

동시 사용자의 간섭을 제거한 광 주파수 및 시간 영역 광 CDMA를 이용한 광 가입자 망의 제안

박 상 조[†] · 김 봉 규^{††}

요 약

무선통신에 널리 사용되는 PN(Pseudorandom Noise) 부호를 사용하여 생성 부호 수를 증가시키고 양극성 상관 수신기에서 가입자간 간섭잡음을 완전히 제거할 수 있는 2D 광 CDMA 방식을 사용한 광 가입자 망을 제안한다. 제안 시스템에서 특성을 수치적으로 분석한 결과 EIN(Excess Intensity Noise) 잡음이 지배적인 잡음전력인 것을 알 수 있다. 그리고 제안한 2D 광 CDMA 시스템에서 동시 사용 가능한 가입자의 수가 동일 성능조건하에 종래의 1D 광 CDMA 시스템보다 4배 향상된 것을 알 수 있다.

키워드 : PN 부호, 광 가입자망, 광, 간섭잡음, 주파수 및 시간 영역

Proposal of optical subscriber access network to eliminate multiple access interference using 2 dimensional optical frequency and time domain CDMA method

Sangjo Park[†] · Bong Kyu Kim^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose optical subscriber access network to eliminate multiple access interference using 2 dimensional(D) optical frequency and time domain CDMA method. We have numerically analyzed the characteristics of proposed system. It is seen that the excess intensity noise is the major limiting factor to the system. Also it is seen that the number of simultaneous subscribers is four times as large as the conventional 1D optical system under the same bit error ratio.

키워드 : PN sequence Code, Optical Subscriber Network, Optical CDMA, Interference Noise, 2 Dimensional Optical Frequency and Time

1. 서 론

최근의 인터넷은 사용자의 수가 급증하고 있으며, 보다 많은 정보를 보다 많은 가입자에게 전송하기 위한 초고속 광 가입자 망이 도입되어 ATM PON(Passive Optical Network) 망 등이 서비스되고 있다[1]. 고품질 주문형 영상과 같은 광대역 신호를 광 가입자 망에서 많은 가입자가 동시에 사용할 수 있도록 하는 방법에는 WDMA(Wavelength Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), SCM(SubCarrier Modulation), CDMA(Code Division Multiple Access)가 있다. 이 중에서 1980년대 무선 CDMA 기술을 광통신에 도입한 광 CDMA 기술은 비 동기, 우수한 보안성, 여러 개의 동일한 파장의 광원을 사용할 수 있는

등 많은 장점을 지니고 있어서, 향후 고속의 데이터를 많은 가입자에게 보내주는 방법 중의 하나로 각광 받고 있다. 광 CDMA 기술에는 시간 지연을 이용한 방법[2], 광 스위치를 이용한 방법[3], 공간필터를 이용한 방법[4], FBG(Fiber Bragg Grating)/AWG(Arrayed Waveguide Grating)을 이용한 방법[5]-[8] 등이 있으며, 이 중에서 코드 추출을 위한 동기가 필요 없는 FBG형 광 CDMA에 관한 연구가 최근에 가장 활발히 진행되고 있다.

한편, 광 CDMA에서 사용되는 부호에는 PN(Pseudo random Noise) 부호[9], prime code와 같은 광학적 직교부호(OOC; Optical Orthogonal Code)[10], 시간 및 파장을 동시에 사용하는 2D 부호[11]-[13] 등이 있다. 광학적 직교부호를 사용한 광 CDMA 방식은 부호화를 위한 광 손실이 크며 부호의 계열수가 적은 단점이 있으며, 2D 부호를 사용할 경우 부호의 계열 수가 증가하므로 가입자에게 할당할 부호가 증가한다. 2D 부호를 사용하여 광 주파수 및 시간 영역(2D) 광

[†] 정 회 원 : 서원대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

^{††} 정 회 원 : 한국전자통신연구원 선임연구원
논문접수 : 2005년 10월 31일, 심사완료 : 2006년 3월 3일

CDMA 방식은 구성이 복잡하나 사용가능 한 부호의 수가 1D 광 CDMA 방식에 비하여 매우 크기 때문에 최근에 활발히 진행되고 있다. 특히 2D 광 CDMA 방식에서 광 CDMA의 성능을 높이기 위하여 일반적으로 생성 부호 수(Cardinality)를 증가시키는 방향과 동시 사용자간 간섭인 MAI(multiple access interference)를 포함한 잡음(noise)을 줄이는 방향으로 연구가 진행되어 왔다[11]-[13]. 2D 광 CDMA 부호는 일반적으로 M개의 파장과 N개의 시간 칩의 조합을 이용하여 M x N 크기의 행렬 형태로 표현할 수 있다[14], [15].

