

차세대 고속무선 DTV를 위한 터보복호기반의 위상 옵셋 추정 기법

Phase Offset Estimation Based on Turbo Decoding in Digital Broadcasting System

박재성*, 차재상**, 이종훈***, 김홍묵****, 최성웅****, 조주필****, 박용운*****, 김진영*

Jae-Sung Park, Jae-Sang Cha, Chong-Hoon Lee, Heung-Mook Kim, Sung-Woong Choi, Ju-Phill Cho, Yong-Woon Park, Jin-Young Kim

요 약 본 논문은 차세대 고속무선 DTV(Digital Television)를 위한 터보복호기반의 위상 옵셋 추정 기법이 대해 연구하였다. 위상 추정기법은 터보 복호기 외부에 추정기를 두어 다음 상태의 위상을 추정하기 위해 LMS (Least Mean Square) 방식을 사용하였다. 기존의 LMS 방식은 구현이 간결하지만 고정된 스텝 사이즈를 가지고 있으므로 시간에 따라 변화하는 다중 경로 환경에서는 채널 추정이 힘들며 트래킹 능력이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 고정 스텝 사이즈가 아닌 채널의 상태에 따라 스텝 사이즈를 변화 시키는 가변 스텝사이즈를 갖는 LMS 방식을 제안한다. 모의실험은 임의의 위상 옵셋에 대하여 수행되었으며, 제안한 방식이 기존의 방식에 비해 개선된 성능을 보임을 알 수 있었다.

Abstract In this paper, we propose a phase offset estimation algorithm which is based on turbo coded digital broadcasting system. The phase estimator is an estimator outside turbo code decoder using LMS (Least Mean Square) algorithm to estimate the phase of next state. While the conventional LMS algorithm with a fixed step size is easy implemented, it has weak points that are difficult the channel estimation and tracking in the multipath environment. To resolve this problem, we propose new phase offset estimation method with a variable step size LMS (VS-LMS). Additionally, we propose a scheme which consists of a conventional LMS. The performance is verified by computer simulation according to a fixed phase offset and a increased phase offset, the proposed algorithm improve the bit error rate performance than the conventional algorithm.

Key Words : Double binary turbo code, least mean square, max-log MAP, phase estimator

I. 서 론

차세대 고속무선 DTV 시스템은 음성, 영상 등의 멀티

미디어 데이터의 수요 증가로 높은 데이터율의 고속 전송과 통신 기기의 소형화에 따른 저전력 소모 기기의 개발이 요구되고 있다. 하지만 통신 기기의 소형화를 위해 지름이 작은 안테나를 사용하므로 신호의 SNR (Signal to Noise Ratio) 이 상대적으로 작을 수 밖에 없다. 이는 데이터 전송에 있어서 채널 오류에 의한 정보 손실을 가중시키는 요인이며 전체적인 시스템의 성능 저하를 가져온다. 성능 저하를 개선하기 위해 정보의 중복성을 높여 오류를 정정함으로써 임의의 채널 오류에 의한 정보 손

