รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2546
โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 19 เรื่อง
การเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง

1. ผู้รับผิดชอบโครงการ

อาจารย์ ดร.ดวงฤดี วงค์ล่ำซำ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) ศึกษาและวิเคราะห์ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงบนเครือข่ายเส้นใยนำแสงที่มีใช้งานอยู่จริง
2) ตรวจวัดสภาพและค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ของเส้นใยแสง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในงาน simulation
3) เสนอแนะวิธีการต่างๆที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลในแต่ละช่วงต่อของเครือข่ายเส้นใยนำแสง

3. ขอบเขตหรือเป้าหมายของโครงการ

โครงการวิจัยนี้เน้นให้ผู้วิจัยและนิสิตได้มีโอกาสสัมผัสกับระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงที่ใช้งานอยู่จริง อย่างเช่น เครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้มีส่วนร่วมในกระบวนการวัดค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆของเส้นใยนำแสง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้แบบทำจริง (Hands-on) ส่วนขอบเขตของงานในทางปฏิบัติคือการเก็บรวบรวมข้อมูลของเครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อนำมาวิเคราะห์และใช้เป็นฐานข้อมูลจริงในงาน simulation ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถบ่งชี้ถึงข้อจำกัดและประสิทธิภาพสูงสุดของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายนั้น สำหรับเป้าหมายหลักของงานวิจัยคือ การเสนอแนะวิธีการและขั้นตอนที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลในเครือข่าย โดยที่วิธีการเหล่านั้นจะสามารถนำมาทดลองปฏิบัติตามหรือประยุกต์ใช้งานได้จริง

4. ปัญหา และความเป็นมา

ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงเป็นเทคโนโลยีใหม่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากสมรรถภาพอันสูงทั้งปริมาณการส่งข้อมูลที่มากกว่าสื่อประเภทอื่นๆ และระยะทางส่งได้ไกลกว่า หากแต่ระบบนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักดีในประเทศไทย หนึ่งในสาเหตุอาจมาจากการลงทุนสูงในการวางสายเคเบิลเส้นใยนำแสงต่อกันเป็นเครือข่าย ทำให้จำนวนเครือข่ายมีน้อยและเนื้อที่ครอบคลุมถูกจำกัดด้วยวงเงินลงทุน อีกทั้ง แต่ละเครือข่ายถูกออกแบบมาจำเพาะเพื่อการใช้งานภายในองค์กรนั้นๆ จึงขาดความสามารถในการเชื่อมโยงเข้าถึงกันเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างทั่วถึง ยิ่งไปกว่านั้น อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงก็มีราคาแพงมากเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนใหญ่จะสั่งซื้อทั้งระบบมาติดตั้งทีละครั้งคราวไปตามความต้องการที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากระบบที่ถูกเลือกมาดีเยี่ยม แต่กลับไม่เหมาะสมกับเครือข่ายที่ได้ลงทุนวางลงไป ก็จะทำให้ไม่ได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ หรืออย่างกรณีที่เครือข่ายเดิมไม่สามารถรองรับระบบใหม่ได้ จนจำเป็นต้องมีการวางเครือข่ายเส้นใยนำแสงชนิดใหม่ขึ้นมาใช้แทน อันถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากร และไม่ได้ใช้ประโยชน์จากสิ่งที่ลงทุนไปแล้วให้คุ้มค่าและเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้น จึงสมควรที่จะศึกษาและวิเคราะห์ระบบสื่อสารบนเครือข่ายเส้นใยนำแสง

ที่มีใช้งานอยู่จริงในประเทศไทย เพื่อสามารถบ่งชี้ถึงขีดจำกัดของเครือข่ายนั้นๆ และช่วยให้ข้อเสนอแนะในการเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลของระบบให้มากขึ้น

5. แนวเหตุผล และทฤษฎี

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงได้ถูกค้นคิดขึ้นมาไว้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่หาได้ในแต่ละยุคสมัย โดยหลักการแล้วสามารถแบ่งออกเป็นสองแนวทางหลักคือ การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้เร็วขึ้น และการเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณให้มากขึ้น

สำหรับแนวทางแรก จำนวนเส้นใยนำแสงที่วางเชื่อมโยงไว้เป็นเครือข่ายยังคงเท่าเดิม แต่เพิ่มอัตราการส่งข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณให้เร็วขึ้น ข้อจำกัดของการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วสูงสุดในการรับ ส่งและประมวลผลสัญญาณของอุปกรณ์ติดตั้งในระบบ อาทิเช่น ตัวมอดูเลตสัญญาณแสงที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 10×10^9 บิดต่อวินาที ถ้าหากต้องการความเร็วที่สูงขึ้นอีก อาจต้องใช้เทคโนโลยีอื่นที่สามารถกำเนิดแสงแบบ Ultra short pulse ปัญหาที่ตามมาเมื่ออัตราการส่งข้อมูลเร็วขึ้นคือ การเพิ่มขึ้นของสัญญาณสอดแทรกและปริมาณคลื่นรบกวน ซึ่งจะทำให้กระบวนการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์สำคัญๆในการออกแบบระบบจำเป็นต้องมีความละเอียดรอบคอบมากขึ้น เพื่อการคัดเลือกตัวอุปกรณ์ที่เหมาะสมมาประกอบใช้งาน อีกทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงที่ความเร็วสูงก็หายากและมีราคาแพงทำให้ต้นทุนโดยรวมของระบบยิ่งสูงมากขึ้น ดังนั้น การนำแนวทางนี้มาประยุกต์ใช้งานอาจปฏิบัติได้ถึงแค่ระดับอัตราความเร็วระดับหนึ่งซึ่งจะไม่เพิ่มค่าการลงทุนมากจนเกินไปกว่าประโยชน์ที่จะได้รับกลับคืนมา

