

การศึกษาผลกระทบของ Four-Wave Mixing ในระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM ที่มีระยะห่าง ของช่องสัญญาณ 50 GHz *

สมบัติ เหมือนนาค¹⁾ และ สุทธิชัย นพาคีพงษ์²⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง 10520

Email: sombat_mue@truecorp.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของ four-wave mixing ที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM สำหรับเครือข่ายสื่อสารสัญญาณแสง เนื่องจากการเพิ่มแบนด์วิธของเครือข่ายด้วยการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณโดยการลดระยะห่างของช่องสัญญาณลงเป็น 50 GHz ซึ่งได้รับผลกระทบจากการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณจาก four-wave mixing ที่มีสาเหตุมาจากผลของความไม่เป็นเชิงเส้นในเส้นใยแก้วนำแสง โดยนำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่แสดงกำลังของสัญญาณแสงด้านเอาต์พุตของ four-wave mixing และความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดในการส่งผ่านข้อมูลไปบนเครือข่ายที่มีผลกระทบของ four-wave mixing นอกจากนี้ยังนำเสนอการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยการจัดกลุ่มช่องสัญญาณที่สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบของ four-wave mixing ทำให้ได้เครือข่ายที่มีสมรรถนะสูงขึ้นคือมีอัตราบิดผิดพลาดต่ำ, กำลังของสัญญาณได้สูงขึ้นและมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงที่ไกลมากขึ้น

คำสำคัญ: four-wave mixing, ความไม่เป็นเชิงเส้นในเส้นใยแก้วนำแสง, การจัดกลุ่มช่องสัญญาณ

*
รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 19 ธันวาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 11 เมษายน 2550

Study of Four-Wave Mixing Effect in DWDM Transmission System with Channel Space 50 GHz^{*}

Sombat Mueannak¹⁾ and Suthichai Noppanakeepong²⁾

¹⁾ Student, Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang 10520

²⁾ Assistant Professor, Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang 10520

Email: sombat_mue@truecorp.co.th

ABSTRACT

This paper discusses the study of four-wave mixing effect in DWDM transmission system for optical network. The scheme requires an increased bandwidth with increased number of channels by reduced channel space equals 50 GHz. These requirements induce inter-channel interference caused by four-wave mixing due to the fibers nonlinear. Numerical results that forwarding traffic on DWDM transmission system are presented in term of output power of four-wave mixing and probability of error. Reductions of intra-channel four-wave mixing interference on DWDM transmission system by using channels grouping separation technique are also presented. These results show the performance improvement such as low bit error probability, increasing input light power and distance between optical amplifiers.

Keywords : four-wave mixing, fibers nonlinear, channels grouping separation technique

^{*} Original manuscript submitted: December 19, 2006 and Final manuscript received: April 11, 2007

บทนำ

โดยทั่วไปแล้วเมื่อมีการใช้งานความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียวในเส้นใยแก้วนำแสง การแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณก็จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือแทบจะไม่มีเลยหากมีการออกแบบระบบที่ดี แต่เมื่อมีการนำสัญญาณหลายๆ ช่องสัญญาณมาผลิตเฟสรวมกันตามความยาวคลื่นแสงแล้วส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่เป็นสื่อสัญญาณเดียวกัน ทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณได้เมื่อตัวกลางที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสงเกิดความไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากกำลังของเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงเพื่อให้ได้ระยะทางที่ไกลมากขึ้น ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ที่จะจำกัดความจุในการส่งข้อมูลของเส้นใยแก้วนำแสง ผลตอบสนองที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวนี้ได้แก่ self-phase modulation, cross-phase modulation, modulation instability และ four-wave mixing โดยจากผลกระทบของความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าวนี้ four-wave mixing เป็นผลกระทบที่สำคัญเกิดขึ้นเมื่อมีหลายสัญญาณแพร่กระจายไปทางเดียวกันและเกิดการรวมเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดช่องสัญญาณใหม่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งอาจจะไปซ้อนทับหรือดึงเอากำลังจากสัญญาณเดิมออกมาเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมลงของสัญญาณ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาถึงผลกระทบของ four-wave mixing ที่มีต่อระบบ DWDM และวิธีการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM สำหรับเครือข่ายสื่อสารสัญญาณแสง

