

지능형 교통 시스템을 위한 터보 부호화된 OFDM을 적용한 가시광 통신 시스템

Visible Light Communication with Turbo Coded OFDM
for Intelligent Transport System

구성완* 김진영*

*광운대학교

Key Words : ITS, Visible Light Communication (VLC), 이중이진 터보부호, OFDM, 도플러 효과

목 차

- I. 서론
- II. 시스템 모델
- III. 모의 실험 결과
- IV. 결론

I. 서론

최근 무선통신의 급격한 발달로 언제, 어디서나 사용자가 원하는 시간에 유·무선 음성 및 데이터 서비스를 제공하기 위한 무선통신 기술에 관심이 고조되고 있다. 그런 가운데, 가시광 통신 (VLC : Visible Light Communication) 기술이 차세대 무선통신 기술로써 주목 받고 있다. 이러한 통신 기술을 지능형 교통 시스템 (ITS : Intelligent Transport System)에 적용하고자 한다.

ITS는 자동차, 기차, 버스 등 기존의 교통 시스템에 전자, 통신, 제어 등의 지능형 기술을 접목시켜 효율성과 안정성을 제고하기 위한 차세대 교통시스템이다. 따라서 최근에 ITS는 기존의 교통 시스템에서의 교통 혼잡 해결과 운전자의 편리성, 안전을 도모하기 위해서 주목받고 있다 [1].

안전하고 쾌적한 교통시스템을 구현하는데 목적을 두고 있는 ITS는 실용화를 위해 도로 환경에 적합한 무선통신 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기에 교통 시스템에 사용되고 있는 LED 조명 인프라를 활용하여 통신을 할 수 있다면 향후 ITS 구축에 중요한 기술로 사용될 것이다.

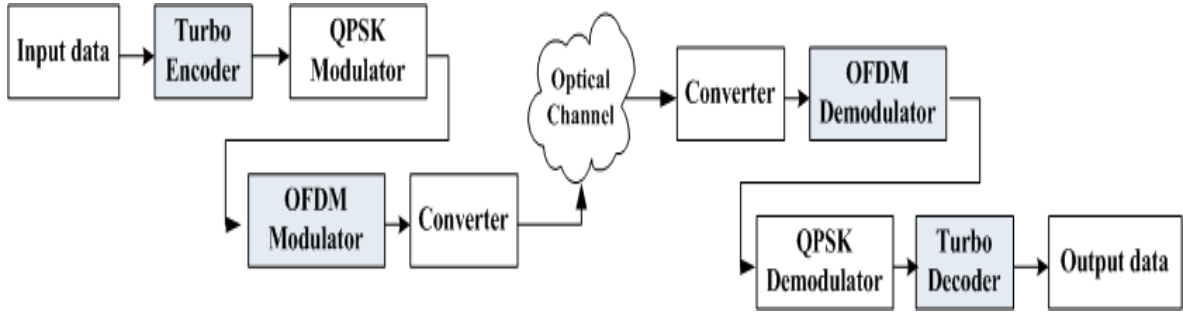
가시광 통신 기술은 LED를 이용하여 통신하는 기술이다. LED는 반도체에 의한 빛 발광에 의한 조명과 멀티미디어 통신 서비스를 동시에 제공할 수 있다. 환경 파괴 문제, 긴 수명, 전기 효율 향상 등 장점을 가지고 있어 조명 인프라를 이용하여 통신 환경을 조성한다면 경제적 이득 효과를 가져올 수 있다. 반면에, 강한 지향성과 직진성을 갖고 있기 때문에 장애물 투과력이 약해서 Line of Sight (LOS) 조건이 요구되

며 [2], 짙은 안개에 대해 감쇠 현상이 일어나 제 기능을 발휘하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 다음과 같은 기술이 필요하다.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 DAB (Digital Audio Broadcasting)와 DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) 등의 표준에 채택되어 있는 기술로 기본적으로 병렬 데이터 전송 방식으로 MCM (Multi-Carrier Modulation)을 구현한 기술이기 때문에 다중 경로 페이딩을 줄일 수가 있어 고속 데이터 전송 따른 ISI (Inter-symbol interference)를 제거하기 위해 제안된 무선통신 변조 방식이다. 효율적인 스펙트럼 사용이 가능하며 Frequency Selective Channel에 강한 장점이 있다 [3].

