

특집논문-03-08-2-01

## 단일 주파수 망을 이용한 ATSC 지상파 디지털 TV 방송서비스 기술 연구

박 성 익\*, 이 용 태\*, 김 승 원\*, 이 수 인\*

### Study on the technology of ATSC terrestrial DTV broadcasting service using single frequency networks

Sung Ik Park\*, Yong-Tae Lee\*, Seung-Won Kim\*, Soo-In Lee\*

#### 요 약

본 논문에서는 미국식(ATSC) 지상파 디지털 TV 방송을 단일 주파수 망을 통해 서비스하기 위해 필요한 기술적인 사항에 대하여 고찰하고 ATSC 방송방식에서 단일 주파수 망을 구성하기 위한 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 8-VSB 방송시스템에 적용된 트렐리스 부호기의 메모리를 주기적으로 초기화함으로써 동일한 입력이 복수의 송신기에 인가될 경우 언제나 동일한 출력이 나오도록 한다. 제안방식을 적용한 8-VSB 시스템은 기존의 시스템에 비해 최대 0.1dB의 성능 저하가 발생하였으나 이러한 성능 저하는 트렐리스 부호부의 초기화 주기를 늘림으로서 무시할 정도로 줄일 수 있으며, 최소한의 하드웨어 변경을 통해 SFN을 구성할 수 있다.

#### Abstract

In this paper we propose an efficient method to broadcast digital television signals using Single Frequency Networks (SFNs) in the Advanced Television Systems Committee (ATSC) transmission systems. Since the proposed schemes to synchronize multiple transmitters minimize the changes from the conventional ATSC system, the hardware complexity for the changes is very low. Our simulation results show that the proposed scheme makes less than 0.1 dB degradation at the threshold of visibility (TOV:  $BER = 3 \times 10^{-6}$ ) in the additive white Gaussian noise (AWGN) channel. It is possible to reduce the performance degradation by increasing an initialization period of the proposed scheme.

#### I. 서 론

일반적으로 방송서비스를 위해서는 주변 지형, 지물에 따라 그리고 방송사의 방송구역에 따라 송신기 혹은 중계기를 배치한다. 현재 미국식 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 혹은 중계기마다 다른 주파수를 부여하여 방송망을 구성하는 복수 주파수 망(MFN: Multiple Frequency Network)을 통해 서비스되고 있다. 그러나 MFN을 통해 방송신호를 전송하면

동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 관점에서 비효율적이다.

만약 복수개의 송신기가 단일 주파수 망(SFN: Single Frequency Network)을 통해 방송신호를 전송하면 근거리 지역에서도 같은 주파수를 재 사용할 수 있으므로 주파수 이용 효율이 높아진다. 이러한 SFN을 구성하는 방법에는 복수개의 송신기를 사용하는 방법과 단일송신기와 복수개의 동일주파수 중계기를 이용하는 방법이 있다.

최근 미국식 지상파 디지털 TV 수신기술의 발전으로 인해 전송채널환경에서 발생하는 다중경로신호를 제거할 수 있는 능력이 개선되었을 뿐만 아니라 0dB 고스트 신호를 제

\* 한국전자통신연구원 전파방송연구소  
Radio & Broadcasting Research Laboratory, ETRI

거할 수 있는 수신기들이 개발되고 있다.<sup>[1][2]</sup> 따라서 미국식 지상파 디지털 TV 방송에서도 SFN을 통해 방송을 하는 것이 기술적으로 용이해 졌으며 이러한 SFN 연구는 현재 국내는 물론 미국, 캐나다에서 진행 중에 있다.<sup>[3][4][5]</sup>

본 논문에서는 미국식 지상파 디지털 TV 방송신호를 복수개의 송신기로 구성되는 SFN을 통해 전송하기 위해 필요한 요구사항을 분석하고, 그 해결 방안을 제시한다.

