ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247488

การส่งผ่านสัญญาณนี้ดีเอ็มเอแบบโครงข่ายใยแสงแบบพาสซีฟ

นายธนฐ มณีขัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00252639

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247488

การส่งผ่านสัญญาณซีดีเอ็มเอแสงบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ

นายรชฎ มณีขัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170438221

OPTICAL CDMA TRANSMISSION OVER PASSIVE OPTICAL NETWORK

Mr. Rachata Maneekut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การส่งผ่านสัญญาณซีดีเอ็มเอแสงบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ
โดย	นายรชฎ มณีขัติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพัฒ แสงอุดมเลิศ)

รชฎ มณีขัติ : การส่งผ่านสัญญาณซีดีเอ็มเอแสงบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ. (OPTICAL CDMA TRANSMISSION OVER PASSIVE OPTICAL NETWORK)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.พสุ แก้วปลั่ง, 117 หน้า.

247488

โครงข่ายไฟเบอร์ทูเดอะโฮม (fiber-to-the–home: FTTH) ที่ใช้เทคโนโลยีโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (passive optical network: PON) เป็นโครงข่ายเข้าถึง (access network) ที่เชื่อมต่อผู้ใช้บริการเข้ากับระบบด้วยเส้นใยแสง และอุปกรณ์ภายในโครงข่ายเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานทางแสงทั้งหมดตั้งแต่อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสงไปจนถึงอุปกรณ์รับสัญญาณแสง ทำให้ต้นทุนของระบบค่อนข้างต่ำในขณะที่สามารถให้บริการการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราบิตที่สูงมากเมื่อเทียบกับโครงข่ายเข้าถึงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตามโครงข่าย FTTH แบบเดิมที่อาศัยการเข้าถึงหลายทิศทางแบบแบ่งเวลา (TDMA) ต้องมีการซิงโครนัสระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่ายเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการแต่ละราย ทำให้ไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การพัฒนาให้สามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตที่สูงขึ้นกว่าเดิมมากๆนั้นทำได้ยากมาก ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการนำเทคโนโลยีการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (OCDMA) มาใช้ร่วมกับ PON เพื่อลดปัญหาการแย่งกันเข้าใช้ช่องสัญญาณ และสามารถทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถใช้แบนด์วิดท์ที่ได้รับในการรับส่งข้อมูลได้อย่างเต็มที่

จากการศึกษาในเชิงทฤษฎีปรากฏว่าการสื่อสัญญาณที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps ต่อผู้ใช้บริการ 1 ราย และใช้ en/decoder ที่ใช้ความยาวของรหัสโกลด์เท่ากับ 511 จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้เท่ากับ 9 รายพร้อมกันที่อัตราบิตผิดพลาดเท่ากับ 10^{-9} โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ OCDMA-PON คือสัญญาณรบกวน MAI และ beat noise และกำลังของสัญญาณแสง auto-correlation peak ที่เครื่องรับ ในการตรวจสอบผลที่ได้จากการศึกษาในเชิงทฤษฎีโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลองโครงข่าย OCDMA-PON สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากที่สุดเท่ากับ 8 รายที่อัตราบิตผิดพลาดเท่ากับ 10^{-9} ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณได้แก่กำลังส่งสัญญาณ ระยะทางในการให้บริการ จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ อัตราการแบ่งพลังงานแสง และแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่เครื่องรับ นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ระบบ OCDMA-PON ร่วมกับการมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ (Coarse wavelength division multiplexing: CWDM) เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ ผลการทดสอบการส่งสัญญาณ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 4 รายต่อ 1 ความคลื่น และใช้ความยาวคลื่นทั้งหมด 4 ความยาวคลื่น ที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps ต่อผู้ใช้บริการ 1 รายต่อ 1 ความยาวคลื่น ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้ทั้งหมด 16 รายที่อัตราบิตผิดพลาดเท่ากับ 10^{-9}

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553.....

