

배열형 가변 부호기/복호기와 이중 하드 리미터를 적용한 2-D OCDMA 시스템 제안 및 구현

준희원 김진석, 김범주, 권순영, 정희원 박종대

Proposal and Implementation of 2-D OCDMA System with Reconfigurable Array Encoder/Decoder and Double Hard Limiters

Jin-suck Kim · Bum-ju Kim · Sun-young Kwon *Associate Members*,
Chong-dae Park *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 광 부호분할다중접속(OCDMA) 시스템 구현을 위해 각 가입자의 시간·파장영역의 2차원 부호 할당과 변경이 가능하고 다중 사용자의 암호화된 데이터의 동시 전송과 모든 수신 노드에서 복원이 가능한 배열형 가변 부호기/복호기(RAE/RAD)를 갖는 OCDMA 구조를 제안하였다. 수신노드에서 부호화된 데이터의 레벨을 일정하게 제한하는 1차 하드리미터의 기능을 제한증폭기를 사용하여 구현하였고, 부호화된 데이터의 위치 검출 및 복원을 위한 2차 하드리미터의 기능을 AND 검출기를 사용하여 이중 하드리미터(Double Hard Limiter)를 최초로 구현하였다. FPGA와 4개의 서로 다른 파장을 갖는 DFB-LD를 부호다중화된 16채널의 신호중에서 특정 채널의 신호를 복원하는 실험을 성공적으로 수행하였다. 1-D OCDMA 시스템에서의 채널 증가에 따른 부호길이 증가문제를 시간과 파장 영역의 2차원 부호다중화를 사용함으로써 개선하였고, 채널 증가에 따른 MAI로 인한 기존의 문턱값 검출기의 식별력(Autocorrelation peak-to-sidelobe ratio) 저하와 비트 오류 문제를 제한증폭기와 AND 검출기를 갖는 이중 하드리미터를 적용하여 개선하였다.

Key Words : RAE/RAD, MWOOCs, TDCG, ITDD, FPGA

ABSTRACT

We propose novel OCDMA system with the structure of reconfigurable array encoder/decoder(RAE/ RAD), which are able to reallocate the 2-D optical codes to each subscriber and recover the transmitted data at all the receiving nodes. We have first implemented the double hard limiters composed of limiting amplifier(first hard limiter) that maintain a level of the encoded data from receiving node and AND detector(second hard limiter) for detecting the position of the encoded data and recovering the data. With the proposed system, it was successfully implemented to recover a specific channel data out of 16 code-multiplexed channels using FPGA and 4 DFB-LDs having distinct wavelengths. From experimental results, the code length resulted from increasing the number of the simultaneously connected channels has been reduced by using 2-D OCDMA multiplexed in time and wavelength instead of 1-D OCDMA. In addition, bit errors phenomenon on account of deterioration of autocorrelation peak-to-side lobe ratio is enhanced by using the double hard limiters composed of AND detector and limiting amplifiers.

I. 서 론

시분할/파장분할(TDM/WDM)을 이용하는 광통신

방식은 동기화, 패킷충돌, 채널할당과 같은 문제를 수반하기 때문에 비동기 전송이 가능하고 트래픽에 관한 제어 시스템을 필요로 하지 않는 OCDMA 기술에 대한

명지대학교 전자공학과 (Cdpark@mju.ac.kr)

논문번호 : 030572-1226, 접수일자 : 2003년 12월 12일

※ 본 연구는 한국학술진흥재단 논문연구과제(KRF-1999-041-E00218) 지원으로 수행되었습니다.

