

FO-CDMA 통신망에서 PCAE와 PCAD 동작특성 분석

Performance Analysis of the PCAE and PCAD in FO-CDMA Communication Network

姜泰求, 崔永完 · 중앙대학교 전자전기공학부 광전자 및 광통신 연구실

Tae Gu Kang, Young Wan Choi

Laboratory of optoelectronics and optical communications,
School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University

要約文

Parallel Coupler Access Encoder(PCAE)와 Parallel Coupler Access Decoder(PCAD)를 이용한 FO-CDMA(Fiber-Optic Code Division Multiple Access)시스템에서 광정합필터 특성을 실험을 통해 분석하였다. PCAE와 PCAD를 구성하고 있는 즉, $1 \times N$ splitter와 $N \times 1$ combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이비율을 광직교코드 생성 알고리즘에 의해 결정하였고, 부/복호화 과정 및 시스템 성능을 peak to side-lobe ratio(PSR)를 구하여 기존에 제시된 결과와 비교하였다. 기존의 연구에서는 SCAE 및 SCAD를 이용하여 일차신호만을 고려하여 시스템의 성능을 분석하여 성능평가가 정확하지가 않았다. SCAE 및 SCAD는 커플러 수를 증가함에 따라 여러 형태의 간섭신호들을 가지므로, 이러한 신호들이 시스템 성능을 현저히 열화 시킨다.

본 논문에서는 α (coupling coefficient)값이 커질수록 PCAE와 PCAD를 이용한 PSR이 향상됨을 밝혔고 FO-CDMA 통신망

의 성능을 개선하기 위해서는 SCAE와 분석 SCAD 구조보다는 PCAE와 PCAD 구조가 적합함을 제시하였다.

Abstract

We have analyzed the performance of optical matched filters in the fiber-optic code division multiple access (FO-CDMA) system based on optical parallel coupler access encoder (PCAE) and parallel coupler access decoder (PCAD) by experiment. In previous studies, the performance evaluation of the FO-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 PCAE and PCAD so that we may analyze the exact performance of system.

In this paper, it is found that the peak to sidelobe ratio using the PCAE and PCAD increases as α (coupling coefficient) value increases. Also, we found that the proposed PCAE and PCAD are superior to SCAE and SCAD in performance improvement.

Keywords : Fiber-optic code division multiple access, parallel coupler access encoder, parallel coupler access decoder

I. 서 론

광코드분할 다중접속방식(fiber-optic code division multiple access, FO-CDMA)은 전기적 신호 또는 광신호를 각 사용자간의 상호상관 값이 작도록 부호화 하여 광채널을 통해 전송하고, 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호만을 그 코드에 맞는 상관검출기를 통해 검출해 내는 다중접속 방식이다. 그림 1과 같은 FO-CDMA의 기본적 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^[1-3]. 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.

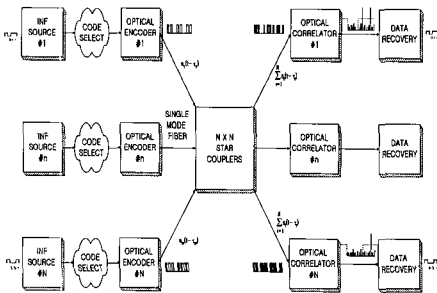
광직교코드는 한 비트 내의 총 칩의 수와

+1인 칩의 수를 작게 하면서도 구분 가능한로 하여 자기상관 값을 최대로 하고, 상호상관 값을 최소로 한다^[4,5]. 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^[6, 11]. FO-CDMA 통신망에 적용된 Parallel Coupler Access Encoder(PCAЕ)는 광신호를 $1 \times N$ splitter와 $N \times 1$ combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이비율에 따라 각 사용자간의 상호상관 값이 작도록 부호화 하여 광채널을 통해 전송하고 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호를 Parallel Coupler Access Decoder(PCAD)를 통해 검출해낸다.

FO-CDMA 통신망에 사용되는 광부호기 및 복호기의 동작원리를 살펴보면, 몇 개의 커플러를 직렬로 접속시키고, 커플러 사이에 접속되어 있는 광지연선로의 길이를 조정하면, 입력과 출력단자의 선택에 따라 광신호를 부호화 하는 광부호기 또는 이를 통해 부호화된 신호를 복호화 할 수 있는 정합필터로 사용할 수 있음을 기존의 연구에서 제시하였다^[11]. 그러나 기존의 연구에서 사용된 SCAE와 SCAD의 구조는 접속된 커플러가 증가할수록 일차신호뿐만 아니라 삼차이상의 간섭신호들도 발생되어 시스템에 영향을 미친다.

