

2차원 광부호분할 다중접속 시스템에 의한 영상의 병렬 전송과 복원법

論 文
49D-12-6

Parallel Transmission and Recovery Methods of Images Using the Two Dimensional Fiber-Optic Code-Division Multiple-Access System

李 泰 勳* · 朴 永 在** · 徐 翊 壽** · 朴 珍 培***
(Tae-Hoon Lee · Young-Jae Park · Ik-Su Seo · Jin-Bae Park)

Abstract - Two-dimensional(2-D) fiber-optic code-division multiple-access(FO-CDMA) system utilizes the optical orthogonal signature pattern code(OOSPC) to encode and decode 2-D data. Encoded 2-D data are spatially multiplexed and transmitted through an image fiber and receiver recovers the intended data by means of thresholding process. OOSPC's construction methods based on expansion of the optical orthogonal code, which is used in one-dimensional(1-D) FO-CDMA system, are introduced. Each OOSPC's performances are compared by using the bit error rate(BER) of interfering OOSPC's of other users. From the results we verify that a balanced incomplete block design(BIBD) construction has the best performance among other methods. We also propose a decomposed bit-plane method for parallel transmission and recovery of 256 gray-scale images using OOSPC's constructed by the BIBD method. The simulation result encourages the feasibility of parallel transmission and recovery of multiuser's images.

Key Words : Two-dimensional fiber-optic CDMA, Parallel transmission, OOSPC, BIBD, decomposed bit-plane method

1. 서 론

부호분할 다중접속(CDMA : code division multiple access) 시스템은 여러 사용자가 독립적으로 동시에 같은 주파수 대역을 공유할 수 있는 부호를 할당받아 정보를 전송하고 복원하는 통신 시스템이다. 광CDMA(FO-CDMA; fiber-optic code division multiple access) 시스템은 채널로 사용하는 광섬유의 광대역 특성으로 인해 다중 사용자 간 부가적인 네트워크 제어 없이 낮은 정보율의 전기적 혹은 광신호를 높은 정보율의 광 펄스 시퀀스(optical pulse sequences)로 부호화 하여 동기 혹은 비동기 방식으로 통신할 수 있어 차세대 고속 광통신망으로 제안되었다.

일반적으로, 광통신에서 신호 대역폭은 광 전송자(optical carrier)의 높은 주파수로 인해 1 THz 이상이지만, 실제 비트율(bit rate)은 광섬유 분산(dispersion), 비선형성(nonlinearity), 전기적 소자의 처리속도에 의해 10 Gb/s 이하로 제한되며 채널 대역폭은 주로 광 네트워크 시스템의 송신단에서 전기적 신호를 광신호로 변환하거나 수신단에서 광신호를 전기적 신호로 변환하는 전기적 신호처리 소자에 의해 제한된다[1]. 따라서 광소자가 전기적 소자에 비해 고속의 신호처리가 가능하므로 향후 광통신은 모든 신호를 광소자를 사용하여 처리하는 것이 바람직하다. 그러나, 아직 고속의 광소자가 개발

되지 않아 광통신에서 비트율을 향상시키는 방법은 하나의 채널을 보다 효율적으로 사용하기 위해 다중화 기법을 이용하고 다중접속이 가능한 양방향 광통신 시스템에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

이러한 광통신 시스템에는 시분할 다중접속(TDMA), 파장분할 다중접속(WDMA), 부호분할 다중접속(CDMA) 시스템이 있다[2]. 그러나 기존의 광통신 시스템은 의료영상, 디지털 방송과 같은 대용량의 데이터를 고속 전송하는데 한계를 지니고 있다. 이에 대한 대안으로 2차원 데이터의 병렬 전송과 다중접속이 가능한 2차원 광CDMA 시스템이 제안되었으며 2차원 데이터를 부호화하는데 사용되는 광직교패턴코드 생성법에 대한 다양한 방법이 제시되었다[3,4].

2차원 광CDMA 시스템은 영상 광섬유(image fiber)를 채널로 사용하여 대용량의 2차원 데이터를 병렬 전송할 수 있는 장점을 지니고 있으므로 고속 전송과 보안을 중요시하는 근거리 고속 광통신망에 적합한 시스템이라 할 수 있다. 본 논문의 2장에서 2차원 광CDMA 시스템에 대해 간략히 소개한다.

