DBpia

논문 98-23-12-20

High Speed WDM 시스템에서 적응 배열을 이용한 누화의 최소화

학생회원 김 태 선*, 정회원 서 철 헌*

Minimization of Crosstalk in High Speed WDM System by Adaptive Array

Taesun Kim* *Student member*, Chulhun Seo* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 High Speed WDM 시스템에서의 선형누화를 적응 배열 알고리즘을 이용하여 최소화하였다. 이 알고리즘은 표본화 처리가 첨가된 decision-directed 적응 배열 알고리즘을 바탕으로 하고 있다. 표본화 처리를 이용하여 알고리즘 처리속도를 High Speed WDM 시스템에서의 데이터 전송속도에 미칠 수 있게 하고 있다. 이 방법을 이용한 선형누화의 감소와 채널용량의 증가를 시뮬레이션 결과를 통해 보여주고 있다.

ABSTRACT

In this paper, linear crosstalk is minimized in high speed WDM system by an adaptive array algorithm. The algorithm has been based on decision-directed adaptive array algorithm added sampling process. The speed of algorithm processing reaches that of data transmittance in high speed WDM by sampling process. The simulation results show that our method reduced the linear crosstalk and improved the channel density.

I. 서 론

파장 분할 다중화(WDM) 방식을 이용한 High Speed WDM 시스템에서 좁은 채널 간격은 제한된 저지대역 특성을 갖는 통과 대역 여파기나 역다중화기에 의해 발생하는 선형누화[1]를 일으킬 수 있다. 이는 채널의 수와 채널간의 간격 즉, 채널 용량에 제한을 주는 요인으로 작용하고 있다. 채널 용량의 향상을 위해 많은 연구가들은 선형누화를 줄이기 위해 WDM 시스템에서 발생하는 누화 특성에 대한 분석 또는 보다 엄격한 성능 특성을 갖는 역다중화기나 여파기의 고안과 제작 기술에 초점을 맞추어 대부분의 연구들이 진행하고 있다[2-4]. 그러나 이러한 연구는 제작의 어려움과 고비용을 요하는 문제에 봉착하고 있다. 그래서 최근에는 이에 대한 대안책들이 제안되고 있다. Salz[5]는 다중 채널을 갖는 디지털 수신기를 위해 최적화된 수신 여파기에 관해 기술했고, Minardi와 Ingram[6]은 간섭신호와 잡음을 감소시켜 신호대 간섭과 잡음의 비(SINR)을 최소화하기 위해 배열 안테나 이론[7]에 사용되어왔던 적응 배열 알고리즘을 이용하여 누화를 최소화할 수 있는 수신기를 제안하였다. 이

*숭실대학교 정보통신공학과(E-mail:chulhun@wave.soongsil.ac.kr)
논문번호 : 98281-0706, 접수일자 : 1998년 7월 6일
※ This work is supported by Soong-Sil University

www.dbpia.co.kr

러한 알고리즘은 누화를 최소화시킴으로써 채널 용량을 향상시킬 수 있으므로 밀집한 채널을 갖는 WDM 시스템에서의 통신을 가능하게 할 수 있다. 그러나 이 알고리즘의 처리 속도는 광을 이용한 통신에서의 전송속도에 미치지 못한다는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 해결책으로 표본화 처리를 제안하고 있다. WDM 시스템에서 역다중화 요소의 불완전한 성능에 의해 발생하는 선형누화 특성의 변화가 크지 않기 때문에 선형누화 성분을 제거하기 위하여 일정한 비트마다 표본화하여 알고리즘을 처리하여 누화성분을 최소화시킬 수 있다. 시뮬레이션 부분에서 볼 수 있듯이 이러한 방법은 매 비트마다 알고리즘을 적용하는 방법에 비해 초기의 얼마 동안은 성능이 다시 저하되지만 최적화된 값은 같은 값을 갖게 된다. 그러므로 초기의 어느 정도의 시간 후에는 매 비트마다 알고리즘을 처리하는 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있다.

