

하다마드 복원 알고리즘을 적용한 다중 채널 광섬유 능동정렬용 검출기 구현

조남원*, 광기석*, 윤태성*, 박진배*
 *연세대학교 전기전자공학과, **창원대학교 전기공학과

Embodiment of a detector for the active alignment of multichannel optical fiber using Hadamard algorithm

Nam Won Cho*, Ki Suk Kwak*, Tae Sung Yoon**, Jin Bae Park*

*Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ. **Dept. of Electrical Engineering, Changwon National Univ.

Abstract - 다중 채널 광학 정렬 시스템에서 가장 중요한 문제는 각 채널별 정렬이 얼마나 정밀하게 이루어지며 향후 채널의 다중화가 어느 선까지 가능할 수 있는가이다. 기존 시스템은 채널 양쪽에 검출기를 설치하여 광량의 최대 지점을 정렬 위치로 결정하는 방식을 사용했다. 그러나 시스템 채널이 증가함에 따라 정밀한 정렬과 만족할 만한 성능을 얻기에는 어느 정도 한계가 있음을 알 수 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문은 단일 검출기를 사용하여 채널별 광량을 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 그리고 복원 알고리즘을 통해 기존의 시스템과 다른 측정법과 만족할 만한 결과를 도출하는 방법을 소개하고자 한다.

1. 서 론

다중 채널 광학 정렬 시스템에서 가장 중요한 문제는 각 채널별 정렬이 얼마나 정밀하게 이루어지며 향후 채널의 다중화가 어느 선까지 가능할 수 있는가이다. 기존 시스템에서는 채널 양쪽에 검출기를 설치하여 광량의 최대 지점을 정렬 위치로 결정하는 방식을 사용했다. 그러나 시스템 채널이 증가함에 따라 정밀한 정렬과 만족할 만한 성능을 얻기에는 어느 정도 한계가 있음을 알 수 있다[1]. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 하다마드 S-행렬 패턴을 가진 PDLC(Polymer Dispersed Liquid Crystal) 마스크를 적용한 단일 검출기를 이용하여 채널별 광량을 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 그리고 하다마드 분광제측기에 적용되는 다중화(multiplexing)기법을 이용하여 출력값의 신호 대 잡음(SNR)비를 증가시키며 각 채널의 광량을 추출하기 위해 하다마드 변환(Hadamard Transform) 복원 알고리즘을 이용한다.

본 연구에서 제안하는 시스템에서는 한 가닥 광섬유에서 나오는 빛을 스플리터(splitter)를 통과시켜 원하는 채널의 빛으로 나누어준다. 그리고 그 빛이 PDLC 마스크의 각 셀(Cell)을 통과하도록 유도하여 통과한 빛을 광학 렌즈로 모아 센서로 맺게 한다. 마지막으로 검출기에서 측정된 전체 값을 다중화 기법을 사용하여 채널별 추정치로 변환 후 하다마드 변환 복원 알고리즘을 통해 각 채널의 광량을 복원하는 것이다.

이 정렬 시스템은 채널 수가 증가 할수록 얻어지는 측정값이 더욱 정확해지는 장점을 가지고 있다. 즉, 다중화 기법을 사용하는 시스템은 PDLC 마스크를 통과하는 빛의 양이 증가할수록 신호 대 잡음(SNR)비가 증가하므로 하다마드 변환 복원 알고리즘이 더욱 좋은 성능을 발휘할 수 있게 된다.

2. 본 론

2.1 다중채널 능동정렬용 검출시스템

그림 1은 광원에서 광섬유로 유도된 빛을 16채널로 나누어 S-행렬 패턴이 적용된 PDLC 마스크의 각 셀(Cell)을 통과시킨 빛을 광학 렌즈를 이용하여 빛을 모아 검출

기로 보내는 블록 다이어그램이다.

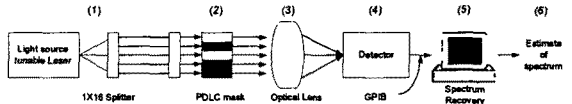


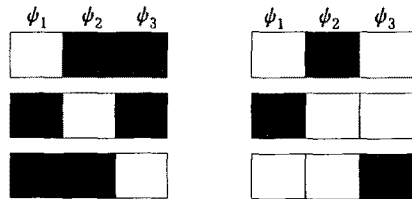
그림 1. 고분자 분산액정(PDLC) 마스크를 가진 검출기
 Fig. 1. Block Diagram of Detector with PDLC Mask

2.2 광학 능동정렬과 수동정렬[2]

광학 능동 정렬(optical active alignment)과 수동정렬을 구별하는 기본 차이점은 광섬유를 접합하기까지 광원(photodiode)과 유닛(unit)의 동작이 정렬과정 속에서 어느 정도 정밀도에 기여할 수 있는가이다. 즉, 허용오차가 적은 광학부품을 제작함에 있어서 광학 능동 정렬은 각 프로세스에 쓰이는 유닛(unit)이 가지고 있는 허용오차를 능동적으로 보상할 수 있다. 그러나 수동 정렬에 쓰이는 유닛은 그렇지 못하다. 이것은 장비의 신뢰성에 따라 부품의 허용오차가 이미 결정되어 있기 때문이다.

