

이중 스트림 기술이 지상파 DTV 수신 성능 개선에 미치는 영향 분석

지 금 란*, 김 대 진*, 김 성 훈**, 심 용 훈**, 김 승 원**
 *전남대학교 전자공학과, **한국전자통신연구원 무선방송기술연구소

Analysis on the reception performance of using dual stream for terrestrial DTV

Kum Ran Ji*, Dae Jin Kim*, Sung-Hoon Kim*, Yong Hoon Sim*, Seung Won Kim*
 *Dept. of Electronics Engineering, Chonnam National University
 **Radio & Broadcasting Research Laboratory, ETRI.
 *abraxas@mercury.chonnam.ac.kr

요 약

본 논문은 ATSC T3/S9에 수신 성능 개선을 위해 제안된 방식 중 이중 스트림 기술을 알아보고 Robust 8-VSB와 Pseudo 2-VSB의 등화기에서 강인 데이터가 일반 데이터의 성능에 미치는 영향을 비교 분석하기 위해 전산 모의 실험을 실시하였다. 그 결과 Robust 8-VSB 방식은 이용된 모든 채널 환경에서 강인 데이터가 일반 데이터의 성능 개선에 도움을 주지만, Pseudo 2-VSB 방식의 경우는 채널 환경이 나쁜 경우에 강인 데이터가 일반 데이터의 성능 개선에 도움을 주는 것을 보여주었다.

1. 서론

국내 지상파 디지털 방송 표준으로 결정된 ATSC (Advanced Television System Committee) 방식이 초창기 제품으로 테스트한 결과 현재의 아날로그 방식보다 도시형 난청 현상이 심할 가능성이 있고 실내 안테나로 수신할 경우 방송수신이 제대로 안 되는 등 예기치 않은 문제가 발생할 가능성이 있는 것으로 지적되고 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 ATSC T3/S9에서는 RF 전송 규격 A.53에 대한 성능 개선을 위한 제안을 요청하여 11개 업체가 제안서를 제출하였다. 이 중 한 개 업체가 초반에 포기하였다. 10개 업체가 제안한 방법은 크게 이중 스트림 기술, 혼련열 데이터 방식 그리고 기타 방식으로 세 개로 구분된다. 이중 스트림 기술은 Zenith, NaxWave, Philips의 세 회사에서 제안하였다. 이후

Zenith/NaxWave사가 통합 안을 내놓았고 Philips가 독자적으로 세 회사의 안을 합친 통합 안을 내놓았다.

본 논문에서는 이중 스트림 구조를 알아보고 각 방법의 강인 데이터가 일반 데이터의 성능에 미치는 영향을 전산 모의 실험을 통해 비교 분석한다.

II. Philips가 제안한 이중 스트림 기술^{[1][2]}

Philips의 이중 스트림 기술의 송신기의 전체 구조는 그림 1과 같다.

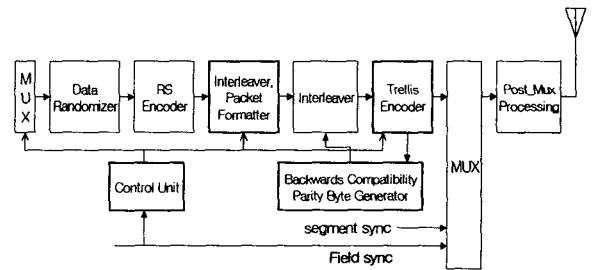


그림 1 Philips가 제안한 이중 스트림 기술을 이용한 송신기

이중 스트림 기술을 이용한 송신기의 각 기능 블록에 대해 살펴보자. 먼저 다중 처리기를 이용, 일반 데이터 패킷과 강인 데이터 패킷을 다중 처리한다. 다중 처리된 패킷들은 기존의 8-VSB와 같은 난수화기와 RS인코더를

통과한 후 인터리버 패킷 구조 생성기로 들어간다. 이 블록에서는 일반 데이터 패킷은 그냥 통과하고 강인 데이터 패킷은 기존의 구조에 변수 값 $B = 63, M = 3, N = 207$ 을 갖는 인터리버를 통과한 후 선택모드의 종류와 코딩비율에 따라 새로운 패킷의 구조를 형성한다.

