

가시광 통신 시스템을 위한 반복 복호 알고리즘

구성완¹, 김진영^{1*}
¹광운대학교 전자공학과

Iterative Decoding Algorithm for VLC Systems

Sung-Wan Koo¹ and Jin-Young Kim^{1*}

¹Department of Wireless Communication Engineering, Kwangwoon University

요약 최근에 그린 IT기술이 온실 효과, 자원의 재활용 등의 문제들로 주목받고 있다. 본 논문에서는 보다 개선된 성능을 얻기 위해서 터보 부호화된 가시광 통신 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 정보 손실을 줄이기 위해 사용되는 터보 부호 기술을 사용하였고 복호 알고리즘으로 Log MAP 알고리즘과 SOVA를 사용하여 비교 분석하였다. 그 결과, 터보 부호 기술로 약 5[dB] 이상의 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

Abstract Recently, the Green IT is noticed because of the effects of greenhouse gas emissions, a drain on natural resources and pollution. In this paper, Visible Light Communication (VLC) systems with Turbo Coded scheme using LED is proposed and simulated in an optical wireless channel. As a forward error correction scheme to reduce information losses, turbo coding was employed. To decode the codewords, The Map (Maximum a Posteriori) algorithm and SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) is used. The above mentioned schemes are described and simulation results are analyzed. As using turbo codes scheme, BER performance of proposed VLC systems is improved about 5 [dB].

Key Words : Visible Light Communication, Turbo codes, Log MAP Algorithm, SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm).

1. 서론

최근에 전 세계적으로 자원 고갈과 온난화 문제 해결에 집중하고 있다. 이 문제들을 해결하기 위해 더 효율적이고 재생이 가능한 에너지 개발을 하고 있는데 그 기술 중에 하나가 기존의 백열등과 형광등을 대체할 수 있는 LED 기술이다. LED는 조명 산업에서 부각되기 시작하여 현재는 전자, 통신 분야까지 확대되고 있다.

가시광 통신은 LED 조명 인프라를 이용하여 빛을 통해서 데이터 전송이 가능한 차세대 통신 기술이다. 가시광 파장 (wavelength : 380~780[nm], frequency : 385~789[THz])을 이용하기 때문에 신호를 송신하기 위하여 가시광선 LED를 사용하고, 신호를 수신하기 위해서는 광 다이오드(Photo Diode : PD) 를 사용한다[1,2].

가시광 통신의 장점은 넓은 가시광 대역에서 정보 전송 가능, 물리적 보안성 강화, 고속의 정보 전송 가능, 주파수 허가에 자유로움, 기존 RF 대역과의 혼신 가능성과 사용료 없음, 인체에 무해 등을 들 수 있다. 반면에, 단점으로는 감쇠 특성으로 인한 짧은 도달 거리, 태양광과 인공조명에 의한 간섭 현상, 상대적으로 고가인 부품 등을 들 수 있다. 가시광 통신은 기존의 전파만으로는 제공하기 어려운 기능을 제공함으로써 보안 Point-to-Point 통신, 실내 LBS(Location Base Service), ITS(Intelligent Transportation System), Information Broadcast 등 보안성이 강화되는 4G 및 WLAN 기술로 활용될 수 있다.

많은 장점을 가진 가시광 통신을 실제로 사용하기 위해서는 단점들을 해결해야 한다. 따라서 본 논문은 통신 환경을 최적화 시킬 수 있는 채널 부호화의 기술인 터보

본 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

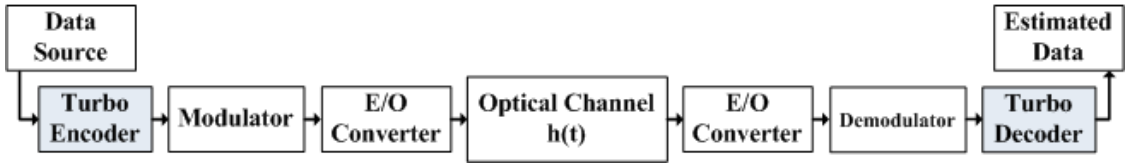
(NIPA-2009-(C1090-0902-0005))

*교신저자 : 김진영(jinyoung@kw.ac.kr)

접수일 09년 09월 16일

수정일 09년 10월 13일

게재확정일 09년 10월 14일



[그림 1] 제안된 가시광 통신 시스템 모델

부호를 제안한다.