이렇게 사용되는 적응형 배열 알고리즘은 기준신호를 필요로 한다. 이를 위해 데이터를 송신할 때 일정한 비트마다 수신기가 알고 있는 기준신호를 보내주는 방법이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 송수신기간에 철저한 동기가 필요하고 기준신호의 전송에 의한 전송 비트의 낭비가 문제가 되고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 Decision-Directed 방법을 사용하고 있다. 이는 다소 성능이 떨어지지만 기준신호의 발생 없이 알고리즘을 수행할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 표본화 처리를 이용한 적응형 배열 알고리즘에 의한 선형누화의 제거는 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 완전한 성능을 갖는 High Speed WDM 시스템에서 역다중화기 요소의 개발에 대한 좋은 대안이 될 것이다.

II. WDM 시스템에서 누화성분

그림 1은 격자를 기반으로 한 역다중화기를 사용한 WDM 수신단을 나타내고 있다. 불완전한 특성을 갖는 역다중화기에 의해 역다중화된 WDM 신호는 검파기열에 의해 검파된다. 검파된 신호는 인접채널 신호에 의한 누화성분을 포함한다.

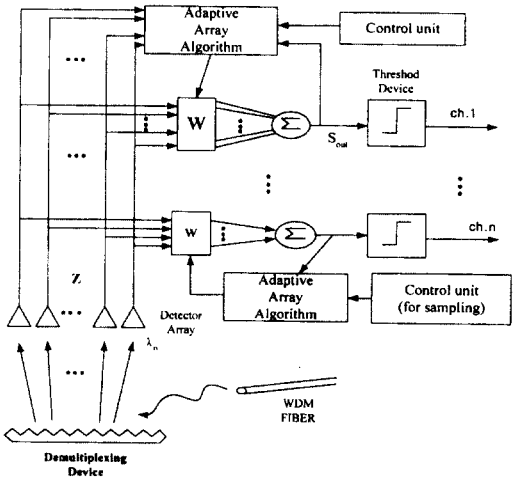


그림 1. 적응 배열 알고리즘의 표본화 처리를 이용한 WDM 수신기.

Fig. 1. Block diagram of WDM using adaptive array algorithm with sampling process.

n개의 채널과 검파기로 모델링된 WDM 수신 시스템에서의 i번째 검파기에 의해 검출되는 j번째의 채널신호의 누화 레벨은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$CT_{i,j} = \frac{(g_{ij}S_j)^2}{(g_{ii}S_i)^2} \tag{1}$$

여기서 g_{ij}은 i번째 검파기에 의해 검출되는 j번째의 채널신호의 양을 나타내는 성분으로 원하는 신호에 대해서는 이득을 나타내고 원하지 않는 성분에 대해서는 누화의 정도를 나타낸다. S_i는 i번째 채널 신호 즉, 원하는 채널의 신호 S_d를 의미한다. 또한 S_j는 j번째의 채널신호로 누화 성분 S_c가 된다. 식 (1)를 바탕으로 i번째 검파기에 의해 검출되는 전체 누화는 다음과 같이 표현된다.

$$CT_{i,total} = \frac{(\sum_{j=1}^{N} g_{ij}S_j)^2}{(g_{ii}S_i)^2}, \quad i \neq j \tag{2}$$

www.dbpia.co.kr

식 (2)의 분자성분은 i번째 검파기에 의해 검출되는 신호의 전력을 나타내는 성분으로 인접채널들에 의해 수신되는 신호들의 합을 나타낸다.