หลักการพื้นฐานของ Four-Wave Mixing

ในระบบสื่อสารสัญญาณแบบหลายช่องสัญญาณที่เชื่อมโยงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ช่องสัญญาณถูกพิจารณาว่าเป็นอิสระกับช่องสัญญาณอื่นๆ ซึ่งอาจจะไม่เป็นความจริงเมื่อกำลังของเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้นจากการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงเพื่อส่งในระยะทางที่ไกลๆ และระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณมีช่วงแคบๆ เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ ในกรณีเช่นนี้คุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณขึ้นได้ ซึ่งผลกระทบที่มีอิทธิพลมากที่สุดก็คือผลกระทบจาก four-wave mixing ซึ่งเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โพลาไรเซชันของแสงที่มีการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าในตัวกลางด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า E ที่ได้รับผลกระทบจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสง และสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM ที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิลิกาเป็นตัวกลาง ความไม่เป็นเชิงเส้นอันดับต่ำสุดที่เกิดขึ้นก็คือผลจากความไม่เป็นเชิงเส้นอันดับที่ 3

เพื่อความเข้าใจผลกระทบของ FWM มากขึ้นให้พิจารณาสัญญาณของระบบ DWDM ซึ่งเป็นผลรวมของระนาบคลื่นแสงจำนวน n คลื่นแสง โดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณนี้หาได้จาก

$$E(r, t) = \sum_{i=1}^n E_i \cos(\omega_i t - \beta_i z) \quad (1)$$

จากรูปแบบ Nonlinear Polarization $[P_{NL}(r, t)]$ กำหนดไว้ว่า (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$P_{NL}(r, t) = \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3(r, t) \quad (2)$$

สามารถเขียน $P_{NL}(r, t)$ ในเทอมของ FWM ได้เป็น (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$P_{NL}(r, t) = \varepsilon_0 \chi^{(3)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n E_i \cos(\omega_i t - \beta_i z) E_j \cos(\omega_j t - \beta_j z) E_k \cos(\omega_k t - \beta_k z) \quad (3)$$

หลังจากกระจายสมการออกและพิจารณาขอบเขตเงื่อนไขประกอบแล้วสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$P_{ijk}(z, t) = \frac{\varepsilon_0 \chi^{(3)}}{4} d_{ijk} E_i E_j E_k \cos((\omega_i + \omega_j - \omega_k) \cdot t - (\beta_i + \beta_j - \beta_k) \cdot z) \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้สัญญาณแสงแพร่กระจายคลื่นบนระนาบพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสง (A_{eff}) กำลังของสัญญาณแสงที่เกิดขึ้นที่ความถี่ ω_{ijk} บนเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาว L สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_{ijk} = \left(\frac{\omega_{ijk} \cdot d_{ijk} \cdot \chi^{(3)}}{8 \cdot A_{eff} \cdot n_{eff} \cdot c} \right)^2 \cdot P_i P_j P_k L^2 \quad (5)$$

และเมื่อพิจารณาดัชนีการหักเหในโหมดทั่วไป (n_{eff}) ในเทอมของดัชนีการหักเหที่ไม่เป็นเชิงเส้น ($\bar{n}$) จะได้สมการใหม่คือ (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$P_{ijk} = \left(\frac{\omega_{ijk} \cdot \bar{n} \cdot d_{ijk}}{3c \cdot A_{eff}} \right)^2 \cdot P_i P_j P_k L^2 \quad (6)$$

ในระบบสื่อสารที่ใช้งานจริงจะต้องพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการสูญเสียในระบบส่งสัญญาณและ Dispersion ด้วย จากสมการ (6) จะแทนค่า L ด้วยค่า fiber effective length ของเส้นใยแก้วนำแสง (L_{eff}) ซึ่งหาได้จาก (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$L_{eff} = \frac{1 - e^{-\alpha l}}{\alpha} \quad (7)$$