본 논문에서는 광정합필터의 특성을 분석할 때, 광신호의 부호화 및 복호화과정을 수학적으로 해석하여 실험하였고, 자기상관과 상호상관에 미치는 영향을 실험을 통해 평가하였다. 또한, α 값 변화에 따라 시스템에 작용하는 특

성을 기존연구에서 제시된 결과 값과 비교하였다. 그 결과, α (접합계수)값이 작을 경우에는 기존에서 제시된 결과와 큰 차이점은 없었지만 α 값이 커질수록 PCAE와 PCAD를 적용한 시스템 성능이 개선됨을 정량적으로 확인하였고 PCAE와 PCAD에 의해 광신호가 부/복호화 과정을 실험을 통해 확인한 결과, 광정합필터로 사용할 수 있음을 평가하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 광지연선로를 이용한 광직교코드 생성알고리즘에 대하여 기술하고, III장에서는 PCAE와 PCAD를 이용한 광정합필터 특성을 평가하였고, IV장에서는 실험을 통해 기존연구에서 제시된 결과 값과 비교하여 분석 및 검토한 다음, V장에서 결론을 맺었다.



[그림 1] 일반적인 광코드분할 다중접속 시스템 블록도

II. 광지연선로를 이용한 광직교코드

FO-CDMA 통신망의 기본적 개념은 전기적 CDMA 방식과 동일하지만, 근본적인 차이점은 광직교코드가 (+1, 0)로 표시된다는 점이다. 기존의 시스템에서 코드분할 다중화를 위한 직교코드는 (+1, -1)으로 표시되어서 상호상관

값을 0으로 만들 수가 있다^{7, 11)}. 그러나 광통신에서는 신호가 광세기로 표현되므로, 즉 (+1, 0)으로만 표시될 수 있어 곱과 합의 연산인 상관 결과가 0이 될 수 없다. 따라서 FO-CDMA 시스템에 사용되는 광직교코드는 광지연선로의 증기분에 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. 또한 광지연선로의 길이비율에 의해 하나의 비트를 최소한으로 나누고, 상관검출기에서 원하는 신호와 증첩된 다른 신호들의 출력차이가 최대화할 수 있는 광직교코드를 설계해야만 하고, 다음과 같은 특성을 가져야 한다⁷⁾.

- ① 각 광코드 시퀀스는 전이된 자기의 코드를 쉽게 찾을 수 있어야 한다.
- ② 각 광코드 시퀀스는 다른 광코드와 전이된 다른 광코드와 구별될 수 있어야 한다.

본 논문에서 사용하는 광직교코드 ($F, K, \lambda_a, \lambda_c$)는 다음과 같은 변수들로 구성한다.

- F : 시퀀스 길이
- K : 가중치
- λ_a : 모든 가능한 전이된 시퀀스의 자기상관 크기
- λ_c : 모든 가능한 전이된 시퀀스의 상호상관 크기
- 단) $F > 1, 1 \leq K \leq F, 0 \leq \lambda \leq K$

수학적으로 조건 ①, ②는 자기상관과 상호

상관 함수로 표현할 수 있다.

자기상관 특성

$$\sum_{n=0}^{F-1} x_n x_{n+l} = \begin{cases} K, & \text{for } l=0 \\ \leq \lambda_a, & \text{for } 0 \leq l \leq F-1 \end{cases} \quad (1)$$

상호상관 특성

$$\sum_{n=0}^{F-1} x_n y_{n+l} \leq \lambda_c \quad \text{for } 0 \leq l \leq F-1 \quad (2)$$

가 된다. $l = 0$ 을 만족할 때 즉, 동기가 맞을 때 최적의 자기상관을 갖고, 광직교코드에서 코드워드의 주기적 이동은 상관특성에 영향을 미치지 않는다. 위의 특성을 고려하면서, 만들 수 있는 광직교코드를 유도하기 위하여 광직교코드 생성 알고리즘은 다음과 같이 전개할 수가 있다. 즉, 두개의 광직교코드 A와 B는 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$A = \{ \tau_1^A, \tau_2^A, \tau_3^A, \tau_4^A \} \quad (3)$$

$$B = \{ \tau_1^B, \tau_2^B, \tau_3^B, \tau_4^B \} \quad (4)$$

여기서 τ_i^A 는 i 번째 펄스와 $i+1$ 번째 펄스 사이의 지연을 의미한다. 광직교코드가 전이되었을 때, 코드가 나타낼 수 있는 모든 조합을 고려하여 확장된 집합 A_{EXT} 로 나타내기 위하여 다음과 같은 법칙에 의해 표현할 수가 있다.

단계 1 : 집합 A의 지연원소를 그대로 써라.

단계 2 : 집합 A의 지연원소 두개를 더해서 써라.

단) $\tau_1^A + \tau_3^A$ 과 $\tau_2^A + \tau_4^A$ 는 독립적으로 일어나기 때문에 지연원소가 아니다.

·
·
·

단계 (K-1) : 집합 A의 지연원소 (K-1)를 더해서 써라.

단) $\tau_1^A + \tau_2^A + \tau_3^A + \tau_4^A = T$ 는 확장된 집합 A_{EXT} 의 지연원소가 아니다.

