

Turbo Code를 사용한 HDR-WPAN 시스템의

성능개선 방안 연구

강철규^{*} · 김재영^{**} · 오창현^{*}

^{*}한국기술교육대학교

^{**}한국전자통신연구원

A Study on The Performance Improvement of HDR-WPAN System Using Turbo Code

Chul-Gyu Kang^{*} · Jae-Young Kim^{**} · Chang-Heon OH^{*}

^{*}Korea University of Technology and Education

^{*}Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : swing@kut.ac.kr

요 약

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템의 성능개선 방안으로 터보코드를 적용하여 실내 무선 채널 환경에서 그 성능을 분석하였다. 터보코드는 반복 횟수의 증가에 따라 복호 지연 및 연산량의 증가를 가져오지만, 이론적 한계치에 근접하는 우수한 성능을 보이는 오류 정정 부호화 기법이다. HDR-WPAN 시스템에 터보코드를 적용하였을 경우 실내 무선 채널 환경에서 기존 시스템보다 10^{-4} 의 BER(bit error rate)에서 최대 5.8dB의 E_b/N_0 의 이득을 가졌다. 시뮬레이션의 결과를 통해 HDR-WPAN 시스템에 터보코드를 적용하였을 경우 적은 전력으로 신뢰성 있는 통신을 할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose performance improvement algorithm for high data rate wireless personal area network (HDR-WPAN) system using turbo code. Turbo code increase detection delay and computation according to iterate counts. However, turbo code has been shown to be very close to the Shannon limit, can be classified as a block-based error correction code. Turbo code has gain about $E_b/N_0=5.8\text{dB}$ at 10^{-4} in the multipath indoor channel. In the result, HDR-WPAN system adopted turbo code has reliable communication by low power.

키워드

HDR-WPAN, Turbo Code, Log-MAP, Trellis Coded Modulation

1. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서는 본격적인 멀티 미디어 통신 서비스를 제공하기 때문에 전송해야 할 정보량이 크게 늘어나게 된다. 특히 동영상 신

호나 음성신호는 전송 오류에 민감하기 때문에 이를 안정적으로 전송하기 위해서는 전송 오류에 강한 무선 통신 시스템을 구현하는 것이 필수적이다. 전송 오류에 강인하게 하기 위한 한 가지 방법으로 오류 정정 부호화 기법이 많이 사용된

다. 오류 정정 부호의 부가로 인해서 전체 전송률이 늘어나는 단점은 있지만 전송 오류를 크게 줄일 수 있게 된다[1],[2].

오류 정정 부호 중에서 Berrou 등이 1993년에 제안한 터보코드는 그 성능이 Shannon이 제시한 이론적 한계치에 근접하는 오류 정정 부호 기법으로서 그 성능이 우수함으로 인해서 많은 주목을 받고 있다.

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템의 성능을 개선하는 방안으로 터보코드를 사용하고 이를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 HDR-WPAN 시스템을 설명하고, 3장에서는 터보코드와 TCM(trellis coded modulation)을 비교한다. 4장에서는 터보코드를 적용한 시스템을 시뮬레이션을 통해 비교하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. HDR-WPAN 시스템

HDR-WPAN 시스템은 IEEE 802.15.3 tasking 그룹에서 표준으로 제정된 기술로 10m의 거리에서 데이터 전송을 요구하는 기기들 간의 무선 네트워크 기술이다. HDR-WPAN 시스템은 11Mbps에서 5개의 변조방식(QPSK, DQPSK, TCM 16/32/64-QAM)으로 11, 22, 33, 44, 55Mbps의 전송속도를 제공한다[3].

HDR-WPAN 시스템의 PHY 프레임은 4가지 세그먼트(프리앰블, 헤더, 데이터, 테일)를 포함한다. 프리앰블은 수신기에서 동기화, carrier-offset 복구, 그리고 신호 등화 용도로 사용한다. 헤더에는 seed id, 변조방식, 데이터의 길이가 포함되며, CCITT CRC-16 header check sequence (HCS)로 보호된다. 테일은 프레임의 끝에 위치하며, 트렐리스 코드의 가장 좋은 거리 특성을 갖도록 해준다. 페이로드의 최대 크기는 2048 octets이며, 보안을 목적으로 하는 4 octets을 제외하면, 최대 2044 octets 까지 가능하다.