위와 같이 처리된 일반 데이터와 강인 데이터 모두 기존의 8-VSB와 같은 인터리버와 트렐리스 인코더를 통과한다. 트렐리스 인코더 처리과정은 기존의 수신기와 호환성을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나눌 수 있다. 호환성을 고려하는 경우에는 기존 수신기를 수신할 때 발생할 수 있는 강인 데이터 패킷에 대한 에러 처리를 방지하기 위해 강인 패킷을 제거 가능하도록 MPEG 헤더를 널 패킷과 같게 하여 RS코딩을 재실행 MPEG 헤더와 RS코드의 컨볼루션 인터리버와 트렐리스 인터리버를 통과한 위치에 삽입하여 트렐리스 인코딩한다. 기존 수신기와 호환성을 고려하지 않는 경우는 트렐리스 인코딩만을 수행한다. 이런 기존 수신기 수신을 위한 처리는 각 강인 데이터 패킷당 23바이트의 강인 데이터 전송을 포기해야한다.

트렐리스 인코딩후의 심볼은 일반 데이터와 Enhanced 8-VSB를 이용한 강인 데이터 경우는 기존의 8 레벨로 Pseudo 2-VSB를 이용한 강인 데이터의 경우는 $\{-7, -5, 5, 7\}$ 의 4 레벨로 나온다.

이후의 다중처리부터는 기존의 8-VSB와 같은 과정을 거쳐 신호가 생성되어 송출된다.

III. Zenith/NaxWave가 제안한 이중 스트림 기술^{[1][2]}

Zenith/NaxWave의 이중 스트림 기술의 송신기의 전체 구조는 그림 2와 같다.

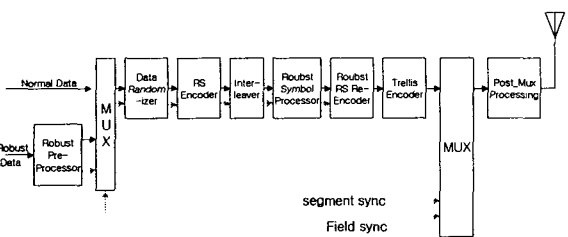


그림 2 Zenith/NaxWave가 제안한 이중 스트림 기술을 이용한 송신기

먼저 강인 데이터는 164바이트의 데이터를 이용하여 인터리빙, RS 코딩, MPEG 헤더의 추가하여 한 개 이상의 패킷을 생성한다. 여기서 사용되는 인터리버와 RS 인코더는 인터리버의 변수 값만 $B=46, M=4, N=184$ 로 차이가 있을 뿐 기존의 8-VSB에서 사용된 것과 같은 구조이다. 이렇게 생성된 강인 데이터 패킷과 정상 데이터 패킷을 다중 처리하여 기존에 8-VSB에서 사용한 난수화기, RS 인코더, 인터리버를 통과하여 강인 심볼 처리기로 들어간다. 강인 심볼 처리기에서는 강인 데이터를 코딩 비

율에 맞추어 트렐리스 인터리빙과 트렐리스 인코딩과정을 거친다. 이렇게 처리된 데이터를 강인 데이터 RS 재코딩 블록에서는 트렐리스 디인터리빙과 디인터리빙을 거쳐 RS 재인코딩후 인터리빙 과정을 수행하여 기존의 수신기를 이용하여 수신하는 경우에 발생할 수 있는 강인 데이터의 에러처리를 방지한다. 이렇게 생성된 데이터를 이용하여 트렐리스 인코딩을 한다. 이때 심볼은 일반 데이터와 Robust 8T-VSB의 강인 데이터 모두 기존의 8 레벨로 나온다.

이후의 다중처리부터는 기존의 8-VSB와 같은 과정으로 신호를 생성 송출된다.

IV. 전산 모의 실험

이 장에서는 앞장에서 설명한 Philips의 이중 스트림 기술에 대해 전산 모의 실험을 실시하여 결과를 도시하고 분석한다.

1. 실험에 이용된 시스템 블록도와 실험 조건

그림 3는 전산 모의 실험에 사용한 전체 시스템 구성도이다. 먼저 강인 데이터 비율에 따라 그림 4와 같이 분산된 형태로 강인 데이터 위치를 표시하는 NR(Normal/Robust)신호를 생성한다. 여기서 실험에 사용된 강인 데이터 비율에 따른 전송 데이터율은 표 1과 표 2와 같다. Robust 8T-VSB와 Enhanced 8-VSB 방법은 강인 데이터가 일반 데이터에 미치는 영향은 같으나 강인 데이터 처리 과정에서 강인 데이터의 전송 데이터율이 다르다. 이후 실험에서는 Robust 8-VSB로 Robust 8T-VSB와 Enhanced 8-VSB를 통칭하겠다.