그러므로 위의 법칙에 의해 만들어진 집합 A_{EXT} 는 다음과 같이 구성된다.

$$A_{EXT} = \{ \tau_1^A, \tau_2^A, \tau_3^A, \tau_4^A, \tau_1^A + \tau_2^A, \tau_2^A + \tau_3^A, \tau_3^A + \tau_4^A, \tau_4^A + \tau_1^A, \tau_1^A + \tau_2^A + \tau_3^A, \tau_2^A + \tau_3^A + \tau_4^A, \tau_3^A + \tau_4^A + \tau_1^A, \tau_4^A + \tau_1^A + \tau_2^A \} \quad (5)$$

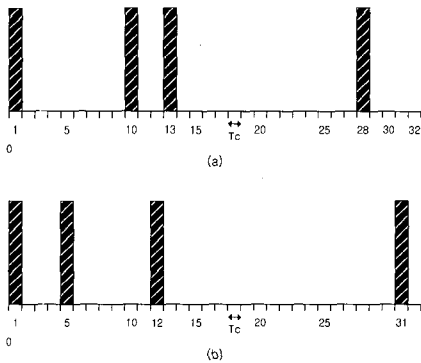
집합 A_{EXT} 원소의 총 개수는 $|A_{EXT}| = 12$ 이다. 일반적으로 (F, K, 1, 1)인 광직교코드는 (K-1)의 단계를 거쳐 확장된 집합을 얻을 수 있다. 그러므로 $\lambda_a = \lambda_c = 1$ 인 광직교코드의 확장된 집합에서 총 원소 개수는 K(K-1)이다. 위와 같은 방법으로, 광직교코드 B의 확장된 집합 B_{EXT} 는 다음과 같다.

$$B_{EXT} = \{ \tau_1^B, \tau_2^B, \tau_3^B, \tau_4^B, \tau_1^B + \tau_2^B, \tau_2^B + \tau_3^B, \tau_3^B + \tau_4^B, \tau_4^B + \tau_1^B, \tau_1^B + \tau_2^B + \tau_3^B, \tau_2^B + \tau_3^B + \tau_4^B, \tau_3^B + \tau_4^B + \tau_1^B, \tau_4^B + \tau_1^B + \tau_2^B \}$$

$$\left. \begin{aligned} &\tau_1^B + \tau_2^B + \tau_3^B, \tau_2^B + \tau_3^B + \tau_4^B, \\ &\tau_3^B + \tau_4^B + \tau_1^B, \tau_4^B + \tau_1^B + \tau_2^B \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

여기서 $|B_{EXT}| = 12$ 가 된다. 그리고 $\lambda_a = 1$ 인 주기 자기상관 특성을 만족하는 코드 또는 시퀀스 A 에 대해 확장된 집합 A_{EXT} 에서 지연원소들이 반복되지 않고, 코드 B 에 대해 확장된 집합 B_{EXT} 에서도 지연원소들이 반복되지 않는다. 또한 $\lambda_c = 1$ 인 주기 상호상관 특성을 만족하기 위해서는 확장된 집합 A_{EXT} , B_{EXT} 의 지연원소들이 공집합이어야 한다.

$$A_{EXT} \cap B_{EXT} = \emptyset \quad (7)$$



[그림 2] 코드길이 32 와 가중치 5를 가진 두 개의 광직교코드

식 (7)을 만족하기 위해 그림 2에서 광직교 코드 A 와 B 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$A = \{ 9, 3, 15, 5 \} \quad (8)$$

$$B = \{ 4, 7, 19, 2 \} \quad (9)$$

두 개의 광직교코드가 간섭의 정도를 λ 로 고정시키기 위해서 식 (8)과 (9)를 이용하여 확

장된 코드집합을 다음과 같이 다시 표현할 수가 있다.

$$A_{EXT} = \{ 9, 3, 15, 5, 12, 18, 20, 14, 27, 23, 29, 17 \} \quad (10)$$

$$B_{EXT} = \{ 4, 7, 19, 2, 11, 26, 21, 6, 30, 28, 25, 13 \} \quad (11)$$

위 식 (10)과 (11)는 $\lambda_a = 1$ 인 자기상관 특성과 $\lambda_c = 1$ 인 상호상관 특성을 만족하고 있음을 보여주고 있다. 광직교코드의 개수를 구하기 위하여 확장된 코드 집합에서 원소의 총 개수는 다음의 식에 의해 구할 수 있다.

$$|A_{EXT}^i| = K(K-1) \quad (12)$$

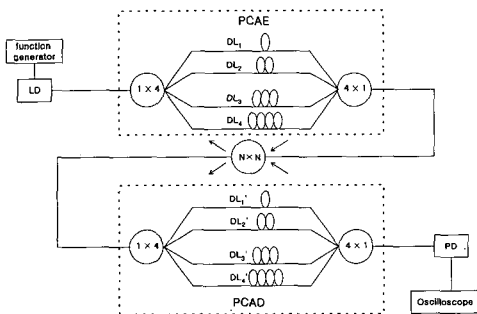
여기서 $|A_{EXT}^i|$ 는 i 번째 확장된 집합에서 원소의 총 개수를 의미하고 식(7)과 (12)로부터 광직교코드의 최대 개수를 구할 수 있다.

$$\Phi(F, K, 1) \leq \frac{F-1}{K(K-1)} \quad (13)$$

여기서 F 는 코드 길이를 나타내고 K 는 펄스 열에서 '1'의 수를 의미한다. 본 논문에서는 시스템의 성능 열화를 최소화하면서, 광직교코드 수 즉, 시스템에서 동시사용자 수를 증가시킬 수 있는 광지연선로를 이용한 PCAE와 PCAD를 평가한다.