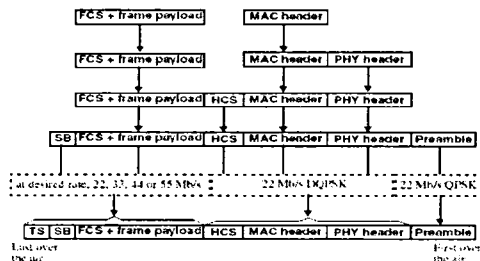


그림 1. 22/33/44/55Mbps를 위한 프레임 포맷

그림 1은 22/33/44/55 Mbps의 전송속도를 위한 PHY 프레임 포맷을 나타낸다. 11Mbps의 경우 PHY 헤더, MAC 헤더, HCS를 TCM-QPSK로 한 번 더 변조한다.

III. Trellis Coded Modulation과 Turbo Code의 비교

독립적인 시스템에서는 부호화를 이루기 위하여 부가정보가 필요하게 된다. 이런 부가 비트의 사용량에 비례하여 에리 정정 능력은 증가하지만 데이터 전송율의 저하를 초래하게 된다. 이 절에서는 에리 정정 능력과 데이터 전송율에 대해 트래이드오프 관계인 Trellis Coded Modulation과 Turbo Code를 비교한다.

1. Trellis Coded Modulation

전력이 제한된 환경에서 성능을 향상시키기 위해 오류정정부호를 사용하게 된다. 이 경우 전송 속도의 증가로 인해 대역폭이 증가한다. 대역이 제한된 환경에서는 M-ary 변조를 사용하여 주파수 효율성을 높일 수 있지만, 동일한 오류 확률을 유지할 수 있게 하려면 보다 큰 신호 전력이 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 컨볼루션 코드와 M-ary 변조를 단일 과정으로 처리하는 TCM을 이용한다[4].

그림 2는 TCM 변조 방식이 대역폭의 확장 없이 부호화된 정보를 전송함을 나타낸다.

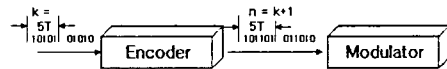


그림 2. 5/6 convolutional coded 6/4QAM

그림 2에서와 같이 TCM은 성능 향상을 위하여 채널 부호화로써 k/n 컨볼루션 코드를 사용하여 전송 비트수를 증가시키나, 대역폭의 증가는 2^k 보다 큰 2^n 개의 채널신호 집합으로 상쇄시킨다. 특정 변조 방식의 에리율은 신호 벡터 공간상에서 성상점(Λ)들 간의 유클리드 거리(Euclidean distance : d_{free}^2)의 제곱에 밀접한 관계가 있다.

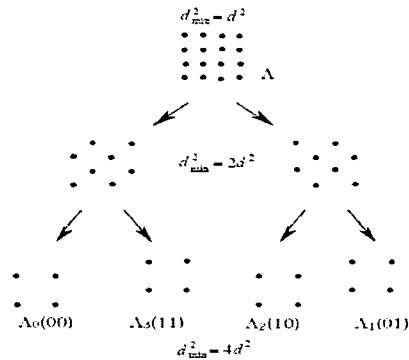


그림 3. 성상점 사이의 최소 유클리드 거리

이러한 방법에 의하여 동일한 정보 전송율, 대역폭, 신호 전력에서 변조 신호의 자유 유클리드

거리인 d_{free} 가 부호화되지 않은 신호들 사이의 최소 유클리드 거리 d_{min} 을 초과하게 된다. 수신 측에서는 비터비 복호(Viterbi decoding) 알고리즘을 이용하여 코딩 계인을 얻게 된다. Ungerboeck에 의해 제시된 결과에 의하면 신호 집합을 두 배로 확장함에 의하여 거의 모든 부호화 이득을 얻을 수 있기 때문에 TCM에서는 기존의 M-ary 변조에 필요한 채널 신호보다 단지 두 배로 확장된 신호집합만을 사용한다. 즉 신호 집합 크기를 $M=2^k$ 에서 $2M=2^{k+1}$ 로 확장 시킨다.

2. Turbo Code

터보코드는 기존이 Convolutional 구조로 복호화한 출력과 원 데이터의 입력을 인터리빙하여 얻은 변형된 출력을 이용하여 이중의 패리티 정보를 사용함으로써 구축장이 짧은 컨볼루션 코드의 성능을 증가시키는 특성을 가지고 있다.

1993년에 Berrou등에 의해 제안된 터보코드는 긴 프레임에 따른 실시간 처리의 어려움, SISO (Soft In Soft Out) 복호기의 복잡성에 따른 구현이 어려움, 최적의 인터리버 선택 및 인터리버 크기에 따른 지연 문제, 복호 시 반복 횟수의 증가에 따른 복호 지연 등의 문제점이 있다. 그러나 재귀를 통한 반복 복호 횟수의 증가에 따라 BER(Bit Error Rate)의 관점에서 Shannon limit에 가장 근접하는 성능을 나타내고 있다.