เมื่อ l แทนช่วงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงส่วนค่าประสิทธิภาพการรวมกันของความถี่จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่า Dispersion กำหนดด้วยพารามิเตอร์ (η_{ijk}) หาได้จาก (Kiyoshi Nosu, 1997)

$$\eta_{ijk} = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + (\Delta\beta)^2} \left\{ 1 + \frac{4e^{-\alpha l} \cdot \sin^2(\Delta\beta l / 2)}{[1 - e^{-\alpha l}]^2} \right\} \quad (8)$$

เมื่อ $\Delta\beta$ แทนค่าความคลาดเคลื่อนของเฟส ซึ่งแสดงในเทอมของสัญญาณความถี่ที่แตกต่างกันคือ (Rajiv Ramaswami et al., 1998), (Weishu Wu et al., 1994), (Amnon Yariv, 1991)

$$\Delta\beta = \beta_i + \beta_j - \beta_k - \beta_{ijk} \quad \Delta\beta = \frac{2\pi\lambda^2 D}{c} \cdot (f_i - f_k) \cdot (f_j - f_k) \quad (9a)$$

$$\Delta\beta = -\frac{\pi\lambda^4}{c^2} \frac{dD}{d\lambda} \{ (f_i - f_o) + (f_j - f_o) \} \cdot (f_i - f_k) (f_j - f_k) \quad (9b)$$

สมการที่ (9a) สำหรับ non-zero dispersion shifted fiber

(9b) สำหรับ standard dispersion shifted fiber

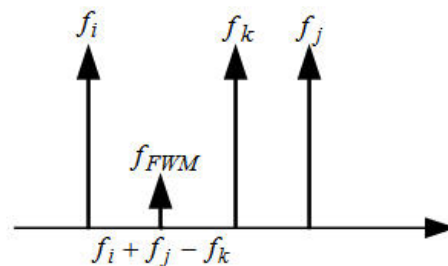
เมื่อ α แทนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง

D แทนค่าการแพร่กระจายของแสงหลายๆความยาวคลื่นภายในเส้นใยแก้วนำแสง
สำหรับระบบที่มีการพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการสูญเสียในระบบและ Dispersion ด้วยแล้ว
สามารถเขียนสมการที่ (6) ใหม่ได้ดังนี้ (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \cdot \left(\frac{\omega_{ijk} \cdot \bar{n} \cdot d_{ijk}}{3c \cdot A_{eff}} \right)^2 \cdot P_i P_j P_k L_{eff}^2 \quad (10)$$

ผลกระทบของ Four-Wave Mixing ในระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM

ระบบสื่อสารสัญญาณแบบ DWDM ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก FWM ที่เกิดจากการ
เปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสื่อมลงของ
สัญญาณรูปที่ 1 เป็นรูปแบบการกระจายตัวของความถี่ทางแสงเมื่อ f_i, f_j และ f_k เป็นสัญญาณความถี่
ทางแสงและ f_{FWM} เป็นความถี่ของคลื่นแสงเนื่องจากผลกระทบของ FWM ซึ่งหาได้จาก
 $f_{FWM} = f_i + f_j - f_k$



รูปที่ 1 รูปแบบการกระจายตัวของความถี่ทางแสงของ FWM

การเกิดขึ้นของ FWM เป็นผลกระทบจาก fiber chromatic dispersion ซึ่งปกติจะทำให้เกิด
ความต่างเฟสระหว่างช่องสัญญาณที่มีการแพร่กระจายความถี่ที่ต่างกัน กำลังของสัญญาณด้านเอาต์พุต
ที่ความถี่ f_{FWM} สามารถหาได้ดังนี้ (L. Zhang et al., 2000), (Kiyoshi Nosu, 1997), (R.W. Tkach et
al., 1995)

$$P_{FWM} = \frac{1024\pi^6}{n^4 \lambda^2 c^2} \cdot \left(\frac{d_{ijk} \cdot \chi^{(3)} \cdot L_{eff}}{A_{eff}} \right)^2 \cdot P_i P_j P_k \cdot e^{-\alpha L} \cdot \eta_{ijk} \quad (11)$$

