

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การหาค่าประสิทธิภาพโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางบน โครงข่ายใยแสง DWDM

ด้วยการสวิตช์ทางแสงเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีโครงข่ายใยแสง

Performance Evaluation of Multiple Access Control Protocol on DWDM Networks
using Wavelength-Routing for Improves Optical Communication Networks
Technologies

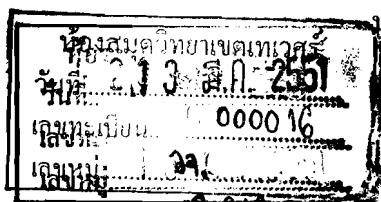
นายกฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี

Mr.Kidsanapong Puntsri

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปี พ.ศ. 2550



ก 282 ก
ด. 4

ชื่อโครงการ	การหาค่าประสิทธิภาพโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางบนโครงข่ายใยแสง DWDM ด้วยการสวิตซ์ทางแสงเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีโครงข่ายใยแสง
ปีงบประมาณ	2550
หัวหน้าโครงการ	นายกฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ การหาค่าประสิทธิภาพเมื่อนำเอาโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางแบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) มาใช้ร่วมกับโครงข่ายใยแสง WDM ด้วยการสวิตซ์ทางแสง และในการวิจัยนี้ใช้การเข้ารหัสแบบสองทิศทาง โดยรหัสที่ใช้เป็นรหัสแบบ asymmetric prime-hop sequence โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้จะพิจารณาออกมาในรูปของ จำนวนของคลื่นแสงที่ว่างทั้งหมดต่อจำนวนเฉลี่ยของผู้ต้องการส่งข้อมูลต่อสล็อตเวลา และยังพิจารณารวมไปถึงสัญญาณรบกวนแบบบิตน้อยส์ (Beat noise) อีกด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์เชิงเลขพบว่าสัญญาณรบกวนแบบบิตน้อยส์มีผลต่อระบบมากๆ เมื่อนำเอาโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางแบบซีดีเอ็มเอมาใช้บนโครงข่ายใยแสง WDM และยังเป็นปัญหาที่น่าสนใจของนักวิจัยที่อยากแก้ไข และลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนแบบบิตน้อยส์นี้ ในระบบ การสื่อสารทางแสงซีดีเอ็มเอ (Optical code division multiple access: OCDMA)

Project Title	Performance Evaluation of Multiple Access Control Protocol on DWDM Networks using Wavelength-Routing for Improves Optical Communication Networks Technologies.
Year of budget	2007
Head of Project	Mr.Kidsanapong Puntsri

ABSTRACT

We present the comparison of CDMA MAC protocol with and without beat noise by using 2-D optical CDMA MAC protocol over WDM networks. We use the asymmetric prime-hop sequence code. Moreover, we analyse the effect of the number of available wavelengths in terms of average number of attempted to transmissions per time slot (offered load), and beat noise is considered. The presented numerical results based on the throughput and delay time versus the offered load. We divide into two parts. The first one, we consider the effect of the number of available wavelengths. Another is the effect of with and without beat noise in the 2-D OCDMA over WDM systems.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยพร และพระคุณของบิดา มารดา พร้อมทั้งน้องสาวของผู้ทำวิจัยที่ช่วยเป็นแรงสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้ทำวิจัยตลอดมา และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่สั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความรู้ ทั้งทางด้านวิชาการ และกำด้าเนินชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะ ดร.ระวี พรหมหลวงศรี อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ อาจารย์สมมาตร แสงเงิน อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ช่วยให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ และการวิจัยครั้งนี้ยังได้รับการสนับสนุนเงินทุน โครงการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2550 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อีกด้วย

กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	4
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	5
2.1 บทนำ	5
2.2 การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงด้วยการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอ	5
2.2.1 หลักการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.2.2 รูปแบบพื้นฐานของการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.3 สัญญารบกวนในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการเข้ารหัสแบบซีดีเอ็มเอ	7
2.3.1 พื้นฐานของสัญญารบกวน	7
2.3.2 สัญญารบกวนที่เครื่องรับทางแสง	8
2.3.2.1 สัญญารบกวนเชิงความร้อน	9
2.3.2.2 สัญญารบกวนเชิงความร้อนที่โฟโตรีเซคเตอร์	9
2.4 เทอร์มัลคูลูมหลายช่องสัญญาณ	10
2.5 รีเลทีฟอินเทนซิตีนี้บัส	12
2.6 การเข้าถึงหลายทาง	13
2.6.1 วิธีอะโลฮา	13
2.6.2 วิธีสล็อตอะโลฮา	16
2.6.3 ระบบ WDM	18
2.7 ระบบ PON (Passive Optical Network)	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การเข้ารหัสออฟติคอลลชีดีเอ็มเอและสัญญาณรบกวนแบบ Beat	20
3.1 บทนำ	20
3.2 ออฟติคอลลชีดีเอ็มเอโค้ด	20
3.3 คุณสมบัติของออฟติคอลลชีดีเอ็มเอโค้ดแบบ 2-ทิศทาง	23
3.4 สัญญาณรบกวนบีทน้อยสที่เกิขึ้นในระบบซิคีเอ็ทที่ใช้ในการเชื่อมโยทางแสง	24
บทที่ 4 การวิเคราะห์ระบบออฟติคอลลชีดีเอ็มเอบนโครงข่าย WDM	30
4.1 บทนำ	30
4.2 โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์	30
4.3 ออฟติคอลลชีดีเอ็มเอโค้ดเมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ Beat	31
4.4 การวิเคราะห์ MAC โปรโตคอล	35
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเลข	38
5.2 ผลของความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดต่อระบบ	38
5.2.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส	38
5.2.2 เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส	39
5.3 ผลของค่าวิสัยสามารถและค่าหน่วงเวลาคู่ระบบ	40
5.3.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส	40
5.3.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส	42
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข	44
6.1 บทนำ	44
6.2 สรุปเนื้อหาของการวิจัยครั้งนี้	44
6.3 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่	48
ประวัติผู้เขียน	49
ภาคผนวก	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสัมประสิทธิ์เมื่อพิจารณานาคของสัญญาณในเทรมที่มีความถี่ต่างๆ	11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เครือข่ายระบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง	6
รูปที่ 2.2 แบบจำลองของเครื่องรับทางแสง	8
รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่เครื่องรับ	8
รูปที่ 2.4 สัญญาณรบกวนเชิงความร้อนที่อยู่ในโฟโตนิกเทคเจอร์	9
รูปที่ 2.5 ผลการรวมหลายช่องสัญญาณทำให้เกิดเทรมอื่นๆขึ้น	10
รูปที่ 2.6 กลไกการชนกันของแพ็กเก็ตในวิธีอะโลฮา	14
รูปที่ 2.7 ช่วงเวลาที่อาจเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต	14
รูปที่ 2.8 กลไกการชนกันของแพ็กเก็ตในวิธีสล็อตอะโลฮาเกิด	17
รูปที่ 2.9 หลักการสื่อสารข้อมูลระบบ WDM	18
รูปที่ 2.10 หลักการรวมแสงและการแยกสัญญาณทางแสงของระบบ WDM	19
รูปที่ 3.1 ก โครงสร้างการเข้ารหัสของการเข้าถึงแบบ CDMA	22
รูปที่ 3.1 ข โครงสร้างการถอดรหัสของการเข้าถึงแบบ CDMA	22
รูปที่ 3.2 การสวิตช์ทางแสง (Complementary Optical Switches)	28
รูปที่ 4.1 โครงข่ายออฟติคอลลชีเอ็มเอบน WDM	30
รูปที่ 4.2 ความถี่ประกอบของสัญญาณข้อมูลและไขว้แทรกที่ค่าออกแอมพลิจูด (Peak) จากการทำสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)	31
รูปที่ 5.1 ผลของค่าอัตราผิดพลาดต่อจำนวนผู้ให้บริการ ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17, 31$	38
รูปที่ 5.2 ผลของการเปรียบเทียบค่าอัตราผิดพลาดต่อจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ Beat	39
รูปที่ 5.3 ผลของค่าวิสัยสมารถต่อค่า offer load ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17, 31$	40
รูปที่ 5.4 ผลของหน่วงเวลาต่อค่า offer load ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17, 31$	41
รูปที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสมารถระหว่างเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของสัญญาณรบกวนแบบ Beat	42
รูปที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบค่าหน่วงเวลาระหว่างเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของสัญญาณรบกวนแบบ Beat	43

1.1 ความเป็นมา

ในช่วงประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้เติบโตอย่างรวดเร็ว มีการทำให้ค่าความสูญเสียในเส้นใยแก้วแบบซิงเกิลโหมด (single-mode) ลดน้อยลงไปมาก การทำให้ภาครับทางแสงมีความไวในการรับสูงขึ้น การพัฒนาให้สารกึ่งตัวนำเลเซอร์ไดโอด (laser diode) มีความเร็วสูงขึ้น และการทำให้ภาคขยายทางแสงมีค่าสูงขึ้นในช่องความจุสัญญาณ โดยมีอัตราบิดสูงที่สุดในระยะทางที่ไกลที่สุดที่ไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณมาก

ปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่นในระบบการสื่อสารทางทะเล ระบบเครือข่ายโทรศัพท์ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เกี่ยวกับเรือและยานอวกาศรวมไปถึงระบบเครือข่ายโทรศัพท์ผ่านสายเคเบิลด้วย

ถึงแม้ว่าความสามารถของเส้นใยแก้วนำแสงจะใช้ประโยชน์ได้มากมายก็ตาม แต่ปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ประโยชน์ไม่มากเท่าที่ควร ซึ่งเหตุผลหลักก็คืออุปกรณ์เกี่ยวกับออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Opto-electronic) ที่อินพุตและเอาต์พุตของเส้นใยแก้วไม่สามารถทำงานที่ความเร็วสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของเส้นใยแก้วได้ ดังนั้นจึงมีการคำนึงถึงการแบ่งแบนด์วิดท์ของเส้นใยแก้วเพื่อใช้งานระหว่างการสื่อสาร โดยยอมให้มีการเข้าถึงหลายทาง (Multiple accesses) ในช่องสัญญาณเดียวกัน

ด้วยเหตุผลนี้จึงเกิดแนวความคิดใหม่ในการพัฒนาระบบการสื่อสารบนเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นมาใหม่ นั่นก็คือการเข้าถึงหลายทางในระบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง โดยในระบบเครือข่ายเหล่านี้จะมีการเข้าใช้เส้นใยแก้วจากหลายๆ โหนดซึ่งแต่ละโหนดจะแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่โดยปรกติและจะใช้อุปกรณ์พาสซีฟ (Passive) และใช้อุปกรณ์ทางแสง จะไม่มีการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากแสงเป็นอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์แปลงสัญญาณจากอิเล็กทรอนิกส์เป็นแสง ยกเว้นที่ปลายจุดเชื่อมต่อ

ในการเข้าถึงหลายทางในช่องสัญญาณเดียวกันนั้นจะมีการทำมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) กันจากหลายๆ โหนดในเชิงความถี่และเชิงเวลา สำหรับเชิงความถี่นั้นก็จะมีรูปแบบเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength division multiple access: WDMA) และการเข้าถึงหลายทางแบบคลื่นพาห่อย่อย (Subcarrier multiple access: SCMA) สำหรับเชิงเวลานั้นก็จะมีรูปแบบเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time division multiple: TDMA) และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code division multiple access: CDMA)

สำหรับเทคนิคแบบ CDMA เริ่มแรกถูกนำมาใช้ในการสื่อสารด้านไมโครเวฟ ซึ่งมันจะยอมให้ผู้ให้บริการสามารถเข้ามาใช้ช่องสัญญาณเดียวกันโดยการสุ่มเวลาใดๆ จากข้อคิดตรงนี้ จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสงในปี 1985

หลักการของ CDMA ที่ใช้ในเส้นใยแก้วนำแสง (Optical CDMA) จะกำหนดพัลส์เล็กๆ ทางแสง เพื่อทำการเข้ารหัสกับบิตข้อมูลที่มาจากโหนดต่างๆ ให้เป็นขบวนพัลส์ โดยมีลักษณะเฉพาะของขบวนพัลส์นั้นๆ ซึ่งเป็นการเข้ารหัสแบบ CDMA ซึ่งสัญญาณ optical CDMA ที่ส่งมาในแต่ละโหนดจะมีแบนด์วิดท์กว้างมาก (มากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล) ในการเข้ารหัสแบบ CDMA สัญญาณที่มาจากโหนดทั้งหมดในเครือข่ายจะไม่มีแทรกสอดระหว่างกัน ซึ่งการเข้ารหัสหลายทางในเวลาเดียวกัน โหนดไม่มีการหน่วงเวลานั้นจะเกิดขึ้นโดยปราศจากความจำเป็นที่จะต้องไปรบกวนที่ซับซ้อนของเครือข่าย เพื่อให้สัมพันธ์กับการรับส่งข้อมูลกับโหนดต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่าย โดยที่ข้อดีของ CDMA เมื่อเปรียบเทียบกับ การเข้าถึงหลายทางแบบอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

- เมื่อเปรียบเทียบกับ TDMA กับ CDMA นั้นไม่ต้องมีการชิงโครนัสกันระบบโหนดทั้งหมดในเครือข่าย
- เมื่อเปรียบเทียบกับ WDMA กับ CDMA นั้น WDMA จะต้องมีการปรับรับส่งเวฟเล้งที่จูนเนเบิล (Wavelength-tunable) หรือเวฟเล้งที่เสถียร (Wavelength-stabilization) และอีกทั้งทุกโหนดเมื่อต้องการส่งข้อมูลออกไปจะต้องส่งไปที่ศูนย์กลางเวฟเล้งที่ก่อน

นอกจากนั้นแล้ว CDMA ยังมีข้อดีอีกอย่างก็คือ มันเป็นการยากที่จะเกิดกรบกวนกันระหว่างสัญญาณปลายทางกับสัญญาณจากโหนดอื่นๆ เนื่องจากถูกเข้ารหัสไว้แล้วนั่นเอง ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะที่ทำให้ข้อมูลมีความปลอดภัย มากขึ้นนั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการเข้าถึงหลายทางแบบ WDM โดยเฉพาะระบบโครงข่ายเมือง (Metropolitan Area Network: MAN) ได้ใช้โครงข่ายระบบแบ่งความยาวคลื่นแสงแบบเข้ม (DWDM) เป็นโครงข่ายสันหลัง (Backbone networks) โดยที่ใช้วิธีการสวิตช์ทางแสง (Wavelength-routing) ซึ่ง DWDM พัฒนามาจากเทคโนโลยี WDM (Wavelength Division Multiplexing) ซึ่งสามารถรองรับการส่งข้อมูล ที่อัตราความเร็ว 2.5 กิกะบิตต่อวินาที ถึง 10 กิกะบิตต่อวินาที ที่ 32 ถึง 64 ขณะที่ DWDM มีการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณเป็น 160 ช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณ (ปัจจุบันมีการวิจัยทำให้สามารถมีช่องสัญญาณถึง 1022 ช่องสัญญาณ) และกำหนดให้ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณถี่ขึ้น คืออยู่ที่ 25-50 กิกะเฮิรตซ์ ทำให้องค์รับอัตราการส่งข้อมูลได้มากถึง 1 เทราบิตต่อวินาที โดยการทำงานของ DWDM เริ่มต้นจากการส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแสงมากกว่า 1 ตัวบนสายไฟเบอร์ออปติกเส้นเดียว โดยใช้ตัว Multiplexer และใช้ตัว Demultiplexer ที่ปลายทางด้านรับ ในการแยกลำแสงที่ได้ และส่งไปยังตัวรับแสงทุกตัว โดยวิธีที่

ง่ายที่สุดคือการใช้ปริซึม ด้วยหลักการที่ว่า แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน จะมีมุมหักเหไม่เท่ากัน เมื่อผ่านปริซึม ทำให้สามารถแยกแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกจากกันได้ หลังจากนั้นใช้เลนส์ในการโฟกัสแสงความยาวคลื่น ไปยังสายไฟเบอร์ออปติกชนิดต่างๆ และในทางกลับกัน การส่งข้อมูลก็ใช้วิธีรวมแสงแล้วส่งเข้าไปยังสายไฟเบอร์ออปติกด้วยวิธีเดียวกันนอกจากนี้ระบบ DWDM ส่วนใหญ่ยังสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์เทคโนโลยีแบบเก่า อย่างเช่น SONET/SDH โดยต่อผ่านตัว Transponder ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ประเภท SONET/SDH ให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานบนระบบ DWDM ตามมาตรฐาน ITU

ที่สำคัญ DWDM เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาในเมืองไทยแล้ว และพร้อมทั้งผู้ให้บริการอุปกรณ์ และมีผู้ใช้เทคโนโลยีนี้ ในการทำงานจริงแล้ว คือธนาคารกสิกรไทย ขณะที่ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จะเริ่มใช้งานในเร็วๆ นี้ DWDM จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในปัจจุบัน เพื่อรองรับการขยายตัวของระบบเครือข่ายในอนาคต

แต่เนื่องจากเมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้นการเข้าถึงของแพ็คเกจข้อมูลก็มีความซับซ้อนจากหลายๆ ทาง (Multiple nodes) จึงได้มีหลายบทความได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นแบบการแบ่งแบบเวลา (Time Division multiplexing: TDM) การแบ่งแบบรหัส (Code Division multiple access: CDMA) เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่ามีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาในระบบการสื่อสารข้อมูลไม่ว่าจะเป็นในระบบสื่อสารทางแสง หรือระบบการสื่อสารแบบไร้สายก็ตาม

ในโครงการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค่าประสิทธิภาพโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางบนโครงข่ายใยแสง บนโครง WDM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น โดยที่เนื่องจากสัญญาณรบกวนมีผลมากเมื่อนำเอาการเข้าถึงหลายทางแบบ CDMA มาใช้บนโครงข่าย WDM จึงได้พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ Beat (Beat noise in optical CDMA) อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาภาพลักษณ์ปัจจุบันของครูช่างอุตสาหกรรมตามความคิดของนักเรียน นักศึกษา ผู้ปกครอง และผู้บริหารสถานศึกษา
- 1.2.2 เพื่อศึกษาภาพลักษณ์ที่พึงประสงค์ของครูช่างอุตสาหกรรมตามความคิดของนักเรียน นักศึกษา ผู้ปกครอง และผู้บริหารการศึกษา
- 1.2.3 เพื่อหารูปแบบในการเสริมสร้างภาพลักษณ์สำหรับการผลิตบัณฑิตสาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมซึ่งจะไปประกอบอาชีพครูช่างอุตสาหกรรม

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาโครงข่ายระบบระบบแบ่งความยาวคลื่นแสงแบบ
- 1.3.2 ศึกษาโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 1.3.3 ศึกษาการสวิตช์เส้นทางแสง (Wavelength-routing)
- 1.3.4 ศึกษาการวิเคราะห์ด้วยการจำลองแบบหรือวิเคราะห์ด้วยตัวเลขเพื่อทราบถึงพฤติกรรมของระบบ
- 1.3.5 วิเคราะห์ถึงรูปแบบโครงข่ายใหม่ๆ เพื่อนำมาใช้เพื่อให้เกิดแนวความคิดใหม่ๆ
- 1.3.6 นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เชิงเลขเช่นค่าวิสัยสามารถ คำนวณเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่จำเป็นของการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงด้วยการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอ โดยประกอบไปด้วยหัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้ สัญญาณลบกวนแบบต่างๆ หลักการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง และ MAC โพรโทคอลแบบสุ่ม (Random access MAC control protocol) ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

2.2 การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงด้วยการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอ

ในระบบสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงจะใช้ความถี่พาหะทางแสงอยู่ในช่วง 10¹³-10¹⁶ เฮิรตซ์ ด้วยเหตุนี้ระบบเส้นใยแก้วนำแสงจึงมีศักยภาพของแบนด์วิธสำหรับส่งสัญญาณมากกว่าระบบสายเคเบิลทั่วไป จากที่ผ่านมาได้มีการวิจัยทางด้านการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงในเครือข่ายท้องถิ่นกันมาก ซึ่งเกี่ยวกับการทำให้การส่งข้อมูลมีอัตราการส่งที่สูงขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานระบบสำนักงาน และทำให้เกิดการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์สะดวกขึ้น โดยที่การเข้าถึงแบบหลายทางแบบอะซิงโครนัสจะเหมาะสมกว่าแบบซิงโครนัส สำหรับการเข้าถึงหลายทางในโปรโตคอลได้มีการพัฒนากันอย่างหลากหลายซึ่งเป็นการยอมให้ผู้ให้บริการหลายรายได้แบ่งกันใช้ช่องสัญญาณสื่อสาร เช่น การเข้าถึงแบบ TDMA, WDMA, SDMA หรือ CDMA เป็นต้น

สำหรับการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสหรือที่เรียกว่าซีดีเอ็มเอ (CDMA) นั้น เป็นเทคนิคแบบแผ่ขยายสเปกตรัม (Spread spectrum) ซึ่งแต่เดิมการเข้าถึงแบบนี้ถูกใช้ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมและการสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟ แต่ต่อมาได้นำมาประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง สำหรับจุดเด่นของการเข้าถึงแบบนี้คือสามารถให้ผู้ให้บริการหลายรายเข้าใช้ช่องสัญญาณเดียวกันในเวลาเดียวกันโดยไม่รบกวนกันระหว่างผู้ใช้บริการแต่ละราย