필요성이 점차 증가되고 있다^[1,2,3]. 동일 채널에서 보다 많은 정보전송과 가입자 수의 증가를 위해서는 우수한 상관함수 특성을 만족하는 많은 부호가 필요하므로, 상관함수 조건을 만족하고 시간과 파장영역에서 동시에 부호를 생성하는 2차원 광 부호 생성 이론과 부호기/복호기 구조가 제안되었다^[4,5,6]. 그러나 광섬유 지연선과 같은 광학소자를 이용하여 부호기/복호기를 구성하는 기존의 OCDMA 구조에서는 목적지 부호에 따라 부호가 구성되고 나면 목적지 노드의 변화에 따라 부호의 변경이 어려울 뿐 아니라 시스템의 부피와 가격이 증가하게 되어 결국 광 CDMA 상용화의 걸림돌이 되었다. 또한 사용자의 수가 증가할수록 간섭패턴의 영향으로 광상관기의 자기상관 침투치와 상호상관의 비 (Autocorrelation-to-Sidelobe Ratio)가 줄어들어 데이터의 복원이 어려워지는 문제가 발생한다^[8,9]. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 광소자를 최소화하고 목적지의 변화에 따라 실시간 부호 변경이 가능한 FPGA 부호기/복호기를 구현하였고 제한중독기와 AND 검출기를 이중 하드리미터로 활용하였다. 그 결과 하드웨어적인 교체 없이 소프트웨어적 이식을 통한 부호의 할당과 변경이 가능할 뿐 아니라 기존의 OCDMA 구조에서 제시되었던 이중 광학진폭제한기 [8,9]의 기능을 대신할 수 있었다. 4개의 DFB-LDs, AWG, FPGA 부호기/복호기로 다수 가입자의 실질적인 데이터의 부호와, 복호와, 복원이 가능한 OCDMA 시스템을 구현하여 16동시 가입자의 데이터 전송과 특정 수신 노드에서 복호화와 AND 검출 방식으로 데이터를 성공적으로 복원함으로써 OCDMA를 저가의 비용으로 상용화할 수 있는 가능성을 확인,제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 절에서는 제안된 시스템의 구조와 기능에 대한 설명을, III 절에서는 새로운 방식의 다중파장 광 직교부호의 생성 및 제안된 시스템과 이중 하드리미터의 구현에 대해서 설명하였다. IV 절에서 16 가입자의 동시 데이터 전송 및 복원에 대하여 기술하고 마지막으로 V 절에서 결론을 맺는다.

II. RAE/RAD구조의 2-D OCDMA 제안

림 1은 배열형 가변 부호기/복호기(RAE/RAD : Reconfigurable Array Encoder/Decoder)로 구성된 다중 파장 OCDMA 시스템 구조이다. 제안된 시스템은 N개의 송신노드와 N개의 수신노드로 나누어진다. 배열형 가변 부호기를 통하여 N개의 광 정보 채널 데이터를 전송한 후 배열형 가변 복호기를 통하여 동시에 N개의

정보 채널을 원하는 N개의 가입자 채널에서 분리 추출하여 복원하는 것이 가능하다. 임의의 사용자는 code lookup table을 이용하여 목적지 수신노드의 시간과 파장의 조합으로 구성된 고유부호를 참조하여 데이터를 시간/파장 영역에서 부호화한 후 전송한다. TDCG (Time Delay Code Generator)는 전송하고자 하는 데이터의 유무에 관계없이 참조된 부호의 위치 블록에 따라 시간 지연된 부호펄스를 연속적으로 출력하는 1차원 광 직교부호 생성기이다. TDCG에서 생성된 N개의 1차원 부호열은 정보를 전송하는 사용자의 외부 데이터 입력에 의해 단속변조(On-Off Keying)된다.