*준회원, 광운대학교 전파공학과

**정회원, 서울산업대학교 매체공학과

***정회원, 서울산업대학교 스포츠건강학과

****정회원, 한국전자통신연구원 전자방송연구단

*****정회원, 국립군산대학교 전자정보공학부

*****정회원, 삼성전기 중앙연구소

접수일자 2009.03.18, 수정완료 2009.04.11

실을 최소화하는 채널 부호화 기법이 이동 통신 시스템에서 필수적인 블록이 되었다. 채널 부호화 기법 중 Berrou 등에 의해 제안된 터보 부호 (Turbo code)는 Shannon의 한계에 근접하는 획기적인 오류 정정 능력을 가진 기법으로 페이딩 채널 상에서도 신뢰성을 보장할 수 있는 강력한 부호화 기법임이 입증되었다^{1, 2}. 특히 이중이진 터보부호 (DBTC : Double binary turbo code)는 기존의 이진 터보부호의 구조를 변형하여 부호어 사이의 최소거리 (Minimum distance)를 증가시켜 복호 성능을 향상시키는 알고리즘으로 현재 DVB-RCS, IEEE 802.16의 표준으로 채택되었다^{3, 4}. 하지만 디지털 통신 시스템의 복호기에서는 다른 동기 요소들이 모두 심볼 동기회로에서 선택된 최적의 샘플 지점에서 동작하므로 수신기 동작 중 심볼 동기가 틀려지게 되면, 다른 모든 수신기의 구성 요소들은 심볼 동기가 완전히 맞춰지게 될 때까지 동작을 일시적으로 멈추게 되며, 시간이나 주파수에 대한 동기화에 오류가 발생하면 그에 따르는 에너지의 손실이 수반되어 결국 전체 시스템의 성능이 저하된다. 따라서 동기회로의 상태를 파악하여 정확한 동작이 요구된다.

동기 회로의 상태를 파악하기 위해서는 위상 추정기가 필요한데 기존의 연구에서 제안된 추정기는 터보 복기 외부에 고정된 스텝 사이즈를 갖는 LMS (Least Mean Square) 방식을 적용한 위상 추정기이다⁵. 이 방식은 구현이 쉽고 적은 계산량에 비해 성능이 좋다는 장점이 있지만 LMS 알고리즘은 시간에 따라 변화하는 다중경로 환경에서는 스텝 사이즈가 바람직하지 않다면 채널 추정이 힘들며 Tracking 능력이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 DBTC를 적용한 이동통신 시스템에서 고정 스텝 사이즈가 아닌 채널의 상태에 따라 스텝 사이즈를 변화 시키는 가변 스텝사이즈를 갖는 LMS 방식을 제안하고 성능 검증은 한다.

모의 실험은 임의의 위상 오프셋에 대하여 수행되었으며, 반복 복호 알고리즘으로는 Max-log MAP 방식을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 터보 부호화, 복호화 방법을 설명하고 기존의 위상 추정 알고리즘을 설명한다. III장에서는 제안한 위상 추정 알고리즘을 설명하고 IV장에서 모의 실험 결과를 통해 제안한 방식의 개선 성능을 검증한다. 마지막으로 V에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. 터보 부호화 과정

그림 1에 이중이진 터보 부호기 구조를 나타내었다. k개의 정보 비트로 만들어지는 부호화된 데이터 시퀀스는 2개의 CRSC (Circular recursive systematic convolutional code) 부호화기에 들어간다. 한 개는 데이터 그대로의 비트이며 (스위치 1에 위치), 시간 변경 함수 II에 의해 인터리빙 된 비트이다 (스위치 2에 위치). 부호화기는 k 비트들의 블록 또는 N개의 쌍들에 의해 공급된다 ($k=2*N$ bits). 이중이진 터보 부호화로 나온 정보 비트 A, B와 패리티 비트 Y1, W1, Y2, W2 (Y1, W1 : 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트, Y2, W2 : 인터리버된 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트)들은 부호율 (Code rate)에 따라 천공 과정 (Puncturing)을 거친 후 QPSK 변조되어 전송되어진다.

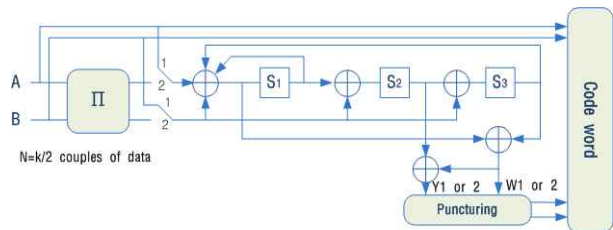


그림 1. 이중이진 터보 부호화기
Fig. 1. Double-binary turbo encoder.

