

하다마드 복원 알고리즘을 적용한 64채널 광섬유 능동정렬용 검출기 연구

Research of a detector for the active alignment of 64channel optical fiber using Hadamard algorithm

조 남 원*, 콰 기 석*, 윤 태 성**, 박 진 배*

(Cho nam won, Kwak Ki Suk, Yoon Tae Sung, Park Jin Bae)

* 연세대학교 전기전자공학과(전화:(02)2123-2773, 팩스:(02)362-4539, E-mail : eleczone@control.yonsei.ac.kr)

** 창원대학교 전기공학과(E-mail : tsyoon@sarim.changwon.ac.kr)

Abstract : 현재 광 정렬 시스템에 채용하고 있는 다채널 광 파워미터는 측정 채널의 수가 증가하는 상황이다. 그러나 기존 시스템 제어를 통한 각 채널의 정밀한 정렬은 다 채널 광 파워미터 기술에 적합하지 않은 방식이다. 그러므로 본 논문에서는 기존 방식을 채택한 광 정렬 방식을 개선하기 위해 하다마스 변환 복원 알고리즘을 이용한 광 능동 정렬 검출 방법을 제안한다.

다채널 광학 정렬 시스템에서 가장 중요한 문제는 채널의 증가에 따라 채널별 정렬의 정밀도가 떨어진다. 기존 정렬 시스템에서 채용하고 있는 다채널 광 파워미터의 기술 수준은 약 4채널까지 동시 측정이 가능하였다. 이 방법은 채널 양쪽에 검출기를 설치하여 광량의 최대 지점을 최적 정렬 위치로 결정한다. 그러나 시스템 채널이 증가할 수록 안쪽에 위치한 광소자를 정렬을 무시하기 때문에 정확한 정렬에 적합하지 않다. 그리고 고속, 대용량의 데이터 처리요구에 맞추기 위한 64채널 광소자 생산을 위해서는 16개의 4채널 광 파워미터를 사용하는 방법이 있으나 이는 신뢰할 만한 수준의 측정치를 제공하지 못한다. 따라서 새로운 개념을 적용한 다채널 동시측정을 위한 광소자 측정 기술 및 광 파워미터의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

하다마드 변환 복원 알고리즘을 이용한 광 능동 정렬 검출 시스템은 이러한 요구를 충족시킬 수 있다. 그러므로 본 논문은 하다마드 변환 복원 알고리즘을 이용한 광 능동 정렬 검출 시스템이 기존의 시스템보다 우수한 알고리즘과 성능을 가지고 있음을 실험을 통해 입증한다.

Keywords : 하다마드 변환, 다채널, 정렬 시스템, SNR

1. 서론

현재 초고속 광통신 시스템이 널리 상용화 되어 가고 있다. 그 중 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)과 같은 광통신 소자들의 중요성과 수요 증대하고 있다. 그리고 제조업체에 생산성 향상 및 품질 개선이라는 과제를 어느 때보다 필요로 한다. 광통신소자의 특성상 광섬유와 소자 사이의 광학적인 정렬과 접속 공정은 부품 성능 향상 및 공정 자동화 여부의 관건이 되는 중요한 기술이라 할 수 있으며, 이 기술을 적용하여 생산되는 평면도파로 형 분배기 등의 광통신 부품 생산 공정에 적용하기 위한 자동정렬 시스템의 광량 측정 장치의 다채널화는 필수적이라 할 수 있겠다. 하지만 다채널 광학 정렬 시스템에서 가장 중요한 문제는 채널 수가 증가할수록 채널별 정렬이 정밀하게 이루어지지 못하는 것이다. 기존 정렬시스템에서 채용하고 있는 다채널 광 파워미터의 기술 수준으로는 약 4채널까지 동시 측정이 가능하였다. 이 방법은 채널 양쪽에 검출기를 설치하여 광량의 최대 지점을 정렬 위치로 결정하는 방식을 사용했다. 그러나 이 방식은 시스템 채널이 다채널화 함에 따라 정밀한 정렬과 만족할 만한 측정값을 얻기에는 한계가 있다.