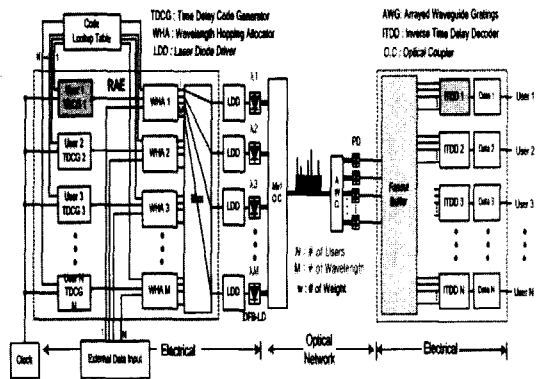


그림 1. RAE/RAD구조를 갖는 제안된 2-D OCDMA 시스템

즉 외부 데이터 입력이 존재할 때는 TDCG에 의해 생성된 부호열이 파장호핑할당기(WHA)로 전달되며 외부 입력 데이터가 '0'일 때는 WHA로 입력되는 부호열은 차단된다. WHA는 사용되는 파장의 수와 같은 M개의 출력핀을 갖고 있으며 정보전송의 code lookup table을 참조 후 부호열내의 각각의 펄스에 서로 다른 파장을 할당한다. 외부 데이터 입력이 '1'일 때 TDCG에서 $[0(\lambda_1), 1(\lambda_2), 0(\lambda_3)]$ 의 3개의 부호가 출력된다면 연속적인 데이터의 입력시 TDCG에서 출력되는 부호의 1,4,7,...,1+3(k-1)번째 펄스는 λ_1 으로 2+3(k-1)번째 펄스는 λ_2 로 3+3(k-1)번째 펄스는 λ_3 로 부호화 된다. 여기서 k는 외부 입력 데이터의 비트가 '1'이 되는 횟수를 나타낸다. 따라서 모든 파장호핑할당기의 $m(1 < m < M)$ 번째 출력핀은 Mux에 의해 다중화되어 λ_m 에 해당하는 레이저 다이오드 구동회로(LDD)로 연결된다. 수신노드의 ITDD Inverse Time Delay Detector)는 M개의 입력 채널을 가지며 각 채널별 지연은 자신에게 할당된 고유 서명 부호의 파장별 시간 지연의 역으로 구성된

다. 따라서 각 수신노드에 할당된 부호에 따라 N개의 ITDD 내부 지연선을 구성하고 Fanout Buffer와 연결하면 N개의 모든 수신노드에서 자신에게 전송된 데이터를 복원할 수 있는 장점이 있다.

III. 제안된 시스템의 실험적 구현

1. 새로운 MWOOCs 생성

2차원 부호 생성 방법 중에서 부호 선택도의 향상을 위해 1차원 광 직교부호내의^[3] 포톤 펄스를 서로 다른 파장으로 확산시키는 새로운 방법의 다중 파장 광 직교부호(Multi Wavelength Optical Orthogonal Codes)를 생성하였다. 각 가입자에게는 고유서명부호로서 $M \times n$ 형태의 부호 매트릭스가 할당되며 M은 파장의 수를, n은 부호길이에 해당하는 열의 수를 나타낸다^[5,6]. M개의 파장을 이용하여 w개의 부호무게를 표현할 수 있는 파장 호핑 조합의 수는 식(1), (2)과 같다. M이 w보다 큰 경우에는 식(1)이, M과 w가 같은 경우에는 식(2)가 적용된다.

$$\frac{M!}{(M-w)!}, \quad M > w \quad (1)$$

$$M!, \quad M = w \quad (2)$$

M이 4이고 w가 3일 때 가능한 호핑 조합은 식(1)에 따라 24개가 되며 표1에 나타나있다

표 1. 파장호핑 조합 (M=4, w=3)

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$	$\lambda_2 \lambda_1 \lambda_3$	$\lambda_3 \lambda_1 \lambda_2$	$\lambda_4 \lambda_1 \lambda_2$
$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_4$	$\lambda_2 \lambda_1 \lambda_4$	$\lambda_3 \lambda_1 \lambda_4$	$\lambda_4 \lambda_1 \lambda_3$
$\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2$	$\lambda_2 \lambda_3 \lambda_1$	$\lambda_3 \lambda_2 \lambda_1$	$\lambda_4 \lambda_2 \lambda_1$
$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_4$	$\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4$	$\lambda_3 \lambda_2 \lambda_4$	$\lambda_4 \lambda_2 \lambda_3$
$\lambda_1 \lambda_4 \lambda_2$	$\lambda_2 \lambda_4 \lambda_1$	$\lambda_3 \lambda_4 \lambda_1$	$\lambda_4 \lambda_3 \lambda_1$
$\lambda_1 \lambda_4 \lambda_3$	$\lambda_2 \lambda_4 \lambda_3$	$\lambda_3 \lambda_4 \lambda_2$	$\lambda_4 \lambda_3 \lambda_2$