Ⅲ. 광지연선로를 이용한 광정합필터

통신방식에는 잡음이 포함된 신호의 형태에서 원하는 신호를 완전히 분리하는 것보다는, 신호의 존재 여부를 판정하는 것이 필요하다. 예를 들면 디지털 통신의 경우 수신신호는 오직 두 가지 경우만의 판정이 필요하게 된다. 이러한 경우 출력신호와 잡음의 비를 최대한으로 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 걸쳐 비선형적으로 구해져야 하기 때문에 필터를 전기적으로 구현하기가 어렵다. 그러나 광시스템에서는 광소자의 특성을 이용하여 순간적인 광신호처리가 가능하기 때문에 비교적 완벽한 정합필터를 구현할 수 있다^{7,9)}. 광지연선로를 이용한 PCAE와 PCAD는 [그림3]과 같이 1×N splitter와 N×1 combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이를 조정함으로써 쉽게 광정합필터의 특성을 유도할 수가 있다.



[그림 3] PCAE와 PCAD를 이용한 FO-CDMA 시스템의 실험 구성도

[그림 3]에서와 같이 n 번째 광부호기의 출력에서 부호화된 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_n(t) = s_n b_n(t) DP_n(t) \quad (14)$$

여기서 s_n , $b_n(t)$ 그리고 $DP_n(t)$ 는 부호화된 광세기, 이진데이터 신호, 그리고 광직교코드를 의미한다. 그리고 n 번째 사용자의 이진데이터 신호는 다음과 같이 얻어진다.

$$b_n(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i^{(n)} P_T(t - iT) \quad (15)$$

여기서 $b^{(n)} = (b_i^{(n)})$ 는 0 또는 1 (on-off keying)의 값을 가지는 n 번째 데이터 시퀀스이고, $P_T(t)$ 는 폭 T를 갖는 사각펄스를 의미한다. 또한, n 번째 사용자의 광직교코드는 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$DP_n(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} A_j^{(n)} P_{T_c}(t - jT_c) \quad (16)$$

여기서 P_{T_c} 는 폭 T_c 를 가지는 사각펄스이고, $A_j^{(n)}$ 는 코드길이 $F=T/T_c$ 와 가중치 K를 가지는 이진 광펄스들이다. [그림 1]에서 보여지는 것과 같이 다 사용자에게 할당된 각각의 송신기에는 시간동기가 없다. 그러므로 각각의 수신기 앞에서 수신된 신호들은 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N s_n(t - \tau_n) \quad (17)$$

여기서 τ_n 는 광지연선로에 의한 시간지연을

의미한다. 원하는 신호와 정합된 수신기는 $\tau_n = 0$ 이다. 따라서 식 (14)와 (17)에 의해서 다음과 같은 식을 유도할 수가 있다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N b_n(t - \tau_n) DP_n(t - \tau_n) \quad (18)$$

이러한 신호들은 동일한 시간, 동일한 파워를 가지고 각각의 수신기로 재 전송된다. [그림 3]에서 처럼 하나의 PCAD로 전송된 광신호들은 $1 \times N$ splitter와 $N \times 1$ combiner 사이에 접속된 광지연선로에 의해 광신호들이 재 정렬되고, 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$\begin{aligned} r_1(t) &= \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M a_n a_m \delta(t - T + \tau_m - \tau_n) \\ &= \sum_{n=1}^N a_n^2 \delta(t - T) + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1, m \neq n}^M a_n a_m \delta(t - T + \tau_m - \tau_n) \quad (19) \end{aligned}$$

여기서 $a_n = 1/N$, $a_m = 1/N \cdot M$ 이다. 식 (19)에 의해 표현된 이 식의 의미는 $n = m$ 일 때 r_1 은 시간 $t = T$ 에서 N 개의 신호가 중첩되어 mainlobe를 나타내고, 동시에 시간 $t = 2T$ 구간에서 $(N^2 - N)$ 개의 신호가 sidelobe 형태로 나타난다. 이러한 sidelobe는 다른 수신기에 잡음형태로 영향을 미친다. 이러한 상호상관 세기는 peak to sidelobe ratio(PSR)를 저하시키는 요인이 되고, 복호화된 신호에서 원하는 신호를 검출하기가 어려워진다. 따라서 PCAE와 PCAD를 이용하면 SCAE와 SCAD 구조에서 발생하는 간섭신호들의 세기를 최소화 또는 소거시킴으로써, PSR이 크게 되어 원하는 신호검출이 쉬워짐을 알 수 있다. 또한,

식(19)에서 두 번째 항은 간섭신호들을 표현한 항이다. 이러한 신호들에 의해 수신기는 오류를 발생시키고, 다중접속 할 수 있는 사용자 수를 제한시킨다. 다 사용자에게 의해 간섭신호들이 중첩될 확률이 높아질수록 코드길이를 확장하거나, 주어진 코드길이에서 가중치를 크게 해야 된다는 단점을 가지게 된다. 그러나 본 논문에서 제시된 PCAE와 PCAD를 사용하면, 간섭신호들에 의해 발생하는 sidelobe 또는 상호상관 세기를 최소화 또는 소거시킬 수가 있어 시스템 성능을 향상시킬 수 있고, 그 결과를 모의실험과 실험을 통해 분석하였다.

