

특집논문-05-10-1~02

차세대 지상파 DTV 전송시스템을 위한 Enhanced-TCM CODEC개발

김 성 훈^{a)†}, 지 금 란^{a)}, 이 재 영^{a)}, 김 승 원^{a)}, 이 수 인^{a)}, 김 창 중^{b)}, 이 호 경^{b)},

Enhanced-TCM CODEC Development for Next Generation Terrestrial DTV Transmission System

Sung-Hoon Kim^{a)†}, Kum-Ran Ji^{a)}, Jae-Youn Lee^{a)}, Seung-Won Kim^{a)}, Soo-In Lee^{a)},
Chang-Joong Kim^{b)}, Ho-Kyoung Lee^{b)}

요 약

본 논문은 보행/이동수신 환경에서 기존의 ATSC(Advanced Television System Committee) 8-VSB DTV 전송규격의 수신성능을 개선한 Enhanced-xVSB를 제안한다. E-xVSB시스템은 normal(8-VSB) 스트림과 enhanced(robust) 스트림을 섞어 전송하며, robust 스트림은 기존의 8-VSB 스트림인 normal stream에 비해 모드에 따라 TOV(Threshold Of Visibility)를 만족하는 SNR을 획기적으로 개선시킬 수 있으며. 이와 같은 robust 스트림은 E-xVSB 전용수신기가 아닌 기존 수신기에서는 MPEG 스트림 역다중화 과정에서 누락 되어지므로 기존의 8-VSB 수신기와 하위호환성을 유지한다. E-xVSB는 이동 및 보행수신 성능개선을 위해 reduced constellation 및 enhanced trellis coded modulation기법을 도입하였으며, 사용목적에 따라 Pseudo-2VSB, Enhanced-4VSB, Enhanced-xVSB 및 Hybrid 모드등 다양한 변조기법을 지원한다.

Abstract

This paper described an Enhanced-xVSB system for improving mobile/pedestrian reception performance to the ATSC(Advanced Television System Committee) DTV 8-VSB transmission standard. E-xVSB system can transmit a mixture of normal (8-VSB) stream and enhanced (robust) stream. The robust stream has a higher threshold of visibility (TOV) compared to the standard stream, and legacy receivers ignore the robust packets. Thus, Enhanced-xVSB system is fully backward compatible with a current ATSC standard. For mobile and portable reception support, E-xVSB system adopts a reduced constellation method as well as enhanced trellis-coded modulation scheme. E-xVSB system supports a variety of enhanced modulation schemes: Pseudo-2VSB, Enhanced-4VSB, modified Enhanced-8VSB and Hybrid-VSB. Proposed E-xVSB system performs well under serious dynamic multipath reception environment.

Keywords: Enhanced-xVSB, Robust Stream

I. 서 론

국내 지상파 디지털 방송 전송방식 표준으로 선정된

a) 한국전자통신연구원(ETRI) 디지털방송연구단 방송시스템 연구그룹
Digital Broadcasting Research Division, Broadcasting System Dept., ETRI
b) 홍익대학교 전기전자공학부

Department of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University

ATSC(Advanced Television System Committee) 8-VSB방식은 2000년 ABERT/SET브라질 테스트에서 보고된 바와 같이 빌딩 등의 반사파에 기인한 도시형 난청지역, 낮은 전계강도, 높은 도플러 천이효과 및 dynamic echo가 존재하는 실내/휴대/이동수신환경에서 수신기의 신호수신률이 현저히 떨어지는 특성을 나타내고 있는 것으로 지적되었다^[1]. 이에 따라 미국의 지상파 DTV 표준화 기구인 ATSC산하

T3/S9에서 고정/휴대/이동수신 환경 하에서의 수신률 개선 및 성능향상을 목표로 개선된 지상파 전송방식 개발 및 표준화를 진행한 결과 2004년 7월 Zenith/ATI사가 제안한 E-VSB(Enhanced-VSB)방식을 개선된 전송방식의 표준으로 선정하였다. 그러나 Zenith/ATI사가 제안한 E-VSB방식 역시 8-VSB와 같이 8-level 신호성상을 그대로 유지하고 있으므로 실내수신 성능향상이외에 dynamic echo환경 하에서의 수신성능에 기인하여 휴대/이동수신이 사실상 불가능한 것으로 평가되고 있으며, 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 DTV수신기의 수신성능 개선 연구가 여전히 필요한 상황이다.