부호길이가 25이고 무게가 3인 (n, w, 1) 1차원 광 직교부호법으로 생성할 수 있는 최대 부호의 개수 N은 식(3)에 따라 4개가 된다^[3].

$$N = \frac{(n-1)}{w(w-1)} \quad (3)$$

따라서 4개의 파장을 이용하여 표현할 수 있는 (4×25,3,1) 다중파장 광 직교부호는 식(4)에 따라 96개지만 가입자에게 할당된 부호의 역으로 매칭된 지연(Inverse Matched Delay)으로 수신부의 복호기가 구성되므로 [1 1 3]와 같이 하나의 파장 호핑 조합에서 동일한 파장 성분이 2개 이상 중복되는 조합은 사용될 수 없다. N개의 1차원 광 직교부호와 M!/(M-w)! 개의 파장 호핑 조합의 곱으로 생성되는 다중 파장 광 직교부호를 [0(1), 1(2), 6(3)]와 같은 위치 블록으로 나타낸다.

$$\Phi \leq \frac{(n-1)M!}{w(w-1)(M-w)!}, \quad M > w \quad (4)$$

2. FPGA 부호기/복호기 및 이중 하드리미터 구현

그림 2는 제안된 시스템을 4개의 서로 다른 파장을 갖는 DFB-LD와 FPGA를 이용하여 구현한 배열형 가변 부호기/복호기 구조의 다중 파장 OCDMA 송수신기 구성도이다. 16명의 가입자가 동시에 데이터를 전송하는 OCDMA 네트워크와 동일한 구조를 갖도록 하기 위하여 하나의 FPGA 부호기 내부에 16개의 8비트 데이터 발생기를 구현하였다. 부호의 펄스폭 Tc는 클럭의 주기 Tclk과 같고 데이터 신호의 펄스폭 Tb와 Tc, Tclk 사이에는 식(5)와 같은 관계가 성립된다.

$$T_b = n \times T_c = n \times T_{clk} \quad (n: \text{부호길이}) \quad (5)$$

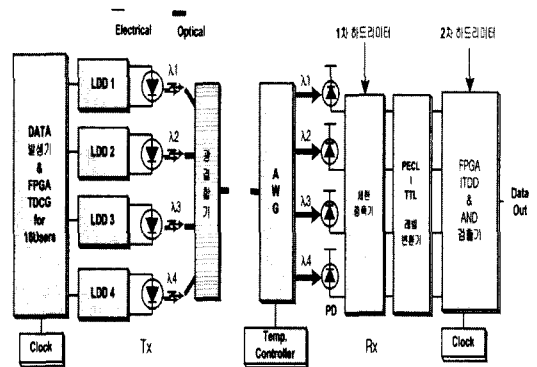


그림 2. FPGA를 이용하여 구현한 2-D OCDMA 송수신기

광원으로 사용된 4개의 DFB-LD의 중심파장은 각각 1547.09nm, 1548.83nm, 1549.65nm, 1551.53nm로 0.8nm의 정수배에 근접하는 것을 사용했다. 4×1 광결합기를 통과한 송신부의 등화된 광 출력 스펙트럼이 그림 3에 나타나 있다.