2차원 광CDMA 시스템은 1차원 광CDMA 시스템과 마찬가지로 광직교성을 만족하는 광직교패턴코드(OOSPC : optical orthogonal signature pattern code)를 각 사용자에게 할당하여 2차원 입력 데이터를 부호화하며 광직교패턴코드 생성법 중에는 순열조합론(combinatorics)에 의해 광직교코드를 광직교패턴코드로 확장한 BIBD(balanced incomplete block design) 생성법, FPG(finite projective geometry) 생성법, Wilson 생성법이 있다[4]. 시스템 성능평가를 위해서, 사용자에게 할당한 코드간 간섭 잡음에 대한 확률밀도함수로부터 유도되는 비트 오류율(BER)을 사용한 경우, 여러 가중치에 따른 임계치에 대한 비트 오류율의 비교와, 최소 비트 오류율

* 正 會 員 : 延世大 電氣電子工學科 博士課程
** 準 會 員 : 延世大 電氣電子工學科 碩士課程
*** 正 會 員 : 延世大 電氣電子工學科 副教授 · Ph.D
接受日字 : 2000年 3月 8日
最終完了 : 2000年 11月 11日

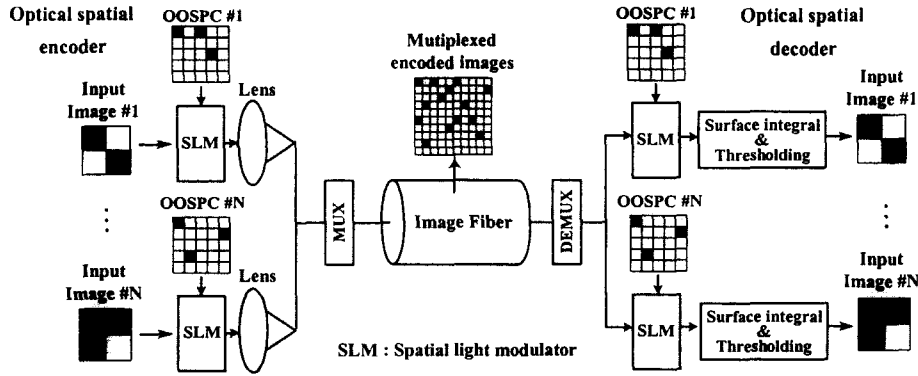


그림 1 2차원 광CDMA 시스템의 개략도
Fig. 1 Schematic of a 2-D fiber-optic CDMA system

갯도록 하는 임계치에 따른 동시 사용자 수에 대한 비트 오율의 비교를 통하여 BIBD 생성법이 다른 생성법에 비해서 가장 좋은 성능을 나타내는 광직교패턴코드로 제시된 바 있다[5]. 3장에서 광직교패턴코드의 생성법과 시스템 성능분석을 위한 비트 오율을 유도하는 과정을 나타내었다.

4장에서는 2차원 광CDMA 시스템을 사용하여 256 그레이스케일 영상의 병렬 전송과 복원법을 처음으로 제시하며 이를 수식화 하였다. 제안한 방식을 분할 비트평면 방식(decomposed bit-plane method)으로 명하고, 우수한 성능의 광직교패턴코드로 제시된 BIBD 패턴코드를 사용하여 사용자 두 명의 입력 영상의 병렬 전송과 복원법을 5장의 모의 실험을 통해 입증하였다.

2. 2차원 광부호분할 다중접속 시스템

기존의 1차원 광CDMA 시스템은 단일 모드 광섬유를 채널로 사용하여 데이터를 직렬 전송함으로써 10Gb/s 이하의 전송률을 지니는 반면에, 대용량의 2차원 데이터를 고속으로 전송하기 위해 병렬 전송과 다중 접속이 가능한 2차원 광CDMA 시스템은 영상 광섬유를 채널로 사용하여 최대 10 Tb/s의 전송률을 가지며 공간 광부호기와 같은 광소자를 이용하여 부호화와 복호화 과정을 광학적으로 처리한다[6].

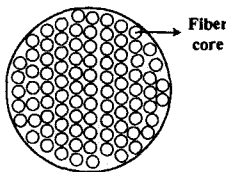


그림 2 영상 광섬유의 단면적
Fig. 2 Cross section of an image fiber

그림 1은 제안된 2차원 광CDMA 시스템의 개략도이다[3]. N명의 사용자의 입력 영상 데이터는 할당된 광직교패턴코드로 공간광부호기(SLM : Spatial light modulator)를 통하여 부호화되며 렌즈를 통해 영상 광섬유에 다중화 되어 병렬 전송된다. 수신단에서는 전송되어 온 영상과 할당된 광직교패

턴코드 간의 비교과정, 면적적분(surface integral), 임계치 과정을 통하여 원래의 영상을 복원한다. 그림 2는 영상 광섬유의 단면을 보여주고 있다. 영상 광섬유는 수 만개의 광다발 코어를 지니고 있으며 이론적으로 코어들은 영상정보의 픽셀들을 나타낼 수 있다. 광원과 렌즈에 의해 광섬유에 집적되는 영상정보는 광섬유의 특성상 왜곡없이 수신단까지 전송될 수 있으며 따라서 영상정보의 직렬변환없이 병렬전송이 가능하다. 상업적으로 생산되는 광다발의 직경은 2.2mm 이하이다.

