

OTDM 시스템을 위한 광섬유 루프 미러를 이용한 고 반복률 펄스 발생에 관한 연구

최원석, 정찬권, 김선엽, 강영진

원광대학교 전자공학과

전화 : (0653) 850-6743 / 팩스 : (0653) 857-3999

A Study on High-Repetition Rate Optical-Pulse for OTDM System Using Fiber Loop Mirror

Won Suk Choi, Chan Gwoun Jeung, Sun Youb Kim, Young Jin Kang

School of Electrical and Electronics Engineering Wonkwang National University

E-mail : cgjung@gaebyok.wonkwang.ac.kr

Abstract - With the recent development of the ultrahigh-speed optical time division multiplexed system, high-repetition rate optical-pulse stream generation is necessary. This is different from conventional approaches, which use fiber or integrated waveguide delay line circuits. The high-repetition-rate optical-pulse multiplication phenomenon occurs when the optical pulse's spectral width is greater than the transfer bandwidth of the coupler used. From the analysis, the output repetition rate can be controlled by using fiber couplers with different equivalent transfer bandwidths. The pulse separation spacing is controlled by number of cascaded coupler in optical loop mirror coupler scheme.

I. 서론

최근의 급증하는 정보량을 원활하게 전송시키기 위해서는 정보 전송 속도를 급격히 향상시킬 필요가 있으며, 광통신 시스템에서 광소자들 중 광결합기를 광섬유만으로 제작할 수 있음을 발표한 이후로 광통신 시스템에서 광신호처리를 위한 연구가 활발히 진행되어, 편광기, 광필터, 위상변조기, 광증폭기, WDM (Wavelength Division Multiplexing) 광결합기 등의 소자가 실용화단계에 이르게 되었다.

보다 효율적으로 정보를 전송하기 위한 많은 방법들 중 통신 시스템의 전송 속도를 높이기 위한 방법으로 짧은 펄스열을 생성하여 채널별로 변조한 후 각 채널을 시간 축상에서 광학적으로 다중화하여 전송함으로써 전송속도를 높이는 OTDM(Optical Time-Division Multiplexing) 시스템의 연구가 이루어지고 있는데 이는 빠른 시간안에 실용화할 수 있다는 장점을 가지고

있으나, 이 방식은 고 반복율을 갖는 광펄스장치가 필요하다라는 문제점을 지니고 있다. 이에 대한 해결을 하기 위해서 고 반복률의 광펄스 발생장치가 필요한데 반도체레이저 다이오드나 modelocked laser를 이용하는 연구가 진행되고 어느 정도 이상의 고반복률 펄스를 얻는 것이 불가능한 것으로 밝혀지고 있다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하는 일환으로 OTDM 시스템의 광원 장치로 그림과 같은 평행하게 연마된 두 개의 광섬유로 결합된 광결합기 구조의 하나의 광섬유로 구성되는 루프 미러 결합기를 이용하여 그 구조와 원리를 광결합기에서의 결합모드방정식을 바탕으로 광신호의 결합특성을 분석하여 광결합기의 간격과 결합길이에 따른 파장분리 간격특성을 따른 입력 펄스의 스펙트럼폭과 광결합기의 전송대역폭과의 관계를 이용한 고반복율을 갖는 펄스 발생에 관해 고찰하였다.

II. 광결합기에서의 펄스 발생

본 연구에서 광섬유의 기본모드에 대한 전계의 분포를 y방향으로 선택했을 때 독립된 광섬유에서의 파동방정식은 식 (1)과 같이 주어지고 결합된 광결합기에서의 파동방정식은 식 (2)와 같이 주어진다.

$$(\nabla_t + k_0 n^2(x, y) - \beta_{1,2}^2) \Psi_{1,2} = 0 \quad (1)$$

여기서,

$\Psi_{1,2}$ 는 독립된 광섬유의 전자계

$\beta_{1,2}$ 는 독립된 광섬유의 전파상수

$$(\nabla_t + k_0 n_c^2(x, y) - \beta_{\pm}^2) \Psi_{\pm} = 0 \quad (2)$$

여기서,

Ψ_{\pm} 는 우모드와 기모드의 전자계

β_{\pm} 는 우모드와 기모드의 전파상수

$n_c(x, y)$ 는 결합기의 굴절율 분포

식 (1)과 식(2)를 이용하여 결합기의 결합계수는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$C = k_0 \frac{\int_{A_2} (n_1 - n_2) (\Psi_1 \Psi_2) dA}{\int_{A_{\infty}} (\Psi_1^2) dA} \quad (3)$$