본 논문에서는 무선통신에 널리 사용되는 PN(Pseudorandom Noise)를 사용하여 생성 부호 수를 증가시키고 양극성 상관 수신기에서 가입자간 간섭 잡음을 완전히 제거할 수 있는 2D 광 CDMA 방식을 사용한 광 가입자 망을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 2D 광 CDMA 방식을 이용한 광 가입자 망을 제안한다. 제3장에서는 광 가입자 망의 수신부에서의 신호 대 잡음의 비(SNR)와 비트 오차율(BER)을 이론적으로 해석한다. 그리고 제4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 도시하고 분석한다.

2. 2D 광 CDMA를 이용한 광 가입자 망의 제안

M개의 ONU(Optical Network Unit)가 광 결합기에 의해 1심의 광섬유를 통해 OLT에 접속되어 있다. OLT(Optical Line Termination)에는 CDMA encoder(OCE)와 CDMA decoder(OCD)가 내장된 M개의 광 송수신 모듈이 있으며, 가입자의 ONU에는 각 ONU당 하나의 광 송수신 모듈이 있다. OLT 및 ONU에 있는 각각의 광 송수신 모듈은 광 결합기(OC: Optical Coupler)로 결합이 되며, 광 가입자의 모듈들은 위치에 따라 서로 다른 여러 개의 광 결합기를 통하여 결합될 수도 있다. 결합된 신호들은 하나의 광섬유를 통하여 OLT와 ONU간에 데이터가 전송이 된다. 2D 광 CDMA에서는 무선 CDMA에 널리 사용되는 PN 부호를 사용하여 변형시킨 부호를 사용한다. PN 계열 부호에서 부호장이 7일 때 원시 다항식 $x^3 + x^2 + 1$ 을 시프터 레지스터로 구성하여 PN 부호 $c_1(n)=(0011101)$ 을 생성할 수 있다. 광 주파수 영

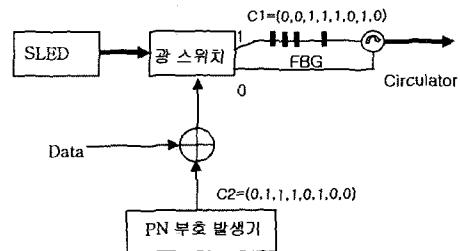
〈표 1〉 2D에 사용되는 수정된 PN 부호 Modified PN code

	PN code							
C1	0	0	1	1	1	0	1	0
C2	0	1	1	1	0	1	0	0
C3	1	1	1	0	1	0	0	0
C4	1	1	0	1	0	0	1	0
C5	1	0	1	0	0	1	1	0
C6	0	1	0	0	1	1	1	0
C7	1	0	0	1	1	1	0	0

← Shifted PN code stuff bit

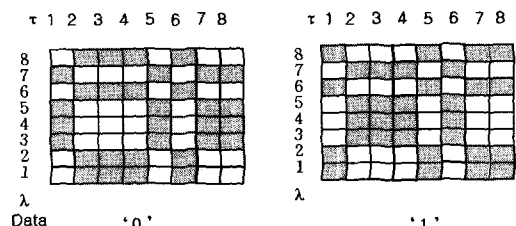
역에 PN 부호를 적용할 경우 '1'과 '0'의 수가 다르기 때문에 코드간의 간섭이 일어나게 된다[13]. 따라서 부호간의 간섭을 제거하기 위하여 1비트씩 천이된 부호에 stuff bit '0'를 사용하여 '1'과 '0'의 수를 같도록 <표 1>과 같이 수정된 PN 부호를 생성한다. 시간 영역과 광 주파수 영역에 사용하는 부호는 수정된 PN 부호를 각각 사용하기 때문에 생성 가능한 부호수는 1D에 비하여 훨씬 증가하게 된다.

수정된 PN 부호를 이용한 2D 광 CDMA에서 광 CDM 인코더(OCE: Optical CDM Encoder)의 구성은 각각 (그림 1)과 같다.