다중화 패턴 영상이 역다중화(demultiplexing)를 통해 N명의 사용자에게 나눠져 원하는 입력 영상을 복원하기 위해서는 사용자에게 할당된 광직교패턴코드는 광직교성을 만족해야 하며, 다음의 두 조건을 만족한다.

- (조건1) 자기상관성: 자기 자신의 패턴이 행·열방향 이동을 갖더라도 패턴은 구분되어야 한다.
- (조건2) 상호상관성: 어떠한 2개의 패턴간에 행·열방향 이동을 갖더라도 구분되어야 한다.

단, 전송과정에서 광다발의 꼬임은 고려하지 않는다.

두 가지 조건에서 광직교성을 만족하기 위해서는 패턴 코드의 행·열방향의 이동이 있더라도 자기상관값은 상호상관값보다 크거나 같아야 한다. 크기가 (M×M)인 두 개의 패턴코드 E^q, E^{q'}에 대한 자기상관성과 상호상관성은 식 (1)과 식 (2)로 표현한다[3].

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M e_{i,j}^{(q)} e_{i,j}^{(q)} \oplus_{k,l} \begin{cases} = w_q & \text{for } k=l=0 \\ \leq \lambda_a & \text{for } 1 \leq (k,l) \leq M-1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M e_{i,j}^{(q)} e_{i,j}^{(q')} \oplus_{k,l} \leq \lambda_c \quad \text{for } q \neq q', 1 \leq (k,l) \leq M-1 \quad (2)$$

여기서, e_{i,j}^(q)는 광직교패턴코드 E^(q)행렬의 i번째 행, j번째 열의 원소이며 e_{i,j}^(q) ⊕_{k,l}은 E^(q)의 행·열방향으로 이동한 패턴 코드의 원소를 나타내며 ⊕는 modulo-M을 뜻한다. w_q는 행·열방향의 이동이 없는 자기 자신의 광직교패턴코드의 자기상관값으로 이를 가중치라 한다. 패턴코드는 식 (1)에서 행·열방향의 이동이 없을 경우에는 w_q, 이동이 있을 경우에는 λ_a이하여만 하고, 식 (2)에서 상호상관값은

λ_c 이하여만 주어진 광직교성을 만족한다. 광직교패턴코드의 표현 $(mn, w, \lambda_a, \lambda_c)$ 에서 $mn, w, \lambda_a, \lambda_c$ 는 각각 패턴의 크기, 가중치(패턴내의 1의 수), 자기상관값, 상호상관값을 나타낸다. 패턴코드 인자가 $N(M^2, w, \lambda_a=1, \lambda_c=1)$ 일 때 생성 가능한 패턴코드 수 N 은 다음과 같다.

$$N \leq \frac{M^2-1}{w(w-1)} \quad (3)$$

3. 광직교패턴코드 생성법과 비트 오류

광통신에서 빛의 세기 감소(power loss), 분산(dispersion)은 매우 중요한 고려 대상이지만 본 논문에서는 광섬유의 특성보다는 코드 간 간섭잡음에 의한 에러 발생 확률을 나타내는 비트 오류율을 사용한 시스템 성능 평가에 집중하고자 한다. 따라서 최소의 비트 오류율을 지니는 광직교패턴코드 생성법에 대해서만 고려한다.

3.1 광직교패턴코드 생성법

광직교패턴코드의 생성법 가운데 순열조합론에 의해 생성할 수 있는 광직교패턴코드에는 BIBD 생성법, FPG 생성법, Wilson 생성법 등이 있다.

BIBD 생성법은 예를 들면, 소수 $4m+3$ 에 대해 GF(Galois field)를 사용하여 식 (4)의 파라미터를 갖는 블록 집합 또는 코드워드 생성법을 이용한다[7-8].

$$B[v, b, r, k, \lambda] = B[4m+3, 4m+3, 2m+1, 2m+1, m] \quad (4)$$

여기서, 배열 B 의 파라미터 v, b, r, k, λ 는, 블록을 채우는 오브젝트의 총수, 전체 블록 수, 각 오브젝트가 나타나는 블록의 수, 각 블록이 가지는 다른 오브젝트의 수, 다른 물체의 쌍이 나타나는 블록의 수를 각각 나타낸다. 광직교패턴코드를 생성하기 위해 BIBD의 파라미터는 식 (5)를 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} bk &= vr \\ r(k-1) &= \lambda(v-1) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)를 만족하는 배열을 이용하여 생성한 광직교패턴코드는 식 (6)의 파라미터를 갖는다. 2차원 배열의 b, v 는 광직교패턴코드에서 각각 패턴코드의 수와 패턴 안의 1의 개수를 나타낸다.