2.3 Multiplexing Mean-Square Error

다중화(multiplexing)기법은 검출기 오차를 줄일 수 있는 방법으로 널리 사용되고 있다. 검출기에 입사하는



(a) 단일 슬롯 측정 (b) multiplexing기법 측정
 그림 2. 단일 슬롯 측정 과 multiplexing기법 측정

Fig. 2. Measurement of a single slot and multiplexing method

빛의 강도를 높임으로써 신호 대 잡음비를 극대화 할 수 있다. 그림 2는 측정하는 파장이나 채널의 광신호가 3개인 경우를 가정하고, 셀 단위별로의 측정과 multiplexing 측정 시 PDLC 마스크의 개폐상태를 보여주고 있다.[3][4]

그림 2의 (a)와 (b)에서 측정값 η 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad \eta_1 &= \psi_1 + e_1 & \text{(b)} \quad \eta_1 &= \psi_1 + \psi_3 + e_1 \\ \eta_2 &= \psi_2 + e_2 & \eta_2 &= \psi_2 + \psi_3 + e_2 \\ \eta_3 &= \psi_3 + e_3 & \eta_3 &= \psi_1 + \psi_2 + e_3 \end{aligned}$$

여기서 e_i 는 측정 잡음이다.

이 때 광량의 ψ 값의 추정치(estimate)는 다음과 같다.

$$\begin{array}{ll}
 \text{(a)} & \text{(b)} \\
 \hat{\psi}_1 = \eta_1 & \hat{\psi}_1 = \frac{1}{2}(\eta_1 - \eta_2 + \eta_3) \\
 \hat{\psi}_2 = \eta_2 & \hat{\psi}_2 = \frac{1}{2}(-\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) \\
 \hat{\psi}_3 = \eta_3 & \hat{\psi}_3 = \frac{1}{2}(\eta_1 + \eta_2 - \eta_3)
 \end{array}$$

그러므로, 실제 값과 추정치와의 오차(error)는 다음과 같다.

$$\begin{array}{ll}
 \text{(a)} & \text{(b)} \\
 \epsilon_i = \hat{\psi}_i - \psi_i & \\
 \epsilon_1 = e_1 & \epsilon_1 = \frac{1}{2}(e_1 - e_2 + e_3) \\
 \epsilon_2 = e_2 & \epsilon_2 = \frac{1}{2}(-e_1 + e_2 + e_3) \\
 \epsilon_3 = e_3 & \epsilon_3 = \frac{1}{2}(e_1 + e_2 - e_3)
 \end{array}$$

따라서, 평균 자승 오차(mean square error)와 평균 MSE(average MSE)는 다음과 같다.

$$\begin{array}{ll}
 \text{(a)} & \text{(b)} \\
 E[\epsilon_1^2] = \sigma^2 & E[\epsilon_1^2] = \frac{1}{4}(3\sigma^2) \\
 E[\epsilon_2^2] = \sigma^2 & E[\epsilon_2^2] = \frac{1}{4}(3\sigma^2) \\
 E[\epsilon_3^2] = \sigma^2 & E[\epsilon_3^2] = \frac{1}{4}(3\sigma^2)
 \end{array}$$

average MSE

$$\begin{array}{ll}
 \text{(a)} & \text{(b)} \\
 \epsilon = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E[\epsilon_i^2] & \epsilon = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E[\epsilon_i^2] \\
 = \sigma^2 & = \frac{3}{4} \sigma^2
 \end{array}$$

위의 결과를 통해 알 수 있듯이 다중화(multiplexing) 기법을 사용함으로써 25% 줄어든 평균자승오차를 얻을 수 있다. 그러므로 제시한 예로부터 다중화 기법을 사용하여 오차를 줄일 수 있으며 더욱이 신호 대 잡음(Signal-to-Noise Ratio)비를 증가시켜 측정 정확도를 높일 수 있는 사실을 알 수 있다. 셀의 개수가 N개 일 때의 경우에 대한 평균 MSE는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \frac{4N\sigma^2}{(N+1)^2}$$

여기서 σ^2 은 잡음의 분산을 나타내며 N값이 클수록 측정 정확도는 더 나아지게 됨을 알 수 있다.