III. 적응 배열 알고리즘을 이용한 누화의 최소화

일반적인 WDM 시스템에서 각 채널의 수신 신호를 각 검파기의 출력 그대로 갖는 반면, 본논문에서 이용하는 방법은 검파기열에 가중치를 가한 신호열의 합을 각 채널의 수신신호로 취하게 된다. 그래서 각 채널에 대해 누화를 감소시킬 수 있는 다른 가중치를 검파기된 신호열에 가해줌으로써 누화가 감소된 출력 신호를 갖게 된다. 이러한 각 검파열에 가해질 적절한 가중치는 적응형 배열 알고리즘에 의해 구해진다. 본 논문에서는 적응형 배열 알고리즘의 처리는 알고리즘을 처리속도 문제에 의해 표본화 처리로 이루어지고 있다. 이러한 원리에 의해 검파열에 의한 출력 신호(Z)는 $n\times 1$ 의 크기를 갖는 행렬로 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{Z=GS+v} \tag{3}$$

여기서 S는 $n\times 1$ 의 크기를 갖는 벡터로 누화와 잡음을 포함하지 않고 있는 각 채널의 신호의 크기를 나타내고, v는 n 개의 검파기 각각의 내부에서 발생하는 잡음을 각각 나타내고 있다. G는 $n\times n$ 크기를 갖는 행렬로 g_{ij}의 원소들로 구성된 벡터를 나타낸다. G는 원하는 채널의 신호가 검파기열에 수신되는 정도를 나타내는 G_d 성분과 원하지 않는 신호들의 수신정도를 나타내는 G_c 성분으로 분리된다. 예를 들어 i번째 채널 신호가 원하는 채널의 신호라면 G_d 성분은 G 행렬의 i번째 행의 성분 벡터를 나타낸다. 이와 같은 방법으로 S는 원하는 채널 신호 S_d와 그밖의 신호성분 S_c로 분리될 수 있다. 이러한 표기를 사용하여 검파기열의 출력 Z는 원하는 신호의 성분과 누화 성분, 검파기 자체의 잡음 성분으로 분리하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\mathbf{Z=G_dS_d+G_cS_c+v} \tag{4}$$

적응형 배열 알고리즘에 의해 구해진 가중치가 가해진 수신 시스템 전체의 출력은 $S_{out} = W^TZ$ 으로 표현된다. 여기서 W는 각 검파열에 가해지는 가중치를 나타내는 행렬을 나타낸다. 적응형 배열 알고리즘의 궁극적인 목표는 누화와 잡음을 최소화하고 최대의 신호대 누화 · 잡음의 비(SCNR)을 갖도록 하기 위해서 적절한 가중치를 찾는 것이다.

적절한 가중치는 SCNR 정보로부터 구하여진다. 즉, 최대의 SCNR을 갖도록 하는 가중치(W)를 다음과 같이 표현되는 SCNR로부터 얻는다.

$$SCNR=\frac{<S_d^2>W^TG_dG_d^TW}{W^T(G_cR_{cc}G_c^T+\sigma^2I)W} \tag{5}$$

여기서 σ는 검파기의 온도잡음 계수를 나타낸다. 이 SCNR을 최대로 하는 가중치를 찾는 일반적인 방법은 수신단의 출력과 원하는 신호 차의 제곱(mean square error, MSE)을 이용하는 것이다. 이는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}<e^2>&=<(S_{out}-S_d)^2>\\&=W^T(GR_{SS}G^T+\sigma^2I)W-2W^TGR_{sd}+<S_d>^2\end{aligned} \tag{6}$$

여기서 R_{ss}는 $<SS^T>$, R_{sd}는 $<SS_d>$를 나타내는 상관함수로 정의된다. 이를 최소화하는 가중치는 Wiener-Hopf 방정식에 의해 다음과 같이 구하여 진다[9].

$$W_{MSE}=(GR_{SS}G^T+\sigma^2I)^{-1}GP_{sd} \tag{7}$$

이 값을 환경 변화에 적응하도록 하기 위하여 사용하는 표준 LMS 알고리즘에 의해 다음과 같이 가중치가 갱신된다[10].

$$\begin{aligned}&W_{new}=W_{old}-\mu eZ\\&(e=W_{old}^TZ-S_d)\end{aligned} \tag{8}$$