## II. 미국식 지상파 디지털 TV 방송

### 1. ATSC 방송 시스템

우리 나라의 지상파 디지털 TV 방송방식의 전송표준은 미국식 지상파 디지털 TV 방송 표준인 ATSC A/53 규격을 채택했다<sup>[6]</sup>. ATSC 방송시스템은 그림 1과 같은 구성을

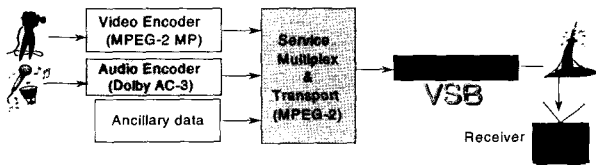


그림 1. ATSC 방송 시스템  
Fig. 1. ATSC Broadcasting System

갖는다. 이러한 ATSC 송신 시스템은 영상신호, 음성신호 및 제어신호등을 생성하여 다중화(multiplexing)하는 방송국; 방송신호를 송신기로 전송하는 트랜스포트(transport): 트랜스포트를 통해 전송된 방송신호를 채널 부호화하고 변조하여 송신하는 송신기로 구성된다. 트랜스포트를 통해 송신기에 입력되는 디지털 데이터는 19.39 Mbps의 전송율을 가지며, 188 바이트(byte)의 패키지로 구성되고, 이를 MPEG-2 TS (Transport Stream)라 부른다. 이런 MPEG-2 TS는 그림 2와

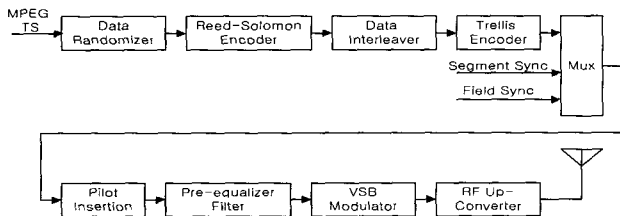


그림 2. VSB 송신기  
Fig. 2. VSB Transmitter

같은 8-VSB 송신기에서 채널 부호화 및 8-VSB 변조를 거쳐 원하는 주파수 대역으로 천이되고 고전력 증폭기와 송신 안테나를 통해 전송된다. 8-VSB수신기는 그림 3과 같이 구성되는데 튜너(tuner)를 통해 여러 방송국에서 전송된 신호를 선별하고, 송신 과정의 역과정을 거쳐 신호를 복원한다. 자세한 채널 부호화/복호화 및 VSB 변복조 과정은 참고문헌 [6], [7]에 나타난다.

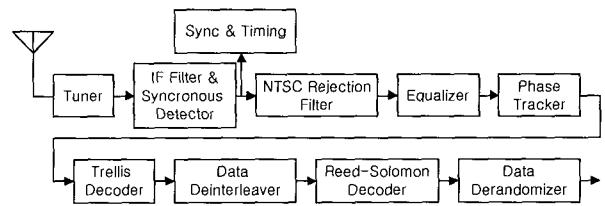


그림 3. VSB 수신기  
Fig. 3. VSB Receiver

### 2. MFN과 SFN

현재의 8-VSB 지상파 TV 송신기는 근거리 지역에서 같은 주파수 자원을 재사용(reuse)할 수 없는 MFN을 통해 신호를 전송하므로 주파수 자원 활용 측면에서 SFN 보다 비효율적이라고 할 수 있다. 그림 4는 9개의 주파수를 사용했을 때의 MFN 주파수 배치를 나타낸다.

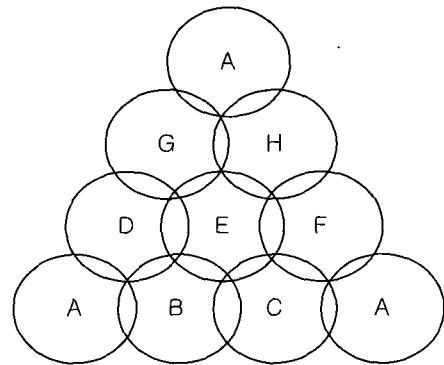


그림 4. 9개의 주파수를 사용한 MFN의 주파수 배치도  
Fig. 4. MFN using 9 frequencies

그림 5는 MFN의 주파수 비효율성을 해결하기 위한 대안으로서, 같은 다수의 송신기가 같은 주파수를 사용하는 SFN으로 구축된 방송망을 보여주고 있다.<sup>[5][8]</sup> SFN을 사용하면 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니

라 방송 신호의 평균적인 세기도 높으며, 다수의 송신기로 인한 다이버시티(diversity) 이득도 얻을 수 있다. 그러나 수신기의 다중경로 제거능력에 따라 인접하는 송신기간의 거리가 제한되는 한계가 있다.