เมื่อ

P_i, P_j, P_k แทนค่ากำลังของสัญญาณที่ความถี่ f_i, f_j, f_k

P_{FWM} แทนค่ากำลังของสัญญาณที่ความถี่ f_{FWM}

n แทนค่าดัชนีหักเหในเส้นใยแก้วนำแสง

λ	แทนค่าความยาวคลื่น
A_{eff}	แทนค่า effective mode area ของเส้นใยแก้วนำแสง
L_{eff}	แทนค่า effective length ของเส้นใยแก้วนำแสง
d_{ijk}	แทนค่าองค์ประกอบที่แสดงภาวะความเสื่อม ($d=3$ สำหรับ $i=j$ และ $d=6$ สำหรับ $i \neq j$)
$\chi^{(3)}$	แทนค่าความไม่เป็นเชิงเส้นอันดับที่สาม
η_{ijk}	แทนค่าประสิทธิภาพการรวมกันของความถี่

เมื่อใช้การประมาณค่าแบบเกาส์เซียน ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเมื่อมีผลกระทบของ FWM ในระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM ด้วยการมอดูเลตแบบ on-off keying คือ

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (12)$$

เมื่อ t แทนค่า เวลา

Q แทนค่า Quality factor (SNR) ซึ่งหาได้จาก (L. Zhang et al., 2000)

$$Q = \frac{bP_s}{\sqrt{N_{th} + N_{sh} + N_{FWM}} + \sqrt{N_{th}}} \quad (13)$$

เมื่อ P_s แทนค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ภาครับรับได้

N_{th} แทนค่า thermal noise power

N_{sh} แทนค่า shot noise power

N_{FWM} แทนค่า FWM noise power ซึ่งหาได้จาก (L. Zhang et al., 2000)

$$N_{FWM} = 2b^2 \cdot P_s \frac{P_{FWM}}{8} \quad (14)$$

โดยค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ภาครับรับได้หาได้จาก (Rajiv Ramaswami et al., 1998)

$$P_s = N_c P_o e^{-\alpha L} \cdot L_r \quad (15)$$

เมื่อ P_o แทนกำลังของสัญญาณแสงด้านอินพุต

L แทนความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

L_r แทนค่าสูญเสียในระบบสื่อสารสัญญาณก่อนถึงภาครับ

N_c แทนจำนวนช่องสัญญาณ

และเนื่องจากค่าการสูญเสียของ N_{th} และ N_{sh} มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ N_{FWM} ดังนั้นค่า SNR ที่เกิดจากผลกระทบของ FWM สามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้ (L. Zhang et al., 2000)

$$Q = \frac{bP_s}{\sqrt{N_{FWM}}} = \frac{2bP_s}{\sqrt{b^2 P_s P_{FWM}}} = \frac{2\sqrt{P_s}}{\sqrt{P_{FWM}}} \quad (16)$$

ในระบบ DWDM กำลังของสัญญาณที่ความถี่ f_{FWM} เป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณของ FWM ซึ่งเกิดจากการรวมกันของความถี่ที่เป็นไปได้เมื่อมีช่องสัญญาณใช้งาน n ช่องสัญญาณ (L. Zhang et al., 2000)

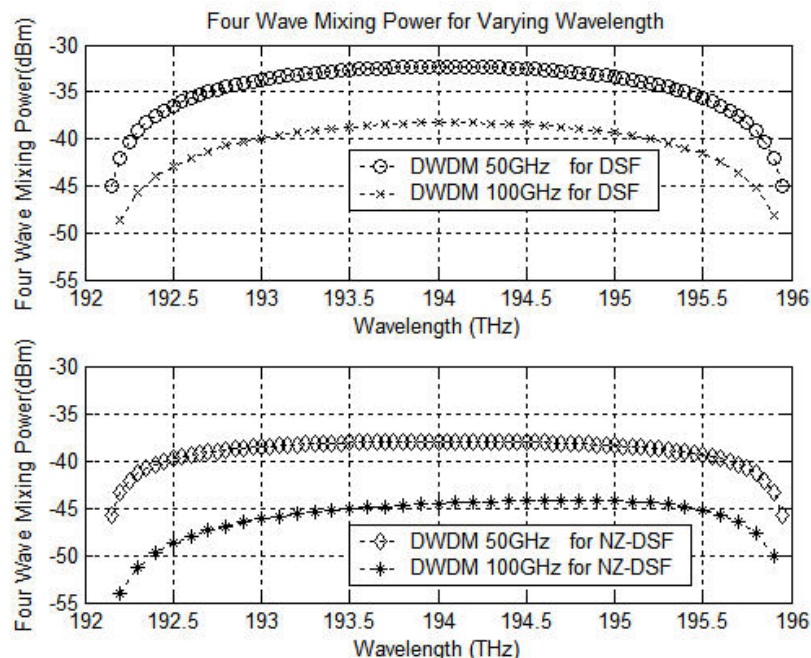
$$P_{FWM}(f_m) = \sum_{f_k=f_i+f_j-f_m} \cdot \sum_{f_j} \sum_{f_i} P_{FWM}(f_{ijk}) \quad (17)$$