여기서,

$$C_+ \doteq C_- \doteq C$$

간단한 광결합기의 구조는 그림 1과 같다. 광결합기에서 파장에 대한 결합모드 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} P(\lambda_1) &= \sin^2 S_1 = 1 \text{ (or } 0) \\ P(\lambda_2) &= \sin^2 S_2 = 0 \text{ (or } 1) \end{aligned} \quad (4)$$

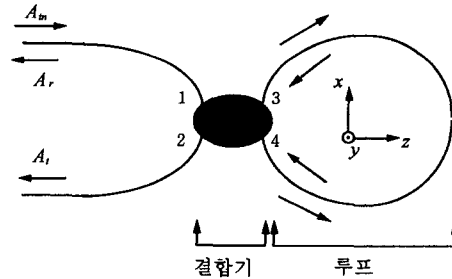


그림 1. 간단한 광섬유 루프 결합기

따라서 두 파장 λ_1, λ_2 를 분리하기 위한 조건은 식 (6)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \text{조건 1 : } \sin^2 S_1 &= 0 \text{ 또는 } 1 \\ \text{조건 2 : } |S_1 - S_2| &= \pi/2 + q (q=0, 1, \dots) \end{aligned} \quad (5)$$

조건 1에 의해 결합길이 L 이 고정될 때 두 파장과의 차이는 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta\lambda = \left| \frac{\pi}{2|(\partial C / \partial \lambda)L|} \right|_{\lambda=\lambda_0} \quad (7)$$

여기서, $\partial C/\partial \lambda$ 는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial C}{\partial \lambda} = \left[-\frac{0.0487\lambda}{a^2 n_{co}} + \frac{0.05765\lambda^2}{a^3 n_{co}^2 (2\Delta)^{1/2}} - \frac{4 \times 10^{-3} \lambda^3}{a^4 n_{co}^3 (2\Delta)} \right] \times \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{K_0(Wd/a)}{K_1^2(W)} \right] + \left[-\frac{0.0487}{a^2 n_{co}} + \frac{0.1153\lambda}{a^3 n_{co}^2 (2\Delta)^{1/2}} - \frac{0.012\lambda^2}{a^4 n_{co}^3 (2\Delta)} \right] \times \left[\frac{K_0(Wd/a)}{K_1^2(W)} \right] \quad (8)$$

여기서,

- a = 광섬유 반경
- d = 두 코어사이의 간격

광결합기의 스펙트럼 전달 특성은 식 (9)와 같다.

$$[C] = \sqrt{1-r} \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\pi f}{\Delta f}\right) & j \sin\left(\frac{\pi f}{\Delta f}\right) \\ j \sin\left(\frac{\pi f}{\Delta f}\right) & \cos\left(\frac{\pi f}{\Delta f}\right) \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서, r 은 결합기의 손실, f 는 광 주파수이고 Δf 는 결합기 채널 간격의 절반과 동일한 광 주파수 간격이다. 광섬유 루프의 전송특성은 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{21} \\ T_{12} & T_{22} \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} [C] e^{j\psi} = (1-r) \begin{bmatrix} j \sin\left(\frac{2\pi f}{\Delta f}\right) & \cos\left(\frac{2\pi f}{\Delta f}\right) \\ \cos\left(\frac{2\pi f}{\Delta f}\right) & j \sin\left(\frac{2\pi f}{\Delta f}\right) \end{bmatrix} e^{j\psi} \quad (10)$$

여기서, T_{ij} 는 포트 i 에서 포트 j 까지 주파수 영역에서의 전송계수이고 ψ 는 광섬유 루프안에서 유기되는 위상 천이이다. 주파수의 확산관계는 $c = \lambda f$ 에서 광결합기의 전송대역폭을 선폭($\Delta \lambda$)항으로 표현하면 식 (11)과 같이 주어진다.

$$\Delta f = \frac{\lambda^2 \Delta \lambda}{c} \quad (11)$$

주파수 영역에서의 출력은 $X_{out} = T_{12} * X_i$ 가 되며, 시간영역에서의 출력은 식 (12)와 같이 된다.

$$x_{out} = t_{12} * x_i = [\delta'(t-\tau) + \delta'(t+\tau)] * \left(-\frac{x_i * D}{2}\right) \quad (12)$$

여기서, $\tau = 1/\Delta f$ 이고 D 는 전파로 인한 펄스 확산함수이다. 그리고 δ' 는 델타 함수이다. 입력펄스가 Δf 보다 큰 대역폭을 가질 경우 포트 2에서 입력 펄스보다 더 많은 펄스를 얻을 수 있다.

