

에러정정코드를 이용한 2차원 광CDMA 시스템에서의 성능향상

서익수*, 이태훈*, 박진배*, 윤태성**
*연세대학교 전기·컴퓨터공학과 **창원대학교 전기공학과

Performance Enhancement of 2-dimensional optical CDMA systems by using error-correction codes

Ik-Su Seo*, Tae-Hoon Lee*, Jin-Bae Park*, Tae-sung Yoon**
*Yonsei Univ. **ChangWon National Univ.

E-mail : ik-su@control.yonsei.ac.kr

Abstract - In code division multiple access systems using all-optical signal processing, the optical multiple access interference by simultaneous multiple users degrades the system performance and eventually can limit the number of active users. To reduce the effect of the interference, error-correction codes are used in 2-dimensional FO-CDMA systems. In this paper we propose a method of applying product code to 2-dimensional FO-CDMA systems. The proposed coding scheme can correct a random error and burst errors with small redundancy to the conventional case. In result we show significant performance enhancement of the system in terms of BER, the number of active users.

1. 서 론

광부호분할 다중접속 시스템(OCDMA : Optical code-division multiple-access)은 광섬유의 광대역 특성과 부호분할 방식으로 인하여 대용량의 데이터의 전송이 가능하며 동시 사용자의 수를 증가시킬 수 있으며 부가적인 네트워크의 제어없이 비동기식으로 통신할 수 있기 때문에 고속 통신망으로 주목을 받고 있다. 기존의 OCDMA시스템은 광직교코드(OOC : optical orthogonal codes)를 정보 데이터의 비트에 곱하여 부호화를 수행하였으나 광펄스 발전기의 한계로 인하여 정보 비트율은 실제로 수백 Mb/s를 초과하지 못하는 실정이다. 또한 사용자수가 일정할 때 시스템의 성능 향상을 위하여 비트오율(BER)을 낮추기 위해서는 가중치(weight)를 증가시켜야 하는 데 높은 가중치를 사용하는 시스템일 수록 OCDMA의 부호화와 복호화에서 더 큰 전력손실(power loss)을 발생하게 되며 지연선(delay line)이 많아져서 전체 시스템의 비용이 커지게 된다. 이러한 1차원적인 문제점을 보완하고 대용량 데이터의 전송을 위하여 제안된 것이 2차원 OCDMA이다 [1].

2차원 OCDMA의 큰 특징은 데이터의 병렬 전송으로 인한 대용량 데이터의 전송과 지연선이 불필요하다는 것이다. OCDMA 시스템에서의 성능을 저하시키는 가장 큰 원인은 동시 접속한 사용자의 간섭이다. 동시 사용자로부터의 간섭은 결국 주어진 시스템에 대하여 전체 사용자의 수를 제한하게 한다. 이러한 동시 사용자의 간섭으로 인한 시스템의 성능 저하를 막기 위하여 1차원 OCDMA 시스템에서 오류정정부호를 적용한 바 있다 [2][3][4].

2차원 OCDMA 시스템에서 오류정정을 위하여

product 부호를 시스템에 적용한다. 2차원 정보 데이터의 부호화를 위하여 Reed-Solomon 부호를 사용한 기존의 product 부호와는 달리 single parity-check 비트를 정보의 양에 따라서 행과 열에 대하여 덧붙이고 행과 열의 parity check에 대한 parity check를 덧붙이는 방식을 취하여 전체 redundancy를 줄였다. BER 성능의 향상과 동시 사용자 수의 증가를 가져왔으며 같은 패턴 크기와 BER 조건하에서 오류정정부호를 사용한 시스템이 더 우수한 성능을 가짐을 보인다.

2. 2차원 OCDMA 시스템

2차원 OCDMA 시스템은 기존의 OOC에 해당하는 OOSPC(Optical orthogonal signature pattern codes)를 사용하여 2차원의 데이터를 부호화하고 병렬로 전송하며 수신단에서 다시 OOSPC로 복호화가 이루어진다. 2차원의 부호화와 복호화를 위하여 공간 광변조기(SLM : Spatial light modulator)가 사용되는 데 이는 간단한 전기적인 신호에 의해서 2차원 패턴을 만들 수 있기 때문에 1차원 시스템의 높은 가중치에 대한 부담을 덜 수 있다.