สำหรับแนวทางที่สอง การเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณในระบบสามารถกระทำได้หลายวิธี วิธีแรกคือการวางสายเคเบิลเส้นใยนำแสงเพิ่ม แต่วิธีนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากเครือข่ายเดิมและเป็นการลงทุนที่สูง วิธีถัดไปซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือเทคนิคการมัลติเพลกซ์สัญญาณตามค่าความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing - WDM) จำนวนช่องส่งสัญญาณทั้งหมดในแต่ละเส้นใยนำแสงจะเท่ากับจำนวนค่าความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ทำให้การเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณทีละน้อยเพื่อตอบสนองต่อความต้องการส่งข้อมูลที่ค่อยๆมีมากขึ้นและวงเงินในการปรับปรุงระบบที่จำกัดก็สามารถปฏิบัติตามได้ อุปกรณ์สำคัญที่ต้องติดตั้งเสริมคือตัวมัลติเพลกซ์และตัวดีมัลติเพลกซ์เพื่อใช้สำหรับรวบรวมและแยกแยะสัญญาณจากแต่ละช่องสัญญาณ คุณสมบัติต่างๆของตัวอุปกรณ์เสริมต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบพร้อมไปกับปัจจัยอื่นๆที่คำนึงถึงในการออกแบบระบบ อาทิเช่น ช่วงห่างระหว่างช่องสัญญาณที่เกิดปัญหาสัญญาณสอดแทรกน้อยที่สุด จำนวนช่องสัญญาณเข้าออกมากสุดที่จะเหมาะสมกับขนาดของเครือข่ายและอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการรับส่งข้อมูลในอนาคต และท้ายที่สุด ปริมาณการสูญเสียกำลังแสงเมื่อส่งผ่านอุปกรณ์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์งบประมาณกำลังในแต่ละช่วงต่อของเครือข่าย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดสภาพและค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญๆของเครือข่ายเส้นใยนำแสงก่อนที่จะสามารถนำเทคนิค WDM มาประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณการส่งข้อมูลให้มากที่สุด

6. ขั้นตอนการวิจัย

แผนการดำเนินการได้ถูกออกแบบไว้สำหรับระยะเวลา 2 ปี ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

เดือน																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P1																							
		P2																					
							P3																
												P4											
																				P5			

<u>ปีที่1</u>

Phase 1: ศึกษาและวิเคราะห์ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง (เริ่มต้นจากเครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจะขยายออกไปครอบคลุมที่อื่นๆที่ตอบรับให้ความร่วมมือ)

Phase 2: ตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆของเส้นใยนำแสง

Phase 3: เสนอแนะวิธีการและขั้นตอนการปรับปรุงระบบสื่อสาร ที่จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเส้นใยนำแสงนั้นๆ และเขียนรายงานสรุปผลงานในปีแรก

<u>ปีที่2</u>

Phase 4: ทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่เสนอแนะกับเครือข่ายเส้นใยนำแสงของจุฬาฯ โดยจะประกอบชุดสาธิตตัวรับและตัวส่งแสงขึ้น เพื่อตรวจสอบถึงอุปสรรค ความเป็นไปได้ และวัดค่าความสัมฤทธิผลของการปรับปรุง

Phase 5: ผลลัพธ์ที่ได้จากงาน simulation โดยการป้อนข้อมูลจริงลงใน Optiwave™ simulation software จะสามารถนำมาใช้คาดการณ์ถึงขีดจำกัดและประสิทธิภาพที่สูงสุดของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเส้นใยนำแสง ซึ่งอาจมีผลงานออกเป็นบทความที่ส่งตีพิมพ์ในวารสาร หรือ การประชุมระดับชาติและนานาชาติได้ ท้ายที่สุดเขียนรายงานสรุปผลโครงการ

7. ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้วใน 1 ปีแรก

1) ศึกษาและวิเคราะห์แผนผังการวางสายเคเบิลเส้นใยนำแสงภายในจุฬาฯ

ชื่อเครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาฯ คือ CHULANET phase 1 & 1 extended มีทั้งเส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (single-mode fiber: SMF) และหลายโหมด (multimode fiber: MMF) โดยเน้นศึกษาเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างสำนักงานสารสนเทศ (ตึกจามจุรี 3) กับศูนย์คอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึกวิศวกรรมศาสตร์ 3) ซึ่งจะเป็นเส้นทางที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับงาน simulation อาทิเช่น ชนิดและจำนวน

ของเส้นใยนำแสง, ชนิดและระยะความยาวของสายเคเบิล, ชนิดของตัวต่อเชื่อม (ซึ่งพบว่าเป็นแบบ ST connector ทั้งหมด) และ ตำแหน่งต่อเชื่อมในตัวอาคาร เช่น ที่ห้องเครือข่ายชุมสาย

จากการศึกษาพบว่า เส้นใยนำแสงชนิด MMF จำนวน 96 เส้นที่มีอัตราการส่งข้อมูล 10 Mb/s ถูกใช้งานเกือบหมดทุกเส้นแล้วในการเชื่อมต่อกับคณะต่างๆทั่วทั้งจุฬาฯ แต่ในทางตรงกันข้าม เส้นใยนำแสงชนิด SMF ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลสูงถึง 1 Gb/s กลับมีการใช้งานอยู่เพียง 2 คู่จาก 48 เส้น ด้วยเหตุผลที่ว่าราคาอุปกรณ์ที่ใช้ต่อกับเส้น SMF ยังสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาอุปกรณ์ที่ใช้ต่อกับเส้น MMF จากการที่เส้น SMF ยังไม่มีการใช้งานอยู่นี้เอง จึงเปิดโอกาสให้โครงการวิจัยนี้สามารถเข้ามามีส่วนร่วมในการใช้ประโยชน์จากเส้น SMF ที่ยังว่างอยู่ในส่วนของแผนงานวิจัยปีหน้า หลังจากที่นิสิตผู้ช่วยวิจัยประกอบอุปกรณ์ตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสง ที่อัตราการส่งข้อมูลความเร็วสูงได้สำเร็จแล้ว ก็จะใช้เส้นใยนำแสง SMF ที่ว่างอยู่เหล่านี้ต่อเชื่อมกันเข้าเป็นเครือข่ายแบบวงแหวน ซึ่งจะได้ระยะทางรวมทั้งสิ้นประมาณ 8.95 km สำหรับใช้ในงานทดลองส่งและรับสัญญาณแสงจริงบนเครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาฯ

2) ตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆของเส้นใยนำแสง

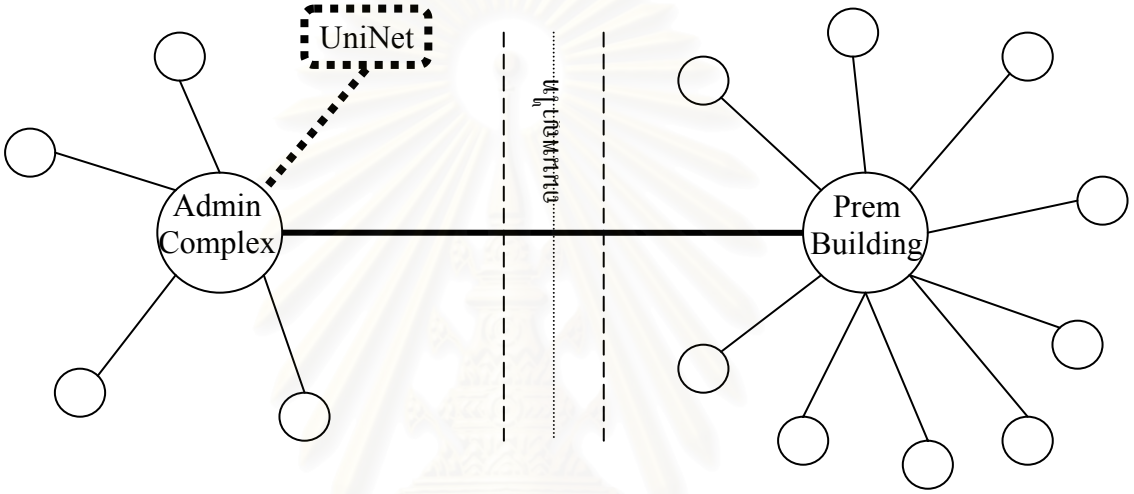
ในส่วนของการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลของเส้นใยนำแสงชนิด SMF บนเครือข่าย CHULANET จะเริ่มดำเนินการหลังจากที่ได้ทยอยจัดซื้ออุปกรณ์และเครื่องมือวัดค่าต่างๆมาเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากผลของการสอบถามราคาค่าเช่าอุปกรณ์และเครื่องมือวัดล้วนแต่มีราคาแพง อีกทั้งผู้รับเหมาจะไม่อนุญาตให้นิสิตใช้เครื่องมือทำการทดลองวัดค่าเอง ดังนั้น แทนที่จะเสียงบวิจัยจำนวนมากไปกับค่าเช่าเครื่องมือเพียงชั่วครั้งชั่วคราวแล้วไม่เกิดประโยชน์สูงสุด จะขอชะลอการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของเส้นใยนำแสงไว้ก่อน จากข้อมูลที่ทราบมาคือจะมีงบครุภัณฑ์วงเงิน 1.2 ล้านบาทเพื่อการจัดซื้อตัว OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) ได้ภายในเดือนตุลาคมปีนี้ และในส่วนของงบประมาณปีหน้า 2548 ได้ยื่นของบครุภัณฑ์วงเงินรวมประมาณ 6 ล้านบาทเพื่อจัดซื้อเครื่องมือวัด 3 รายการคือ OSA (Optical Spectrum Analyzer) และ DCA (Digital Communication Analyzer) mainframe with 2 optical/electrical plug-in modules ที่อัตราความเร็วตรวจวัดสูงถึง 10 Gb/s ซึ่งต้องรอฟังผลการพิจารณาต่อไป แต่ในขณะนี้ ได้จัดซื้อวัสดุต่างๆที่ใช้ทำความสะอาดเส้นใยนำแสง และกล้องส่องขยาย 100 เท่า สำหรับตรวจสอบสภาพปลายสายเส้นใยนำแสง เตรียมพร้อมไว้ใช้ในกระบวนการวัดค่าเรียบร้อยแล้ว รวมทั้งได้ซื้อตัวต่อและสายต่อเส้นใยนำแสง (adapter and patch cord) จำนวนมากพอสำหรับเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงเข้าเป็นเครือข่ายแบบวงแหวนไว้พร้อมแล้วเช่นกัน

3) เสนอแนะวิธีการและขั้นตอนการปรับปรุงระบบสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง

ก่อนที่จะสามารถเสนอแนะวิธีการปรับปรุงระบบส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่ง ต้องเริ่มต้นจากการศึกษาถึงประเภท, ลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่าย (network topology), ขนาดความต้องการส่งข้อมูล, และขีดจำกัดของเครือข่ายนั้นๆอย่างละเอียด ควบคู่ไปกับการเรียนรู้ถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่จะสามารถนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสมในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายนั้นๆ

เครือข่ายเส้นใยนำแสงที่กำลังศึกษาอยู่จัดอยู่ในประเภท Access or campus network ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมจำกัดอยู่ภายในบริเวณรั้วมหาวิทยาลัย ลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายจะเป็นแบบ Star topology โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นที่รวมของเส้นใยนำแสงทุกคู่ และมีทางผ่าน (Gateway) เชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกในการส่งต่อ

ข้อมูลเข้าและออกจากมหาวิทยาลัย ในกรณีของเครือข่าย CHULANET จุดศูนย์กลางมีอยู่สองตำแหน่งคือที่ตึกจามจุรี 3 กับตึกเปรม สอดคล้องกับสองฝั่งถนนพญาไทดั่งภาพแสดงในรูปภาพที่ 1 โดยที่ตึกจามจุรี 3 จะมี Gateway ติดตั้งอยู่เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย UniNet (Inter-University Network)[1] และทั้งสองจุดศูนย์กลางถูกเชื่อมต่อเข้าหากันด้วยเส้นใยนำแสงหนึ่งคู่ที่อัตราการส่งข้อมูลสูงถึง 1 Gb/s ส่วนอัตราการส่งข้อมูลในคู่เส้นใยนำแสงคู่อื่นๆที่เชื่อมต่อกระจายออกจากจุดศูนย์กลางไปยังคณะต่างๆจะมีความเร็วอยู่ที่ 10, 100 หรือ 155 Mb/s ขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการรับส่งข้อมูลผ่านคณะนั้นๆ รายละเอียดของตัวเลขและแผนผังเครือข่าย CHULANET มีอยู่ที่สำนักงานเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือ download ได้จาก website http://www.it.chula.ac.th/document/20021127-network-map.pdf