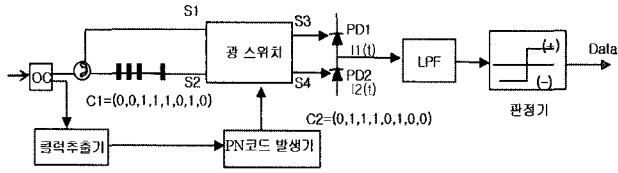
(그림 1) OCE의 구성

OCE에서 광대역 스펙트럼을 갖는 Super LED(SLED)를 광원으로 사용한다. PN 부호기에서 PN부호를 이동시켜 시간 영역에 사용할 부호를 발생시키고, 데이터와 배타적 논리소자를 사용하여 광 스위치를 제어시켜 시간 영역 광 CDMA를 수행한다. 전송 데이터가 '0'인 경우에는 c_2 , 전송 데이터가 '1'인 경우에는 $\overline{c_2}$ 이 광 스위치를 제어한다. 광 스위치에서 제어신호가 '0'인 경우에는 하측으로, 부호가 '1'인 경우에는 상측으로 출력된다. 광 스위치를 이용하여 On-off shift keying 방식으로 생성된 광 신호를 FBG를 이용하여 부호화하며, 반사되어 나오는 부호화된 광 신호는 서큘레이터를 이용하여 전송매질의 광섬유로 전달된다. 이때 레이블된 FBG의 반사파장들 사이의 간격은 일정한 간격을 가지며, 사용되는 FBG의 레이블은 부호장이 짝수인 수정된 PN 부호에 의하여 결정이 된다. (그림 1)의 OCE에서 출력되는 2D광 CDMA신호는 (그림 2)와 같다. 전송 데이터가 '0'인 경우는 c_2 가 '0'일 때 파장 $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ 및 λ_7 이 출력되고, c_2 가 '1'일 때 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_6$ 및 λ_8 이 출력된다. 한편 전송 데이터가 '1'인 경우는 c_2 가 '1'일 때 파장 $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ 및 λ_7 이 출력되고, c_2 가 '0'일 때 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_6$ 및 λ_8 이 출력된다.



(그림 2) 2D 광 CDMA 인코딩 신호

수정된 PN 부호를 이용한 2D 광 CDMA에서 광 CDM 디코더(OCD: Optical CDM Decoder)의 구성은 (그림 3)과 같다.



(그림 3) OCD 의 구성

OCD에서는 OCE에서 생성된 광신호가 입력이 되면 FBG의 반사 파장과 일치하는 파장과 그리고 FBG에서 반사되어 광 서큘레이터를 통하여 들어오는 파장이 광 스위치에 입력된다. 여기서 사용된 FBG의 레이블은 OCE와 마찬가지로 수정된PN 부호에 의하여 결정된다. 광 스위치의 제어신호는 OCE의 광 스위치에 사용된 수정된 PN부호와 동기가 일치한 부호가 사용되며, 입출력 관계는 <표 2>와 같다. 만약 OCE와 OCD에 사용된 수정된 PN 부호가 동일하다면 전송 데이터가 '0'인 경우 광 신호는 광 검출기 PD2에만 검출이 되고, 전송 데이터가 '1'인 경우 광 신호는 광 검출기 PD1에만 검출이 된다. OCE와 OCD에서 광 스위치를 제어하는 시간 영역에 사용되는 수정된PN 부호가 일치하고, 광 주파수 영역에 사용하는 수정된 PN 부호가 서로 동일하지 않다면 광 신호는 광 검출기 PD1과 PD2에 동일하게 나누어져서 두 광 검출기에서 검출되는 신호의 크기가 같기 때문에 부호간의 간섭이 제거 된다.

<표 2> OCD의 광 스위치 입출력 관계

data	제어신호 C2	입출력 관계
0	0	S1 → S4
	1	S2 → S4
1	0	S2 → S3
	1	S1 → S3

3. 2D 광 CDMA를 이용한 광 가입자 망의 성능 분석

OCE와 OCD에서 광 스위치를 제어하는 시간 영역에 사용되는 수정된 PN 부호가 일치하고 j번째 OCD에서 동일 부호로 인코딩된 j번째 OCE에서 수신한 경우, 전송 데이터가 '0'일때 PD2에서만 신호가 검파되고, 전송 데이터가 '1'일때 PD1에서만 신호가 검파된다. 따라서 SLED의 광원의 전력이 스펙트럼에 대하여 일정하다고 가정하면 j번째 OCD에서 검파되어 감산된 전류신호는 다음과 같다.