본 논문에서는 이러한 8-VSB/E-VSB의 성능향상을 위해 8-level의 신호성상을 4-level로 줄여 dynamic echo 제거성능을 비약적으로 향상시키며, 현재의 8-VSB 송수신 시스템과 하위호환성을 그대로 유지할 수 있는 Enhanced-xVSB 시스템을 제안한다.

본 논문에서는 2장에서 현재 ATSC의 표준인 Zenith/ATI가 제안한 E-VSB방식과 ETRI/Philips가 제안한 Enhanced-xVSB의 구조 및 특징을 비교해보고 3장에서는 ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB방식의 성능비교에 대해 기술하고, 4장에서는 전산모의 실험 및 자체 lab test 결과를 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. ATSC Enhanced VSB와 ETRI/Philips Enhanced-xVSB방식의 구조 및 특징

1. Zenith/ATI사가 제안한 ATSC E-VSB방식

그림 1은 현재 ATSC의 개선된 전송방식 표준으로 채택된 E-VSB방식의 송신기 구조이다. ATSC E-VSB방식은 먼저 robust stream의 생성을 위해 164 byte의 데이터를 robust interleaving, RS 인코딩, MPEG 헤더를 추가하여 한 개 이상의 패킷을 생성한다. 이때 사용되는 robust interleaver와 RS 인코더는 변수 $B=46$, $M=4$, $N=184$, RS(184, 164)로 차이가 있을 뿐 기존의 8-VSB에서 사용된 구조와 동일하다. 이렇게 생성된 robust stream과 기존의 8-VSB normal stream을 다중화한 신호는 기존의 8-VSB에서 사용한 randomizer, RS encoder 및 interleaver를 통과하여 robust processor의 입력으로 사용된다. Robust processor에서는 robust stream을 코딩 비율에 맞추어

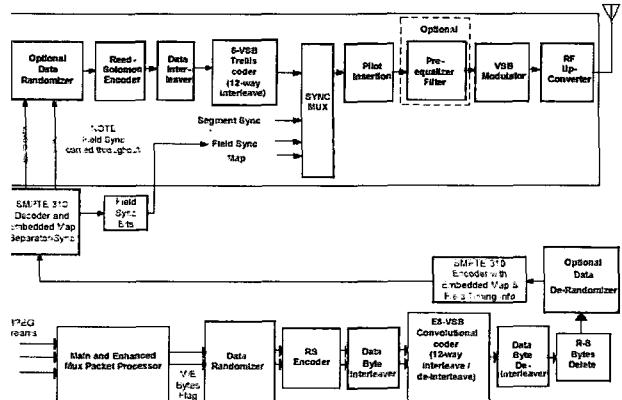


그림 1. ATSC E-VSB 송신기 구조
Fig. 1. Transmitter Block Diagram of ATSC E-VSB System

trellis interleaving, robust trellis encoding을 거친다. 이렇게 처리된 데이터는 기존의 8-VSB와 호환성을 유지하기 위하여 다시 RS encoding을 거친 이후 기존의 8-VSB trellis encoder의 입력으로 사용된다. 이때 robust stream의 최종 출력은 8-VSB와 같이 8-level형상을 그대로 유지한 채, 8-VSB의 4-state TCM encoding(2/3 rate coding)을 16 state TCM encoding(1/3 rate)으로 변경하여 많은 state를 거침으로써 8-VSB에 비해 minimum Euclidean distance를 크게 하여 coding gain을 획득하는 구조로 되어 있다. 그림 2는 이러한 Zenith/ATI E-VSB enhanced TCM encoder의 구조를 간략화 하여 보여준 것이며, 이후의 다중처리부터는 기존의 8-VSB와 동일하다^[2].