รูปที่ 1 เครือข่ายเส้นใยนำแสงภายในจุฬาฯแบบ Star topology ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ 2 ตำแหน่ง

ขนาดความต้องการในการส่งข้อมูลบนเครือข่าย CHULANET ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น จำนวนผู้ใช้บริการ, ชนิดของข้อมูล, และอัตราความเร็วของตัวรับส่งข้อมูล เป็นต้น จำนวนผู้ใช้บริการจะไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาของวัน บางช่วงอาจเป็นช่วงยอดฮิตอย่างเช่นเวลาพักเที่ยงวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในระหว่างอาทิตย์แรกของการเปิดเทอมที่นิสิตต้องลงทะเบียนวิชาเรียนผ่านทาง Internet ทำให้ปริมาณข้อมูลส่งผ่านเครือข่ายมีมากเกินกว่าที่จะสามารถรองรับได้ จนเกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลอย่างชัดเจนหรืออาจทำให้ระบบล่มได้ชั่วขณะ ส่วนชนิดของข้อมูลจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ protocol ที่ตัวส่งสัญญาณเลือกใช้ โดยส่วนใหญ่ที่ ณ ตำแหน่งผู้ใช้บริการ ตัวส่งจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละตัวที่ต่อรวมกันเข้าเป็นเครือข่าย LAN (Local Area Network) ด้วยสายเคเบิล UTP category 5 ที่อัตราความเร็ว 10 ถึง 100 Mb/s โดยมีตัว Ethernet router เป็นจุดศูนย์กลางอย่างใน Star topology ตัว Ethernet router เหล่านี้เองจะแปลงสัญญาณไฟฟ้าขาเข้าออกมาเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งต่อไปบนเครือข่าย CHULANET ที่อัตราความเร็วจำกัดค่าหนึ่งคือ 100 หรือ 155 Mb/s ดังนั้น ชนิดของข้อมูลส่วนใหญ่ที่ส่งบน LAN และ CHULANET จะเป็น IP (Internet Protocol) packets จากลักษณะเฉพาะตัวของ IP packets ที่ไม่มีข้อมูลส่งอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอเหมือนอย่างสัญญาณเสียง ทำให้ปริมาณการส่งข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้อย่างกะทันหันอยู่ตลอดเวลา

[1] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ http://www.uni.net.th/index_e.html

ด้วยเหตุผลต่างๆที่เพิ่งกล่าวมา ขนาดความต้องการในการส่งข้อมูลจึงไม่มีตัวเลขชัดเจนแน่นอน ทางออกที่เหมาะสมสุดจึงเป็นการหาเทคโนโลยีที่จะเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้สูงขึ้น เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูลที่ปรับเปลี่ยนขึ้นหรือลงได้อย่างทันท่วงที หากแต่ต้องคำนึงถึงขีดจำกัดของเครือข่ายประเภทนี้ด้วยว่าเป็นเครือข่ายขนาดเล็ก มีวงเงินลงทุนในการปรับปรุงเครือข่ายและติดตั้งอุปกรณ์สมรรถนะสูงเพิ่มเติมไม่มากนัก และอุปกรณ์ต่อเชื่อมเช่น Ethernet router ก็มีจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไป การจะปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่อเชื่อมทุกตัวให้มีอัตราส่งความเร็วสูงขึ้นจะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ดังนั้นเทคโนโลยีที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบให้เหมาะสม

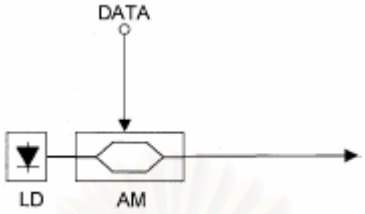
จากสองแนวทางหลักที่ได้เสนอไว้แต่แรกในส่วนของแนวเหตุผลและทฤษฎี คือ (1) การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้เร็วขึ้น และ (2) การเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณให้มากขึ้นด้วยเทคนิค WDM อันที่จริงแล้วทั้งสองแนวทางนี้สามารถนำมาผสมประสานใช้งานร่วมกันได้ คือทั้งเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้เร็วขึ้นถึงระดับ Gb/s พร้อมกับเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณแบบ WDM ให้มากกว่าหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งเส้นใยนำแสง หลังจากการศึกษาและวิเคราะห์เครือข่าย CHULANET ทีมงานวิจัยนี้มีความเห็นว่า การผสมประสานใช้งานของทั้งสองแนวทางจะกระทำได้ถึงแค่ระดับต้นเท่านั้นจึงจะคุ้มกับการลงทุนและปฏิบัติใช้งานได้จริง เพราะความต้องการในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายในปัจจุบันยังไม่มากถึงขนาด 10 Gb/s ที่ต้องใช้อุปกรณ์หายากและมีราคาแพง ด้วยเหตุผลนี้เอง ทางทีมงานวิจัยจึงเลือกแนวทางแรกมาเริ่มดำเนินการให้บรรลุผลก่อน โดยมีเป้าหมายที่จะออกแบบตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสงให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่ 2.5 Gb/s ในแต่ละช่องส่งสัญญาณแบบ WDM และเมื่อใดที่เครือข่าย CHULANET มีความต้องการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นในอนาคตก็จะสามารถเสียบเพิ่มจำนวนช่องส่งสัญญาณแบบ WDM ได้ทันที ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากเส้นใยนำแสงคู่เดิมอย่างเต็มที่ แทนที่จะต้องเปลี่ยนไปใช้คู่เส้นใยนำแสงคู่ใหม่

ในการออกแบบตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสง ต้องเริ่มต้นจากการศึกษาและเข้าใจวิธีการมอดูเลตสัญญาณแสงตามแบบต่างๆที่ได้มีการพัฒนาปรับปรุงมา รวมไปถึงรายละเอียดของตัวองค์ประกอบสำคัญๆที่ต้องใช้ในภาคตัวส่งและภาคตัวรับสัญญาณแสงสำหรับวิธีการมอดูเลตแบบนั้นๆ เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการส่งข้อมูล รวมทั้งสามารถเลือกออกแบบตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสงได้อย่างเหมาะสมต่อไปในช่วงโครงการวิจัยปีที่ 2

