

레터논문-07-12-4-08

개선된 VSB 수신 시스템을 위한 직렬 연결 터보 격자변조부호 방식

허서원^{a)†}, 김창중^{a)}, 이호경^{a)}

Serial Concatenated Turbo TCM Coding Scheme for Enhanced VSB

Seo Weon Heo^{a)†}, Chang-Joong Kim^{a)}, and Ho-Kyoung Lee^{a)}

요 약

최근 DTV 전송규격으로 채택되고 있는 VSB 방식의 성능 개선을 위한 연구가 진행되었다. 이미 상당수가 보급되어 있는 기존 수신기의 수신 성능에는 영향을 주지 않으면서 개선된 스트림 (enhanced stream)의 수신을 가능하게 하기 위하여 기존 방식과 호환성이 있는 부호 방식의 연구가 진행되었다. 이제까지 제안된 방식들은 기존의 8-VSB 부호기의 외부에 외측 부호기로 주로 격자 부호기 (trellis encoder)를 직접 연결하는 방식만이 제안되었다. 본 논문에서는 기존의 격자 부호기와 외측 부호기를 인터리버로 연결하는 직렬 연결 터보 격자부호변조(Turbo Trellis Coded Modulation) 방식을 제안하고, 전산 모의실험을 통해서 제안된 방식의 성능을 기존 방식과 비교한다.

Abstract

Recently, research on the enhancement of the conventional VSB scheme for DTV signal transmission have been done. Not to affect on the performance of the widely spread conventional receivers and at the same time be able to receive the enhanced stream, there have been efforts to enhance the coding scheme which is backward compatible with the conventional method. The conventional schemes proposed so far is based on the idea of combining a new trellis encoder with the standard 8-VSB trellis encoder. In this paper, we propose serial concatenated turbo TCM scheme which combines two trellis encoder with the interleaver between them. We compare the performance of the proposed scheme and the existing scheme through computer simulation.

Keywords : VSB, TCM, 터보, DTV

1. 서 론

고화질의 영상을 기존의 주파수 대역에 전송하기 위하여 ATSC(Advanced Television System Committee)에서 8-VSB를 기반으로 하는 디지털 TV 전송방식을 표준으로 채택하였고^[1], 국내에서도 97년부터 이를 도입하여 적용 중이다. 디지털 신호 처리 기술의 급속한 발달과 무선 데이터

통신 기술이 진보함에 따라 방송과 통신의 결합이라는 새로운 패러다임이 제안되었고, 휴대용 단말기를 통한 이동 중 TV 수신에 요구도 증대되었다. 이에 따라 ATSC에서는 기존의 VSB 방식과 호환성을 유지하면서 이동시 수신 성능 향상을 위한 개선된 (enhanced) VSB 방식에 대해서 연구하게 되었다.

개선된 VSB 방식에서는 종래의 부호율 2/3의 격자부호변조 방식의 구조는 유지하면서 외부에 추가로 부호율 1/2의 격자 부호를 연결하는 구조가 주로 연구되었다. 격자 부호기의 선택을 두고 Zenith/AI사에서 제안된 E-VSB (enhanced

a) 홍익대학교 전자전기공학부

School of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University

† 교신저자: 허서원 (scoweon.heo@hongik.ac.kr)