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 Berru 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[3]. 그 후 터보 부호화 기법은 페이딩 채널 상에서도 신뢰성을 보장할 수 있는 강력한 부호화 기법임이 입증되었다.

본 논문에서는 실내 환경에서 실험된 가시광 채널을 가지고 채널 부호화인 터보 부호를 적용하여 그 성능 차이를 비교 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 터보 코드가 적용된 가시광 통신 시스템에 대해서 설명을 한다. 3장에서는 제안한 시스템에서의 실험 결과를, 4장에서는 본 논문에 대한 결론을 내려 한다.

2. 시스템 모델

제안한 터보 부호화된 가시광 통신 시스템 모델은 그림 1과 같다. 이 시스템에서 송신단에서 데이터 비트들은 터보 부호기 (CRSC Encoder : Circular Recursive Systematic Convolutional Encoder)단에 들어가고 펄쳐링된 데이터 비트들을 BPSK로 변조한다[4-5]. 변조된 데이터는 아날로그 신호로 변환되어 송신한다. 무선 광 채널을 통과한 신호는 수신단에 들어와 전기 신호로 변환되고, 복조된 데이터는 Log MAP (Maximum a Posteriori) 알고리즘 [6, 8-10]과 SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) [11]을 사용하여 복호화를 수행한다.

본 논문에서는 가시광을 이용하여 통신을 하기 때문에 무선 광 채널을 고려한다. 채널 모델은 Barry등에 의해서

제안된 채널 모델을 적용한다 [7]. 그림 2와 같이 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.

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

여기서, $d\Omega$ 은 수신단의 미소 면적의 입체각이다.

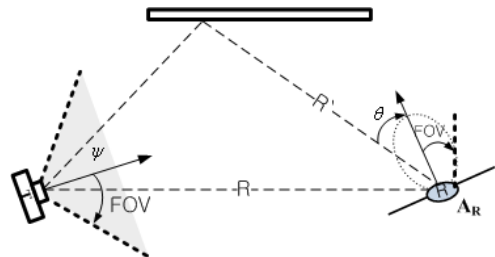
$$d\Omega \approx \cos(\theta) \frac{A_R}{R^2}, \quad (2)$$

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

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



[그림 2] 확산형 LOS 링크 모델

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

$$\alpha_H = \cos^{-1}(0.5)^{\frac{1}{n}}$$

$$\therefore n = \frac{\log 0.5}{\log(\cos \alpha_H)} \quad (5)$$

일반적으로 무선 광 채널에서는 전송 품질은 산탄 잡음에 의존한다. 하지만, 수신단에서 협대역 광 필터를 사용하기 때문에 높은 차수를 가지는 산탄 잡음을 무시할 수 있다. 따라서 무선 광 통신 채널 모델은 다음과 같이 표현한다.

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

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.

3. 실험 결과

그림 3은 bounce를 9개까지 고려한 채널 임펄스 응답이다. 본 논문은 이 채널 임펄스 응답을 가진 채널에서 실험을 하였다.

