อสารด้วยภาพความละเอียดสูงผ่านวงจรการสื่อ สารแบบดิจิทัลความเร็วสูง และใช้วงจรถอดรหัสหรือ CODEC คุณภาพสูง

ในการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียง ผ่าน ดาวเทียม JCSAT-3 เมื่อเดือนมกราคม 2540 ได้ทำการ ทดสอบคุณภาพของการส่ง-รับ โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล หรือ transmission rate ต่างๆ กัน

โครงสร้างของระบบสำหรับการทดสอบหาค่า คุณภาพของสัญญาณภาพแสดงใน Fig. 2

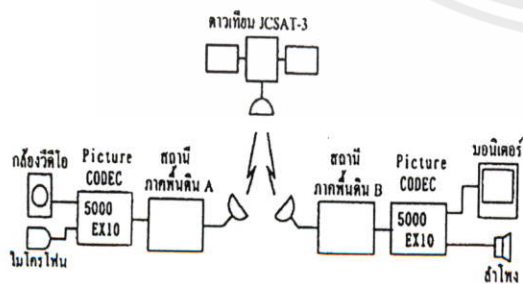


Fig. 2 System Construction for Picture Quality Evaluation Test on Video Conference

การทดสอบส่งข้อมูลความเร็วสูง

การทดสอบในโครงการ Post-PARTNERS ได้ ทำการส่งข้อมูลความเร็วสูง 2.048 Mbps ผ่านวงจรรือ สารดาวเทียมย่าน Ku-band ในการทดลองนี้ ได้วัดค่า อัตราการผิดพลาดในกส่งข้อมูล (bit error rate) และ ทดสอบการส่งข้อมูลความเร็วสูงเพื่อกำหนดเส้นทาง ดิจิตอลความเร็วสูงนี้ด้วย

ใน Fig. 3 แสดงระบบการวัดอัตราการผิดพลาด ในการส่งข้อมูล วิธีการวัดทำโดยการส่งสัญญาณไปยัง ดาวเทียมแล้ววนสัญญาณส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน เพื่อวัดค่าอัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูลที่เกิดขึ้น

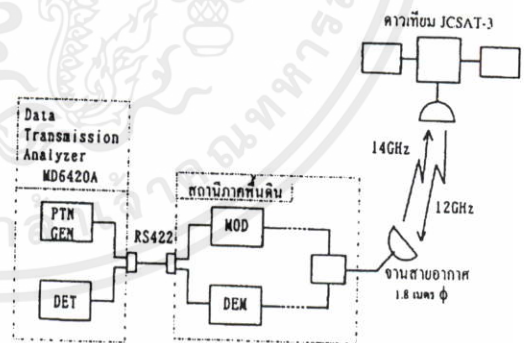


Fig. 3 System Constitution for Measurement of Bit Error Rate

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่ว่าผู้ให้บริการจะใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเชิงนโยบาย และข้อจำกัดการประเมินคุณภาพสัญญาณภาพ

ทางสถานีส่งที่ญี่ปุ่น ส่งภาพแผนภูมิ ที่มีความละเอียดสูง โดยใช้กล้องวิดีโอถ่ายแล้วเข้ารหัสที่ตัว CODEC (5000EX10) ส่งผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ทำการเปลี่ยนอัตราการส่งจาก 64 kbps ไปจนถึง 1.536 Mbps และถูกถอดรหัสด้วยตัว CODEC ของเครื่องรับภาคพื้นดินที่สถาบันฯ ได้สัญญาณภาพและแสดงผลบนจอโทรทัศน์ขนาด 29 นิ้ว

การทดสอบคุณภาพของสัญญาณภาพบนมาตรฐาน ในขณะที่ภาพมีการเคลื่อนไหว ภาพมาตรฐานถูกอ่านจากดิสและเข้ารหัสใน CODEC 2 ตัว ด้วยอัตราที่ต่างกัน แล้วสัญญาณภาพทั้งสองที่เข้ารหัสด้วยอัตราต่างกันจะถูกส่งด้วยช่องสัญญาณที่แยกจากกัน โดยช่องสัญญาณแรกเป็นสัญญาณภาพเข้ารหัสด้วยอัตรา 1.536 Mbps (อัตราสูงสุดในระบบนี้) ส่วนสัญญาณช่องที่สองสัญญาณภาพจะถูกเข้ารหัสด้วยอัตราที่ต่างกัน คือ 768, 384, 256 และ 128 kbps สัญญาณภาพจะถูกเปรียบเทียบอย่างทันที และค่าเกี่ยวกับคุณภาพของสัญญาณภาพเหล่านี้จะทำการเปรียบเทียบที่ละภาพ ผลการทดสอบแสดงใน Table 2

ผลการทดสอบหาค่าของผู้ทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาของสถาบันฯ แสดงใน Fig. 4 ซึ่งคะแนนเป็นค่าเฉลี่ยจากผู้ทำการทดสอบ