* 이 논문은 2007학년도 홍익대학교 학술진흥연구비에 의하여 지원되었음

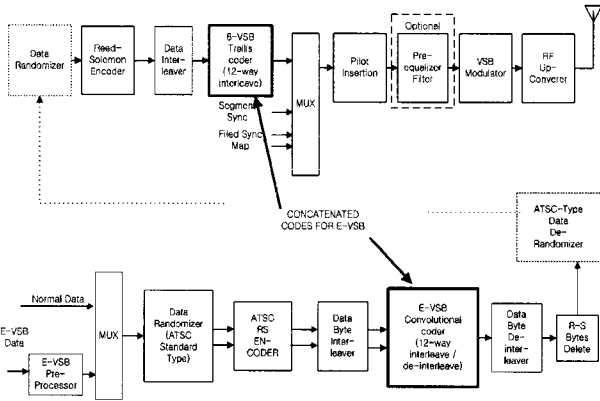


그림 1. E-VSB 채널 부호기 구성도
Fig.1. E-VSB Channel Encoder Block Diagram

VSB) 방식^[2]과 Philips사에서 제안한 pseudo 2-VSB 방식^[3]이 경쟁을 하였고 결과적으로 E-VSB방식이 표준으로 채택되었다. 그러나 두 방식 모두 이동시 수신 성능에 문제점을 안고 있어서 성능 개선을 위한 연구가 필요하다.

Shannon의 채널 용량에 근접하는 성능을 보이는 것으로 알려진 터보 부호(turbo coding)는 순환 복조 (iterative decoding) 방식을 채택함으로써 복잡도가 증가하지만 오류 정정 능력이 탁월하여, VLSI 설계 기술의 진보와 함께 이동통신 표준 복호 알고리즘으로 채택되었다. 그리고 유럽 방식의 DTV 전송방식에서 격자 부호와 RS (Reed-Solomon) 부호를 연결하는 방식과 더불어 터보 부호 방식을 표준 부호 방식으로 채택하였다^[4].

본 논문에서는 DTV 수신 성능을 개선하기 위하여 부호율 2/3인 기존의 격자부호변조기를 내측 부호기로 사용하고 이를 인터리버를 통하여 부호율 1/2인 외측 격자 부호기와 직렬 연결한 터보 격자부호변조 방식을 제안하고 전산 모의실험을 통해서 제안된 방식과 기존 방식의 성능을 비교한다.

II. 기존 방식

그림 1에 ATSC에 개선된 전송방식 표준으로 채택한 E-VSB의 송신기 구조를 나타내었다. 보통 스트림(normal stream)은 그림의 윗부분의 경로를 따라 randomizer, RS 부호기, 인터리버, 격자 부호기를 거친 후 VSB 신호 레벨에

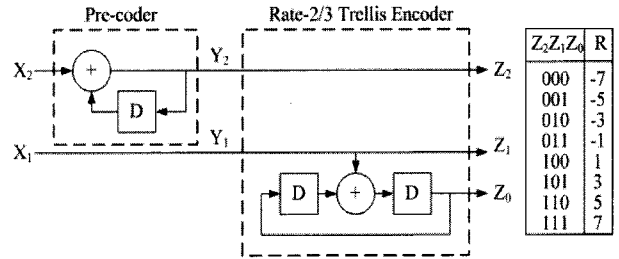


그림 2. 8 VSB 전송 방식의 격자 부호기
Fig. 2. Trellis encoder for 8 VSB System

매핑되어 전송된다. 반면 강인 스트림 (robust stream)은 그림의 하측 경로 처리부분을 통과한 후에 상측의 기존 송신기에 입력된다.

그림 2에 기존의 VSB 전송방식에서 보통 스트림(normal stream)을 보호하는데 사용되는 격자 부호기를 나타내었다. 상위 비트는 전치부호기(pre-coder)를 거치고 하위비트는 바로 부호율 2/3인 격자 부호기에 입력된다. 격자 부호기의 출력비트는 격자부호변조방식에 따라 오른쪽 테이블에 나타나 있는 것과 같이 8개 신호 레벨(-7,-5,-3,-1,1, 3,5,7)에 매핑된다. 그림 3에는 강인 스트림을 보호하기 위하여 부호율 1/2인 격자 부호기를 기존 부호기와 연결한 시스템을 나타내었다. 하측 부호기는 Philips사가 제안한 Pseudo 2-VSB 방식의 부호기를 나타내고 상측 부호기는 Zenith사에서 제안한 E-VSB방식을 나타낸다.