เมื่อ $P_{FWM}(f_{ijk})$ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (11)

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

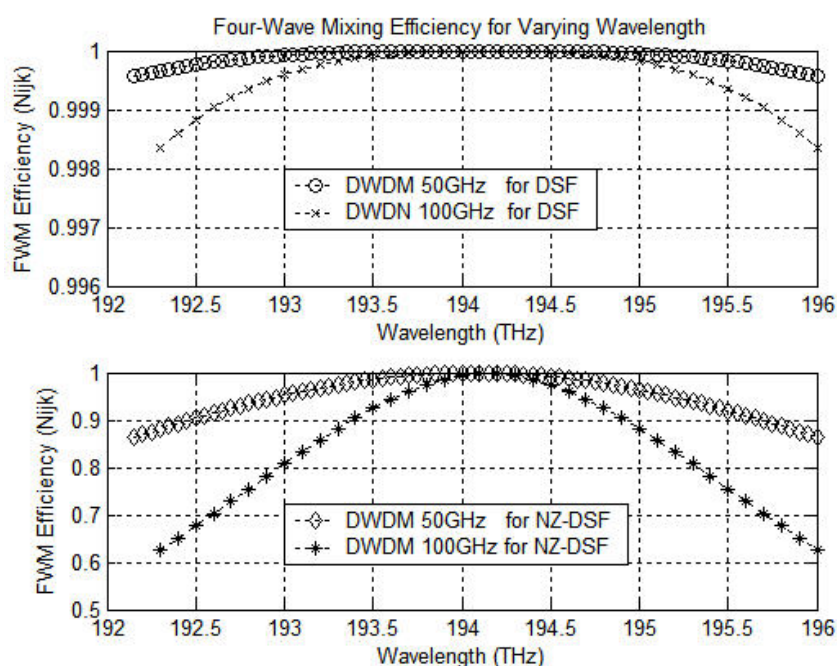
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเนื่องจากผลการแทรกสอดของ FWM ในเครือข่าย DWDM สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (11) - (17) โดยไม่พิจารณาถึงองค์ประกอบเนื่องจากการสูญเสียอื่นๆเช่น SRS, SBS และ ASE ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนของ EDFA เมื่อกำหนดให้ค่าสูญเสียอื่นๆอยู่ภายใต้ระดับมาตรฐานที่กำหนด

ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่นในช่วงความถี่ 192.10 – 196.00 THz กำลังของสัญญาณด้านอินพุตของสายที่ใช้เท่ากับ 10 dBm ที่ระยะทาง 100 กิโลเมตร ซึ่งจะได้กำลังของสัญญาณด้านเอาต์พุตของสายของ FWM ที่ความยาวคลื่นต่างๆแสดงให้เห็นในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังของสัญญาณ four-wave mixing ที่ด้านเอาต์พุตของสาย
ช่วงความยาวคลื่น 192.10 – 196.00 THz