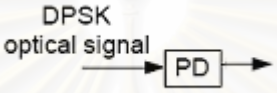
ระบบการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้เริ่มมีการใช้งานมากว่า 20 ปี ตลอดมานั้นการส่งข้อมูลนิยมใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้ม (IM: intensity modulation) เพราะเนื่องจากความง่ายของวงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ซึ่งไม่สลับซับซ้อนทั้งในภาคตัวส่งและภาคตัวรับสัญญาณแสง ทำให้วิธีการมอดูเลตนี้ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่ในช่วงไม่กี่ปีหลัง ความต้องการในการส่งข้อมูลมีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การมอดูเลตสัญญาณทางความเข้มเริ่มไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้น จึงได้มีความสนใจในการศึกษาระบบการส่งข้อมูลโดยการมอดูเลตสัญญาณแบบอื่นๆมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น การมอดูเลตสัญญาณทางเฟส (phase modulation) เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณทางเฟสให้ประสิทธิภาพการส่งข้อมูลสูงกว่าการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้ม แต่มีปัญหาในการปฏิบัติใช้งานจริงเนื่องจากมีความยุ่งยากในการสร้างระบบทั้งในภาคตัวส่งและภาคตัวรับสัญญาณ ส่วนรายละเอียดของวิธีการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้มกับการมอดูเลตสัญญาณทางเฟสด้วยวิธีต่างๆมีแสดงดังต่อไปนี้

3.1 การมอดูเลตทางความเข้ม

ในการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้ม ข้อมูลจะถูกแทนที่ด้วยระดับพลังงานของแสง (Amplitude) โดยสัญญาณดิจิตอลที่เป็น '1' จะถูกแทนที่ด้วยระดับพลังงานค่าหนึ่ง และสัญญาณดิจิตอลที่เป็น '0' ก็จะถูกแทนที่ด้วยระดับพลังงานอีกค่าหนึ่ง โครงสร้างของระบบการรับ-ส่งข้อมูลเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2(ก) ภาคตัวส่งของการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้ม



รูปที่ 2(ข) ภาคตัวรับของการมอดูเลตสัญญาณทางความเข้ม

ภาคตัวส่งสัญญาณแสงประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง (Laser diode) ตามด้วย intensity modulator โดยมีการทำงานดังนี้ intensity modulator ทำหน้าที่รับแสงจากตัวกำเนิดแสงมา modulate เข้ากับข้อมูล (data) ที่ต้องการ ได้ออกมาเป็นสัญญาณแสงที่จะใช้ส่งผ่านเส้นใยนำแสง

ภาคตัวรับสัญญาณแสงประกอบด้วยตัวรับแสง (Photodetector) ทำหน้าที่รับสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วนำแสง แล้วแปลงกลับเป็นข้อมูลในรูปสัญญาณไฟฟ้า ก่อนไปผ่านกระบวนการ clock recovery and data sampling

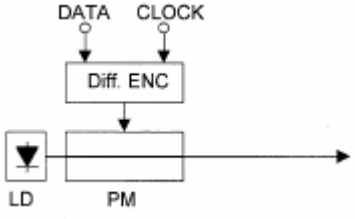
3.2 การมอดูเลตทางเฟส

ในการมอดูเลตสัญญาณทางเฟส ข้อมูลจะถูกแทนที่ในรูปของเฟส เช่นในระบบ 2 เฟส PSK (Phase Shift Keying) สัญญาณดิจิตอลที่เป็น '1' จะถูกเปลี่ยนเฟสเป็น 0 องศา และสัญญาณดิจิตอลที่เป็น '0' ก็จะถูกเปลี่ยนเฟสเป็น 180 องศา เป็นต้น ในการมอดูเลตทางเฟสนั่นสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายวิธี เช่น PSK, DPSK, QPSK, DQPSK เป็นต้น

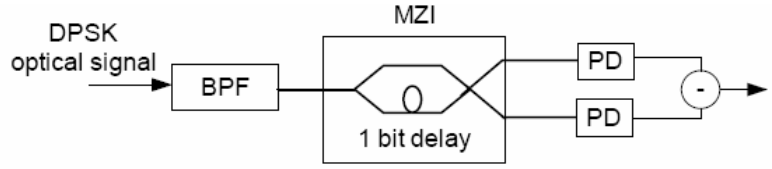
1) Differential phase-shift keying (DPSK)

a. NRZ (Non Return to Zero) - DPSK

โครงสร้างของระบบการรับ-ส่งข้อมูลเป็นดังรูปที่ 3



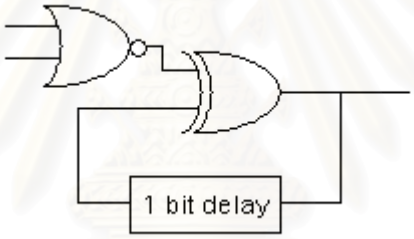
รูปที่ 3 (ก) ภาคตัวส่งของการมอดูเลตสัญญาณทางเฟสแบบ NRZ-DPSK



รูปที่ 3 (ข) ภาคตัวรับของการมอดูเลตสัญญาณทางเฟสแบบ NRZ-DPSK

ภาคตัวส่งสัญญาณแสงประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง (Laser diode) ตามด้วย phase modulator และ DPSK encoder โดยมีการทำงานดังนี้ ก่อนที่เราจะทำการมอดูเลต ข้อมูลจะต้องถูกทำการเข้ารหัสผ่านตัวเข้ารหัส DPSK (DPSK encoder) ก่อน จากนั้น phase modulator จะทำการรับแสงจากตัวกำเนิดมามอดูเลตเข้ากับข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสมาเรียบร้อยแล้ว ให้ได้ออกมาเป็นสัญญาณแสงที่จะใช้ส่งผ่านเส้นใยนำแสง

