

論文2000-37SD-1-6

SCAE와 SCAD를 이용한 광 CDMA시스템에서 간섭패턴 분석

(Interference Pattern Analysis in the Optical CDMA system using the SCAE and SCAD)

姜泰求*, 崔在卿*, 朴讚瑛*, 崔永完*

(Tae Gu Kang, Jae Kyong Choi, Chan Young Park, and Young Wan Choi)

요 약

Series Coupler Access Encoder(SCAE)와 Series Coupler Access Decoder(SCAD)를 이용한 광 CDMA(Code Division Multiple Access)시스템에서 광정합필터 특성을 삼차신호까지 고려하여 분석하였다. 기존의 연구에서는 SCAE 및 SCAD를 평가할 때, 일차신호만을 고려하여 시스템의 성능을 분석하여 성능평가가 정확하지가 않았다. SCAE 및 SCAD는 커플러 수를 증가함에 따라 여러 형태의 간섭신호들을 가지므로, 이러한 신호들이 자기상관과 상호상관 세기를 변화시킨다. 그러므로 좀 더 정확한 시스템 성능을 분석하기 위해서는 간섭신호들의 특성을 연구할 필요성이 있다. 본 논문에서는 복호화 되는 광신호를 삼차신호까지 수학적으로 해석하였고, 시스템의 자기상관과 상호상관에 미치는 영향을 모의실험을 통해 분석하였다. 커플러 수 증가에 따라 나타나는 삼차신호들이 간섭신호 형태가 되어 peak to side-lobe ratio를 감소시키는 요인으로 작용됨을 정량적으로 확인하였다. 간섭신호들의 크기는 α (coupling coefficient)값이 커질수록 증가하였으며, 커플러 개수(N)=5, $\alpha=0.5$ 인 조건에서 삼차신호까지 고려한 peak to side-lobe ratio는 3.75 dB까지 열화됨을 밝혔다. 또한, 일차신호의 main-lobe세기에 의해 수신기의 임계레벨을 결정한다면, 삼차신호에 의해 증가된 side-lobes세기 때문에 SCAE와 SCAD를 이용한 광 CDMA system에 다중 접속할 수 있는 사용자 수가 제한됨을 알 수 있었다.

Abstract

We have analyzed optical matched filters considering the third order signals in the optical code division multiple access (CDMA) system based on optical series coupler access encoder (SCAE) and series coupler access decoder (SCAD). In previous studies, the performance evaluation of the optical CDMA system using SCAE and SCAD was not sufficiently accurate because they analyzed system performance only considering the first order signals. Since optical SCAE and SCAD intrinsically have high order signals of various patterns as the number of coupler increases, they change auto- and cross-correlation intensities. Thus, it is necessary to investigate properties of the third order signals so that we may analyze the exact performance of system.

In this paper, we mathematically interpret the optical signals up to the third order, and analyze the effects of the third order signals on auto- and cross-correlation intensities. In result, as α (coupling coefficient) value increases, the intensity of the third order signals increases. It is found that the peak to side-lobe ratio considering the third order signals is degraded by 3.75 dB at N(coupler number)=5 and $\alpha=0.5$. Also if threshold value in receiver is set by main-lobe peak of the first order signals, it is found that the number of users in an optical CDMA system is limited because the intensity peak of side-lobes is raised by the third order signals.

Keywords : Code-division multiple access, series coupler access encoder, series coupler access decoder, third order signals, auto- and cross-correlation

* 正會員, 中央大學校 電子工學科
(Department of Electronic Engineering, Chung-Ang University)

※ 본 논문은 한국과학재단과 1998학년도 중앙대학교
학술연구비 지원에 의한 것임
接受日字:1999年9月10日, 수정완료일:1999年11月29日

I. 서론

광코드분할 다중접속방식(code division multiple access, CDMA)은 전기적신호 또는 광신호를 각 사용자간의 상호상관 값이 작도록 부호화하여 광채널을 통해 전송하고, 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호만을 그 코드에 맞는 상관검출기를 통해 검출해 내는 다중접속 방식이다. 광 CDMA의 기본적인 개념은 전기적 CDMA 방식과 동일하지만, 근본적인 차이점은 광직교코드가 (+1, 0)로 표시된다는 점이다. 기존의 시스템에서 코드분할 다중화를 위한 직교코드는 (+1, -1)으로 표시되어서 교차상관 값을 0으로 만들 수가 있다^[1]. 그러나 광통신에서는 신호가 광세기로 표현되므로, 즉 (+1, 0)으로만 표시될 수 있어 곱과 합의 연산인 상관 결과가 0이 될 수 없다. 따라서 광통신에 사용되는 광직교코드는 광지연선로의 증가분에 의해 코드간에 간섭이 최소화될 수 있는 특성을 가져야 한다.