ในการเข้าถึงแบบ ซีดีเอ็มเอ สามารถใช้ประโยชน์จากแบนด์วิธในช่องสัญญาณทางแสงเพื่อที่จะจัดเตรียมการเข้าถึงโดยผู้ใช้บริการหลายรายในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะเห็นว่าการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอนั้นสามารถที่จะให้ผู้ให้บริการจำนวน K ผู้ใช้ เข้าถึงช่องสัญญาณได้ในเวลาเดียวกัน โดยจะใช้หลักการโคเรเลชันสเปกตรัม ซึ่งทำให้สามารถรับความแตกต่างระหว่างลำดับของสัญญาณและระดับของการแทรกสอดของผู้ให้บริการแต่ละรายได้ การกำหนดลำดับรหัสที่ตั้งฉาก (Orthogonal) กันนั้น จะต้องสอดคล้องกับตำแหน่งของปลายทางถัดไป เพื่อการส่งแต่ละข้อมูลจะได้เพิ่มมากขึ้นในแบนด์วิธของการส่งสัญญาณ แต่อย่างไรก็ตามแบนด์วิธของช่องสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงยังสามารถทำให้แบนด์วิธสัญญาณที่เพิ่มขึ้นด้วย ความสามารถที่

เข้าถึงแบบ ซีดีเอ็มเอที่รองรับผู้ใช้บริการจำนวน K ผู้ใช้ในเวลาเดียวกัน ที่กล่าวมาแล้วนั้นยังทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับ การเข้าถึงแบบอื่นๆ ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการเข้าถึงแบบ ซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสงต่อไป เราจะกล่าวถึงรายละเอียดโดยทั่วไปของการเข้าถึงแบบ ซีดีเอ็มเอก่อน โดยจะมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.2.1 หลักการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง

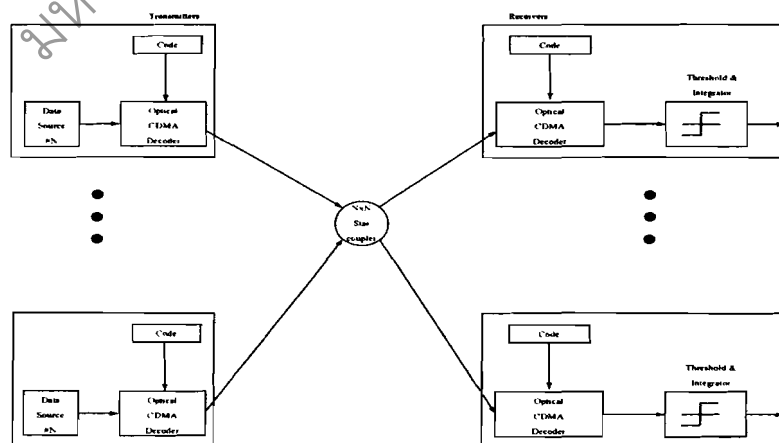
ในการประยุกต์การเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1) ใช้เส้นใยแก้วสำหรับส่งสัญญาณสื่อสาร ดังนั้นกระบวนการเข้ารหัสจะถูกกระทำในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจะทำการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณแสงสำหรับส่งออกไปในเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนทางภาครับจะรับสัญญาณแสงเข้ามาและทำการเปลี่ยนกลับให้อยู่ในสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม ก่อนที่จะผ่านกระบวนการถอดรหัส สำหรับวิธีการนี้การเข้ารหัสแบบ Gold sequence หรือ m- sequence รูปแบบโครงสร้างวิธีนี้จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์คอขวดอิเล็กทรอนิกส์-ออปติคัล (Electronic-optic bottleneck) ทั้งทางด้านเข้ารหัสและถอดรหัส ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นตัวจำกัดการใช้งานแบนด์วิดท์ของระบบการสื่อสารทางแสง

2) ทั้งทางด้านเข้ารหัสและถอดรหัสจะผ่านกระบวนการทางแสง ดังนั้นจะลดปัญหาที่เกิดจากปรากฏการณ์คอขวดออกไป

2.2.2 รูปแบบพื้นฐานของการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง

เครือข่ายของระบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งแต่ละโหนดถูกต่อเข้าด้วยกันโดยผ่านตัวเชื่อมต่อ (Coupler) ชนิด $N \times N$ แบบสตาร์ ทางด้านส่ง ข้อมูลบิต “1” จะถูกเข้ารหัสทางแสงให้กลายเป็นลำดับพัลส์ทางแสงที่มีอัตราพัลส์สูงมาก สำหรับข้อมูล “0” จะไม่ถูกเข้ารหัส ดังนั้นลำดับพัลส์จะกลายเป็นศูนย์ทั้งหมดดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครือข่ายระบบซีดีเอ็มเอในเส้นใยแก้วนำแสง

สัญญาณที่เข้ารหัสแล้วจะถูกเชื่อมต่อไปยังเส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิงเกิลโหมด (Single mode fiber) และกระจายไปสู่โหนดต่างๆ ที่อยู่เครือข่าย ในลำดับพัลส์จะมีรหัสเฉพาะในแต่ละโหนดไม่เหมือนกันซึ่งเป็นตัวบอกตำแหน่งที่อยู่ของโหนดต่างๆ การส่งข้อมูลจากโหนด j ไปยังโหนด K จะถูกเข้ารหัสกับข้อมูลของโหนด j สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ n ราย เราสามารถเขียนสมการของผู้ใช้บริการทั้งหมดในเครือข่ายได้ดังนี้

$$S_n(t) = Pb_n(t)C_n(t) \quad 0 \leq t < T = FT_c$$

$$z_1(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} r(t) \cdot s_1(t - \tau_n)$$

$$z_1(t) = \frac{1}{T_c} \int_0^T r(t)C_1(t)dt \quad (2.1)$$

2.3 สัญญาณรบกวนในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการเข้ารหัสแบบซีดีเอ็มเอ

ในที่นี้จะกล่าวถึงสัญญาณรบกวน (Noise) ที่มีอยู่ทางด้านการรับของเส้นใยแก้วนำแสง สัญญาณรบกวนจะมีอยู่ทุกที่ทุกเวลาขึ้นอยู่กับสถานที่และสภาพแวดล้อม ในระบบสื่อสารก็เช่นกัน ไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากสัญญาณรบกวนได้ สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับประสิทธิภาพของเครื่องรับในระบบสื่อสาร จำนวนสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในตัวเครื่องรับจะเป็นปัจจัยพื้นฐาน ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถของเครื่องรับ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสัญญาณรบกวนทั่วไปที่เกิดขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสง

2.3.1 พื้นฐานของสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในระบบสื่อสาร ซึ่งเป็นตัวรบกวนและระบบและยังเป็นตัวลดทอนรายละเอียดของข้อมูลระหว่างการสื่อสารด้วย สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ทางด้านรับสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ดังนี้

1. สัญญาณรบกวนอินทรินซิก (Intrinsic noise) เกิดจากผลทางกายภาพพื้นฐานในตัวอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในเครื่องรับ

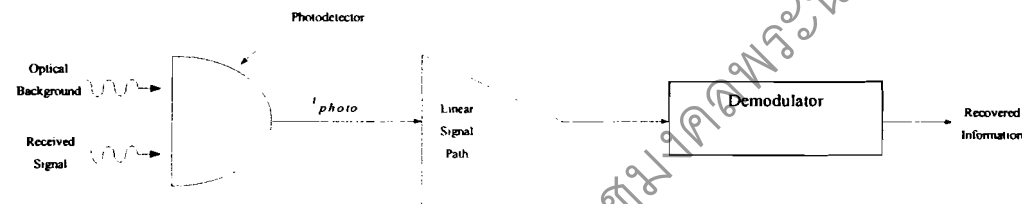
2. สัญญาณรบกวนเชื่อมร่วม (Coupled noise) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างวงจรกับสถานะแวดล้อมของเครื่องรับ

ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนอินทรินซิก คือสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal noise) ที่อยู่ในตัวต้านทาน สัญญาณรบกวนช็อตนอยส์ (Shot noise) ทางอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนในตัวทรานซิสเตอร์ และสัญญาณรบกวนแบบช็อตชนิดควอนตัมในตัวโฟโต-ดีเทกเตอร์ สัญญาณรบกวนทั้งหมดที่กล่าวมาจะถูกพบในเครื่องรับทางแสง สำหรับสัญญาณรบกวนเชื่อมร่วมจะเกิดจากแสงอาทิตย์ รังสีคอสมิก หรือการรบกวนจากชั้น

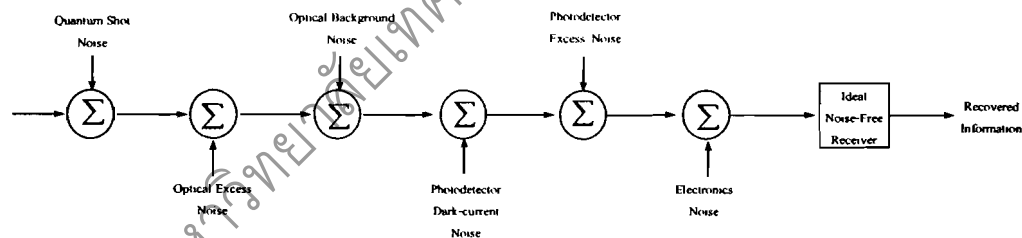
บรรยากาศ ที่อยู่ใกล้กับสายส่งสัญญาณ แหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น สัญญาณรบกวนนี้จะลดประสิทธิภาพของเครื่องรับในรูปแบบของการแทรกสอดหรือการไขว้แทรก (Cross talk) ที่วงจรจำนวนสัญญาณรบกวนเชื่อมรวมที่เกิดขึ้นที่เครื่องรับจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางกายภาพ และการวางวงจรของเครื่องรับที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นในการออกแบบเครื่องรับจะต้องทำการป้องกันให้ดี สัญญาณรบกวนเชื่อมรวมมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวนอินทรีนซิก

2.3.2 สัญญาณรบกวนที่เครื่องรับทางแสง

แบบจำลองเครื่องรับทางแสง สัญญาณที่รับเข้ามาและองค์ประกอบทางแสงต่างๆ เข้ามาที่โฟโตดีเทคเตอร์ ต่อจากนั้นจะเข้าไปที่ภาคขยายในรูปแบบของสัญญาณเชิงเส้นที่ภาคคิมอคูเลเตอร์นั้น สัญญาณจะถูกขยายและคืนรูปสัญญาณกลับมาเป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องส่ง ดังรูปที่ 2.2 ส่วนรูป 2.3 แสดงสัญญาณรบกวนหลัก 6 ตัวที่เกิดทางเครื่องรับ



รูปที่ 2.2 แบบจำลองของเครื่องรับทางแสง



รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนที่เกิดที่เครื่องรับ

สัญญาณรบกวนทั้ง 6 ตัวประกอบด้วย Quantum shot noise , Optical excess noise , Optical background noise , Photodetector dark current noise , Photodetector excess noise และ Electronic noise โดยที่ในงานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึง สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณรบกวนทางความร้อน ซึ่งมีอยู่ในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และตัวโฟโตดีเทคเตอร์ และ บีทโนイズ (Beat noise) ในหัวข้อด้านล่าง

2.3.2.1 สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน หรือเรียกอีกอย่างว่าสัญญาณรบกวนจอห์นสัน (Johnson noise) เป็นผลของการเปลี่ยนแปลงความร้อนในการประจุคลื่นพาห์ในตัวต้านทาน สำหรับเครื่องรับจะมีสัญญาณรบกวนแบบนี้อยู่มาก คลื่นพาห์จะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มในตัวต้านทานทั้งหมดที่อุณหภูมิมากกว่าศูนย์ จำนวนการเคลื่อนที่จะเป็นในรูปแบบฟังก์ชันของอุณหภูมิของตัวต้านทาน ความหนาแน่นเชิงสเปกตรัม (Power spectrum density) สำหรับสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนเป็นหัวใจของ white noise สำหรับความถี่ที่สูงขึ้นไปจนถึงความถี่อินฟราเรด และสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนเป็นผลจากการสะสมผลของจำนวนประจุแต่ละตัวที่เคลื่อนที่ ซึ่งมันจะแสดงสถิติแบบเกาส์ สำหรับค่าแรงดันเฉลี่ยที่เกิดจากตัวต้านทาน R ที่เป็นผลที่มาจากสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนจะมีรูปแบบดังสมการที่ 2.2

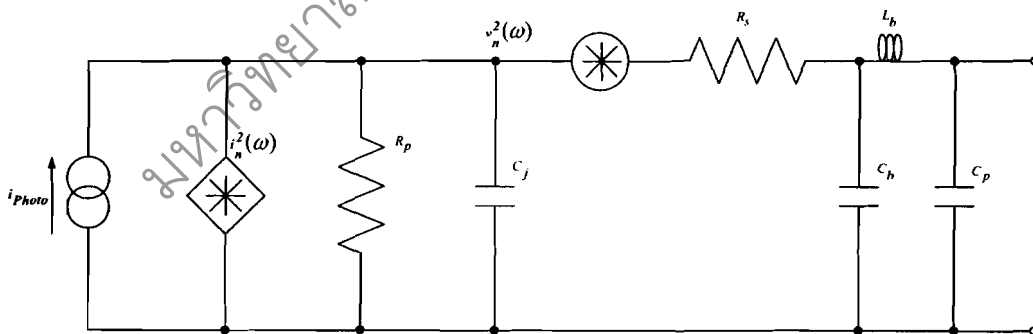
$$v_n = \sqrt{4kTBR} \quad (\text{Volts rms}) \quad (2.2)$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ Boltzmann

T คืออุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}K$

B คือ แบนด์วิคท์ในหน่วย Hz

สัญญาณรบกวนเชิงความร้อนจะเกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีตัวต้านทานประกอบอยู่ทั้งหมดซึ่งมันจะกระจายพลังงาน แต่จะไม่เกิดกับตัวต้านทานที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา และจะเกิดเฉพาะอุปกรณ์แบบแอคทีฟเท่านั้น



รูปที่ 2.4 สัญญาณรบกวนเชิงความร้อนที่อยู่ในโฟโตดีเทกเตอร์

2.3.2.2 สัญญาณรบกวนเชิงความร้อนที่โฟโตดีเทกเตอร์

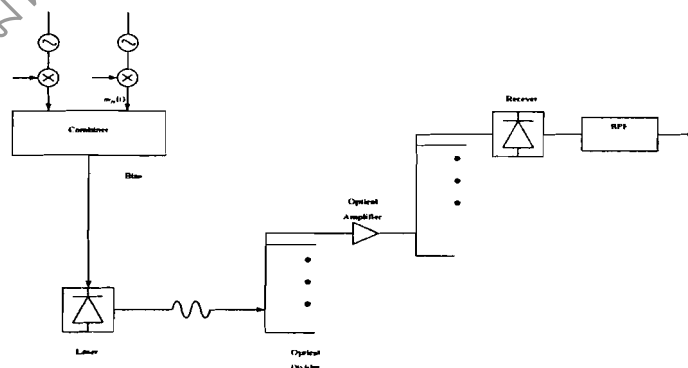
สัญญาณรบกวนเชิงความร้อนอยู่ในอุปกรณ์ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ซึ่งมักจะอยู่ในรูปตัวต้านทาน ดังนั้นจึงมีสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนเกิดขึ้นที่ตัวต้านทานที่อยู่

ภายในตัวโฟโตรีสซิสเตอร์ด้วย แสดงโดยตัวต้านทานแบบขนาน R_s , ความต้านทานแบบอนุกรม R_s สัญญาณรบกวนที่สัมพันธ์กับตัวต้านทานเหล่านี้สามารถแสดงรายละเอียดเป็นสัญญาณรบกวนเชิงกระแสในรูปแบบขนาน R_s และสัญญาณรบกวนเชิงแรงดันในรูปแบบอนุกรม R_s ดังในรูปที่ 2.4

ผลของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนที่โฟโตรีสซิสเตอร์จะมีผลกระทบจากการต่อโฟโตรีสซิสเตอร์อย่างไรในตัวโฟโตรีสซิสเตอร์ ตัวต้านทานแบบขนานคือตัวต้านทานที่เกิดจากรอยต่อและตัวต้านทานแบบนี้มีค่ามาก ซึ่งตัวที่สัมพันธ์กับสัญญาณรบกวนเชิงกระแสสามารถป้องกันได้ สำหรับตัวต้านทานแบบอนุกรมคือตัวต้านทานที่เกิดจากหน้าสัมผัสของสารกึ่งตัวนำ และเป็นตัวต้านทานแบบอนุกรมที่เกิดที่จุดต่อสายไฟและจุดเชื่อมในวงจร ตัวต้านทานแบบนี้มีค่าน้อยกว่า 10 โอห์ม ในตัว Photoconductor ตัวต้านทานแบบขนานจะมีการรวมตัวกันของกลไกความนำที่เหนือและค่าการนำพลังงานแสงให้เปลี่ยนค่าความนำของสารกึ่งตัวนำ และมีความสำคัญต่อการสนับสนุนประสิทธิภาพสัญญาณรบกวน สำหรับตัวต้านทานแบบอนุกรมนั้นความต้านทานที่เกิดจากหน้าสัมผัสโดยทั่วไปแล้วจะถูกตัดทิ้ง ตัวต้านทานแบบอนุกรมที่เหนือจะลดน้อยลงในค่าความนำที่เหนือ ค่าความนำทั้งหมดของตัวนำพลังงานแสงขึ้นอยู่กับจำนวนของความสว่าง ดังนั้นจำนวนของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนจะขึ้นอยู่กับความสว่างด้วย

2.4 เทรมผลคูณหลายช่องสัญญาณ (Inter-modulation Distortion Noise)

เมื่อสัญญาณอินพุตมีหลายช่องสัญญาณมาทางสายส่งสัญญาณเดียวกันผ่านไปยังอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ (Active Device) ผลคือสัญญาณเหล่านี้ก็เกิดการคูณกันของสัญญาณ (Beat) [9] ฉะนั้นสัญญาณรวมที่เอาต์พุตของอุปกรณ์แอคทีฟจึงเป็นผลรวมของสัญญาณจากพจน์ไฟตรง พจน์สัญญาณรวมกำลังที่หนึ่ง (First Order) , พจน์สัญญาณรบกวนที่สอง (Composite Second Order) , พจน์สัญญาณรบกวนที่สาม (Composite Triple Beat) และกำลังอื่นๆ



รูปที่ 2.5 ผลการรวมหลายช่องสัญญาณทำให้เกิดเทรมอื่นๆขึ้น

จากสมการทั่วไปของสัญญาณคือ $p(t) = P_o (1 + m_i \cos t)$ แยกพิจารณาสัญญาณรวมถึงอันดับที่สาม จะได้

$$p(t) = P_o \left[1 + m \cos \omega t + C_2 (m \cos \omega t)^2 + C_3 (m \cos \omega t)^3 \right]$$

$$p(t) = P_o \left[1 + m \cos \omega t + \frac{1}{2} C_2 m^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{2} C_3 m^3 \cos 3\omega t + \dots \right] \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.3) เมื่อแยกค่าสัมประสิทธิ์ออกมาพิจารณานาฬสัญญาณในเทอมที่มี 3 ความถี่ต่างๆ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ตามทฤษฎีตรีโกณมิติดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสัมประสิทธิ์เมื่อพิจารณานาฬของสัญญาณในเทอมที่มีความถี่ต่างๆ

ความถี่	สัญญาณ	กำลัง
$2\omega_1, 2\omega_2$	$\frac{1}{2} C_2 m^2$	$\frac{1}{8} C_2^2 m^4$
$\omega_1 \pm \omega_2$	$C_2 m$	$\frac{1}{2} C_2^2 m^4$
$3\omega_1, 3\omega_2$	$\frac{1}{4} C_3 m^3$	$\frac{1}{32} C_3^2 m^4$
$2\omega_1 \pm \omega_2, \omega_1 \pm 2\omega_2$	$\frac{1}{3} C_3 m$	$\frac{9}{32} C_3^2 m^4$

หากความถี่ที่ $2\omega_1$ และ $2\omega_2$ เป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง ซึ่งแถบความถี่อยู่ห่างจากความถี่อินพุตที่ต้องการและสามารถกรองออกไปได้โดยง่าย และที่ $\omega_1 \pm \omega_2$ เรียกว่าเป็นพจน์สัญญาณรวมกำลังที่สอง และ $2\omega_1 \pm \omega_2, \omega_1 \pm 2\omega_2$ เรียกว่าเป็นพจน์สัญญาณรวมกำลังที่สาม สัญญาณในเทอมนี้จะอยู่ใกล้หรือทับกันกับแถบความถี่หลักและไม่สามารถกรองออกไปได้ จึงเป็นสัญญาณรบกวนนั่นเอง อย่างไรก็ตามในเทอมที่อันดับสูงกว่านี้จะเป็นปัญหาเรื่องสัญญาณในเทอมที่นั่นเอง แต่จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณและกำลังจะลดลงจนสามารถพิจารณาที่พจน์สัญญาณรวมกำลังสามอย่างเดียวได้