IV. 실험 및 토의

FO-CDMA 통신망에 적용된 PCAE(Parallel Coupler Access Encoder)는 [그림 3]에서와 같이 광신호를 $1 \times N$ splitter와 $N \times 1$ combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이비율에 따라 각 사용자간의 상호상관 값이 작도록 부호화하여 광채널을 통해 전송하고 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호를 PCAD(Parallel Coupler Access Decoder)를 통해 검출해낸다.

이러한 개념을 모의실험과 실험을 통해 분석하였는데, 실험에 사용된 실험구성 도는 그림 3과 같다. Laser source로는 1550 nm의 파장을 갖는 DFB LD (distributed feedback laser diode)를 사용하였으며, function generator에서 4ns의 펄스 폭을 갖는 사각형 펄스를 400 ns의 주기로 발진시켜 DFB LD를 외부변조 시킴으로써 신호 펄스를 생성하였다.

식 (21)은 PCAE와 PCAD를 구성하고 있는 즉, $1 \times N$ splitter와 $N \times 1$ combiner사이에 접

속된 광지연선로의 길이비율을 결정하는 수식이다. 또한, 실험에 적용된 광직교코드, (a_1 a_2 a_3 a_4)는 제2장에서 설명된 광직교코드 생성 알고리즘에 의해 결정된 사용자의 코드이며, DL_1 , DL_2 , DL_3 , DL_4 , DL_1' , DL_2' , DL_3' , DL_4' 는 각각 PCAE와 PCAD를 구성하고 있는 1×4 splitter와 4×1 combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이이다.

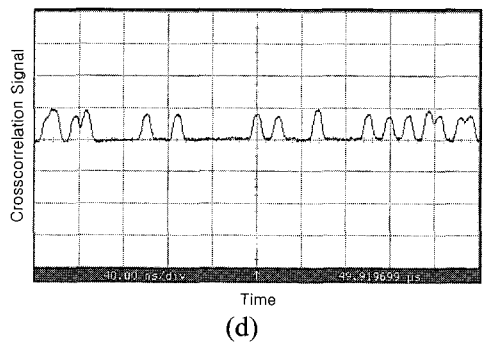
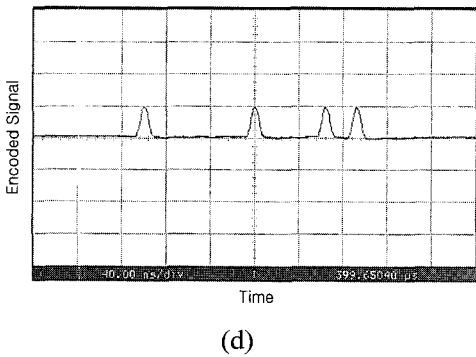
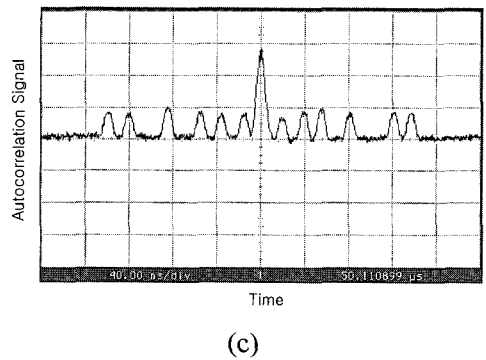
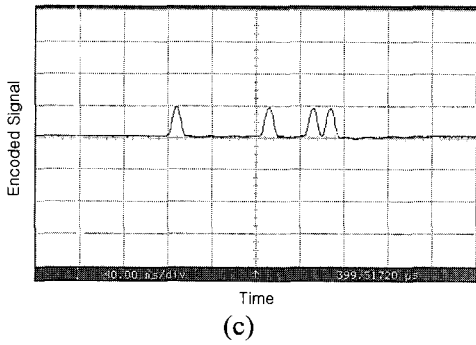
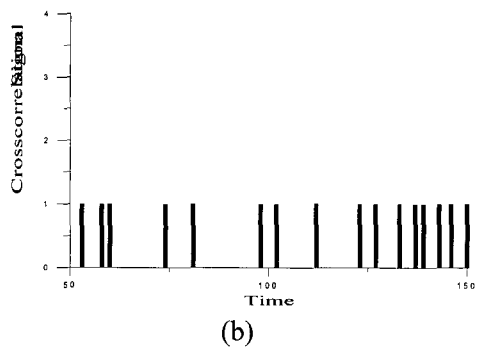
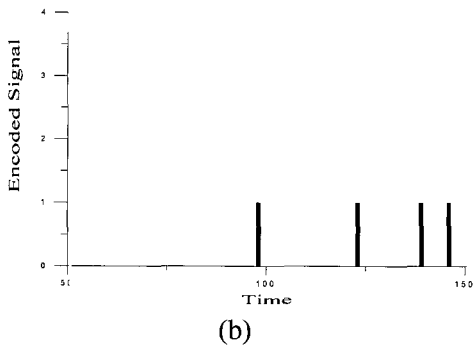
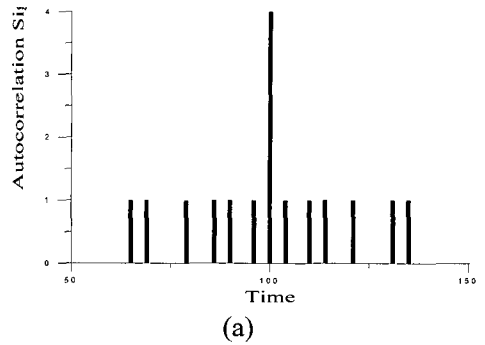
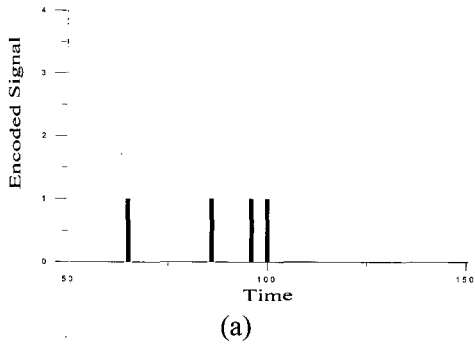
$$\begin{aligned}
 L_b &= v \times T_b, \\
 DL_1 \text{ 이 결정되면,} \\
 DL_2 &= a_2 \times L_c - DL_1 \\
 DL_3 &= a_3 \times L_c - DL_1 \\
 DL_4 &= a_4 \times L_c - DL_1 \\
 L_c &= v \times T_c \\
 DL'_1 &= L_b - DL_1 \\
 DL'_2 &= L_b - DL_2 \\
 DL'_3 &= L_b - DL_3 \\
 DL'_4 &= L_b - DL_4
 \end{aligned} \tag{21}$$