2.4 하다마드(Hadamard) 복원 알고리즘

위와 같이 하다마드 S행렬 패턴으로 구동되는 PDLC 마스크를 통과한 빛은 광학 렌즈를 통하여 검출기로 하여금 특정 측정값을 컴퓨터로 보내도록 한다. 그리고 내부 알고리즘으로 다중화 기법을 구현하여 신호 대 잡음(SNR)비를 증가시킨다. 그리고 각 마스크 셀의 transmittance값을 측정하여 그림 3과 같이 채널에 가중치를 주기 위해 W를 설정하여 준다. 아래 그림 3은 하다마드 변환 복원 알고리즘이 적용되기 이전의 다이어그램이다.

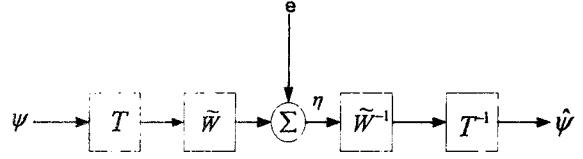


그림 3. 개선된 multiplexing 스펙트로미터 블록 다이어그램
Fig. 3. Revised block diagram of a multiplexing spectrometer

그림 4는 multiplexing 기법에 마스크의 각 셀의 투과율과 비 투과율을 이용하여 파라메타 D를 설정하고 하다마드 변환 복원 알고리즘을 이용하여 각 채널의 광량을 측정하는 것을 보여준다.[5][6]

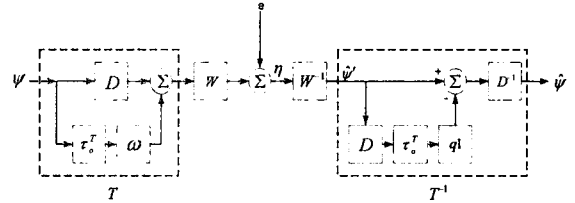


그림 4. 스펙트럼 복원 기법을 적용한 multiplexing 스펙트로미터 블록 다이어그램

Fig. 4. Block diagram of a multiplexing spectrometer which employs the spectrum-recovery method

2.5 시스템 구현

구현된 광학 능동 정렬 시스템에서 검출기의 세부 시스템은 크게 패널 부분(그림 5)과 16채널 고분자 분산액정(그림 6) 그리고 광 파워미터(그림 7) 마지막으로 광 출력 디스플레이(그림 8)로 이루어진다.

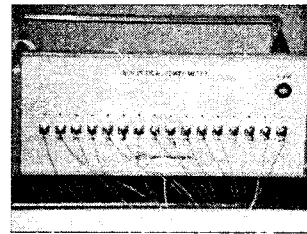


그림 5. 전면 패널 부분
Fig. 5. Front Panel

그림 5의 전면 패널 부분은 splitter를 통해 1 X 16채널로 나누어진 빛을 받아내는 검출기의 앞부분이다(그림 1_(1)). 본체에 내장되어 있는 부품은 마스크를 비롯하여 전기적인 작용을 수행하는 소자를 사용함으로써 외부 진동에 별 영향을 받지 않는 강인함 가지고 있다. 이 중 사용되는 핵심 부품의 하나인 16채널 고분자 분산액정(그림 6)은 약 15[V]의 전압이 인가되면 내부 액정이 일렬로 정렬하여 빛을 통과시키는 특성을 가지며 전압이 인가되지 않는 경우 90%이상의 빛을 차단시키기 위해 액정이 무질서하게 배열이 되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 외부적으로 8bit Controller에 의하여 하다마드 S행렬 패턴을 가지도록 하였다. 또한 정확한 측정을 위해 PC와 시리얼(serial)통신으로 동기화 문제를 해결하였다.

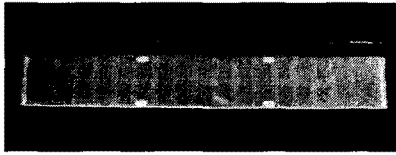


그림 6. 1X16 채널 고분자 분산액정
Fig. 6. PDLC with 16 Channel

그림 7은 각 광섬유 터미널에 collimator를 부착하여 빛의 직진성을 부여하여 마스크를 통과 할 수 있도록 한 장치이다. 그리고 센서를 렌즈의 초점에 위치시켜 광량을 측정할 수 있는 구조를 보여준다.

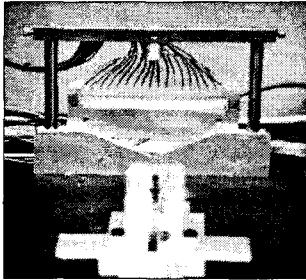


그림 7 광 파워미터
Fig. 7. Optical Power-meter

2.6 측정 방법 및 결과

광량 측정의 정확성은 장비가 가지는 허용 오차 내에서 신뢰할 수 있는 값을 어떻게 정하는가에 달려있다. 그래서 측정 장치에서 정확한 값을 얻기 위해 1X16 Splitter 채널 값을 정규화 하여 기준 값을 설정하는 방법을 채택하였다.