Pseudo 2-VSB 방식의 경우 개선된 부호기의 출력 2비트

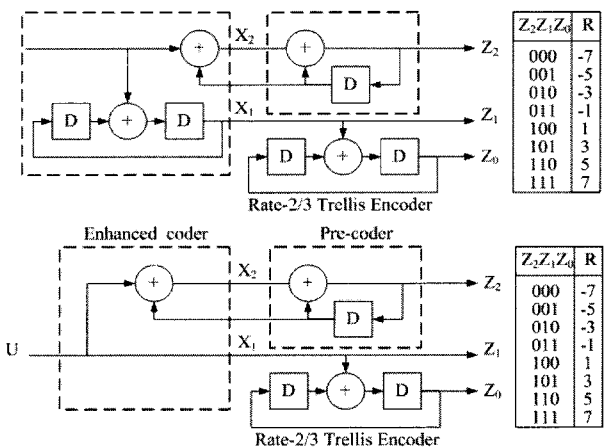


그림 3. E-VSB 방식과 Pseudo 2-VSB 격자 부호기
Fig. 3. Trellis encoder for E-VSB and Pseudo-2VSB

(Z1, Z2)가 실제로 같은 비트에 매핑 되기 때문에 8개 신호 레벨 중 $\{-7, -5, 5, 7\}$ 의 4개의 신호 레벨만을 사용한다. 따라서 평균 송신 전력이 증가하고 모든 심볼이 동일한 확률로 발생하지 않기 때문에 기존 수신기의 동작에 영향을 줄 우려가 있다. 결과적으로 ATSC에서는 아래 그림에 나타난 E-VSB 방식을 표준으로 채택하였는데, 기존의 상태수가 4 이고 부호율 2/3인 부호기를 상태수 16, 부호율 1/3의 보다 강력한 부호기로 대체한 형태이다.

III. 제안된 방식

이제까지 제안된 방식들은 기본적으로 기존 수신기와의 호환성을 유지하기 위하여 기존 부호기를 내측부호기로 고정하고 추가로 외부에 외측 부호기를 직접 연결하여 보다 강력한 오류 정정 능력을 얻는 구조이다. 실제로 두 개의 부호를 직접 연결하지 않고, 인터리버를 통해서 연결하는 터보 부호기의 경우, 순환 복호 기법을 통해서 상당한 성능 향상을 얻을 수 있음이 알려져 있다.

그림 4에 제안된 방식의 부호기 구조를 나타내었다. 기존의 부호기 외부에 부호율 1/2의 외부 부호기를 추가하여 종래의 부호율 2/3의 격자 부호기와 연결한다는 점에서는 기존의 방식과 동일하지만, 성능향상을 위해서 인터리버를 중간에 두어 직렬 연결 터보격자변조기(serial concatenated turbo TCM)를 형성하였다. 제안된 방식에서는 외부 부호기로 기존의 격자부호변조 방식을 그대로 사용하므로 평균 전력의 증가가 없고 기존 수신기의 성능에 영향을 주지 않으며 순환 복호에 의한 성능향상을 얻을 수 있다.