2. 터보 복호화 과정

채널을 통해 함께 전송된 연속적인 정보비트들과 터보 부호화기에서 발생된 패리티 비트들이 터보 복호기에 입력값으로 들어온다. 터보 복호기에서는 Trellis mux를 통해 정보 비트와 패리티 비트로 구분되어 SISO (Soft input soft output) 복호기에 입력으로 들어가게 되며 정보비트, 패리티 비트와 함께 이전 SISO 복호기에서 발생된 사전 정보 값을 함께 사용하여 복호가 수행되는 과정이 반복되고, 이전 복호기 결과 값과 비교하여 추가된 부가 정보들에 대한 복호를 반복하여 결과 값에 대한 신뢰도를 증가시킨다. 이 과정에서 인터리버는 연결된 오류를 분산시키는 역할을 수행한다. 두 개의 SISO 복호기에서 지정된 횟수만큼 반복 복호로 얻는 결과 값은 경관정 과정을 거쳐 최종 값으로 출력된다. 그림 2은 터보 복호기의 기본 구조를 나타낸다.

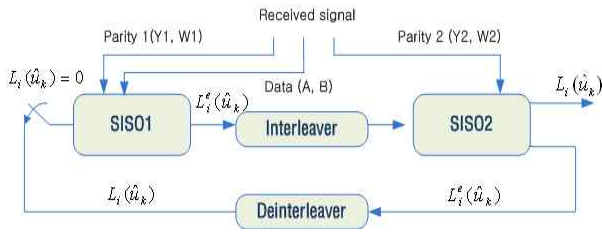


그림 2. 터보 복호화기
Fig. 2. Turbo decoder.

터보 복호 알고리즘으로는 MAP (Maximum a posteriori)에 근거한 알고리즘과 Viterbi 알고리즘의 출력을 Soft output 형태로 변경한 SOVA (Soft output Viterbi algorithm)이 있다. 이 중에서 MAP 알고리즘이 이론적 최적 알고리즘인데 다수의 곱셈과 지수연산으로 계산이 복잡하고 많은 메모리가 필요한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 Log-MAP, Max-log MAP 알고리즘 등이 제안되었다. Log-MAP 알고리즘은 log 연산의 특성을 이용하여 곱셈을 덧셈으로 바꾸고 지수 연산을 크게 줄인 것이고 Max-log MAP은 Log-MAP 알고리즘을 근사화한 준최적 알고리즘이다^[6]. 본 논문에서는 MAP 기반 알고리즘 중 계산량이 가장 적은 Max-log MAP 알고리즘을 이용하여 복호기를 구성하였다.

3. Fixed step size LMS

가장 널리 알려진 반송파 위상 추정 알고리즘으로는 DD (Decision Directed) 방식이 있다. 하지만 이 방식은 낮은 SNR 에서 동작이 어렵고 신속한 초기 포착 특성을 필요로 하는 위성통신에는 적합하지 않다^[7].

터보부호에서 반복복호를 사용하면 위상을 보정할 수 있는 확률정보를 쉽게 얻을 수 있다. 따라서 터보부호의 본 질에서는 기존의 반복복호를 사용하는 알고리즘에 대해 설명하도록 한다.

외부추정기는 터보 복호 시에 나오는 extrinsic soft output 정보를 위상 추정에 사용하는 것인데, 대표적으로 ML, LMS 방법등이 있다. 다음 그림 3와 같이 MAP decoder에서 생성된 extrinsic 정보는 위상 추정기로 가게 되고 extrinsic 정보를 이용하여 터보 복호와 함께 위상 추정이 반복적으로 수행된다.

수신 단에서 받은 신호를 r_k 이라고 했을 때 다음과 같은 수식으로 모델링 할 수 있다. 이것은 이득제어와 심볼 타임 복구와 코드 프레임동기가 이루어졌다는 가정하

에 가능한 것이다.

$$r_k = c_k e^{j\theta_k} + n_k \quad (9)$$

여기서 c_k 는 QPSK 심볼의 단위 에너지를 말하고, n_k 는 평균이 0인 복소 가우시안 노이즈를 나타낸다. θ_k 는 추측해야 할 알지 못하는 주파수 위상이다. 이 위상을 추측하기 위하여 다음과 같이 LMS 식을 사용하였다.