이렇게 생성된 NR신호를 컨볼루션 인터리버와 트렐리스 인터리버를 통과시켜 송신기에서 송출되는 필드에서의 강인 데이터의 위치를 지정한다.

트렐리스 인터리버를 통과한 NR신호를 이용하여 일반 데이터로 지정된 위치에는 랜덤한 두 비트 입력을 트렐리스 입력으로 사용하고, 강인 데이터로 지정된 위치에는 mode(Pseudo 2-VSB/Robust 8-VSB)에 따라 그림 5와 같은 방법으로 랜덤한 한 비트를 이용하여 두 비트를 생성하여 트렐리스 입력으로 사용한다.

위와 같은 방법으로 발생한 심볼들을 ATSC 표준에 정해진 VSB 필터를 통과하여 변조 후 멀티패스와 AWGN 채널을 통과시킨다. 채널을 통과한 신호는 정합 필터를 거쳐 복조 후 등화기의 입력으로 사용하였다. 실험에 상용된 등화기는 단순 트렐리스 디코더를 이용한 결정 궤환 LMS 등화기이다. LMS의 등화기는 스텝 사이즈는 5×10^{-6} 이며, 200개의 feed-forward 탭과 100개의 feed-back 탭을 사용하였다.

실험은 4가지 단일 에코(5 μ s에서 -3 dB 에코, 5 μ s에서 5 Hz 도플러가 있는 -3 dB 에코, 5 μ s에서 -1 dB 에코, 5 μ s에서 5 Hz 도플러가 있는 -1 dB 에코) 채널에

대해 이루어졌다.

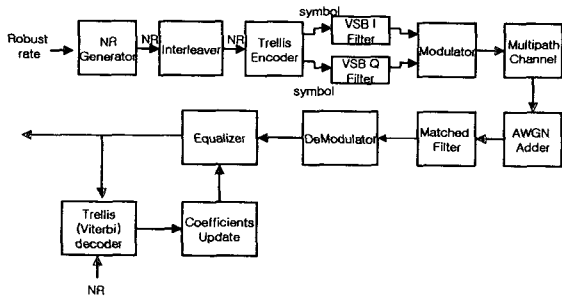


그림 3 전산 모의 실험에 이용한 블록도

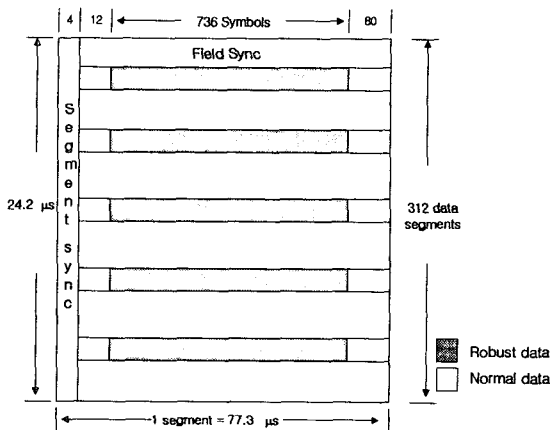


그림 4 필드에서 NR 생성 위치

표 1 Pseudo 2-VSB와 E8-VSB의 강인 데이터 비율에 따른 전송 데이터율

% of Robust data	Robust		Normal	
	Segments per field	Data rate (Mbps)	Segments per field	Data rate (Mbps)
0	0	0	312	19.39
17.3 %	54	1.492	258	16.034
51.9 %	162	4.475	150	9.322

표 2 Robust 8T-VSB의 강인 데이터 비율에 따른 전송 데이터율

% of Robust data	Robust		Normal	
	Segments per field	Data rate (Mbps)	Segments per field	Data rate (Mbps)
0	0	0	312	19.39
17.3 %	54	1.33	258	16.034
51.9 %	162	3.989	150	9.322