즉, 광직교코드는 한 비트 내의 총 칩의 수와 +1인 칩의 수를 작게 하면서도 구분 가능하도록 하여 자기상관 값을 최대로 하고, 상호상관 값을 최소로 한다^[5]. 또한 광지연선로의 길이비율에 의해 하나의 비트를 최소한으로 나누고, 상관검출기에서 원하는 신호와 중첩된 다른 신호들의 출력차이가 최대화할 수 있는 광직교코드를 설계해야만 된다. 이러한 광직교코드를 광지연선로에 적용하여 원 신호에 곱하는 방식으로 부호화되고, 복호화 과정도 광지연선로를 이용한 상관검출기에 의해 이루어진다^[9]. 광코드분할 다중접속에 적용된 Series Coupler Access Encoder(SCAE)는 그림 1과 같이 광신호를 N개의 커플러들 사이에 접속된 광지연선로의 길이비율에 따라 각 사용자간의 상호상관 값이 작도록 부호화하여 광채널을 통해 전송하고 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호를 광지연선로 길이의 증가분이 같은 Series Coupler Access Decoder(SCAD)를 통해 검출해낸다.

그러므로 광코드분할 다중접속 시스템에 사용되는 SCAE와 SCAD의 동작원리를 살펴보면, 몇 개의 커플러를 직렬로 접속시키고, 커플러 사이에 접속되어 있는 광지연선로의 길이를 조정하면, 입력과 출력단자의 선택에 따라 광신호를 부호화하는 광부호기 또는 이를

통해 부호화된 신호를 복호화할 수 있는 정합필터로 사용할 수 있음을 기존의 연구에서 제시하였다^[9]. 그러나 기존의 연구에서는 시스템을 평가할 때, 광지연선로의 길이에 의해 즉, 시간지연비율에 따라 부호화되는 광신호를 일차신호에 대해서만 분석하였다. SCAE와 SCAD의 구조는 접속된 커플러가 증가할수록 일차신호 뿐만 아니라 삼차이상의 신호도 발생되어 시스템에 영향을 미친다. 따라서 정확한 시스템분석을 위해서는 이러한 신호들을 분석할 필요성이 있다.

따라서 본 논문에서는 광정합필터의 특성을 분석할 때, 광신호를 삼차신호까지 수학적으로 해석하였고, 삼차신호가 자기상관과 상호상관에 미치는 영향을 모의실험을 통해 평가하였다. 또한 삼차신호들이 α 값 변화에 따라 시스템에 작용하는 특성을 기존의 방식에서 제시된 결과 값과 비교하였다. 그 결과, α (접합계수)값이 작을 경우에는 기존에서 제시된 결과와 큰 차이점은 없었지만 α 값이 커질수록 side-lobes의 피크들이 큰 값을 가졌다. 따라서 시스템 성능은 이러한 삼차신호들에 의해 열화됨을 알 수 있었다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 최대신호세기를 가지는 α 값에 대하여 기술하고, III장에서는 SCAE와 SCAD를 이용한 광정합필터 특성을 삼차신호까지 고려하여 해석하였고, IV장에서는 삼차신호까지 고려한 모의실험 결과를 기존에 제시된 결과 값과 비교하여 분석 및 검토한 다음, V장에서 결론을 맺었다.

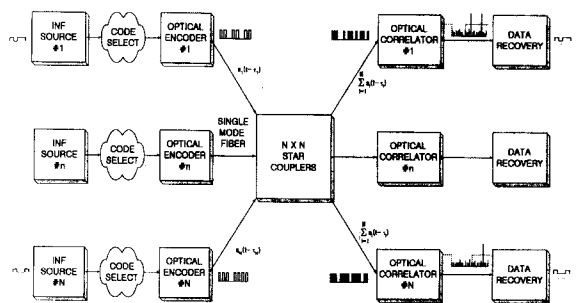


그림 1. 일반적인 광코드분할 다중접속 시스템 블록도.
Fig. 1. A schematic diagram of an optical CDMA system with an all-optical encoder and decoder.

II. 광지연선로의 접합비율

그림 2와 같이 한 선로의 신호가 다른 선로로 넘어

가는 비율을 결합계수(α), 결합 점을 지나 자기선로로 통과하는 비율을 전도계수(β)로 나타내면, 임의의 한 결합 점에서 광지연선로의 출력 파워의 비는 결합계수와 전도계수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

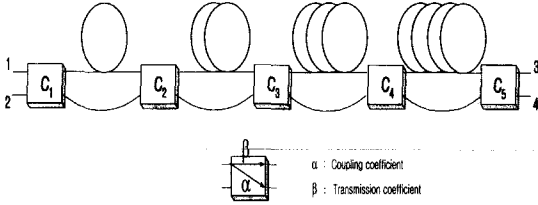


그림 2. N개의 커플러들 사이에 접속된 광지연선로
Fig. 2. Optical delay line mutually coupled at N positions along their length.

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{P_4}{P_2} = \beta_n \quad (1)$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \alpha_n \quad (2)$$

따라서 n번째 결합 점을 통해서 전파된 일차신호의 세기는 다음과 같다.

$$a_n = \left(\frac{P_4}{P_1}\right)_n = \left(\frac{P_3}{P_2}\right)_n = \frac{\alpha_n}{\beta_n} \prod_{k=1}^N \beta_k = \frac{\alpha_n}{\beta_n} A \quad (3)$$

여기서 N은 결합기의 개수를 나타낸다.