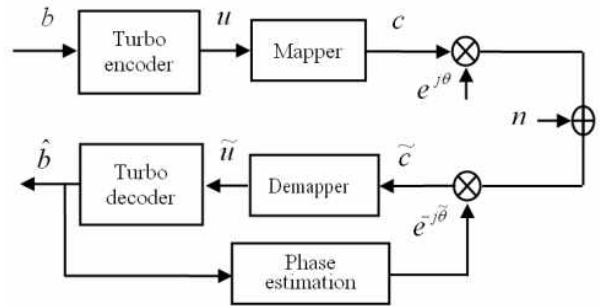


그림 3. 외부 위상 추정기
Fig. 3. Phase estimator outside turbo code decoder.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \Delta (r_k - \hat{g}_k \alpha) \alpha^* \quad (10)$$

여기서 \hat{g}_{k+1} 는 시간인덱스 k 번째의 추정된 위상을 지수함수로 표시한 것이고, r_k 는 채널에서 받은 수신된 신호, Δ 는 스텝사이즈, α 는 c_k 의 APP average값을 나타내고 터보 복호기로부터의 soft information을 바탕으로 구할 수 있다.

III. 제안한 위상 추정기

1. Variable step size LMS

고정 스텝 사이즈를 갖는 LMS 알고리즘은 구현이 쉽고 적은 계산량에 비해 성능이 좋다는 장점이 있지만 LMS 알고리즘은 시간에 따라 변화하는 다중경로 환경에서는 스텝 사이즈가 바람직하지 않다면 채널 추정이 힘들며 Tracking 능력이 떨어진다는 단점이 있다. 제안된 VS-LMS (Variable Step size LMS) 알고리즘은 LMS에 비해 적은 계산량 증가로 수렴 속도와 Tracking 능력을 향상시킨 알고리즘이다^[8]. Tracking이란 위상이 거의 일정한 값으로 있는 것이 아니라 계속 변화하는 경

우 그 변화를 따라가는 것을 말한다. 위상을 추측하기 VS-LMS 식은 다음과 같다.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \Delta_k (r_k - \hat{g}_k \alpha) \alpha^* \quad (11)$$

여기서 Δ_k 는 가변 스텝사이드로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta_{k+1} = \frac{r_k - \hat{g}_k \alpha}{r_k} \cdot \Delta_{\max} \quad (12)$$

$$\Delta_{k+1} = \begin{cases} \beta \cdot \Delta_k, & \text{if } \Delta_{k+1} < \beta \cdot \Delta_k \\ \Delta_k / \beta, & \text{if } \Delta_{k+1} < \Delta_k / \beta \end{cases} \quad (13)$$

다음 스텝사이즈를 $r_k - \hat{g}_k \alpha$ 를 r_k 로 정규화하여 위상 추정에 관계된 스텝사이즈 Δ_{k+1} 를 결정한다. 여기서 Δ_{\max} 는 스텝사이즈의 최대값이며 위상 추정기의 초기 값으로 적용된다. 스텝 업데이트 식에 스텝사이즈 업데이트 변수 $\beta (0 < \beta < 1)$ 를 첨가함으로써 잡음이 있을 때와 없을 때 추정치에서 변화하는 것을 막을 수 있다.