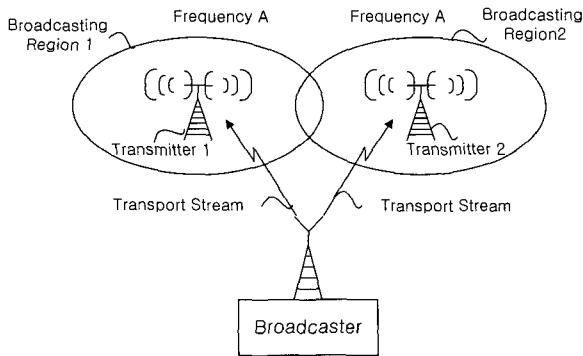


그림 5. SFN을 이용한 방송서비스의 개념도  
Fig. 5. Broadcasting Service using SFN

### III. SFN 구성을 위한 조건

지상파 디지털 TV 방송신호를 SFN을 통해 전송하기 위해서는 다음과 같은 세 가지의 조건을 만족하여야 한다 [4][5].

첫째, 복수의 송신기는 동일한 주파수를 통해 신호를 전송해야 한다. 만약 송신기들의 송신 주파수가 다르다면 도플러 쉬프트(doppler shift) 성질을 가지는 고스트 신호성분을 야기 시키고, 이것은 수신기의 적응 등화기(adaptive equalizer)의 성능 저하의 요인으로 작용하게 된다.

둘째, 복수의 송신기들은 동일한 입력에 대해 송신기마다 동일한 출력을 가져야 한다. 그러나 기존의 8-VSB 변조방식을 사용하는 송신기는 그림 6과 같은 TCM 부호기 및 pre-coder로 구성된 트렐리스 부호부를 포함하고 있고 이러한 트렐리스 부호부를 구성하는 메모리의 상태에 따라 출력 신호가 결정된다. 따라서 복수개의 송신기에 동일한 신

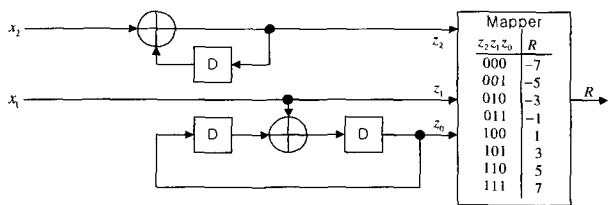


그림 6. ATSC 표준 TCM 부호기 및 Pre-coder  
Fig. 6. TCM Encoder and Pre-coder in ATSC Standard

호가 입력되더라도 출력신호가 트렐리스 부호부의 메모리의 상태에 따라 다르게 되는 출력신호의 모호성(ambiguity)이 존재하게 된다. 그러므로 송신기들의 입력이 동일하더라도 송신기마다 상호 연관성(correlation)이 없는 전혀 다른 출력 신호를 가질 수 있게 된다. 이 경우 각 송신기에서 출력된 8-VSB 신호는 서로 부가 잡음으로 작용하게 되어 동일 채널간섭을 야기시키는 잡음원으로 작용하게 된다. 따라서 기존의 8-VSB 송신기들로 SFN을 구성하기 위해서는 적용된 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 관계없이 송신기들이 동일한 출력신호를 출력할 수 있는 방법이 필요하다.

셋째, 복수의 송신기들은 특정한 시간관계를 가지며 신호를 송신할 수 있어야 한다. 복수의 송신기에서 전송된 방송 신호는 수신기와 송신기들간의 거리 차로 인해 시간지연이긴 고스트를 야기할 수 있다.

### IV. SFN 구성 방법

#### 1 Merrill Weiss Group의 제안

SFN을 통해 8-VSB 방송신호를 전송하기 위한 방법은 Merrill Weiss Group에 의해 "Transmitter Synchronization For Terrestrial Broadcasting" 명칭으로 ATSC 표준의 개정안으로 제안되었으며[5], 그 구조는 그림 7과 같다.