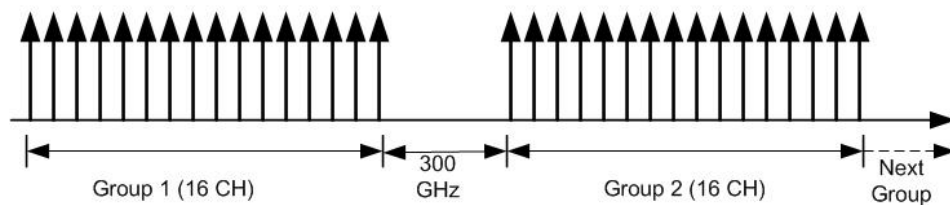
ประสิทธิภาพการรวมกันทางความถี่ของ FWM ที่ความถี่ 194.00 THz คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงค่า F_i , F_j และ F_k ไปตามช่องสัญญาณที่ทำให้เกิด FWM ที่ความถี่ 194.00 THz แสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าโอกาสที่ช่องสัญญาณจะเกิดการรวมกันและทำให้เกิด FWM นั้นมีสูงมากสำหรับช่องสัญญาณที่อยู่ข้างเคียงกันและจะค่อยๆ ลดลงเมื่อช่องสัญญาณนั้นอยู่ห่างออกไป เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงชนิด DSF และ NZ-DSF พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิด NZ-DSF มีประสิทธิภาพการรวมกันทางความถี่ของ FWM ต่ำกว่า และถูกนำมาใช้งานกับระบบ DWDM มากกว่า



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการรวมกันทางความถี่ของ FWM ที่ความถี่ 194.00 THz

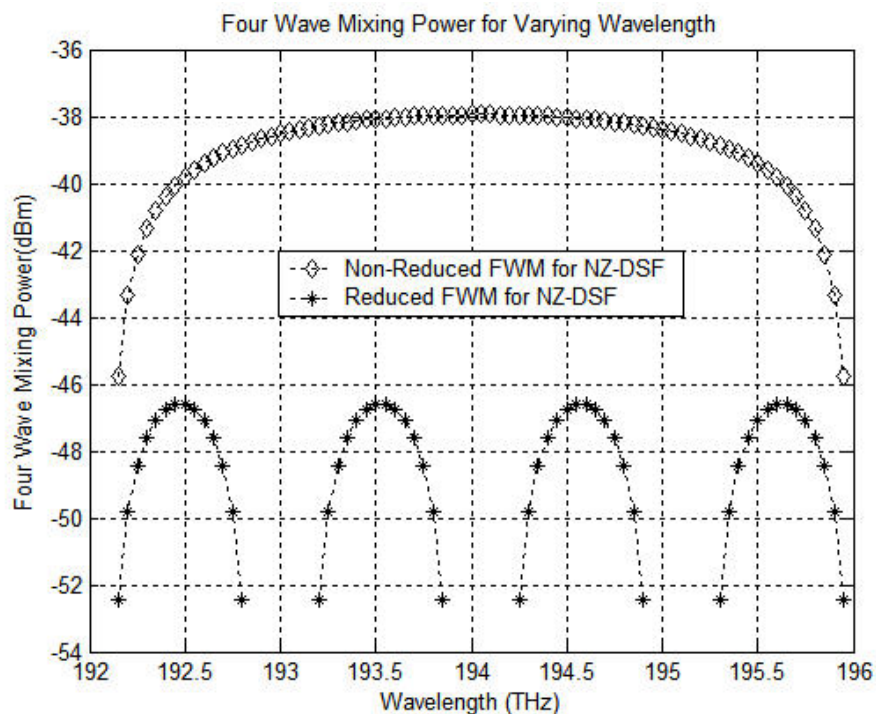
บทความนี้ทำการศึกษาระบบสื่อสารด้วยสัญญาณ DWDM ที่จากเดิมมีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz มีช่องสัญญาณใช้งาน 40 ช่องสัญญาณ มาเป็นระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 50 GHz มีช่องสัญญาณใช้งาน 80 ช่องสัญญาณ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจาก Four-Wave Mixing สูงขึ้น จึงนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นกับระบบที่นำเสนอใหม่นี้ด้วยวิธีการจัดกลุ่มช่องสัญญาณเพื่อลดผลกระทบเนื่องจาก FWM ด้วยการลดจำนวนช่องสัญญาณใช้งานลง 20% โดยแบ่งกลุ่มช่องสัญญาณออกเป็น 4 กลุ่มระยะห่างระหว่างกลุ่มเท่ากับ 300 GHz จำนวนช่องสัญญาณต่อกลุ่มเท่ากับ 16 ช่องสัญญาณโดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 50 GHz ทำให้หลังจากทำการจัดกลุ่มแล้วระบบใหม่นี้มีช่องสัญญาณใช้งานจำนวน 64 ช่องสัญญาณ โดยเพิ่มขึ้นจากระบบเดิม(ระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz) จำนวน 24 ช่องสัญญาณ ทำให้ความจุของข้อมูลในเครือข่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 60% โดยวิธีการจัดกลุ่มที่เลือกใช้ได้มาจากการจำลองแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยมีเงื่อนไข 2