같은 방법으로 n, k, l번째 결합 점을 통해서 전파된 삼차신호의 세기는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a(n, k, l) &= \left[\prod_{p=1}^{n-1} \beta_p \right] \alpha_n \left[\prod_{p=k+1}^{l-1} \beta_p \right] \alpha_k \left[\prod_{p=l+1}^N \beta_p \right] \alpha_l \\ &= \frac{\alpha_n \alpha_k \alpha_l}{\beta_n \beta_k \beta_l} \left[\prod_{p=1}^N \beta_p \right] = \frac{\alpha_n \alpha_k \alpha_l}{\beta_n \beta_k \beta_l} A \end{aligned} \quad (4)$$

만일, 모든 계수가 같다면 각 신호의 세기는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} a_n &= \alpha \beta^{N-1} \\ a_n^{(3)} &= \alpha^3 \beta^{N-3} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 위 첨자 (3)는 α (결합계수)을 3개 가지는 삼차신호를 의미한다. 그리고 모든 광섬유는 결합손실이 존재하므로 삽입손실(IL)을 고려하면 다음과 같다.

$$\alpha + \beta = 1 - IL = r \quad (6)$$

여기서 r는 상수이다. 식(6)을 식(5)에 대입하면, 다음과 같은 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} a_n &= \alpha(r - \alpha)^{N-1} \\ a_n^{(3)} &= \alpha^3(r - \alpha)^{N-3} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)을 일차와 삼차신호세기에 대해서 α 값을 구하면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{r}{N}, \quad \alpha^{(3)} = \frac{3r}{N} \quad (8)$$

식 (8)의 의미는 광신호가 SCAE를 통과해서 부호화될 때, 일차와 삼차신호의 세기가 최대가 되는 α 값을 나타낸다. 그러므로 신호의 최대세기는 일차와 삼차신호에 대해서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{N} r^N (1 - \frac{1}{N})^{N-1} = \frac{1}{N-1} r^N (1 - \frac{1}{N})^N \\ a_n^{(3)} &= \left(\frac{3}{N}\right)^3 r^N (1 - \frac{3}{N})^{N-3} \\ &= \left(\frac{3}{N-3}\right)^3 r^N (1 - \frac{3}{N})^N \end{aligned} \quad (9)$$

위에서 보는 바와 같이 광 CDMA 시스템에 사용되는 광부호기를 SCAE형태로 구성된다면 일차신호뿐만 아니라 삼차신호도 발생된다. 이러한 삼차신호들은 peak to side-lobe 비에 영향을 준다.

III. 광지연선로를 이용한 정합필터

통신방식에는 잡음이 포함된 신호의 형태에서 원하는 신호를 완전히 분리하는 것보다는 다만, 신호의 존재 여부를 판정하는 것이 필요하다. 예를 들면 디지털 통신의 경우 수신신호는 오직 두 가지 경우만의 판정이 필요하게 된다. 이러한 경우 출력신호와 잡음의 비를 최대로 할 수 있는 필터가 필요하다. 이와 같이 입력신호를 정합시켜 통과시키는 필터를 정합필터라고 한다. 이러한 정합필터는 대부분의 경우 그 필터링 함수가 신호의 주파수 성분을 분석하여 다단계에 거쳐 비선형적으로 구해져야 하기 때문에 필터를 전기적으로 구현하기가 어렵다. 그러나 광시스템에서는 광소자

의 특성을 이용하여 순간적인 광신호처리가 가능하기 때문에 비교적 완벽한 정합필터를 구현 할 수 있다 [10-12]. 단일모드 광섬유를 이용한 SCAE와 SCAD는 그림 2와 같이 커플러들 사이에 접속된 광지연선로의 길이를 조정함으로써 쉽게 광정합필터의 특성을 유도할 수가 있다.

1. Series Coupler Access Encoder

그림 2에서와 같이 N개의 커플러가 직렬로 접속되어 있을 때, 입력단자 “1”로 들어간 임펄스 신호가 출력단자 “4”로 나올 때, 삼차신호 $S_{41}^{(3)}(t)$ 는 다음과 같이 표시 된다.

$$S_{41}^{(3)}(t) = \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a(n, k, l) \delta(t - \tau_n - \sum_{i=1}^{l-k} (\tau_{1s} - \tau_{2s}))$$

$$= \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a(n, k, l) \delta(t - \tau(n, k, l)) \quad (10)$$

$$\tau_n = \frac{1}{v} \left\{ \sum_{q=1}^{n-1} L_{1q} + \sum_{p=n}^{N-1} L_{2p} \right\} \quad (11)$$

$$\tau(n, k, l) = \frac{1}{v} \left\{ \sum_{q=1}^{n-1} L_{1q} + \sum_{p=n}^{k-1} L_{2p} + \sum_{q=k}^{l-1} L_{1q} + \sum_{p=l}^{N-1} L_{2p} \right\} \quad (12)$$

여기서 v 는 광섬유내에서의 빛의 속도를 나타내고 L_{1q} 와 L_{2p} 에서 아래첨자 1과 2는 위쪽지연선로와 아래쪽지연선로를 표시한 것이며, $s=k+i-1$ 이고, τ_{ij} 는 j 번째 커플러에 접속된 위 선로와 아래선로의 지연시간을 나타낸다. 식 (11)은 광신호가 SCAE를 통과할 때, 부호화되는 일차신호의 시간지연을 의미하고, 식 (12)는 삼차신호에 대해서 표현된 식이다.