$$i_{s_j} = i_1 - i_2 = -\alpha P_r \sum_{k=1}^L \overline{c_{j1}(k)} \text{ for '0'} \quad (1)$$

$$i_{s_j} = i_1 - i_2 = \alpha P_r \sum_{k=1}^L c_{j1}(k) \text{ for '1'} \quad (2)$$

여기서 P_r 은 수신 광 전력의 피크치이고, α 과 L 은 각각 포토다이오드의 반응도와 부호장이다. 수신 광전력의 피크치는 다음과 같이 주어진다.

$$P_r = P_s - 10 \log M - L_{loss} \text{ [dB]} \quad (3)$$

여기서 M 과 L_{loss} 는 각각 접속된 광 센서 수, 광 손실이다. 따라서 신호 전력성분은 다음과 같다.

$$S = i_{s_j}^2 = \left\{ \alpha P_r \frac{(L+1)}{2L} \right\}^2 \quad (4)$$

한편 OCE와 OCD에서 광 스위치를 제어하는 시간 영역에 사용되는 수정된 PN 부호가 일치하고 i번째 OCD에서 동일 부호로 인코딩된 j번째 OCE에서 수신한 경우 PD1과 PD2에서 동시에 검파되고, 감산된 전류신호는 다음과 같다.

$$i_{i_j} = i_1 - i_2 = \alpha P_r \sum_{k=1}^n c_i(k) [c_j(k) - \overline{c_j(k)}] \quad (5)$$

PD1과 PD2에서 검파되는 칩의 개수가 항상 같기 때문에 상하측 아날로그 스위치간의 감산된 전류신호는 0이 되어, 동일 사용자간 간섭 즉 MAI(Multiple Access Interference)가 0이 된다. 따라서 간섭 전력성분은 다음과 같다.

$$I = \sum_{i=1, j \neq i}^M i_{i_j}^2 = 0 \quad (6)$$

가산적 잡음의 전력성분은 상대강도잡음, 쇼트 잡음, 열 잡음 그리고 excess intensity noise (EIN) 등으로 구성된다. 즉 가산적 잡음의 전력성분은 다음과 같이 주어진다.

$$N = N_{RIN} + N_{SHOT} + N_{TH} + N_{EIN} \quad (7)$$

N_{RIN} , N_{SHOT} , N_{TH} 그리고 N_{EIN} 은 각각 상대강도잡음, 쇼트 잡음, 열 잡음 그리고 EIN이다. N_{RIN} , N_{SHOT} , N_{TH} 은 각각 다음과 같이 주어진다[3].

$$N_{RIN} = \xi_{RIN} i_{s_j}^2 D_r \quad (8)$$

$$N_{SHOT} = 2e\alpha i_{s_j} D_r \quad (9)$$

$$N_{TH} = \frac{8k_B T}{R_L} D_r \quad (10)$$

전자기장이 광자 표면에 입사되었을 때 광자 즉 양자화된

빛 에너지가 흡수되고, 이 에너지가 여기 전자로 전환된 후, photosurface로부터 전자가 방출된다. photoevent의 확률분포가 Poisson impulse process를 가진다. 따라서 K photoevent를 관측할 확률은 다음과 같이 Poisson 함수로 나타난다[16].

$$P(K) = \frac{(\bar{K})^K}{K!} e^{-\bar{K}} \quad (11)$$

여기서 \bar{K} 는 평균 광자 사상 수이다. 광 검출 시간이 간섭시간보다 짧은 편광된 열 방출의 경우 빛의 세기의 분포는 다음과 같은 분포를 가진다.

$$p_w(W) = \frac{1}{W} \exp\left(\frac{-W}{\bar{W}}\right) \quad (12)$$

따라서 광자 사상 확률을 계산하면 Bose-Einstein 분포를 따르며, K의 분산값(variance)은 K의 평균값과 평균값의 제곱으로 나타나는데, 후자를 EIN이라고 한다. 두 개의 광 검출기에서 발생하는 EIN 값은 다음과 같이 표현된다[15].

$$N_{EIN} = S \frac{(1 + M^2)}{2} \frac{D_r}{mm_{sp}(\Delta\nu/2)} \quad (13)$$

여기서 m , m_{sp} 그리고 $\Delta\nu$ 은 각각 편광 모드 수, 빛의 공간 모드 수 그리고 광원의 선폭을 나타낸다.