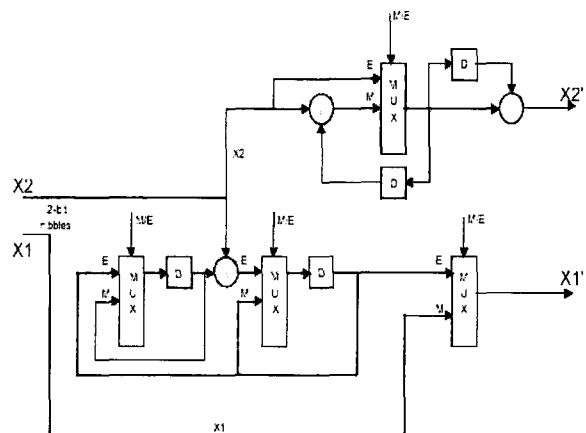


그림 2. ATSC E-VSB Enhanced Symbol Processor 구조
Fig. 2. The Structure of ATSC E-VSB Enhanced Symbol Processor

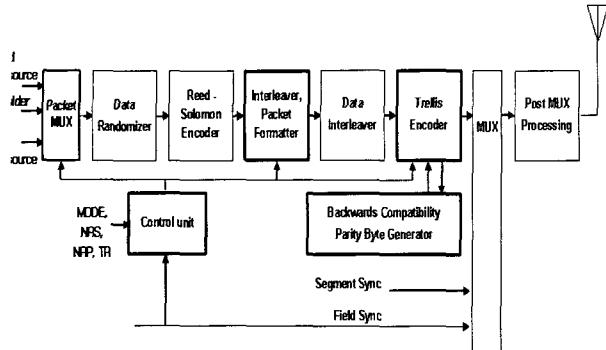


그림 3. ETRI/Philips E-xVSB 송신기 구조
Fig. 3. Transmitter Structure of ETRI/Philips E-xVSB

2. ETRI/Philips가 제안한 Enhanced-xVSB 방식

그림 3은 ETRI/Philips가 제안한 송신기의 구조로 입력 데이터를 multiplexer를 이용하여 8-VSB normal stream과 robust stream으로 다중처리 한다. 다중 처리된 패킷들은 기존의 8-VSB와 같은 randomizer와 RS encoder를 거친 후 interleaver packet formatter의 입력으로 들어간다. interleaver packet formatter는 normal stream인 경우 특별한 처리 없이 통과되며, robust stream의 경우 입력데이터는 $B=63$, $M=3$, $N=207$ 의 robust interleaver를 통하여 코딩비율에 따라 새로운 패킷의 구조를 생성한다. 이와 같이 처리된 normal/robust stream은 모두 기존의 8-VSB와 같은 interleaver와 TCM encoder를 통과한다. TCM encoding 이후 robust stream의 symbol은 모드의 선택에 따라 $\{-7, -5, 5, 7\}$ 로 4-level mapping되는 Pseudo-2VSB, $\{-7, -1, 3, 5\}$ 혹은 $\{-5, -3, 1, 7\}$ 로 mapping되는 Enhanced-4VSB, ATSC E-VSB와 같이 8-level로 mapping되는 Enhanced-8VSB 중 한가지 모드를 선택할 수 있으며, 또한 이들 모드를 모두 사용하는 Hybrid 모드도 선택 가능하다. 그림 4는 E-xVSB의 Pseudo-2VSB 모드에서 사용하는 enhanced TCM encoder를 간략화 하여 보인 것이다. ATSC E-VSB와 E-xVSB의 가장 두드러진 차이점은 E-xVSB TCM coding gain을 결정짓는 파라미터 중 하나인 minimum Euclidean distance가 ATSC E-VSB에 비해 길어 FEC 성능이 우수하고 4-level VSB를 지원하며, 이로 인해 등화기의 성능을 높임으로 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 및 dynamic echo 수신환경 하에서 ATSC E-VSB와 비교하여 수신성능이 우수하다^[3].