$$[M^2, w, \lambda_a, \lambda_c] = [(4m+3)^2, 2m+1, m, 1] \quad (6)$$

여기서, 소수 $M=4m+3$ 에서 m 은 정수이고, GF(M)는 α 를 기본 원소(primitive element)로 갖는다. 2차원 배열로부터 생성한 광직교패턴코드의 1의 위치를 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \{[(1, j), (\alpha^2, j\alpha^2), (\alpha^4, j\alpha^4), \dots, (\alpha^{4m}, j\alpha^{4m})] \\ j=0, 1, 2, \dots, M-1\} \\ [(0, 1), (0, \alpha^2), (0, \alpha^4), \dots, (0, \alpha^{4m})] \end{aligned} \quad (7)$$

단, 여기서 광직교패턴코드의 (v, h) 위치는 왼쪽 맨 위에서부터 v 만큼 수직이동과 h 만큼의 수평이동을 나타낸다. 이때 생성 가능한 최대 광직교패턴코드의 수는 $M+1$ 이며 식 (1)과 식 (2)으로부터 위의 과정으로 얻은 광직교패턴코드의 자기상관성과 상호상관성을 확인할 수 있다.

FPG를 이용한 생성법은 주어진 GF($q=p^r$)로부터 식 (8)을 만족하는 BIBD배열을 이용하여 광직교패턴코드를 생성하는 방법을 말한다[1].

$$[v, b, r, k, \lambda] = \left[\frac{q^{n+1}-1}{q-1}, \frac{q^{n+1}-1}{q-1}, \frac{q^n-1}{q-1}, \frac{q^n-1}{q-1}, \frac{q^{n-1}-1}{q-1} \right] \quad (8)$$

여기서, p, q 는 소수이고, r 은 양의 정수이다.

주어진 GF($q=p^r$)는 $(a_0, a_1, \dots, a_i, \dots, a_{w-1})$ 를 원소로 하는 n 차원의 projective geometry PG(n, p^r)의 벡터공간을 만들며 식 (8)을 만족하는 BIBD생성법으로부터 생성 가능한 광직교패턴코드 $((q^{n+1}-1/q-1)^2, q^n-1/q-1, q^n-1/q-1, 1)$ 식 (9)와 같은 1의 위치를 가진다.

$$\begin{aligned} \{[(a_0, ja_0), (a_1, ja_1), \dots, (a_{w-1}, ja_{w-1})] \\ j=0, 1, 2, \dots, M-1\} \\ [(0, a_0), (0, a_1), (0, a_2), \dots, (0, a_{w-1})] \end{aligned} \quad (9)$$

이때 생성 가능한 최대 광직교패턴코드의 수는 $M+1$ 이다.

Wilson 생성법은 PG의 변형으로 최적 광직교코드 $(n, w, 1, 1)$ 를 이용하여 광직교패턴코드를 만든다[1,4]. 광직교코드는 PG(d, q)로부터 만들어지며, $n=q^{d+1}-1/q-1, w=q+1$ 을 만족한다. d 는 GF(q)의 차원을 나타낸다. 예를 들어, 가중치 $w=2m+1$ 이고, 소수 $n=w(w-1)t+1$ 을 만족하는 GF(n)로부터 만들어진 광직교코드의 1의 위치를 나타내면 식 (10)과 같다.

$$\{[a^{mi}, a^{mi+2mt}, a^{mi+4mt}, \dots, a^{mi+4m^2t}] \\ i=0, 1, 2, \dots, t-1\} \quad (10)$$

여기서, m, a 는 각각 양의 정수이고, α 는 GF(n)의 기본 원소이다.

Wilson 생성법에서 PG에 의해 만들어진 t 개의 광직교코드의 위치 블록을 식 (11)과 같다고 가정하자.

$$\{[a_{i,0}, a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,w-1}] \\ i=0, 1, 2, \dots, t-1\} \quad (11)$$

식 (11)로부터 만들어진 $(n^2, w, 1, 1)$ 광직교패턴코드의 위치 블록은 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} \{[(a_{i,0}, ja_{i,0}), (a_{i,1}, ja_{i,1}), (a_{i,2}, ja_{i,2}), \\ \dots, (a_{i,w-1}, ja_{i,w-1})] \\ : i=0, 1, 2, \dots, t-1 \quad j=0, 1, 2, \dots, n-1\} \end{aligned}$$

$$[(0, a_{i,0}), (0, a_{i,1}), (0, a_{i,2}), \dots, (0, a_{i,w-1})] \\ : i = 0, 1, 2, \dots, t-1$$

이때 생성 가능한 최대 광직교패턴코드 수는 $t(n+1)$ 이다.