저대역통과필터(LPF)의 출력단에서 신호 대 간섭 및 잡음의 비 (SINR : Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)는 다음과 같이 주어진다.

$$SINR = \frac{S}{I + N} = \frac{S}{N} \quad (14)$$

OCD의 저대역통과필터 (LPF)의 출력전력이 신호전력 S와 잡음전력 N의 합이 된다. 잡음전력 N는 정규랜덤변수이므로 저대역통과필터(LPF)의 출력은 신호전력 S와 잡음전력 N를 가진 정규분포함수라고 가정한다. OCD에서 상관한 데이터가 1과 0일 때 저대역통과필터(LPF)의 출력전압의 평균치는 각각 \sqrt{S} , 0이 된다. 데이터가 1과 0이 될 확률을 각각 0.5로 가정하면 OCD의 판정기에서 평균오차율(BER : bit Error Rate), P_e 는 다음과 같이 표시할 수가 있다[17].

$$P_e = \frac{1}{4} \left(\operatorname{erfc} \left(\frac{I_1 - I_D}{\sqrt{2}\sigma_1} \right) + \operatorname{erfc} \left(\frac{I_D - I_0}{\sqrt{2}\sigma_0} \right) \right) \quad (15)$$

여기서 I_1 , I_0 및 I_D 는 각각 데이터 '1', 데이터 '0' 및 판별치의 전류값이고, σ_1 과 σ_0 각각 데이터 "1"과 데이터 "0"의 잡음과 간섭의 편차이다. 본 논문에서 제안된 광

CDMA는 양극성 데이터이기 때문에 I_0 값은 $-I_1$ 이 된다. 따라서 σ_1 과 σ_0 가 같고, $I_D=0$ 일 때 오차율이 가장 낮은 값을 갖는다. PIN 광 검출기와 같이 열잡음(thermal noise)지수가 shot noise 지수보다 매우 큰 광 검출기에서, 데이터 '0'의 검출전류가 0으로 출력되는 경우에는 BER과 SINR의 관계는 다음과 같이 표시된다[17].

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{I_1}{2\sqrt{2}\sigma_1} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{SINR}{2}} \right) \quad (16)$$

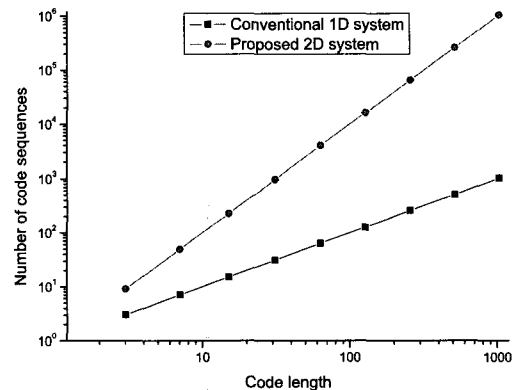
여기서 $\operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\lambda^2/2} d\lambda$ 이다.

4. 컴퓨터를 이용한 수치 결과 및 분석

이론적 성능분석의 결과를 C 언어로 프로그램을 작성하여 수치 계산을 수행하였다. <표 3>은 수치계산에 사용된 파라미터이다.

<표 3> 수치계산에 사용된 파라미터

Responsivity of PD	α	0.8A/W
PSD of relative intensity noise	ξ_{RIN}	-152dB/Hz
Load resistance	R_L	50 Ω
Data bit rate	D_r	155.52Mb/s
Noise temperature	T	300K
Coupling loss of 1:M coupler		10logM [dB]
Fiber loss	L_{loss}	1.5dB
Line width of LD	$\Delta\nu$	10MHz



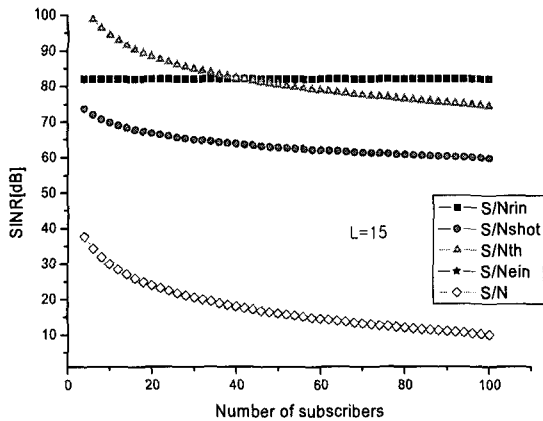
(그림 4) 수정한 PN 코드의 부호장에 대한 생성 가능한 부호의 수

(그림 4)는 수정한 PN 코드의 부호장에 대한 생성 가능한 부호의 수를 나타내고 있다. 종래의 1D 광 CDMA 시스템에 사용되는 부호는 파장 또는 시간 영역에 사용할 수 있는 부호의 수는 부호장과 일치한다. 그러나 제안한 2D 광