ในตัวเข้ารหัส DPSK ข้อมูลจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเกต NOR ก่อน หลังจากนั้นก็จะถูกนำมารวมกับสัญญาณของมันที่ผ่านการหน่วงเวลามา 1 บิตโดยเกต XOR ดังรูปที่ 4 สัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านการเข้ารหัสแล้วจะถูกนำไปใช้ในการขับตัวมอดูเลตด้วยเฟสซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง เพื่อกำเนิดสัญญาณทางแสง DPSK ขึ้นมา สัญญาณที่ได้จะมีพลังงานคงที่แต่เฟสจะเปลี่ยนไปตามข้อมูล สัญญาณดิจิตอล ‘1’ จากตัวเข้ารหัสจะถูกแทนที่ด้วยเฟส 180 องศา ส่วนสัญญาณดิจิตอล ‘0’ จะถูกแทนที่ด้วยเฟส 0 องศา

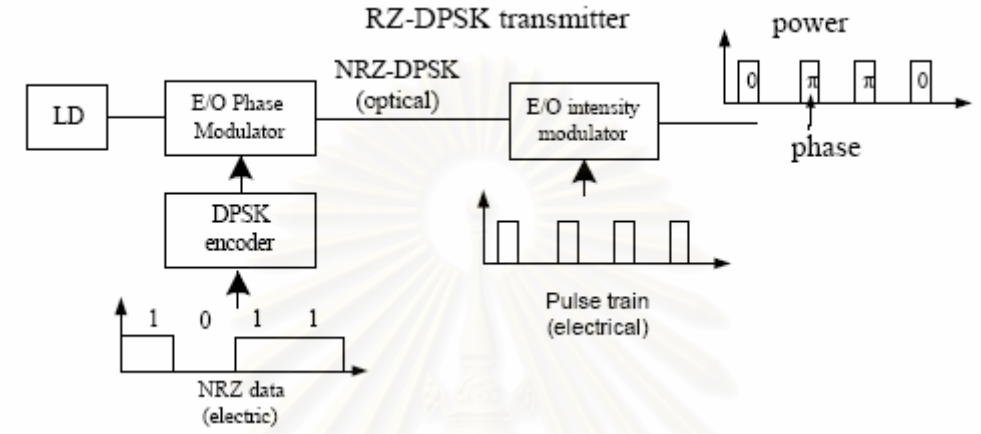


รูปที่ 4 DPSK encoder

ภาคตัวรับสัญญาณแสงประกอบไปด้วย 1-bit delay Mach-Zehnder Interferometer (MZI) และตัวรับแสง (photodetector: PD) โดย MZI ทำหน้าที่เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของบิตแต่ละบิตกับบิตข้างเคียงและทำการเปลี่ยนจากเฟสไปเป็นความเข้ม ถ้าบิตที่อยู่ติดกันสองบิตอยู่ในเฟสเดียวกัน จะถูกรวมกันใน MZI ได้เป็นสัญญาณระดับสูง อีกกรณีหนึ่งถ้าบิตสองบิตที่อยู่ติดกันมีเฟสต่างกัน 180 องศา สัญญาณจะหักล้างกันทำให้ได้สัญญาณระดับต่ำ ที่ขาออกของ MZI มีพอร์ทเอาท์พุตสำหรับสมดุล(balance) 2 พอร์ท PD ถูกใช้ในแต่ละพอร์ทของ MZI จากนั้นกระแสจาก PD ทั้งสองจะถูกรวมกันเพื่อเพิ่มระดับสัญญาณเป็น 2 เท่าจากสัญญาณเดิม ความไวในการตอบสนองจะถูกปรับปรุง 3 dB เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ PD ตัวเดียว ในระบบ DPSK กรณีอุดมคติ ขนาดของสัญญาณจะแกว่งระหว่าง -1 ถึง 1 เมื่อมีการใช้การตรวจจับแสงแบบสมดุล (balance photo-detection) และการจับคู่ตัวกรองแสง (matched optical filter) ความไวที่ภาครับจะมีค่าเป็น 3 dB ดีกว่าระบบ NRZ-OOK ที่ซึ่งสัญญาณจะแกว่งระหว่าง 0 ถึง 1 เท่านั้น

b. RZ (Return to Zero) - DPSK

RZ-DPSK มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบให้ทนทานต่อการผิดพลาดจากความไม่เป็นเชิงเส้นและสามารถส่งได้ระยะทางไกลกว่าเดิม ในการมอดูเลตแบบนี้พัลส์ของแสงเกิดขึ้นในแต่ละช่วงบิต (bit slot) โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปของเฟส อาจจะเป็นเฟส 0 หรือ 180 องศา โดยทั่วไปความกว้างของพัลส์ของแสงจะแคบกว่าช่วงบิตและพลังงานทางแสงของสัญญาณมีค่ากลับมาสู่ค่า 0 ที่ขอบของแต่ละช่วงบิต สำหรับวิธีนี้จะมีโครงสร้างภาครับ-ส่งเช่นเดียวกับ NRZ-DPSK เพียงแต่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงภาคส่งใหม่ดังรูปที่ 5



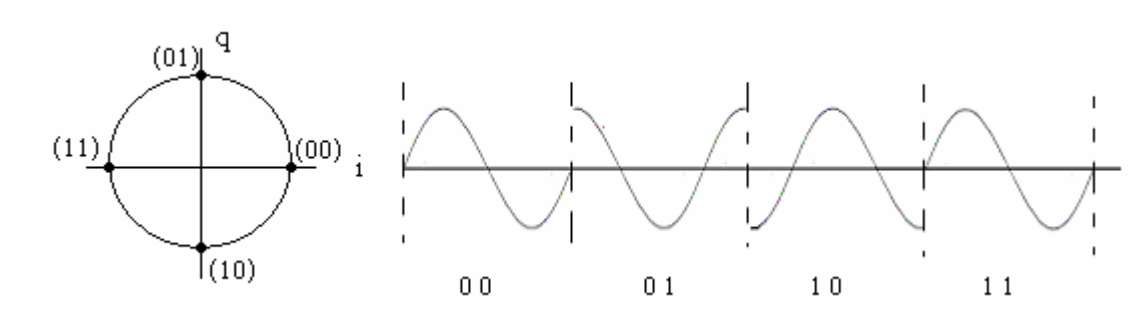
รูปที่ 5 ภาคตัวส่งของการมอดูเลตแบบ RZ-DPSK