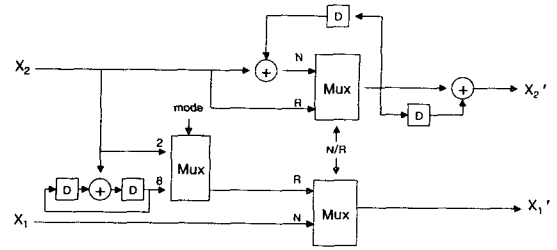


그림 5 트렐리스 인코더 내의 비트 데이터 생성기

등화기에서 강인 데이터가 일반 데이터에 미치는 영향에 대한 성능은 등화기 출력의 심볼에러율(SER)이 0.2가 되는 값을 기준으로 CNR을 측정하여 분석하였다.^[3]

2. 실험 결과 및 분석

그림 6는 -3 dB 단일 에코 채널에서의 0 %, 17.3 %, 51.9 %로 강인 데이터를 삽입했을 때 일반 데이터가 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이다. Robust 8-VSB의 경우는 강인 데이터의 비율이 증가함에 따라 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이 낮아지는 반면에 Pseudo 2-VSB는 강인 데이터의 비율이 증가함에 따라 요구되는 CNR이 오히려 증가하는 특성이 나타난다. 이것은 Pseudo 2-VSB는 신호의 레벨이 {-7, -5, 5, 7}로 일반 데이터의 {-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7}에 비해 평균 전력이 증가하기 때문에 기존의 수신기로 수신했을 때 강인 데이터 비율이 증가함에 따라 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이 증가하게 된다. 이런 이유로 생기는 성능 저하가 Pseudo 2-VSB를 사용하여 생기는 이득보다 크기 때문에 결국 강인 데이터 비율이 증가하면 기준 심볼에러율 만족하기 위해 요구되는 CNR이 증가하게 된다.

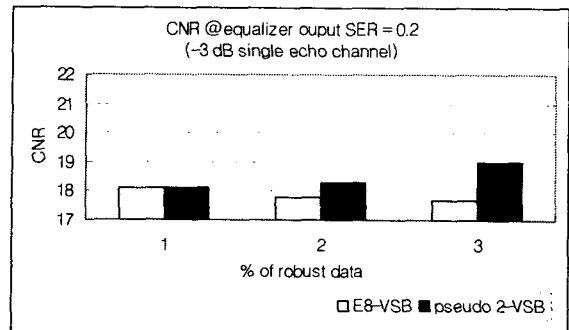


그림 6 -3 dB 단일 에코 채널에서 일반 데이터의 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR

그림 7과 그림 8은 세 가지 강인 데이터 비율 모두가 수렴하는 CNR 20 dB에서의 Pseudo 2-VSB와 Robust 8-VSB의 수렴 곡선을 구한 것이다. χ 축은 심

볼수 있고, y축은 등화기 출력의 -SNR이다. 실험 결과 두 방식 모두 강인 데이터의 비율이 증가함에 따라 수렴속도가 빨라진다는 것을 알 수 있다. 또, Pseudo 2-VSB와 Robust 8-VSB사이의 수렴속도의 차이는 크지 않다. 그러나 Robust 8-VSB의 경우는 강인 데이터의 비율에 따라 수렴 후 잔류 에러의 차이가 없으나 Pseudo 2-VSB의 경우에는 강인 데이터의 비율이 증가함에 따라 수렴 후 잔류 에러의 양이 증가함을 알 수 있다.

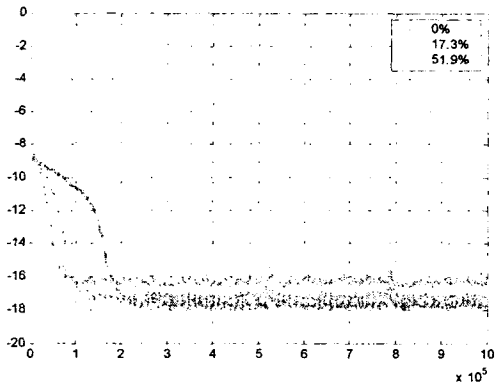


그림 7 CNR 20 dB에서 Pseudo 2-VSB의 -3 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