IV. 실험 및 결과

모의 실험에서 인코더는 8개의 상태를 갖는 이중이진 터보 부호를 사용하였고 부호율 1/3, QPSK 변조를 사용하였다. 전송모델에서 입력 데이터 한 블록의 사이즈는 424 개의 bit로 하였으며 실험을 목적으로 인위적인 위상 오차 $e^{j\theta}$ 를 발생시키는 모델을 적용하였다. 본 논문에서는 위상 오차를 식 (14)로 나타내었다.

$$\theta = \beta_c + \phi \quad (14)$$

여기서 β_c 는 위상오차, ϕ 는 위상잡음을 말한다. 모의 실험 결과 곡선에서 표기법은 "1_2_3_4"와 같은 기준으로 표시하였다. 각각의 항목의 의미는 우선 첫 항목은 fix_, vs_으로 고정 스텝 사이즈와 가변 스텝 사이즈를 표기한 것이고, 다음 항목은 초기 스텝사이즈를 나타낸다. 다음 항목으로 위상오차를 나타낸 것이다. 마지막 항은 위상잡음의 분산 값을 나타낸다.

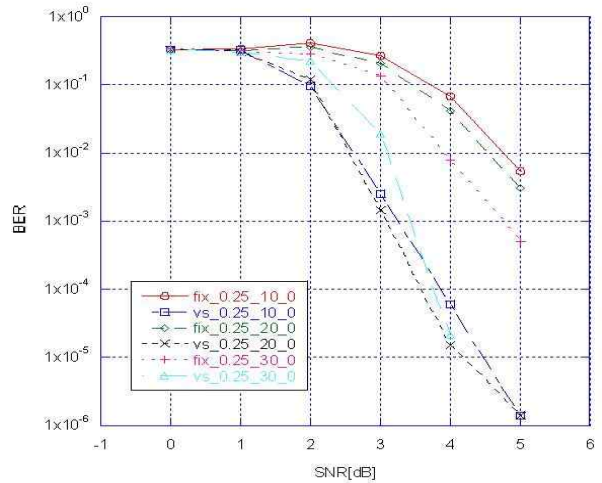


그림 4. $\beta_c=10, 20, 30 \phi=0$ 일 때의 BER 성능
Fig. 4. The BER performance on $\beta_c=10, 20, 30 \phi=0$.

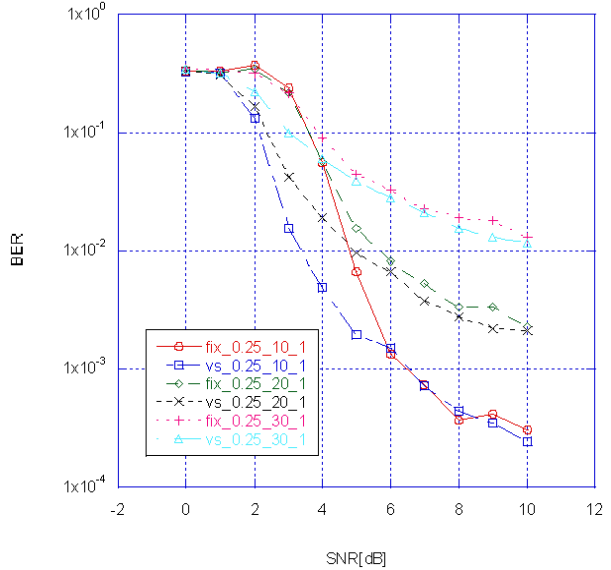


그림 5. $\beta_c=10, 20, 30 \phi=1$ 일 때의 BER 성능
Fig. 5. The BER performance on $\beta_c=10, 20, 30 \phi=1$.

그림 4와 그림 5는 위상 오차가 10, 20, 30도이고 위상 잡음이 0도와 1도인 경우의 각각의 모의 실험 결과이다. 위 결과를 보면 위상오차가 10, 20, 30도의 경우 모두 기존의 LMS 알고리즘 보다 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 차세대 고속무선 DTV 시스템은 고속 데

이더 전송이 원활하도록 이중이진 터보부호 알고리즘을 사용하였으며, 고속 페이딩 환경에서 Tracking 능력이 강한 VS-LMS 알고리즘을 Max Log-MAP 복호에 적용한 알고리즘을 제안하였으며 PA 알고리즘과 반복 복호 기반 위상 추정기를 사용한 위상 동기 획득 알고리즘을 제안하였다. 모의 실험 결과에서 보는 것과 같이 위상 오차 10, 20, 30도 일 경우 기존의 LMS를 적용한 위상 추정기에 비하여 가변 스텝 사이즈를 갖는 LMS를 적용한 위상추정기가 약 1~2dB의 성능 개선을 보였다. 본 연구 결과는 위상 오차가 크게 발생하는 고속 디지털 방송 시스템에서 활용되어질 수 있다.