한편 고속, 대용량의 데이터 처리요구에 맞추기 위한 64채널 광소자 생산을 위해서는 16개의 4채널 광 파워미터를 사용하는 방법이 있으나 이는 신뢰할 만한 수준의 측정치를 제공하지 못한다. 따라서 새로운 개념을 적용한 64채널 동시측정을 위한 광소자 측정기술 및 광 파워미터의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 논문은 이러한 기존의 다채널 광량 동시측정의 단점을 보완하기 위해 하다마드 S-행렬 패턴을 가진 PDLC(Polymer Dispersed Liquid Crystal) 마스크를 적용한 단일 검출 시스템을 제안한다. 이 시스템은 우선 계측시 불필요한 잡음을 줄이기 위해서 다중화(multiplexing)기법을 사용하였다.[1] 이 방법은 일정한 출력의 입력광에 검출기 자체의 잡음으로 영향 받은 측정값을 입력신호 대 잡음의 전력 비(SNR)를 환산하여 검출기 잡음의 영향을 줄이는 것이다. 즉, SNR를 증가시키기 위해서 일정값을 가진 각 채널의 광신호를 보다 많이 통과시키는 것이다. 그래서 검출기 자체 잡음을 상대적으로 감소시키는 것이다.

본 논문에서 제안하는 전체 시스템은 다음과 같다. 한 가닥 광섬유를 분할기(splitter)를 통하여 원하는 수

의 채널로 나누어 분광시킨 후 정렬 대상인 광섬유를 놓고 분광된 빛이 대상 광섬유를 통과하게 한다. 그리고 나서 대상 광섬유에서 나오는 광 신호를 S-행렬 패턴의 마스크에 통과시켜 광학렌즈를 이용하여 검출기에 집광시킨다. 집광된 광량은 일정 주기를 가지며 검출기를 이용하여 어레이(array)로 측정한다. 그리고 측정 결과값을 하다마드 복원 알고리즘에 적용하여 채널별 분광치로 산출한다. 마지막으로 채널별 분광치는 각 채널에서 거의 동일 값과 동일 양을 가질 때 정밀 정렬의 위치로 결정한다.

이러한 방식을 적용하는 정렬 시스템은 채널 수가 증가 할수록 얻어지는 채널별 분광 측정값이 실제 값과 거의 같아지는 장점을 가지고 있다. 즉, 을 적용한 PDLC마스크를 이용한 다중화 기법은 통과하는 빛의 양을 증가시키므로 SNR이 증가한다. 그 결과 기존 시스템 보다 하다마드 변환 복원 알고리즘이 더욱 좋은 성능을 발휘할 수 있게 된다.

II. HT변환을 이용한 분광신호 복원 방법

이 장에서는 단일 마스크 사용을 전제로 하여 하다마드 변환 분광계를 이용한 기본 시스템을 모델링 한다. 그리고 이 모델에 관련지어 예비지식 그리고 용어 및 분광 신호 복원의 기술을 상세히 설명한다.

2.1 예비지식

2.1.1 신호 대 잡음 전력비(SNR)[2]

모든 계측기기를 사용하여 얻을 수 있는 결과에는 두 가지 요소를 포함하고 있다. 하나는 계측 실험을 통해 얻은 신호 및 분석 데이터가 있다. 그리고 다른 하나는 잡음이라 불리는 우리가 원하지 않는 신호가 있다. 이 원하지 않는 잡음을 두 개의 목록으로 분류할 수 있다. 첫 번째 형태는 화학적, 기계적인 잡음이 있다. 즉, 계측기 자체 및 회로 내 주변 환경의 영향으로 인해 생기는 잡음을 말한다. 일반적으로 시간의 함수나 특정 이벤트로써 상관 지을 수 있다. 예를 들어 열적 및 Johnson noise(저항, 커패시터, 방사 검출기, 전기화학적 셀 그리고 기기의 저항 요소의 노이즈), shot noise(반도체의 pn 접합면을 통과하는 전자의 이동에서 발생하는 노이즈), Flicker noise(신호 주파수에 역 비례적하여 크기가 변화는 잡음)가 있다. 우리는 이러한 화학적, 기계적인 잡음을 시스템 내에 특정한 에너지를 부여하여 능동적으로 격감시킬 수 있다.