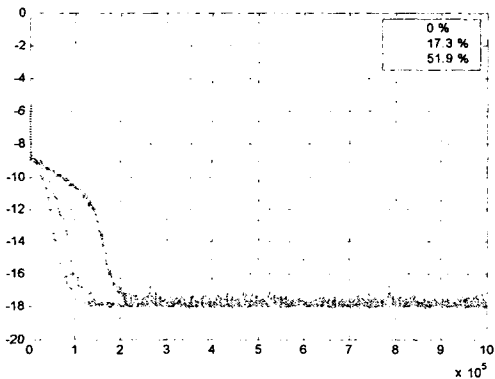


그림 8 CNR 20 dB에서 Robust 8-VSB의 -3 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

그림 9은 5 Hz 도플러가 있는 -3 dB 단일 에코 채널에서의 0 %, 17.3 %, 51.9 %로 강인 데이터를 삽입했을 때 일반 데이터가 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이다. 그림 8에서 나타난 것처럼 Robust 8-VSB 경우는 앞 채널과 마찬가지로 강인 데이터의 비율이 증가함에 따라 기준 심볼에러율을 만족하는 CNR값이 감소하고 그 정도도 앞채널 보다 약간 더 크다. Pseudo 2-VSB 경우는 강인 데이터 비율 17.3 %에서는 평균 전력 증가로 인한 성능 저하와 Pseudo 2-VSB의 사용 이득이 같아 성능 저하가 일어나지 않지만 51.9 %에서는 성능은 앞의 채널과 같은 이유로 성능 저하가 일어난다.

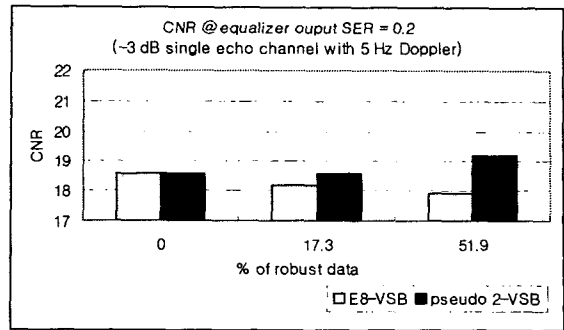


그림 9 5 Hz 도플러가 있는 -3 dB 단일 에코 채널에서 일반 데이터의 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR

그림 10와 그림 11은 CNR 20 dB에서의 수렴 곡선이 다. 이 채널을 -3 dB의 단일 에코 채널에 비해 강인 데이터의 비율이 17.3 %에서 수렴속도가 빨라지는 정도가 크다. 그러나 17.3 %와 51.9 % 사이의 변화는 크지 않다. 또, Robust 8-VSB와 Pseudo 2-VSB사이의 수렴 속도는 거의 같다.

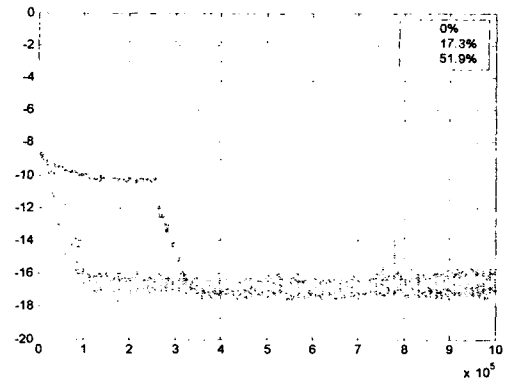


그림 10 CNR 20 dB에서 Pseudo 2-VSB의 5 Hz 도플러가 있는 -3 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

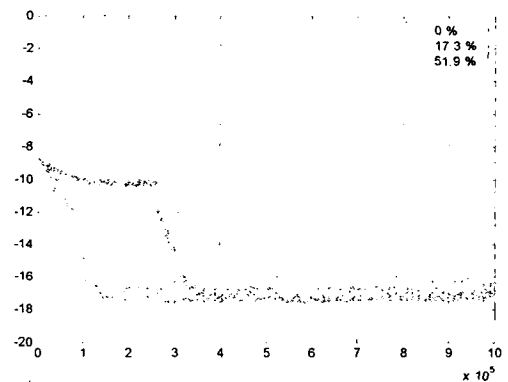


그림 11 CNR 20 dB에서 Robust 8-VSB의 5 Hz 도플러가 있는 -3 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