간략화 된 부호기와 복호기의 구조를 그림 5에 나타내었

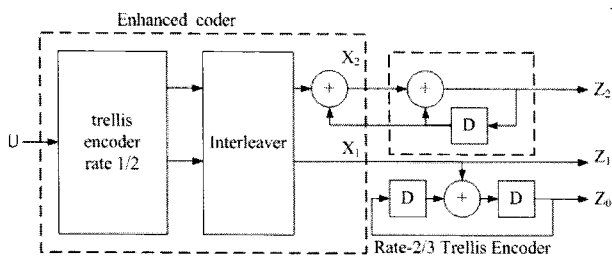


그림 4. 제안된 부호기
Fig. 4. Proposed Encoder

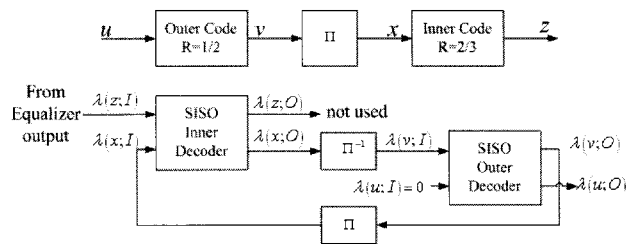


그림 5. 복호기 구조
Fig. 5. Decoder Block Diagram

다. 복호기는 기본적으로 SISO (soft input soft output)모듈과 인터리버/디인터리버(Π, Π^{-1})로 구성된다. 외측 부호기(outer code)의 입,출력 신호를 각각 u, v 그리고 내측 부호기(inner code)의 입,출력 신호를 각각 x, z 라고 표기한다. 먼저 내측 복호기는 채널 등화기의 출력 신호로부터 추정된 연성 출력 $\lambda(z, I)$ 와 이전단계의 외측 복호기의 출력인 사전확률(a priori probability) $\lambda(x, I)$ 을 입력으로 전달받아 MAP (Maximum A Posteriori) 복호 알고리즘을 수행하고 외부 정보(extrinsic information) $\lambda(x, O)$ 를 출력한다. 외측 복호기는 내측 복호기의 출력 $\lambda(x, O)$ 의 역인터리버 출력인 $\lambda(v, I)$ 을 입력으로 전달받아 동일한 MAP 복호 알고리즘을 수행한 후 부호어에 대한 외부 정보 $\lambda(v, O)$ 와 입력비트에 대한 외부 정보 $\lambda(u, O)$ 를 출력한다. 내측 부호와 외측 부호에 대해서 동일한 SISO 복호 알고리즘이 적용되므로 내측 부호기의 복호 과정만 설명한다. 먼저 수신된 신호 r_k 는 다음과 같이 기술된다.

$$r_k = R(z_k) + n_k \quad (1)$$

여기서 n_k 는 스펙트럼 밀도 N_0 의 백색 잡음이고, $R(\cdot)$ 는 부호어(code word)를 VSB 신호 레벨로 매핑하는 함수이다. 복호과정에서 s, s' 는 격자 상태를 나타내는 지표이고 $x(s, s')$ 와 $z(s, s')$ 는 각각 상태천이 (s, s') 에 해당하는 입력 및 출력 부호어를 나타낸다. 복호 과정은 먼저 수식 (2)부터 (4)의 방정식에 의해 기술되는 전/후방 회귀식의 갱신 및 다음 단계로 전달되는 외부 정보의 계산으로 이루어진다.

$$\alpha_k(s) = \sum_{s'} \alpha_{k-1}(s') \lambda_k(x(s', s); I) \lambda_k(z(s', s); I) \quad (2)$$

$$\beta_k(s) = \sum_s \beta_{k+1}(s') \lambda_{k+1}(x(s, s'); \mathcal{L}) \lambda_{k+1}(z(s, s'); \mathcal{L}) \quad (3)$$

$$\lambda_k(z(s', s); \mathcal{L}) = \exp\{-|r_k - R(z(s', s))|^2 / N_0\} \quad (4)$$

IV. 실험 결과

본 장에서는 제안된 부호 방식과 기존 E-VSB 방식의 수신 성능을 전산 모의실험을 통해서 비교한다. 복잡도를 고려하여 외측 부호기의 메모리의 수는 최대 2(상태수 4)로 제한하였고 재귀적(recursive) 구조와 전방향(feed-forward) 구조의 부호 모두를 검색하였다. 먼저 거리 스펙트럼(distance spectrum) 분석을 통하여 자유 거리가 큰 부호기를 후보 부호기 집합으로 선정한 후, 실험을 통해서 오류율이 낮은 부호기를 결정하였다. 사용된 부호기는 생성 다항식 $G(D) = [D, 1+D+D^2]$ 으로 표시되는 부호를 1/2인 전방향 부호기이며 랜덤 인터리버를 사용하였다. 터보 부호의 성능은 블록 크기에 어느 정도 비례하지만, 본 논문에서는 복호 과정의 시간 지연과 성능을 고려하여 블록 크기를 2048로 정하였다. AWGN 채널에 대하여 제안된 부호기의 비트 오류율 성능을 그림 6에 나타내었다. Pseudo-2VSB 방식은 평균 전력을 보상하는 경우 E-VSB 방식 대비 약