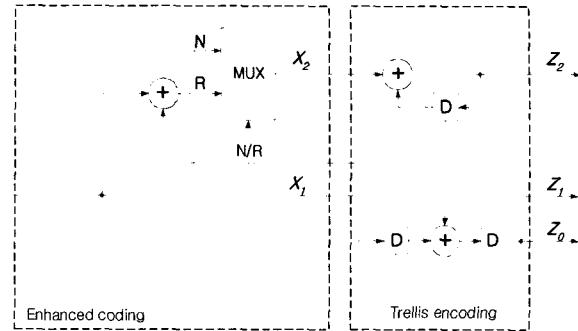


그림 4. E-xVSB Pseudo 2-VSB Enhanced-TCM Encoder 구조
Fig. 4. The Structure of E-xVSB Pseudo-2VSB Enhanced-TCM

III. ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB 시스템 성능비교

1. Enhanced-TCM CODEC 성능비교

ATSC E-VSB 및 ETRI/Philips E-xVSB 모두 robust stream에 대한 대부분의 수신이들은 enhanced TCM 블록에서 획득한다. 전송신호의 에러률은 신호들 간의 minimum Euclidean distance에 의해 결정되며, 이를 minimum free distance d_{free} 라 한다. 따라서, 부호화된 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 Ungerboeck의 design rule에 따라 d_{free} 혹은 d_{free}^2 를 최대화하도록 격자도를 설계하는 것이라고 할 수 있다. 표 1은 ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB에서 부호화율이 각각 1/2 rate, 1/4 rate 모드에서의 $d_{free}^2(d_{free})$ 및 전산모의 실험을 통해 얻은 기존의 8-VSB 대비 coding gain 결과를 보인 것이다.

표 1. ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB의 최소자유거리 및 8-VSB 대비 coding gain 비교
Table 1. Comparision of Euclidean Distance between ATSC E-VSB, ETRI/Philips E-xVSB with 8-VSB

자유거리 및 coding gain 비교	$d_{free}^2(d_{free})$	전산모의 실험에 의한 8-VSB 대비 coding gain
1/2 rate E-xVSB Pseudo-2VSB	292(17.08)	9 dB
1/4 rate E-xVSB Pseudo-2VSB	692(26.3)	12.83 dB
1/2 rate ATSC E-VSB	164(12.8)	6 dB
1/4 rate ATSC E-VSB	168(12.96)	8 dB

2. 제안된 Enhanced-xVSB 1/4 rate부호기

그림 5는 앞장에서 설명한 바와 같이 Ungerboeck의 design rule과 d_{free}^2 을 최대화를 통하여 제안한 E-xVSB의 여러 부호화기 중 1/4 rate Pseudo-2VSB부호화기를 보인 것이다. Zenith/ATI사가 제안한 ATSC E-VSB 시스템과 마찬가지로 4개의 메모리를 사용하나 출력심별의 성상은 4-level인 {-7, -5, 5, 7}을 유지하도록 설계하였다.^[4]

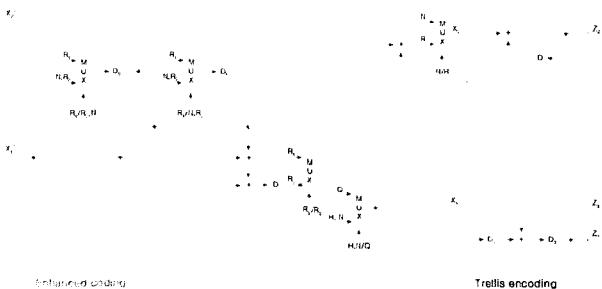


그림 5. E-xVSB 1/4 rate Pseudo-2VSB TCM Encoder 구조
Fig. 5. The Structure of E-xVSB 1/4 rate Pseudo-2VSB Encoder