2.6.1 광소자 기준 데이터 측정

먼저 정확한 소자의 스펙을 얻기 위해 OSA(Optical Spectrum Analyzer : Co. ANDO) 계측 장비를 이용하여 splitter의 각 채널별 파워를 측정, 그 결과 값을 얻었다.

입력 광원 : TLS(Tunable Laser Source : Co. ANDO)
설정 파장 : 1550 nm
파워(Power) : 3.18 0mW(5.02 dBm)

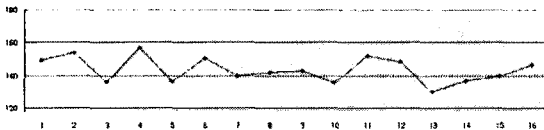


그림 8 시험 광소자(1X16 Splitter) OSA 측정 데이터
Fig. 8. Measurement data of the test optical device

2.6.2 구현 장치의 실제 측정

실제 측정은 9회 연속 반복 시행하였다. 매회 측정 시 재현성은 있으나 기존 splitter 스펙과는 차이를 보이고 있음을 비교분석으로 알 수 있었다. 이것은 광신호가 광섬유에 부착된 collimator를 통과하는 과정에서 마스크나 렌즈의 물성적인 고유 손실이 발생했기 때문이다. 이 현상을 보정하기 위해 각 채널에 동일한 파장의 입력을 주어 채널별 측정 데이터와 OSA측정 데이터를 얻음으로써 각 채널의 정규화를 유도할 수 있었다. 그 결과 각 채널의 광 출력 값은 기존의 것과 달리 일정한 패턴을 가질 수 있게 되어 광 출력을 보정해 줄 수 있었다.

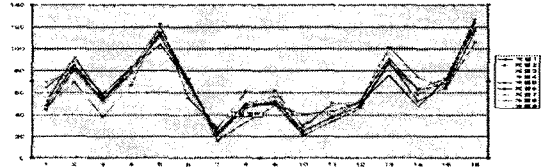


그림 9 데이터 보정 전
Fig. 9. Before the compensation of data

그림 9와 그림 10은 보정하기 전과 보정한 후의 측정 데이터를 나타내고 있다.

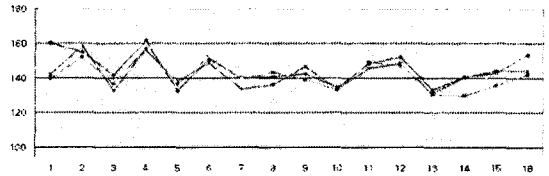


그림 10 데이터 보정 후
Fig. 10. After the compensation of data

위 그림 10의 광 출력 처리 프로그램을 통해 얻어진 채널의 값을 그림 8의 시험 광소자 OSA 측정값과 비교해 보면 그 값이 거의 일치함을 알 수 있다.

3. 결 론

기존의 광학 능동 정렬 시스템은 적은 수의 채널을 정렬할 경우 어느 정도 신뢰성이 보장되었다. 그러나 현재 DWDM(dense wavelength division multiplexing)의 개발로 통신과 광 산업계는 더욱 정확한 다중 채널 정렬 시스템을 필요로 하고 있다. 본 연구에서는 이러한 요구에 부합될 수 있는 하드웨어 장치의 구현과 그 측정 결과를 보여 주었다. 즉, 채널의 수가 증가 할수록 더욱 정확한 정렬 시스템을 구현할 수 있음을 보였다. 앞으로 마스크의 물리적 특성, 즉, 빛의 반사율과 collimator의 성능을 더욱 개선 한다면 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] W. Blum, H. Kroha, "A Novel Laser Alignment System for Tracking Detectors Using Transparent Silicon Strip Sensors", IEEE, vol 1, pp. 464-468, 1995
- [2] Robert Boudreau, "Passive Optical Alignment Methods", International Symposium on Advanced Packaging Material, 1997
- [3] M. Harwit and N.J.A. Sloane, "Hadamard Transform Optic", New York : Academic Press, pp. chapter 1, 1979
- [4] B.K. Harms, R.A. Dyer, S.A. Dyer, T.W. Johnson, and J.B. Park, "An Introduction to Hadamard Spectrometry and The Multiplex Advantage", IEEE, 6th, pp. 434-438, 1989
- [5] T.W. Johnson, J.B. Park, S.A. Dyer, B.K. Harms, and R.A. Dyer, "An Efficient Method for Recovering the Optical Unbiased Linear Spectrum-Estimate from Hadamard Transform Spectrometers Having Nonideal Masks", Appl. Spectrosc., vol. 43, pp. 743-750, 1989
- [6] B.K. Harms, R.A. Dyer, S.A. Dyer, T.W. Johnson, and J.B. Park, "Implementation problems in Hadamard", IEEE, 6th, pp. 439-445, 1989