식 (10)에서와 같이 단자 “4”에서의 출력신호는 입력신호가 시간지연 비율에 따라 부호화된 상태를 나타내고 있다. 따라서 부호화된 신호를 인식하기 위해 신호를 복제할 수 있는, 즉 정합필터가 필요하게 된다. 그러므로 단자 “1”에서 “4”로 통과된 삼차신호의 푸리에 변환은 다음과 같다.

$$S_{41}^{(3)}(w) = \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a(n, k, l) e^{-i\omega\tau(n, k, l)} \quad (13)$$

그러므로 복호화를 위한 정합필터의 전달함수는 다음과 같다.

$$H^{(3)}(w) = S_{41}^*(w) = \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a(n, k, l) e^{+i\omega\tau(n, k, l)} \quad (14)$$

또한, 주어진 필터의 임펄스 응답함수는 다음과 같이 주어진다.

$$h^{(3)}(t) = \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a(n, k, l) \delta(t + \tau(n, k, l)) \quad (15)$$

2. Series Coupler Access Decoder

SCAE에 의해 부호화된 광신호들을 그림 2에서와 같이 입력단자 “2”로 입력했을 때, 단자 “3”에서의 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$S_{32}^{(3)}(t) = \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N a(m, j, l) \delta(t - \tau_m - \sum_{i=1}^{l-j} (\tau_{2z} - \tau_{1z}))$$

$$= \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N a(m, j, l) \delta(t - \tau'(m, j, l)) \quad (16)$$

복호화 되는 광신호의 세기는 식 (4)와 같은 방법으로 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$a(m, j, l) = \left[\prod_{\rho=1}^{m-1} \beta_{\rho} \right] \alpha_m \left[\prod_{\rho=j+1}^{l-1} \beta_{\rho} \right] \alpha_j \left[\prod_{\rho=l+1}^N \beta_{\rho} \right] \alpha_l$$

$$= \frac{\alpha_m \alpha_j \alpha_l}{\beta_m \beta_j \beta_l} \left[\prod_{\rho=1}^N \beta_{\rho} \right] = \frac{\alpha_m \alpha_j \alpha_l}{\beta_m \beta_j \beta_l} A \quad (17)$$

그리고

$$\tau'_m = \frac{1}{v} \left\{ \sum_{p=1}^{m-1} L_{2p} + \sum_{q=m}^{N-1} L_{1q} \right\} \quad (18)$$

여기서 $z=j+i-1$ 이고, $\tau'(m, j, l)$ 과 $\tau(m, j, l)$ 은 서로 상보(相補)관계에 있다. 따라서 삼차신호에 대해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau'(m, j, l) = \frac{1}{v} \left\{ \sum_{p=1}^{m-1} L_{2p} + \sum_{q=m}^{l-1} L_{1q} + \sum_{p=l}^{N-1} L_{2p} + \sum_{q=l}^N L_{1q} \right\}$$

$$= \frac{1}{v} \left\{ \sum_{p=1}^{m-1} L_{2p} + \sum_{p=m}^{l-1} L_{2p} + \sum_{q=m}^{l-1} L_{1q} + \sum_{q=l}^N L_{1q} \right\}$$

$$= \frac{1}{v} \left\{ \left[\sum_{p=1}^{N-1} L_{2p} - \sum_{p=m}^{l-1} L_{2p} - \sum_{p=l}^{N-1} L_{2p} \right] \right.$$

$$\left. + \left[\sum_{q=1}^{N-1} L_{1q} - \sum_{q=m}^{l-1} L_{1q} - \sum_{q=l}^{N-1} L_{1q} \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{v} \left\{ \left[\sum_{p=1}^{N-1} L_{2p} + \sum_{q=1}^{N-1} L_{1q} \right] \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \left[\sum_{q=1}^{m-1} L_{1q} + \sum_{p=m}^{N-1} L_{2p} + \sum_{q=1}^{m-1} L_{1q} + \sum_{p=1}^{N-1} L_{2p} \right] \} \\
& = \tau_{1T} + \tau_{2T} \\
& - \frac{1}{v} \left\{ \sum_{q=1}^{m-1} L_{1q} + \sum_{p=m}^{N-1} L_{2p} + \sum_{q=1}^{m-1} L_{1q} + \sum_{p=1}^{N-1} L_{2p} \right\} \\
& = T - \tau(m, j, l) \quad (19)
\end{aligned}$$

여기서 T는 두 지연신로의 총 지연시간이고, 식(16)을 다시 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
S_{32}^{(3)}(t) &= \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N a(m, j, l) \\
&\delta(t - T + \tau(m, j, l)) \quad (20)
\end{aligned}$$

여기서 식 (20)을 정합필터의 표현식 (16)과 비교하면, 항상 일정한 값을 갖는 지연시간 T가 첨가되었을 뿐, 같다는 것을 알 수 있다.