ในการทำงานเดียวกันเทอมของการเกิดการคูณกับเทอมอื่นๆ ในพจน์สัญญาณรวมกำลังที่สาม 3 ครั้ง ได้ดัชนีการมอดูเลตเป็น m^3 เพราะฉะนั้นในเทอมกระแสของอันดับที่ 3 (i_{3rd}) เป็น

$$i_{3rd} = I_0 a_3^3 \cos \omega t$$

$$i_{3rd} = I_0 a_3^3 \cos 2\pi (f_i + f_j + f_k) t \quad (2.4)$$

เมื่อ a_3 เป็นสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของอันดับที่สาม ตามข้อกำหนดของเลเซอร์ไดโอดและได้กำลังของอันดับที่สาม (P_{3rd}) เป็นต้น

$$P_{3rd} = \frac{1}{2} I_0^2 a_3^2 m^6 \quad (2.5)$$

จำนวนเทรมที่เกิดจากการคูณกันของอันดับที่ 3 เท่ากับ

$$vc = \frac{3(N^2 - 2N + 1)}{8} \quad (2.6)$$

ได้ค่าเฉลี่ยกำลังสองสำหรับ 1 ช่องสัญญาณความถี่เป็น

$$i_{3rd}^2 = \frac{3(N^2 - 2N + 1) \left(\frac{1}{2} I_0^2 a_3^2 m^6 \right)}{8} \quad (2.7)$$

2.5 รีเลทีฟอินเทนซิตีโนยส์ (Relative Intensity Noise, RIN)

แสงจากเลเซอร์ไดโอดปล่อยออกมาเป็นแบบสุ่ม จึงเป็นสัญญาณรบกวนโดยธรรมชาติที่แสดงกำลังออกมา 1Hz เทียบกับค่ากำลังเฉลี่ยแสง โดยปกติแล้วเลเซอร์ที่มีคุณภาพดี เช่น DFB ค่าประมาณ -160 dB/Hz หรือได้กำลังรวมเมื่อรู้แถบความกว้างความถี่และกระแสแอตพัท

$$RIN = 10 \log_{10} \frac{d < P_{in}^2}{dF} \quad (2.8)$$

เมื่อ

RIN คือ สัญญาณรบกวนรีเลทีฟของเลเซอร์ (dB/Hz)

P_{in} คือ กำลังสัญญาณรบกวนทางอินพุต (W)

P คือ กำลังเลเซอร์ (W)

และคูณด้วยแถบความกว้างความถี่จะได้กำลังรีเลทีฟดังสมการ

$$P_{RIN} = (RIN)I_0^2 B \quad (2.9)$$

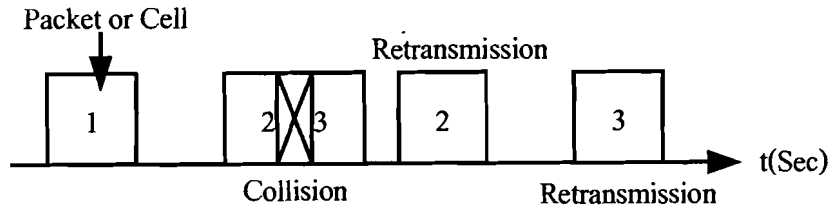
2.6 การเข้าถึงหลายทาง

การเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access) เกิดขึ้นจากมีความต้องการของผู้ส่งมากกว่าหนึ่งคน ขึ้นไปยังเครื่องรับเครื่องเดียว และการมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) สัญญาณดาวเทียมเพื่อส่งไปในตัวกลางเดียวกันนั้น สัญญาณจะถูกแบ่งด้วยจำนวนความถี่ของช่องสัญญาณ แบ่งเป็นสล็อตเวลา หรือจะถูกแบ่งเป็นรหัสช่องสัญญาณ

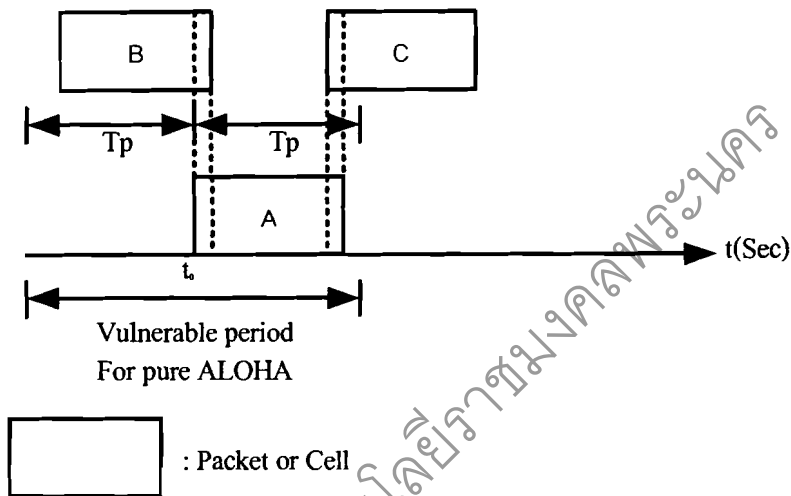
ถ้าการมัลติเพล็กซ์เปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณเช่นเดียวกับผู้ใช้บริการ ช่องสัญญาณจะถูกกำหนดหรือสร้างขึ้นเพื่อให้บริการแต่ละผู้ใช้บริการ (Fixed assignment multiple access) อย่างไรก็ตามในระบบโครงข่ายการสื่อสารผ่านดาวเทียมจะมีช่องสัญญาณน้อยกว่าผู้ใช้บริการ โดยที่ช่องสัญญาณสื่อสารถูกสร้างหรือกำหนดให้ ผู้ใช้บริการเฉพาะผู้ใช้บริการที่พร้อมทำการส่งข้อมูลข่าวสารโดยการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณเป็นแบบความถี่ (FDMA) , เวลา (TDMA) หรือจะเป็น (CDMA) แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะสนใจ การเข้าถึงหลายทางแบบสล็อตอะโลฮา (Stotted-Aloha) การเข้าถึงที่กล่าวมานี้จะมีคุณลักษณะที่สามารถนำไปใช้ได้กับการให้บริการต่างๆ ได้ เช่น real-time/non-real-time หรือ Continuous/Packet transmission เป็นต้น ซึ่งการเข้าถึงแบบสล็อตอะโลฮาจะกล่าวดังหัวข้อต่อไป และเนื่องจากสล็อตอะโลฮานี้เป็นการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random access) ซึ่งมีค่าน่วงเวลาจึงเหมาะสมและนิยมใช้ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเพราะมีระยะห่างระหว่างตัวดาวเทียมกับสถานีฐานมาก

2.6.1 วิธีอะโลฮา

วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้ชื่อมาจากระบบอะโลฮา ซึ่งเป็นโครงข่ายการสื่อสารที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแห่งฮาวาย และได้นำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1971 ในช่วงเริ่มต้นระบบนี้ใช้คลื่นวิทยุในย่าน UHF ในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่บนเกาะต่างๆ กับคอมพิวเตอร์หลักของมหาวิทยาลัย โดยใช้วิธีการเข้าถึงแบบสุ่มซึ่งเรียกว่า วิธีการเข้าถึงโดยวิธีอะโลฮา



รูปที่ 2.6 กลไกการชนกันของแพ็กเก็ตในวิธีอะโลฮา



รูปที่ 2.7 ช่วงเวลาที่ยังเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต

แนวความคิดของวิธีอะโลฮานี้ง่ายมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ผู้ใช้จะทำการส่งข่าวสารได้ทันทีทุกเวลาที่มีข่าวสารจะส่ง ผู้ใช้จะส่งข่าวสารในลักษณะเป็นแพ็กเก็ตโดยแต่ละแพ็กเก็ตจะถูกเข้ารหัสตรวจความผิดพลาด และแน่นอนเนื่องจากผู้ใช้แต่ละรายสามารถที่จะทำการส่งข่าวสารเมื่อใดก็ได้ ดังนั้นจึงอาจจะมีการชนกันระหว่างแพ็กเก็ตได้ตลอดเวลา เมื่อการส่งแพ็กเก็ตมีการซ้อนทับกันของเวลาขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการส่งแพ็กเก็ตแล้วผู้ใช้ต้องทำการรอเป็นช่วงเวลาเท่ากับค่าหน่วยเวลาในการเดินทางไปและกลับของคลื่นเพื่อรอรับสัญญาณ ACK (Acknowledgment) จากทางด้านรับ ถ้าทางด้านส่งไม่ได้รับ ACK จากทางด้านรับจะสรุปว่า การส่งแพ็กเก็ตนั้นไม่เป็นผลสำเร็จ และจะมีกระบวนการในการส่งซ้ำโดยจะทำการหน่วงเวลาแบบสุ่มก่อนเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตอีก

สมมุติว่าทุกแพ็กเก็ตมีความยาวที่เป็นมาตรฐานและแต่ละแพ็กเก็ตต้องการช่วงเวลา T_p เท่ากัน จะใช้ในการส่งแพ็กเก็ต จากรูปที่ 2.6 พิจารณาการส่งแพ็กเก็ต A ซึ่งเริ่มต้นที่เวลา t_0 กรณี

ที่อาจจะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้นก็คือ มีผู้ใช้รายอื่นที่ทำการส่งแพ็กเก็ต B ในช่วงเวลา ระหว่าง $t_0 - T_p$ ถึง t_0 โดยปลายของแพ็กเก็ต B จะชนกับจุดเริ่มต้นของแพ็กเก็ต A ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อช่วงเวลาในการเดินทางของคลื่นยาวนาน จนผู้ใช้ที่ทำการส่งแพ็กเก็ต A ไม่สามารถที่จะรู้ได้ว่าการส่งแพ็กเก็ต B ได้เริ่มขึ้นแล้ว ในทำนองเดียวกันถ้าผู้ใช้รายอื่นเริ่มต้นทำการส่งแพ็กเก็ต C ระหว่างช่วงเวลา t_0 ถึง $t_0 + T_p$ จุดเริ่มต้นของแพ็กเก็ต C ก็จะชนกับจุดปลายของแพ็กเก็ต A จากที่กล่าวมานี้จะเห็นว่าช่วงเวลาที่อาจจะเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต A กับแพ็กเก็ตอื่น จะมีค่าเป็น $2 T_p$ ซึ่งเป็น 2 เท่า ของช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต ถ้าหากว่ามีแพ็กเก็ต 2 แพ็กเก็ต เกิดการชนทับกัน แม้แต่เพียงเล็กน้อยแต่ละแพ็กเก็ตจะเกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งจะรู้ได้ทาง ด้านรับโดยตรวจจากบิตตรวจสอบความผิดพลาดของแต่ละแพ็กเก็ต และทางด้านรับจะไม่ทำการส่ง ACK สำหรับแพ็กเก็ตที่เกิดการชนกัน ดังนั้นแพ็กเก็ตที่เกิดการชนกันจะต้องทำการส่งซ้ำทุกแพ็กเก็ต

ต่อมากำหนดให้ S เป็นค่าควิสัยสามารถของช่องสัญญาณ ซึ่งนิยามโดยจำนวนเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ส่งสำเร็จต่อช่วงเวลา T_p ดังนั้นถ้าสมมุติว่ามีผู้ใช้ไม่จำกัดและให้ G เป็นค่าทราฟฟิก โหลด ซึ่งนิยามโดยจำนวนของความพยายามส่งแพ็กเก็ตต่อช่วงเวลา T_p ซึ่งจะรวมทั้งการส่งแพ็กเก็ตใหม่และการส่งแพ็กเก็ตเก่าซ้ำ ส่วนหน่วยมาตรฐานในการไหลของทราฟฟิก ก็คือ เอรต์ลิง ซึ่งตั้งตามชื่อของ A.K.Erlang นักคณิตศาสตร์ชาวเดนมาร์ก

ในที่นี้จะทำการนิยามค่าเอรต์ลิง โดยทำการแบ่งช่วงเวลาของช่องสัญญาณออกเป็นช่วงๆ ช่วงละ T_p วินาที และให้การไหลของทราฟฟิก 1 แพ็กเก็ตต่อเวลา T_p มีค่า 1 เอรต์ลิง โดยนิยามนี้จะเห็นว่าค่า S ไม่สามารถที่จะมีค่ามากกว่า 1 เอรต์ลิงได้ โดยปราศจากการชนกันและค่าควิสัยสามารถจะมีขอบเขตคือ $0 < S < 1$ ซึ่งจะเห็นว่าถ้า G มีค่าน้อย จะมีการชนกันเกิดขึ้นน้อยและมีการส่งซ้ำน้อย ดังนั้น $S \leq G$ ที่ทราฟฟิกน้อยๆ

ส่วนในกรณีที่ทราฟฟิกมากก็จะเกิดการชนกันมากและมีผลทำให้การส่งซ้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะได้ว่า $S \ll G$ และ S มีค่าลดลงเรื่อยๆจนเป็น 0

เพื่อที่จะทำการคำนวณค่าควิสัยสามารถ S ซึ่งเป็นฟังก์ชันของทราฟฟิกโหลด G จะทำการสมมุติว่ามีความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจำนวน k แพ็กเก็ตจะถูกสร้างภายในช่วงเวลาเท่ากับความยาว 1 แพ็กเก็ต จากการกระจายแบบปัวส์ซงของ (Poisson Distribution) ด้วยค่าเฉลี่ย G แพ็กเก็ตต่อความยาว 1 แพ็กเก็ตจะได้ว่า

$$P(k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (2.10)$$

ค่าควิสัยสามารถ S จะมีค่าเท่ากับทราฟฟิกโหลด G คูณกับค่าความน่าจะเป็นที่การส่งแพ็กเก็ตนั้นสำเร็จซึ่งสามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$S = GP_0 \quad (2.11)$$

เมื่อเรานิยาม p_0 เป็นค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดการชน ซึ่งก็คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีผู้ใช้รายใดทำการส่งแพ็กเก็ตขึ้นมาในช่วงเวลาที่จะเกิดการชนนั่นเอง จากสมการ (2.11) อัตราเฉลี่ยของการเข้ามาของแพ็กเก็ตใน 2 ช่องสล็อตเป็น $2G$ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแพ็กเก็ตอื่นถูกส่งในช่วงเวลานี้คือ

$$P_0 = e^{-2G} \quad (2.12)$$

ดังนั้นค่าวิสัยสามารถจะมีค่าเป็น

$$S = Ge^{-2G} \quad (2.13)$$

โดยที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดจะเกิดที่ค่ากราฟฟิกโหลด

$$G = 0.5 \quad (2.14)$$

และค่าวิสัยสามารถจะมีค่าเป็น

$$S = 0.5e \quad (2.15)$$

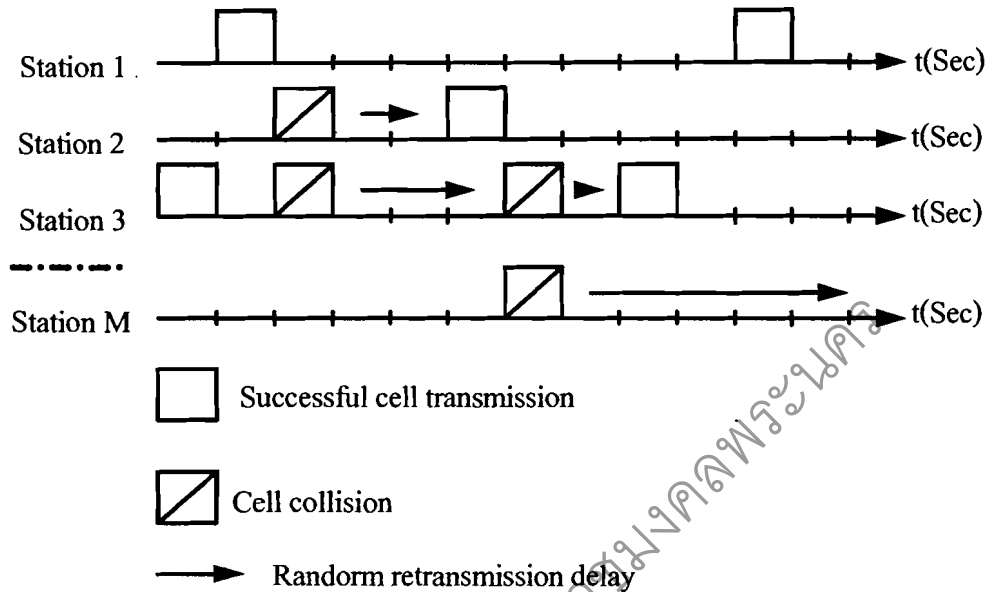
ซึ่งมีค่าประมาณ 0.184 ซึ่งหมายความว่าประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณสูงสุดของวิธีการเข้าถึงโดยวิธีอะโลฮาจะมีค่าเพียง 18% โดยประมาณเท่านั้น

ซึ่งตามที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่ากราฟฟิกโหลด G เป็นผลรวมของกราฟฟิกของโครงข่ายซึ่งรวมทั้งแพ็กเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นใหม่และแพ็กเก็ตเก่าที่ทำการส่งซ้ำ

2.6.2 วิธีสล็อตอะโลฮา

เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเข้าถึงโดยวิธีอะโลฮา ดังนั้นวิธีการเข้าถึงโดยวิธีสล็อตอะโลฮาจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยในวิธีนี้ช่วงเวลาในการส่งจะถูกแบ่งออกเป็นสล็อตเวลาโดยที่แต่ละ สล็อตเวลาจะมีความยาวเท่ากับความยาวของเซลล์ และผู้ใช้ทั้งหมดจะทำงานสอดคล้องกับสล็อตเวลาเหล่านี้ซึ่งทำได้โดยการส่งสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการชิงโครโมโซมจากสถานีควบคุมในโครงข่าย ดังนั้นเมื่อเทอร์มินอลผู้ใช้ทำการสร้างเซลล์ของข้อมูลขึ้นมาที่จะถูกส่งใน

สล็อตเวลาถัดไป ด้วยวิธีการเช่นนี้ช่วงเวลาที่อาจเกิดการชนกันของเซลล์จะลดลงเหลือเพียงช่วงเวลา 1 เซลล์เท่านั้น จาก 2 เซลล์ในวิธีอะโลฮา โดยที่วิธีการเข้าถึงโดยวิธีสล็อตอะโลฮานี้แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดในวิธีสล็อตอะโลฮา

เนื่องจากว่าช่วงเวลาที่อาจเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตลดลง 2 เท่า ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตจากสมการ 2.16 จะกลายเป็น

$$P_0 = e^{-G} \quad (2.16)$$

และค่าวิสัยสามารถของวิธีสล็อตอะโลฮาจะกลายเป็น

$$S = Ge^{-G} \quad (2.17)$$

ซึ่งค่าวิสัยสามารถต่อทราฟฟิกโหลดของวิธีการเข้าถึงโดยวิธีสล็อตอะโลฮานี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 โดยจะเห็นว่าค่าวิสัยสามารถมีค่าสูงสุดที่

$$G = 1 \quad (2.18)$$

ในขณะที่

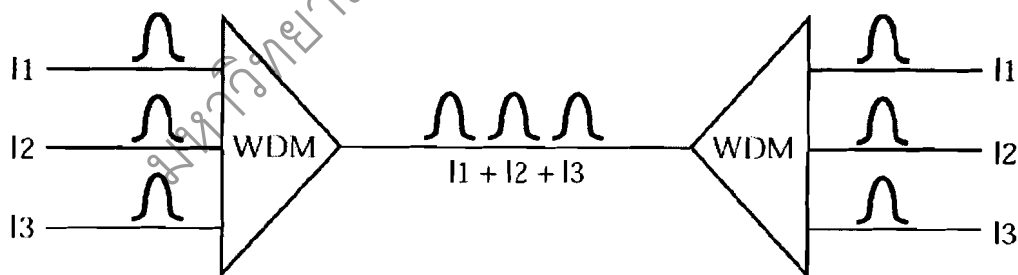
$$S = 1/e \quad (2.19)$$

หรือประมาณ 0.368 ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของวิธีอะโลฮา สังเกตว่าที่ค่าสูงสุดของค่าวิสัยสามารถนั้น 37% ของแพ็กเก็ตจะส่งได้สำเร็จในขณะที่ 37% วางเปล่า ซึ่งก็คือความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแพ็กเก็ตในสล็อตเวลาที่ G มีค่าเป็น 1 ดังนั้นจะมี 26% ที่เกิดการชน ถ้าเราทำการดำเนินการที่ทราฟฟิกโหลดที่มีค่าสูงมากแล้ว จำนวนของสล็อตที่ว่างและส่งสำเร็จจะลดลงในขณะที่จำนวนการชนกันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

วิธีการเข้าถึงโดยวิธีสล็อตอะโลฮานั้นถูกนำมาใช้ในการสื่อสารไร้สายในกรณีที่ค่าหน่วยเวลาในการสื่อสารมีค่ามาก เช่น โครงข่ายดาวเทียมและการสื่อสารด้วยการส่งข้อมูลแบบเคลื่อนที่