무선통신 환경에서 채널 부호화 기술은 통신 환경을 개선시키기 위해 필수적이다. 채널 부호화 방법인 터보 부호는 무선 통신 환경에서 발생하는 오류를 최소화하고자 하는 요구를 충족시키기 위해서 *Berrou* 등에 의해 제안된 채널 부호화 기술이다. 이 기술은 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 환경에서 비교적 간단한 복호 알고리즘을 가지면서 18번의 반복 복호시에 Shannon 성능과 0.7dB 차이를 갖는 낮은 신호 대 잡음비 (SNR : signal to noise ratio)에서 비트 오류율 (BER : Bit Error Rate) 이 10^{-5} 이라는 획기적인 성능을 보임으로써 많은 관심을 불러 일으켰다 [4-5]. 그 후 터보 부호화 기법은 페이딩 채널 상에서도 신뢰성을 보장할 수 있는 강력한 부호화 기법임이 입증되었다.

본 논문에서는 차량과 차량 간의 통신할 때 태양광 등 잡음이 있는 채널에서 전송 거리를 늘리고 채널에 의한 정보의



<그림 1> 시스템 블록 모델

손실을 줄이기 위해서 채널 부호화 기술인 터보 부호화 기술과 Frequency Selective Fading에 강한 OFDM 기술을 기존의 가시광 통신 기술에 적용하고 더 나아가 송·수신단의 이동으로 인한 반송파 주파수의 천이로 인한 채널 페이딩을 야기하는 도플러 효과를 고려하여 성능을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 ITS를 위한 가시광 통신 시스템에 대해 언급하고, 채널 환경에 대해서 살펴본다. III장에서는 모의 실험을 위한 파라미터를 설정하고 그에 맞는 모의 실험을 하여 BER 성능을 보여주고 OFDM을 적용한 가시광 통신 시스템 모델에서의 BER 성능을 분석한다. 마지막 IV장에서는 제안한 ITS를 위한 가시광 통신 시스템에 대한 결론을 제시하고자 한다.

II. 시스템 모델

제안된 터보 부호화된 OFDM 시스템 모델은 <그림 1>과 같다. 이 시스템에서 송신단에서 데이터 비트들은 이중이진 터보 부호기 (Double-binary CRSC Encoder : Double-binary Circular Recursive Systematic Convolutional Encoder)단에 들어가고 펄싱된 데이터 비트들을 QPSK로 변조한다. 변조된 데이터는 OFDM 변조를 거쳐 아날로그 신호로 변환되어 송신한다. 무선 광 채널을 통과한 신호는 수신단에 들어와 OFDM 복조 된다. 복조된 데이터는 Max-Log MAP (Maximum a Posteriori) 알고리즘을 사용하여 복호화를 수행한다 [5-10].

본 논문에서는 가시광을 이용하여 통신을 하기 때문에 무선 광 채널을 고려한다. 채널 모델은 Barry등에 의해서 제안된 채널 모델을 적용한다 [11]. Line of Sight (LOS)인 경우에 반사가 없으며 수신단의 크기 A_R 은 송·수신단의 거리 R 제곱에 비해 상당히 작다고 가정한다. 채널 임펄스 응답은 Dirac delta function으로 간략히 표현할 수 있다.

$$h(t; S, R) \approx \frac{n+1}{2\pi} \cos^n(\psi) d\Omega \text{rect}\left(\frac{\theta}{FOV}\right) \delta\left(t - \frac{R}{c}\right), \quad (1)$$

여기서, $d\Omega$ 은 수신단의 미소 면적의 입체각이다.