ประการคือได้ค่าของ Four-Wave Mixing Power ที่ใกล้เคียงกับระบบเดิม (ระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz) ซึ่งมีค่า Four-Wave Mixing Power ที่จุดสูงสุดประมาณ -45dBm และมีช่องสัญญาณใช้งานได้มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 192.10 – 196.00 THz โดยรูปแบบการจัดกลุ่มช่องสัญญาณใหม่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4

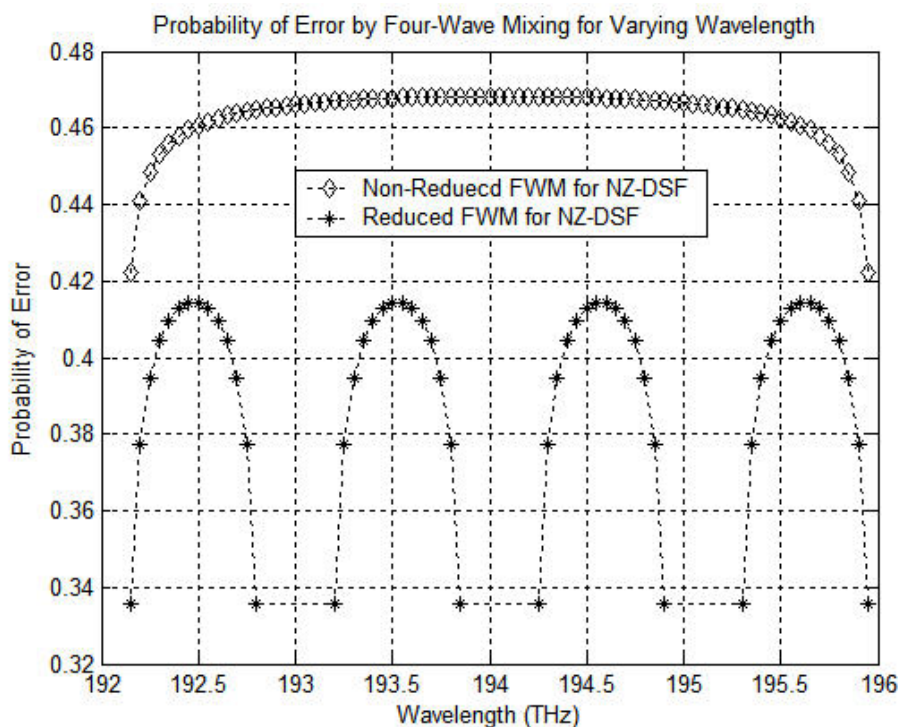


รูปที่ 4 รูปแบบการจัดช่องสัญญาณใหม่เพื่อลดผลกระทบจาก FWM

กำลังของสัญญาณ FWM ที่ด้านเอาต์พุตของสายและความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก four-wave mixing หลังจากการจัดกลุ่มช่องสัญญาณใหม่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังของสัญญาณ FWM ที่ด้านเอาต์พุตของสาย หลังการจัดกลุ่มช่องสัญญาณ
ช่วงความยาวคลื่น 192.10 – 196.00 THz



รูปที่ 6 ความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก four-wave mixing

หลังจากการจัดกลุ่มช่องสัญญาณใหม่ ช่วงความยาวคลื่น 192.10 – 196.00 THz

ผลจากการจัดกลุ่มช่องสัญญาณทำให้ผลกระทบของ four-wave mixing ลดลงและจากการจำลองแบบโดยการเปลี่ยนค่ากำลังของสัญญาณด้านอินพุตของสายก็พบว่าหลังจากการจัดกลุ่มใหม่ทำให้สามารถที่จะส่งกำลังของสัญญาณได้สูงขึ้น, ความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก four-wave mixing ลดลง, ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงที่ไกลมากขึ้นและสำคัญที่สุดก็คือทำให้มีความจุของข้อมูลในเครือข่ายสูงขึ้นได้