CDMA 시스템에 사용되는 부호는 M개의 파장과 N개의 시간 칩의 조합을 이용하여 M x N개가 되며, 종래의 1D용 부호에 비하여 생성 가능한 부호의 수가 확장되어 배분 가능한 가입자수도 훨씬 증가하게 된다.

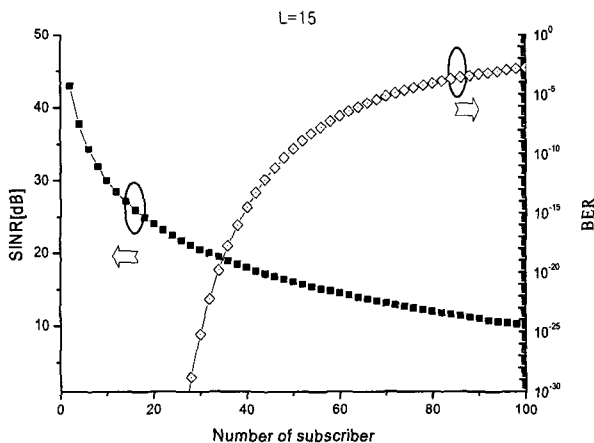
(그림 5)는 데이터 전송 속도가 10Mbps이고 부호장이 15인 경우, 가입자 수에 따른 SINR을 계산한 결과이다.

SINR에서 간섭이 0이므로 SNR을 나타내고 있으며, 상대 강도잡음, 쇼트 잡음, 열 잡음 그리고 EIN 중에서 EIN이 지배적인 잡음전력인 것을 알 수 있다.



(그림 5) 가입자 수에 따른 SINR 특성

(그림 6)은 데이터 전송 속도가 10Mbps이고 부호장이 15인 경우, 좌측 좌표와 우측 좌표는 각각 가입자 수에 따른 SINR 및 BER 특성을 계산한 결과이다. 제안한 2D 광 CDMA 시스템에서는 BER이 10^{-7} 인 조건에서 10 Mbps 전송의 경우 225개의 부호가 생성되고, 그 중에서 60개의 부호를 가입자에서 동시에 사용할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 종래의 1D 광 CDMA 시스템인 경우, 15개의 부호만 생성이 가능하므로 동시에 사용할 수 있는 가입자의 수는 15개로 제한되는 것을 알 수 있다.



(그림 6) 가입자 수에 따른 SINR 및 BER 특성

5. 결론

본 논문에서는 무선통신에 널리 사용되는 PN 부호를 사용하여 생성 부호 수를 증가시키고 양극성 상관 수신기에서 가입자간 간섭잡음을 완전히 제거할 수 있는 2D 광 CDMA 방식을 사용한 광 가입자 망을 제안하였다. 2D 광 CDMA 방식을 사용한 광 가입자 망에서 SINR 및 BER특성을 수치적으로 분석하였다. 그 결과 EIN 잡음이 지배적인 잡음전력인 것을 알 수 있었다. 그리고 제안한 2D 광 CDMA 시스템에서 부호장이 15일 경우 225개의 부호가 생성되고, 그 중에서 BER이 10^{-7} 인 조건에서 10 Mbps 전송의 경우 60개의 가입자가 동시에 사용할 수 있기 때문에 종래의 1D 광 CDMA 시스템과 비교하여 동시 사용자의 수가 4배로 개선된 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] ITU-T Recommendation G.983.1, Broadband optical access systems based on PON, Oct., 1998.
- [2] P. R. Prucnal, M. A. Santro, and S. K. Sehgal, "Ultrafast all optical synchronous multiple access fiber networks", IEEE J. on Select. Area in Commun., Vol. SAC-4, No.9, pp.1484~1493, Dec., 1986.
- [3] S. Park, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Polarity-reversing type photonic receiving scheme for optical CDMA signal in radio highway", IEICE Trans. Electron., Vol.81-C, No.3, pp.462~467, 1998.
- [4] D. Zaccarin and M. Kavehrad, "An optical CDMA system based on spectral encoding of LED" IEEE Photonics Tech. Lett., pp.513~515, Apr., 1993.
- [5] J. Huang and D. Hsu, "Fiber-grating-based optical CDMA spectral coding with nearly orthogonal M-sequence codes", IEEE Photonics Tech. Lett., Vol.12, No.9, pp.1252~1254, 2000.
- [6] J. Huang and D. Hsu, "Fiber-grating-based optical CDMA spectral coding with nearly orthogonal M-sequence codes", IEEE Photonics Tech. Lett., Vol.12, No.9, pp.1252~1254, 2000.
- [7] B. Kim, S. Park, Y. Yeon and B. Kim, "Radio-over-fiber system using fiber-grating-based optical CDMA with modified PN codes", IEEE Photonics Lett., Vol.15, No.10, pp.1485~1487, OCT., 2003.
- [8] S. Park, B. Kim and B. Kim, "An OCDMA scheme to reduce multiple access interference and enhance performance for optical subscriber access networks", ETRI Journal., Vol.26, No.1, pp.13~20, Feb., 2004.
- [9] M. J. L. Cahill, G. J. Pendock, and D. D. Sampson, "Hybrid coherence multiplexing/coarse wavelength-division multiplexing passive optical network for customer access", IEEE Photonics Lett., Vol.9, No.7, pp.1032~1034, 1997.
- [10] T. Dennis and J. F. Young, "Optical implementation of