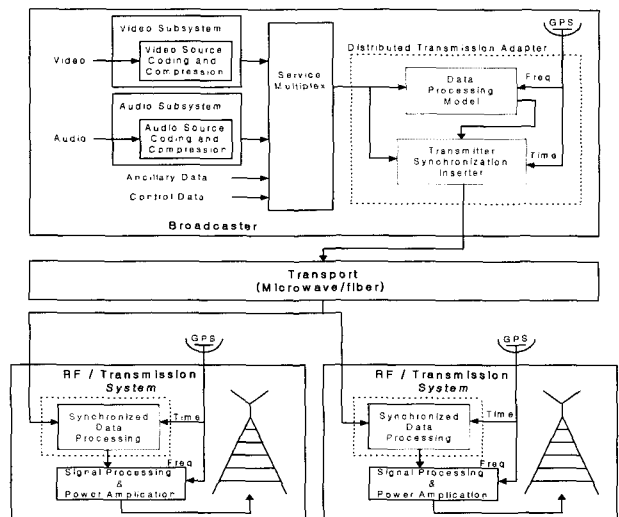


그림 7. Merrill Weiss Group이 제안하는 송신시스템  
Fig. 7. Transmitter System proposed by Merrill Weiss Group

Merrill Weiss Group의 제안에서는 GPS (Global Positioning System)를 사용해 주파수 동기 및 송신기 출력 시간 동기를 맞추며, 방송국에서 CS (Cadence Signal) 및 TCSP (Trellis Code State Packet) 신호를 전송하여 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 따른 출력신호의 모호성을 제거한다. 자세한 동작 과정은 참고문헌 [5]에 나타난다.

상기 방법에서는 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 관한 정보인 TCSP 신호를 전송하기 위해 방송국에서 MPEG-2 TS 신호를 데이터 랜더마이저, RS 부호기, 데이터 인터리버, 트렐리스 부호기 등으로 구성된 별도의 데이터 처리 장치를 통과시켜 TCSP 정보를 추출해야 하며, 송신기에서는 STL(Studio to Transmitter Links)을 통해 수신된 TCSP 신호로부터 트렐리스 부호부의 메모리 값을 추출하여 트렐리스 부호부로 삽입하는 장치 등이 필요하다. 이와 같이 SFN을 구성하기 위해 기존의 8-VSB 송신시스템에 추가된 부분은 그림 7에서 점선으로 표시되어 있다.

2. 본 논문의 제안

8-VSB 방송신호를 SFN을 통해 전송하기 위해 본 논문에서 제안하는 방법은 다음과 같으며, 그 구조는 그림 8과 같다.

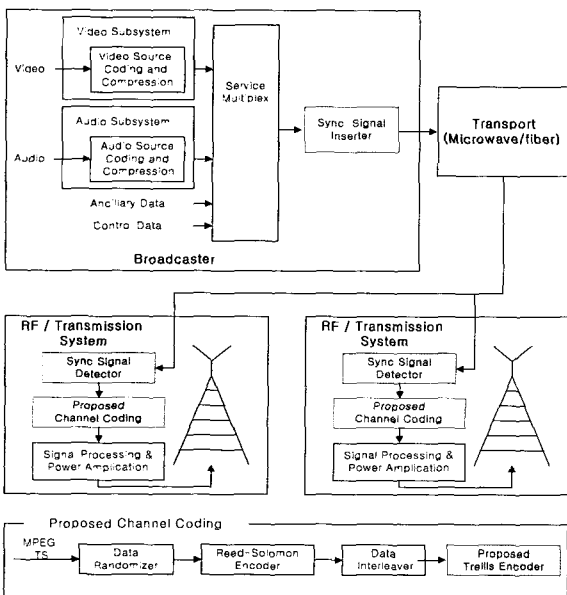


그림 8. 본 논문에서 제안하는 송신시스템  
Fig. 8. Proposed Transmitter System

① 주파수 동기: DVB-T의 SFN 시스템 및 Merrill Weiss Group의 제안처럼 GPS의 frequency reference를 사용해 1 또는 2 Hz 오차한도 이내에서 복수 송신기들의 동작 주파수를 동일하게 맞춘다.

② 송신기들의 입력 및 출력 문제: 방송국에서  $N(\geq 1)$ 개의 데이터 프레임(1 데이터 프레임 = 624 MPEG-2 세그먼트, 1 MPEG-2 세그먼트 = 188 바이트)마다 첫 번째 데이터 세그먼트의 헤더 값인 0x47대신 비트 단위로 반전된 0x88을 그림 8의 송신 동기삽입부(Sync Signal Inserter)에서 삽입하고, 송신기의 송신 동기검출부(Sync Signal Detector)에서 0x88을 검출한다. 즉 송신기들은 0x88 값과  $x(1 \leq x \leq 624)$ 개의 0x47이 검출되면 유효한 MPEG-2 TS가 수신되고 있음을 인식하고, 다음 0x88 값의 헤더가 존재하는 데이터 세그먼트부터 8-VSB 변조를 수행하면 동일한 입력을 가지게 되며 데이터 랜더마이저, RS 부호기, 데이터 인터리버, 데이터 필드 싱크 삽입기의 동작이 각 송신기마다 동기가 맞추어진 상태가 된다.

