

Methods to improve Log-MAP Decoding in Frequency Selective Fading Channels

Jeong-Su Kim*

Abstract

High-capacity, high quality services should be guaranteed in mobile communication environment. Excellent channel coding and compensation techniques are required so as to improve data reliability on fading channels. In this paper, we propose a method using double pilots, estimates and compensates for the fading of information symbols. The proposed method using Log-MAP Turbo decoder through the iterative decoder, improves BER performance under the environment of the frequency selective fading channel. Compared to the existing methods, the suggested methods show functional improvement of approximately 3dB in case that the number of iteration decoding is 5 and BER is 10^{-4} .

▶ Keyword : Log-MAP, Turbo decoder, channel coding, fading channel

1. Introduction

랜덤 오류에 강한 특성을 보이는 길쌈부호는 이동 통신 분야에 이용되고 있고 귀환형태의 조직적 길쌈부호를 사용한 터보복호기는 AWGN 환경에서 비교적 간단한 복호 알고리즘을 가지면서도 18번의 반복 복호시에 0.7dB 라는 낮은 신호 대 잡음 비에서 10^{-5} 이라는 획기적인 성능을 보임으로써 많은 관심을 불러일으키게 되었다[1].

터보복호기의 장점은 기존의 길쌈 구조로 부호화한 출력과 원 데이터의 입력을 인터리빙하여 얻은 변형된 출력을 이용하여 이중의 패리티 정보를 사용함으로써 구속장(Constraint length)이 짧은 길쌈 부호의 성능을 증가시키는 특성을 가지고 있다. 복호 알고리즘은 재귀적 SISO (Soft Input Soft Output) 알고리즘을 사용하여 반복 복호수의 증가에 따라 BER의 관점

에서 샤논의 한계(Shannon limit)에 가장 근접하는 성능을 나타내고 있다. 한편 터보복호기의 단점으로는 긴 프레임에 따른 실시간 처리의 어려움, SISO 복호기의 복잡성에 따른 구현의 어려움, 최적의 인터리버 선택 및 인터리버 사이즈에 따른 지연 문제, 복호시 반복 횟수의 증가에 따른 복호 지연 등이 있다 [2-5]. 또한 이동 통신 환경에서는 심각한 성능저하를 보인다. 따라서 고속 이동통신 시스템에 이용하기 위해서는 적절한 시스템 사양이 요구되고 있다. 본 논문에서는 Log-MAP 알고리즘을 이용하여 주파수 선택적 페이딩 환경에서 기존시스템에 비해 제안된 구조에서 성능향상을 보였다.

• First Author: Jeong-Su Kim, Corresponding Author: Jeong-Su Kim

*Jeong-Su Kim(kjs@mail.kcu.ac), Dept. of Computer, Information and Communication, Korea Soongsil Cyber University

• Received: 2016. 09. 02, Revised: 2016. 09. 12, Accepted: 2016. 09. 24.

II. Preliminaries

1. 터보복호기

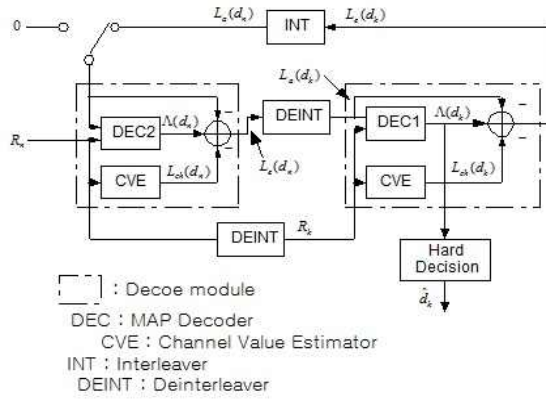


Fig. 1. Turbo decoding

그림 1은 터보 복호기의 구조를 보여주고 있다. 수신된 열은 사후 확률 $\Lambda(d_n)$ 의 로그 형태로 정의되어지며 사후 값을 계산하기 위해 복호기 DEC2에 입력된다. 외부 정보는 사전 값 $L_a(d_n)$ 과 채널값을 이용해 계산되어진다. 첫 번째 반복 복호에서 $L_a(d_n)$ 은 0으로 설정한다. 외부 정보는 구속장의 영향에 의해 복호된 심벌의 신뢰도 증가를 나타낸다. 외부 정보열은 디인터리버 되고 다른 복호기 DEC1에 사전 값 $L_a(d_k)$ 로 입력된다. 동일 시간에 디인터리버된 수신열도 복호기로 입력되어지고, 외부 정보 $L_e(d_k)$ 는 계산되어진다. 디인터리버는 외부 정보열과 수신 열을, 부호기에 입력되기 전의 정보열의 순서에 일치하는 순서로 재배열된다. 외부 정보는 인터리버 되고나서 DEC2로 입력되어, 인터리버 복호과정이 수행되어진다. 마지막 반복 복호에서는 최종 복호된 심벌은 최대값 $\Lambda(d_k)$ 을 가진다.