3.2 시스템 성능 평가를 위한 비트 오류

2차원 광CDMA에서 시스템 성능 평가를 위한 비트 오류는 코드 간 간섭 잡음에 대한 확률밀도함수로부터 유도한다. 채널 잡음을 고려하지 않을 경우, 2차원 광CDMA 시스템은 입력 영상의 복원 과정에서 코드 간 간섭 잡음에 의해 0을 1로 잘못 판정할 경우 에러가 발생한다. 패턴의 크기가 $(M \times M)$ 이고 가중치가 w 이며 상호상관값 $\lambda_c = 1$ 인 경우, 두 개의 패턴코드의 한 칩 픽셀(chip pixel)이 중복될 확률은 w^2/M^2 이지만, 보내려는 영상이 1/2의 확률로 ON-OFF Keying 변조된다면, 한 픽셀이 중복될 확률은 $w^2/2M^2$ 이 된다. 따라서 2개의 광직교패턴코드의 각 픽셀이 중복되지 않을 확률은 $(1 - w^2/2M^2)$ 이다. 중복 픽셀 u 에 대한 2개의 패턴코드 간 간섭 잡음에 대한 확률밀도함수는 식 (13)과 같다.

$$P(u) = \left(1 - \frac{w^2}{2M^2}\right) \delta(u) + \frac{w^2}{2M^2} \delta(u-1) \quad (13)$$

여기서, δ 는 'Dirac delta' 함수이며 광직교패턴코드의 행·열방향 이동은 칩 동기(chip synchronous)되었다고 가정한다.

I_1 을 사용자 1에 더해지는 다른 사용자에 의한 간섭잡음 세기의 총합을 나타내는 확률변수라면, 확률변수 I_1 은 이항 분포를 나타내므로 $N-1$ 명의 간섭잡음에 대한 확률밀도함수는 식 (14)와 같다[9].

$$P(I_1) = \sum_{i=0}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{w^2}{2M^2}\right)^i \left(1 - \frac{w^2}{2M^2}\right)^{N-1-i} \delta(I_1 - i) \quad (14)$$

영상 광섬유의 재료적 특성을 고려하지 않을 경우에 광CDMA 시스템에서 발생하는 에러는 임계치 과정에서 다중 사용자의 간섭잡음에 의해 0인 데이터를 임계치 이상의 값으로 잘못 판정하여 1로 인식할 때 발생하게 된다. 2차원 광CDMA 시스템에서는 픽셀 당 오류 발생률을 비트 오류로 정의하며, 이를 이용하여 시스템의 성능을 평가한다. 광CDMA 시스템에서 비트 오류는 식 (15)와 같이 정의한다[10].

$$BER = \frac{1}{2} \int_{T_h}^{\infty} P(I_1) dI_1 \quad (15)$$

여기서, $P(I_1)$ 는 간섭 잡음 확률변수 I_1 의 정확한 확률밀도함수를 나타낸다.

실제로 정확한 확률밀도함수를 구하기란 매우 힘든 일이기 때문에 칩 동기화 조건에서 구해진 식 (14)는 픽셀이 가장 크게 중복되는 경우이기 때문에 BER의 상한값에 대한 근

사식으로 쓰이고, 비동기화 조건에서는 가장 작게 중복되는 경우를 나타내므로 BER의 하한값에 대한 근사식을 유도해야 한다[11].

본 논문은 시스템의 동기화를 보장하는 경우이므로 식 (14)와 식 (15)를 이용하여 N 개의 광직교패턴코드의 간섭잡음에 대한 비트 오류의 상한값에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$BER < \frac{1}{2} \int_{T_h}^{\infty} P_{I_1}(I_1) dI_1 \quad (16) \\ < \frac{1}{2} \sum_{i=T_h}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{w^2}{2M^2}\right)^i \left(1 - \frac{w^2}{2M^2}\right)^{N-1-i}$$

4. 영상의 병렬 전송과 복원법

이제까지의 2차원 광CDMA를 이용한 영상 전송은 기호와 다름없는 이진평면의 전송만을 다루어 왔다. 이는 실생활에서 쓰이는 '영상'과는 적잖은 거리가 있다. 실질적인 영상을 전송하기 위해서 다중 사용자의 256 그레이 스케일 영상을 병렬 전송하는 방법을 분할 비트평면 방식이라 칭하고 이를 구체적으로 제시하고자 한다.

상용화된 공간 광부호기에는 (128×128) , (256×256) , (512×512) 의 크기를 갖는 것이 있지만 영상 광섬유를 통해 한번에 전송할 수 있는 크기는 공간 광부호기, 렌즈 등의 한계에 의해 제한된다[5]. 이러한 경우는 영상을 전송 가능한 크기만 큼 여러 블록으로 나누어서 전송하는 방식을 취할 수도 있으나 다음의 과정은 이러한 제한이 없다고 가정한다.

분할 비트평면 방식은 부호화 과정 전에 256 그레이 스케일 영상을 8개의 이진 비트 평면(binary bit-plane)으로 분할한다. 즉, 입력 영상의 각 픽셀의 그레이 스케일 값을 8비트로 디지털화 한 후 각 픽셀의 첫 번째 비트부터 마지막 비트까지 모아 8개의 비트 평면을 만들며 이진 영상의 병렬 전송과 같은 방식을 따른다.