여기서, T_b 는 펄스의 주기 T_c 는 펄스 폭이며, v 는 optical fiber내에서의 빛의 속도, 그리고 L_b 와 L_c 는 각각 T_b 와 T_c 에 대응하는 광지연선로 길이이다.

실험에서는 광지연선로를 이용한 PCAE와 PCAD의 특성을 분석했고, 광신호들이 PSR에 미치는 결과를 모의실험 및 실험치에 의해 비교 분석하였다. 기존 연구방법^[30-32]에서는 커플러를 직렬로 접속시키고, 커플러들 사이에 접속된 광지연선로의 길이를 조정하는 SCAE와 SCAD는 구조특성상 일차신호뿐만 아니라 삼차신호들도 발생되어 FO-CDMA 시스템 성능을 열화 시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 광지연선로를 병렬로 구성한 PCAE와 PCAD로 시스템 성능을 평가했기 때문에 시스

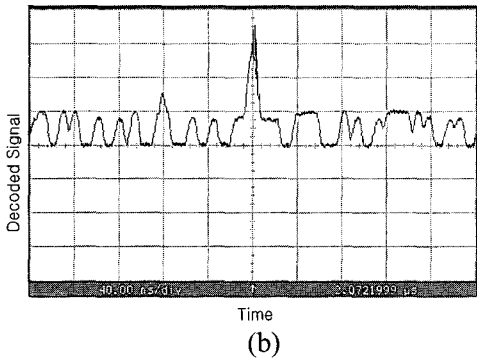
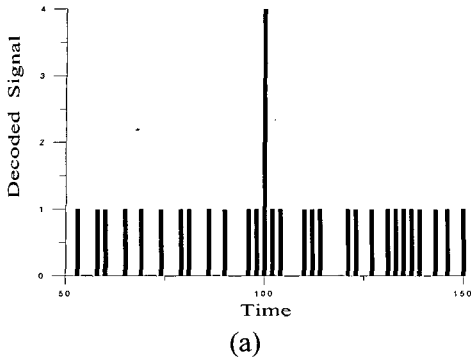
템 성능을 열화 시키는 감쇠신호들이 발생되지 않음을 확인하였다. 따라서 부호화/복호화 되는 과정에서 발생하는 광신호들이 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해서, 채널에서 부호화 되는 광신호들의 특성과 복호화 된 광신호들의 상관관계를 [그림 4]와 [그림 5]에서 보였다. [그림 4]는 두 개의 광신호가 PCAE를 통과해서 부호화 된 펄스 열들을 보여주고 있다. 코드길이(code length) 내에서 각각 펄스들이 위치한 곳은 식 (10)과 (11)에서 보였던 광직교코드 생성 알고리즘에 의해 결정하였다. 펄스 열들은 채널에서 다중화 되고 동일시간에 각각의 수신기로 입력된다.