그림 4는 인터리버와 두개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호로 구성된 부호율 1/2인 터보코드의 엔코더를 나타낸 것이다.

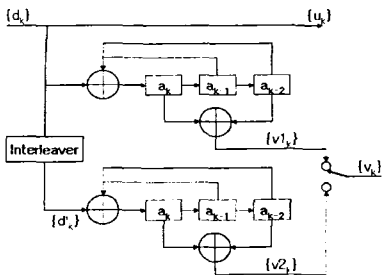


그림 4. 부호율 1/2인 터보코드 엔코더

복호기의 구조는 인터리버, 디인터리버, 2개의 MAP 복호기로 구성된다. 복조된 N개의 신호열은 $R_i^N = \{R_1, \dots, R_k, \dots, R_N\}$ 로 표현 할 수 있다. 복조된 N개의 신호열을 기초로 하여 k번째 송신한 비트를 추정할 LLR(Log likelihood Ratio) $L(d_k)$ 는 식(1)과 같다[5].

여기서, m은 부호기의 상태 값을 의미하고, $b(j,m)$ 은 비트 j가 입력되었을 때 부호기의 현재 상태를 m으로 천이시킨 이전의 상태 값을 의미하며, $f(j,m)$ 은 상태 m에서 비트 j가 입력되었을 경우 다음에 천이될 다음의 상태 값을 의미한다.

$$L(d_k) = \log \left[\frac{Pr(d_k = 1 | R_i^N)}{Pr(d_k = 0 | R_i^N)} \right] = \log \left[\frac{\sum_m \alpha_k^m \delta_k^{1,m} \beta_{k+1}^{(1,m)}}{\sum_m \alpha_k^m \delta_k^{0,m} \beta_{k+1}^{(0,m)}} \right] \tag{1}$$

$$\alpha_k^m = \sum_{j=0}^1 \alpha_{k-1}^{b(j,m)} \delta_{k-1}^{b(j,m)} \tag{2}$$

$$\beta_k^m = \sum_{j=0}^1 \delta_k^{j,m} \beta_{k+1}^{(j,m)} \tag{3}$$

$$\delta_k^{i,m} = \exp \left(\frac{2}{\sigma^2} (x_k u_k^i + y_k v_k^{i,m}) \right) \tag{4}$$

MAP 복호를 위해서 식(1)을 log 영역에서 수식 처리하기 위해 다음과 같은 E 연산자가 도입된다.

$$aEb = -\ln(e^{-a} + e^{-b}) = \min(a, b) - \ln(1 + e^{-|a-b|}) \tag{5}$$

E 연산자를 대입하면 식(1)은 다음과 같이 표현된다.

$$L_k = 2^E - 1 (A_k^m + D_k^{0,m} + B_{k+1}^{(0,m)}) - 2^E - 1 (A_k^m + D_k^{1,m} + B_{k+1}^{(1,m)}) \tag{6}$$

$$A_k^m = 1 (A_{k-1}^{b(i,m)} + D_{k-1}^{i,b(i,m)}) \tag{7}$$

$$B_k^m = 1 (D_k^{i,m} + B_{k+1}^{(i,m)}) \tag{8}$$

$$D_k^{i,m} = -2 (X_k U_k^i + Y_k V_k^{i,m}) / \sigma^2 = -L_c (X_k U_k^i + Y_k V_k^{i,m}) \tag{10}$$

IV. 성능평가

표 1. 시뮬레이션 파라메타

Parameter	Value
Modulation (data rate)	Trellis-coded 64QAM(55 Mbps)
Encoder	Turbo code 64QAM Variable, 8-state convolutional code
Code Rate	Parallel concatenation of two RSC R = 1/2, R = 5/5
Interleaver	Random Interleaver
Frame length	2044 bytes
Decoder Algorithm	Viterbi, log-MAP Algorithm

본 장에서는 HDR-WPAN 시스템과 터보코드 시스템을 AWGN 환경과 페이딩 환경에서 시뮬레이션하여 분석한다. 시뮬레이션 파라메타는 표 1과 같다.