3. 상관검출기

필요한 신호를 최대로 강조하고 잡음신호를 억압시켜서 오류의 가능성을 줄이고 펄스의 유·무를 정확히 판별할 수 있는 기능을 정합필터라고 한다. 등가 적으로 출력 단에서 SNR을 최대로 하는 것이다. 그러므로 커플러들 사이에 접속된 광지연선로 길이의 비율에 의해 부호화된 신호들을 2T구간에 넓게 분포시킴으로써 신호크기의 제곱인 자기상관과 잡음크기의 제곱인 상호상관의 비를 최대로 할 수가 있다^[13, 14]. 그림 2에서 본 바와 같이 입력단자 “1”에 인가된 신호는 시간지연 비율에 따라 부호화되어 단자 “4”에 출력되고, 이 신호를 복제하기 위해서는 수신된 신호를 입력단자 “2”에 인가하여 출력단자 “3”에서, 시간 지연신로의 정합필터의 작용에 의해, 원하는 신호를 얻을 수 있다. 그러므로 복제신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
S_{31}(t) &= S_{41}(t) * S_{32}(t) \\
&= \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N a_n a_m \delta(t - T + \tau_m - \tau_n) \right) + \\
&\left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N a_n a(m, j, l) \right. \\
&\delta(t - T + \tau(m, j, l) - \tau_n) \left. + \right. \\
&\left. \left(\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a_m a(n, k, l) \right. \right. \\
&\delta(t - T + \tau_m - \tau(n, k, l)) \left. + \right. \\
&\left. \left. \left(\sum_{n=1}^{N-2} \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N \sum_{l=j+1}^N \right. \right. \right. \\
&a(n, k, l) a(m, j, l) \delta(t - T + \tau(m, j, l) - \tau(n, k, l)) \left. \left. \right) \right) \quad (21)
\end{aligned}$$

여기서 $s = k + i - 1$, $z = j + i - 1$ 이고, 이 식의 의미는 $n = m$ 이고 동시에 $k = j$ 일 경우, 신호 $S_{31}(t)$ 는 시간 $t = T$ 에서 N개의 신호와 $N C_3$ 개의 신호가 중첩되어 자기상관을 나타내고, 식 (21)에서 자기상관항만, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Autocorrelation

$$= \sum_{n=1}^N a_n^2 \delta(t - T) + \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a^2(n, k, l) \delta(t - T) \quad (22)$$

또한, 식 (22)가 나타날 때, 동시에 잡음의 형태로 나타나는 신호들은 다음과 같이 표현할 수가 있다.

Side-lobes

$$\begin{aligned}
&= \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N a_n a_m \delta(t - T + \tau_m - \tau_n) \right) + \\
&\left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N a_n a(m, j, l) \delta(t - T + \tau(m, j, l) - \tau_n) \right) + \\
&\left(\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N a_m a(n, k, l) \right. \\
&\delta(t - T + \tau_m - \tau(n, k, l)) \left. + \right. \\
&\left. \left(\sum_{n=1}^{N-2} \sum_{m=1}^{N-2} \sum_{k=n+1}^{N-1} \sum_{j=m+1}^{N-1} \sum_{l=k+1}^N \sum_{l=j+1}^N \right. \right. \\
&a(n, k, l) a(m, j, l) \delta(t - T + \tau(m, j, l) - \tau(n, k, l)) \left. \left. \right) \right) \quad (23)
\end{aligned}$$

식 (23)에서 보여주는 의미는 $n \neq m$ 이고 동시에 $k \neq j$ 일 경우, 신호 $S_{31}(t)$ 는 시간 $t = 2T$ 구간에서 $(N C_3 + N)^2 - N C_3$ 개의 신호가 side-lobes 형태로 나타난다. 그러므로 삼차신호들이 일차신호에 더해져 side-lobes 세기가 증가되어 peak to side-lobe ratio를 저하시키는 요인이 되고, 부호화된 신호에서 원하는 신호를 검출하기가 어려워진다. 따라서 지연신로의 길이에 따라 상호상관의 분포를 다르게 함으로써, 자기상관과 상호상관 신호세기의 비를 최대로 할 필요성이 있다.

IV. 모의실험 및 토의

광지연선로를 이용한 정합필터의 특성을 분석했고, 삼차신호들이 peak to side-lobe에 미치는 결과를 모의 실험 하였다. 기존에 제시된 결과 값은 오직 일차신호에 대해서만 부호화 및 복호화 되는 방법에 대해서만 분석하였다^[9]. 커플러를 직렬로 접속시키고, 커플러들

사이에 접속된 광지연선로의 길이를 조정하는 SCAE와 SCAD는 구조특성상 일차신호뿐만 아니라 삼차신호들도 발생된다. 그러나 기존의 연구에서는 이러한 신호들의 특성을 고려하지 않고 시스템 성능을 분석했기 때문에 정확한 결과가 아니다. 따라서 삼차신호들이 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해서, α 값 변화에 의한 복호화된 광신호세기의 상관관계를 분석하였다. 이와 같이 삼차신호의 특성을 알아보기 위해 삼차신호들이 부호화, 복호화될 때 가지는 광세기를 살펴보았다. 접합계수 값 변화에 따른 복호화된 광신호의 세기를 그림 3에서 살펴볼 수 있고, 그림 3에서 보여주는 의미는 SCAE와 SCAD의 구조에서는 일차신호와 여러 형태의 삼차신호들이 동시에 발생됨을 나타낸다. 그림 3에서와 같이 일차신호와 삼차신호가 최대세기가 되는 접합계수 값이 같지 않다는 것을 알 수 있다. 일차신호는 $\alpha=1/N$ 이고, 삼차신호는 $\alpha=3/N$ 일 때, 신호세기가 최대가 된다. 그러나 최근에 많이 사용되고 있는 3 dB 커플러 즉, 접합계수 값이 0.5일 때는 일차신호와 삼차신호의 크기가 같음을 알 수 있다.