자기 신호가 자신의 수신기로 전송되면 자기 상관 특성에 의해 원하는 신호를 검출할 수 있는데 이러한 결과를 그림 5(a)와 (c)에서 보여주고 있다. 그러나 원하지 않는 신호 즉, 다른 수신기로 전송된다면 상호상관 특성으로 나타나고 오류를 발생시키는 요인으로 작용됨을 그림 5(b)와 (d)에서 보여주고 있다. 상호상관 크기는 다중 접속자가 많아질수록 큰 값을 가지게 되기 때문에 복호화 된 신호에서 원하는 신호를 검출하기가 힘들어진다. 따라서 지연선로의 길이에 따라 상호상관의 분포를 다르게 함으로써 자기상관과 상호상관 세기의 비를 최대로 할 필요성이 있음을 [그림 6]에서 살펴볼 수 있다. [그림 6]은 두 명의 사용자가 동시에 '1'을 전송했을 때, 수신기에서의 상관특성을 보여 주고 있다. 식 (19)에서 보였듯이 $2T$ 구간 내에 상호상관으로 나타나는 펄스 열들이 조밀하게 분포되어 있다. 이 의미는 다중사용자들에 의해 발생하는 펄스들이 중첩될 확률이 크다는 것을 의미한다. 중첩이 커질수록 오류가 발생될 확률이 높고, 동시에 접속할 수 있는 사용자가 제한된다는 것을 알 수가 있다.



[그림 4] 모의 실험에 의한 부호화 된 두 개의 광직교코드 (a), (b)와 실험치 (c), (d)와의 비교

[그림 5] 모의 실험에 의한 자기상관(a) 및 상호상관(b) 특성과 실험치 자기상관(c) 및 상호상관(d) 특성의 비교

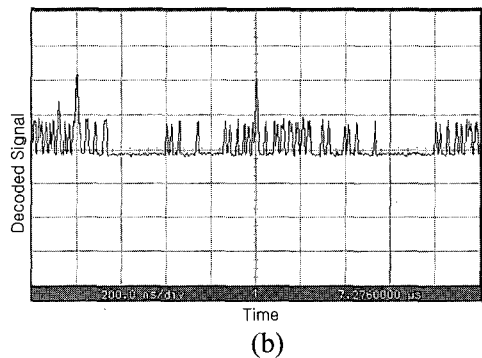
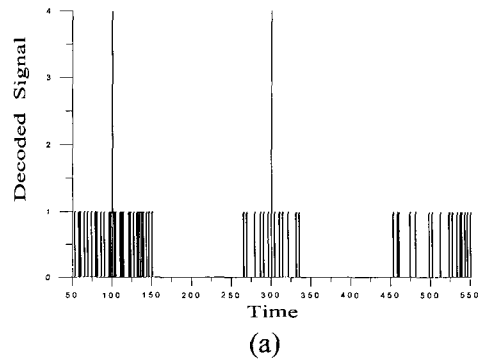


[그림 6] 두 명의 사용자가 동시에 비트 1을 보냈을 경우 수신 단에서 수신한 결과 (a)모의실험 결과 (b)실험 결과

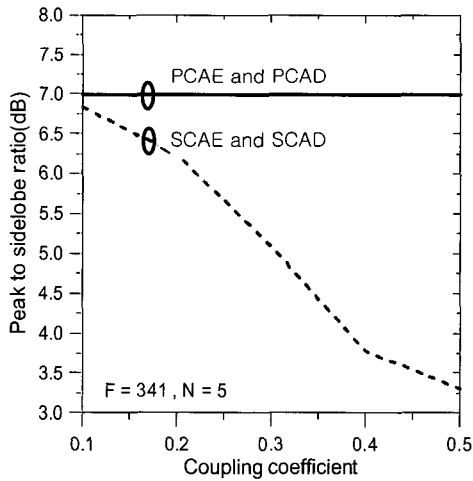
서론에서 언급했듯이 이론적으로는 어느 정도 현실성을 주장했고, 현재는 시스템 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 방법론들이 제시되고 있다. 그러나 FO-CDMA 시스템 성능향상을 위한 PCAE와 PCAD에 대한 실험이 구체적으로 진행된 보고가 없다. 본 논문에서는 FO-CDMA 통신망에 적용할 수 있는 광 부/복호기를 광지연선로의 길이 변화로 만들 수 있음을 실험을 통해 확인하였고 두 사용자가 동시에 정보 비트를 연속적으로 전송하여도 수신기에서는 오류 없이 원 신호를 검출할 수 있음을 [그림 7]에서 보여주고 있다. 사용자 A는 정보 비트 [10100]을 보내고, 사용자 B는

[10010]을 보냈을 때 사용자 A에서 수신된 신호를 [그림 7]에서 확인할 수 있다.