IV. 전산모의실험 결과 및 자체Lab Test 결과

본 장에서는 전산모의실험 및 자체 lab test를 통해 ETRI/Philips E-xVSB의 성능을 AWGN 및 fading 채널에서의 성능테스트 결과를 보여준다. 그림 6은 E-xVSB의 각 모드별 1/4 rate codec의 성능을 보인 것이다. 그림 6에서 보인바와 같이 일반적으로 VSB 시스템에서

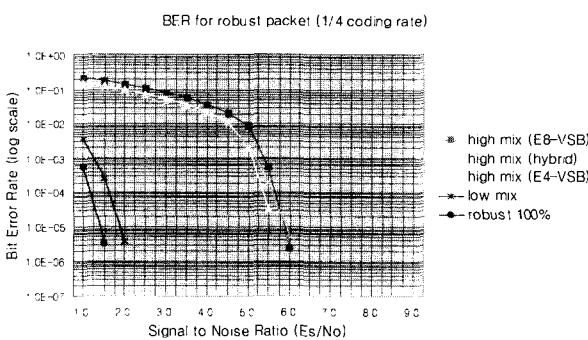


그림 6. TOV를 만족하는E-xVSB BER 곡선
Fig. 6. E-xVSB BER curve for TOV Requirement

TOV [Threshold Of Visibility]를 만족하는 SNR을 RS 디코딩 이후 BER이 3.6×10^{-6} 이내임을 감안하면, E-xVSB 시스템은 1/4 rate Pseudo-2VSB, low mix ratio 모드에서 SNR이 약 2dB 정도이면 robust stream이 TOV를 만족하는 것을 알 수 있다.

표 2에서는 AWGN채널환경에서 전산모의실험을 통해 robust stream을 100% 전송한다는 가정하에 ATSC E-VSB 와 ETRI/Philips E-xVSB의 TOV를 만족하는 SNR을 비교한 것이다.^[4]

표 2. TOV를 만족하는 SNR 비교

Table 2. SNR for TOV requirement

Robust mode	SNR@TOV(dB)
1/2 rate Pseudo-2VSB	6~6.5
1/2 rate ATSC E-VSB	8.5~9
1/4 rate Pseudo-2VSB	0.5~1
1/4 rate ATSC E-VSB	6~6.5

표 2에서 보인바와 같이 1/2 rate 모드에서 E-xVSB가 ATSC E-VSB에 비해 2 dB 수신성능이 우수하며, 1/4 rate 모드에서 약 5dB가량 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 feed-forward 텁수가 100, feed-back 텁수가 200인 LMS-DFE등화기를 사용하여 0dB, 15Hz 도플러, 5usec delay single dynamic echo 환경에서 ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB의 전산모의실험을 통한 성능비교를 보인 것이다. 그림 7에서 보인바와 같

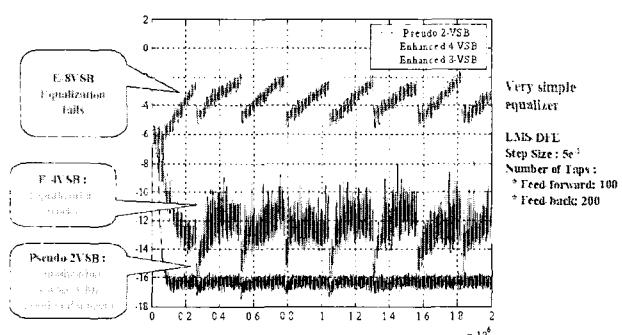


그림 7. Dynamic Single Echo환경에서 ATSC E-VSB와 ETRI/Philips E-xVSB 성능비교

Fig. 7. Performance Comparison between ATSC E-VSB and ETRI/Philips E-xVSB under Dynamic single Echo

이 ATSC E-VSB(E-8VSB)는 여전히 8-VSB와 같이 8-level 심볼 성상을 갖기 때문에 4-level 심볼 성상을 같은 E-xVSB에 비해 dynamic echo를 제거하는 성능이 떨어져 등화기의 수렴곡선이 발산하는 것을 알 수 있다. 반면에 E-xVSB의 Pseudo- 2VSB, E-4VSB는 등화기의 수렴곡선이 채널특성을 추정하여 수렴해 나가는 것을 알 수 있다^[5].