수신단에서 각 비트 평면을 복원하고 난 뒤 D/A 변환에 의해 원하는 사용자의 입력 영상을 복원한다. 분할 비트평면 방식에서 각 입력 영상의 픽셀은 각 비트 평면의 각 픽셀에 대해 한 번의 임계치 과정을 거치므로 전체적으로 8번의 임계치 과정을 거친다. 따라서, 분할 비트평면 방식에 의한 $(N \times M)$ 영상의 임계치 과정수는 $8N^2$ 이다.

현재 영상정보전송은 각 픽셀의 데이터값을 직렬로 전송하는 방법을 사용하고 있으나, 제안된 방법에 의하면 직렬변환을 거치지 않고 병렬전송할 수 있으므로 전송속도의 큰 향상을 기대해 볼 수 있다. 그림 3은 분할 비트평면 방식에 의한 영상의 병렬 전송과 복원과정을 나타낸다.

5. 성능분석 및 고찰

5.1 성능 비교

첫 번째 성능 비교로서는 제가지 생성법으로 만들 수 있는 패턴 중에서 크기가 같은 패턴을 가지고 임계치에 대한 비트 오류를 비교한다. 두 번째는 각 생성법에 대해 최소의 비트 오류를 갖도록 임계치를 정하고 동시 사용자 수에 대한 비트

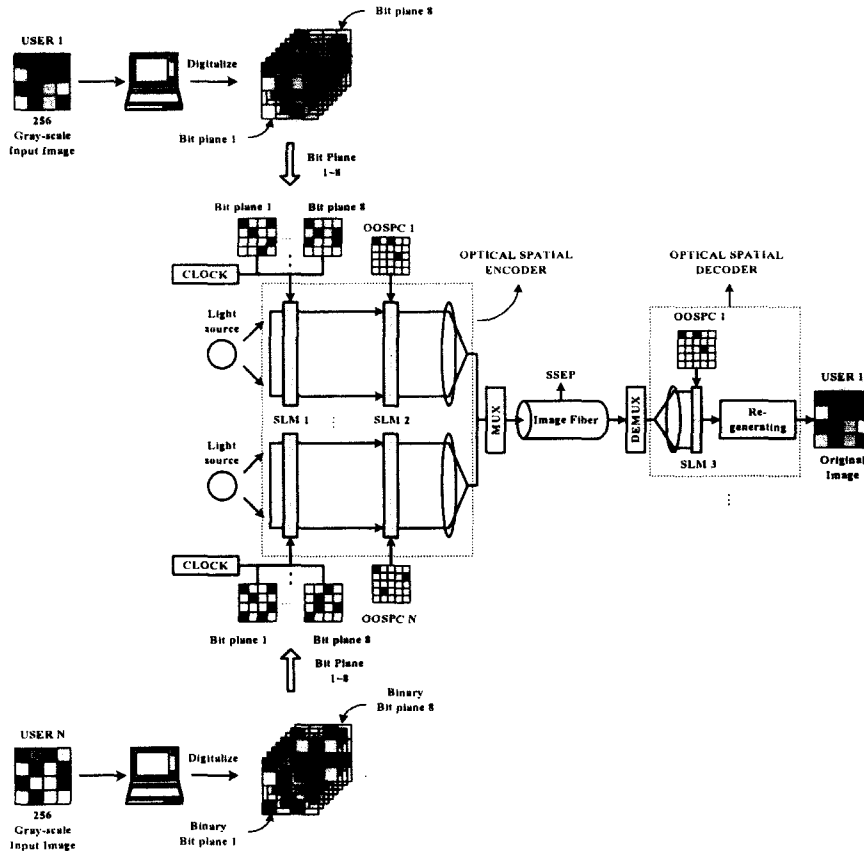


그림 3 256 흑백 영상의 병렬 전송과 복원(분할 비트평면 방식)
 Fig. 3 Parallel transmission and recovery of 256 gray-scale image (decomposed bit-plane method)

오율을 비교한다.

그림 4는 광직교패턴코드 생성법 가운데 2차원 광CDMA 시스템에 적합한 BIBD 생성법, FPG 생성법에 의해 만들 수 있는 코드 중 패턴 크기가 같지만 가중치는 서로 다른, 각각의 $(31^2, 15, 7, 1)$, $(31^2, 6, 1, 1)$, $(31^2, 3, 1, 1)$ 패턴코드에 대해 사용자 수를 32로 정하고 임계치에 대한 비트 오율을 비교하였다. BIBD 생성법과 FPG 생성법의 경우에 패턴크기가 31일 경우에 생성 가능한 패턴은 32이고, Wilson 생성법의 경우는 160개이므로 동시 사용자 수를 32로 정했다. BIBD 생성법에 의해 만들어진 $(31^2, 15, 7, 1)$ 패턴코드는 같은 크기의 다른 패턴보다 가중치가 크기 때문에 임계치를 높게 잡아 다른 생성법에 의해 만들어진 패턴코드보다 작은 비트 오율을 가질 수 있다.