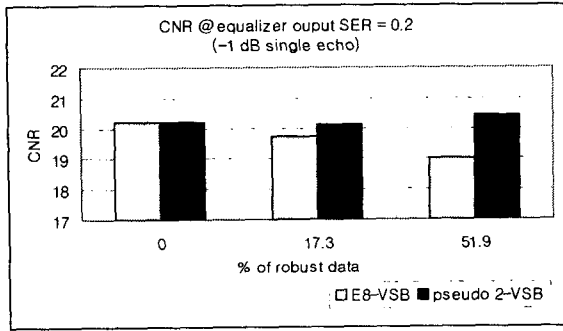


그림 12 -1 dB 단일 에코 채널에서의 일반 데이터의 SER이 0.2를 만족하는 CNR

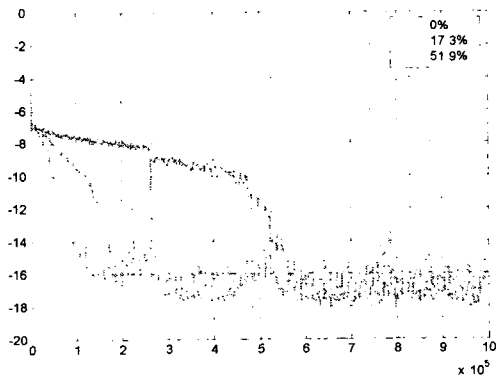


그림 13 CNR 20 dB에서 Pseudo 2-VSB의 -1 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

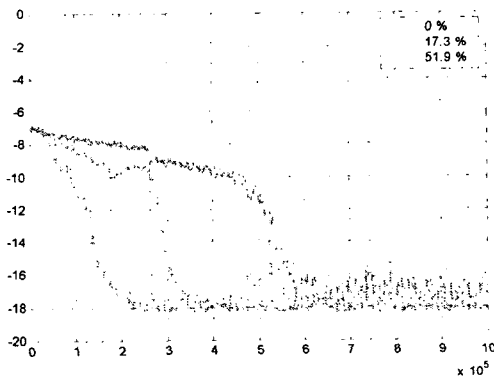


그림 14 CNR 20 dB에서 Robust 8-VSB의 -1 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

그림 12은 -1 dB 단일 에코 채널에서의 0 %, 17.3 %, 51.9 %로 강인 데이터를 삽입했을 때 일반 데이터가 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이다. 이 채널은 앞의 실험에 이용되었던 채널들에 비해 더 나쁜 환경이다. Robust 8-VSB의 강인 데이터에 따른 성능 개선이 앞에서 보다 크고 Pseudo 2-VSB경우도 17.3 %의 강인 데이터 비율에서 약간의 성능 개선이 나타났다. 그러나 51.9 %의 경

우에는 여전히 약간의 성능 저하가 나타난다.

그림 13와 그림 14은 CNR 21 dB에서의 수렴 곡선이다. 강인 데이터를 삽입함에 따라 수렴 속도의 개선 정도가 앞서 실험과 비교하여 더 확연히 나타난다. 그리고 Pseudo 2-VSB가 Robust 8-VSB보다 수렴 속도가 2배 정도 빠르다.

그림 15는 5 Hz 도플러가 있는 -1 dB 단일 에코 채널에서의 0 %, 17.3 %, 51.9 %로 강인 데이터를 삽입했을 때 일반 데이터가 심볼에러율 0.2를 만족하는 CNR이다. -1 dB 단일 에코에서 5 Hz 도플러가 있는 경우 기존의 수신기에서는 등화기가 동작하지 않는다.^[4] 그러나 강인 데이터를 삽입한 경우 17.3 %에서는 Robust 8-VSB는 22 dB에 Pseudo 2-VSB는 CNR 21.6 dB에서 수렴하고 51.9 %에서는 E-VSB는 19.7 dB에 Pseudo 2-VSB는 CNR 20.7 dB에서 수렴한다.

그림 16는 22 dB에서 Pseudo 2-VSB의 수렴곡선을 그림 17은 23 dB에서 Robust 8-VSB의 수렴 곡선이다. 강인 데이터를 17.3 % 사용하였을 때 Pseudo 2-VSB와 E-VSB의 수렴 속도 상당한 차이를 보임을 알 수 있다. 이런 수렴 속도의 차이가 심볼 에러율 0.2를 만족하는 CNR에 영향을 미쳐 Pseudo 2-VSB가 17.3 %에서 Robust 8-VSB보다 좋은 성능이 나온다.