그림 8은 Lab 테스트를 위한 E-xVSB의 test bed를 보인 것이다.

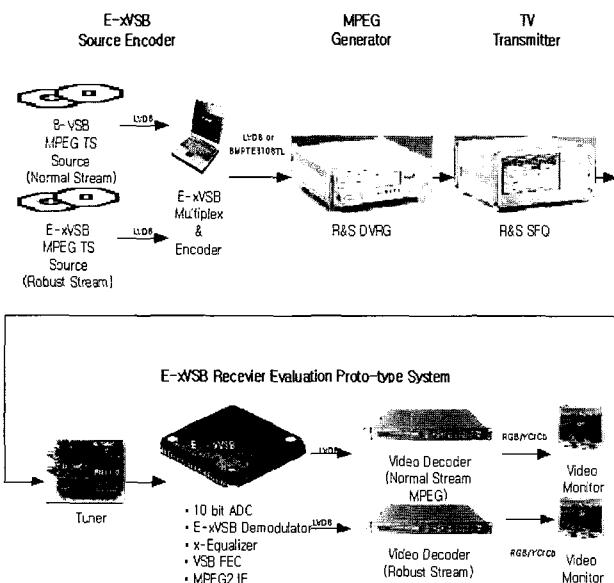
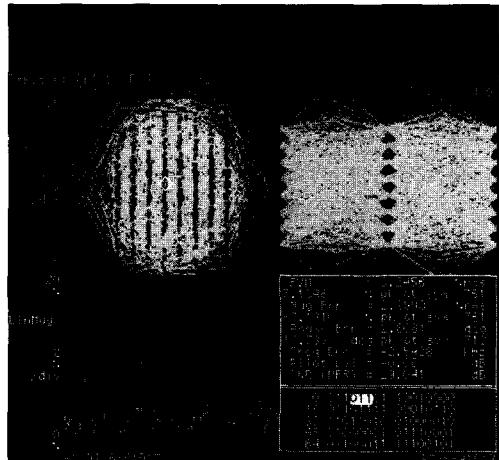


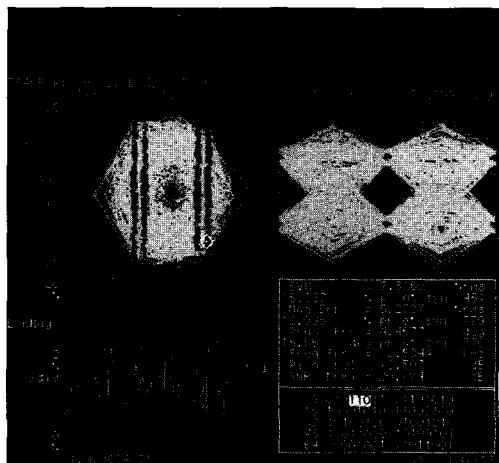
그림 8. Enhanced-xVSB 테스트베드

Fig. 8. Enhanced-xVSB Test Bed

테스트베드의 구성은 크게 송수단으로 구분할 수 있으며, 송신단은 enhanced stream을 생성하기 위한 S/W encoder, 생성된 스트리밍을 저장하고 VSB 송신기에 스트리밍을 공급하는 enhanced stream symbol generator 및 noise generator, fading simulator 기능이 지원되는 VSB 변조기로 구성되어 있으며, 수신단은 VSB tuner, E-xVSB demodulator ASIC 및 normal/robust stream 디코딩을 위한 MPEG-2 decoder, display monitor로 구성되어 있다. 그림 9는 Vector Analyzer를 이용하여, E-xVSB test bed의 송신단인 VSB 송신기의 출력 중 100% 8-VSB와 100% Pseudo-2VSB의 성상도를 보인 것이다. 그림 9에서 보인 바와 같이 8-VSB는 8-level 성상을 보이며, Pseudo-2VSB는 {-7, -5, 5, 7}의 4-level 성상을 보이는 것을 알 수 있다. 그림 10은 수신