참고문헌

- [1] C. Berrou, C. Douillard, and M. Jezequel, "Multiple parallel concatenation of circular recursive convolutional (CRSC) codes," *Annals of Telecommun.*, vol. 54, no. 3-4, pp. 166-172, Mar.-Apr. 1999.
- [2] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding," in *Proc. of Int. Communications Conf. (ICC'93)*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, May, 1993.
- [3] IEEE 802.16-REVd/D5-2004, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Part 16.
- [4] C. Douillard, M. Jezequel, C. Berrou, N. Brengarth, J. Tusch and N. Pham, "The turbo code standard for DVB-RCS," in *Proc. of Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics*, Brest, France, pp. 535-538, Sep. 2000.
- [5] J. G. Ryu, J. Heo, P. S. Kim, and H. J. Lee, "Iterative phase offset estimation for mobile broadband satellite internet systems," in *Proc. of IEEE VTC 2006-Spring*, vol. 6, pp. 2617-2620, May, 2006.
- [6] P. Robertson, P. Hoeher, and E. Villebrun, "Optimal and sub-optimal maximum a posteriori algorithm suitable for turbo decoding," *Eur. Trans. Telecommun.*, vol. 8, no. 2, pp. 119-125, Mar.-Apr. 1997
- [7] C. Langlais and M. Helard, "Using tentative decisions for carrier phase recovery of turbo-coded transmissions," *IEEE Electron. Lett.*, vol. 37, no. 9, pp. 606-607, Apr. 2001,
- [8] R. H. Kwong and E. W. Johnston, "A variable step size LMS algorithm," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, pp. 1633-1642, Jul. 1992.

※ 본 연구내용의 일부는 2008년도 정보(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. R01-2006-000-11183-0)

저자 소개

박 재 성(준회원)



- 2008년 광운대학교 전자공학과 공학사 졸업.
 - 2009년 현재 광운대학교 전자공학과 석사 과정.
- <주관심분야 : 이동 통신, 디지털 통신, 채널 부호화, 동기화>

차 재 상(정회원)



- 2000년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ETRI 이동통신연구소 무선 전송기술팀 선임연구원
- 2008년 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술>

이 중 훈(정회원)



- 1995년 성균관대학교 이학박사
 - 2009년 현재 서울산업대학교 스포츠건강학과 부교수
- <주관심분야 : 유무선 센서통신, Kinetic 분석 및 기구 개발>

김 흥 목(정회원)



- 1995년 포항공과대학교 전기전자공학과 공학석사
- 2001년 포스코 기술연구소 근무
- 2003년 (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2009년 현재 한국전자통신연구원 선임연구원

<주관심분야 : RF신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템>

최 성 웅(정회원)



- 1999년 경북대학교 전자공학과 공학석사
 - 2000년 LG 정보통신 무선망연구실
 - 2009년 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
- <주관심분야 : 무선망 설계, 디지털방송 채널배치>

조 주 필(정회원)



- 1991년 전북대학교 전자공학과 공학박사
- 2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2009년 현재 국립군산대학교 전자정보공학부 조교수

<주관심분야 : 적응신호처리, 이동통신 신호처리>

박 용 운(정회원)



- 2007년 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
 - 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- <주관심분야 : Cognitive Radio, 60GHz 무선통신용 ADC>

김 진 영(정회원)



- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
- 2009년 현재 광운대학교 전자공학과 부교수

• 2009년 현재 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>