그림 1은 2차원 OCDMA 시스템의 개요도이다. 비트 평면(bit-plane)으로 나타내어지는 정보 데이터는 오류정정부호기의 의하여 부호화된다. 오류정정부호기로 부호화된 비트 평면은 공간 광변조기를 통해서 각 사용자 고유의 OOSPC로 다시 부호화 된다. 부호화된 2차원 데이터들은 광섬유 채널로 다중 접속 된다. 수신단에서는 공간 광변조기를 이용하여 전송된 데이터들을 복호화하여 자신의 비트평면을 추출해 낸다. 마지막으로 오류정정부호기를 통하여 발생한 오류를 정정하여 온전한 정보 비트 평면을 복원한다. 전송시 발생한 오류는 다른 사용자의 간섭에 의해 축적된 광신호의 세기가 threshold value값을 넘어설 때 '0'이 '1'로 발생하는 오류라고 가정한다. 정보 비트의 데이터 값 '0'은 자신을 제외한 다른 동시 사용자의 간섭에 의하여 '1'로 변하는 오류가 발생하는 데 데이터 값 '1'이 '0'으로 오류가 발생하는 경우는 불가능하다. 이는 비트 평면이 전송시 빛의 power가 계속 증가 되기 때문이다.[7][8].

3. 2차원 오류정정부호

2차원 오류를 정정하기 위하여 사용되는 product 코드는 각 행과 열에 대하여 1차원 블록 코드를 적용하여 오류가 발생한 좌표를 검출하는 데, burst 오류와 랜덤 오류에 대한 높은 정정 능력을 가지고 있지만 정보의 양에 비해서 부가되는 redundancy가 많기 때문에 전체 코드율(code rate)가 작아지는 단점이 있다[6].

본 논문에서 제시하는 방법은 redundancy를 줄이기

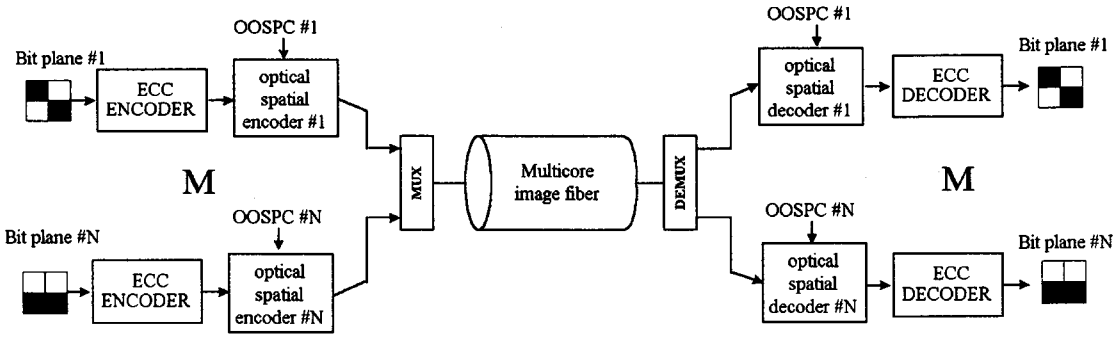


그림 1. 2차원 OCDMA 시스템의 구성도

위하여 각 행과 열의 single parity-check 비트를 정보의 양에 따라 더하는 방식을 사용한다. 예를 들어 그림 2와 같은 정보 비트 평면이 4×4 인 경우에 parity-check field는 $GF(2^2)$ 의 원소값을 가진다. 각각의 행과 열의 방향으로 홀수 번째 비트와 짝수 번째 비트에 대한 parity-check를 정보 비트의 오른 쪽과 밑에 더하게 된다. 행과 열에 대한 parity-check에 대한 parity-check도 checks on checks부분에 더해진다. 이렇게 하여 6×6 의 비트 평면이 되는 데 만약 정보 비트 평면이 9×9 , 16×16 으로 커지면 행과 열의 필드는 $GF(2^3)$, $GF(2^4)$ 의 원소값을 가지며 3, 4개의 비트가 각 행과 열에 대하여 덧붙여지게 된다. 예를 들어 그림 2와 같이 2개의 오류가 3번째 행과 3, 4번째 열이 교차하는 위치에서 발생했을 경우 복호화를 수행하면 오류가 발생한 곳은 '1'로 계산되어져서 오류가 발생한 위치를 알아내고 정정하게 된다.

2차원 OCDMA 시스템에서 쓰이는 product 코드는 single 오류정정을 보장하며 $GF(2^n)$ field에서 $n \times n$ 의 burst 오류를 정정 할 수 있다.