(a) 100% 8-VSB stream 성상도



(b) 100% Pseudo-2VSB stream 성상도

그림 9. 8-VSB, Pseudo-2VSB 성상도 비교

Fig. 9. Constellation Comparison between 8-VSB and Pseudo-2VSB

SNR이 25dB, Brazil b 채널 환경 하에서, 100% 8-VSB와 100% Pseudo-2VSB의 수신성능 비교를 등화기 측면에서 비교한 것이다. 그림 10에서 보인 바와 같이 Pseudo-2VSB 모드에서 등화기 수렴속도가 같은 조건에서 10배 이상 빠르다는 것을 알 수 있다. 표 3은 100% 8-VSB와 100% Pseudo-2VSB 모드에서 -10dB, 10usec dynamic single echo환경에서의 실험을 통한 성능비교를 보인 것이다. 표 3에서 보인 바와 같이 같은 채널 및 수신조건 하에서 8-VSB는 도플러 주파수 20Hz까지 수신이 가능한 반면 Pseudo-2VSB는 370Hz까지 수신이 가능하며, Pseudo-2VSB를 사

용할 경우 수신기의 dynamic echo 제거성능이 획기적으로 개선됨을 알 수 있다^[5]. 그림 11은 E-xVSB 송수신 시스템에서 normal/robust stream을 동시에 decoding하는 것을 보인 것이다.

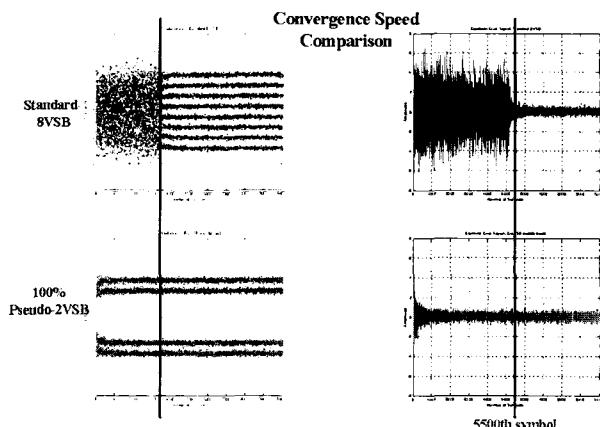


그림 10. Brazil b 채널환경에서 8-VSB와 E-xVSB 1/2 rate mode Pseudo-2VSB모드에서의 등화기 수렴속도 비교

Fig. 10. Equalizer Convergence Speed Comparison between 8-VSB and E-xVSB 1/2 rate Pseudo-2VSB mode under Brazil b Channel

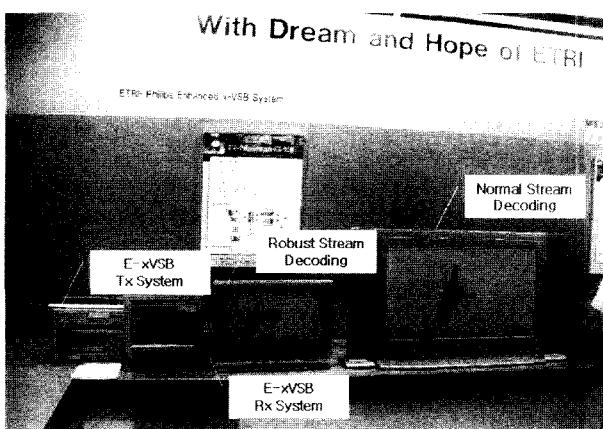


그림 11. Normal/Robust stream decoding

표 3. Single dynamic echo 성능비교[1/2 rate mode]

Fig. 3. Performance Comparison between 8-VSB and Pseudo-2VSB [1/2 rate mode]

Stream Type	Robust stream mix ratio(%) mode	Doppler frequency before failure(Hz)
8-VSB	0	20
Pseudo-2VSB	100	370

