

초고속 OCDMA 광 네트워크를 위한 최적 2차원 코드 생성 알고리즘

Optimal 2D-Code Search Algorithm for High-speed OCDMA Network

신 종윤, 박 남규

서울대학교 전기·컴퓨터 공학부 광통신 시스템 연구실

jyshin@ieee.org

1. 서론

광학적 코드 분할 다중 접속 방식 (Optical Code Division Multiple Access: OCDMA)은 각각의 사용자에게 고유의 코드를 부여하여 하나의 광 네트워크를 여러 명의 사용자들이 동시에 사용할 수 있게 하는 기술이다^[1-3]. 최근에 많은 연구가 보고된 시간/파장 2차원 code (temporal/wavelength two-dimensional code)는 주어진 비트 에러율 (BER)에 따른 수용할 수 있는 동시 사용자들의 수적인 면에서 기존에 code 구성보다도 보다 성능이 좋다^[1,2]. 하지만, 초고속 광 네트워크를 구현하기 위해서 코드 길이가 짧으면서도 더 많은 동시 사용가능 코드 수를 요구한다. 본 논문에서는 기존에 코드들과 같은 혹은 더 좋은 BER을 가지면서 동시에 코드 길이를 줄이는 반면에 생성 가능한 코드 수를 최대한으로 찾아주어서 초고속 광 네트워크 구성을 가능하게 한다.

2. 최적 2차원 코드 생성 알고리즘

우선, 최적의 2차원 코드를 만족시키기 위해서는 자기 상관값과 상호상관 값은 각각 최소로 하는 $\lambda_a = 0$, $\lambda_c = 1$ 를 만족시켜야 한다. 동시에 초고속 광 네트워크를 위해서는 OCDMA 코드 셋은 DWDM 이 수용하는 채널 수만큼 많은 코드를 가져야 하며, 또한 높은 데이터 전송률에서 동작을 해야한다. 이를 비교하는 변수로 스펙트럼 효율을 들 수 있으며 다음과 같이 정의될 수 있다^[4].

$$\text{Spectral efficiency} = [\text{number of users (codes)}] \times [\text{data rate per user}] / [2 / (\text{pulsewidth})] \quad (1)$$

따라서, 초고속 광 네트워크를 구현하는데 있어서 OCDMA 시스템은 WDM의 스펙트럼 효율과 같거나 그 이상의 효율을 가져야 한다. 이를 만족하기 위한 파장/시간 2차원 코드 조건은 WDM의 스펙트럼 효율을 0.5라 할 때에, $(N/Lc) > 1$ 를 만족해야한다. (N: 2차원 코드 수, L: 코드길이, c: 2차원 코드에서 사용되는 파장 수) 하지만, 지금까지 제안되었던 2차원 코드는 이를 만족시키지 못하므로, 초고속 광 네트워크를 위해 새로운 코드 제안이 필요하다.

기존의 코드는 정수의 일정한 규칙을 이용한 정수론을 통해 쉽게 코드를 얻어낼 수 있으나, 최적의 코드를 최대한으로 찾아내기 위해서는 조합론을 이용해야한다. 첫째, 2차원 코드에서 한 행에 하나의 펄스만을 가지도록 한다. ($\lambda_a = 0$) 둘째, d_{ij} 을 1이 존재하는 i 번째 행에서 1이 존재하는 j 번째 행까지 시간 축 상에서의 거리라 정의했을 때에 이 값이 두 번 겹치지 않게 선택한다. ($\lambda_c = 1$) 이를 만족하는 코드를 구하기 위해서 알고리즘을 구성하면, a) d_{ij} 가 가질 수 있는 경우와 값에 대해서 2차 행렬 $c(c-1)/2 \times L$ 로 표현한다. b) 만들어진 2차 행렬 $c(c-1)/2 \times L$ 의 원소에서 코드 가중치가 w 개 일 때에 $w(w-1)/2$ 개수만큼의 원소를 중복 없이 선택해야 한다. c) $d_{ij} = x$,

$d_{jk} = y, d_{ik} = z$ 라 한다면, $z = x \oplus y$ 를 만족키는 d_{ik} 의 특정값이 결정이 되어야한다. 야 한다. d)중복 없이 코드를 규칙적으로 형성시키기 위해서 L modulo $[(w(w-1)/2)-1]$ 의 값을 x라 한다면 2차 행렬 $c(c-1)/2 \times L$ 에서 전체 L의 열 중에서 앞에 x 만큼 열과 L-x로 열을 구분하여 선택을 한다.