2.6.3 ระบบ WDM

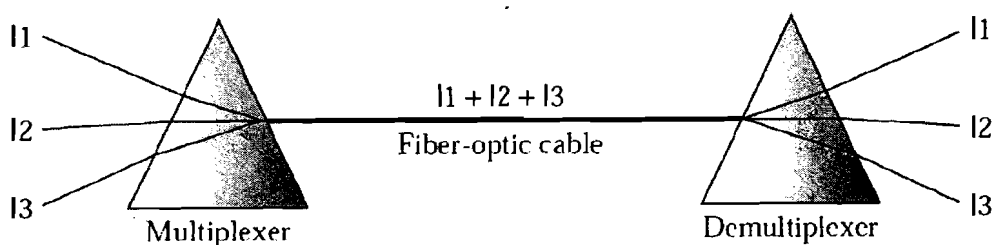
WDM หรือ Wavelength division multiplexing ถูกออกแบบมาใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงด้วยใยแก้วนำแสงแนวคิดของ WDM คล้ายกับ FDM คือทำการ MUX ข้อมูลโดยใช้สัญญาณพาหะต่างความถี่ต่างกันตรงที่ ความถี่นี้มีค่าสูงมาก จนอยู่ในย่านความถี่แสง โดยที่หลักการของ WDM ใช้วิธีการผสมแสงซึ่งมีแถบความถี่แคบ (ความยาวคลื่นสั้น) เข้าด้วยกันเป็นแสงที่มีแถบความถี่กว้าง การทำ MUX และ DEMUX จะใช้หลักการทางฟิสิกส์ของแสง



รูปที่ 2.9 หลักการสื่อสารข้อมูลระบบ WDM

เทคโนโลยีการทำ WDM (เช่นในระบบ SONET) มีความซับซ้อนมาก แต่สามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีฟิสิกส์พื้นฐานดังนี้ ทางด้านส่ง (MUX) ต้องการรวมแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันเข้าด้วยกัน

- ทางด้านรับ (DEMUX) ต้องการแยกแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกจากกัน
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้คือ Prism ที่หักเหแสงความถี่ต่างกัน ด้วยมุมต่างกัน ดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 2.10 หลักการรวมแสงและการแยกสัญญาณทางแสงของระบบ WDM

2.7 ระบบ PON (Passive Optical Network)

ระบบ PON (Passive Optical Network) หรือที่พวกเราคุ้นหูในชื่อว่า เทคโนโลยีไฟเบอร์ทูเดอะโฮม (FTTH) เป็นระบบ Access Network สมัยใหม่ที่มีแบนด์วิธที่สูง PON นั้นจะใช้โครงข่ายไฟเบอร์ออฟติกเพื่อเชื่อมต่อไปถึงลูกค้า ด้วยการส่งสัญญาณแสงผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสงสามารถให้แบนด์วิธที่สูงขึ้นและพื้นที่การให้บริการที่กว้างขึ้น ผู้รับบริการทั้งหมดในระบบ PON จะเชื่อมต่อเข้าระบบผ่าน Splitter นอกจากนี้ อุปกรณ์ในเครือข่าย PON นี้จะเป็นแบบ Passive ซึ่งไม่ใช้ไฟเลี้ยง ทำให้มีการบำรุงรักษาน้อยลงและเป็นการประหยัดพลังงานอีกด้วย ระบบ PON สามารถทำให้แอปพลิเคชันใหม่ๆ ที่ต้องการแบนด์วิธสูง อย่างเช่น Video on-demand ด้วยคุณภาพระดับ HDTV เป็นต้น

ในอนาคตอันใกล้เชื่อว่าเทคโนโลยี PON/FTTH นี้จะเข้ามามีบทบาทในวงการบรอดแบนด์ในบ้านเราอย่างแน่นอน เนื่องจากในปัจจุบัน ประเทศไทยมีโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงในส่วนที่ยังไม่ได้ใช้งานของหน่วยงาน/องค์กรต่างๆ ครอบคลุมทั่วประเทศเหลืออีกจำนวนมาก ซึ่งเทคโนโลยี PON/FTTH นั้นจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์ (Broadband Internet Service Provider) ที่ต้องการวางเครือข่ายเข้าถึง (Access Network) ไปยังกลุ่มลูกค้าที่ต้องการใช้บริการอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์ที่มีความเร็วสูง มีเสถียรภาพสูง แต่เครือข่ายสายโทรศัพท์ไปไม่ถึงได้ และเป็นการนำโครงข่ายใยแก้วนำแสงมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

บทที่ 3

การเข้ารหัสออปติคอลลซีดีเอ็มเอและสัญญาณรบกวนแบบ Beat

3.1 บทนำ

จากบทที่ผ่านมา เราได้กล่าวถึงการสื่อสารออปติคอลลซีดีเอ็มเอที่ใช้การเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอ (Optical CDMA communication) ไปบ้างแล้ว ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงออปติคอลลซีดีเอ็มเอโค้ด และออปติคอลลซีดีเอ็มเอโค้ดแบบ 2 ทิศทาง (2-dimension) และยังรวมไปถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทนอยส์ (Beat noise) ในระบบการเข้าถึงแบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2 ออปติคอลลซีดีเอ็มเอโค้ด

ออปติคอลลซีดีเอ็มเอโค้ดได้มีการพัฒนาจากการเข้ารหัสแบบ optical-orthogonal codes (OOCs) โดยที่โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายออปติคอลลซีดีเอ็มเอแบบซีดีเอ็มเอ ประกอบไปด้วยเซตของจำนวนโหนด N หรือผู้ใช้ (Users) และเซตของ optical-orthogonal codes (OOCs) ที่ $C = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{|C|}\}$ ด้วยสมาชิกเท่ากับ $|C|$ โดยที่สมาชิกจะขึ้นอยู่กับความยาวโค้ด และน้ำหนักของโค้ด w (Code weight) ซึ่งแต่ละโค้ดต้องหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-correlation) โดยที่แทนด้วย λ_u และ λ_c ตามลำดับ ในที่นี้หนดให้ $\lambda_u = \lambda_c = 1$ ทำให้สมาชิกเท่ากับของเซตของ optical-orthogonal codes มีค่าดังนี้

$$|C| = \left\lfloor \frac{L-1}{w(w-1)} \right\rfloor \quad (3.1)$$

ซึ่ง $\lfloor x \rfloor$ คือจำนวนเต็มบวกที่น้อยกว่าหรือเท่า x

จากการทำสหสัมพันธ์ และสหสัมพันธ์ข้ามพบว่าผลลัพธ์ทั้งหมดที่เอาที่พหุคูณด้านดีโค้ดจะมีแอมพลิจูดน้อยกว่าหรือเท่ากับ λ_u ยกเว้นผลลัพธ์ที่ได้กับตัวมันเองจะมีแอมพลิจูดเท่ากับน้ำหนักโค้ด ซึ่งพบว่าอาจจะไม่มีความหมายถ้าทางด้านรับถูกชิงโครนัสกับตำแหน่งของพีคอัตราสหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการเข้าถึงแบบซิงโครนัสซีดีเอ็มเอ (Synchronous CDMA) และสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากกว่าแบบ อะซิงโครนัสซีดีเอ็มเอ (Asynchronous CDMA)

คุณสมบัติของการเข้ารหัสแบบ OOC หรือ optical-orthogonal codes ที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

1. แต่ละรหัสต้องมีค่าพีคของอัตราสหสัมพันธ์สูงมากๆ นั่นคือ

$$\sum_{j=0}^{F-1} Cn(j)Cn(j) = w \gg 0 \quad (3.2)$$

ซึ่ง w คือจำนวนบิต “1” ในลำดับโค้ด ซึ่งเรียกว่าน้ำหนักโค้ด (Code weight)

2. แต่ละรหัสจะต้องมีลักษณะเด่นที่ไม่เหมือนกัน หมายความว่าลำดับโค้ดจะต้องมีหน้าตาไม่เหมือนกัน ค่าสหสัมพันธ์ข้ามของระหว่าง 2 โค้ดจะต้องมีค่าต่ำมากๆ ดังนี้

$$\sum_{j=0}^{F-1} Cn(j)Cn(j-l) \leq \lambda_c \text{ สำหรับ } 0 \leq l \leq F-1 \quad (3.3)$$

ซึ่ง λ_c หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-correlation)

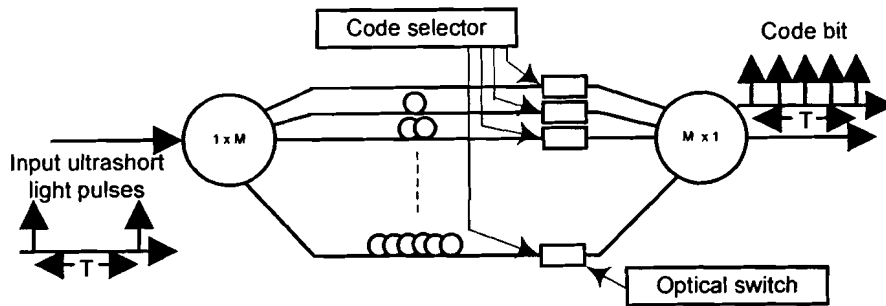
3. แต่ละรหัสจะต้องมีลักษณะเด่นจากการเลื่อนบิตของตัวเอง

$$\sum_{j=0}^{F-1} Cn(j)Cn(j-l) \leq \lambda_o \text{ สำหรับ } 0 \leq l \leq F-1 \quad (3.2)$$

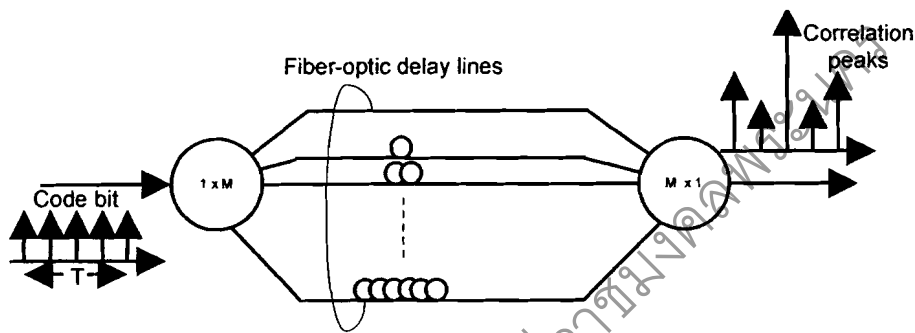
ซึ่ง λ_o หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ดังนั้นจากคุณสมบัติดังกล่าวมานี้ เหน็นอนว่าพัลส์ทั้งหมดที่เอาที่พุดทางดีโค้ดเดอร์ (Decoder) จะมีแอมพลิจูดน้อยกว่าหรือเท่ากับ λ_o ยกเว้นพัลส์ที่ดีโค้ดกับตัวมันเองจะมีแอมพลิจูดเท่ากับ K เงื่อนไขนี้อาจจะ ไม่มีความหมายถ้าทางด้านรับถูกชิงโครน์สกำกับตำแหน่งของพีคส์สหสัมพันธ์ และจากคุณสมบัติที่ 3 จะถูกคำนึงถึงในกรณีของการเข้าถึงหลายทาง ซึ่งหมายถึงการเข้าถึงแบบอะซิงโครน์ส โดยจำนวนของลำดับโค้ดจะลดลงโดยตัวแปลหรือแฟกเตอร์ $F-1$ และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของชิงโครน์สแล้ว พบว่าสำหรับแบบชิงโครน์สนั้นจะมีการเลื่อนบิตจำนวน $F-1$ ครั้งของลำดับโค้ด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ด้วย

โดยทั่วไปโค้ดจะถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว คือ $F, w, \lambda_c, \lambda_o$ และประสิทธิภาพของระบบ CDMA ในเส้นใยแก้วนำแสงจะขึ้นอยู่กับการเลือกพารามิเตอร์เหล่านี้ สำหรับโครงสร้างของการเข้ารหัสและการถอดรหัสของระบบ CDMA มีวิธีการดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.1 ก โครงสร้างการเข้ารหัสของการเข้าถึงแบบ CDMA



รูปที่ 3.1 ข โครงสร้างการถอดรหัสของการเข้าถึงแบบ CDMA

จากรูปที่ 3.1.ก ทางด้านเครื่องส่งจะมีอุปกรณ์แบ่งแยกสัญญาณ (Splitter) $1 \times M$ เพื่อแบ่งพัลส์ 1 พัลส์ที่เข้ามา ไปสู่ M พัลส์ด้วยกำลังงานที่เท่ากัน และ M พัลส์ เหล่านี้จะถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงแบบหน่วงเวลา (Fiber optic delay line) ที่ต่อขนานกันอยู่ พัลส์ที่เข้ามาจะถูกหน่วงเวลาแตกต่างกันไป และจะถูกนำมารวมกันที่อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Coupler) $M \times 1$ ก็จะได้รูปแบบลำดับไค้ด CDMA

ส่วนทางด้านเครื่องรับ อุปกรณ์ดีไค้ดเดอร์ทางแสงจะประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบหน่วงเวลาที่ต่อขนานกัน โดยต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งบิต “1” ของลำดับไค้ด สัญญาณแสงทางด้านรับจะแยกชิพบิตเข้าไปตามเส้นใยแก้วนำแสง แล้วนำกลับมารวมสัญญาณกันใหม่ที่ทางด้านเอาท์พุท สำหรับทางด้านเอาท์พุทของดีไค้ดเดอร์จะถูกตรวจสอบระดับสัญญาณด้วยอุปกรณ์ตรวจจับระดับจุดเปลี่ยน (Threshold) ด้วยโฟโอดีเทคเตอร์เพื่อให้ได้สัญญาณกลับมามีเดิม เมื่อระดับสัญญาณสูงกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนจะถอดรหัสออกมาเป็นบิต “1” แต่ถ้าระดับสัญญาณต่ำกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนจะถอดรหัสออกมาเป็นบิต “0”

ความผิดพลาดจากการดีไค้ดเดอร์จะเกิดขึ้นเมื่อโหนดส่งบิต “0” และการแทรกสอดเนื่องจากโหนดอื่นๆ จำนวน $N-1$ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดค่าผิดพลาดสัมพันธ์ข้ามเกินระดับจุดเริ่มเปลี่ยน

ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดขึ้นอยู่กับระดับจะเริ่มเปลี่ยน คุณสมบัติสหสัมพันธ์ของโค้ด และจำนวนของสัญญาณแทรกสอด

ตัวอย่างให้โค้ดที่มีพารามิเตอร์ $(F, w, \lambda_o, \lambda_c)$ มีการจำกัดของสหสัมพันธ์ข้าม $\lambda_c = 1$ ถ้าจำนวนทั้งหมดของสัญญาณแทรกสอด $N-1$ มีค่าน้อยกว่าน้ำหนักโค้ด K จะไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ถ้ามีการให้เลือกระดับจุดเริ่มเปลี่ยน $Th > N-1$ (โดยในที่นี้ไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนอื่นๆ เช่นสัญญาณรบกวนควอนตัม และสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน) ถ้าจำนวนสัญญาณของการแทรกสอดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักโค้ด (if $N-1 \geq K$) แล้วสัญญาณแทรกสอดจะทำให้ฟังก์ชันของสหสัมพันธ์ข้ามมีค่ามากกว่าค่า Th ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น (โดยในที่นี้ Th จะต้องกำหนดค่าให้ต่ำกว่า K สำหรับการตรวจจับของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการ)

การจำกัดของค่าอัตราสหสัมพันธ์จะมีค่าเท่ากับ 1 ($\lambda_o = 1$) ส่วนค่าอัตราสหสัมพันธ์ข้ามจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2 ($\lambda_c = 1$ or 2) โดยที่จำนวนสูงสุดของผู้ใช้บริการ N ถูกกำหนดจากสมการด้านล่าง

$$N \leq \text{int} \left\lfloor \frac{F-1}{w(w+1)} \right\rfloor \quad (3.4)$$

สำหรับความยาวโค้ด F ใช้เพื่อจำนวนของผู้ใช้บริการ N ราย ส่วนค่าของ w จะทำให้มีค่าน้อยๆ ซึ่งของค่า F และ N จะใช้เป็นตัวกำหนดจำนวนของชิปิต “1” ดังสมการที่ (3.4)

$$1 \leq w \leq \frac{1 + \sqrt{1 + 4(F-1)/N}}{2} \quad (3.5)$$

3.3 คุณสมบัติของออฟติคอลลซีดีเอ็มโค้ดแบบ 2-ทิศทาง

เมื่อพิจารณาถึงออฟติคอลลซีดีเอ็มโค้ดแบบ 2-ทิศทาง (2-Dimansion optical orthogonal code) ที่มีพารามิเตอร์ $(m \times n, w, \lambda_o, \lambda_c)$ โดยที่ $(m \times n)$ คือเมทริกซ์ด้วย แถว m คือจำนวนของความยาวคลื่นแสง (Wave length) หลัก n คือความยาวช่วงขณะหนึ่ง (Temporal length) และ w คือน้ำหนักโค้ด ซึ่งคุณสมบัติของออฟติคอลลซีดีเอ็มโค้ดแบบ 2-ทิศทาง มีดังนี้

1 แต่ละรหัสจะต้องมีลักษณะเด่นจากการเลื่อนบิตของตัวเอง

$$\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} x_{i,j} x_{j \oplus F} \leq \lambda_o \text{ สำหรับ } 0 \leq l \leq F-1 \quad (3.6)$$

ซึ่ง λ_c หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และ $x \in C$

2 แต่ละรหัสจะต้องมีลักษณะเด่นที่ไม่เหมือนกัน หมายความว่าลำดับ โค้ดจะต้องมีหน้าตาไม่เหมือนกัน ค่าสหสัมพันธ์ข้ามของระหว่าง 2 โค้ดจะต้องมีค่าต่ำมาก ๆ ดังนี้

$$\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} x_{i,j} x_{j \oplus F} \leq \lambda_c \text{ สำหรับ } 0 \leq l \leq F-1 \quad (3.7)$$

ซึ่ง λ_c หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-correlation) และ $x \neq y \in C$

และจำนวนสมาชิกที่เป็นไปได้ของโคด C ที่ $\lambda_u = \lambda_c = \lambda$ มีค่าดังนี้

$$\Phi_C(m \times n, \lambda, \lambda) \leq \frac{m(mn-1)(mn-2) \dots (mn-\lambda)}{w(w-1)(w-2) \dots (w-\lambda)} \quad (3.8)$$

3.4 สัญญาณรบกวนบีทน้อยสที่เกิดขึ้นในระบบซีดีเอ็มเอที่ใช้การเชื่อมโยงทางแสง

ในระบบซีดีเอ็มเอที่ใช้การเชื่อมโยงทางแสง คลื่นจำนวนหลายสัญญาณถูกส่งออกมาพร้อมกันไปยังภาครับที่โฟโอดีโคดซึ่งทำหน้าที่ดีเทคสัญญาณแสง เราสามารถพิจารณาปริมาณของบีทน้อยส (Beat noise) ที่เกิดขึ้นได้ที่ภาครับนี้ โดยจะแสดงการคำนวณกำลังของบีทน้อยสที่เกิดขึ้นในระบบ ซีเอ็มเอ

ในระบบซีดีเอ็มเอที่มีการเชื่อมโยงทางแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนั้น เมื่อมีการส่งสัญญาณแสงพร้อมๆกันไปยังภาครับที่โฟโอดีโคด ปรากฏการณ์ช็อตน้อยส (Short noise) จะเกิดขึ้นมากกว่าบีทน้อยสที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นโฟโอดีโคดจะมีความถี่ที่ต่ำกว่ากันของบีทน้อยสเกิดขึ้นในบ้านของเครื่องรับ ผลของบีทน้อยสจะได้มีการพิสูจน์ตามทฤษฎีของชู และกิกกี ในส่วนของการมัลติเพล็กซ์โคฮีเรนต์ โดยบีทน้อยสจะถูกผลิตโดยแหล่งกำเนิดแสง เราจะมี การนำหลักการทางคณิตศาสตร์มาทำการพิสูจน์ในการคำนวณสัญญาณรบกวนบีทน้อยสที่เกิดขึ้นในระบบซีดีเอ็มเอ

โดยที่การคำนวณกำลังของสัญญาณบีทน้อยสจะมีการเริ่มพิจารณาจากผลรวมของสัญญาณคลื่นแสงสองสัญญาณที่ถูกคัปเปิลโดยโฟโอดีโคดเข้าไปยังภาครับสัญญาณคลื่นแสงตัวกรองความถี่ต่ำ ระบายแรงดันขาออกของภาครับจะแปรผันโดยตรงกับสัญญาณแสงสองสัญญาณเป็นส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้าตรงที่ถูกกรองโดยวงจรกรองความถี่ต่ำ ตัวอย่างเช่นในกรณีของคลื่นโคฮีเรนต์ สัญญาณขาเข้าที่มีความถี่แตกต่างกันจะเกิดขึ้นที่ภาครับ ในเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสงส่วนของแหล่งจ่ายเคมีคอนดัคเตอร์ คลื่นแสงแต่ละคลื่นจะผ่านกระบวนการสุ่ม โดยทั่วไปคลื่น