ที่ภาคตัวส่งของ RZ-DPSK มีการเพิ่มตัว intensity modulator จาก ภาคตัวส่งของ NRZ-DPSK เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ NRZ ไปเป็นสัญญาณ RZ โดยการทำงานของภาคตัวส่งเริ่มจากตัวมอดูเลตด้วยเฟสทำการสร้างสัญญาณทางแสง NRZ-DPSK และจากนั้นสัญญาณนี้จะถูกสุ่มโดยขบวนของพัลส์เป็นช่วง ๆ ผ่านตัวมอดูเลตด้วยความเข้ม ในการมอดูเลตแบบนี้ความเข้มแสงของสัญญาณจะไม่เป็นค่าคงที่นาน ๆ ซึ่งจะนำไปสู่ความไวต่อการปรับเฟสของตัวมันเอง (self-phase modulation) แต่การที่พัลส์ของความเข้มแสงแคบลง สเปคตรัมของแสงของ RZ-DPSK จะกว้างขึ้นและกว้างกว่าสเปคตรัมของ NRZ-DPSK เมื่อสเปคตรัมกว้างกว่าก็จะไวต่อ chromatic dispersion มากขึ้น ด้วยเช่นกัน

2) Quadrature phase-shift keying (QPSK)

QPSK อาจจะเรียกว่า Quadrature, Quaternary หรือ Quadriphase PSK ก็ได้ เป็นการมอดูเลตโดยใช้ข้อมูลทีละ 2 บิต ในการส่งสัญญาณ 1 คาบ เพื่อเพิ่มความเร็วในการมอดูเลต และการส่งข้อมูลด้วย ทำโดยการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 2 บิต ซึ่งเรียกกลุ่มเหล่านี้ว่าไดบิต (dibit) แต่ละไดบิตจะแทนด้วย 1 ลักษณะ

(เริ่มต้นด้วยเฟสต่างกัน)



รูปที่ 6 ลักษณะรูปคลื่นของ QPSK

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้แทนแต่ละไดบิตโดย

(00) แทนด้วยเฟสเริ่มต้น 0 เรเดียน

(01) แทนด้วยเฟสเริ่มต้น $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน

(11) แทนด้วยเฟสเริ่มต้น $-\pi$ เรเดียน

(10) แทนด้วยเฟสเริ่มต้น $-\frac{\pi}{2}$ เรเดียน

3) Differential Quadrature phase-shift keying (DQPSK)

DQPSK เกิดจากการนำเทคนิคสองอย่างมารวมกันคือ Quadrature phase-shift keying (QPSK) และ Differential phase-shift keying (DPSK) ลักษณะของการมอดูเลตแบบ DQPSK เป็นดังนี้

DQPSK จะนำข้อมูลมาสร้างสัญญาณทีละ 2 บิต (ไดบิต) โดยเริ่มส่งที่เฟส $-\pi$ เรเดียน (a_0) จากนั้นจะเป็นดังนี้ (a_k แทนเฟสเริ่มต้นในการส่ง)

Dibit	a_k-a_{k-1}
0 0	0
0 1	$\frac{\pi}{2}$
1 0	$-\frac{\pi}{2}$
1 1	$-\pi$

ตัวอย่าง การส่งข้อมูลแบบ DQPSK

ข้อมูลขาเข้า | 1 0 | 1 1 | 0 1 | 0 0

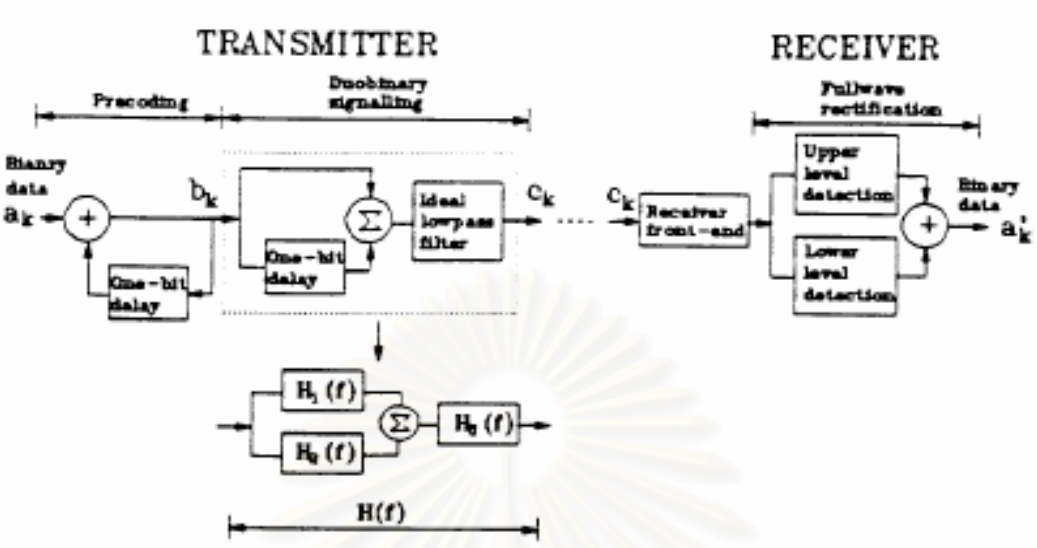
ส่งด้วยเฟส $-\pi$ $\frac{\pi}{2}$ $-\frac{\pi}{2}$ 0 0

(ภาครับ) เปรียบเทียบเฟส $-\frac{\pi}{2}$ $-\pi$ $\frac{\pi}{2}$ 0

ข้อมูล 1 0 1 1 0 1 0 0

นอกจากการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการใช้การมัลติเพล็กซ์ตามรหัสแล้วก็ยังมีวิธีอื่นๆอีกเช่นกัน อาทิเช่น duobinary encoding วิธีการในการส่งสัญญาณแบบดูโอไบนารีทำให้ความจุในการส่งเพิ่มขึ้นเป็นสอง

เท่าจากแบนด์วิทด์ของช่องสัญญาณที่มีอยู่ ลักษณะหลักๆ ของวิธีนี้คือ แบนด์วิทด์ของข้อมูลเริ่มต้นจะถูกลดลงประมาณสองเท่าโดยไม่มีการสูญเสียของข้อมูลเลย โครงสร้างของระบบดูโอไบนารีเป็นดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเข้ารหัสเบื้องต้นของดูโอไบนารีและการสร้างสัญญาณกลับคืนของข้อมูลไบนารี