III. 수치적 해석 결과

본 연구에서는 OTDM 시스템의 광원 장치로 광섬유 결합기를 이용한 루프 광결합기를 제안하고, 그 구조와 원리를 광결합기에서의 결합모드방정식을 바탕으로 광신호의 결합특성을 분석하였으며 광결합기의 간격과 결합길이에 따른 파장분리 간격특성을 이용하여 입력 펄스의 스펙트럼폭과 광결합기의 전송대역폭과의 관계를 고찰함으로써 고 반복율을 갖는 광펄스를 발생시킬 수 있음을 보였다. 그림 2는 결합길이에 따라 임의의 파장을 분리 할 수 있는 것을 보이고 그림 3은 중심파장과 두 코어 사이의 거리에 따른 $|\partial C/\partial \lambda|$ 의 변화이다. 그림 4는 Δf 의 변화에 따른 3dB 루프 미러 광결합기의 출력 펄스를 보인다.

Δf 가 어느 일정한 값 이상으로 커질 경우, 입력 신호와 출력 신호가 동일하게 나타나는데, 이에 의해 Δf 의 값이 루프 미러 광결합기의 중요한 요소임을 확인 할 수 있었는데 Δf 가 5nm 이하로 주어질 때 출력 펄스가 정확히 분할됨을 확인하였다.

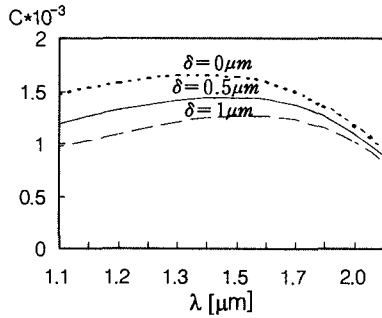


그림 2. 결합길이와 신호 파장과의 관계

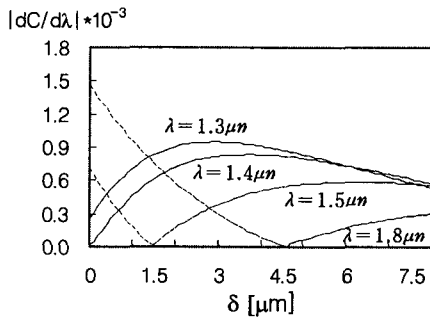
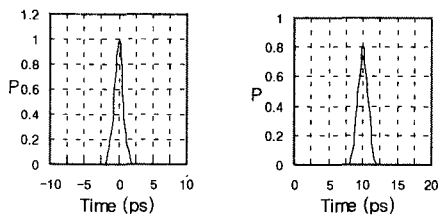
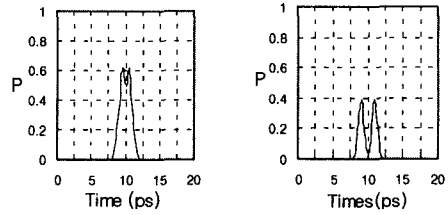


그림 3. $|dC/d\lambda|$ 와 코어 간격과의 관계



(a) 입력 펄스(= 1 ps) (b) $\Delta f = 50$ nm



(c) $\Delta f = 15$ nm (d) $\Delta f = 0.5$ nm

그림 4. Δf 에 따른 광결합기의 출력

IV. 결 론

본 논문에서 구성한 루프 광결합기의 출력을 전산 모의 실험한 결과로는 광섬유결합기의 전송대역폭에 따라 $1.5\mu\text{m}$ 파장의 입력 펄스폭이 10 ps 즉, 스펙트럼 폭이 0.8nm 일 때에 결합기의 전송대역폭을 8nm로 조절하여 하나의 펄스를 얻었다. 입력 펄스폭이 1 ps 인 경우에 대해서는 전송대역 폭이 5 nm 이하로 주어지는 경우에 만족할 만한 출력 펄스를 얻을 수 있었다.

본 연구 결과를 이용하면 광결합기의 직렬연결 수에 따라 펄스 분리간격을 조절할 수 있으며 단일 광섬유만으로 광결합기와 루프를 구성할 수 있으므로 완전 광섬유 전송 시스템을 구현하는 데에도 이용할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- [1] G. Keiser. "Optical Fiber Communications", McGraw-Hill, 2nd ed.1991
- [2] K.Morishita and K. Aso, "Fiber loop polarizers using a fused taper coupler," J. Lightwave Technol., Vol. 12, No. 4, pp. 634-637, Apr. 1994.
- [3] D. B. Mortimore, "Fiber loop reflectors," J. Lightwave Technol., Vol. 6, No. 7, pp. 1217-1224, July 1998.