บทสรุป

บทความนี้จะอธิบายถึงเครือข่ายสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้การมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบ DWDM ซึ่งสามารถรองรับกับระบบที่ต้องการส่งผ่านทราฟฟิคปริมาณมาก ๆ และเป็นระบบที่มีความซับซ้อนสูงได้ โดยสมรรถนะของระบบประเมินในรูปแบบของความไม่เป็นเชิงเส้นในเส้นใยแก้วนำแสงที่ส่งผลทำให้เกิด FWM ซึ่งเป็นผลกระทบหนึ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นระหว่างช่องสัญญาณของระบบ DWDM ผลตอบสนองที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขแสดงออกมาภายใต้สภาวะที่กำลังของสัญญาณแสงมีค่าสูงเพื่อสามารถส่งสัญญาณในระยะทางไกลและระยะห่าง

ระหว่างช่องสัญญาณมีค่าแคบมาก ๆ เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณให้มากขึ้นและทำให้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายสูงขึ้น ซึ่งทำให้การแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณสูงขึ้น โดยบทความนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบในช่วงความยาวคลื่น 192.10 -196.00 THz จากระบบเดิมที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz มีช่องสัญญาณใช้งาน 40 ช่องสัญญาณ มาเป็นระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 50 GHz มีช่องสัญญาณใช้งาน 80 ช่องสัญญาณ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจาก Four-Wave Mixing สูงขึ้น จึงนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบที่นำเสนอใหม่นี้ด้วยวิธีการจัดกลุ่มช่องสัญญาณเพื่อลดผลกระทบเนื่องจาก FWM ด้วยการลดจำนวนช่องสัญญาณใช้งานลง 20% โดยแบ่งกลุ่มช่องสัญญาณออกเป็น 4 กลุ่มระยะห่างระหว่างกลุ่มเท่ากับ 300 GHz จำนวนช่องสัญญาณต่อกลุ่มเท่ากับ 16 ช่องสัญญาณโดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 50 GHz ทำให้หลังจากทำการจัดกลุ่มแล้วระบบใหม่นี้มีช่องสัญญาณใช้งานจำนวน 64 ช่องสัญญาณ โดยเพิ่มขึ้นจากระบบเดิม(ระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz) จำนวน 24 ช่องสัญญาณ ทำให้ความจุของข้อมูลในเครือข่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 60% โดยวิธีการจัดกลุ่มที่เลือกใช้ได้มาจากการจำลองแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยมีเงื่อนไข 2 ประการคือได้ค่าของ Four-Wave Mixing Power ที่ใกล้เคียงกับระบบเดิม (ระบบที่มีระยะห่างของช่องสัญญาณ 100 GHz) ซึ่งมีค่า Four-Wave Mixing Power ที่จุดสูงสุดประมาณ -45dBm และมีช่องสัญญาณใช้งานได้มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 192.10 – 196.00 THz ซึ่งหลังจากทำการจัดกลุ่มใหม่แล้วสามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบเนื่องจาก FWM ได้ ทำให้สามารถที่จะส่งกำลังของสัญญาณได้สูงขึ้น ,ความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก four-wave mixing ลดลง, มีระยะห่างของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงที่ไกลมากขึ้นและสามารถเพิ่มแบนด์วิดท์ของเครือข่ายได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- Rajiv Ramaswami and Kumar N. Sivarajan. 1998. **“Optical Networks: A Practical Perspective.”** Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- R.W. Tkach, A.R. Chraplyvy and Fabrizio Forghieri. 1995. “Four-photon mixing and high-speed WDM system.” **Lightwave Technology**. 13:841-849
- Weishu Wu, Pochi Yeh and Sien Chi, 1994. “Phase conjugation by four-wave mixing in single-mode fibers.” **IEEE Photon. Technol. Lett.** 6:1448-1450
- L. Zhang and J.Tang. 2000 “Label-switching architecture for IP traffic over WDM network”, **IEEE Proc.-Commun.** 147:269-276
- Kiyoshi Nosu. 1997 **“Optical FDM Network Technologies.”** Artech House Inc.
- Amnon Yariv. 1991 **“Optical Electronics Fourth Edition”**, Rinehart and Winston Inc.