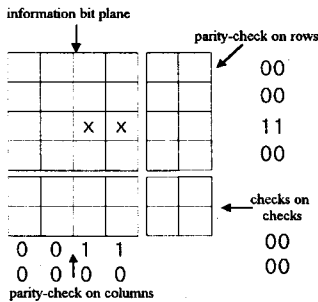


그림 2. 2차원 OCDMA 시스템에 사용되는 product 코드

4. OCDMA 시스템의 성능

4.1 오류정정부호 없는 OCDMA 시스템

OCDMA 시스템의 간섭에 대한 BER 성능 분석을 위하여 전체 동시 사용자수가 N 명이라고 할 때 자신을 제외한 나머지 $N-1$ 명의 다른 사용자는 간섭잡음이 된다. Gaussian approximation을 적용하여 I_1 을 $N-1$ 명의 간섭잡음 확률변수라고 하면 간섭에 의한 확률밀도 함수는 다음과 같다(5).

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

오류정정부호 없는 시스템에서의 비트오류율의 상한값은 다음과 같다.

$$P_e < \frac{1}{2} \sum_{i=Th}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{w^2}{2M^2} \right)^i \left(1 - \frac{w^2}{2M^2} \right)^{N-1-i} \quad (2)$$

여기서 w 는 가중치(weight)이며 Th 는 threshold value이며 Th 는 $w-1$ 의 값을 가진다. M 은 OOSPC의 크기이다.

4.2 오류정정부호를 사용한 OCDMA 시스템

부호화된 전체 정보비트수는 N^2 이고 한 개의 오류정정을 보장하므로 기존의 블록코드에서 코드의 최소거리에 의해 결정되는 t 값을 1로 두면 오류가 발생한 코드를 수신단에서 받을 확률은 다음과 같다.

$$P_{ec} \leq \sum_{i=t-1}^{N^2} \binom{N^2}{i} p^i (1-p)^{N^2-i} \quad (3)$$

여기서 P 는 binary channel에 대한 오류확률이므로 $P = P(1|0) = P(0|1) = 2P_e$ 가 된다.

오류가 발생한 비트 평면을 오류정정 복호화를 수행한 후의 BER은 복화화 과정에서 i 개의 오류가 발생한 경우에 t 개의 오류가 더해질 수 있다는 가정하에서 다음과 같이 나타낸다.

$$P_{ec, ocd} \leq \frac{1}{N^2} \sum_{i=t+1}^{N^2} \binom{N^2}{i} p^i (1-p)^{N^2-i} \quad (4)$$

실제로 오류정정코드를 사용함으로써 1개의 오류정정을 보장하고 2개의 랜덤오류는 부분적으로 정정이 가능하므로 위의 (4)식은 실제의 BER보다 좀 더 높게 나타낸다.

5. 성능분석 및 토의

오류정정부호를 사용한 OCDMA 시스템이 기존의 시스템과 비교하여 위에서 유도한 BER 측면에서 어느 정도의 성능이 향상 되는 지를 비교한다. 그림 3은 같은 크기의 정보 비트 평면일 때 가중치가 각각 3, 5, 7, 9일 때의 동시 사용자 수와 BER를 비교하였다. 여기서 사용된 부호화된 비트 평면의 크기는 $N^2=36$ 이다. 가중치가 커질수록 시스템의 성능은 향상되고 같은 가중치일 경우 오류정정부호를 사용한 시스템의 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그림 4는 그림 3과 같으나 부호화된 비

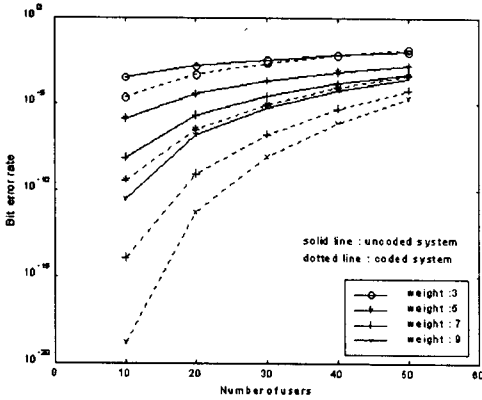


그림 3. 다른 가중치에 대한 BER과 동시 사용자수의 비교(부호화된 비트 평면의 크기 $N^2=36$)

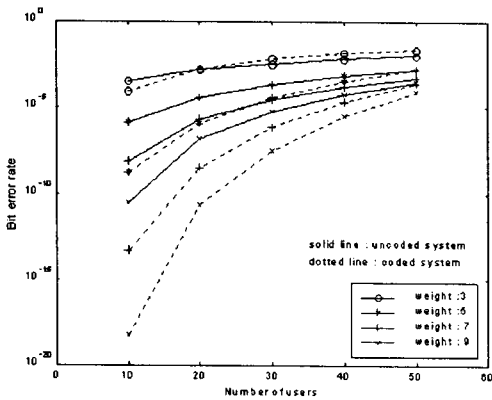


그림 4. 다른 가중치에 대한 BER과 동시 사용자 수의 비교(부호화된 비트 평면 크기 $N^2=144$)