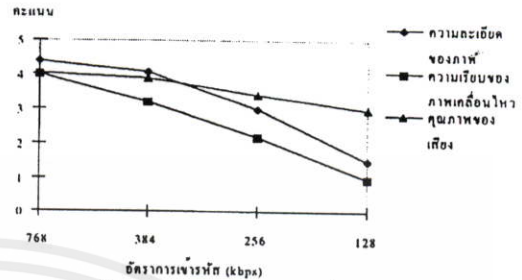


Fig. 4 Results of Picture and Voice Evaluation Test

ผลของการทดสอบการหาค่าคุณภาพบนภาพการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม สามารถทำการหาคุณภาพเกี่ยวกับความเรียบของการเคลื่อนที่ ความแตกต่างของเวลาหน่วงระหว่างภาพ และเสียง การหน่วงของการโต้ตอบในขณะที่มีการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียมกัน การวัดและวิธีการหาค่าจะเหมือนกับการทดสอบข้างต้น ใน Fig. 5 เป็นผลการทดสอบนี้

Table 2 Measure of Subject Picture and Voice Quality Evaluation

Score of Evaluation	Picture Quality and Voice Quality
5	not worse than the standard picture (1.536 Mbps)
4	worse a little than the standard picture (1.536 Mbps)
3	worse than the standard picture (1.536 Mbps)
2	very worse than the standard picture (1.536 Mbps)
1	not practical

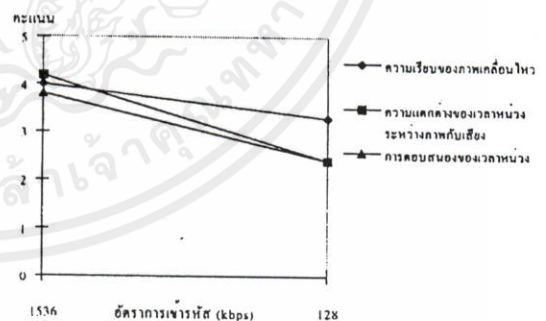


Fig. 5 Result of Evaluation Test for Video Conference Picture

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่า การศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทดลองการส่งข้อมูลความเร็วสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) อัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดที่ CRL ผ่านวงจรสื่อสารดาวเทียม JCSAT-3 แสดงดัง Table 3 กำลังถูก

ส่งด้วยระดับสูงสุดที่แต่ละอัตราการส่ง ไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในการวัดคาบเวลาระยะ 5 นาที ที่แต่ละอัตราในขณะที่มีฝนตกลงมาเบาๆ

Table 3 Bit Error Rate Measured at CRL

Trans. Rate (kbps)	Trans. Power (dBm)	Bit Error Rate
2,048	38.2	less than 1.63×10^{-9}
1,536	37.7	less than 2.17×10^{-9}
768	35.5	less than 4.37×10^{-9}
512	34.0	less than 6.51×10^{-9}
384	32.5	less than 8.68×10^{-9}
256	31.0	less than 1.30×10^{-8}
192	29.5	less than 1.74×10^{-8}
128	28.0	less than 2.60×10^{-8}
64	25.0	less than 5.21×10^{-8}

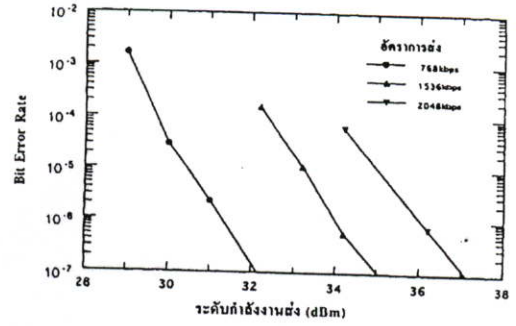


Fig. 7 Result of Bit Error Rate Measured at KMITL

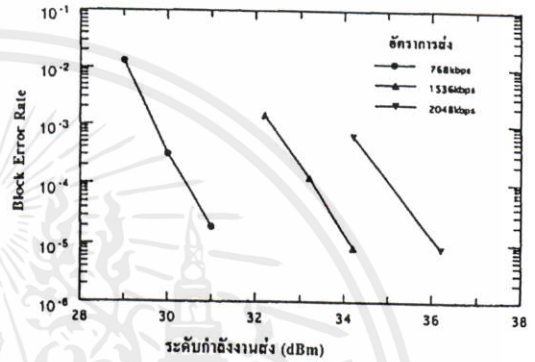


Fig. 8 Result of Block Error Rate Measured at KMITL

(2) อัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูล ระบบมัลติมีเดียกระทำที่สถานีฯ แสดงดัง Fig. 6 ผลของการวัดอัตราการผิดพลาดในการส่งข้อมูลแสดงใน Fig. 7 และ Fig. 8 ในรูปเหล่านี้แสดง bit error rate และ block error rate ที่อัตราการส่ง 2.048 Mbps 1.536 kbps และ 768 kbps แสดงระดับการส่งใน Fig. 8 ซึ่งแต่ละ block จะมี 100 บิต

การพิจารณาและสรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบคุณภาพของภาพ

(1) ผลการทดสอบหาคุณภาพของภาพเมื่อเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน จาก Fig. 4 ความละเอียดและความต่อเนื่องของการเคลื่อนไหวในช่วงอัตราการเข้ารหัสที่อัตราต่ำกว่า 256 kbps คุณภาพไม่ค่อยดีแต่ยังยอมรับได้ ดังนั้น จึงควรใช้อัตราการส่งสัญญาณที่มากกว่า 384 kbps ในการออกแบบระบบ

สำหรับคุณภาพเสียง

ไม่ว่าอัตราการส่งสัญญาณภาพจะสูงหรือต่ำก็ไม่มีผลต่อคุณภาพของเสียง เพราะสัญญาณเสียงจะถูกส่งที่อัตราความเร็วกว่า 56 kbps แต่จากการทดสอบจะเห็นว่าคุณภาพของเสียงจะลดลงหรือเปลี่ยนแปลงตามคุณภาพของสัญญาณภาพ เนื่องมาจากความรู้สึกของผู้ทดสอบ

(2) การทดสอบหาค่าคุณภาพของภาพที่ประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม การทดสอบค่าทำให้อัตราการ

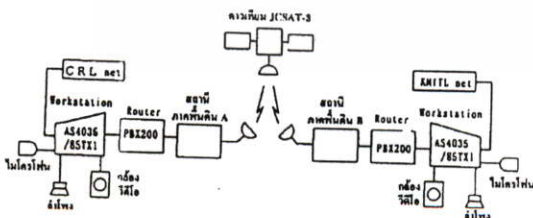


Fig. 6 System Constitution for Measurement of Bit Error Rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มาเผยแพร่ สัญญาณภาพ เนื่องมาจากความรู้สึกของผู้ทดสอบ

เข้ารหัสที่ 1.536 Mbps และ 128 kbps ในกรณีของ 1.536 Mbps คะแนนของแต่ละหัวข้อจะมีค่าประมาณ 4 และไม่มีปัญหาของการหน่วงเวลาผ่านวงจรการสื่อสาร ดาวเทียมในการประชุมทางไกล ส่วนอัตราการส่งที่ 128 kbps คะแนนของการทดสอบหาค่าจะอยู่ระหว่าง 2 หรือ 3 และการสนทนาจะทำได้ไม่ค่อยสะดวกเพราะว่าอิทธิพลของเวลาหน่วง

ผลการพิจารณาของการทดลองการส่งข้อมูล
ความเร็วสูง

ผลการวัดอัตราการผลิตผลในการส่งข้อมูลที่ CRL แม้ว่า การทดสอบอัตราการผลิตผลในการส่งข้อมูล จะถูกทำที่กำลังงานส่งสูงสุดในแต่ละอัตราการส่งเนื่องจากมีเวลาน้อย จึงไม่พบความผิดพลาดในการทดสอบในช่วงเวลา 5 นาที

ผลการวัดอัตราการผลิตผลในการส่งข้อมูลที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การทดสอบอัตราการผลิตผลในการส่งข้อมูลที่ระดับการส่ง 3 อัตราการส่ง (2.048 Mbps, 1.536 Mbps, 768 kbps) ผลการวัดอัตราการผลิตผลในการส่งข้อมูลความเร็วสูง ที่อัตราการผลิตผลค่าเดียวกัน อัตราการส่งที่ 768 kbps จะมีค่าระดับกำลังงานส่งน้อยกว่า อัตราการส่งที่ 1.536 Mbps ประมาณ 3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

"Report of Experiment in 1996 fiscal Year", Ministry of Posts and Telecommunications, Association of Radio Industries and Businesses, March 1997.

S. Sittichivapak, R. Suzuki, K. Kondo, "International Education Experiments via ETS-V satellite system". JCET 1994.

Kondo, R. Suzuki, N. Hamamoto and H. Wakana, "Educational Exchange experiments using satellite", Technical report of IECICE (1993- 10)

ประวัติการศึกษา

ผู้เสนอผลงาน นางสาว ยุพิน พงษ์พรหม

ชื่อเรื่อง การทดสอบคุณภาพของสัญญาณในการประชุมทางไกลผ่านดาวเทียม

Signal Quality Test on Satellite Video Conference

โทรศัพท์ที่สะดวกต่อการติดต่อ (01) 456-0437

ประวัติการศึกษา วิศวกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ปีการศึกษา 2536

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวยุพิน พงษ์พรหม เกิดเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2513 จังหวัดปราจีนบุรี ที่อยู่ปัจจุบัน 126/6 หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านพระ อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี 25230 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้