V. 결 론

현재 ATSC 수신기들은 등화기술의 발전으로 fading 환경 하에서의 많은 수신성능의 개선을 이루었다. 그러나 이와 같은 수신기의 성능개선은 등화기의 텁 수, 등화 알고리즘의 연산복잡도, 하드웨어 복잡도를 비약적으로 늘리는 결과를 초래하였으며, 아직도 VSB 시스템에서는 static echo 제거 이외에 dynamic echo의 제거는 풀지 못하는 난제로 남아 있다. 따라서 본 논문에서는 ATSC 8-VSB 송수신 방식과 하위호환성을 유지하며, 수신 전계강도가 낮고 dynamic echo가 실외고정수신에 비해 상대적으로 빈번하게 발생하는 실내, 휴대 및 이동수신 환경에서 수신성능을 획기적으로 개선시킨 Enhanced-xVSB 시스템을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 Enhanced-xVSB 시스템은 ATSC E-VSB에 비해 AWGN환경1/2 rate 모드에서 2dB, 1/4 rate 모드에서 5dB가량 robust stream의 수신성능이 우수하며, robust stream을 이용한 normal stream 수신성능개선, fading 환경에서의 수신성능이 우수하다. 따라서 본 논문에서 제안한 E-xVSB 시스템은 이러한 성능의 우수성을 바탕으로 방송사가 원하는 다양한 종류의 디지털 지상파 방송서비스를 수용할 수 있는 높은 유연성을 가진 시스템이다.

참 고 문 헌

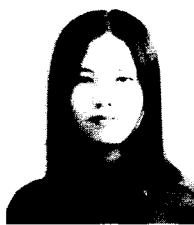
- [1] ARBET/SET, "VSB/COFDM comparison Report" Dec. 2000.
- [2] Advanced Television System Committee, "ATSC Digital Television Standard, Doc. A/53," September 16 2004, <http://www.atsc.org>
- [3] Advanced Television System Committee, "Proposal for an Improved ATSC DTV Standard," July 5 2004.
- [4] A. Touzni, H.Fu, W.Bretl, "Joint Encoding/Decoding Enhanced Multi-Streams Vestigial Side Band Transmission(E-VSB) for North-American Single Carrier HD Terrestrial Broadcast," ICCE 2003, pp.124-125, 2003
- [5] Sung-Hoon Kim, Kurn-Ran Ji, "Variety Enhanced MODEM Scheme for Improved ATSC Standard," IEEE 54th Annual Broadcast Symposium, Oct. 2004

저자소개



김 성 훈

- 1994년 2월 : 국민대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 국민대학교 전자공학과(공학석사)
- 1996년 3월~2000년 3월 : LG전자멀티미디어연구소
- 2000년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털방송, 디지털신호처리



지 금 란

- 2001년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2003년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
- 주관심분야 : 디지털방송, 디지털통신



이 재 영

- 2001년 2월 : Rutgers Univ 전자공학과(공학사)
- 2003년 2월 : Univ of Wisconsin-Madison(공학석사)
- 2003년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
- 주관심분야 : 디지털통신, 디지털 신호처리



김 승 원

- 1986년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(공학석사)
- 1999년 5월 : Univ of Florida (공학박사)
- 1989년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원/DTV시스템 팀장
- 주관심분야 : 디지털통신, 디지털전송 시스템, 디지털 신호처리



이 수 인

- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학박사)
- 1990년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원/방송시스템 연구그룹 그룹장
- 주관심분야 : 디지털 TV, DBM시스템, 3DTV 시스템

저자소개

김창중



- 2000년 2월 : 흥의대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2002년 2월 : 흥의대학교 전파공학과(공학석사)
- 2002년 3월~현재 : 흥의대학교 전파통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 통신, 부호학변조기법

이호경



- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : Northrop Univ 전자공학과(공학석사)
- 1994년 6월 : USC 전자공학과(공학박사)
- 1994년 8월~현재 : 흥의대학교 전기전자공학부 부교수
- 주관심분야 : 디지털통신, Turbo TCM, 이동통신, 위성통신