แสงสัญญาณที่ผ่านการโพลาไรซ์จะมีค่า ψ_1 และ ψ_2 ที่ได้มาจากการขยาย แรงดันขาออกโดยการรวมคลื่นแสงแต่ละคลื่นแสงในส่วนประกอบที่ตั้งฉากกัน ดังนั้นจะได้ว่า ψ_{1x}, ψ_{1y} เป็นส่วนประกอบของ x และ y ตามลำดับซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ψ_1 ซึ่ง ψ_{2x}, ψ_{2y} เป็นส่วนประกอบที่สอดคล้องกันกับ ψ_2 โดยกำลังของสัญญาณแสงจะถูกแสดงดังสมการที่ (3.9) ดังนี้

$$P_0(t) = (\psi_{1x}(t) + \psi_{2x}(t))^2 + (\psi_{1y}(t) + \psi_{2y}(t))^2 \quad (3.9)$$

สัญญาณไฟฟ้าจะถูกสร้างโดยกำลังแสงที่คืบเปิดไปยังภาชนะขยายตัวกรองความถี่ต่ำ ซึ่งจะไม่มีการพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงซึ่งกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นส่วนประกอบของบิตที่ได้นี้ได้แก่บิตที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นที่ภาชนะขยายสัญญาณขาออกที่ผ่านการกรองโดยการกรองความถี่ต่ำจะมีสมการเป็นดังนี้

$$b(t) = 2RZ(\psi_{1x}(t)\psi_{2x}(t) + \psi_{1y}(t)\psi_{2y}(t)) \quad (3.10)$$

การคำนวณกำลังของบิตที่น้อยที่สุดที่ภาชนะขยายสัญญาณขาออกโดยพิจารณาความหนาแน่นของสเปกตรัม (Spectrum) ของกำลังของสัญญาณ $b(t)$ จากฟังก์ชันของออโตคอร์เรชันของออโตคอร์เรชันของ $b(t)$ โดยมีการพิจารณาค่าส่วนประกอบของ x และ y ของแสงที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\psi_{1x}(t) = u(t)\cos\phi,$$

$$\psi_{1y}(t) = u(t - d_1)\sin\phi,$$

$$\psi_{2x}(t) = v(t)\cos\phi,$$

$$\psi_{2y}(t) = v(t - d_2)\sin\phi, \quad (3.11)$$

เมื่อมุม ϕ และ θ คืออยู่ในช่วง $[0, 2\pi)$ และสัญญาณคู่มีค่าหน่วยเวลาเป็น d_1 และ d_2 สำหรับคลื่นที่ถูกโพลาไรซ์จะมีมุมเท่ากัน คือ $d_1 = d_2 = 0$ ดังนั้น ฟังก์ชันของออโตคอร์เรชันของสัญญาณ $b(t)$ แสดงเป็นดังนี้

$$E(b(t)b(t-\tau)) = QC^2 U(\tau) V(\tau) \quad (3.12)$$

กำหนดให้ $C = R \cdot Z$ และ $U(\tau)$ และ $V(\tau)$ คือฟังก์ชันออโตคอร์เรเลชันตามลำดับ ค่าคงที่ Q มีค่าเท่ากับ 2 สำหรับกรณีของคลื่นแสงที่มีการโพลาไรเซชัน และมีค่าเท่ากับ 4 โดยจะมีการแทนค่าฟูเรียรทรานส์ฟอร์ม และจะได้ค่า PSD ของ $b(t)$ เป็นดังนี้

$$G_b(f) = QC^2 G_{0,1}(f) * G_{0,2}(f) \quad (3.13)$$

เมื่อ $*$ คือค่าคอนโวลูชัน $G_{0,1}(f)$ และ $G_{0,2}(f)$ คือ PSD's ตามลำดับ สำหรับกรณีของคลื่นแสงจำนวน K สมการที่ 3.5 สามารถหาค่าได้เป็น

$$G_b(f) = \frac{QC^2}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1 - \delta_{ij}) G_{ij}(f) \quad (3.14)$$

เมื่อ δ_{ij} คือ โครเนกเกอร์เดลต้ามีค่าเท่ากับ 1 ถ้า $i = j$

$$G_{ij}(f) = G_{0,i}(f) * G_{0,j}(f) \quad (3.15)$$

ดังนั้นกำลังของสัญญาณบีทน้อยส์คือ

$$P_{beat,K} = \frac{QC^2}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1 - \delta_{ij}) \int_{-\infty}^{\infty} |G_{ij}(f)|^2 df \quad (3.16)$$

เมื่อ $Z^* H(f)$ ทรานส์เฟอฟังก์ชันของภาคขยายสัญญาณตัวกรองความถี่ต่ำ การคำนวณสามารถทำได้ง่ายโดยจะสังเกตเห็นว่าในทางปฏิบัติ $G_{ij}(f)$ ค่าคอนโวลูชันของสเปกตรัมของสัญญาณแสงจะถูกประมาณค่าเป็นแบนด์วิทแคบของภาครับ ดังนั้นกำลังสัญญาณรบกวนบีทน้อยส์จะถูกประมาณค่าเป็นดังนี้

$$P_{beat,K} = QC^2 B_n \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1 - \delta_{ij}) G_{ij}(0) \quad (3.17)$$

เมื่อ

B_n คือ ค่าแบนด์วิธของน้อยสที่เครื่องรับ

เราพิจารณา ในกรณีคลื่นแสงทั้งหมด K มีการแบ่งตามชนิดของสเปกตรัมและความกว้าง สำหรับสเปกตรัมทางแสงสองชนิดคือ

1.แบบเกาส์เซียน

$$G_{0,k}(f) = \frac{P_k}{2} \left(\frac{e^{-(-f-f_k)^2/2\sigma^2} + e^{-(-f+f_k)^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma}} \right) \quad (3.18)$$

เมื่อ P_k และ f_k คือกำลังแสงเฉลี่ยและการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายที่ K

2.แบบลอเรนเซียนเป็นดังสมการ

$$G_{0,k}(f) = \frac{P_k}{2} \left(\frac{P_k \tau_c}{1 + (2\pi \tau_c (f - f_k))^2} + \frac{P_k \tau_c}{1 + (2\pi \tau_c (f + f_k))^2} \right) \quad (3.19)$$

เมื่อ τ_c คือคาบเวลาแหล่งจ่ายโคฮีเรนท์ ในกรณีนี้กำลังของบีทน้อยสสำหรับแหล่งจ่าย เกาส์เซียนและจ่ายลอเรนเซียนเป็นดังนี้ตามลำดับ

$$P_{beat}(G), K = \frac{QC^2}{4\sigma} \frac{B_n}{\sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1 - \delta_{ij}) P_i P_j e^{-\Delta f_{ij}^2 / 4\sigma^2} \quad (3.12)$$

$$P_{beat}(G), K = \frac{QC^2 B_n \tau_c}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1 - \delta_{ij}) P_i P_j \frac{1}{1 + (\pi \tau_c \Delta f_{ij})^2} \quad (3.21)$$

เมื่อ $\Delta f_{ij} = |f_i - f_j|$

ผลที่ได้จากสมการสามารถใช้ในกรณีแหล่งจ่ายที่มีกำลัง P_w ขณะที่แหล่งจ่ายอื่นๆ เป็น $K-1$ มีกำลัง P_j และแหล่งจ่ายทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันโดยการโพลาริเซชัน สมมติว่าให้

กรณีที่ไม่มีความแตกต่างในเรื่องของแหล่งจ่ายความถี่ที่แตกต่างกัน ในกรณีนี้กำลังของบีทน้อยส์สำหรับเกาส์เซียนสเปกตรัม และคลื่นแสงลอเรนเซียนสเปกตรัม สามารถหาได้ตามลำดับดังนี้

$$P_{beat(G),K} = \frac{C^2 B_n}{2\sigma\sqrt{\pi}} (2(K-1)P_W P_I + (K-2)P_I^2)$$

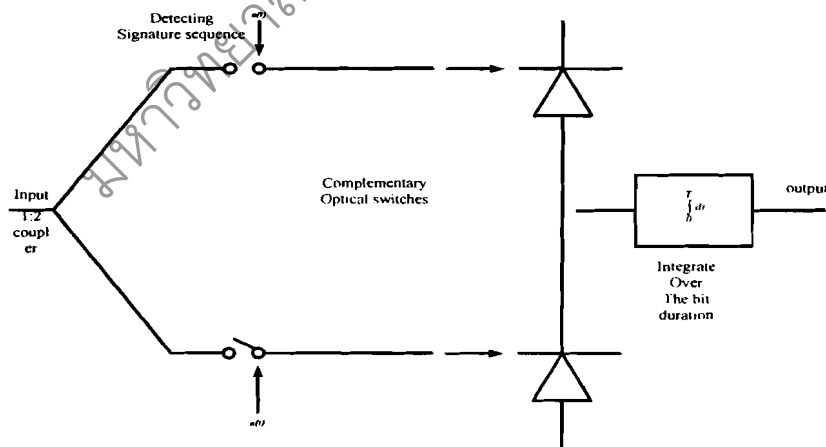
$$P_{beat(G),K} = C^2 B_n \tau_c (2(K-1)P_W P_I + (K-2)P_I^2) \quad (3.22)$$

กำลังของซีทน้อยส์มีค่าดังนี้

$$P_{shot,K} = 2qR ((K-1)P_W P_I) Z^2 B_n \quad (3.23)$$

เมื่อ q คือประจุทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่กำลังของบีทน้อยส์จะเพิ่มทั้งจำนวนโหนด และกำลังแต่ละแหล่งจ่าย

ตัวอย่างผลของบีทน้อยส์ในระบบการเชื่อมโยงสัญญาณแสงแบบซีดีเอ็มเอมจะมีการแสดงโดยภาครับ SIK วิเคราะห์โดยการไม่พิจารณาค่าบีทน้อยส์ แต่เราจะแสดงผลลัพธ์โดยพิจารณาค่าบีทน้อยส์ โดยสมมุติให้แหล่งจ่ายแสงคือสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ซึ่งมีเกาส์เซียนสเปกตรัมเนื่องจากความถี่ไม่คงที่



รูปที่ 3.2 การสวิตช์ทางแสง (Complementary Optical Switches)

ในระบบซีดีเอ็มเอ SIK ผู้ใช้ส่งลำดับสัญญาณ หรือออโธโกนอลคอมเพลเมนต์สำหรับ ข้อมูลศูนย์หรือหนึ่งตามลำดับดังแสดงในรูปที่ ก.1 พิจารณาในเครื่องรับไบนารีออโธโกนอลคอลลีเเตอร์ซึ่งสวิตช์ทางแสงประกอบด้วยสัญญาณที่มีการคอลลีเลชัน กำลังของบีทน้อยสที่สัญญาณขาออกของเครื่องรับจะมีการพิจารณาดังนี้ ข้อที่หนึ่งคาบเวลาโคฮีเรนซ์ของแหล่งจ่ายแสงถูกเลือกให้น้อยกว่าความกว้างชิปส์ ฟังก์ชันของคอลลีเลชันของแสงที่โฟโต้ไดโอดสองตัวถูกตัดทิ้ง ด้วยเหตุนี้ขนาดของบีทน้อยสที่สร้างขึ้นโดยไดโอดสองตัวจะถูกไม่ถูกคอลลีเลตกัน ข้อที่สองกำลังของเครื่องรับ คือ P_S ผู้ใช้ที่มีแสงเฉลี่ย $P_x/4$ จะส่งไปยังหนึ่งตัว ผู้ใช้ที่มีการแทรกสอดจะมีกำลังแสงเฉลี่ย $P_x/8$ จะส่งไปยังไดโอดสองตัว ด้วยเหตุนี้สมการที่ 3.21 และ 3.22 มีค่าสอดคล้องดังนี้ $P_w = P_S/4$ และ $P_i = P_S/8$ สำหรับไดโอดหนึ่งตัว และ $P_w = 0$, $P_i = P_S/8$ สำหรับกรณีอื่นๆ ดังนั้นจากการสังเกตดังกล่าวอัตราส่วนบีทน้อยสต่อช็อตน้อยสมีค่าเป็น

$$\gamma = \frac{(K-1)RP_S}{32q\sigma\sqrt{\pi}} \quad (3.24)$$

เมื่อ K คือจำนวนผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณพร้อมกันและสมมติให้ไดโอดถูกบาลานซ์ ด้วยเหตุนี้สัญญาณขาออกของเครื่องรับมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเป็นดังนี้

$$SNR = \frac{(RP_S)^2}{(RP_S)^2 \frac{2(K-1)}{3} + \frac{16}{T} \left((1+\gamma) \frac{qRK P_S}{4} + 2qI_{dk} + N_{th} \right)} \quad (3.25)$$

เมื่อ

T คือ ค่าความกว้างบิต

N คือ ค่าจำนวนของชิปส์ของสัญญาณแสง

I_{dk} คือ ค่าคุณลักษณะของไดโอด

N_{th} คือ ค่า PSD ของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

บทที่ 4

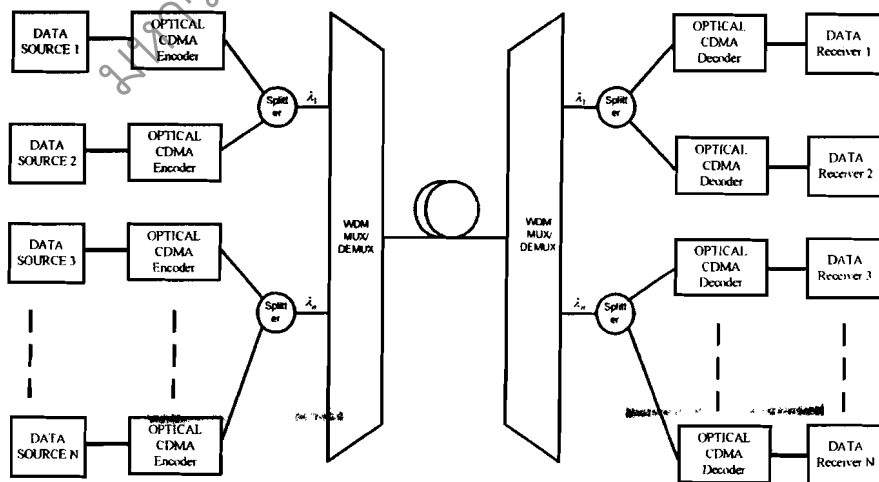
การวิเคราะห์ระบบออฟติคอลลซีดีเอ็มเอบนโครงข่าย WDM

4.1 บทนำ

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงรูปแบบและคุณลักษณะต่างๆ ของการเข้ารหัส ซึ่งทั้งหมดเป็นการเข้ารหัสที่ใช้ในระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพและสมรรถนะของการนำเอาระบบระบบออฟติคอลลซีดีเอ็มเอมารวมกันบนโครงข่าย WDM เมื่อพิจารณาถึงการเข้ารหัสแบบ 2-D และยังรวมไปถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทนอยส์ (Beat noise) อีกด้วย โดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้ MAC โปรโตคอลแบบสุ่ม (Random access MAC control protocols) จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ ส่วนผลการวิเคราะห์จะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

4.2 โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากรูปที่ 1 ผู้ใช้บริการจะถูกกำหนดโค้ดให้แต่ละผู้ใช้บริการที่ทางด้านเครื่องส่ง (Optical CDMA encoder) บนช่องสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งสามารถเข้าโค้ดได้ทั้งแบบหนึ่งทิศทาง (1-dimension) และสองทิศทาง (2-dimension) โดยที่ในบทความนี้ใช้แบบ 2-D หรือสองทิศทาง (2-dimension) นั้นเอง (จะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป) และยังได้คำนึงถึงการเข้าถึงแบบออฟติคอลลซีดีเอ็มเอบนโครงข่าย WDM PON (passive optical network: PON) ซึ่ง WDM นี้ มีแลมดาค์เป็น λ_n ที่ $n=1,2,3,\dots,N$ ซึ่งพบว่าค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุดของการเข้าถึงแบบออฟติคอลลซีดีเอ็มเอบนโครงข่าย WDM PON มีค่าเพิ่มมากขึ้น K เท่าเมื่อเทียบกับ WDM PON ธรรมดา

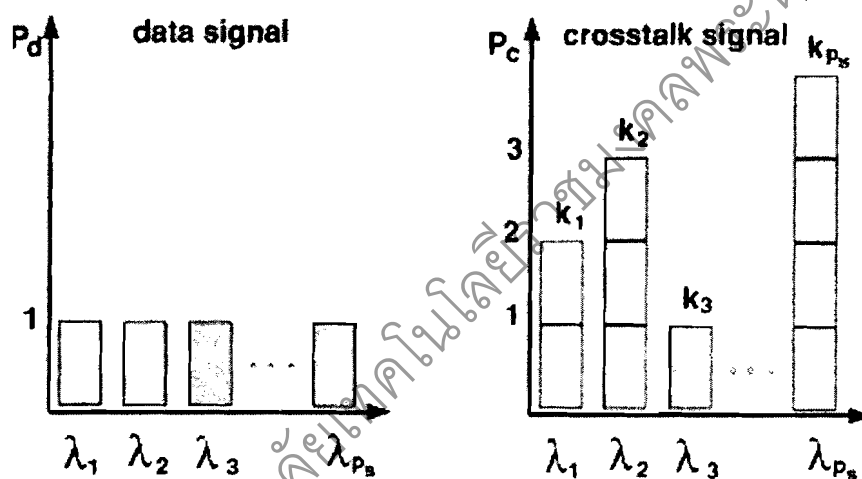


รูปที่ 4.1 โครงข่ายออฟติคอลลซีดีเอ็มเอบน WDM

4.3 ออฟติคอลลีแอมเอไอส์เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส์

เมื่อพิจารณาถึง 2-D OCDMA การสร้างสัญญาณพลัสรหัสจะใช้เลเซอร์ โดยมีการมอดูเลตแบบ แอมพลิจูดคีย์อิง (Amplitude Shift Keying: ASK) และเข้ารหัสแบบ Nonreturn-to-zero หรือ NRZ และแต่ละผู้ใช้บริการจะถูกผูกติดกับความยาวคลื่นแสงที่ λ_1 ถึง λ_{ps}

ที่ผู้รับจะตรวจจับบิตข้อมูลด้วยวิธีการทำสหสัมพันธ์สัญญาณรหัสข้อมูลที่เข้ามา และเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณว่าเกินระดับของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งค่าไว้หรือไม่ ซึ่งเมื่อมีผู้ใช้บริการมากขึ้น สัญญาณจะเกิดสัญญาณไขว้แทรก (Crosstalk signal) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งตัวแปร k_i คือจำนวนของสัญญาณแทรกสอด (The number of interferers) และเป็นตัวแปรสุ่มซึ่งอยู่ในช่วง $0 \leq k_i \leq k$ และจากรูปที่ 3.2 นี้ ยังพบว่าจำนวนของของสัญญาณพลัสที่ความยาวคลื่น λ_i ที่จำนวนของสัญญาณไขว้แทรกทั้งหมดมีค่าเป็น $\sum_{i=0}^{P_s} k_i = k$



รูปที่ 4.2 ความถี่องค์ประกอบของสัญญาณข้อมูลและ ไขว้แทรกที่ค่ายอดแอมพลิจูด (Peak)

จากการทำสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)

โดยในที่นี้จำนวนองค์ประกอบของสัญญาณออกทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากการทำสหสัมพันธ์ข้ามมีค่าดังนี้

$$E(t) \propto \sum_{i=1}^{P_s} \sqrt{P_d(t)} \exp(j(\omega_{d_i} t + \Phi_{d_i}(t))) + \sum_{i=1}^{P_s} \sum_{j=1}^{k_i} \sqrt{P_c(t)} \exp(j(\omega_{c_{ij}}(t - \tau_{ij}) + \Phi_{c_{ij}}(t - \tau_{ij}))) \quad (4.1)$$

ที่

$P_d(t)$ และ $P_c(t)$	คือ กำลังงานออฟดิคัลที่จุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold)
ω_{di}	คือ ความถี่ของคลื่นแสงของข้อมูลพลัส λ_i
ω_{cij}	คือ ความถี่ของคลื่นแสงของพลัสสัญญาณไขว้แทรกที่ λ_j และที่ ผู้ใช้งานทางที่ j^{th}
$\Phi_{di}(t)$ และ $\Phi_{cij}(t)$	คือ สัญญาณรบกวนทางเฟสเลเซอร์
τ_{ij}	คือ ค่าหน่วงเวลาของการแพร่กระจายคลื่นของพลัสสัญญาณ ไขว้แทรกจากผู้ให้บริการ j^{th} ที่ λ_j มีความสัมพันธ์กับพลัส ข้อมูลที่ λ_i

ในบทความนี้กำหนดให้ $\omega_{di} = \omega_{cij} = \omega_i$ ซึ่งหมายความว่าที่ กระแสพล่งแสง (Photocurrent) ที่เอาต์พุตของ การคิดเทกต์ตามกฎกำลังสอง (Square-law detector) ดังนั้นจะได้

$$i / R \alpha p_s P_d(t) + k P_c(t) + 2 \sum_{i=1}^{P_s} \sum_{j=1}^{k_i} \sqrt{P_d(t)} \sqrt{P_c(t)} \cdot \cos(\Phi_{cij}(t - \tau_{ij}) - \Phi_{di}(t) - \omega_i \tau_{ij}) + 2 \sum_{i=1}^{P_s} \sum_{j=1}^{k_i-1} \sum_{l=j+1}^{k_i} \sqrt{P_d(t)} \sqrt{P_c(t)} \cdot \cos(\Phi_{cij}(t - \tau_{ij}) - \Phi_{cil}(t - \tau_{il}) - \omega_i \tau_{ij} + \omega_i \tau_{il}) \quad (4.2)$$