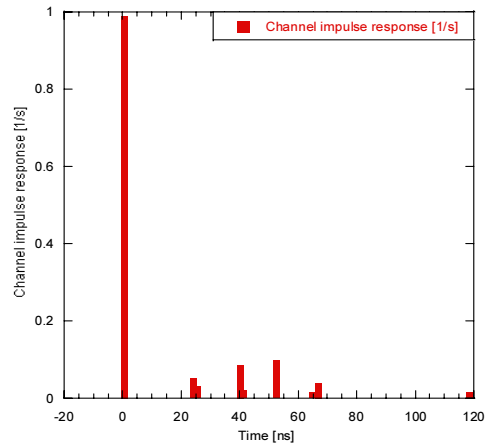
각 채널 별 SNR에 따른 BER 성능을 그림 3에서 보여 주고 있다. 여기서는 가시광 통신 채널의 BER 성능이 Rayleigh 채널에서 4 [dB]까지는 거의 비슷한 채널 상태를 보여줄 수 있다. 이후, SNR이 증가함으로써 가시광 통신 채널이 LOS를 고려하였기 때문에 상대적으로 성능이 BER이 떨어짐을 알 수 있다. 그림 5은 채널 부호인 터보 부호를 적용함으로써 BER 성능이 개선됨을 알 수 있다. 그림 6은 터보 부호에 Log MAP 복호 알고리즘을 사용할 때, 복호 반복횟수에 따른 BER 성능을 보여주고 있다. 복호 횟수가 증가할수록 BER 성능이 개선됨을 알 수 있다. 그리고 어느 정도의 개선이 이루어지면 성능 개선의 포화를 보여줄 수 있다. 그림 7은 터보 부호의 복호 알고리즘으로 Log MAP 알고리즘과 SOVA를 비교한 BER 성능 그래프이다. Log MAP 알고리즘이 SOVA를 이용한 복호방법보다 약 1 [dB] 정도 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

4. 결론

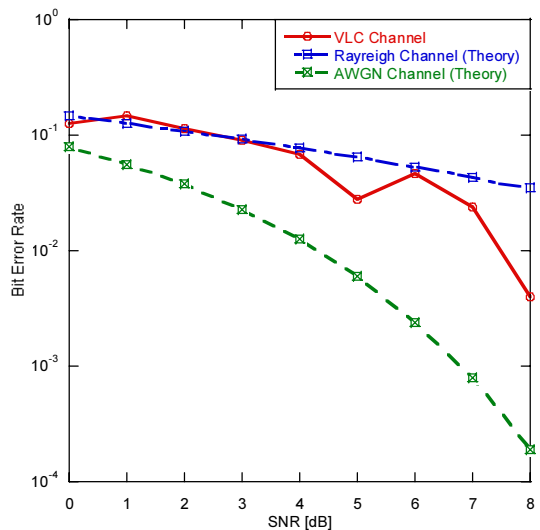
본 논문에서는 가시광 통신 기술의 단점인 주변 환경에 대한 문제를 해결하기 위해 채널 부호화인 터보 부호를 제안하고 모의실험을 하였다.

실험 결과에서 알 수 있듯이 터보 부호를 사용함으로써 약 5 [dB] 이상의 BER 성능이 개선됨을 알 수 있었고, 복호 알고리즘을 어떠한 알고리즘을 사용하는 가도 BER 성능을 결정하는데 중요한 역할을 할 것으로 보인다.

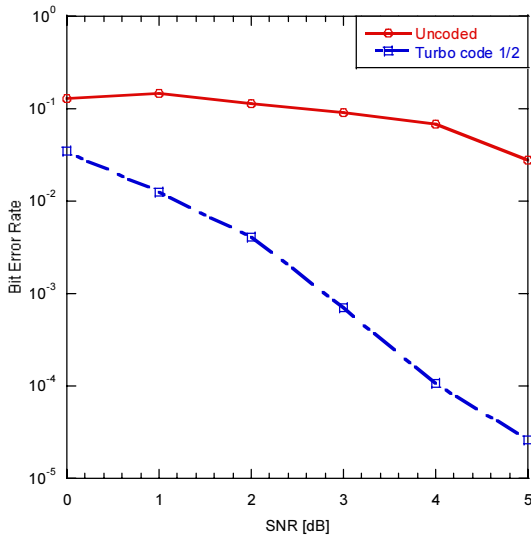
향후 실제로 가시광 통신 기술이 사용되기 위해서는 보다 많은 문제점들을 해결해야 되고 연구가 필요할 것으로 생각된다.