또한 송신기에서는 그림 6과 같은 기존 트렐리스 부호부 대신 본 논문에서 제안하는 그림 9와 같은 트렐리스 부호부를 사용하여  $M(\geq 1)$  개의 데이터 필드(1 데이터 필드 = 312 데이터 세그먼트, 1 데이터 세그먼트 = 208 바이트)마다 트렐리스 부호부의 메모리를 내부적으로 초기화시킴으로써 송신기 출력 신호를 동일하게 만든다. 1개의 트렐리스 부호부를 초기화시키기 위해서는 최소 2개의 심볼(트렐리스 부호부를 통과하기 전에는 2 비트로 구성되며, 통과한 후에는 3 비트로 구성됨)이 필요하며, 미국식 지상파 TV 방송방식 표준(ATSC A.53)에서는 세그먼트내 인터리버단에서 12개의 트렐리스 부호부를 사용하므로 총 24개의 초기화 심볼이 필요하다. 즉, 초기화 심볼 구간에서는 그림 9의 스위치는 점선과 연결되어 트렐리스 부호부의 메모리 값을 초기화시키게 된다.

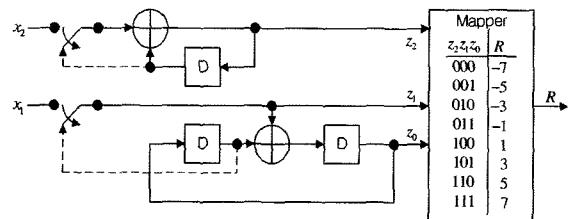


그림 9. 제안된 TCM 부호기 및 Pre-coder  
Fig. 9. Proposed TCM Encoder and Pre-coder

$M$ 개의 데이터 필드마다 마지막 24개의 데이터 심볼 구간에서 24개의 초기화 심볼들이 삽입되면 트렐리스 부호기의 메모리는 '0' 상태(TCM 부호기의 메모리 상태:00, 프리코더의 메모리 상태:0)로 초기화되기 때문에, 다음 필드의 시작에서는 트렐리스 부호부의 메모리 상태는 각 송신기마다 동일하게 된다. 즉 모든 송신기 내 트렐리스 부호기의 초기상태를 '0' 상태로 맞추기 때문에 입력되는 신호가 동일하다면 출력되는 신호는 동일하게 되므로 기존의 트렐리스 부호부에서 발생하는 모호성이 없어진다. 그림 10은 1개의 필드마다 24개의 초기화 심볼들을 삽입한 후의

8-VSB 데이터 프레임의 구조이다. 그러나 24개의 초기화 심볼 값은 수신기에서 데이터 오류로 인식되고 수신기의 성능을 저하시키는 요소로 작용할 수 있다. 이러한 성능열화는 트렐리스 부호부의 초기화 주기 ( $M$ )을 증가시켜 감소시킬 수 있다.

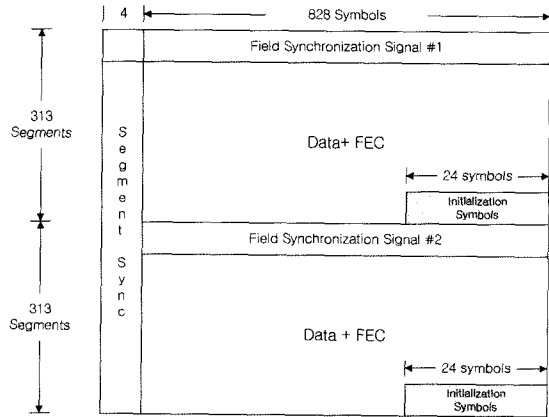


그림 10. 초기화 심볼들이 삽입된 데이터 프레임의 구조  
Fig. 10. Data Frame Structure initialized per every one Data Field

- ③ 송신기 출력시간 동기: Merrill Weiss Group의 제안처럼 GPS의 time reference를 사용해  $\pm 3ms$  오차한도 이내에서 복수 송신기들의 출력시간을 조절한다.