$$d\Omega \approx \cos(\theta) \frac{A_R}{R^2}, \quad (2)$$

θ 는 \hat{n}_R 과 $(r_S - r_R)$ 사이의 각도로

$$\cos(\theta) = \hat{n}_R \cdot \frac{(r_S - r_R)}{R}, \quad (3)$$

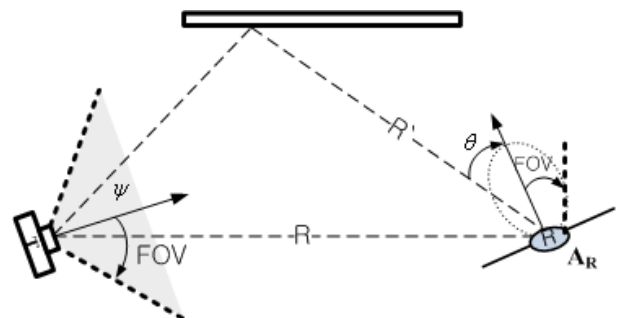
ψ 는 \hat{n}_S 와 $(r_R - r_S)$ 사이의 각도로

$$\cos(\psi) = \hat{n}_S \cdot \frac{(r_R - r_S)}{R}, \quad (4)$$

n 은 모드 넘버로 송신단의 Half-angle α_H 로 계산할 수 있다.

$$\alpha_H = \cos^{-1}(0.5)^{\frac{1}{n}} \Rightarrow n = \frac{\log 0.5}{\log(\cos \alpha_H)} \quad (5)$$

본 논문에서 잡음 모델은 AWGN으로 가정한다. 일반적으로 무선 광 채널에서는 전송 품질은 산란 잡음에 의존한다. 하지만, 수신단에서 협대역 광 필터를 사용하기 때문에 높은 차수를 가지는 산란 잡음을 무시 할 수 있다. 따라서 무선 광 통신 채널 모델은 다음과 같이 표현한다.



<그림 2> 확산형 LOS 링크 모델

$$y(t) = r \cdot x(t) \otimes h(t) + n, \quad (6)$$

여기서, $y(t)$ 는 수신된 신호, $x(t)$ 는 입력 신호, $n(t)$ 는 AWGN, r 은 optical/electric (O/E) 변환 효율, \otimes 은 컨볼루션 연산이다.

송·수신단의 움직임에 따른 도플러 효과를 고려하고자 한다. 도플러 효과를 고려한 주파수 변화는 다음과 같다 [12-13].

$$f = f_c + f_d, \quad (7)$$

신호의 중심 주파수를 f_c 라 하고 f_d 는 주파수 변화를 나타낸다. f_d 는 다음과 같은 성분을 가진다.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta), \quad (8)$$

여기서 θ 는 송·수신단의 각도를 v 는 수신단의 이동속도를 $\lambda = c/f_c$ 를 나타낸다. 다시 정리해보면 다음과 같이 표현할 수 있다.

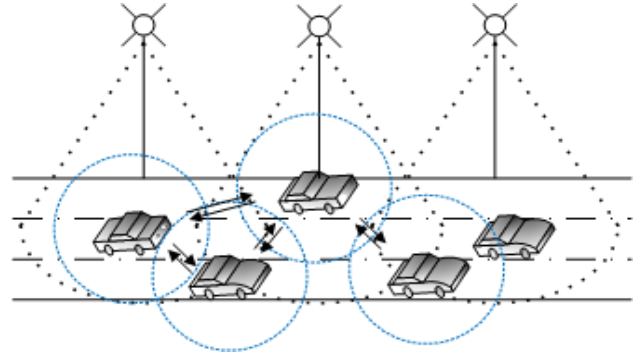
$$f = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta) + f_c. \quad (9)$$

III. 모의 실험 결과

이 절에서는 <그림 3>과 같이 Diffused LOS 환경에서 ITS 환경을 위한 가시광 통신 시스템의 성능을 분석한다. <표 1>은 시뮬레이션을 위한 파라미터를 나타낸다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터 1