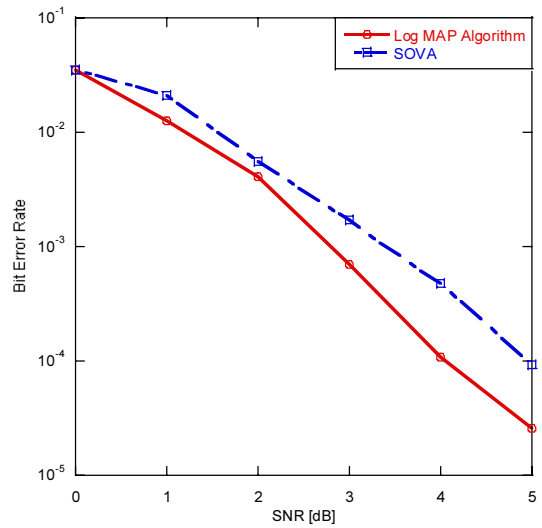
[그림 3] 9개의 bounce를 고려한 가시광 채널 임펄스 응답



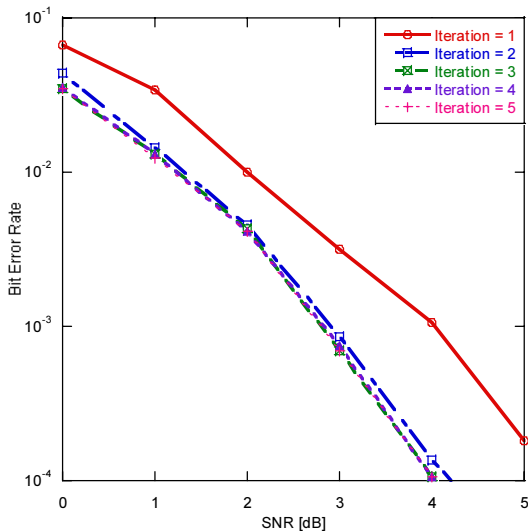
[그림 4] AWGN, Rayleigh, 가시광 채널의 BER 성능 비교



[그림 5] 터보 부호를 적용 후 BER 성능 비교



[그림 7] 복호 알고리즘에 따른 BER 성능 비교



[그림 6] 터보 부호의 Log MAP 복호 알고리즘에서 반복 횟수에 따른 BER 성능 비교

참고문헌

- [1] Jin Young Kim, Visible Light Communication Systems, Hongreung Science Publishers, Seoul, Korea, 2009.
- [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] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa. "Indoor visible communication utilizing plural white LEDs as lighting," in Proc.of the 12th IEEE International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol2, pp. 81-85. Sept 2001.
- [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] J. B. Anderson and S. M. Hladik, "Tail-biting MAP decoders," IEEE J. Select. Areas Comm.,vol.16, no.2, pp. 297-302, Feb. 1998.
- [7] J. R. Barry, Wireless Infrared Communications, Kluwer Academic Publishers, 1994
- [8] J. Woodard, L. Hanzo, "Comparative study of turbo decoding techniques: an overview," IEEE Trans. Vehic. Tech., vol.49, no.6, pp. 2208-2233, Nov. 2000.

- [9] P. Robertson, P. Hoeher, and E. Vilebrun, "Optimal and sub-optimal maximum a posteriori algorithm suitable for turbo decoding," Eur. Trans. Telecommun., vol.8, no.2, pp.119-125, April 1997.
- [10] M. R. Soleymani, YINGZI GAO, and U. Vilipornsawai, Turbo Coding for Satellite and Wireless Communications, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [11] J. Hagenauer and P. Hoeher, "'A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications,'" in Proc. GLOBECOM'89, Dallas, TX, Nov. 1989, pp. 47.1.147.1.7.

구 성 완(Sung-Wan Koo)

[준회원]



- 2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학사).
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정 재학중.

<관심분야>

디지털통신, 가시광통신, MIMO, 채널부호화, 협력 무선통신

김 진 영(Jin-Young Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1999년 7월 : 미국 Princeton University, Research Associate
- 2000년 2월 ~ 2001년 2월 : SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수
- 2009년 ~ 현재 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

<관심분야>

디지털통신, 무선통신, 채널부호화