그림 5는 각 생성법에 대해 최소 비트 오율을 갖도록 임계치를 선택하였을 경우에 동시사용자에 대한 비트 오율을 비교한다. 결과에서 세 가지 생성법 가운데 BIBD 생성법이 동시 사용자에 대해 최소 비트 오율을 가짐을 알 수 있다.

5.2 분할 비트평면 방식에 의한 흑백 영상의 병렬 전송과 복원

본 모의실험은 다른 생성법에 비해 좋은 성능을 가지는 광직교패턴코드 생성법으로 제시된 BIBD 생성법에 의해 만들어진 $(31^2, 15, 7, 1)$ 패턴코드를 사용자 2명에게 할당하여 각

사용자의 영상을 분할 비트평면 방식에 따라 병렬 전송하고 각 사용자의 입력 영상을 복원을 모의실험을 통해 입증한다.

BIBD 생성법에 의해 만들어진 광직교패턴코드 $(31^2, 15, 7, 1)$ 의 픽셀 위치는 식 (7)에 의해 $[(1, j), (a^2, ja^2), \dots, (a^{28}, ja^{28})]$ 와 $[(0, 1), (0, a^2), \dots, (0, a^{28})]$ 이다. 여기서, $j = \{0, 1, \dots, 14\}$ 이고 GF(31)로부터 기본 원소 $a = 3$ 이다. 생성한 광직교패턴코드 가운데 사용자 두 명에게 할당한 패턴코드는 $[(1, 1), (9, 9), (19, 19), (16, 16), (20, 20), (25, 25), (8, 8), (10, 10), (28, 28), (4, 4), (5, 5), (14, 14), (2, 2), (18, 18), (7, 7)]$ 과 $[(0, 1), (0, 9), (0, 19), (0, 16), (0, 20), (0, 25), (0, 8), (0, 10), (0, 28), (0, 4), (0, 5), (0, 14), (0, 2), (0, 18), (0, 7)]$ 이다. 패턴코드의 크기는 31이고, 이전 공간 광부호기의 크기는 (512×512) 이므로, 채널을 통해 한 번에 병렬 전송할 수 있는 영상 블록의 크기는 (16×16) 이다. 또한 입력 영상의 크기는 (256×256) 이므로, 하나의 영상이 모두 전송되기 위한 횟수는 216이다.

그림 6의 (a)와 (b)는 분할 비트평면 방식을 사용하여 복원된 사용자 1, 2의 영상을 나타낸다.

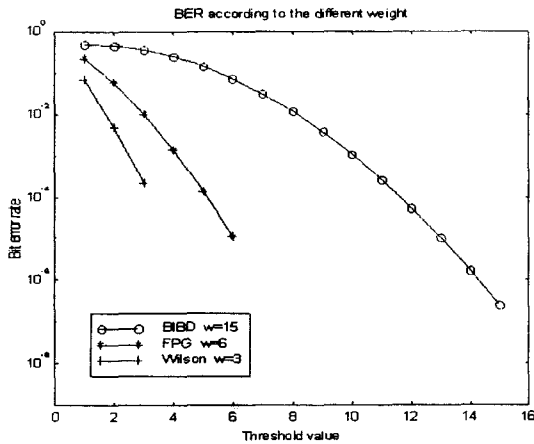


그림 4 임계치에 대한 비트 오율 비교
(M=31, N=32, w=15, 6, 3)
Fig. 4 BER v.s. the threshold value

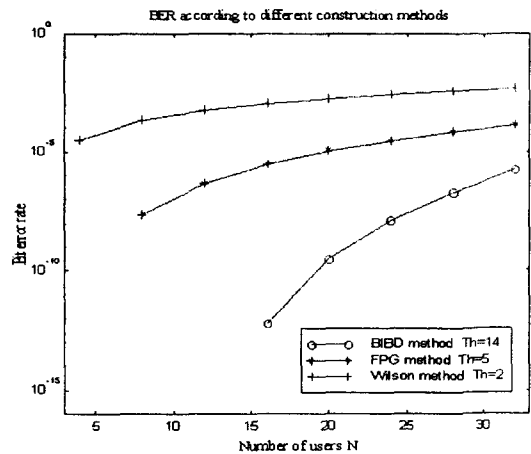


그림 5 동시사용자 수와 비트 오율 비교
Fig. 5 BER v.s. the number of simultaneous users

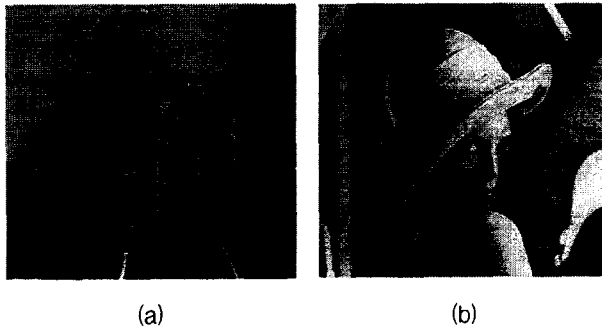


그림 6 수신단에서 각 사용자의 복원 영상
(a)사용자1의 복원영상 (b)사용자2의 복원영상
Fig. 6 User's images after recovery process
(a) recoverd image of user1
(b) recoverd image of user2