두 번째 잡음은 언제 어디서나 발생하는 임의적 잡음이다. 이 잡음은 시스템의 특성상 완벽하게 제거되지 않는다. 그 밖에 측정 신호와 독립적인 관계를 가지고 성질을 지니고 있다. 그러나 임의적 발생의 잡음은 통계학적으로 접근이 가능하다. 즉, 잡음을 최소화는 할 수 있는 방법이 있다. 이것은 분석된 신호와 함께 존재하는 잡음의 정도를 비교 측정함으로써 계측의 정확도를 높이는 방법이다.

대부분 계측에 있어서, 임의적 발생의 잡음 정도는 분석된 신호와 독립적인 관계를 가지고 있다. 그리고 공급 입

력에 비해 검출기에 도달하는 입력이 적을 경우 측정 공급 입력을 높이거나 중간의 손실을 줄일 경우 측정 신호에 영향을 미치는 잡음의 영향은 상대적으로 감소하게 된다. 이 개념은 SNR로 나타내어 계측의 정확도를 높이는 비례 수치로 표현할 수 있다.

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{mean}(\text{Signal})}{\text{stdev}(\text{Noise})}$$

2.1.2 Co-addition[3]

대부분 연구 실험은 여러 신호로부터 오는 정보를 한번에 배열로써 획득하기를 원한다. 그러나 이 결과를 얻기 위해서 다중 채널 측정으로 오는 데이터 신호들은 각 정보 간 일정한 시간차 및 공간차를 가지고 있어야 한다. 즉, 다중 채널 측정 방식을 통해서 획득해야 한다. 우리는 이러한 방식을 다중(multiplex)기법이라고 한다. 이 방식은 필요한 데이터의 획득 시간 시간을 줄이는 장점을 지니고 있다. 그리고 연속적인 데이터 배열을 모두 더할 수 있도록 해준다. 또한 신호의 연속적인 배열의 평균을 가능케 한다. 어떤 임의의 변량의 변화(분산)를 줄이기 위해 사용하는 기법으로 Co-addition이다. 이것은 일정한 분포를 가지며 서로 독립인 L개의 임의의 변량 x_i ($i = 1, 2, \dots, L$) 는 평균 μ_x 와 분산 σ_x^2 을 가지고 있음을 전제하에 새로운 임의의 변량 y 는 아래와 같이 정의하면

$$y = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L x_i$$

평균 μ_y 와 분산 σ_y^2 는 각각

$$\mu_y = \mu_x$$

그리고

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma_x^2}{L}$$

이다.

2.2 T^{-1} 방법을 이용한 스펙트럼 신호 복원방법[4][5]

이 방법은 \bar{W} 을 사용한 식을 더욱 분해하여 향상된 측정이 가능하도록 했다.

식 (2.1),(2.2)을 사용하여 T 로 표현하였다.

$$\bar{W} = WT \tag{2.1}$$

$$\bar{W} = WD + 1\tau_0^T \tag{2.2}$$

$$\bar{W} = W(D + W^{-1}1\tau_0^T) \tag{2.3}$$

여기에서

$$w = W^{-1}1 \tag{2.4}$$

$$T = D + W^{-1}1\tau_0^T \tag{2.5}$$

$$T = D + w\tau_0^T \tag{2.6}$$

만약 $W = S$ 이라면 아래와 같은 식(2.7)을 얻을 수 있

다.

$$T = D + \frac{2}{N+1} \mathbf{1} \tau_o^T \quad (2.7)$$

여기서 우리는 Sherman-Morrison 식을 이용하여 T^{-1} 을 구할 수 있다.

$$T^{-1} = D^{-1} - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{N+1}\right) \tau_o^T D^{-1} \mathbf{1}} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{2}{N+1}\right) D^{-1} \mathbf{1} \tau_o^T D^{-1} \\ &= D^{-1} - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{N+1}\right) \sum_{i=1}^N \frac{\tau_{oi}}{d_{ii}}} \quad (2.9) \end{aligned}$$

$$\left(\frac{2}{N+1}\right) D^{-1} \mathbf{1} \tau_o^T D^{-1}$$

여기에서

$$T^{-1} = D^{-1} - q D^{-1} \mathbf{1} \tau_o^T D^{-1} \quad (2.10)$$

$$q = \frac{2}{(N+1) + 2 \sum_{i=1}^N \frac{\tau_{oi}}{\tau_{ii}}} \quad (2.11)$$

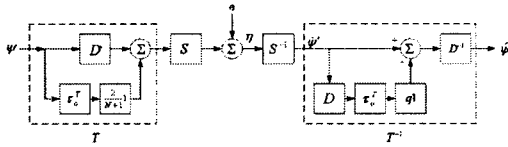


그림 2.1 T^{-1} 분광 복원 방법을 사용한 다중 분광계의 블록 다이어그램

그림 2.1은 위 식의 확장된 시스템 모델을 블록 다이어그램으로 묘사한 것이다.