여기서 μ는 이러한 가중치의 갱신을 반복하는데 있어서 스텝 계수를 나타낸다. S_d는 일반적으로 수

www.dbpia.co.kr

신단에서는 알 수 없는 정보로 실질적인 적응형 알고리즘의 설계에 중요하게 고려되어져야 한다. 이를 해결하기 위해 송신단에서 주기적으로 수신단에서 미리 저장되어 있는 임펄스 열을 전송해야 한다. 이러한 방법은 송·수신기간의 동기가 요구되어진다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Decision-Directed 방법을 이용하고 있다. 이 방법은 디지털 방식에서 적용되고, 임계단에 의해 수신신호가 '0' 으로 판단될 때만 식 (8)와 같이 가중치를 갱신한다. 이때 수신신호를 '0' 으로 판단하기 때문에 원하는 채널의 송신신호도 '0' 으로 가정할 수 있게 되므로 식 (8)의 오차 e는 임계단에 입력되는 신호, S_{out}이 된다. 수신신호가 '1' 로 판단될 경우는 가중치를 갱신하지 않고 이전의 가중치를 그대로 사용하게 된다. 이렇게 함으로써 적응형 배열 알고리즘을 S_d 신호의 요구 없이 '블라인드' 하게 처리할 수 있다.

이러한 원리에 의해 가중치를 갱신함으로써 통신환경에 적응하도록 하고 있다. 그러나 이러한 알고리즘의 처리속도는 High Speed WDM 시스템의 신호의 전송속도에 미치지 못한다는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점에 대한 대안책으로 본 논문에서는 알고리즘 처리속도를 감안하여 이러한 가중치의 갱신을 수 비트마다 수행하는 것을 제안하고 있다. 이는 역다중화 요소들의 불완전한 성능에 의해 발생하는 WDM 시스템에서의 누화 특성의 변화가 크지 않기 때문에 가능하게 된다. 시뮬레이션 부분에서는 이에 대한 결과를 보여주고 있다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 격자를 기반으로 한 역다중화기를 사용한 WDM 수신기를 모델로 하고, 식 (8)과 같은 정규화된 분포를 갖는 광신호로 시뮬레이션을 하였다.

$$i(x) = \exp[-(0.5887x)^2] + 10^{-5} \tag{9}$$

이렇게 정규화된 광신호는 1의 피크값을 갖고 2의 FWHM(Full Width Half Maximum)을 갖는다.

그림 2(a)는 3.6 (FWHM)의 채널간격을 갖는 20개의 채널로 구성된 신호를 온도잡음 계수가 $\sigma=10^{-2}$

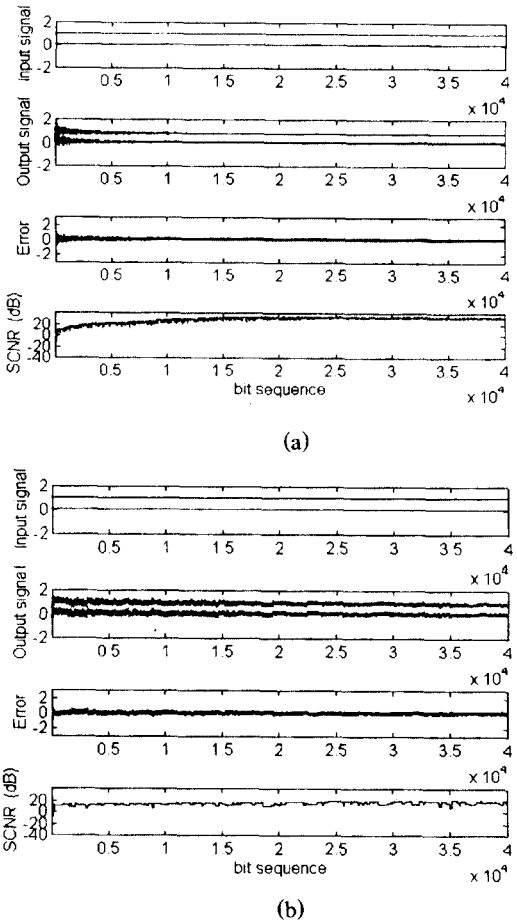


그림 2. 3.6(FWHM)의 채널간격을 갖는 20개의 채널로 구성된 신호를 온도잡음 계수가 $\sigma=10^{-2}$인 20개의 검파기로 구성된 수신기의 랜덤한 '1', '0' 의 입력신호와 알고리즘을 적용한 출력신호, 입출력간의 오차, SCNR. (a) 10 비트마다 표본화 처리, (b) 100 비트마다 표본화 처리.