5170438221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : OPTICAL CDMA / PASSIVE OPTICAL NETWORK / ACCESS NETWORK

RACHATA MANEEKUT: OPTICAL CDMA TRANSMISSION OVER PASSIVE OPTICAL NETWORK. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PASU KAEWPLUNG, Ph.D., 117 pp.

247188

Fiber-to-the-home (FTTH) which is implemented on the passive optical network (PON) technology is an access network that connects subscribers to a service provider using optical fiber. Due to extremely huge bandwidth supported by optical fiber, PON can operate at very high-speed data rate. However, one of the important problems is that all equipments in the conventional FTTH, which is the time-division multiplexing access (TDMA)-based must be synchronized in order to assign an appropriate time-slot for each subscriber to respond for the demand for sending or receiving data of each subscriber.

In this thesis, we study the feasibility of employing OCDMA over PON, and find the maximum number of subscriber, maximum reach, and maximum supported data rate of the system, also for per 1 wavelength and for multi-wavelength based on the coarse wavelength division multiplexing (CWDM) wavelength assignment.

As we have studied, at data rate of 1.25 Gbps per subscriber on OCDMA-PON, using a 511-chip SSFBG with Gold code pattern as an en/decoder, can serve 9 subscribers with the bit-error rate (BER) lower than 10^{-9}. The main problems of OCDMA-PON are the media-access interference (MAI), beat noise and the auto-correlation peak power at receivers. After validating the theoretical investigation by computer simulation, the maximum number of subscriber of OCDMA-PON is found to be 8 at data rate of 1.25 Gbps. The quality of signal depends on transmitted power, reach, number of subscribers, split ratio, and bandwidth of the low-pass filter at a receiver. Furthermore, we also investigate the OCDMA-PON incorporated with the coarse wavelength division multiplexing (CWDM) to attain the increase in the number of subscribers. The simulation result of 4-wavelength OCDMA-PON at data rate of 1.25 Gbps per subscriber demonstrates the possibility of service provision to 16 subscribers with BER lower than 10^{-9}.

Department : Electrical Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พสุ แก้วปลั่ง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้พื้นฐานซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้ยังคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำรวมไปถึงแนวคิดในการทำงานวิจัยซึ่งเปรียบเสมือนแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผลงานวิจัยทั้งหมดสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ และซอฟท์แวร์ Optisys8.0 ในการจำลองการส่งสัญญาณจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม (Telecommunication Research and Industrial Development Institute: TRIDI) และสถานที่ที่ใช้ในการทำงานวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณโครงการทุนศิษย์ก้นกุฏิ ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลา 2 ปี

กำลังใจและบรรยากาศที่ดีจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆในห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จ และท้ายที่สุดขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนทั้งแรงกายและแรงใจตลอดมาอย่างหาที่สุดมิได้ ดังนั้นจึงมิมีคำกล่าวใดๆที่สามารถทดแทนสิ่งดีๆเหล่านี้ได้ จึงคงไว้ซึ่งความรู้สึกซาบซึ้งและขอบคุณตลอดไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฏ
บทที่
1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์.....12
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....12
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....13
1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....14
2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการสื่อสารทางแสง.....15
2.1 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสง.....15
2.2 ทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง.....16
2.2.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณ (fiber attenuation).....17
2.2.2 ดิสเพอร์ชันของเส้นใยแสง (fiber dispersion).....19
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นใยแสง.....22
2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON).....30
2.4.1 โครงสร้างของ PON.....30
2.4.2 มาตรฐานของ FTTX.....31
2.4.3 หลักการทำงานเบื้องต้น.....32
2.4.4 Link power budget.....33
2.4.5 มาตรฐาน 10G-EPON.....34
2.5 ระบบซีดีเอ็มเอแสง.....35
2.5.1 โครงสร้างของระบบ OCDMA.....36