ที่ภาคตัวส่งสัญญาณ ประกอบด้วยกันสองส่วนคือการเข้ารหัสเบื้องต้น (Precoding) และตัวกรองดูโอไบนารี การเข้ารหัสเบื้องต้นเป็นการป้องกันการผิดพลาดที่เกิดจากระบบดูโอไบนารี สัญญาณที่ได้ออกมามีอยู่สองระดับเช่นเดียวกันกับสัญญาณอินพุตคือ 0 กับ 1 จากนั้นสัญญาณที่ได้นี้ถูกส่งไปสู่ตัวกรองดูโอไบนารี ตัวกรองนี้ประกอบด้วยสองส่วนเช่นกัน ส่วนแรกทำการรวมกันระหว่างสัญญาณที่ได้กับสัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาไว้หนึ่งบิต จากนั้นสัญญาณจะผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งมีแบนด์วิทด์ 1/2T เอาท์พุตที่ได้มีด้วยกัน 3 ระดับคือ 0 ,1 และ 2 ในตัวกรองดูโอไบนารีนี้สามารถเขียนในรูปการแปลงของฟูเรียร์ได้เป็น

$$H_1(f) = 1$$

$$H_2(f) = e^{-j2\pi fT}$$

$$H_3(f) = T \quad ; \ -1/(2T) < f < 1/(2T)$$

$$= 0 \quad ; \ |f| > 1/(2T)$$

$$H(f) = \{H_1(f)+H_2(f)\}H_3(f) = 2T\cos\pi f T e^{-j\pi fT} \quad ; \ -1/(2T) < f < 1/(2T)$$

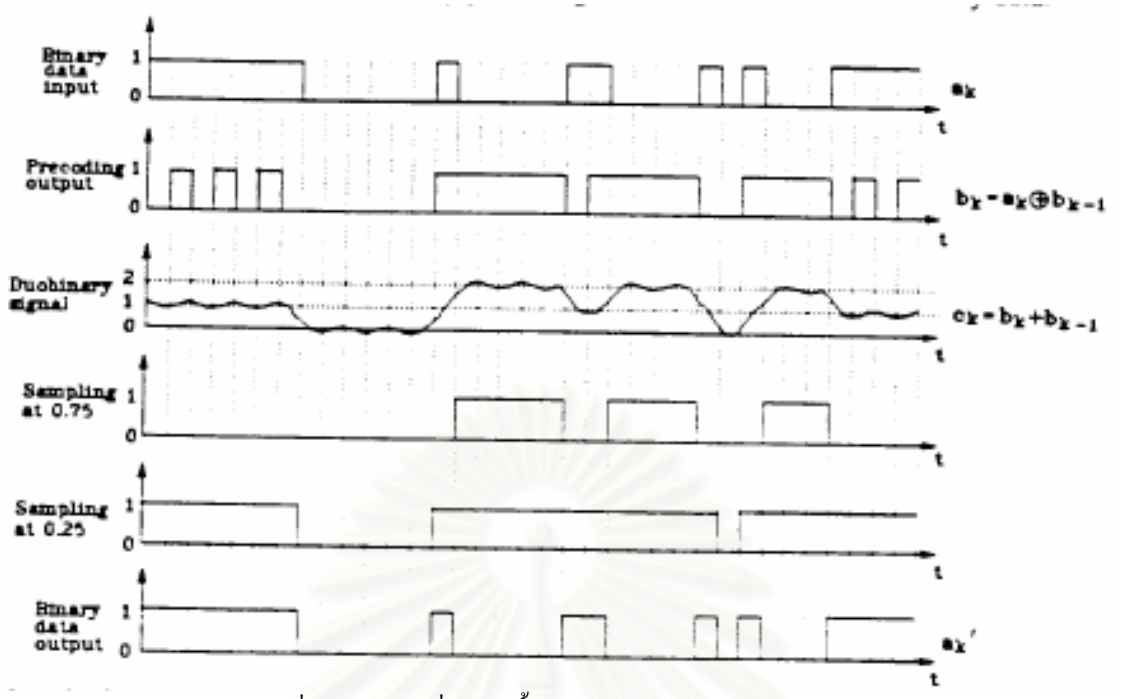
$$= 0 \quad ; \ |f| > 1/(2T)$$

ในที่นี้ไม่พิจารณาเฟส ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของตัวกรองดูโอไบนารีเป็นดังนี้

$$|H(f)| = |2T\cos\pi f T|$$

สัญญาณดูโอไบนารีทางไฟฟ้าที่ได้สามารถแปลงมาเป็นรูปแบบออฟติคอลโดยการมอดูเลตทางตรงหรือทางอ้อม

ที่ภาคตัวรับ สัญญาณที่ได้การดูโอไบนารีที่มีด้วยกัน 3 ระดับตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลสองระดับโดยกระบวนการง่ายๆ คือ สัญญาณที่มีระดับสูงที่สุดและต่ำที่สุดคือ 2 และ 0 ตามลำดับจะถูกแปลงเป็นค่า 0 และสัญญาณระดับกลางคือ 1 จะถูกแปลงเป็น 1 เช่นเดิม การทำงานนี้สามารถทำได้สมบูรณ์โดยการใช้ตัวปรับคลื่น fullwave rectifier สร้าง 2 ฟังก์ชันมา XOR กัน โดยฟังก์ชันหนึ่งจะตัดที่1.5 และ อีกฟังก์ชันจะตัดที่ 0.5 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสเป็นดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 สัญญาณที่ได้จากขั้นตอนการเข้ารหัสและถอดรหัส

8. ผลิตผลหรือความสัมฤทธิผลที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

ไม่มี

9. ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป

1) ประกอบชุดสาธิตตัวรับและตัวส่งสัญญาณแสงที่อัตราความเร็วสูงประมาณ 2.5 Gb/s เพื่อใช้ต่อเชื่อมเข้ากับเครือข่าย CHULANET ในการทดลองส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจริง
2) ใช้ซอฟแวร์ชื่อ Optisystem_Design ของ Optiwave™ simulation software เขียนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเส้นใยนำแสง เพื่อคาดการณ์ถึงขีดจำกัดและประสิทธิภาพที่สูงสุดของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเส้นใยนำแสง
3) เขียนรายงานสรุปผลโครงการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย