บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารข้อมูลเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อที่จะเพิ่มศักยภาพของการสื่อสารข้อมูลให้มีคุณภาพดีขึ้น ในอดีตการสื่อสารจะอยู่ในรูปแบบของการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสายทองแดงชนิดสายคู่พันเกลียว (twisted pair) หรือสายเคเบิลแกนร่วม (coaxial cable) อย่างไรก็ตาม การสื่อสารก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของเทคโนโลยี ส่งผลให้การสื่อสารในรูปแบบเดิมๆ มีปริมาณแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องมีการพัฒนาการสื่อสารใหม่ จากระบบเดิมคือการสื่อสารทางไฟฟ้า (electrical communication) มาเป็นการสื่อสารทางแสง (optical communication) เพราะการสื่อสารระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่สูงและส่งในระยะทางที่ไกลได้มากขึ้น การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลหรือการใช้แบนวิดท์ให้คุ้มค่านั้นสามารถทำได้โดยใช้วิธีการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่นอย่างหนาแน่น (dense wavelength division multiplexing : DWDM) ซึ่งเป็นกลวิธีการรวมช่องสัญญาณที่มีระยะห่างระหว่างแต่ละช่องสัญญาณแคบกว่า 100 GHz ทำให้มีจำนวนช่องสัญญาณให้ใช้งานมากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้การสื่อสารทางแสงสามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ดีกว่าการสื่อสารรูปแบบอื่น การสื่อสารทางแสงสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่ต้องการทั้งคุณภาพและปริมาณที่สูงขึ้นตลอดเวลาได้ ทำให้ระบบสื่อสารผ่านโครงข่ายทางแสงมีการวิจัยและการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ซึ่งส่งผลทำให้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ได้ถูกพัฒนาแล้วนำออกมาใช้มากมายหลายประเภททั้งอุปกรณ์แบบกัมมันต์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (active component) และอุปกรณ์แบบแพสซิฟหรืออุปกรณ์ที่ไม่ใช้พลังงานในการทำงาน (passive component) ในโครงข่ายที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากนั้นจะเกิดปัญหาคอขวด (bottleneck) เนื่องจากขีดจำกัดของอิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่ 40 GHz ดังนั้นการลดจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงแล้วแทนที่ด้วยอุปกรณ์แบบแพสซิฟจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลภายในโครงข่ายทางแสงมีประสิทธิภาพมากขึ้น รูปที่ 1.1 แสดงระบบและอุปกรณ์ของดับเบิ้ลยูดีเอ็ม

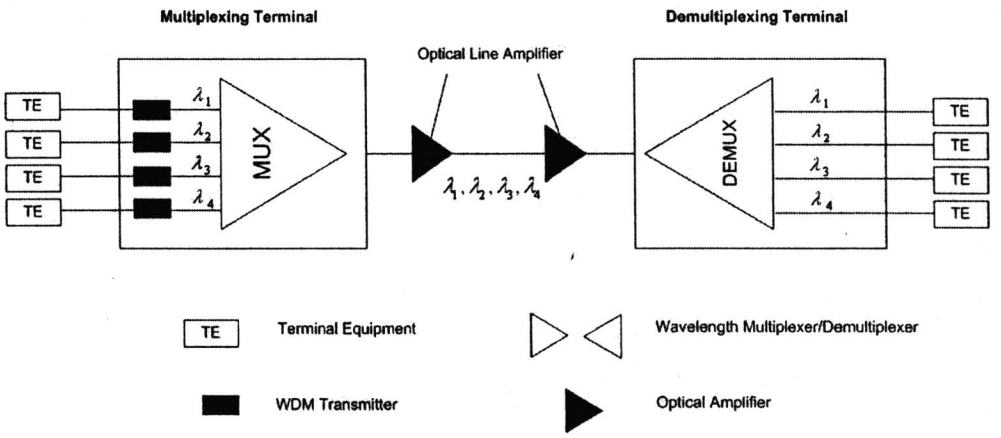
การสื่อสารทางแสง ใช้เส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล เส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่นๆ จะพบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่ามากมาย [1] เช่น

1. เส้นใยแสงมีอัตราสูญเสียพลังงานแสงต่ำ ทำให้ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกล และใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater) และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (amplifier) น้อยกว่าการสื่อสารแบบอื่นๆ

2. เส้นใยแสงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา จากการที่มันมีขนาดเล็กทำให้สามารถรวมเส้นใยแสงหลายๆเส้นให้อยู่ในสายเคเบิลเดียวกันได้ ทำให้เพิ่มช่องทางการสื่อสารมากขึ้น จากการใช้พื้นที่เท่าเดิม

3. เส้นใยแสงผลิตมาจากวัสดุฉนวนไฟฟ้า ทำให้ปราศจากสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีความถูกต้องและความแม่นยำของสัญญาณสูงเมื่อเทียบกับตัวกลางประเภทอื่น ข่าวสารที่ส่งไปจะมีตำแหน่งรับและส่งที่แน่นอน ทำให้การลักลอบดักฟังนั้นเป็นไปได้ยาก

4. เส้นใยแสงทำจากวัสดุที่ไม่มีการเจือจาง และมีความต้านทางต่ออุณหภูมิและความชื้น จึงสามารถนำเส้นใยแสงไปติดตั้งใช้งานใต้น้ำได้ นอกจากนั้นยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน บางเส้นมีอายุการใช้งานยาวถึง 40 ปี และความต้องการในการบำรุงรักษาน้อยมาก

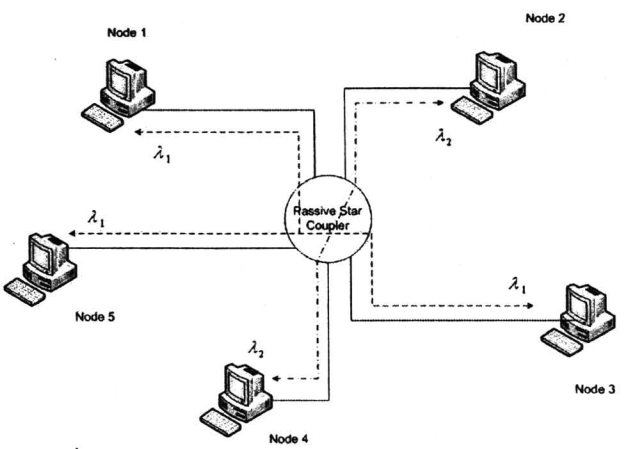


รูปที่ 1.1 ระบบดับเบิ้ลยูดีเอ็ม

จากข้อดีต่างๆของเส้นใยแสงที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้โครงข่ายทางแสง (optical network) ที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางนั้น มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นโครงข่ายแกนหลัก (core network), โครงข่ายขนส่งระยะไกล (long-haul Network), โครงข่ายบริเวณกว้าง (wide area network : WAN) หรือโครงข่ายนครหลวง (metro-politan area network : MAN)

โครงข่ายในการสื่อสารทางแสงที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์สัญญาณด้วยความยาวคลื่นสามารถจำแนกออกเป็นสองแบบหลักๆ[32] คือ โครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบแพร่และเลือกสัญญาณ (WDM broadcast-and-select network) และโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบกำหนดความยาวคลื่นประจำเส้นทาง(WDM wavelength-routed optical network)

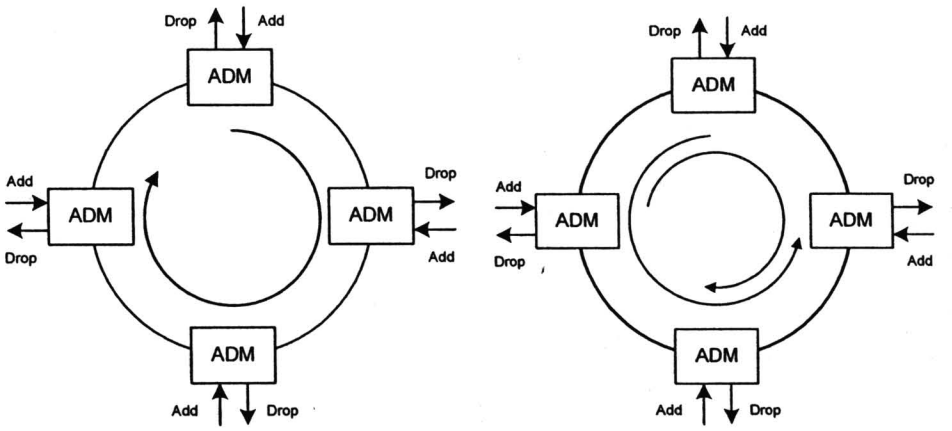
รูปที่ 1.2 แสดงโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ ซึ่งเป็นโครงข่ายแบบหนึ่งของการสื่อสารทางแสงที่อุปกรณ์ภายในโครงข่ายเป็นแบบแพสซิฟทั้งหมดประกอบด้วย อุปกรณ์กระจายสัญญาณตัวคู่ต่อแบบแพสซิฟ (passive star coupler: PSC), อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง(optical amplifier) และ หน่วยชดเชยดิสเพอร์ชัน (dispersion compensation units: DCUs) อีกทั้งยังเป็นโครงข่ายที่มีต้นทุนต่ำและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ

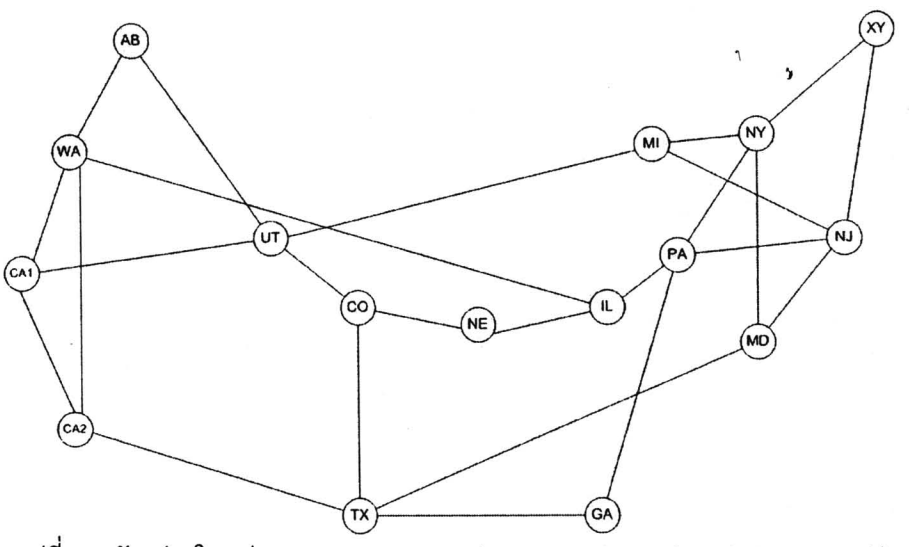
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณส่วนใหญ่จะเป็นการวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ภายในโครงข่าย[2]-[5] เมื่อระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณมากขึ้นด้วยเช่นกัน ในด้านปัญหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณนั้นเกิดจากดิสเพอร์ชัน (dispersion) และความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสง (fiber nonlinearity) ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้หน่วยชดเชยดิสเพอร์ชันและการจัดสรรความยาวคลื่น (wavelength assignment) เพื่อช่วยลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ตัวอย่างการแก้ไขความผิดเพี้ยนของสัญญาณนั้น ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือการติดตั้งหน่วยชดเชยดิสเพอร์ชันในโครงข่ายทางแสง [6] การทำการวางหน่วยชดเชยดิสเพอร์ชันในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อทำการลดค่าดิสเพอร์ชัน [7] ทำให้ค่าดิสเพอร์ชันในโครงข่ายลดลง สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรความยาวคลื่นที่ผ่านมา เช่น การจัดสรรความยาวคลื่นสำหรับการแพร่สัญญาณเฉพาะกลุ่ม (multicast) ในโครงข่ายแบบดับเบิ้ลยูดีเอ็ม ด้วยเงื่อนไขขีดจำกัดของอุปกรณ์แยกสัญญาณ (splitter)[8] และการจัดสรรความยาวคลื่นภายในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณให้มีระยะห่างของแต่ละช่องสัญญาณ (channel spacing) มากที่สุด[9] ซึ่งการจัดสรรความยาวคลื่นให้เหมาะสมในแต่ละข่ายเชื่อมโยงเพื่อเพิ่มระยะห่างในแต่ละช่องสัญญาณจะเป็นการช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากผลกระทบของเคอร์[10]ได้

โครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบกำหนดความยาวคลื่นประจำเส้นทางนั้นแบ่งได้อีก 2 ประเภท คือโครงข่ายแบบวงแหวนและโครงข่ายแบบเมช โครงข่ายแบบวงแหวนเป็นโครงข่ายที่ใช้งานอยู่อย่างแพร่หลายในโครงข่าย MAN/WAN เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่เชื่อถือได้ (reliability) ไม่มีการชนกันของข้อมูลเพราะข้อมูลมีการเดินทางในทิศทางเดียวกันในแต่ละเส้นใยแสงคือทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา และยังมีการป้องกันการล่มของโครงข่าย (protection) ในการส่งข้อมูลในโครงข่ายแบบวงแหวนมีการแบ่งการเข้าใช้ช่องสัญญาณทางเวลา (time division multiplexing, TDM) ซึ่งใช้อุปกรณ์ในโครงข่ายแบบอิเล็กทรอนิกส์ ต่อมามีการแบ่งการเข้าใช้ช่องสัญญาณทางความยาวคลื่น (wavelength division multiplexing, WDM) ทำให้สามารถใช้อุปกรณ์แบบแพสซีฟและสามารถส่งข้อมูลอนาล็อกได้ (analog) แต่ระยะห่างระหว่างความยาวคลื่น(channel spacing) ยังห่างอยู่มาก เพื่อให้ใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้มีการเปลี่ยนเป็นการแบ่งการเข้าใช้ช่องสัญญาณทางความยาวคลื่นแบบหนาแน่น (dense wavelength division multiplexing, DWDM) แทน[11] โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยที่ศึกษาถึงข้อดีของดีดับเบิ้ลยูดีเอ็ม ที่สามารถกำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ของข้อมูลทั้งแบบอัตโนมัติ (dynamic traffic) และกำหนดค่าเอง (static traffic) ในการสื่อสารในโครงข่าย[12], งานวิจัยที่ศึกษาถึงโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบวงแหวนสามารถทำงานร่วมกับการเชื่อมต่ออื่นได้ เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียมเพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบ[13], งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันการล่มของระบบดับเบิ้ลยูดีเอ็ม เช่น การหาระเบียบขั้นตอนวิธี (algorithm) เพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางการเชื่อมต่อที่ชำรุด การจัดสรรการใช้งานความยาวคลื่น[14],[15] และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการวางเครื่องขยายสัญญาณทางแสงในระบบดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบวงแหวน[16] รูปที่ 1.3 แสดงโครงข่ายแบบวงแหวนทั้งแบบทิศทางเดียวและสองทิศทาง



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างโครงข่ายแบบวงแหวนแบบทิศทางเดียว (uni-directional) และสองทิศทาง (bi-directional)

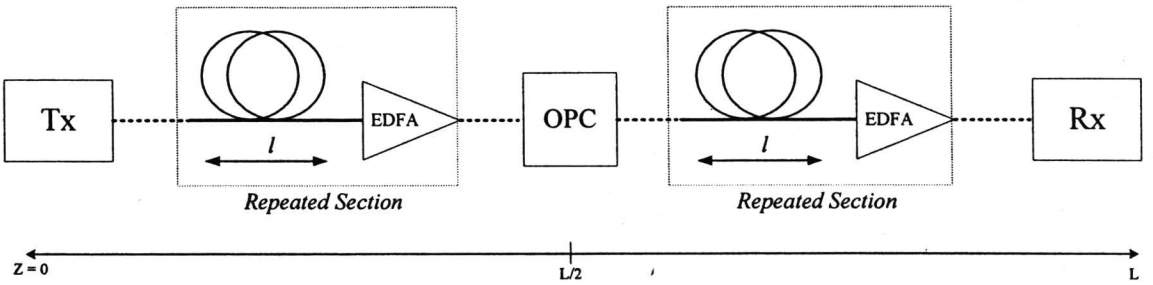
โครงข่ายมาเชื่อมต่อกัน (interconnect rings) อย่างไรก็ตามเส้นทางการเดินทางของข้อมูลในโครงข่ายแบบเมช อาจมีความหลากหลายกว่าโครงข่ายแบบวงแหวน และโครงข่ายแบบเมชยังเป็นโครงข่ายที่สามารถป้องกันการล่มของโครงข่ายได้ดีที่สุด โครงข่ายชนิดนี้ มีความสามารถในการป้องกันการล่ม (protection) ความยืดหยุ่น (flexibility) ความมีประสิทธิภาพ (efficiency) และมีสภาพทนทาน (robustness) ของโครงข่ายดีกว่าโครงข่ายแบบวงแหวน โครงข่ายชนิดนี้มีการใช้ช่องสัญญาณแบบดับเบิ้ลยูดีเอ็มเช่นกัน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายแบบเมชส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่น (routing and wavelength assignment) หรือการป้องกันโครงข่ายเนื่องจากเกิดการล่มของโครงข่าย เช่น การป้องกันแบบใช้วิถีร่วมกัน (shared path protection) หรือ การป้องกันแบบใช้ข่ายเชื่อมโยงร่วมกัน (shared link protection) [17],[18] การศึกษาวิธีการกำหนดเส้นทางและความยาวคลื่นเพื่อการอยู่รอดของโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบเมช [19] วิธีการป้องกันโครงข่ายแบบใช้วิถีร่วมกันแบบผสม (mixed shared path protection)[20] เป็นต้น รูปที่ 1.4 แสดงตัวอย่างโครงข่ายแบบเมช หรือ NSFNET (national science foundation network)



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างโครงข่ายแบบเมช NSFNET (national science foundation network)

ด้วยความต้องการอัตราข้อมูลที่ยังมีอยู่อย่างไม่จำกัด ทำให้ยังคงมีการพัฒนาโครงข่ายทางแสงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ้าจะทำการเปลี่ยนแปลงทั้งโครงข่ายจะต้องลงทุนสูง ดังนั้นจึงเน้นไปที่การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่ายแทน อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่ายปัจจุบันมี 2 ประเภท ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์แบบแพสซิฟ แต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความเร็วต่ำ จึงเริ่มมีการหันมาใช้อุปกรณ์แบบแพสซิฟ ซึ่งรองรับข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นและระยะทางในการส่งไกลขึ้น แต่ก็จะมีผลกระทบอื่นตามมา เช่น การลดทอนของสัญญาณ (attenuation) การขยายออกของสัญญาณ (dispersion) และความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity) ซึ่งเราสามารถจัดการผลกระทบเหล่านี้ได้

การลดทอนสัญญาณเราสามารถจัดการด้วยการวางอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (amplifier) เช่น การใช้เครื่องขยายสัญญาณแบบอีดีเอฟเอ (EDFA) เป็นต้น สำหรับการจัดการดิสเพอร์ชันนั้น มีการใช้ dispersion compensating fiber (DCF) วางเป็นรายคาบเพื่อให้ค่าดิสเพอร์ชันทุกจุดในโครงข่ายไม่เกินค่าที่กำหนด[21] และมีการใช้เครื่องสังยุคเฟสแสง(optical phase conjugator) ในการจัดการดิสเพอร์ชันโดยการวางในตำแหน่งกึ่งกลางของโครงข่ายเพื่อให้ค่าดิสเพอร์ชันสะสมก่อนเข้าเครื่องสังยุคเฟสแสงและหลังออกจากเครื่องสังยุคเฟสแสงหักล้างกันหมด อีกทั้งยังสามารถจัดการความไม่เป็นเชิงเส้นได้ด้วย มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในระบบการสื่อสารทางแสงเพื่อลดดิสเพอร์ชัน เช่น การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในระบบการสื่อสารทางแสงที่ใช้เส้นใยแสงแบบ dispersion-shifted fiber (DSF)เพื่อลดดิสเพอร์ชันได้หลายความยาวคลื่นพร้อมกัน ซึ่งสรุปได้ว่า ได้ศึกษาสัญญาณกลับเฟสของความยาวคลื่นหลายความยาวคลื่น (multiwavelength) การบิดเบี้ยวของสัญญาณ และวิธีลดผลการเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณโดยการใช้ค่ากำลังที่เหมาะสม เพื่อการคืนรูปของสัญญาณ [22] การออกแบบการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในการส่งระยะทางไกลเพื่อจัดการดิสเพอร์ชัน โดยนำเครื่องสังยุคเฟสแสงวางที่กึ่งกลางของระบบ (รูปที่ 5) โดยได้ผลว่าสามารถส่งระยะทางไกลได้คือวางอุปกรณ์ขยายสัญญาณให้สั้นกว่าความยาวไม่เชิงเส้น (nonlinearity length) ส่งสัญญาณในช่วงของดิสเพอร์ชันที่เหมาะสม และค่าเฉลี่ย GVD ควรจะมากกว่าความยาวไม่เชิงเส้น[23] การศึกษาการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงเพื่อลดสัญญาณรบกวนเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear noise) จากเครื่องขยายสัญญาณทางแสงในระบบสื่อสารระยะทางไกล ซึ่งได้ผลว่าการใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นได้[24] การศึกษาการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงเพื่อลดผลจากปรากฏการณ์ความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสง โดยสรุปว่าตำแหน่งของการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงไม่จำเป็นต้องอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางแต่เป็นตำแหน่งที่ทำให้กำลังของสัญญาณทั้งสองข้างสมมาตรกัน [25] การศึกษาการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงเพื่อลด nonlinear phase noise ในระบบการสื่อสารแบบระยะไกลยิ่งที่ใช้การมอดูเลตแบบ phase shift keying (PSK) ซึ่งได้ข้อสรุปว่าเมื่อใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงแล้ว ทำให้ประสิทธิภาพของระบบมากขึ้น และไม่มีผลของสัญญาณรบกวนเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ dispersion compensating fiber[26] และล่าสุดนี้ได้มีการใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงในระบบสื่อสารทางไกลแบบดับเบิ้ลยูดีเอ็มเพื่อลดปัญหาของทั้งดิสเพอร์ชันและความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสง ซึ่งได้ผลว่าทำให้ได้ระยะทางการส่งมากขึ้น[27]



รูปที่ 1.5 ระบบการสื่อสัญญาณทางแสงที่มีการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงไว้ที่กึ่งกลางระบบ

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงเพื่อจัดการผลของดิสเพอร์ชันจะใช้กับโครงข่ายขนส่งระยะไกล (long-haul network) ซึ่งข้อดีของเครื่องสังยุคเฟสแสงนั้นมีมากมายดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่ในระดับโครงข่ายทางแสงนั้นแทบจะไม่เคยมีการทดลองการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายเลย มีเพียงหนึ่งงานวิจัยที่นำความสามารถนี้มาใช้ในโครงข่ายทางแสงในระดับนี้ [28],[29] ซึ่งได้ทำการทดลองวางเครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบวงแหวนที่มี 6 สถานีและ 6 เส้นใยแสง มีการส่งข้อมูล 2 ทิศทาง (bi-direction) มีความยาวรวมทั้งหมด 637 km เพื่อจัดการผลของดิสเพอร์ชันในโครงข่าย 3 แบบคือ โครงข่ายที่ทำงานปกติ โครงข่ายที่มีข่ายเชื่อมโยงเสียหายและใช้กลไกการกู้คืนสัญญาณแบบเปลี่ยนความยาวคลื่น (path protection) และโครงข่ายที่มีข่ายเชื่อมโยงเสียหายและใช้กลไกการกู้คือสัญญาณแบบการทอดข้าม (span protection) โดยใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงทั้งแบบเลื่อนความยาวคลื่นและไม่เลื่อนความยาวคลื่น ซึ่งผลการคำนวณดิสเพอร์ชันสะสมที่ได้หลังจากวางเครื่องสังยุคเฟสแสง ไม่เกินค่าดิสเพอร์ชันลิมิต แต่ค่า optical signal-to-noise ratio (OSNR) ของระบบลดลง จากผลการวิจัยนี้ จึงมีความคิดว่าน่าจะประยุกต์เครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายแบบอื่นๆ ได้เช่นกัน

ในกรณีที่โครงข่ายมีระยะทางไกลมากๆ ระเบียบวิธีที่ใช้บนโครงข่ายแบบวงแหวน[28],[29] ซึ่งมีการกำหนดขีดจำกัดดิสเพอร์ชัน(dispersion limit)ไว้ที่ ±1600 ps/nm ที่อัตราการส่งข้อมูล (data rate) เท่ากับ 10 Gb/s ซึ่งขีดจำกัดดิสเพอร์ชันตลอดเส้นทางการสื่อสาร ไม่จำเป็นต้องวางไว้ที่ขีดจำกัดดิสเพอร์ชันก็ได้ ดังแสดงได้จากค่าดิสเพอร์ชันสะสมก่อนวางเครื่องสังยุคเฟสแสงของผลการทดลองต่างๆที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1.1[27],[42]-[55] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่วางเครื่องสังยุคเฟสแสงไว้ตรงกลางของระบบทั้งหมด

ตารางที่1.1 ดิสเพอร์ชันสะสมของงานวิจัยต่างๆ

เอกสารอ้างอิง	ระยะทาง [km]	ดิสเพอร์ชันสะสม[ps/nm]
[42]	360	5760
[43]	94, 101	1560,1705
[44]	200	3400
[45]	100, 100	1780, 1790
[46]	2000	-8000
[47]	100	1751
[48]	106.5	1704
[49]	106	1704.48
[50]	208	-2283
[51]	100,103.8	1714, 1713.74
[52]	10200	80000
[27]	283.5	160000
[53]	1200	20436
[54]	5000	-5000
[55]	5000	81500

จากตารางที่ 1.1 จะสรุปได้ว่า ดิสเพอร์ชันสะสมตลอดเส้นทางไม่จำเป็นต้องเป็นค่าที่กำหนดไว้ แต่ที่ปลายทางนั้น ต้องมีค่าตามที่สถานีปลายทางสามารถรับได้ ซึ่งในที่นี้ เราจะกำหนดให้สถานีปลายทางมีค่าเท่ากับ ±1600 ps/nm ที่อัตราการส่งข้อมูล 10 Gb/s สาเหตุที่อ้างถึงเงื่อนไขนี้ เป็นเพราะว่าได้ศึกษาถึงระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบวงแหวน[28],[29] ซึ่งเมื่อนำมาใช้ในโครงข่ายที่ทำการวิจัย จะทำให้ไม่สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ เพราะว่าระยะทางของแต่ละทราฟฟิกนั้นไม่เท่ากัน มีระยะทางไกล และเส้นทางของแต่ละทราฟฟิกนั้นมีหลายเส้นทาง ทำให้การซ้อนทับ (intersection)ช่วงของการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ยังทำให้มีจำนวนเครื่องสังยุคเฟสแสงมีจำนวนมาก ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะจะมีจำนวนมากกว่าการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่จุดกึ่งกลางข่ายเชื่อมโยง เรื่องปัญหาที่ไม่สามารถซ้อนทับหาช่วงการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง จะกล่าวละเอียดในบทที่ 3

รายงานความก้าวหน้านี้จะรายงานผลการศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบแพร่และเลือกสัญญาณ กับโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบเมช รวมถึงการประยุกต์ใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายดังกล่าวที่เกิดการล้มเหลวไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เสนอระเบียบวิธีการวางและกำหนดตำแหน่ง optical phase conjugator ในโครงข่าย WDM ทั้งแบบ ring แบบ mesh และแบบ B&S เพื่อชดเชย dispersion พร้อมทั้งลดผลของ Kerr effect ในโครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด เป็นครั้งแรกของวงการวิจัยเกี่ยวกับการสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสง
2. นำเสนอองค์ความรู้ใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการนานาชาติ เพื่อให้ผลงานสามารถถูกนำไปพัฒนาเทคโนโลยีระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองวิธีการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายดับเบิ้ลยูดีเอ็มแบบแพร่และเลือกสัญญาณ แบบวงแหวน และแบบเมชเท่านั้น
2. การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงกับโครงข่ายนั้นจะไม่คำนึงถึงผลของปรากฏการณ์ความไม่เป็นเชิงเส้น
3. กำหนดให้กรณีที่มีข่ายเชื่อมโยงเสียหาย เกิดเฉพาะกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงเท่านั้น
4. กำหนดกลไกการกู้คืนสัญญาณเป็นแบบใช้วิถีร่วมกันเท่านั้น
5. ผลการทดลองจะได้จากการคำนวณเท่านั้น โดยมิได้ทำการทดลองกับระบบจริง

1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อส่งแสงผ่านเส้นใยแสง โดยเฉพาะผลของดิสเพอร์ชันรวมทั้งการแก้ไขดิสเพอร์ชันในโครงข่าย
2. ศึกษาคุณสมบัติโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ แบบวงแหวน และโครงข่ายแบบเมช
3. ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องสังยุคเฟสแสง การทำงาน ความสามารถ และตัวอย่างการนำไปใช้งานของอุปกรณ์
4. ศึกษาการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ
5. คิดระเบียบวิธีหาตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ และจำนวนของเครื่องสังยุคเฟสแสงที่จะใช้ทั้งหมด โดยจะต้องไม่ทำให้ค่าดิสเพอร์ชันสะสมเกินค่าดิสเพอร์ชันที่กำหนด
6. ศึกษาการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช
7. คิดระเบียบวิธีหาตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช และจำนวนของเครื่องสังยุคเฟสแสงที่จะใช้ทั้งหมด โดยจะต้องไม่ทำให้ค่าดิสเพอร์ชันสะสมเกินค่าดิสเพอร์ชันที่กำหนด และ

สามารถใช้งานได้เมื่อโครงข่ายได้รับการเสียหาย และข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายไม่เกินหนึ่งข่ายเชื่อมโยง(single-link failure) โดยได้รับการกู้คืนสัญญาณแบบใช้วิถีร่วมกัน

8. วิเคราะห์ผล optical signal-to-noise ratio (OSNR) ของระบบหลังจากที่ได้มีการใช้งานเครื่องสังยุคเฟสแสง เพราะเครื่องสังยุคเฟสแสงจะทำให้ค่า OSNR ลดลงอย่างมาก

9. นำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ เรียบเรียงผลงานเพื่อส่งไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