Fig. 2. Simulation results of sampling process per 100 bits when WDM signal comprised of 20 channels with separation of 3.6 (FWHM) and with test signal of 200 bit sequences was passed through WDM receiver comprised of array of detector with $\sigma=10^{-2}$. (a) sampling process per 10 bits, (b) sampling per 100 bits.

www.dbpia.co.kr

인 20개의 검파기로 수신하여 10 비트마다 표본 처리하여 적응형 배열 알고리즘을 적용하였을 때의 결과를 보여주고 있다. 랜덤하게 '1', '0' 의 디지털 신호를 송신하는 입력신호와 알고리즘을 적용한 출력신호, 입출력간의 오차, SCNR을 각각 나타내고 있다. 그림 2(b)는 각각 100 비트마다 표본 처리하였을 경우의 결과를 보여주고 있다. 결과에서 보듯이 변화가 심한 통신환경에서의 표본화 처리는 성능저하를 가져오지만 역다중화 요소들의 불완전한 성능에 의해 유발되는 누화 성분을 갖는 WDM 시스템과 같이 통신환경의 변화가 적은 시스템에서는 알고리즘의 처리속도에 대한 대안책으로써의 충분한 성능을 갖는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 4 (FWHM)의 채널간격을 갖고 송신되는 채널수에 대한 $\sigma = 10^{-2}$의 온도잡음 계수를 갖는 검파기열로 구성된 수신단에서의 SCNR을 나타낸다. 채널수가 어느 정도이상 증가하면 일정한 값에 수신되는 것을 볼 수 있다. 이는 인접채널에 의한 누화가 전체 누화값에 대해 지배적이기 때문이다. 알고리즘을 사용함으로써 상당히 향상된 SCNR을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 알고리즘을 사용하지 않았을 경우 SCNR이 60개의 채널을 사용할 경우 약 4.8dB에 수렴하는 반면, 알고리즘의 사용으로 약 14dB의 향상된 SCNR을 볼 수 있다.

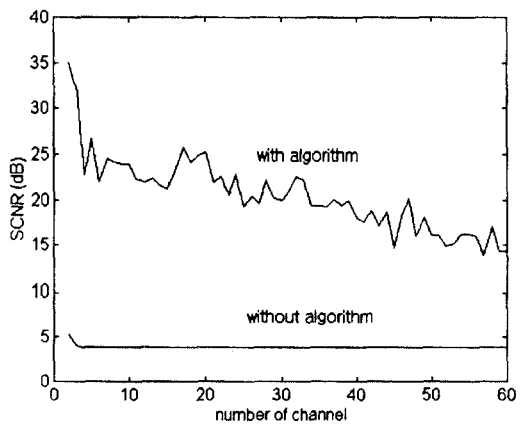


그림 3. 3.6 (FWHM)의 채널간격을 갖고 송신되는 채널수에 대한 수신단에서의 SCNR.

Fig 3. SCNR of output signal for number of channels.

그림 4는 15개의 채널로 구성된 시스템에서 채널의 간격에 따른 SCNR을 나타낸 그래프이다. 알고리즘을 사용함으로써 SCNR이 향상된 것을 볼 수 있다. 예를 들어 15dB의 시스템 성능을 요구하는 조건하에서 알고리즘을 사용함으로써 요구되는 채널간격을 약 4.5(FWHM)에서 3.1(FWHM)으로 줄일 수 있으므로 약 1.45배의 채널용량을 향상시킬 수 있다. 이와 같이 알고리즘을 사용함으로써 채널용량을 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