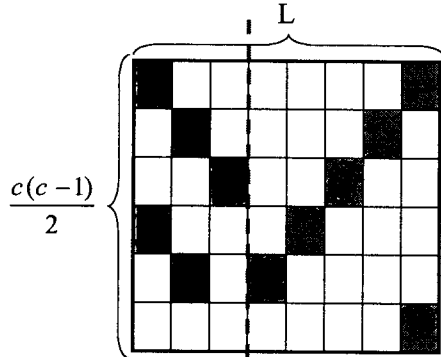


그림 1. 2차 행렬 $c(c-1)/2 \times L, w=4$

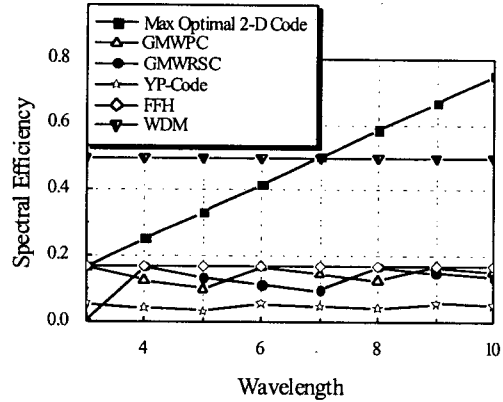


그림 2 파장 수에 따른 2차원 코드의 스펙트럼 효율 비교

결국은 그림 1에서 얻은 최대 가능한 2차 행렬 $c(c-1)/2 \times L$ 에서 최적의 코드를 얻기 위해 $w(w-1)/2$ 만큼을 중복 없이 선택하게 되는 것이므로 총 가능한 코드의 개수를 N(cardinality)라고 한다면 $N \leq \lfloor \frac{c(c-1)L}{w(w-1)} \rfloor$ 와 같다. ($\lfloor x \rfloor$ 는 x보다 작거나 같은 정수들 중 최대의 정수를 말한다.)

3. 기존 연구 보고된 2차원 코드와 비교

이러한 코드에서 얻어지는 상한 비트 오류율은 $P_E = \frac{1}{2} \sum_{i=Th}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{w}{2L}\right)^i \left(1 - \frac{w}{2L}\right)^{N-1-i}$ 을 만족시킨다.

(N: 동시 사용하는 코드 수, L:코드 길이, W: 코드 가중치, Th: 문턱값) 즉, 코드 길이, 코드 가중치가 주어지면 이때 최적 2차원 코드의 최대 BER은 위의 식을 넘지 않는다. 이는 기존까지 제안되었던 2차원 코드와 똑같은 성능을 보이거나 $\lambda_a = 0, \lambda_c = 1$ 를 만족시키지 못하는 코드에 대해서는 더 우수한 성능을 보인다. 이와 더불어서 기존 연구 보고된 2차원 코드들의 스펙트럼 효율에 관해서 비교하기 위해서 코드길이와 코드가중치를 모두 3으로 고정하였을 때 사용 가능한 파장 수를 증가시킴에 따라서 얻어질 수 있는 스펙트럼 효율을 계산하여 얻은 결과는 다음 그림2와 같다.

기존에 제안되었던 코드들 FFH^[1], YP Code^[2]와 GMWPC, GMWRSC^[3]는 WDM의 0.5보다도 작은 0.2를 넘지 못하나, 제안한 최적 2차원 코드는 사용 가능한 파장 수가 8이상이면 WDM 스펙트럼 효율보다도 더 높은 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 초고속 OCDMA 네트워크 구현을 위해서 최적의 조건을 가지면서 최다수를 구할 수 있는 “최적 2차원 코드” 생성 알고리즘을 제안하였다. 이 최적 2차원 코드는 지금까지 제안되었던 여러 코드들과 비교하여 우수성을 보일 뿐만 아니라 WDM 스펙트럼 효율을 증가하기 위한 코드 생성 조건도 얻을 수 있었다. 이와는 별도로 동시 사용자 수를 늘리기 위한 다중접속간섭을 줄이기 위한 시스템 구현 노력이 필요하다.

참고문헌

- [1] H. Fathallah, L.A. Rusch, and S. Larochelle, *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, no. 3, pp. 397-405, 1999.
- [2] K. Yu and N. Park, "Design of a new family of two-.....," *Elec. Lett.*, Vol. 35, no. 10, pp. 830-831, 1999
- [3] G. C. Yang, and W. C. Kwong, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, no. 11, pp. 1426-1433, 1997.
- [4] A. J. Mendez, R. M. Gagliardi, "Wavelength multiplication...," IEEE/LEOS 2000 Annu. Meet., paper ThO2.