โดยที่ R คือสภาพตอบสนองของไดโอดพล่งแสง (Photodiode responsivity) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และจากสมการที่ (4.2) เทอมที่สองแสดงถึงกำลังงานแทรกสอดจากผู้ให้บริการอื่นๆ ซึ่งในที่นี้ผู้ให้บริการอื่นๆส่งกำลังงานบิต “1” นั้นเอง และเทอมที่สามแสดงถึงพัลส์สั่น (Beat) ซึ่งกันและกันซึ่งเนื่องมาจากค่าบอดแอมพลิจูด (Peak) จากการทำสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation) และจากค่าบอดแอมพลิจูด จากสัญญาณไขว้แทรก

แต่ละพัลส์ที่แต่ละความยาวคลื่น λ_i จากสัญญาณข้อมูลจะ beat ซึ่งกันและกันเองด้วย k_i พัลส์จากสัญญาณไขว้แทรก ซึ่งในที่นี้จำนวนของการ beat ซึ่งกันและกันจะต้องเท่ากับจำนวนของการแทรกสอดของพัลส์จากแหล่งอื่นๆ ส่วนในเทอมสุดท้ายคือจำนวนทั้งหมดของการbeat ซึ่งกันและกันของแต่ละพัลส์แทรกสอด

และเมื่อพิจารณาถึงค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแบบบิทน้อยส์ ในระบบออฟดิคัล ซิตีเอ็มเอสามารถคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function: PDF) ภายใต้สมมุติฐานที่เฟสมีการเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) บนช่วง $[-\pi, \pi]$ และค่ากำลังงาน SNR หรือ สัญญาณต่อสัญญาณ

รบกวน (Signal-to-noise ratio) แต่จะบิดที่ตรวจจับได้จากการทำ การอัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.3 [5]

$$SNR_1 = \frac{(p_s P_d + k P_c - p_s P_d D)^2}{k P_d P_c + 2 P_c P_c \sum_{i=1}^{p_s} \binom{k_i}{2}} \quad (4.3)$$

$$SNR_0 = \frac{(p_s P_d D - k P_c)^2}{2 P_c P_c \sum_{i=1}^{p_s} \binom{k_i}{2}} \quad (4.4)$$

โดยในที่นี้

SNR_1 คือ สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเมื่อข้อมูลเป็น “1”

SNR_0 คือ สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเมื่อข้อมูลเป็น “0”

$p_s P_d D$ คือ ระดับของ จุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold)

เมื่อพิจารณาถึง SNR_0 จะไม่มีการส่งกำลังงานเมื่อเป็นระบบบวกในการส่งบิต “0” และกำหนดให้ k pulses เกิดการสัญญาณแทรกสอด ของสัญญาณที่ Photodetector ที่ k จะถูกกระจายบนความคลื่นแสงที่ λ ด้วย k , โดยที่ส่วนประกอบการกระจายเวกเตอร์ $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_p\}$ ในที่นี้กำหนดเป็นกานกระจายแบบ multinomial ที่ความน่าจะเป็น $P_i = \frac{1}{p_s}$ ดังนั้นสามารถหาค่าเฉลี่ยของจำนวนการแทรกสอดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \left\langle \sum_{i=1}^{p_s} \binom{k_i}{2} \right\rangle &= \sum_i \frac{p_s!}{\prod_i R(k_i)!} \cdot \frac{k!}{p_s^k \cdot \prod_{i=1}^{p_s} (k_i)!} \cdot \sum_{i=1}^{p_s} \binom{k_i}{2} \\ &= \frac{1}{p_s} \binom{k}{2} \end{aligned} \quad (4.5)$$

ที่ $R(k_i)$ คือจำนวนของการรับค่าเวลาของแต่ละ k_i ในเวกเตอร์ k และการหาค่าผิดพลาดกำหนดให้ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวนแบบบีทน้อยส์ ที่ใช้ โค้ด 2-D แบบ กระโดดพรมต่อเนื่อง (prime-hop sequence) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_{error}(m) = \sum_{i=1}^{m-1} \binom{m-1}{i} 2^{-(m-1)} \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} \left(\frac{\langle \mu \lambda \rangle}{P_s^2} \right)^j \cdot \left(1 - \frac{\langle \mu \lambda \rangle}{P_s^2} \right)^{i-j} \cdot \frac{1}{2} \left\{ Q \left(\frac{P_s P_d D - j P_c}{\sqrt{2 P_c P_c \binom{j}{2} \frac{1}{P_s}}} \right) + Q \left(\frac{P_s P_d + j P_c + P_s P_d D}{\sqrt{2 j P_d P_c + 2 P_c P_c \binom{j}{2} \frac{1}{P_s}}} \right) \right\} \quad (4.6)$$

ที่ $Q(x)$ คือ ฟังก์ชัน Q

$$Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp(-y^2/2) dy \quad (4.7)$$

และ

$$\langle \mu \lambda \rangle = \frac{1}{\binom{P_h}{P_s}} \left[\binom{P_h-1}{P_s-1} \frac{(P_s-1)(P_s-2) + (P_h-2)}{P_h-2} + \binom{P_h-1}{P_s} \frac{P_s(P_s-1)}{P_h-2} \right] \quad (4.8)$$

โดยที่ $\langle \mu \lambda \rangle$ คือ จำนวนเฉลี่ยความยาวคลื่นแสงที่วางสำหรับทุกๆ คู่ของ กระโดดไม่สมมาตรพราม
ต่อเนื่อง (Asymmetric prime-hop sequence)

โดยในที่นี้

P_c คือ ออฟดีคอลลพาเวอร์ของพัลส์ไขว้แทรก (Crosstalk)

P_d คือ ออฟดีคอลลพาเวอร์ของพัลส์ข้อมูล

D คือ ระดับของ (Threshold)

และเมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนบีทน้อยส และสัญญาณรบกวนอื่นๆ ทำให้ ฟังก์ชัน Q เป็นศูนย์
ทางด้านสัญญาณทางบวก และเมื่อเป็นสัญญาณทางด้านลบ ทำให้ ฟังก์ชัน Q เป็นหนึ่ง (โดยในที่นี้
เมื่อส่งสัญญาณบิต “0” และ j มีค่ามากกว่าค่า threshold $\theta = P_s P_d D$) ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความ
น่าจะเป็นบิตผิดพลาดได้ดังนี้

$$P_{error}(m) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} \binom{m-1}{i} 2^{-(m-1)} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \left(\frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^j \left(1 - \frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^{i-j} \quad (4.9)$$

4.4 การวิเคราะห์ MAC โปรโตคอล

ในบทความนี้ใช้การเข้าถึงแบบสุ่มในการจัดสรรตารางการเข้าถึงของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยที่แพ็กเก็ตมีความยาว L บิต และจำนวนของแพ็กเก็ตจากทุกๆ สถานีสามารถเข้าใช้สล็อตเวลาเพียงสล็อตเวลาเดียวในเวลาเดียวกันบนเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นเมื่อมีผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เกิดการแทรกสอดของการเข้าถึงหลายทาง (Multiple-access interference: MAI)

ดังนั้นในบทความนี้กำหนดให้ $P_{error}(m)$ คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดเมื่อมี m ผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณ และสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดบิตผิดพลาดได้ดังสมการที่ (4.9) [5,19]

$$P_{correct}(m) = [1 - P_{error}(m)]^L \quad (4.10)$$

จากสมการที่ (4.10) พบว่าค่าอัตราบิตผิดพลาดขึ้นอยู่กับจำนวน L บิต น้ำหนักของโค้ด และชนิดของซีดีเอ็มเอ โค้ด (Optical CDMA code) ที่ใช้ และสามารถพิจารณาเงื่อนไขดังสมการที่ (4.11)

$$P_{correct}(m) = \begin{cases} [1 - P_{error}(m)]^L, & 0 \leq m \leq p_s(p_h - 1) \\ 0, & p_s(p_h - 1) \leq m \leq \infty \end{cases} \quad (4.11)$$

อย่างไรก็ตามในที่นี้กำหนดให้ที่เครื่องรับสามารถตรวจจับและตรวจพบการผิดพลาดของแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นได้ และในโครงข่ายแพร่กระจาย (Broadcast network) ผู้ส่งสามารถกำหนดและรับรู้ได้ว่าแพ็กเก็ตที่ส่งไปสำเร็จหรือสูญเสียได้ และคิวแพ็กเก็ตไว้เพื่อส่งซ้ำหลังจากสุ่มค่าหนึ่งวงเวลาในบัฟเฟอร์ (Buffer) โดยในที่นี้กำหนดให้ M คือตัวแปรสุ่มของจำนวนผู้เข้าถึงหรือใช้ช่องสัญญาณในสล็อตเวลา ดังนั้นจะได้ค่าเงื่อนไขการกระจาย (Condition distribution) จำนวนการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จได้ดังนี้

$$P[S = s | M = m] = \binom{m}{s} P_{correct}^s(m) [1 - P_{correct}(m)]^{m-s} \quad (4.12)$$

และเมื่อ m มีค่ามากๆ จะได้ค่าวิสัยสามารถ (Throughput: β) ที่สภาวะคงตัวดังนี้

$$\beta = E[S] = E[E[S | M]] = \sum_{m=1}^{\infty} m P_{correct}(m) f_m(m) \quad (4.13)$$

เมื่อ $f_m(m)$ คือความน่าจะเป็นการกระจายที่สถานคงที่ของการเข้าถึงประกอบ ซึ่งในที่นี้รวมไปถึงแพ็กเก็ตที่ใช้ในการส่งซ้ำและส่งใหม่ในคิว โดยจะกำหนดให้อัตราการเข้าถึงเป็นแบบปัวซอง (Poisson arrival) ด้วยอัตรา λ โดยจะมีค่าดังสมการที่ (4.14)

$$f_m(m) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T} \quad (4.14)$$

ที่ T คือ ความยาวทั้งหมดของแพ็กเก็ตที่เวลานั้นๆ และจากสมการที่ (4.14) เมื่อกำหนดให้ $\gamma \equiv \lambda T$ คือจำนวนเฉลี่ยของความพยายามที่จะส่งต่อหนึ่งสล็อตเวลา ดังนั้นได้ค่าวิสัยสมการที่สถานคงที่ใหม่ดังนี้

$$\beta = e^{-\gamma} \sum_{m=1}^{\infty} m P_{correct}(m) \frac{\gamma^m}{m!} \quad (4.15)$$

และคำนวณเวลาเฉลี่ยในการส่งและส่งซ้ำต่อแพ็กเก็ตมีค่าดังสมการที่ (4.16)

$$d = \frac{\gamma}{\beta - 1} \quad (4.16)$$

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเลข

5.1 บทนำ

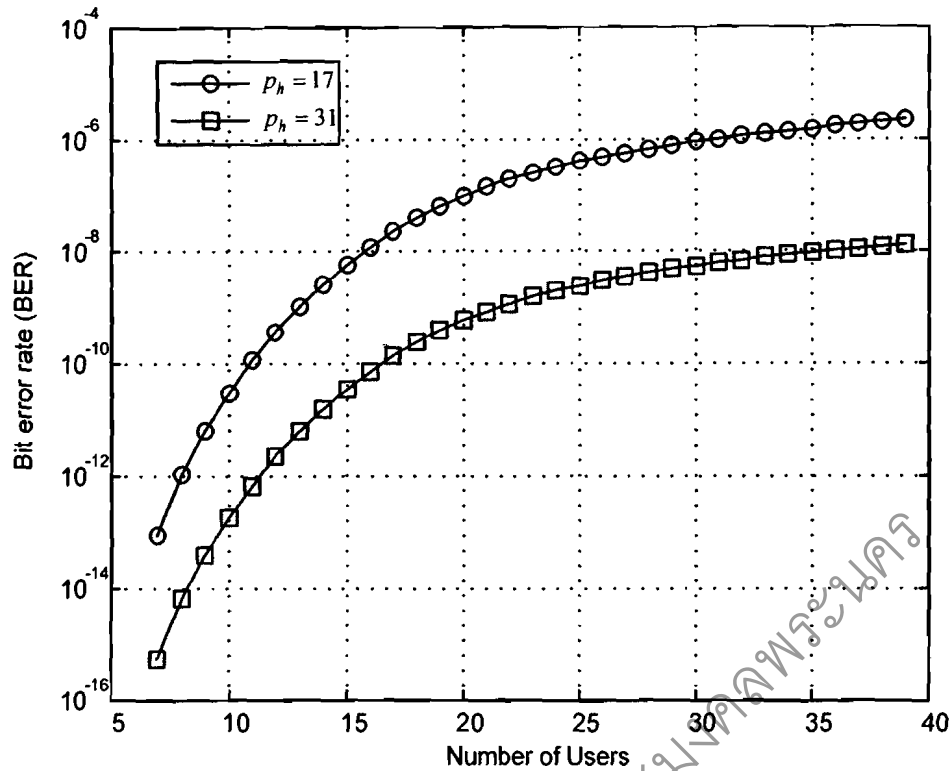
สำหรับบทที่ 5 นำเสนอผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเลขของระบบ โดยนำเอาการวิเคราะห์ต่างๆ จากบทที่ 3 และ 4 มาทำการเรียนแบบการทำงานและวิเคราะห์ โดยจะพิจารณาถึงอัตราบิตผิดพลาด (Bits error rate) ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ค่าหน่วงเวลา (Delay time) ของการนำเอาการเข้ารหัสแบบสองทิศทาง (2-D code) แบบออฟติคอลซีดีเอ็มเอมาใช้บนโครงข่าย WDM และยังพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ อีกด้วย

5.2 ผลของความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดต่อระบบ

ในการวิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาด แบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วนคือ การวิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดเมื่อ ไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ และ เมื่อ คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

5.2.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์เมื่อ ไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ โดยกำหนดให้จำนวนบิตเท่ากับ 1024 บิต จำนวนพัลส์ต่อความยาวคลื่นแสง $p_s = 13$ และ จำนวนความยาวคลื่นแสงที่วาง $p_r = 17$ และ 31 ตามลำดับ



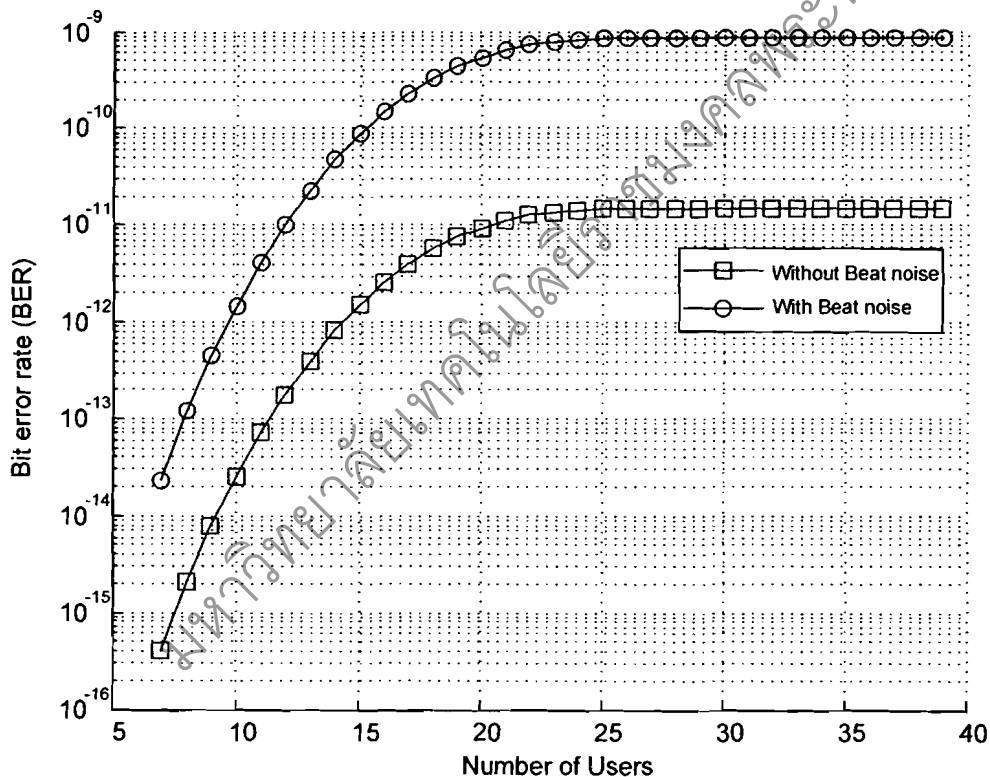
รูปที่ 5.1 ผลของค่าอัตราผิดพลาดบิตต่อจำนวนผู้ให้บริการ
ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17, 31$

จากรูปที่ 5.1 เป็นผลของค่าอัตราผิดพลาดบิตต่อจำนวนผู้ให้บริการที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่างมีค่ามากขึ้นจาก $p_h = 17$ เป็น 31 ค่าอัตราผิดพลาดบิตมีค่าลดลงตามไปด้วยเมื่อจำนวนผู้ให้บริการเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถรองรับผู้ให้บริการได้มากขึ้นนั่นเอง

5.2.2 เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ โดยกำหนดให้จำนวนบิตเท่ากับ 1024 บิต จำนวนพัลส์ต่อความยาวคลื่นแสง $p_s = 13$ เช่นเดียวกับหัวข้อที่แล้ว จำส่วนจำนวนความยาวคลื่นแสงที่วาง $p_h = 31$ แต่ในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ เข้าไปในระบบ

จากรูปที่ 5.2 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าอัตราผิดพลาดบิตต่อจำนวนผู้ให้บริการเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ เข้าไปในระบบ ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ ค่าอัตราผิดพลาดบิตมีเพิ่มมากขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ ทำให้สามารถรองรับผู้ให้บริการได้น้อยลงตามไปด้วยนั่นเอง



รูปที่ 5.2 ผลของการเปรียบเทียบค่าอัตราผิดพลาดบิตต่อจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

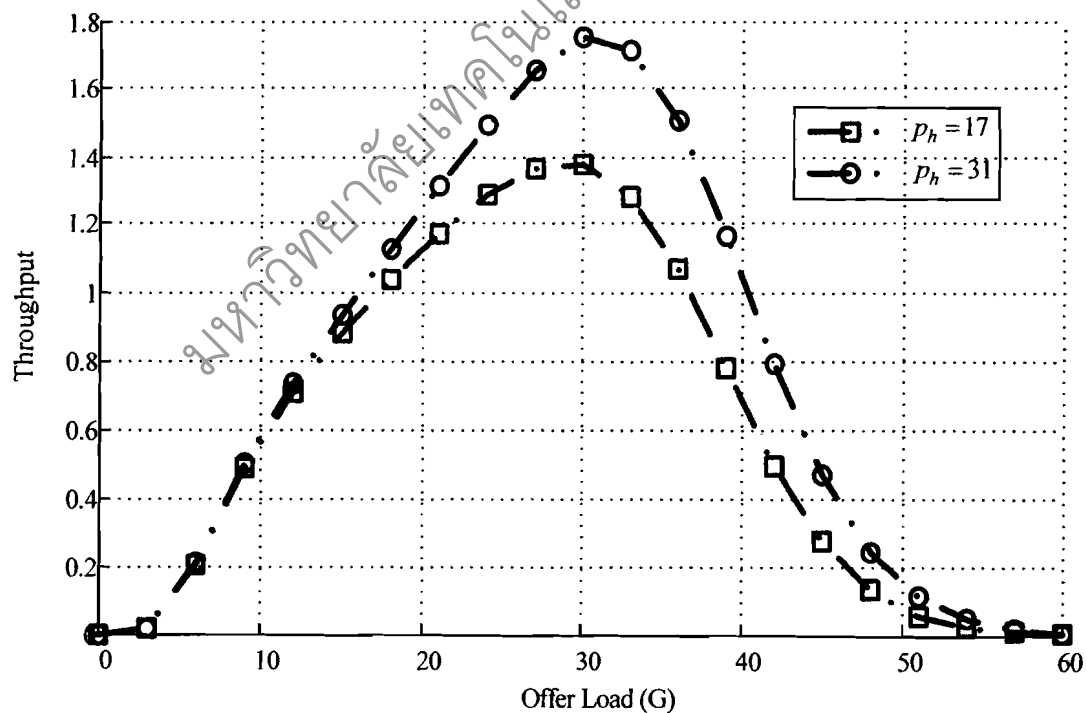
5.3 ผลของค่าวิสัยสามารถและกำหนด่วงเวลาต่อระบบ

ในการวิเคราะห์ผลของค่าวิสัยสามารถและกำหนด่วงเวลาต่อระบบ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วนเช่นเดียวกับหัวข้อที่แล้ว คือการวิเคราะห์ผลของค่าวิสัยสามารถและกำหนด่วงเวลาต่อระบบเมื่อไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์ และ เมื่อพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์