2.5.2 วิธีการเข้ารหัสและการถอดรหัส (En/decoding scheme).....37
2.6 การจัดการดิสเพอร์ชัน(Dispersion management).....41
2.6.1 ประเภทของหน่วยชดเชยดิสเพอร์ชัน.....42
3 การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของระบบ OCDMA-PON.....45
3.1 การหาค่า BER ของระบบ OCDMA.....45
3.2 การวิเคราะห์ BER เนื่องจากสัญญาณรบกวนของการส่งผ่านสัญญาณ OCDMA-PON.....51
3.2.1 การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนแต่ละประเภทในระบบ OCDMA-PON..51
3.2.2 การวิเคราะห์ผลของค่า decision threshold ที่ใช้ในระบบ OCDMA-PON.....56
3.2.4 การวิเคราะห์ผลของกำลังเฉลี่ยของสัญญาณแสงที่เครื่องรับในระบบ OCDMA-PON.....62
3.2.5 แนวทางในการออกแบบระบบ OCDMA-PON.....65
4 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ OCDMA-PON โดยการจำลองทางคณิตศาสตร์.....67
4.1 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 4 ราย.....67
4.2 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 8 ราย.....75
4.3 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 16 ราย.....78
4.4 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด.....81
4.5 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz.....82
4.6 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 10 GHz.....83
4.7 ระยะทางไกลที่สุดของระบบ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้.....85
4.8 กำลังส่งสัญญาณ peak power น้อยที่สุดของระบบ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้.....86
4.9 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำในระบบ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้.....88
4.10 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON...90
4.10.1 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 4 ราย.....90

4.10.2 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 8 ราย 92
5 การส่งผ่านสัญญาณ OCDMA-PON ด้วยเทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ 95
5.1 เทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ (Coarse wavelength division multiplexing: CWDM) 95
5.2 แบบจำลองการส่งผ่านสัญญาณ OCDMA-PON ด้วยระบบมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ 4 ช่องสัญญาณ 96
5.3 การส่งผ่านสัญญาณ OCDMA-PON ด้วยระบบมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ 4 ช่องสัญญาณ 98
5.3.1 ระยะทางที่ไกลที่สุดที่สามารถให้บริการได้ 99
5.3.2 กำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการได้ 100
5.3.3 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้ 101
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 104
6.1 สรุปผลการวิจัย 104
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 106
รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก 112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 117

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ OCDMA แบบต่างๆ....10
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแสงมาตรฐาน G.652.C....27
ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแสงมาตรฐาน G.652.D....29
ตารางที่ 2.3 ค่า link power budget ของ PON....34
ตารางที่ 4.1 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน ...73
ตารางที่ 4.2 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน....73
ตารางที่ 4.3 BER ของ ACP ที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน....73
ตารางที่ 4.4 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....75
ตารางที่ 4.5 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....76
ตารางที่ 4.6 BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....76
ตารางที่ 4.7 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....78
ตารางที่ 4.8 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....79
ตารางที่ 4.9 BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน....79

ตารางที่ 4.10 ระยะทางที่ไกลที่สุดที่สามารถให้บริการได้ของระบบ OCDMA-PON.....86
ตารางที่ 4.11 กำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการได้ของระบบ OCDMA-PON.....88
ตารางที่ 4.12 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้ของระบบ OCDMA-PON.....90
ตารางที่4.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 4 ราย.....92
ตารางที่ 4.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 ราย.....94
ตารางที่ 5.1 ระยะทางที่ไกลที่สุดที่สามารถให้บริการได้ของแต่ละความยาวคลื่น.....100
ตารางที่ 5.2 กำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้ของแต่ละความยาวคลื่น.....101
ตารางที่ 5.3 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้ของแต่ละความยาวคลื่น.....103