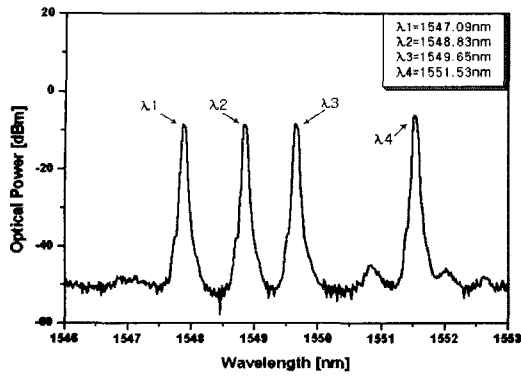


그림 3. 등화된 송신기 광 출력 스펙트럼

OCDMA를 위한 최적의 광부호 생성 기술에도 불구하고 다사용자의 시스템 동시 접속이 수반하는 간섭패턴의 증가로 인해 자기상관 첨두치와 상호상관의 비가 감소하게 된다. 이는 임계값 검출기(Threshold Detector)의 식별력 저하와 오류발생 확률을 증가시킨다. 이러한 MAI의 영향을 제거하기 위해 그림 4와 같이 광상관기의 앞에 삽입되어 타 사용자의 간섭으로 인해 증가된 광신호의 세기를 단위 펄스에 해당하는 레벨로 제한하는 1차 하드리미터와 광상관기와 포토다이오드 사이에 삽입되어 상호상관의 Sidelobe를 완전히 제거하는 2차 하드리미터의 구조가 제안되었지만^{19,10)} 현실적으로 OCDMA에 적용하기 위한 신뢰성 있는 광 하드리미터의 구현은 어렵다. 그림 5는 이중 광 하드리미터가 제외된 그림 4의 수신기 구조에서 부호 무개가 4인 부호열을 수신했을 때의 상관함수 출력이다. MAI의 증가에 따라 원신호의 복원이 어렵게 됨을 확인할 수 있다. 따라서 기존의 수신기 구조에서 광상관기와 PD의 위치를 바꾸면 광상관기와 지연선은 광에서 전기적으로 바뀌게 되고 제한 증폭기(1차 하드리미터)와 AND 검출기(2차 하드리미터)를 이용하면 그림 2와 같은

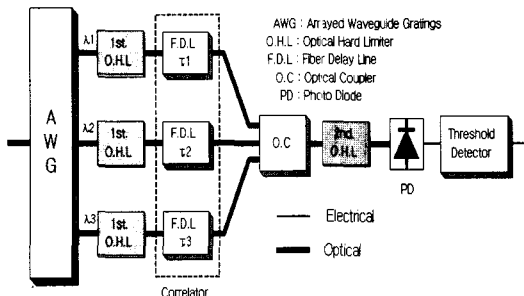


그림 4. 이중 광 하드리미터가 포함된 기존의 문턱값 검출방식의 OCDMA 수신기

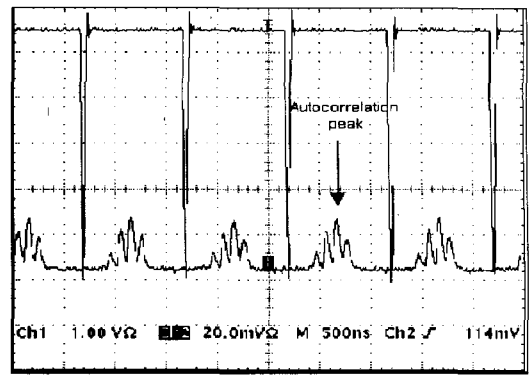


그림 5. 광 지연선과 임계값 검출 방식을 이용하는 수신기의 상관출력

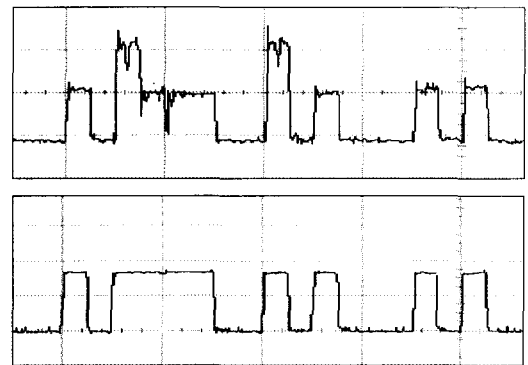


그림 6. 제한증폭기의 입력(위)과 출력(아래)