2. 레일레이 페이딩 채널 모델

수신신호를 N개의 신호중첩으로 다음 식(1)과 같이 표시한다.

$$E(t) = Re[T(t)e^{jw_c t}] \tag{1}$$

여기에서

$$T(t) = E_0 \sum_{n=1}^N c_n e^{j(w_n t \cos \alpha_n + \phi_n)} \tag{2}$$

c_n 은 n번째 신호의 크기, α_n 은 도착각, ϕ_n 은 위상이며, 통계적으로 서로 독립적이다. 도착각이 균일 분포 하다고 가정하면

$$c_n^2 = p(\alpha_n) d\alpha = \frac{1}{2\pi} d\alpha \tag{3}$$

여기에서 $d\alpha = 2\pi/N$, $c_n^2 = 1/N$ 이다.

따라서

$$\alpha_n = \frac{2\pi n}{N}, \quad n = 1, 2, \dots, N. \tag{4}$$

$N/2$ 를 홀수로 놓으면 다음과 같이 재배열된다.

$$T(t) = \frac{E_0}{\sqrt{N}} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=1}^{N/2-1} [e^{j(w_n t \cos \alpha_n + \phi_n)} \\ + e^{-j(w_n t \cos \alpha_n + \phi_{-n})}] \\ + e^{j(w_{N/2} t + \phi_{N/2})} + e^{-j(w_{N/2} t + \phi_{-N/2})} \end{array} \right\} \tag{5}$$

식 (5)의 첫 항은 n 이 1에서 $N/2-1$ 까지 변화할 때, $w_n \cos(2\pi/N)$ 에서 $-w_n \cos(2\pi/N)$ 까지의 도플러 천이를 갖는 파들을 나타내며 두 번째 항은 $-w_n \cos(2\pi/N)$ 에서 $w_n \cos(2\pi/N)$ 까지의 도플러 천이를 갖는 파들을 나타내므로 두 항의 주파수 성분은 서로 중첩됨을 알 수 있다. 그리고 셋째 항과 넷째 항은 각각 최대 도플러 천이 $+w_m$ 과 $-w_m$ 을 갖는 파를 나타낸다.

손실 없이 편리하게 신호를 겹치지 않는 파로써 표현하면 식 (6)과 같다.

$$T(t) = \frac{E_0}{\sqrt{N}} \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{2} \sum_{n=1}^{N_0} [e^{j(w_n t \cos \alpha_n + \phi_n)} \\ + e^{-j(w_n t \cos \alpha_n + \phi_{-n})}] \\ + e^{j(w_{N/2} t + \phi_{N/2})} + e^{-j(w_{N/2} t + \phi_{-N/2})} \end{array} \right\} \tag{6}$$

여기에서 $N_0 = \frac{1}{2}(\frac{N}{2}-1)$ 이다.

$\sqrt{2}$ 는 $E(t)$ 의 전체 전력이 변하지 않도록 하기 위해 사용되었다.

N 이 충분히 크면 중심극한정리에 의해 $T(t)$ 는 복소 가우신 안에 가깝게 되어 $|T|$ 가 레일레이 분포가 된다. 레일레이 근사화는 $N \geq 6$ 에서 매우 적당하다.

III. The Proposed Scheme

1. 제안된 다중 파일럿 구조

본 논문에서는 플랫폼 페이딩 환경에서 페이딩을 보상하는 채널 추정방식[6]과 레일레이 페이딩을 보상하는 단일 파일럿 형태인 PSAM 방식[7][8]비해 대역폭 효율이 떨어지지만 성능면에서 우수한 다중 파일럿 방식의 파일럿 패턴을 제안하고 성능

을 비교해 보았다. 그림 2는 제안된 다중 파일럿의 프레임 구조를 나타낸다.