다음에 논의할 것을 T^{-1} 알고리즘의 수학적 효율성은 식(2.10)에 근간을 두고 있다.

우리는 식(2.10)과 $\hat{\psi} = T^{-1} \hat{\psi}'$ 의 행렬을 통하여 식(2.12)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\psi} &= [D^{-1} - q D^{-1} \mathbf{1} \tau_o^T D^{-1}] \hat{\psi}' \\ &= D^{-1} [\hat{\psi}' - q D^{-1} \mathbf{1} \tau_o^T D^{-1} \hat{\psi}'] \quad (2.12) \end{aligned}$$

여기에서 $\hat{\psi}'$ 는 초기 추정치이다.

스칼라 정의에 따라

$$\begin{aligned} r &= \tau_o^T D^{-1} \hat{\psi}' \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{\tau_{oi} \hat{\psi}'_i}{d_{ii}} \quad (2.13) \end{aligned}$$

스펙트럼 추정치는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\psi}_i = \frac{\hat{\psi}'_i - qr}{d_{ii}} \quad (2.14)$$

$\hat{\psi}'_i$ 는 초기 추정치의 i 번째 요소이다. 그리고 d_{ii} 는 D 의 i 번째 대각선 요소이다.

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\sigma^2}{N} \left[\frac{2}{N+1} \right]^2 \left\{ \left[\sum_{i=1}^N d_{ii}^{-2} \right] \left[N + 2q \left[\sum_{i=1}^N \tau_{oi} d_{ii}^{-1} \right] \right. \right. \\ &+ q^2 \left\{ (N+1) \left[\sum_{i=1}^N \tau_{oi}^2 d_{ii}^{-2} \right] - \left[\sum_{i=1}^N \tau_{oi} d_{ii} \right]^2 \right\} \\ &\left. \left. - 2(N+1)q \left[\sum_{i=1}^N \tau_{oi} d_{ii}^{-3} \right] \right\} \quad (2.15) \end{aligned}$$

여기에서 N 이 큰 수를 가진다면 식(2.15)을 아래 식(2.16)과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{4\sigma^2}{(N+2)^2} \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{ii}^2} \quad (2.16)$$

위 식으로부터 T^{-1} 방법에 대한 규칙적인 오차들은 0(zero)이 됨을 보여준다.

즉, T^{-1} 분광 복원 방법은 실제 스펙트럼의 최적화된 추정치를 제공한다. 그리고 T^{-1} 와 D^{-1} 방법은 이상적인 마스크 조건의 S^{-1} 방법에서 유발되는 단점을 줄여주며 선형적인 추정치를 얻을 수 있게 한다. N 의 크기가 무한히 크다면 D^{-1} 을 이용하여 얻은 평균 MSE은 T^{-1} 을 이용하여 얻은 추정치에 근사적으로 접근할 수 있음을 보여주고 있다. 결론적으로 T^{-1} 와 D^{-1} 는 비 이상적인 마스크 조건에서 각 셀에서 생기는 투과율과 비 투과율의 차이로 인한 추정치의 오차를 보정하며 S^{-1} 방법을 사용한 수학적 계산과정에 비해 쉽게 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

III. HT변환을이용한분광신호복원결과

3.1 실험 과정

본 실험은 그림 3.1과 같이 입력 광량과 검출기에서 측정된 광량값을 실시간 비교하여 채널별 오차를 측정한다. 그림 3.1에서 측정과정을 두 가지로 표현할 수 있다. 첫째, 실선은 빛의 과정을 나타낸다. 둘째, 점선은 검출기의 운용을 위한 데이터의 과정을 나타낸다. 첫째 과정에서 빛은 분할기를 통해 64개의 채널로 나누어진다. 그리고 나누어진 빛은 광 마스크를 투과하

여 고유의 S-행렬 패턴을 가지게 된다. 마지막으로 광학 렌즈를 이용하여 빛의 광량을 검출한다. 둘째 검출기에서 측정된 광량은 하다마드 복원 알고리즘을 사용하여 채널별 광량을 산출한다. 그리고 산출된 광량은 각 입력 광량과 비교 분석하여 채널별 오차를 최소화 되도록 반복적인 광량 측정을 한다.