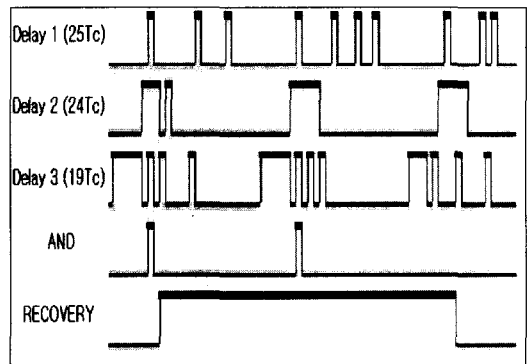


그림 7. AND 검출기를 이용한 2차 하드리미터

이중 하드리미터의 기능을 적용할 수 있다¹¹⁾. 제한 증폭기를 지난 수신기 채널별 부호열은 입력 광 신호의 강도에 관계없이 그림 6과 같이 모든 T_c 에서 출력펄스는 일정한 레벨로 제한된다. 이 제한증폭기를 1차 하드 리미터로 이용함으로써 타 사용자의 동일한 파장성분의 간섭이 하나의 T_c 에서 중첩되는 경우에 발생하는 비트 검출 오류들을 제거할 수 있

다.

그림 7은 복호기의 채널별 역지연된 출력과 AND 연산 그리고 데이터의 복원을 보여준다. 해당 수신기로 데이터를 전송한 송신 노드가 존재한다면 복호기의 모든 채널의 동일한 Tc에서 부호는 '1'을 나타내고 AND 논리 연산의 결과 역시 '1'이 되지만 그 이외의 시간에서는 AND 연산출력은 '0'이 되므로 이는 그림 4의 2차 광 하드리미터와 동일한 기능을 갖는 것을 알 수 있다.

IV. 16 가입자의 동시전송 및 임의의 노드에서 데이터 복원

임의의 가입자 User 16의 고유 서명부호 C16을 [0(1), 1(2), 6(3)]라 하고 User 1은 User 16으로 데이터를 전송한다고 가정하자. User 1이 데이터 '1'을 전송할 때 데이터 비트주기 Tb동안 그림 2의 FPGA 부호기의 첫 번째 출력포트에서는 첫 번째 Tc(0)에서, 두 번째 출력포트에서는 두 번째 Tc(1), 세 번째 포트에서는 7번째 Tc(6)에서 펄스가 구동된다. 따라서 User 16으로 전송하는 User 1의 광 신호 S1(t)는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$S_1(t) = B_1(t) \cdot C_{16}(t) \quad (6)$$

여기서 B1(t)는 User 1의 데이터를, C16(t)는 User 16에 할당된 부호열을 나타낸다. User 16으로 전송되는 User 1의 '110101' 데이터 B1(t)와 이에 따른 송신기 출력 S1(t)가 그림 8에 나타나 있다. 식 (5)에 따라 Tb는 부호펄스폭 Tc의 25배(즉, n)에 해당된다. 의도된 수신 노드 User 16에 할당된 부호 C16 이외에 임의의 15개 부호를 추가로 추출 후 16명의 가입자가 서로 다른 8비트 데이터를 전송하도록 하였다. 다수의 가입자의 암호화된 펄스열 Sn(t)가 합쳐진 신호 r(t)라 하면 이는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 N(=16)은 가입자의 수를, n은 송수신 노드간의 지연시간을 말한다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N S_n(t - \tau_n) \quad (7)$$

그림 9는 16명의 가입자의 정보가 포함된 User 16의 수신기 입력 광 신호 r(t)의 파형이다. 최대치를 나타내는 3번째 비트주기는 16명의 가입자중에 4명의 가입자가 동시에 '1'을 전송하는 경우이며 첫 번째 Tc에서 단위 포톤 펄스의 4배에 해당하는 광 펄스가 구동되었다. 비트 주기마다 데이터를 전송하는 가입자가 항상 동일하지 않으므로 구동된 광 펄스의 모습이 다르게 나타난다. 수신신호 r(t)는 부호 C16의 파장별 역지연 {25(1), 24(

2), 19(3)}으로구성된 ITDD를 통과 후 모든 지연채널의 동일한 Tc에서 부호가 '1'을 나타냄으로써 AND 검출기에 의해 B1(t)가복원된다. 그림 10은 User 1이 전송한 '10110110' 패턴의 8비트 데이터와 가입자 16의 수신기에서 복원된 가입자 1의 데이터이다.