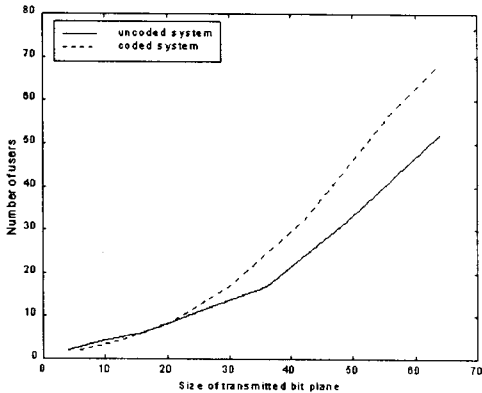


그림 5. BER 10^{-9} 조건에서 전송되는 비트 평면 크기에 대한 동시 사용자 수 비교

트 평면의 크기가 $N^2=144$ 인 경우의 BER을 비교한 것이다. 전반적으로 볼 때 오류정정부호를 사용한 시스템이 향상된 성능을 가지고 있으나 가중치가 3인 경우의 BER을 비교해 보면 사용자 수가 20명을 넘어서면서부터 오히려 오류정정부호를 사용한 시스템의 성능이 저하

표 1. $n^2 \times n^2$ 정보 평면에서의 parity-check

| | |
|-----------------------|------------------|
| Information bit plane | $n^2 \times n^2$ |
| Row parity-check | $n^2 \times n$ |
| Column parity-check | $n \times n^2$ |
| checks on checks | $n \times n$ |
| Total redundancy bits | $2n^3 + n^2$ |

됨을 볼 수 있다. 결과적으로 향상된 성능을 얻기 위하여 오류정정부호를 사용시 정보 비트 평면의 크기에 따라 가중치와 동시 사용자 수를 고려해야 함을 알 수 있다. 그림 5는 오류정정부호가 더해진 비트 평면의 크기와 오류정정부호가 없는 시스템의 비트 평면 크기가 같은 경우, 즉 전송되어지는 비트 평면의 크기가 같은 경우의 동시 사용자 수를 비교한 것이다. 전송되어지는 크기가 같은 경우에도 오류정정부호를 사용한 시스템에서의 동시 사용자 수가 더 많음을 알 수 있다.

결과적으로 product 코드 개념의 랜덤오류와 burst 오류정정 능력이 우수한 오류정정부호를 2차원 OCDMA에 적용함으로써 전체적으로 시스템의 BER의 성능을 향상 시키는 결과를 가져왔다. 하지만 그림 4의 가중치가 3인 경우처럼 큰 비트 평면에 가중치 3을 가진 OOSPC를 적용하는 것이 사용자수가 20명 이상인 경우에는 오히려 성능의 저하를 가져 올 수도 있음을 알 수 있었다. 따라서 오류정정부호의 사용은 예상되는 동시 사용자의 수와 전송될 비트 평면의 크기를 고려해야 함을 알 수 있다.

본 연구는 정보통신연구진흥원 대학기초연구지원사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 : 99-138)

(참 고 문 헌)

- [1]K.Kitayama, "Novel spatial spread spectrum based fiber optic CDMA networks for image transmission", IEEE J. Sel. Areas Comm.,12, 762-772, 1994
- [2]Wu, J.-H., Wu, J., and Tsai, C.-N., "Synchronous fibre-optic code division multiple access networks with error control coding", Electron. Lett., 28, pp.2118-2120, 1992
- [3]Zhang, J.-G., and Picchi, G., "Forward error-correction codes in incoherent optical fibre CDMA networks", Electron. Lett., 29, pp. 1460-1462, 1993
- [4]Zhang, J.-G., "Performance improvement of fibre-optic code division multiple-access systems by using error-correction codes", IEE Proc.-Commun. 144, No. 5, pp.316-321, 1997
- [5]Moriyama N., K. Kitayama, "System performance of optical space code-division multiple-access based fiber-optic two-dimensional parallel data link", Applied Optics, 37, No. 14, 1998.
- [6]Shu L., Daniel J. C, Jr. *Error control coding : fundamentals and applications*, Prentice Hall, 1983.
- [7]PRUCNAL, P.R., SANTORO, M.A., and FAN, T.R., "Spread spectrum fiber-optic local area network using optical processing", J. Lightwave Technol., LT-4, pp547-554, 1986
- [8]CHUNG, F.R.K., SALEHI, J.A., and WEI, V.K., "Optical orthogonal codes : design, analysis, and applications", IEEE Trans. Inf. Theory, 35, pp 595-604, 1989