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนผู้ใช้บริการของ ADSL CATV และ FTTH ในประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2009 4
รูปที่ 1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของ PON 5
รูปที่ 1.3 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ TDMA-PON 6
รูปที่ 1.4 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ WDMA-PON 7
รูปที่ 1.5 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ OCDMA-PON 8
รูปที่ 1.6 การแบ่งประเภทของ OCDMA ตามหลักการใช้งานและแบ่งตามมิติในการประมวลสัญญาณ....9
รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสง 15
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนกำลังงาน และความยาวคลื่นที่ผลิตมาตั้งแต่....18
รูปที่ 2.3 ผลของดิสเพอร์ชันต่อสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสง 19
รูปที่ 2.4 การแจกแจงของความเร็วกลุ่มและ GVD เทียบกับความยาวคลื่น 20
รูปที่ 2.5 การเกิด Inter-symbol interference (ISI) 21
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบและค่าดัชนีหักเหของ core และ cladding ในเส้นใยแสง 23
รูปที่ 2.7 ค่า refractive index ของ SiO_2 ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อถูกเจือปนด้วยสารชนิดต่างๆ....23
รูปที่ 2.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ core และ cladding ของเส้นใยแสง MMF และ SMF....24
รูปที่ 2.9 ค่าอัตราการลดทอนกำลังของสัญญาณแสงของเส้นใยแสง G.652.C....26
รูปที่ 2.10 ค่าดิสเพอร์ชันของสัญญาณแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของเส้นใยแสงชนิด G.652.C..26
รูปที่ 2.11 รูปแบบการเชื่อมต่อของ PON 31
รูปที่ 2.12 การส่งข้อมูลจาก OLT ไปยังแต่ละ ONU 33
รูปที่ 2.13 การส่งข้อมูลจาก ONU แต่ละตัวไปยัง OLT 33
รูปที่ 2.14 การจัดสรรความยาวคลื่นของ 10G-EPON....35
รูปที่ 2.15 ระบบ OCDMA อย่างง่าย....36
รูปที่ 2.16 การมอดูเลตสัญญาณแสงเข้ากับสัญญาณไฟฟ้าที่ตัวส่งสัญญาณของระบบ OCDMA 37
รูปที่ 2.17 การ encode สัญญาณแสงด้วยวิธี coherent time-spreading 38
รูปที่ 2.18 การ decode สัญญาณแสงด้วย decoder ที่มีรหัสที่สัมพันธ์กันกับรหัสของ encoder.39

รูปที่ 2.19 การ decode สัญญาณแสงด้วย decoder ที่มีรหัสไม่สัมพันธ์กันกับรหัสของ encoder 40
รูปที่ 2.20 เทคนิคการจัดการดิสเพอร์ชัน.....42
รูปที่ 2.21 ค่าดิสเพอร์ชันของเส้นใยแสงชนิด NSC-DCF.....43
รูปที่ 2.22 ค่าดิสเพอร์ชันของเส้นใยแสงชนิด SC-DCF 44
รูปที่ 3.1 ระบบ OCDMA-PON ที่มีผู้ใช้บริการจำนวน N ราย.....46
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับปริมาณของสัญญาณรบกวนแต่ละประเภทของ σ^2_{0-co} 52
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับปริมาณของสัญญาณรบกวนแต่ละประเภทของ σ^2_{1-co} 52
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับปริมาณของสัญญาณรบกวนแต่ละประเภทของ σ^2_{1-in} 53
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับสัญญาณรบกวน σ^2_{0-co} σ^2_{1-co} และ σ^2_{1-in} 54
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับค่า BER แยกตามประเภทของสัญญาณรบกวน.....55
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับค่า BER แยกตามประเภทของสัญญาณรบกวน (ขยาย).....55
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับค่า BER เมื่อพิจารณาผลของสัญญาณรบกวนทั้งหมด.....56
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขอบเขตที่ลดลงกับจำนวน interference user ที่ค่า D ต่างๆกัน 57
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับค่า BER ที่ค่า D ต่างกัน.....57
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ L ที่ใช้ในการสร้าง gold code ความยาว 2^L-1 ชิป กับขนาดของสัญญาณรบกวน ξ และ σ^2_{MAI-0} 59
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับค่า BER โดยพิจารณาแค่ผลของ σ^2_{MAI} ที่เกิดจากการใช้จำนวนชิปของ encoder ที่ต่างกัน.....60
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับค่า BER โดยพิจารณาแค่ผลของ σ^2_{beat-0} และ σ^2_{beat-1} ที่เกิดจากการใช้จำนวนชิปของ encoder ที่ต่างกัน.....61

รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน interference user กับค่า BER ที่เกิดจากการใช้จำนวนชิปของ encoder ที่ต่างกัน 62
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับกับค่า BER ที่จำนวนผู้ใช้ในระบบต่างกัน 63
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับกับค่า BER ที่มีจำนวนผู้ใช้ในระบบ 9 ราย และข้อจำกัดของระบบเนื่องจาก σ^2_{beat-0} และ σ^2_{MAI} 64
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับกับค่า BER ที่มีจำนวนผู้ใช้ในระบบ 10 ราย และข้อจำกัดของระบบเนื่องจาก σ^2_{beat-0} σ^2_{beat-1} และ σ^2_{MAI} 64
รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับกับค่า BER ของระบบ OCDMA ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 รายโดยใช้จำนวนชิปของ encoder ที่ต่างกัน 66
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของ interference user กับค่า BER ที่กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับเท่ากับ -9.5 dBm โดยใช้ จำนวนชิปของ encoder ที่ต่างกัน 66
รูปที่ 4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสัญญาณซีดีเอ็มเอแสงบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟสำหรับผู้ใช้บริการจำนวน N ราย 68
รูปที่ 4.2 ลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 ณ ตำแหน่งต่างๆของระบบ (ก) สัญญาณไฟฟ้าแบบ NRZ (ข) พัลส์แสงที่สร้างจาก Mode-locked laser diod (ค) สัญญาณแสงหลังจากถูกมอดูเลต 69
รูปที่ 4.3 ลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 ณ ตำแหน่งต่างๆของระบบ (ก) หลังจากการ encode (ข) หลังจากการ decode ด้วย decoder ที่ใช้รหัส #3 (ค) หลังจากการ decode ด้วย decoder ที่ใช้รหัส #4 70
รูปที่ 4.4 ลักษณะสัญญาณในทางเวลาของผู้ใช้บริการทั้ง 4 รายก่อนถูก encode และหลังถูก decode (ก) รหัส#1 (ข) รหัส#3 (ค) รหัส#5 (ง) รหัส#6 71
รูปที่ 4.5 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ในระบบ OCDMA-PON ที่มีผู้ใช้บริการ 4 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz 74
รูปที่ 4.6 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 ในระบบ OCDMA-PON ที่มีผู้ใช้บริการ 8 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz 77

รูปที่ 4.7 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 ในระบบ OCDMA-PON ที่มีผู้ใช้บริการ 16 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz.....80
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่มีค่า BER แย่ที่สุดจากระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด.....82
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่มีค่า BER แย่ที่สุดจากระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz.....83
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่มีค่า BER แย่ที่สุดจากระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 10 GHz.....84
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการให้บริการได้กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER แย่ที่สุด.....86
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งสัญญาณ peak power กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER แย่ที่สุด.....87
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้ได้กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER แย่ที่สุด.....89
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆกับค่า BER ของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 4 ราย.....91
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆกับค่า BER ของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 ราย.....93
รูปที่ 5.1 ระบบมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ.....96
รูปที่ 5.2 แบบจำลองการส่งผ่านสัญญาณ OCDMA-PON ด้วยการมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นแบบหยาบ 4 ความยาวคลื่น.....97
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการให้บริการกับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่าบิตผิดพลาดแย่ที่สุดในแต่ละความยาวคลื่น.....99
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งสัญญาณ peak power กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่าค่า BER แย่ที่สุดในแต่ละความยาวคลื่น..... 101
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำกับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่าบิตผิดพลาดแย่ที่สุดในแต่ละความยาวคลื่น..... 102