5.3.1 ผลการวิเคราะห์เมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์

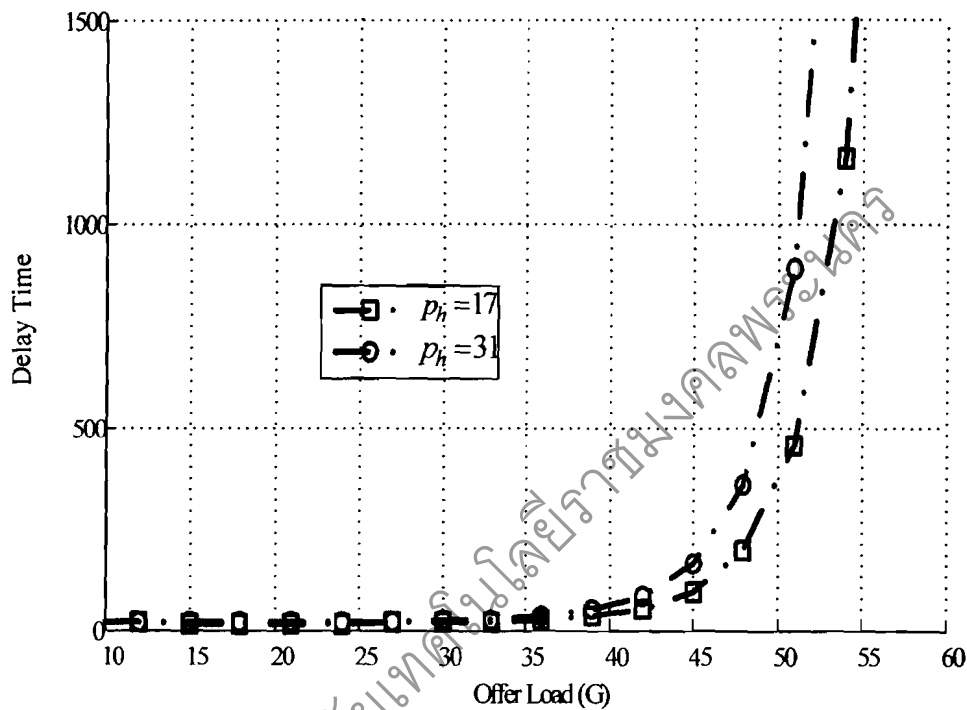
ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์เมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์ โดยกำหนดให้จำนวนบิตเท่ากับ 1024 บิต จำนวนพัลส์ต่อความยาวคลื่นแสง $p_h = 13$ และจำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17$ และ 31 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.3 เป็นผลของการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถเมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์ ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่างมีค่ามากขึ้นจาก $p_h = 17$ เป็น 31 ค่าวิสัยสามารถมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยมีค่าวิสัยสามารถสูงที่สุดอยู่ที่ offer load ประมาณ 30 และยังพบว่าที่ offer load ต่ำๆ ค่าวิสัยสามารถมีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 5.3 จะอยู่ในช่วง offer load เท่ากับ 0 – 10



รูปที่ 5.3 ผลของค่าวิสัยสามารถต่อค่า offer load ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่ว่าง $p_h = 17, 31$
เมื่อไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิทน้อยส์

จากรูปที่ 5.4 เป็นผลของการวิเคราะห์ค่าหน่วยเวลาเมื่อไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บิท น้อยส์ ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนความยาวคลื่นแสงที่วางมีค่ามากขึ้นจาก $p_h = 17$ เป็น 31 ค่าหน่วย เวลาที่มีค่าลดน้อยลงตามไปด้วย และค่าหน่วยเวลาเริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ offer load ประมาณ 35 แต่ อย่างไรก็ตามที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่วางที่ $p_h = 31$ ยังคงมีค่าน้อยกว่า $p_h = 17$ เมื่อ offer load มีค่ามากขึ้นดังรูปที่ 5.4

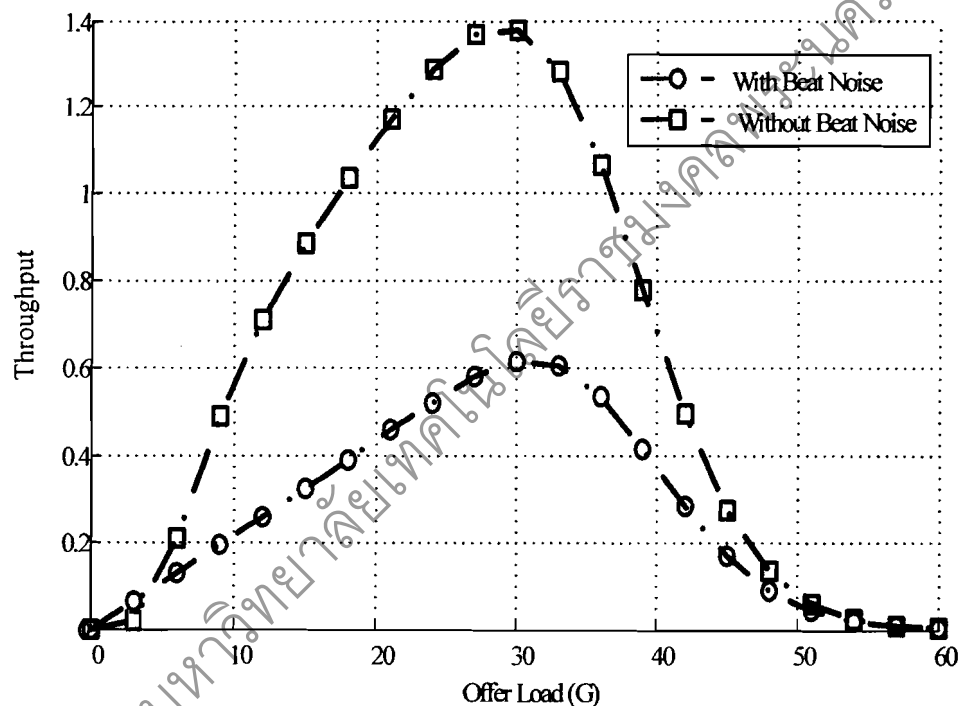


รูปที่ 5.4 ผลของหน่วยเวลาต่อค่า offer load ที่จำนวนความยาวคลื่นแสงที่วาง $p_h = 17, 31$ เมื่อไม่พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนบิตน้อยส์

5.3.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

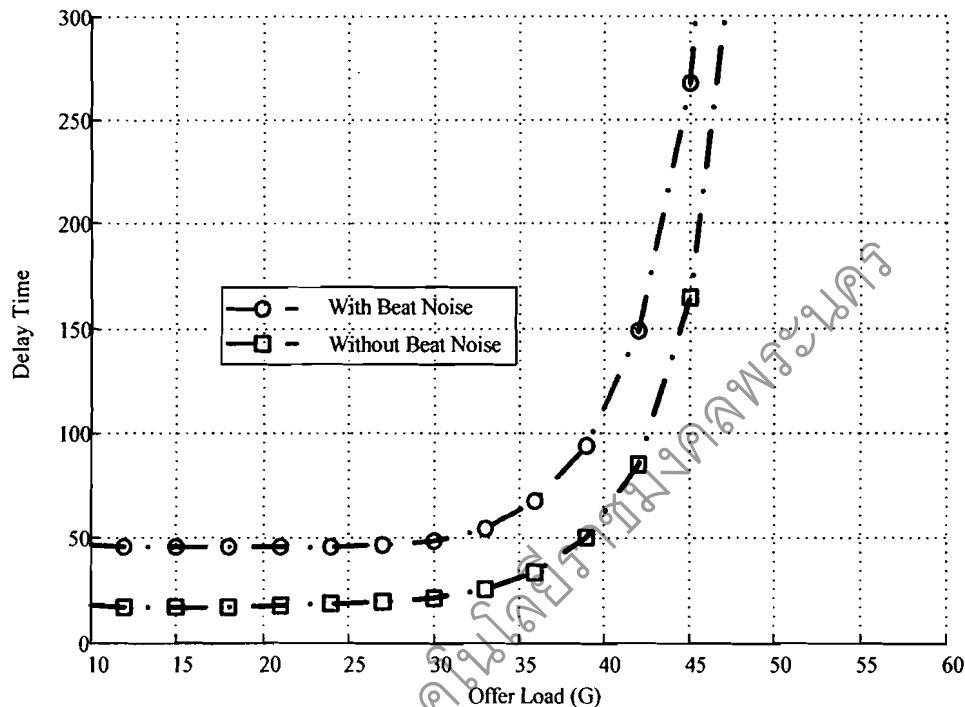
ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์เมื่อคำนึงถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ โดยกำหนดให้จำนวนบิตเท่ากับ 1024 บิต จำนวนพัลส์ต่อความยาวคลื่นแสง $p_s = 13$ และจำนวนความยาวคลื่นแสงที่วาง $p_h = 17$ ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.5 เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าวิสัยสามารถเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาถึงผลของสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาถึงผลสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ แล้วค่าวิสัยสามารถมีค่าลดลงมาก อย่างไรก็ตามที่จากรูปยังพบว่าที่ offer load เท่ากับ 30 ค่าวิสัยสามารถมีค่ามากที่สุด โดยที่เมื่อไม่พิจารณาถึงจะได้ค่าวิสัยสามารถประมาณ 1.39 และพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์จะได้ค่าวิสัยสามารถประมาณ 0.6



รูปที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถระหว่างเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

จากรูปที่ 5.6 เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าน่วงเวลาเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาถึงผลของสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาถึงผลสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ แล้วค่าน่วงเวลามีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่จากรูปยังพบว่าที่ offer load เท่ากับ 30 ค่าน่วงเวลาเริ่มมีค่าเพิ่มมาก คึกคัก



รูปที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบค่าน่วงเวลาระหว่างเมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเลขของระบบ โดยได้พิจารณาถึงอัตราบิดผิพลาตค่าวิสัยสามารถ และค่าน่วงเวลาของการนำเอาการเข้ารหัสแบบสองทิศทาง (2-D code) บนของฟิสิกอลซีดีเอ็มเอบนโครงข่าย WDM ซึ่งจะพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ พบว่าสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ มีผลมากต่อระบบ ทำให้ประสิทธิภาพลดลงมาาก

บทที่ 6

บทสรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

6.1 บทนำ

บทที่ 6 นี้เป็นบทสุดท้าย ซึ่งจะเป็นการกล่าวถึงบทสรุปและวิจารณ์ผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อนำเอาผลของค่าประสิทธิภาพและสมรรถนะของการนำเอาระบบระบบออฟติคอลซีดีเอ็มเอมารวมกันบนโครงข่าย WDM เมื่อพิจารณาถึงการเข้ารหัสแบบ 2-D และยังรวมไปถึงสัญญาณรบกวนแบบบีทนอยส์ (Beat noise) และในการวิจัยครั้งนี้ใช้ MAC โพรโทคอลแบบสุ่ม (Random access MAC control protocols) โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดต่อไปดังนี้

6.2 สรุปเนื้อหาของการวิจัยครั้งนี้

ระบบ CDMA ปลูกดีใช้ในระบบสื่อสารแบบเคลื่อนที่และระบบการสื่อสารความเร็วสูง โดยมีข้อดีตรงที่มีความปลอดภัยสูง และมีอัตราการส่งข้อมูลสูง ต่อมาจึงได้มีการทำวิจัยโดยนำระบบ CDMA มาใช้ในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปมาก สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์ถึงการนำเอาการเข้ารหัสแบบ CDMA มาใช้บนโครงข่าย WDM และยังพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ Beat โดยใช้การเข้ารหัสแบบ 2-D และยังใช้การเข้ารหัสแบบสุ่มอีกด้วย โดยได้พิจารณาออกมาเป็นในรูปของ ค่าวิสัยสามารถ ค่าหน่วงเวลา และอัตราบิดผิดพลาดของระบบ

จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่าเมื่อพิจารณาถึง เมื่อจำนวนความยาวคลื่นแสงที่วางมีค่ามากขึ้น ทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้น เนื่องจากค่าอัตราบิดผิดพลาดมีค่าต่ำลง และเมื่อวิเคราะห์ถึงค่าวิสัยสามารถพบว่าเมื่อจำนวนความยาวคลื่นแสงที่วางมีค่ามากขึ้น ค่าวิสัยสามารถมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่เมื่อมีอัตราบิดน้อยลงทำให้ลดจำนวนการส่งข้อมูลซ้ำ (Retransmission) ลดลงตามไปด้วย ทำให้ค่าหน่วงเวลาในการส่งมุลน้อยลงนั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ เข้าไปด้วย ค่าอัตราบิดผิดพลาดกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้น้อยลง ทำให้ค่าวิสัยสามารถลดต่ำลงตามไปด้วย และเมื่อค่าอัตราบิดผิดพลาดมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถลดลง ทำให้การส่งมุลซ้ำ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ค่าหน่วงเวลาในการส่งมุลเพิ่มมากขึ้นมากนั่นเอง ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าเมื่อพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ พบว่าสัญญาณรบกวนแบบ บีทนอยส์ มีผลมากต่อระบบ ทำให้ประสิทธิภาพลดลงมาาก

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในระบบสื่อสาร CDMA บนเส้นใยแก้วนำแสงนั้น สามารถนำไปประยุกต์หรือพัฒนาเพื่อใช้ในงานต่างๆ ได้มากมายโดยเฉพาะของ Fiber-To-The-Home (FTTH) และยังสามารถรองรับการสื่อสารได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น การสื่อสารแบบ Real-Time หรือการสื่อสารข้อมูลแบบสื่อประสาร (Multimedia) ต่างๆ โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเอาการเข้าถึงแบบ CDMA มาใช้บนโครงข่าย WDM โดยพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์

นอกจากนี้เมื่อเราทราบว่าสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ เป็นสัญญาณรบกวนที่มีผลมากต่อระบบ นั่นก็หมายความว่า เป็นสัญญาณรบกวนที่สำคัญมาก ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้น ลดค่าน่วงเวลาให้น้อยลง ด้วยวิธีการตัดสัญญาณรบกวน หรือจำกัดสัญญาณรบกวนแบบ บีทน้อยส์ ให้น้อยลงด้วยวิธีการ บีทน้อยส์ noise cancellation ได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เอกสารอ้างอิง

1. Kamath, P., Touch, J.D., Bannister, J.A., "The need for media access control in optical CDMA networks," INFOCOM 2004, Volume 4, pp. 2208 - 2219, 7-11 March 2004.
2. Mohamed, M.A.A., Shalaby, H.M.H., El-Badawy, E.-S.A.-M., "Performance Analysis of an Optical CDMA MAC Protocol With Variable-Size Sliding Window," Journal of Lightwave Technology, vol. 24, Issue 10, pp.3590 - 3597, Oct. 2006.
3. Galli, S., Menendez, R., Toliver, P., Banwell, T., Jackel, J., Young, J., Etemad, S., "DWDM-compatible spectrally phase encoded optical CDMA," GLOBECOM '04. IEEE, Vol.3, pp1888 – 1894, 29 Nov.-3 Dec. 2004.
4. Kitayama, K, Xu Wang, Naoya Wada, "OCDMA over WDM PON-solution path to gigabit-symmetric FTTH," Journal of Lightwave Technology, vol. 24, Issue 4, pp. 1654 - 1662, April 2006.
5. Tancevski, L.; Rusch, L.A., "Impact of the beat noise on the performance of 2-D optical CDMA systems," IEEE Communications Letters, vol 4, Issue 8, pp264 – 266, Aug. 2000.
6. Srinivasan, M., Geetha, G., Meenakshi, M., "Comparison of prime code, extended prime code and quadratic congruence code using a normalized throughput metric," ICTON2004, vol. 2, pp.168 - 171, Sept. 2002.
7. Stok, A., Sargent, E.H., "System performance comparison of optical CDMA and WDMA in a broadcast local area network," IEEE Communications Letters, vol. 6, Issue 9, pp.409 - 411, July 2004.
8. Meghavoryan D, Stepanyan K, Kalayjian Z. "DWDM ring network with cascaded optical modulators", Proceedings of 2003 5th International Conference on Volume 2, 29 June-3 July 2003, Page(s):129 – 132.
9. Hyo-Sik Yang, Herzog M, Maier M, Reisslein M, "Metro WDM networks: performance comparison of slotted ring and AWG star networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 22, Oct. 2004 Page(s):1460 – 1473.
10. Jeiger C.S, Elmirghani J.M.H., "Photonic packet WDM ring networks architecture and performance", IEEE Communications Magazine, Volume 40, Nov. 2002 Page(s):110 – 115
11. Jih-Hsin Ho, Wen-Shyang Hwang, Ce-Kuen Shieh, "Analytical model for an IP over WDM ring network", International Conference on Volume 1 IEEE, 23 Feb.-1 March 2003 Page(s):182 - 187 vol.1.

12. Sun-Sik Roh, Won-Ho So, Yun-Ho Cha, Young-Chon Kim, "*Medium access control protocol for WDM ring networks with dynamic WDM add-drop multiplexer*", IEEE International Conference on Communications, 11-14 June 2001 Page(s):504 - 508.
13. Antoniadis N, Ennser K, da Silva V.L, Yadlowsky M, "*Computer simulation of a metro WDM ring network, Electronic-Enhanced Optics*", 24-28 July 2000 Page(s):IV19 - IV20.
14. Su S.F, Olshansky R, "*Performance of multiple access WDM networks with subcarrier multiplexed control channels*", Journal of Lightwave Technology, Volume 11, May-June 1993 Page(s):1028 – 1033.
15. Kinoshita S, Tian C, Aoki Y, Vassilieva O, "*Metro WDM network with photonic domains, Optical Fiber Communication Conference*", Volume 1, 23-27 Feb. 2004.
16. Duser M, Bayvel P, "*Performance of a dynamically wavelength-routed optical burst switched network*", IEEE Photonics Technology Letters, Volume 14, Issue 2, Feb. 2002 Page(s):239 – 241.
17. Fumagalli A, Cai J, Chlamtac I, "*The multi-token inter-arrival time (MTIT) access protocol for supporting IP over WDM ring network*", IEEE International Conference on Communications, Volume 1, 6-10 June 1999 Page(s):586 - 590 vol.1.
18. Louchet H, Hodzic A, Petermann K, "*Analytical model for the performance evaluation of DWDM transmission systems*", IEEE Photonics Technology Letters, Volume 15, Issue 9, Sept. 2003 Page(s):1219 – 1221.
19. Paul R. Prucnal, "*Optical Code Division Multiple Access: Fundamentals and Applications*", 2006, CRC Press.

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Kidsanapong Puntsri**, *"Performance Evaluation of 2-D Code Optical CDMA MAC Protocol over WDM"*, the fourth ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2007), Thailand.
2. Narumon Thummakerd, Suvepon Sittichivapak, **Kidsanapong Puntsri**, *"Chaotic Direct Sequence Spread Spectrum for Power line Datacommunication"*, the fourth ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2007), Thailand.
3. **Kidsanapong Puntsri**, Nahathai Choikurn, Suvepon Sittichevapak, and Kriengkrai Vongrodjanaporn, *"Performance Analysis of Satellite ATM Communication via Self-Similar Traffic Envelopment by Simulation Method"*, 26th Electrical Engineering Conference (EECON-26), Thailand, 6-7 Nov. 2003.
4. **Kidsanapong Puntsri**, Phiya Yhunyongsuvan, Suvepon Sittichevapak, Kriengkrai Vongrodjanaporn and Suraporn Bumjan, *"Efficiency Analysis of Optical Fiber CDMA System with $2n$ Extended Prime Code"*, 25th Electrical Engineering Conference (EECON-25), Thailand, 21-22 Nov. 2002.
5. Nitikron Sansurk, **Kidsanapong Puntsri**, Suvepon Sittichevapak, Kriengkrai Vongrodjanaporn and Suraporn Bumjan, *"Performance Analysis of the Slotted-ALOHA no lognormal Fading Channel for Wireless ATM Network"*, 25th Electrical Engineering Conference (EECON-25), Thailand, 21-22 Nov. 2002.
6. Krirong Kornkhawshomnhuk, **Kidsanapong Puntsri**, Suvepon Sittichevapak, and Kriengkrai Vongrodjanaporn, *"Performance Analysis of CDMA/CA Wireless LAN via Self-Similar Traffic by Simulation Method of Infrared System"*, The Proceeding of Kasetsart University Annual Conference, 3-6 Feb 2004.
7. Aekkranon Shomphadsakurnkij, **Kidsanapong Puntsri** and Suvepon Sittichevapak, *"A Proposed Tunable Transmitter-tunable Receiver Algorithm for Accessing the Multichannel Slotted-ring WDM Network under Self-Similar Traffic"*, The Proceeding of Kasetsart University Annual Conference, 3-6 Feb 2004.