- bipolar codes”, IEEE J. of Quantum Electronics, Vol.35, No. 3, pp.287~291, 1999.
- [11] A. S. Holmes and R. R. A. Syms, “All optical CDMA using Quasai-Prime codes”, IEEE J. of Lightwave Tech., Vol. LT-10, No.2, pp.279~286, Feb., 1992.
- [12] L. R. Chen, “Flexible fiber Bragg grating encoder/decoder for hybrid wavelength-time optical CDMA”, IEEE Photonics Tech. Lett., Vol.13, No.11, pp.1233~1235, 2001.
- [13] K. Yu, J. Shin, and N. Park, “Wavelength-time spreading optical CDMA system using wavelength multiplexers and mirrored fiber delay lines”, IEEE Photonics Tech. Lett., Vol. 12, No.9, pp.1278~1280, 2000.
- [14] G. C. Yang, et al, “Performance comparison of multiwavelength CDMA and WDMA+CDMA for fiber optic networks”, IEEE Trans. Commun., Vol.45, 1426-1433,(1997) No.18, pp.1664~1665, 1996.
- [15] Y. Yeon, S. Park, B. Kim , et al, “The Two-dimensional Optical CDMA Using The Novel Balanced Modified PN matrix codes”, ICACT 2004, Pyeoung-chang. Vol.1, 179~182, 2004.
- [16] 연영휘, 박상조의 3인, “2차원 동기식 balanced 광 CDMA 제안”, 한국광학회/한국통신학회 Photonics conference, TP07, 2004.11.
- [17] C. F. Lam, *Multi-wavelength optical code-division-multiple-access communication systems* , dissertation Ph. D, UCLA, pp.38~42, 1999.
- [18] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, 2nd edition,(John wiley & Sons Inc., pp.170~172, 1997.



박 상 조

e-mail : parks@seowon.ac.kr

1983년 서울대학교 제어계측공학과(학사)

1985년 서울대학교 대학원 제어계측공학과(석사)

1999년 일본 오사카대학 통신공학과(공학 박사)

1984년~1991 삼성전자 종합연구소 과장

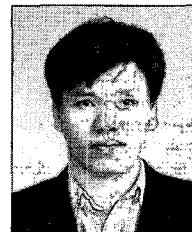
1992년~2000년 한국전자통신연구원 선임연구원

1995년~1996년 오사카대학 연구생

2003년~2006년 한국전자통신연구원 초빙책임연구원

2000년~현재 서원대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

관심분야 : 광무선 액세스 네트워크, 광 CDMA, 광센서네트워크



김 봉 규

e-mail : bongkim@etri.re.kr

1989년 한양대학교 물리학과(학사)

1992년 한국과학기술원 물리학과(석사)

1996년 한국과학기술원 물리학과(박사)

1996년~1999년 한국과학기술연구원 Post-doc.

1999년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

관심분야 : 광통신시스템, 광센서네트워크, 광가입자망