### V. 전산 모의 실험

제안된 트렐리스 부호기의 실제 심볼 출력을 살펴보기 위해 매 데이터 필드마다 초기화 심볼들을 삽입하였고, 4개의 데이터 필드에 해당하는 심볼을 생성하였다. 본 논문에서는 각 필드의 초기 72개 심볼들의 출력을 보았다. 또한 제안된 트렐리스 부호기를 포함하는 8-VSB 시스템의 채널 코딩부의 성능 분석을 위해 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 전송로를 가정하였다.

전산 실험에 의하면 송신기에 동일한 입력이 주어졌을 때, 기존의 트렐리스 부호기를 갖는 송신기는 그림 11에서 보는 바와 같이 트렐리스 부호기 메모리의 초기 상태가 바뀌면 전혀 다른 심볼들을 출력하지만, 본 논문에서 제안된 트렐리스 부호기는 그림 12에서 보는 바와 같이 트렐리스 부호기의 메모리 초기 상태가 바뀌더라도 첫 번째 데이터 필드의 심볼들만 다르고 나머지 필드의 심볼들은 동일하였다. 여기서 그림 11.a와 12.a는 12개의 트렐리스 부호기의 초기 상태가 모두 0(00)이며, 그림 11.b와 12.b는 초기상태가 모두 3(11)이다.

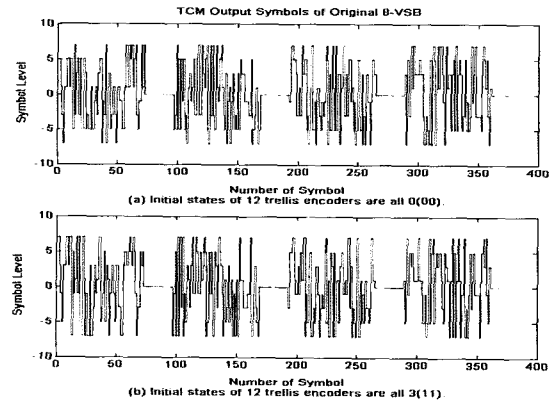


그림 11. 기존 트렐리스 부호기의 심볼 출력  
Fig. 11. Output Symbols of the Original Trellis Coder

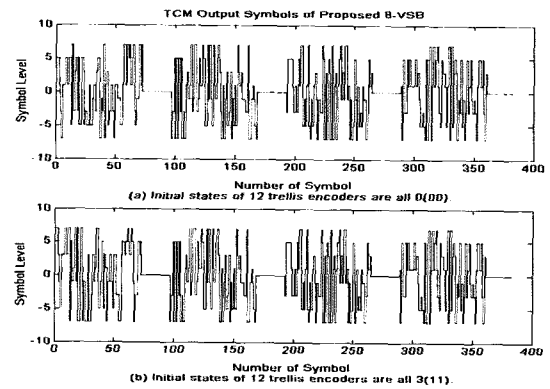


그림 12. 제안된 트렐리스 부호기의 심볼 출력  
Fig. 12. Output Symbols of the Proposed Trellis Coder

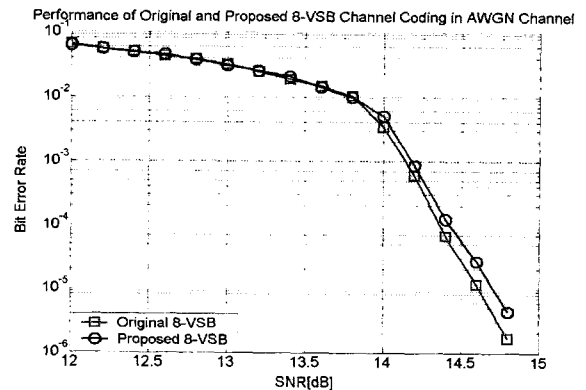


그림 13: 제안된 트렐리스 부호기와 기존 트렐리스 부호기를 사용하는 8-VSB의 수신 BER  
Fig. 13. Performance of 8-VSB Signal encoded by Original and Proposed Trellis Coder