기존 연구에서 사용한 SCAE와 SCAD는 구조특성상 일차신호뿐만 아니라 삼차신호들도 발생되어 FO-CDMA 시스템 성능을 열화시키고 α 값 변화에 의해 시스템 성능에 미치는 영향이 달라짐을 [그림 8]에서 평가하였다. 본 논문에서는 FO-CDMA 시스템의 성능을 개선하기 위해서는 SCAE와 SCAD 구조보다는 PCAE와 PCAD 구조가 적합함을 제시하였고 동일한 조건에서 시스템 성능이 향상됨을 정량적으로 확인하였다.



[그림 7] 사용자 A가 [10100]의 정보 비트 스트림을 보내고 사용자 B는 [10010]의 스트림을 보냈을 경우 모의실험(a) 및 실험결과(b)



[그림 8] 접합계수에 따른 peak to sidelobe ratio 비교

V. 결 론

본 논문에서는 PCAE와 PCAD를 이용한 시스템 성능분석을 실험을 통해 평가하였고 광신호가 PCAE와 PCAD에 의해 부호화, 복호화 되는 과정을 수학적으로 모델링하고 분석하였다. PCAE와 PCAD를 구성하고 있는 즉, 1×4 splitter와 4×1 combiner 사이에 접속된 광지연선로의 길이비율을 광직교코드 생성알고리즘에 의해 결정하였고 Laser source로는 1550 nm의 파장을 갖는 DFB LD (distributed feedback laser diode)를 사용하였으며, function generator에서 4 ns의 펄스 폭을 갖는 사각형 펄스를 400 ns의 주기로 발진시켜 DFB LD를 외부변조 시킴으로써 신호 펄스를 발생시켜 부/복호화 과정 및 시스템 성능을 peak to side-lobe ratio(PSR)를 구하여 기존에 제시된 결과와 비교하였다. SCAE와 SCAD의 구조는 일차신호뿐만 아니라 삼차신호 즉 여러 간섭신호들도 발생되어 동시에 광

채널로 전송된다. 그러므로 SCAE와 SCAD 특성을 고려하지 않은 기존의 연구방법은 정확하다고 할 수 가 없다.

본 논문에서는 α (접합계수) 값 변화에 의해 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하였다. PCAE와 PCAD를 사용한 시스템 성능평가는 α 값에 영향을 받지 않음을 확인하였다. 그러나 SCAE와 SCAD를 사용한 시스템 성능평가는 α 값이 커질수록 간섭신호들에 의해 시스템 성능이 열화 되었다. 결과적으로 N (기중치)=5, $\alpha=0.5$ 일 때에는 PCAE와 PCAD를 이용한 PSR이 3.75 dB정도 향상됨을 밝혔다. FO-CDMA 통신망의 성능을 개선하기 위해서는 SCAE와 SCAD 구조보다는 PCAE와 PCAD 구조가 적합함을 제시하였고 PCAE와 PCAD에 의해 광신호가 부/복호화 과정을 실험을 통해 확인한 결과, 광정합필터로 사용할 수 있음을 평가하였다.

■참 고 문 헌

- [1] Chia-Lu Ho, Shou-Jeng Song, "Modified prime codes for CDMA optical communication systems," Journal of Optical Communications, by Fachverlag Schiele & Schon, vol. 20, pp. 150-152, 1999.
- [2] H. M. Shalaby, "Synchronous fiber-optic CDMA systems with interference estimators," Journal of Lightwave Technology, vol. 17, pp. 2268-2275, 1999.
- [3] J. Wu, Che-Li Lin, "Fiber-optic code division add-drop multiplexers," Journal of Lightwave Technology, vol. 18, pp.

- 819-824, 2000.
- [4] H. P. Sardesai, C. C. Chang, A. M. Weiner, "A femtosecond code division multiple access communication systems test bed," Journal of Lightwave Technolont, vol.16, pp.1953-1964, 1998.
- [5] S. V. Maric, O. Moreno, C. J. Corrada, "Multimedia transmission in fiber-optic LAN's using optical CDMA," Journal of Lightwave Technology, vol. 14, pp.2149-2153, 1996.
- [6] J. A. Salehi, "Emerging Optical Code Division Multiple Access Communication System", IEEE Network, pp.31-39, March 1989.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] H. M. Kwon, "Optical Orthogonal Code Division Multiple Access System part II : Multibits/sequence Period OOCDMA", ICC.91, pp.618-621.
- [10] Jawad A. Salehi, "Optical CDMA via Temporal Code", IEEE Trans. Commun., Vol.40, No.7, pp.1162-1170, July 1992.
- [11] E. Marom, "Optical delay line matched filters", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-25, pp.360-364, June 1978.

저자 소개



강 태 구(姜泰求)
 청주대학교 전자공학과 석사
 중앙대학교 영상공학과 박사
 관심분야 : 광전자 및 광통신, 광다
 중화 기술, 광코드 설계



최 영 완(崔永完)
 버팔로 뉴욕주립 전기 및 컴퓨터
 공학과 석사
 버팔로 뉴욕주립 전기 및 컴퓨터
 공학과 박사
 현재 중앙대학교 전자전기공학부
 교수
 관심분야 : 광전자 및 광통신,
 광스 위칭 및 소자,
 Microwave-Photonics