파라미터	값
채널 부호	이중이진 터보 부호
복호 알고리즘	Max-log MAP
부호율	1/3, 2/5, 1/2, 2/3
변조 방식	QPSK
FFT 크기	64
보호구간	16
수신단의 FOV	60°
Half-angle	20°
수신단의 검출기 면적	1cm ²
O/E 변환 효율	0.53[A/W]
무선 광 채널	Diffused LOS(AWGN)



<그림 3> 시뮬레이션 모델

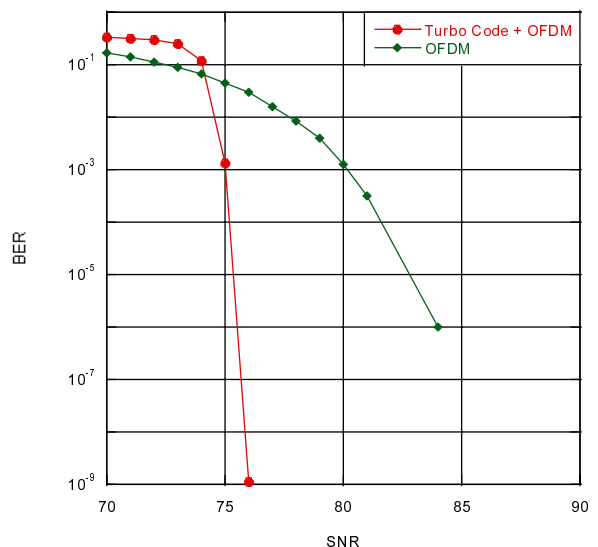
프레임 사이즈는 424로 터보 부호로 6번의 반복 복호를 수행한다. FFT 크기는 64이고 CP의 길이 FFT 크기의 1/4로 16이다. 부호율이 1/3일 때, 부호화된 블록 사이즈는 640임을 알 수 있다.

<그림 4>는 확산형 LOS 채널에서 VLC 시스템의 BER 성능을 보여준다. <그림 6>은 차량 속도를 고려한 BER 성능을 나타낸다. <그림 6>을 위한 파라미터는 아래 <표 2>에 기술하였다.

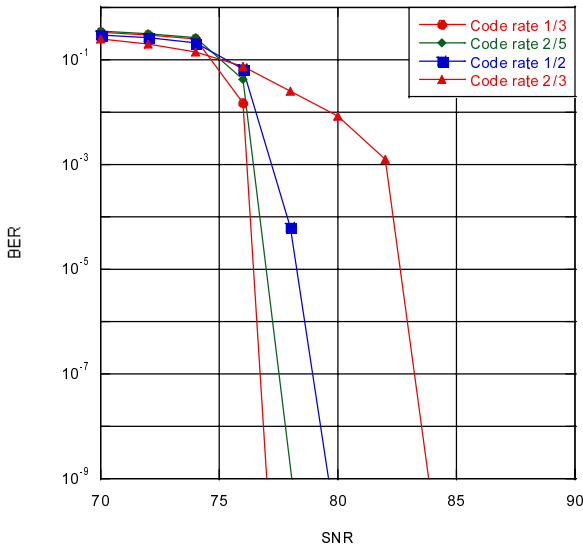
<표 2> 시뮬레이션 파라미터 2

파라미터	값
부호율	1/3
Sampling time	0.1us
Block size	64.0us
차량 속도	100km/h, 150km/h

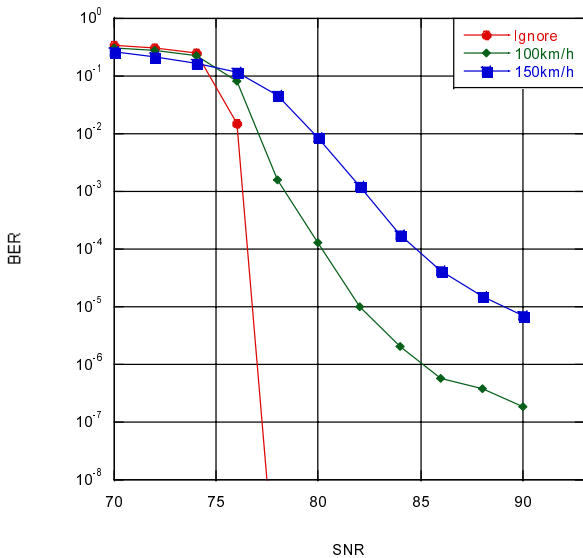
<그림 4>은 터보 부호화를 적용한 시스템과 적용하지 않은 시스템 사이의 BER 성능을 보여준다. 터보 부호화를 적용함으로써 약 5dB 정도의 성능 향상을 보여준다.