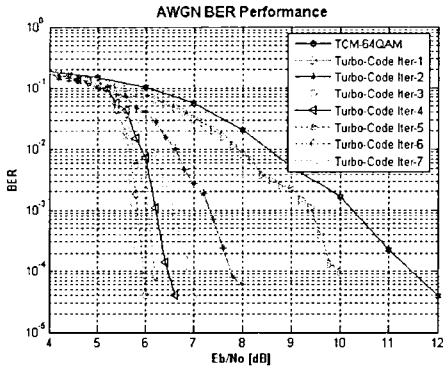


그림 5. AWGN 채널 환경에서의 BER 성능곡선

그림 5는 AWGN 채널에서 TCM-64QAM과 터보코드를 사용한 64QAM의 BER 성능을 나타낸다. 이때 터보코드의 반복 횟수는 최대 7이다. AWGN 채널에서 10^{-4} 의 성능을 갖기 위해 요구되는 E_b/N_0 는 TCM-64QAM에서 약 11.5dB, 터보코드의 첫 번째 반복에서 약 10dB, 반복횟수가 가장 많은 일곱 번째 반복에서 약 5.8dB가 필요하다. 터보코드의 반복 횟수가 증가함에 따라 요구되는 E_b/N_0 에 BER의 성능은 좋아지지만 반복 횟수의 증가에 따른 복호 지연 및 연산량의 증가를 가져옴을 알 수 있다.

그림 6은 실내 무선채널 환경에서 TCM-64QAM과 터보코드 64QAM의 BER 성능을 나타낸다. 실내 환경에서의 성능 분석을 위해 클러스터간 평균 시간($1/\lambda=0.0667$), ray간 평균 시간($1/\lambda=2.1$), 클러스터간 전력 감쇄 시간상수($T=14$), ray간 전력 감쇄 시간상수($\gamma=7.9$)의 파라메타를 갖는 Saleh 모델을 사용하였다.

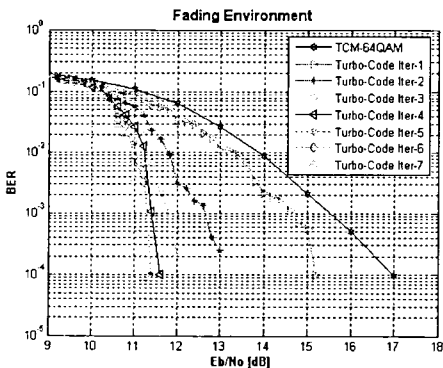


그림 6. 실내 무선채널 환경에서의 BER 성능곡선

실내 무선채널에서 10^{-4} 의 BER 성능을 위해 요구되는 E_b/N_0 는 TCM-64QAM에서 약 17dB, 터보코드의 첫 번째 반복에서는 약 15.2dB, 일곱 번째 반복에서는 약 11.2dB의 E_b/N_0 가 요구됨을 볼 수 있다. 또한 동일한 BER 성능에서 터보코드를 사용하였을 경우 첫 번째 반복은 TCM-64QAM에 비해 약 1.8dB의 이득을, 일곱 번째 반복은 약 5.8dB의 이득을 갖는다.

V. 결 론

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템의 성능을 개선하는 방안으로 터보코드를 제안하였고 AWGN 환경과 실내 무선채널 환경에서 시뮬레이션 하였다.

터보코드를 사용한 시스템은 반복 횟수의 증가에 따라 복호 지연 및 연산량의 증가를 가져온다. 그러나 QoS(Quality of Service)와 밀접한 관련이 있는 BER 측면에서 볼 때, 실내 무선채널 환경에서 10^{-4} 의 BER 성능을 만족하기 위해 요구되는 E_b/N_0 는 기존의 TCM-64QAM에서 약 17dB, 터보코드를 사용한 경우 첫 번째 반복에서 약 15.2dB, 일곱 번째 반복에서 약 11.2dB의 E_b/N_0 가 요구된다. 이는 터보코드를 사용할 경우 기존 시스템보다 최대 5.8dB의 E_b/N_0 이득을 가짐을 말한다.

이 결과로 볼 때, HDR-WPAN 시스템에서 터보코드를 사용하면 기존 시스템보다 작은 파워로 QoS와 신뢰성 있는 통신을 할 수 있다.

참고문헌

- [1] E. Dahlman, B. Gudmundson, M Nils on and J. Skold, "UMTS/IMT-2000 based on wideband CDMA," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, pp. 70-80, Sep. 1998.
- [2] N. Farber, B. Girod and J. Villaseno r, "Extension of ITU-T recommendation H.324 for error-resilient video transmission," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, pp. 120-128, June 1998.
- [3] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2003.
- [4] John G. Proakis, *Digital Communications*. 4th Edition. McGraw-Hill, Inc., 2001.
- [5] E. Villebrun, "Turbo-decoding with close to optimal MAP algorithms." Diploma thesis, TU Munich, Sep. 1994