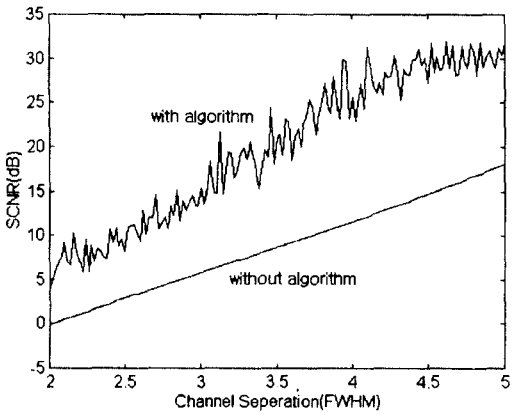


그림 4. 20개의 채널로 구성된 시스템에서 채널의 간격에 따른 SCNR

Fig 4. SCNR of output signal with respect to channel separation(FWHM).

이러한 시뮬레이션을 통하여 표본화처리를 적용한 적응형 배열 알고리즘을 이용함으로써 SCNR의 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한 High Speed WDM 시스템에서의 신호의 전송속도에 미치지 못하는 알고리즘 처리속도 문제에 대한 대안책으로 제시한 표본화처리를 통한 성능을 살펴보았다.

V. 결 론

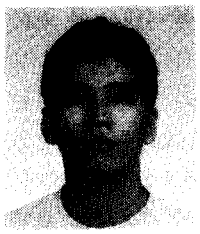
본 논문에서는 WDM 시스템에서 발생하는 누화를 최소화하기 위하여 적응형 배열 알고리즘을 사용하였고, 이때 문제가 되는 알고리즘 처리 속도에 대한 대안책으로 표본화 처리를 제안하였다. 또한 알고리즘을 '블라인드' 하게 처리하기 위해

www.dbpia.co.kr

Decision-Directed 방식을 사용하였다. 본 논문에서 제안하고 있는 방법을 사용함으로써 실시간 처리에 의한 SCNR이 향상되는 것과 동일한 성능을 요구하는 시스템에서 채널용량을 늘릴 수 있는 것을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

1. A. M. Hill and D. B. Payne, "Linear crosstalk in wavelength division multiplexed optical fiber transmission systems," J. Lightwave Technol., vol. 3, no. 3, pp. 643-651, June 1985.
2. P. A. Humblet and W. M. Hamby, "Crosstalk analysis and filter optimization of optimization of single- and double cavity Febry-Perot filters," IEEE J. Select. Area Commun., vol. 8, no.6, pp. 1095-1107, Aug. 1990.
3. P. A. Kirkby, " Multichannel grating demultiplexer receivers for high density wavelength systems," J. Lightwave Technol., vol. 8, pp. 208-211, 1990.
4. C. Dragone, C. A. Edwards. and R. C. Kistler, "Integrated optics N × N multiplexer on silicon," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 3, pp. 813-815, 1991.
5. J. Salz, "Digital transmission over cross-coupled linear channels," AT&T Tech. J., vol. 64, no. 6, pp. 1147-1159, July-Aug. 1985.
6. M. J. Minardi and M. A. Ingram, "Adaptive crosstalk cancellation in dense wave-length division multiplexed networks," Electron. Lett., vol. 28, pp. 1621-1622, 1992.
7. R. T. Compton, "Adaptive Antennas," Prentice Hall
8. L. J. Griffiths, "A Simple Adaptive Algorithm for Real-Time Processing in Antenna Arrays," Proc. IEEE, vol. 57, no. 10, Oct. 1969
9. Sidney P. Applebaum, "Adaptive Arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-24, no.5, Sept. 1976.
10. J. E. Hudson, "Adaptive Array principles," Artech House, 1989.



김 태 선(Taesun Kim)정회원

1975년 3월 1일생

1997년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과(공학사)

1997년 3월 ~현재 : 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> 광통신, 무선통신, 마이크로파 및 RF 시스템

서 철 헌(Chulhun Seo)정회원

한국통신학회논문지 Vol. 23, No. 1 참고

www.dbpia.co.kr