<그림 4> 채널 부호화에 따른 BER 성능



<그림 5> 부호율에 따른 BER 성능



<그림 6> 차량 속도에 따른 BER 성능

<그림 5>는 부호율에 따른 터보 부호화가 적용된 OFDM 시스템의 BER 성능을 보여준다. 송·수신단의 거리는 200cm 으로 정하여 실험하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 터보 부호율이 증가할수록 BER 성능이 떨어짐을 알 수 있다. <그림 6>의 경우 <표 2>에 입각하여 실험을 하였다. 부호율이 1/3이고 수신단의 속도가 100km/h, 150km/h 일 때의 BER 성능을 보여준다. 속도의 변화가 도플러 효과를 일으켜 BER 성능이 저하됨을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 ITS에 가시광 통신 기술을 이용하기 위해서

해결해야할 전송 거리와 채널 상태에 따른 정보의 손실을 줄이기 위해서 제안한 터보 부호화된 OFDM 시스템에 대해서 컴퓨터로 모의 실험하였다.

가시광 통신 시스템이 ITS에 이용되기 위해서는 실외 환경에서 데이터가 오류 없이 고속전송이 이루어져야 한다. 그래서 가시광 통신 시스템에 OFDM과 터보 부호를 제안하였다.

실험 결과에서 알 수 있듯이 두 기술을 사용함으로써 BER 성능 향상을 볼 수 있었다. 채널 부호화 기술인 터보 코드는 더욱 뛰어난 성능 향상을 일으킨다는 것이 증명되었다. 하지만 시뮬레이션시 아날로그 신호가 광 신호로 변환 때의 효율을 고려하였는데 변환 효율이 낮기 때문에 SNR 대 BER 성능이 좋지 않았다. 가시광 통신 기술에서 송신 안테나 역할을 하는 LED와 수신 안테나 역할을 하는 포토다이오드의 성능이 개선된다면 ITS에 조명 인프라를 이용한 가시광 통신 기술을 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국전산원, 지능형 교통 시스템 (ITS)의 효율적 추진 방안, 1998. 6.
2. T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100 - 07, Feb. 2004.
3. J. Heiskala and J. Terry, "OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide", Sams Publishing, 2002.
4. C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding: Turbo codes," in *Proc. of IEEE ICC'93*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, June 1993.
5. C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-Codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 1261-1271, 1996.
6. C. Douillard, M. JkzCquel, C. Berrou, N. Brengarth, J. Tusch and N.Pharm, "The Turbo Code Standard for DVB-RCS," *Proc. 2nd Int. Symp. on Turbo Codes Brest*, France, Sep. 2000.
7. J. B. Anderson and S. M. Hladik, "ail-biting MAP decoders," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 16, no. 2 (Feb. 1998).
8. S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete fourier transform," *IEEE Trans. Commun.* 19, 1971, pp. 628-634.
9. J. P. Woodard and L. Hanzo, "Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: an Overview," *IEEE Trans. Vehic. Tech.* 49, 6, 2000, pp. 2208-2233.
10. P. Robertson, P. Hoeher and E. Villebrun, "Optimal and

sub-optimal maximum a posteriori algorithm suitable for turbo decoding," *Eur. Trans. Telecommun*, 8, 2, 1997, pp.119-125.

11. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," *In Proc. IEEE*, 85, 1997, pp.265 - 298.
12. Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1996.
13. P. Robertson and S. Kaiser, "The effects of Doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems," *in Prof. VTC'99-Fall*, 1999, pp. 329-333.