ประวัติผู้รับผิดชอบแผนงานวิจัย



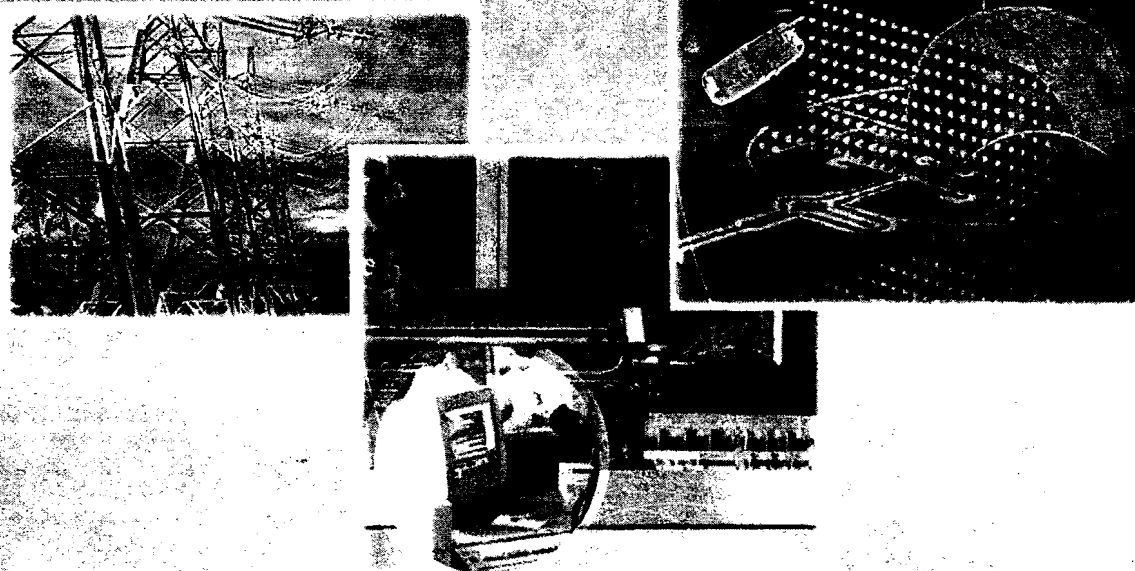
นายกฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี เกิดเมื่อวันที่ 16 พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมศาสตร์โทรคมนาคม) ปี พ.ศ 2544 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ในสาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์โทรคมนาคม ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี การศึกษา 2547

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร คณะครุ- ศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก
งานวิจัยที่เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ECTI-CON 2007

Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007

VOLUME 1

- Circuits and Systems
- Control Engineering
- Electrical Power Engineering
- Other Related Fields

VOLUME 2

- Communication Systems
- Signal Processing
- Computer and Information



ECTI
Association

IEEE
THAILAND SECTION

NECTEC
a member of NSTDA

WD Western
Digital



Table of Contents

10:50 AM - 12:10 AM **Session TAM1-1** **Thursday, 10 May 2007**

Microwave Technology 1

Chairperson : Denchai Worasawate, Kasetsart University

TAM1-1-1	Design and Analysis of Fractal Microstrip Low Pass Filter using Radial-Line Stubs	601
10:50 AM	P.K.Singhal, Pramod Kumar, Neha Verma <i>Department of Electronics, CSE, IT Madhav Institute of Technology and Science, Gwalior, India</i>	
TAM1-1-2	Performance Improvement of Broad-Beam Microstrip Reflectarray by Reduction of Elements Spacing	604
11:10 AM	Piyaporn Krachodnok, Rangsan Wongsan <i>School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand</i>	
TAM1-1-3	Narrowband Ring Filter Design with Inductive Compensated Coupling Feed and Step-Impedance Resonator	608
11:30 AM	Ravee Phromlounsri, Rathaya Suwanbunyaporn, Mitchai Chongcheawchamnan <i>Research Center for Electromagnetic Wave Applications (RCEWs), Mahanakorn University of Technology, Bangkok, Thailand</i>	
TAM1-1-4	A Dual-Band Bandpass Filter Using Stepped-Impedance and Load capacitive Hairpin Resonators for Mobile System	612
11:50 AM	Pongsathorn Chomtong, Sarawuth Chairpool, Prayoot Akkaraekthalin <i>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand</i>	

10:50 AM - 12:10 AM **Session TAM1-5** **Thursday, 10 May 2007**

Optical Communications

Chairperson : Athikom Roeksabutr, Mahanakorn University of Technology

TAM1-5-1	Acousto-Optic Frequency Decoder and Its Applications	616
10:50 AM	Athikom Roeksabutr <i>Telecommunication Engineering Department, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, Thailand</i>	
TAM1-5-2	Study on Backbone Network with WDM Via Optical Fiber	619
11:10 AM	Amornrat Mahaprom, Noppin Anantrasirichai <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand</i>	
TAM1-5-3	Numerical Analysis of Pump Propagation Direction in Distributed Raman Amplifiers	623
11:30 AM	Nadir Hossain, A. W. Naji, V. Mishra, F.M. Abbou, M. A. Hasnayeem, A.A.R. Hairul, A.R. Faizd <i>Institute of Photonics Research & Applications, Multimedia University, Selangor, Malaysia</i>	
TAM1-5-4	Performance Evaluation of 2-D Code Optical CDMA MAC Protocol over WDM	627
11:50 AM	Kidsanapong Puntstri <i>Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phranakhon, Bangkok, Thailand</i>	

Performance Evaluation of 2-D Code Optical CDMA MAC Protocol over WDM

Kidsanapong Puntsri

Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Industrial Education
Rajamangala University of Technology Phranakhon, Bangkok, Thailand
E-mail: k.puntsri@rmutp.ac.th

Abstract- We present the comparison of CDMA MAC protocol with and without beat noise by using 2-D optical CDMA MAC protocol over WDM networks. We use the asymmetric prime-hop sequence code. Moreover, we analyse the effect of the number of available wavelengths in terms of average number of attempted transmissions per time slot (offered load), and beat noise is considered. The presented numerical results based on the throughput and delay time versus the offered load. We divide into two parts. The first one, we consider the effect of the number of available wavelengths. Another is the effect of with and without beat noise in the 2-D OCDMA over WDM systems.

I. INTRODUCTION

In the middle of 80's, OCDMA (Optical code division multiple access) has been widely developed as high-optical communication network systems, where encoding and decoding are all performed in optical domain [1-2]. The advantageous function of the optical CDMA is the fact that it lets each user to access the network asynchronously and simultaneously without strict wavelength controls and timing synchronizations, but other systems needed such as in the case of wavelength division multiple access (WDMA) and time division multiple access (TDMA), respectively. In addition, optical CDMA local area networks allow shared access to a broadcast medium. However, the OCDMA has interference occur when the number of codeword are assigned increasing, call multiple access interference (MAI).

Especially, OCDMA will be operated on Ethernet passive optical networks (EPON) because of the EPON architecture is the key function in local area network (LAN). Moreover, it also can be upgradeable to Gigabit Ethernet and 10 Gigabit Ethernet, respectively, and in the future; when OCDMA are used on EPON, the capacity and bandwidth will increase [3-4].

In addition, many papers propose and focus on the physical layer of CDMA network [1-2, 6-7]; however, few papers have considered the MAC protocol with beat noise. Therefore, this article, we present the comparison of OCDMA MAC protocol with and without beat noise by using 2-D optical CDMA over WDM networks and asymmetric prime-hop sequence code is used. The family of asymmetric prime-hop sequence code has $p_s(p_h - 1)$ of length p_s^2 and each code had Hamming weight p_s (prime number). At the source, tunable laser (or laser arrays) and tunable fiber delay-lines used to select the pulse wavelength and time position. Therefore, passive network of matched delay lines and corresponding optical filters required at the receiver.

This paper is organized as follows. In section II, the network model description is discussed, and the performance of 2-D asymmetric prime-hop sequence optical CDMA code over WDM networks is presented. In section III, the numerical results of the performance are reported with based on throughput and delay time. Finally, we give concluding in section IV.

II. PERFORMANCE ANALYSIS

A. Network Model

In figure 1, the network consists of a basic OCDMA, which the users are assigned with different optical code and share common transmission medium. The coding can be performed on to 1-dimension (1-D) either in time domain, or frequency domain, or performed on to 2-dimension (2-D) in both frequency and time domains simultaneously.

However, we focus on OCDMA over WDM PON networks. On each WDM grid λ_n ($n = 1, \dots, N$), not a single channel, and M simultaneous users can be accommodated by individually assigning each user with a different code. Therefore, the total capacity of OCDMA over WDM PON becomes N times when compare with WDM PON. Moreover, we use 2-D coding, and the signals are transmitted over WDM channels [3-4]. The OCDMA over WDM PON is presented in figure 1.

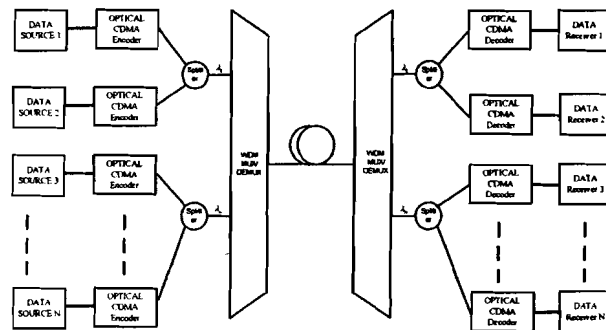


Figure 1. Optical CDMA network over WDM.

B. 2-D Optical CDMA Code

This article, we limit our analysis to OCDMA network that we use the asymmetric prime-hop sequence described by Tancevski et al. [5]. The advantages of 2-D codes in this family have low cross-correlations, nonexistent

autocorrelation side lobes and large cardinalities. Hence, the bits error rate of asymmetrical prime-hop sequence with beat noise is given by [5]

$$P_{error}(m) = \sum_{i=1}^{m-1} \binom{m-1}{i} 2^{-(m-1)} \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} \left(\frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^j \cdot \left(1 - \frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^{i-j} \left\{ \frac{1}{2} \left[Q \left(\frac{p_s P_d D - j P_c}{\sqrt{2 P_c P_c \binom{j}{2} \frac{1}{p_s}}} \right) + Q \left(\frac{p_s P_d + j P_c + p_s P_d D}{\sqrt{2 j P_d P_c + 2 P_c P_c \binom{j}{2} \frac{1}{p_s}}} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Where $Q(x)$ is Q function, given by

$$Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp(-y^2/2) dy \quad (2)$$

and

$$\langle \mu \lambda \rangle = \frac{1}{\binom{p_h}{p_s}} \left[\binom{p_h-1}{p_s-1} \frac{(p_s-1)(p_s-2) + (p_h-2)}{p_h-2} + \binom{p_h-1}{p_s} \frac{p_s(p_s-1)}{p_h-2} \right] \quad (3)$$

is the average number of wavelengths common to any pairs of asymmetrical prime-hop sequences.

Hence,

p_s (prime code) is the number of pulses per wavelengths

p_h (prime code) is the number of available wavelengths

P_c is optical power of crosstalk pulse

P_d is optical power of bits data pulse

D is the threshold level

However, when consider the limiting case of negligible beat noise, i.e., all noise sources are neglected. This means that SNR is infinite [7]. Therefore, for positive signals of the term of Q function is zero in (1), and when the signals is negative Q function is 1 (in the case of when bit "0" is transmitted and j becomes greater than the threshold, we got $\theta = p_s P_d D$). We give the total probability of error when neglected beat noise, is [5]

$$P_{error}(m) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} \binom{m-1}{i} 2^{-(m-1)} \sum_{j=\theta}^i \binom{i}{j} \left(\frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^j \left(1 - \frac{\langle \mu \lambda \rangle}{p_s^2} \right)^{i-j} \quad (4)$$

Additionally, the asymmetrical prime-hop sequences have a length in a time domain of p_s^2 chips and can be supported a maximum of $p_s(p_h-1)$ simultaneous users.

C. MAC protocol Analysis

We use the synchronous and random-access protocol for scheduling packets which is the length of a slot corresponds to L bits. A number of packets from many sources can be transmitted over the optical fiber in a single slot.

Moreover, some of the packets arrive at the receiver with bit errors because multiple-access interference (MAI) occurred by m simultaneous users increasing. We let $P_{error}(m)$ be the probability of a bit error when there are m simultaneous transmissions on the channel. The characteristics of $P_{error}(m)$ will depend upon the size, weight and family of the OCDMA code under consideration. Therefore, the probability of receiving a packet will occur without errors when m simultaneous transmissions on the channel are given by [7].

$$P_{correct}(m) = [1 - P_{error}(m)]^L \quad (5)$$

and the condition of receiving a correct packet is

$$P_{correct}(m) = \begin{cases} [1 - P_{error}(m)]^L, & 0 \leq m \leq p_s(p_h-1) \\ 0, & p_s(p_h-1) \leq m \leq \infty \end{cases} \quad (6)$$

However, with suitable error-detection capability, at the receiver can detect and determine if one or more errors have occurred in the packets. For simplicity, the overhead required of error-detection is not considered. In a broadcast network, the sender can independently determine the success or failure of the transmission and queue the packet for retransmission after a random delay in the buffer.

From according above, we let M be a random variable that represents the number of simultaneous in a time slot. Therefore, the conditional distribution of the number of successfully received packets S is

$$P[S = s | M = m] = \binom{m}{s} P_{correct}^s(m) [1 - P_{correct}(m)]^{m-s} \quad (7)$$

The steady-state throughput can be shown in equation (8).

$$\beta = E[S] = E[E[S | M]] = \sum_{m=1}^{\infty} m P_{correct}(m) f_m(m) \quad (8)$$

Where $f_m(m)$ is the steady-state probability distribution of composite arrivals, which include new and retransmission packets in queue. In this article, we assume that the composite arrival distribution is Poisson arrival with rate λ

$$f_M(m) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T} \quad (9)$$

Here, T is the temporal length of the packet.

Additionally, the choice of arrival distribution corresponds to an infinite user population. Giving $\gamma \equiv \lambda T$ to be the offered load (average number of attempted transmissions per time slot), so the throughput becomes

$$\beta = e^{-\gamma} \sum_{m=1}^{\infty} m P_{\text{correct}}(m) \frac{\gamma^m}{m!} \quad (10)$$

Then, the delay measured in the average number of retransmissions per packet, given by [6]

$$d = \frac{\gamma}{\beta - 1} \quad (11)$$

III. NUMERICAL RESULTS

In this section, we present the numerical results of OCDMA over WDM systems with and without beat noise. The asymmetric prime-hop code used with OCDMA chip-rates p_s^2 , packets lengths set to $L = 1024$ bits and set $p_s = 13$. The results are shown two parts. The first one, we consider the effect of the number of available wavelengths (p_h), figure 2 and 3. Another is the effect of the comparison of OCDMA MAC protocol with and without beat noise when using the 2-D OCDMA over WDM systems, figure 4 and 5. However, it is based on throughput (β) and delay time (d) versus offered load (G).

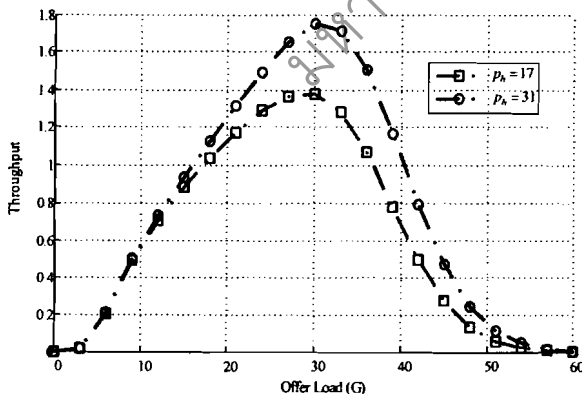


Figure 2. Throughput versus offered load with $p_h = 17, 31$

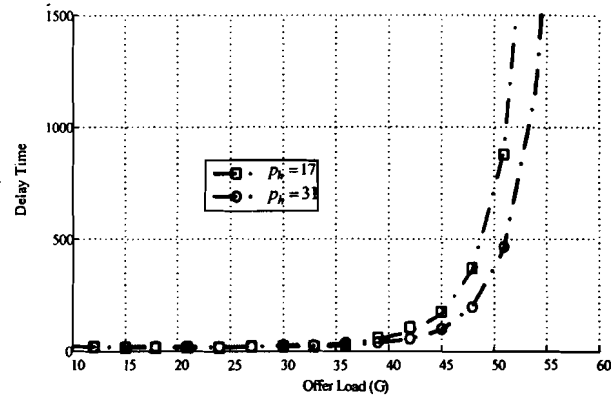


Figure 3. Delay time versus offered load with $p_h = 17, 31$

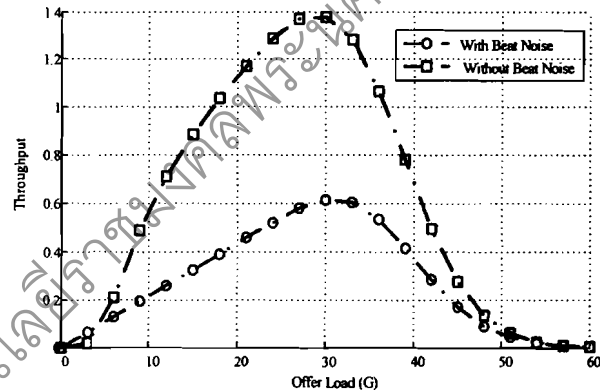


Figure 4. Throughput versus offered load with and without beat noise

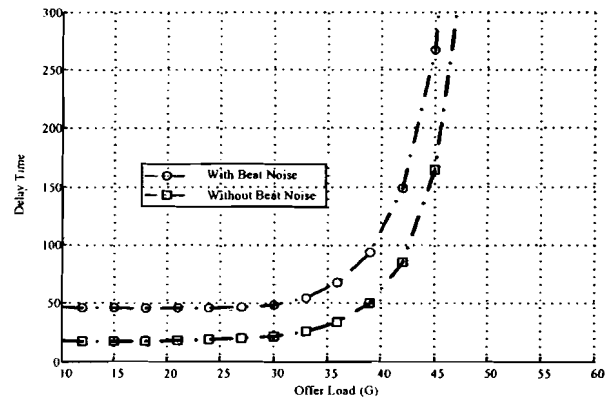


Figure 5. Delay time versus offered load with and without beat noise

Figure 2 compares the throughput versus offered load of OCDMA systems occurred without beat noise with $p_s = 13$, $p_h = 17$ and $p_h = 31$ (the available wavelengths), respectively.

We can see that the curves of throughput are parallel, but when a number of available wavelengths (p_h) increased, throughput increases.

Figure 3 plots the delay time as a function of the offered load for difference the number of available wavelengths (p_h) of OCDMA systems without beat noise. We set, again, the $p_s = 13$, $p_h = 17$ and $p_h = 31$, respectively. It is shown that the delay time start to increase at the offered load around 35-40 and then increases exponentially with the offered load. Additionally, the delay time decrease when the number of available wavelengths (p_h) increased.

Figure 4 shows the throughput with and without the beat noise versus offered load of OCDMA systems with $p_s = 13$ and the available wavelengths $p_h = 17$, respectively. It can be seen that the curves of throughput of without beat noise higher than the throughput with beat noise. Moreover, it clears that beat noise strongly affects the system performance and decreases the amount of simultaneous users.

Figure 5 plots the delay time as a function of the offered load for difference the number of available wavelengths (p_h) with and without beat noise. It is shown that the delay time start to increase at the offered load around 30-35 and then increases exponentially with the offered load. These means that beat noise has more effect in OCDMA system. Therefore, the beat noise is a very big problem and also is a big challenge how to reduce the beat noise effect in OCDMA systems.

IV. CONCLUSION

We propose performance evaluation of CDMA MAC protocol with and without beat noise by using 2-D optical CDMA over WDM networks. We use the asymmetric prime-hop sequence code. Moreover, we observe the effects of a number of available wavelengths in terms of average number of attempting to transmit per time slot (offered load), and also beat noise in system is considered. The presented numerical

results based on the throughput and delay time versus the offered load. The results clear that the beat noise and prime code number has more effect in OCDMA system. Therefore, the beat noise is a very big problem and challenges to researcher who would like to reduce the beat noise effect in OCDMA systems.

ACKNOWLEDGMENT

This article was supported and received funding from Rajamangala University of Technology Phranakorn (RMUTP). Especially, the authors would like to special thanks to Mr. Sommart Sang-Ngern, a lecturer of the Department of Telecommunication Engineering, Mahanakorn University of Technology (MUT), Thailand for his review and discussions.

REFERENCES

- [1] Kamath, P., Touch, J.D., Bannister, J.A., "The need for media access control in optical CDMA networks," *INFOCOM 2004*, Volume 4, pp. 2208 - 2219, 7-11 March 2004.
- [2] Mohamed, M.A.A., Shalaby, H.M.H., El-Badawy, E.-S.A.-M., "Performance Analysis of an Optical CDMA MAC Protocol With Variable-Size Sliding Window," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 24, Issue 10, pp.3590 - 3597, Oct. 2006.
- [3] Galli, S., Menendez, R., Toliver, P., Banwell, T., Jackel, J., Young, J., Etemad, S., "DWDM-compatible spectrally phase encoded optical CDMA," *GLOBECOM '04. IEEE*, Vol.3, pp1888 - 1894, 29 Nov.-3 Dec. 2004.
- [4] Kitayama, K., Xu Wang, Naoya Wada, "OCDMA over WDM PON-solution path to gigabit-symmetric FTTH," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 24, Issue 4, pp. 1654 - 1662, April 2006.
- [5] Tancevski, L., Rusch, L.A., "Impact of the beat noise on the performance of 2-D optical CDMA systems," *IEEE Communications Letters*, vol 4, Issue 8, pp264 - 266, Aug. 2000.
- [6] Srinivasan, M., Geetha, G., Meenakshi, M., "Comparison of prime code, extended prime code and quadratic congruence code using a normalized throughput metric," *ICTON2004*, vol. 2, pp.168 - 171, Sept. 2002.
- [7] Stok, A., Sargent, E.H., "System performance comparison of optical CDMA and WDMA in a broadcast local area network," *IEEE Communications Letters*, vol. 6, Issue 9, pp.409 - 411, July 2004.