그러므로 정확한 시스템 성능평가를 하기 위해서는 삼차신호를 반드시 고려하여야 한다. 또한, 광신호가 수신기에서 검출될 때 기존의 연구에서는 peak to side-lobe ratio가 커플러 개수와 같은 값을 가진다고 제시하였다. 이러한 결과는 side-lobes의 크기가 일정하게 되도록 광지연선로의 길이를 조정하였고, 일차신호에 대해서만 분석하였기 때문에 가능하다. 그러나 SCAE와 SCAD의 구조는 일차신호만 발생하는 것이 아니라 삼차신호도 발생된다. 이러한 삼차신호들은 접합계수 값이 작을 때에는 peak to side-lobe ratio에 미치는 영향은 거의 없었다. 그러나 삼차신호들은 접합계수 값이 커질수록 side-lobes크기를 증가시키는 요인으로 작용했고 그러한 변화를 그림 4에서 보여주고 있다. 그림 5는 고정된 접합계수 값에 대해서 삼차신호를 고려한 광신호의 자기상관을 나타내고 있다. 그림 5(a),(b),(c)에서 두 개의 점선은 일차신호만 분석하였을 때 자기상관의 최대피크와 side-lobes의 피크를 의미한다. 일차신호의 side-lobes의 크기는 커플러들 사이에 접속된 광지연선로의 길이 조정으로 모두 같다.

이 결과는 이미 기존의 논문에서 제시되었다. 그러나 삼차신호들을 고려한다면 side-lobes 광신호들의 크기는 일정하지가 않다. 최대피크 값도 삼차신호에 의해서 증가됨을 그림 5에서 보여주고 있다. 이 결과의 중요성

은 다음에 있다. 광코드분할 다중접속 시스템에 접속된 모든 수신기의 임계레벨은 같다. 임계레벨을 자기상관의 최대피크 값으로 결정한다면, 삼차신호를 고려하지 않은 기존연구에서는 일차신호의 최대피크에 의해 임계레벨을 결정했다. 그러나 삼차신호들에 의해 증가된 side-lobes의 세기 때문에 사용자 수가 현저히 감소되거나 접합계수 값이 0.5일 때는 다중접속이 불가능하게

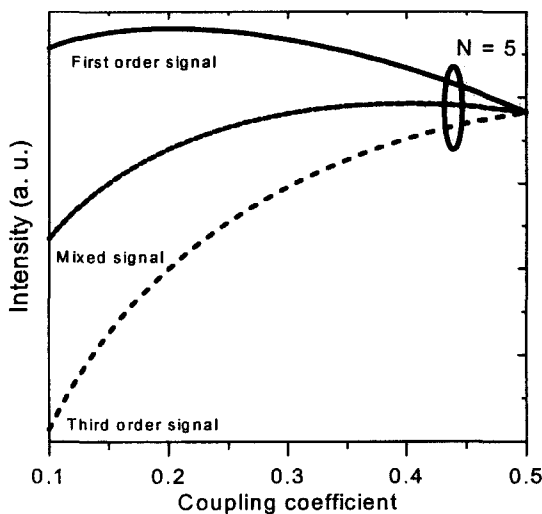


그림 3. 접합계수에 따른 복호화된 신호세기
Fig. 3. Intensities of decoded signals versus coupling coefficient.

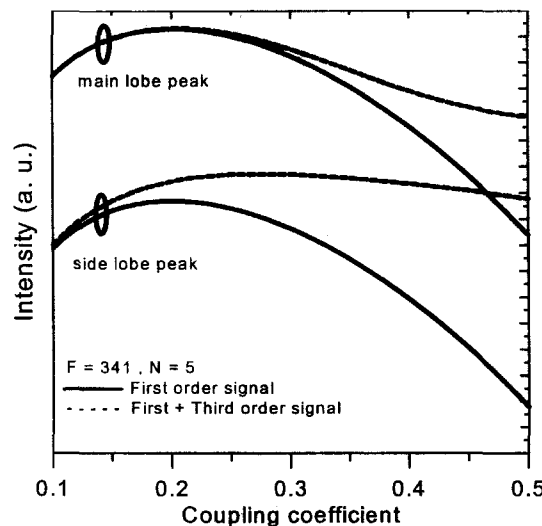
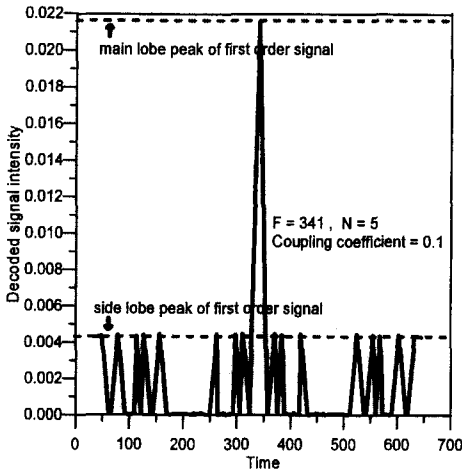