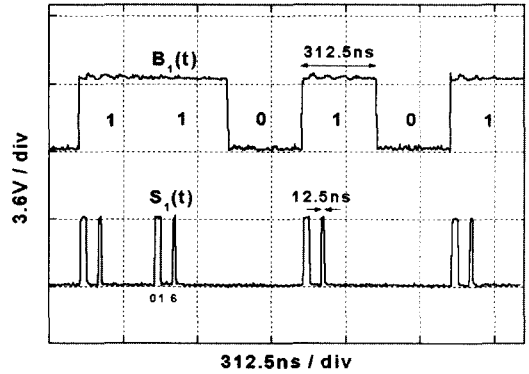


그림 8. User 1의 송신 데이터 B1(t)와 C16에 따라 확산된 광신호 S1(t)

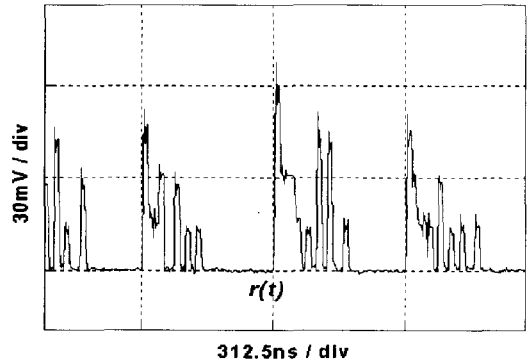


그림 9. 가입자 16의 수신 광신호 r(t) 파형

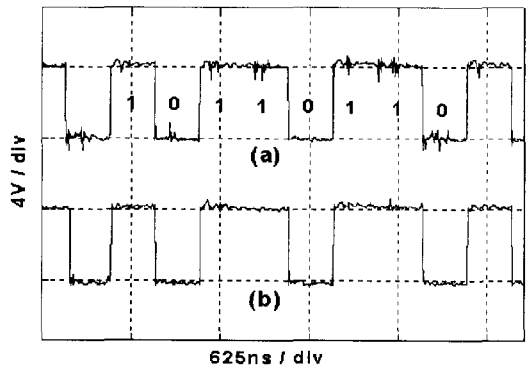


그림 10. 가입자 1의 전송 데이터(a)와 가입자 16에서 복원된 데이터(b)

V. 결론

OCDMA 시스템은 동시접속자수의 증가에 따른 채널 이용률이 우수하며, 중앙국의 불필요로 인한 가장 유망한 유선 통신망이다. 그러나 가입자의 증가에 따른 부호의 개수와 길이의 증가 및 광섬유 지연선과 같은 광부품은 시스템의 부피와 가격을 증가시켜 OCDMA 상용화에 걸림돌이 되었다. 본 논문에서는 FPGA와 4개의 DFB-LD를 이용하여 16명의 가입자가 서로 다른 데이터를 전송한 후 임의의 수신노드에서 AND 검출 방식으로 전송된 데이터를 복원하는 시스템을 성공적으로 구현하였다. 1-D OCMA 시스템에서의 사용자의 증가에 따른 부호의 수와 길이 증가문제를 시간-파장영역의 2차원 부호화를 사용하여 동일한 코드 길이에서 더 많은 채널을 사용할 수 있었다. 또한 광섬유 지연선과 같은 광소자를 이용한 OCDMA 시스템은 수신노드에 따른 고정적인 부호의 할당으로 인하여 가입자 증가에 따른 시스템의 부호변경 및 부피와 가격이 증가하는 문제가 있지만, FPGA로 구현한 부호기/복호기 구조를 갖는 제안된 시스템은 소형화와 부호변경의 유연성으로 OCDMA의 상용화 측면에서 Star coupler, 광분배기/결합기, 브래그격자, 광섬유 지연선등과 같이 부피가 크고 부호변경이 고정적인 광 부품을 사용하는 기존 OCDMA 시스템의 대안이 될 것이다. 또한 다수 사용자에 의한 MAI를 줄이기 위한 하드리미터의 구조를 제한증폭기를 사용한 레벨 제한 기능의 1차 하드리미터와, AND 검출기를 사용한 위치 검출 기능의 2차 하드리미터의 이중구조로 구현하여 기존의 제안되었던 문턱값 검출기의 1차 광하드리미터 구조를 전기적 이중하드리미터로 제안하고, 구현함으로써 다수의 사용자에 의한 MAI의 영향을 줄일 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. A. Salehi, "Code Division Multiple-Access Techniques in Optical Fiber Networks-Part I : Fundamental Principles," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, pp. 824-33, Aug. 1989