Pilot symbol		Data symbol
$P_{1,1}$	0	$D_{1,m}$
$P_{2,1}$	0	$D_{2,m}$
⋮		
$P_{k,1}$	0	$D_{k,m}$

Fig. 2. Multi-pilots frame structure

$P_{k,m}$ 은 k 번째 프레임의 m 번째 파일럿 심벌을 나타내며 $D_{k,m}$ 은 k 번째 프레임의 m 번째 데이터 심벌을 의미한다. 한 프레임의 길이를 N 이라 하면, 프레임의 정보 심벌 수는 $N-2$ 가 된다. 파일럿 심벌은 $P+Pj$, 0을 사용한다. 제안된 방식은 파일럿 심벌로 추가 대역폭이 필요하지만 신호 보상정보의 추가로 인해 기존 방식에 비해 우수한 성능을 보인다.

2. Log-MAP

부호화 이득이 우수한 터보 복호기는 기본적으로 MAP 복호기와 인터리버, 디인터리버의 결합으로 구성된다. 하지만 MAP 복호기의 실제 구현 시 지수 연산의 복잡성으로 인한 값의 증가 및 구현의 어려움 때문에 MAP 알고리즘을 변형한 알고리즘인 Log-MAP을 사용한다. Log-MAP 알고리즘은 E연산을 정의함으로써 변형을 하게 되고 메모리 공간을 줄이기 위하여 야코비안(Jacobian) 로그를 이용하여 LUT(Look Up Table)로 구할 수 있다. 이에 본 논문에서는 반복 복호 기법을 사용하는 Log-MAP 복호기를 구현했다. Log-MAP 복호기 계산을 위한 로그 도메인에서 BM(Branch Metric), FSM(Forward State Metric), BSM(Backward State Metric), LLR(Log Likelihood Ratio)을 구한다.

$$D_k^m = \frac{1}{2\sigma^2} (-|r_k - a_k s_k|^2) \quad (7)$$

식 (7)은 BM으로 r_k 는 수신된 심벌을 의미하며, a_k 는 채널 상태 정보를 s_k 는 전송 심벌을 나타낸다. m 은 스테이트의 상태를 의미하고 σ^2 은 분산을 나타낸다. 다음으로 FSM과 BSM은 식 (8)와 (9)과 같이 나타낼 수 있고, LLR는 식 (10)와 같이 표현할 수 있다. 여기에서 j 는 00,01,10,11 각각의 입력 심벌을 의미한다.

$$A_{k+1}^m = E_{j=00}^{11} [D_k^{j,b(k,m)} + A_k^{b(j,m)}] \quad (8)$$

$$B_k^m = E_{j=00}^{11} [D_k^{j,m} + B_{k+1}^{f(j,m)}] \quad (9)$$

$$L(d_k) = E_m [A_k^j(m) + D_k^j(m) + B_{k+1}^j(m)] \quad (10)$$

$$- E_m [A_k^{00}(m) + D_k^{00}(m) + B_{k+1}^{00}(m)]$$

E-function은 식 (11)와 같이 정의되어 있다.

$$x E y \equiv \ln(e^x + e^y) \quad (11)$$

식 (11)는 야코비안 로그를 이용하여 식 (12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln(e^x + e^y) &= x + \ln(1 + e^{y-x}) \\ &= y + \ln(1 + e^{x-y}) \\ &= \max(x, y) + \ln(1 + e^{-|y-x|}) \\ &= \max(x, y) + f_c(|y-x|) \end{aligned} \quad (12)$$

여기에서 $f_c(\cdot)$ 는 두 수 사이의 차이에 관한 함수이며 정정함수라 한다. 이 값은 최대값 0.7을 갖고 빠르게 0으로 줄어든다. 따라서 $f_c(\cdot)$ 는 작은 크기의 LUT을 이용하여 구할 수 있다[그림 3].

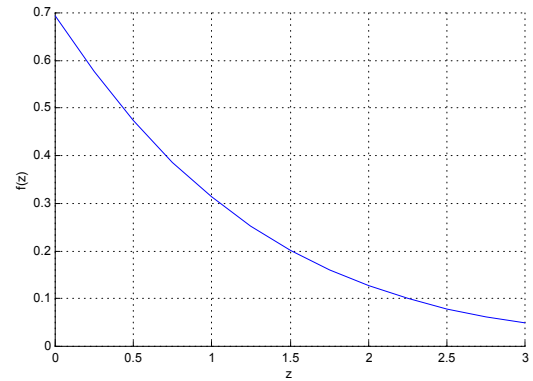


Fig. 3. Look up Table of correction function

IV. Performance Analysis

주파수 선택적 페이딩 채널 모델은 레일레이 페이딩 채널 모델에 의해 발진기의 수 N_0 를 달리하여 구현할 수 있다. 각기 다른 발진기의 수는 입사파의 각도를 다르게 하여 서로 다른 경로수와 도플러 주파수를 갖게 한다[9].