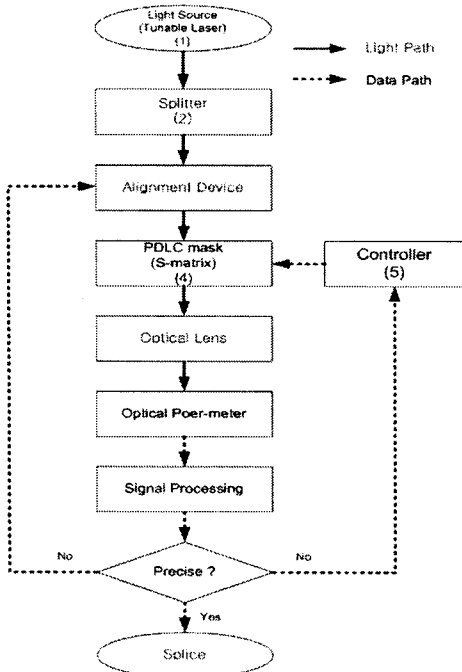


그림 3.1 광 측정 장치의 흐름도

그림 3.2는 그림 3.1의 과정을 통해 얻은 채널별 광량과 입력 광량을 비교한 그래프이다.

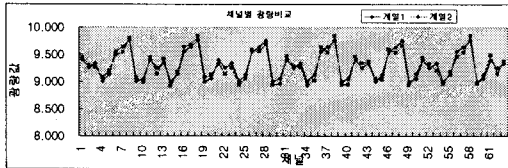


그림 3.2 투과율 0.95, 비 투과율 0.015
채널 별 광량 복원 비교

그림 3.2에서 나타난 그래프와 같이 입력 광량은 분할기 특성상 동일한 출력 광량을 가질 수 없다. 그리고 마스크의 각 셀은 이상적으로 완전 투과와 완전 차단을 할 수 없다. 하지만 분할기의 특성은 정규화 과정을 통해서 실제 광량을 보정한다. 그리고 T^{-1} 알고리즘을 사용하여 마스크의 투과율을 보상한다.

IV. 결론

본 논문은 하다마드 S-행렬 패턴을 가진 PDLC 마스크를 적용한 단일 검출 시스템을 사용하여 다채널 광량 동시측정의 단점을 보완한다. 그리고 이 시스템 적용된 분할기는 비 이상적인 특성을 있으므로 표준화된 계측기를 사용하여 정규화 한다. 그리고 비 이상적인 광학 마스크는 T^{-1} 을 통해 각 셀의 투과율을 보상하여 입력 광량과의 측정광량의 오차를 최소화 시켰다. 그 결과 채널의 다채널화는 하다마드 복원 알고리즘을 이용하여 오차를 최소화 한다. 그러므로 본 논문은 하다마드 변환 복원 알고리즘을 이용한 광 능동 정렬 검출 시스템은 기존의 시스템보다 우수한 알고리즘과 성능을 가지고 있음을 실험을 통해 입증된다.

참고문헌

- [1] 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," IMTC/89 Conference Record
- [2] Augustus W. Fountain III, "Exploring Digital Signals and Noise in Instrumental Analysis", SignalNoise.mcd 12. 2000
- [3] J.B. Park, "Performance Enhancement and Evaluation of Various Spectrum-Recovery Methods In Hadamard Transform Spectrometry", p.31, 1990.
- [4] S.A. Dyer, B.K. Harms, J.B. Park, T.W. Johnson and R.A Dyer, "A Fast Spectrum-Recovery Method for Hadamard-Transform Spectrometers Having Non-ideal Masks", to appear in Applied Spectroscopy, Mar-Apr. 1989
- [5] T.W. Johnson, J.B. Park, S.A. Dyer, B.K. Harms and R.A. Dyer, "An Efficient Method for Recovering the Optimal Unbiased Linear Spectrum-Estimate from Hadamard-Transform Spectrometers Having Non-Ideal masks", to appear in applied Spectroscopy, July,1989.