6. 결 론

본 논문은 2차원 광CDMA 시스템에 의한 영상의 병렬 전송과 복원법을 수식화 하고 우수한 광직교패턴코드 생성법으로 제안된 BIBD 생성법에 의해 만들어진 광직교패턴코드를 사용자에게 할당하여 근거리 통신망에 적합한 분할 비트평면 으방식에 의한 흑백영상의 병렬 전송과 복원을 모의실험을 통해 입증하였다. 따라서 기존의 2차원 광CDMA 시스템을 가지고 단순한 이진영상을 전송함과 달리 실제 영상을 전송 하는 방법을 제시함으로써 2차원 광CDMA 시스템의 적용 범 위를 한 차원 높일 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 정보통신연구진흥원의 '98 대학기초연구지원 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Jawad A. Salehi, "Code Division multiple access Techniques in Optical Fiber Networks-Part I: Fundamental Principles", IEEE Trans. on Communications, Vol. 7, No. 8, pp. 824-833, Aug. 1989.
- [2] Govind P. Agrawal, "Fiber-optic communication systems, 2nd ed.", New York, Wiley, 1997.
- [3] Ken-ichi Kitayama, "Novel Spatial Spread Spectrum Based Fiber Optic CDMA Networks for image Transmission", IEEE J. on Selected Areas in Communications, Vol. 12, No. 4, pp. 762-772, May 1994.
- [4] Guu-Chang Yang and Wing C. Kwong, "Two-Dimensional Spatial Signature Patterns," IEEE Transactions on Communications, Vol. 44, No. 2, pp. 184-191, Feb. 1996.
- [5] 이태훈, 박영재, 박진배, "2차원 데이터의 병렬 전송을 위한 광부호분할 다중접속 시스템의 성능에 관한 연구" 한국통신학회지 Vol. 25, No. 1, 2000. 1
- [6] C. Dorrer, F. Salin, F. Verluise and J. P. Huignard, "Programmable Phase Control of Femtosecond Pulses by Use of a Nonpixelated Spatial Light Modulator", Optics Letters, Vol. 23, No. 9, pp. 709-711, May 1998
- [7] Fred S. Pobersts, "Appied Combinatorics", New Jersey, Prentice-Hall, pp. 381-386.
- [8] M. Hall, Jr., "Combinatorial Theory, 2nd ed.", New York, Wiley, 1986.
- [9] Moriya Nakamura and Ken-ichi Kitayama, "System Performances of Optical Space Code Division Multiple-Access-Based Fiber-Optic Two-Dimensional Parallel Data Link," Applied Optics, Vol. 37, No. 14,

pp. 2915-2924, May 1998.

[10] J. A. Salehi, "Code Division multiple access Techniques in Optical Fiber Networks-Part II: Systems Performance Analysis," IEEE Transaction On Communication, Vol. 37, No. 8, pp. 834-842, Aug. 1989.

[11] 이태훈, 박영재, 박진배, "2차원 광부호분할 다중접속 시스템에서 칩 비동기 패턴부호의 비트오류율 하한값 유도", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 3239-3241, 1999.7

저 자 소 개



이 태 훈 (李 泰 勳)

1992년 연세대 전기공학과 졸업. 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 동대학원 전기전자공학과 박사과정
 Tel : 02-2123-2773, Fax : 02-362-4539
 E-mail : hoon@control.yonsei.ac.kr



서 익 수 (徐 翊 壽)

1999년 명지대학교 전기전자공학부 졸업. 1999년~현재 연세대 전기전자공학과 석사과정
 Tel : 02-2123-2773, Fax : 02-362-4539
 E-mail : iksu@control.yonsei.ac.kr



박 영 재 (朴 永 在)

1998년 연세대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동대학원 전기전자공학과 석사과정
 Tel : 02-2123-2773, Fax : 02-362-4539
 E-mail : sorcery@control.yonsei.ac.kr



박 진 배 (朴 珍 培)

1977년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985년~1990년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph.D.) 1990년~1991년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터공학과 조교수 1992년~현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수
 Tel : 02-2123-2773, Fax : 02-362-4539
 E-mail : jbpark@control.yonsei.ac.kr