성능분석 환경은 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션 했고 본

논문에서는 지연파의 영향이 없는 페이딩 채널 Ray1은 N_0 를 8로 하고 τ 만큼 지연파의 영향을 받는 페이딩 채널 Ray2은 N_0 를 7로 구성하였다. 잡음 전력이 매우 적고 수신된 신호의 2차 모델에 의해 지연파의 영향을 받는 채널 τ 를 0.5로 하고 Ray1의 전력과 Ray2의 전력을 동일하게 하여 주파수 선택적 페이딩 채널 모델을 구현하였다. 성능평가를 위하여 CCI(cochannel Interference)에 의한 영향은 고려하지 않고 단지 독립적인 두 레일레이 페이딩에 의한 영향만을 고려했다. 시물레이션 필터는 roll-off factor가 0.5인 25차 raised-cosine필터를 사용하였고 T/4 주기로 샘플링하였다. 송신신호의 한 프레임 길이는 16으로 하고 원신호는 평균전력 $1/\sqrt{10}$ 의 값에 의해 정규화되었다. 파일럿 심벌은 $3+3j$, 0을 사용하여 수신 신호를 보간하기 위해 2차 가우시안 보간기(Gaussian Interpolator)를 사용하여 구성하였으며 도플러 주파수를 80Hz로하고 반복 복호수를 각각 1,3,5회하여 성능을 분석해 보았다[그림 4]. 반복 복호수를 1회로 했을 때 기존 방식과 제안된 방식은 신호대 잡음비가 40dB의 경우 BER이 10^{-3} 이하의 성능을 보임을 알 수 있고 제안된 방식은 반복 복호수를 3회로 했을 때 35dB에서 BER이 10^{-3} 이상의 성능을 보인다. 반복 복호수를 5회로 했을 때 40dB에서 기존 방식과 제안된 방식이 각각 BER이 10^{-5} , BER이 10^{-6} 에 근접한 성능을 보임을 알 수 있다.

제안된 방식은 반복 복호수가 1이고 BER이 10^{-2} 인 경우 기존 방식에 비해 약 1.5dB 성능향상을 보이고 반복 복호수를 3회로 했을 때 BER이 10^{-3} 에서 제안된 방식이 약 2dB 성능 향상을 보인다. 또한 반복 복호수가 5이고 BER이 10^{-4} 인 경우에 제안된 방식이 약 3dB 성능향상을 보임을 알 수 있다. 제안된 방식은 단일 파일럿 심벌을 사용한 방식에 비해 추가 심벌을 사용하여 대역폭 효율은 떨어지지만 성능향상을 보인다.

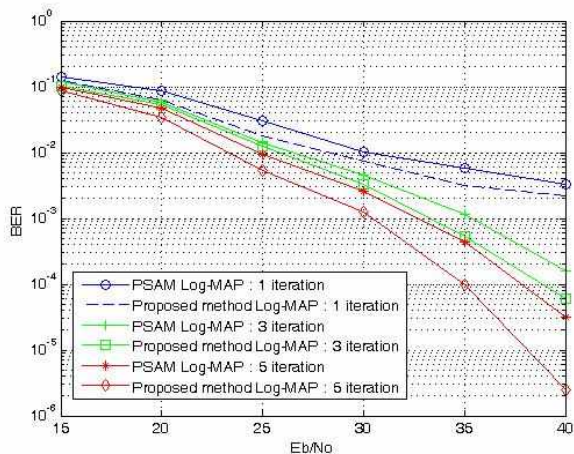


Fig. 4. BER performance comparison of proposed method and PSAM in frequency-selective fading channels

V. Conclusions

더욱 복잡해진 도심환경과 빠른 이동성으로 페이딩 채널 환경이 변하고 있어 향후 모바일 통신에 필요한 채널코딩 및 보상 기법이 요구되고 있다[10].