[2] J. A. Salei and C. A. Brackett, "Code Division Multiple Access Techniques in Optical Fiber-optic Networks-Part II: System Performance Analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, pp. 834-842, Aug. 1989.

[3] F. R. K Chung, J. A. Salehi, V. K. Wei, "Optical

Orthogonal Codes: Design, Analysis, and Applications," *IEEE Trans. Information Theory.*, vol. 35, No. 3, May 1989.

[4] L. Tancevski, I. Andonovic, M. Tur, and J. Budin, "Hybrid Wavelength Hopping Time Spreading Code Division Multiple Access Systems," *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol. 143, no.3, pp. 161-166, 1996.

[5] G.C. Yang, C. Kwong, "Performance Comparison of Multiwavelength CDMA and WDMA+CDMA for Fiber-Optic Networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol 45, pp. 1426-2434, Nov 1997.

[6] S. S. Lee and S. W. Seo, "New Construction of Multiwavelength Optical Orthogonal Codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 12, Dec 2002.

[7] Yang. G.-C, and KWONG, W. C, " Performance Analysis of Optical CDMA with Prime Codes", *Electron. Lett.*, vol. 6, pp. 569-570, 1995.

[8] T. Ohtsuki, K. Sato, I. Sasase, and S. Mori, "Direct Detection Optical Synchronous CDMA Systems with Double Optical Hard Limiters using Modified Prime Sequence codes," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-14, pp. 1879-1887, Dec. 1996.

[9] J. J. Chen, G. C. Yang, "CDMA Fiber-Optic Systems with Optical Hard Limiters," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 19, no. 7, pp. 950-958, July 2001.

[10] F. T. W. Chang, E. H. Sargent, "Optical CDMA using 2-D Codes : the Optimal Single-User Detector," *IEEE Commun.* vol. 5, pp. 169-171, 2001.

[11] 윤용철, 최진우, "2-D OCDMA LAN에서의 검출기와 간섭 모델의 성능에 대한 비교 연구", *한국통신학회 논문지*, vol. 28, No. 4B, pp. 245-256, 2003.

김 진 석(Jin-suck Kim)

준회원

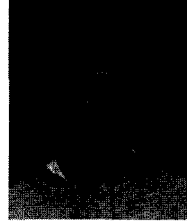


2002년 2월 : 명지대학교
전자공학과 졸업
2004년 2월 : 명지대학교
전자공학과 석사
2004년 3월 ~ 현재 :

<관심분야> OCDMA, 유선망 설계

권 순 영(Sun-young Kwon)

준회원

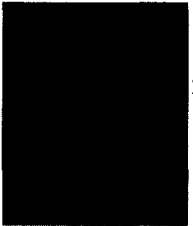


2003년 2월 : 명지대학교 전자
공학과 졸업
2004년 3월 ~ 현재 : 명지대학교
전자공학과 석사과정

<관심분야> UWB, RF 회로설계

김 범 주(Bum-ju Kim)

준회원



2004년 2월 : 명지대학교 전자
공학과 졸업
2004년 2월 ~ 현재 : 명지대학교
전자공학과 석사과정

<관심분야> FPGA, SCM

박 종 대(Chong-Dae Park)

정회원



1983년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 졸업
1985년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 석사
1992년 12월 : University of
Arizona 박사
1986년 ~ 1996년 : 전자통신
연구소 전임연구원

1996년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 광소자, OCDMA, SCM, UWB