0.5dB의 성능 감소가 있다. ATSC 기준에 따르면 초당 약 2.5개 정도의 블록 오류가 발생하는 순간부터 화질이 급격히 열화되며 이에 해당하는 SNR을 TOV (threshold of visibility)로 정의한다. 이에 해당하는 격자 부호기의 출력 비트 오류율은 대략적으로 2×10^{-3} 이다. 제안된 방식은 비트오류율이 10^{-3} 에서는 약 1.5 dB, 10^{-4} 에서는 약 1.9 dB의 성능 향상을 보여준다. 비록 복잡도를 줄이기 위한 노력과 채널 등화기(equalizer)와의 연동 성능 등에 대한 추가적인 연구가 필요하지만, 제안된 방식은 후방 호환성을 유지하면서도 기존 방식대비 상당한 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

V. 결론

현재 DTV 수신기의 성능을 향상시키기 위한 노력이 이루어지고 있다. 특히 이동시의 수신 성능 향상을 위해 채널 부호화 방식을 개선하기 위한 노력이 있었다. 본 논문에서는 후방 호환성을 유지하면서 최신의 부호 방식 중 하나인 터보 격자변조부호방식을 적용한 새로운 방식의 DTV 부호 방식을 제안하였다. 제안된 부호 방식은 기존의 출력 신호 레벨을 변경하지 않고, 외측 부호기로 기존의 부호기를 그대로 사용하기에 기존 수신기의 신호 처리에 영향을 주지 않고 후방호환성을 유지한다. 제안된 방식은 기존 방식 대비 비트오류율이 10^{-3} 에서는 약 1.5 dB, 10^{-4} 에서는 약 1.9 dB의 성능 향상을 보여준다.

참고 문헌

- [1] Advanced Television System Committee, "ATSC Digital Television Standard, Doc. A/53," Sep. 16, 1995
- [2] W. Bretel et al., "ATSC RF, Modulation, and Transmission", Proceedings of IEEE, Vol. 94, No. 1, pp.44-59, Jan 2006.
- [3] V. R. Gaddam, D. Birru, "A Newly Proposed ATSC DTV System for Transmitting a Robust Bit-stream along with the Standard Bit-stream", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 4, pp.933-938, Nov. 2003.
- [4] ETSI, "Digital Video Broadcasting: Framing Structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", EN 300 744 v1.4.1(2001-01)

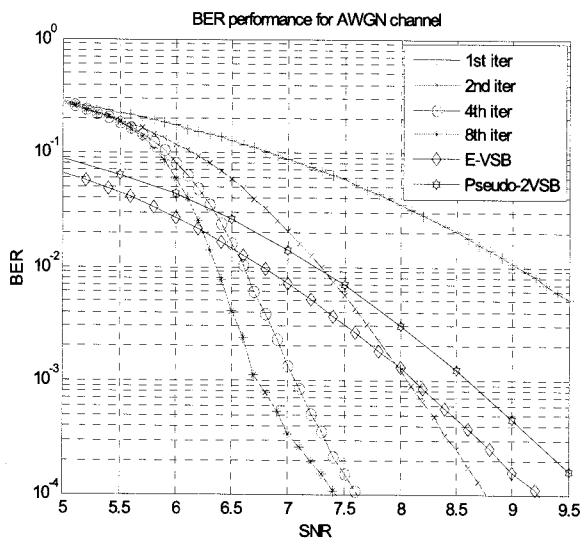


그림 6. . 제안된 부호기의 BER 곡선
Fig. 6. BER curve of the proposed scheme