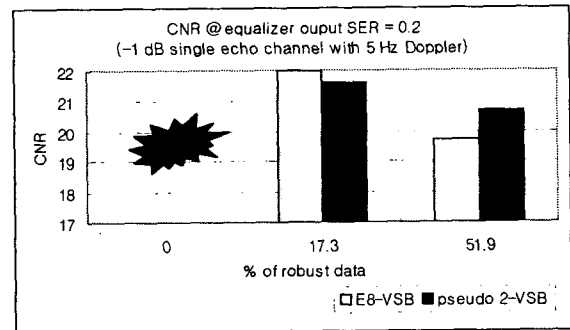


그림 15 5 Hz 도플러가 있는 -1 dB 단일 에코 채널에서 일반 데이터의 SER이 0.2를 만족하는 CNR

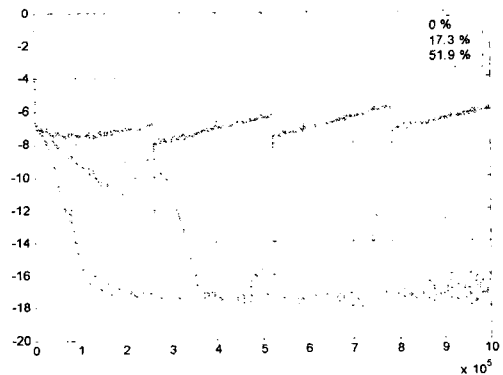


그림 16 CNR 20 dB에서 Pseudo 2-VSB의 5 Hz 도플러가 있는 -1 dB 단일 에코 채널 수렴 곡선

- [4] ATSC, "Performance assessment of the ATSC transmission system equipment and future direction," pp. 27, April 12, 2001.

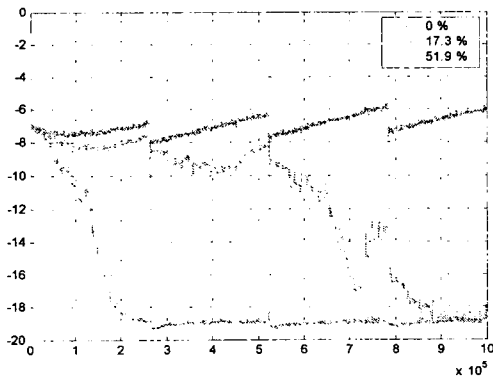


그림 17 CNR 20 dB에서 Robust 8-VSB의 5 Hz 도플러가 있는 -1 dB 단일 예코 채널 수렴 곡선

V. 결론

앞장의 실험에서 이중 스트림 기술을 이용한 Pseudo 2-VSB와 Robust 8-VSB의 성능을 비교해 보았다. 실험 결과 Robust 8-VSB는 모든 채널 환경에서 강인 데이터 비율이 증가함에 따라 일반 데이터의 등화기 통과 후 수신 성능이 좋아지는 것으로 나타났다. 그러나 Pseudo 2-VSB는 이용한 채널 환경이 좋은 경우에는 평균 전력의 증가로 인해 강인 데이터 비율이 증가함에 따라 성능 저하가 일어나지만, 멀티패스의 크기가 크고 도플러가 있는 나쁜 채널 환경에서는 평균 전력 증가로 인한 성능 저하를 상쇄시키고 수신 성능을 개선시킬 수 있을 만큼 강인 데이터를 이용한 이득이 크다. 그리고 수렴 속도는 두 방식 모두 실험한 모든 채널에서 강인 데이터 비율이 증가할수록 수렴 속도가 빨라고, 좋은 채널 환경에서는 두 방식의 수렴 속도의 차가 크게 나타나지 않으나 환경이 나쁜 채널에서는 Pseudo 2-VSB가 Robust 8-VSB보다 수렴 속도가 빠르다.

감사의 글 : 본 논문은 한국전자통신연구소에서 시행한 지상파 DTV 전송 최적화 과제의 위탁과제를 수행한 연구 결과입니다.

참고문헌

- [1] 김홍철, 서종수, "지상파 디지털 TV(ATSC) 수신 성능 개선 기술", *방송공학회지*, 제 7권 1호 pp. 13-29, 2002. 3.
- [2] ATSC, "ATSC digital television standard," Sep 16, 1995.
- [3] Monisha Chosh, "Blind decision feedback equalization for terrestrial television receivers", pp. 2070-2081, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 10, October, 1998.