제안된 트렐리스 부호기가 적용된 채널 코딩부를 포함하는 8-VSB 시스템의 성능과 기존 트렐리스 부호기를 사용하는 8-VSB 시스템의 성능 분석 결과는 그림 13과 같다. 여기서 제안된 8-VSB 시스템은 매 필드마다 트렐리스 부호기를 초기화하며 기존 트렐리스 부호기를 사용하는 8-VSB 시스템에 비해 약 0.1dB 정도 성능 저하가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 성능 저하는 초기화를 위해 사용된 24개의 심볼로 인해 312개의 데이터 세그먼트 중에서 3개의 세그먼트가 오류정정 능력이 6인 RS 부호가 되기 때문이다. 따라서 트렐리스 부호부의 초기화 주기 ( $M$ )을 증가시키게 되면 그 성능저하는 무시할 정도로 작아질 수 있고 기존의 8-VSB 시스템에 비해 성능 저하가 거의 없이 트렐리스 부호부로 인해 발생하는 출력신호의 모호성을 해결할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 지상파 디지털 TV 방송을 SFN을 통해 서비스하기 위해 필요한 기술적인 사항에 대하여 고찰하였고, ATSC 방송방식에서 SFN을 구성하기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 8-VSB 방송시스템에 적용된 트렐리스 부호기의 메모리를 매 데이터 필드 주기 혹은 그 이상으로 초기화함으로써 동일한 입력이 복수의 송신기에 인가될 경우 언제나 동일한 출력이 나오도록 하였다.

제안방식을 적용한 8-VSB 시스템의 성능 분석결과 기존의 시스템에 비해 최대 0.1dB의 성능 저하가 발생하였으나

이러한 성능 저하는 트렐리스 부호부의 초기화 주기를 늘림으로서 무시할 정도로 줄일 수 있으며 최소한의 하드웨어 변경을 통해 SFN을 구성할 수 있다.

그러나 SFN을 통한 지상파 디지털 TV 방송의 효율적인 서비스를 위해서는 송신기간의 거리 제한등과 같은 문제점을 해결해야 하며 이러한 한계를 극복하기 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Citta, "A VSB Receiver Design for Indoor and Distributed Transmission Environments," IEEE 52 Annual Broadcast Symposiums, Oct. 2002
- [2] Comm. Research Center, "Results of the Laboratory Evaluation of LINX ATSC Prototype Receiver with 8-VSB Modulation for Terrestrial Broadcasting," Ottawa, April 2002
- [3] K. Salehian, M. Guillet, B. Carson, and A. Kennedy, "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," IEEE Trans. on Broadcasting, June. 2002
- [4] R. W. "Sam" Zborowski, "Single-Frequency Network Technique For Use With On-Channel Boosters For DTV Broadcast," NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings, 2001
- [5] Merrill Weiss Group, "Transmitter Synchronization For Terrestrial Broadcasting," ATSC Document, T3/S9, Sept. 20, 2002
- [6] Doc. A/53, ATSC Digital Television Standard, Sep. 1995
- [7] W. E. Bretl, ATSC/VSB Tutorial-Receiver Technology, Zenith Electronics Corp.
- [8] Digital Video Broadcasting (DVB): DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization, TS 101 191 v1.1.1

## 저 자 소 개



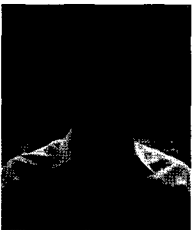
### 박 성 익

- 2000년 : 한양대학교 (공학사)
- 2002년 : 포항공과대학교 (공학석사)
- 2002년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
- 주관심분야 : 채널코딩, DTV 전송시스템



**이 용 태**

- 1993년 : 한국항공대학교 (공학사)
- 1995년 : 한국항공대학교 (공학석사)
- 1995년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



**김 승 원**

- 1986년 : 성균관대학교 (공학사)
- 1988년 : 성균관대학교 (공학석사)
- 1989년~현재 : 한국전자통신연구원 DTV 전송연구팀 팀장
- 1999년 : Florida University (공학박사)
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



**이 수 인**

- 1985년 : 경북대학교 (공학사)
- 1989년 : 경북대학교 (공학석사)
- 1996년 : 경북대학교 (공학박사)
- 1990년~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 부장
- 주관심분야 : 디지털 통신/방송 시스템, 오류정정부호