본 논문에서는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 대용량 서비스를 지원하고 고속 모바일 이동 중에 심각한 성능저하를 줄이기 위하여 부호화 이득이 우수한 Log-MAP 복호기를 적용하여 성능을 향상시키는 방법에 대해 제안하였다. 제안된 구조는 다중 파일럿 구조로 직렬로 연결된 두 개의 Log-MAP 복호기에 반복 복호 시 다음 Log-MAP 복호기의 부가 정보로 입력되어 정보의 신뢰도를 높일 수 있다. 인터리버 사이즈가 크고 반복 복호 수가 증가 할수록 성능이 개선되는 특징이 있다.

성능분석 결과 반복복호수가 증가 할수록 크게 성능이 향상됨을 알 수 있다. 반복 복호수를 1회로 했을 때 40dB의 이하에서 모두 10^{-3} 이하의 성능을 보임을 알 수 있고 반복 복호수를 5회로 했을 때 40dB에서 기존 방식과 제안된 방식이 각각 BER이 10^{-5} , BER이 10^{-6} 에 근접한 성능을 보임을 알 수 있다. 제안된 방식은 기존 방식에 비해 반복 복호수가 1이고 BER이 10^{-2} 인 경우 약 1.5dB 성능향상을 보이고 반복 복호수가 3이고 BER이 10^{-3} 에서 약 2dB 성능 향상을 보인다. 또한, 반복 복호수가 5이고 BER이 10^{-4} 인 경우에 약 3dB 성능향상을 보임을 알 수 있다. 전 구간을 분석해 본 결과 반복 복호수와 신호대잡음비의 증가에 비례하여 제안된 방식이 성능향상을 보였다.

REFERENCES

- [1] Jinjin He, Huaping Liu, Zhongfeng Wan, Xinming Huang, and Kai Zhang, "High-Speed Low-Power Viterbi Decoder Design for TCM Decoders," IEEE Transaction Very Large Scale Integration. (VLSI) System volume.20, no.4. April 2012.
- [2] 3GPP Technical Specification: Group Radio Access Network, LTE, Evolved Universal Terrestrial Radio Access, Multiplexing and channel coding, Release 13, TS 36.212 v13.0.0, January 2016.
- [3] Anita Suthar FET, Mody Institute of Technology and Science, Lakshmanagarh Sikar, Rajasthan, INDIA, "Performance analysis of Turbo decoding algorithms in digital communication," International Journal of VLSI & Signal Processing Applications, Vol.2, Issue 1, Feb 2012.

- [4] YEH CHIA J, UENG YL, LIN MC, et al. "Interblock memory for Turbo coding," IEEE Trans on Communications, 58(2) pp.390-393, 2010.
- [5] Mohammad Salim, R.P. Yadav, and S.Ravi kanth, "Performance Analysis of Log-map, SOVA and Modified SOVA Algorithm for Turbo Decoder," in proc .IEEE International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 9-No.11, November 2010.
- [6] M. Jafar Taghiyar, Sami Muhaidat, Jie Liang, "On the Performance of Pilot Symbol Assisted Modulation for Cooperative Systems with Imperfect Channel Estimation," in Proc. IEEE WCNC 10, pp. 1-5, Apr. 2010.
- [7] M. Jafar Taghiyar, Sami Muhaidat, Jie Liang, "On Pilot-Symbol-Assisted Cooperative Systems with Cascaded Rayleigh and Rayleigh Fading Channels with Imperfect CSI," Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), pp.24 -31, November Edition, 2010.
- [8] H. Muhaidat, M. Uysal, and R. Adve, "Pilot-symbol-assisted detection scheme for distributed orthogonal space-time block coding," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 3, pp. 1057-1061, March 2009.
- [9] Jeong-Su Kim, "A Research on Multiple PS QAM for Channel Compensation in Frequency-Selective Rayleigh Fading Channels," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 18, No. 7, pp. 79-84, July 2013.
- [10] Kim, Jang-Wook, "Performance Enhancement of OFDM Systems (Using Interference cancellation schemes of TD(Transmit Diversity))," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 17, No. 7, pp. 77-86, Nov. 2012.

Authors



Jeong Su Kim received the M.S. and Ph.D. degrees in Information Communication Engineering and Computer Engineering from Chonbuk National University, Korea, in 1998 and 2003, respectively.

Dr. Kim joined the faculty of the Department of IT at KCU, Seoul, Korea, in 2002. He is currently a Professor in the Department of Computer, Information and Communication, Korea Soongsil Cyber University. He is interested in wireless and mobile communication.