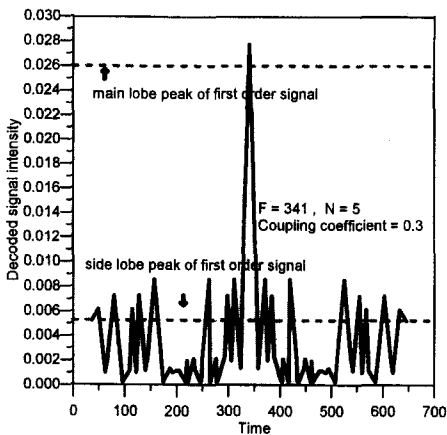
그림 4. 일차와 삼차신호를 고려한 신호의 main-lobe와 side-lobe 피크 비교
Fig. 4. Comparison of main- and side-lobe peak between first order signal and signal considering third order term.

된다. 그러므로 수신기의 임계레벨도 삼차신호를 고려한 자기상관의 최대피크에 의해 결정되어진 시스템이 정확하다고 볼 수 있다. 또한 삼차신호들은 side-lobes의 세기도 변화시키므로 접합계수의 변화에 따라 peak to side-lobe ratio를 변화시킨다. 그러한 결과는 그림 6에서 보여주고 있다.

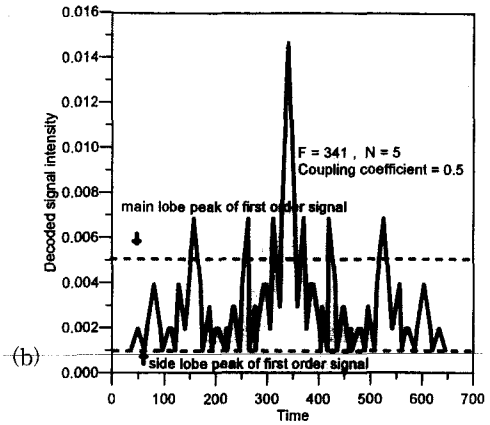
그림 6의 의미는 일차신호만 고려하였을 때 peak to side-lobe ratio를 구해보면 접합계수 값과 무관하게 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 삼차신호까지 고려한 peak to side-lobe ratio는 접합계수 값이 증가할수록 작아짐을 보여준다. 즉, N (커플러개수)=5, α (접합계수)=0.5일 때, 삼차신호까지 고려한 peak to side-lobe ratio가 기존의 연구결과에 비해 3.75 dB까지 열화됨을 밝혔다. 결과적으로 SCAE와 SCAD를 이용한 광 CDMA시스템 특성을 정확하게 분석하기 위해서는 반드시 삼차신호까지 고려하여야 함을 밝혔다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 세 개의 접합계수에 대해서 시간 대 삼차신호를 고려한 자기상관의 main-lobe와 side-lobe 세기

Fig. 5. Intensity of main- and side-lobe in autocorrelation considering third order signal versus time for three different coupling coefficients (a) $\alpha=0.1$ (b) $\alpha=0.3$ (c) $\alpha=0.5$ when $F=341, N=5$.

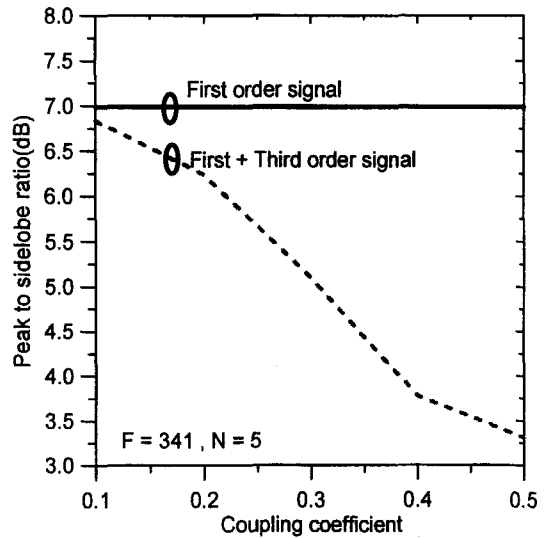


그림 6. 접합계수에 따른 peak to side-lobe ratio
Fig. 6. Peak to side-lobe ratio versus coupling coefficient when $F=341, N=5$.

V. 결론

본 논문에서는 SCAE와 SCAD를 이용한 시스템 특성을 삼차신호까지 고려하여 분석하였다. 삼차신호를 수학적으로 모델링하고, 모의실험을 통해 삼차신호가

부호화, 복호화 되는 과정을 분석하였다. 그리고 삼차신호들이 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해서 peak to side-lobe ratio를 구하여 기존에 제시된 결과와 비교하였다. SCAE와 SCAD의 구조는 일차신호뿐만 아니라 삼차신호도 발생되어 동시에 광채널로 전송된다. 그러므로 삼차신호의 특성을 고려하지 않은 기존의 연구 방법은 정확하다고 할 수가 없다. 또한 커플러 개수가 증가할수록 고차신호들이 간섭패턴으로 발생된다. 그러나 고차신호들은 그 세기가 너무 작고, 또한 커플러 개수를 제한하여 소거시킬 수가 있다.

따라서 본 논문에서는 삼차신호까지만 수학적으로 평가하였고, 그러한 신호들이 α 값 변화에 의해 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 삼차신호를 고려한 시스템 성능평가는 α 값이 작을수록 기존의 결과 값과 큰 차이점은 없었다. 그러나 α 값이 커질수록 삼차신호들에 의해 시스템 성능이 열화되었다. 결과적으로 모의실험을 통해 삼차신호들이 side-lobes 크기를 변화시키는 요소임을 알았고, N(커플러개수)=5, α (접합계수)=0.5일 때에는 삼차신호를 고려한 peak to side-lobe ratio가 3.75 dB정도 낮아짐을 밝혔다. 그리고 SCAE와 SCAD 구조를 사용함으로써 발생하는 삼차신호들은 광코드분할 다중접속 시스템에 가입되는 사용자 수를 감소시키는 요인이 되므로 삼차 또는 여러 형태의 간섭신호들에 의해 발생하는 side-lobes를 최소화 또는 제거시킬 수 있는 새로운 광부호기와 복호기에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Salehi, "Emerging Optical Code Division Multiple Access Communication System", IEEE Network, pp.31-39, March 1989.
- [2] F. R. K. Chung, J. A. Salehi, and V. K. Wei, "Optical orthogonal codes: Design, analysis, and application", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.37, May 1989.
- [3] J. A. Salehi, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks- Part I : Fundamental principles", IEEE Trans. Commun., vol.37, pp.824-833, Aug. 1989.
- [4] H. M. Kwon, "Optical Orthogonal Code Division Multiple Access System part II: Multibits /sequence Period OCDMA", ICC.91, pp.618-621.
- [5] Alex W. Lam and Awais M. Hussain, "Performance Analysis of Direct-detection Optical CDMA Communication System with Avalanche Photodiodes", IEEE Transactions on Communications, Vol.40, pp.810-819, April 1992.
- [6] T. J. Healy, "Coding and decoding for Code Division Multiple user communication system" IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, pp.310-316, 1985.
- [7] Wing C .Kwong, Philippe A. Perrier and Paul R .Prucnal, "Performance Comparison of Asynchronous and Synchronous Code-Division Multiple-Access Techniques for Fiber-Optic Local Area Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol.39, pp.1625-1634, Nov. 1991.
- [8] Jawad A. Salehi, "Optical CDMA via Temporal Code", IEEE Trans. Commun., Vol.40, No.7, pp.1162-1170, July 1992.
- [9] E. Marom, "Optical delay line matched filters", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-25, pp.360-364, June 1978.
- [10] J. A. Salehi et al., "Coherent Ultrashort Light Pulse Code-Division Multiple Access Communication System," Journal of Lightwave Technology, Vol.8, pp.478-491, March 1990.
- [11] D. Brady, and S. Verdu, "A semiclassical analysis of Optical code division multiple access", IEEE Trans. Commun. vol.39 pp.85-93, Jan. 1991.
- [12] J. A. Salehi and C. A. Brackett, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-Part II: System Performance Analysis," IEEE Trans. Commun., vol.37, pp.834-842, Aug. 1989.

저 자 소 개



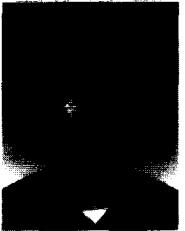
姜泰求(正會員)

1995年 清州大學校 電子工學科 卒業(工學碩士). 1997年~現在 中央大學校 電子工學科(博士課程). 관심분야 : 광통신, 홀로그래피 메모리, 광 CDMA시스템



朴讚瑛(正會員)

1999年 中央大學校 電子工學科 卒業(工學士). 1999年~現在 中央大學校 電子工學科(碩士課程). 관심분야 : 광통신, 홀로그래피 디스플레이, 광 CDMA시스템



崔在卿(正會員)

1998年 中央大學校 電子工學科 卒業(工學士). 1998年~現在 中央大學校 電子工學科(碩士課程). 관심분야 : 광통신, 삼차원 영상(3D), 광 CDMA 시스템



崔永完(正會員)

1987年 버팔로 뉴욕주립대(SUNY at Buffalo), 전기 및 컴퓨터공학과 (工學碩士). 1992年 버팔로 뉴욕주립대(SUNY at Buffalo), 전기 및 컴퓨터공학과(工學博士). 1992年~1995年 韓國電子通信研究員(ETRI), 先任研究員. 1995年~現在 中央大學校 電子工學科 副教授. 관심분야 : 광통신, 광 스위칭 및 소자, Microwave-Photonics, 광 CDMA시스템, 삼차원 영상(3D)